KDS 64 10 10 : 2024

설계조건

2024년 12월 개정

해양수산부

KC CODE KDS 64 10 10 국가건설기준

건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

건설기준 제·개정 연혁

• 이 기준은 항만 및 어항 설계기준 KDS 64 10 10 설계조건으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
항만설계기준	• 항만설계기준 제정 • 설계조건, 수역시설, 외곽시설, 계류시설, 기타시설, 준설 및 매립 등 기타항만공사에 관계되는 설계의 일반방침과 기준을 수록	제정 (1971.12)
항만설계기준	• 조사연구가 진전됨에 따라 국내기술향상에 도움이 되도록 개정	개정 (1979.12)
항만시설물 설계기준서	• 항만의 재개발, 워터프런트 개발사업 추진 전망에 따라 항만법 제26조에 근거하여 기술의 체계화, 표준화의 기준 수립 및 시설물의 안정성과 경제성을 고려하여 개정	개정 (1993.12)
항만 및 어항 설계기준	• 해양수산부가 새로 발족되어 항만 및 어항 설계기준·해설 및 항만시설의 기준에 관한 규칙과 어항관련 법규에서 정하는 어항시설에 대한 설계기준을 통합하고, 설계 및 시공과정과 시공이후 건설관리 및 시설물 유지관리 관련내용 신설하여 개정	개정 (1999.12)
항만 및 어항 설계기준	• 연안정비시설물을 포함하고 관련법령 및 최신기술 변화요인 반영, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계풍속 및 하중계수 상향, 재추산 심해파의 적용근거 마련 등 개정	개정 (2005.12)
항만 및 어항 설계기준·해설	• 변화된 항만건설여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재해 저감을 고려하고 해외 건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상하여 개정	개정 (2014.04)
항만 및 어항 설계기준 설계코드(KDS 64 00 00)	• 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 설계기준을 설계코드(KDS 64 00 00)로 개편하고, 타 분야 설계코드와 중복·상충 항목을 비교, 검토하여 보완	코드체계 전환제정 (2017.08)
항만 및 어항 설계기준 KDS 64 10 10 설계조건	• KDS 64 10 10 설계조건(4.1 선박) 중 방충재 관련, 선박의 접안에너지 산정 시 안전계수를 참조 가능하도록 참고 내용을 보완	일부개정 (2018.09)
항만 및 어항 설계기준 KDS 64 10 10 설계조건	• 해수면 상승 및 태풍강도 증가 등 최근 해양특성을 반영한 개정 심해설계파의 적용근거 마련을 위한 참고 내용을 보완	일부개정 (2019.09)

설계조건

건설기준	주요내용	제・개정 (년.월)
항만 및 어항 설계기준 KDS 64 10 10 설계조건	• 자연재해(태풍시)로 인한 항만시설물의 안전확보를 위해 개선된 설계파 추산방법 반영	일부개정 (2020.09)
항만 및 어항 설계기준 KDS 64 10 10 설계조건	• 기후변화에 대응하기 위해 중요 항만시설물에 대한 설계파 재현빈도 상향, 시설물 안전성 확보를 위한 항만 및 어항 설계기준(KDS 64 10 10 설계조건) 개정	일부개정 (2021.11)
항만 및 어항 설계기준 KDS 64 10 10 설계조건	• (4.1.1 대상선박의 주요치수) 선박제원 최신화 및 관련 기준내용 보완 등	일부개정 (2023.12)
항만 및 어항 설계기준 KDS 64 10 10 설계조건	• (4.3.6.1 처오름 높이) 직립벽에서의 파 처오름 높이 산정에 대한 기술 추가 등	일부개정 (2024.12)

제　　정 : 2017년 8월 16일　　**개　　정 : 2024년 12월 24일**

심　　의 : 중앙항만정책심의회

소 관 부 서 : 해양수산부 항만기술안전과

관련단체 (작성기관) : 한국항만협회

• 해양수산부장관은 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 고시일 기준으로 매 3년이 되는 시점마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 해야 한다.

목차

contents

1. 일반사항 ····· 1

1.1 목적 ····· 1
1.2 적용범위 ····· 1
1.3 참고기준 ····· 1
1.4 용어의 정의 ····· 2
1.5 기호의 정의 ····· 3
1.6 설계고려항목 ····· 3

2. 조사 및 계획 ····· 8

3. 재료 ····· 8

4. 설계 ····· 9

4.1 선박 ····· 9
4.2 바람과 풍압력 ····· 37
4.3 파랑 및 파력 ····· 45
4.4 조석 ····· 191
4.5 흐름 및 흐름의 힘 ····· 248
4.6 하구 수리 ····· 255
4.7 표사 ····· 260
4.8 상재하중 ····· 286
4.9 마찰계수 ····· 299

부 록 ····· 301

KDS 64 10 10 설계조건

1. 일반사항

1.1 목적

이 기준은 항만 및 어항시설의 설계에서 고려하여야 하는 설계조건의 산정에 필요한 사항을 정함을 목적으로 한다.

1.2 적용범위

이 기준은 항만 및 어항시설 설계 시 고려하여야 하는 설계조건을 산정하는데 적용한다. 항만 및 어항시설의 설계조건은 시설의 성격 및 시설물에 주어진 상황에 따라 다음의 설계여건을 고려하여 선정하고, 자연조건, 이용 상황, 시공조건, 부재의 특성, 시설에 대한 사회적 요청, 자연환경에의 영향 등을 고려하여 시설이 안전하게 될 수 있도록 정한다.

(1) 대상선박의 제원
(2) 선박으로 인해 발생하는 외력
(3) 바람과 풍압 등
(4) 파랑과 파력
(5) 조석과 이상조위(異常潮位)
(6) 흐름과 흐름의 힘
(7) 부체에 작용하는 외력과 동요
(8) 하구수리 및 표사
(9) 자중(自重) 및 재하하중
(10) 마찰계수
(11) 기타 필요한 설계조건

1.3 참고기준

1.3.1 관련법규

공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률

1.3.2 관련기준

KDS 24 12 20 교량설계하중(일반설계법)
KDS 41 10 15 건축구조기준 설계하중

1.3.3 관련표준

내용 없음

1.4 용어의 정의

- 기왕고극조위(旣往高極潮位, Observed highest high water level) : 기존에 관측된 가장 높은 조위를 말한다.
- 배수톤수(Displacement tonnage) : 떠 있는 선체가 정지 상태에서 배제하는 물의 중량을 톤 단위로 나타낸 수를 말한다.
- 부유사(浮遊砂, Suspended load) : 유수(流水) 또는 파랑에 의하여 저면으로부터 수중에서 이동되는 토사(土砂)를 말한다.
- 소류사(掃流砂, Bed load) : 유수(流水)에 의해 운반되는 퇴적물 중에서 바닥을 따라 구르거나 약간 튀면서 이동하는 퇴적물을 말한다.
- 재화중량톤수(Dead weight tonnage) : 적재한 화물의 최대중량을 톤 단위로 나타낸 수를 말한다.
- 조위 편차 : 조위 실측치와 예보치의 차이를 말한다.
- 총톤수(Gross tonnage) : 선박의 총톤수 측정에 관한 법률에서 규정된 선박의 밀폐구획의 용적톤수. 주로 국제항해에 종사하는 선박에 대하여 그 크기를 나타내기 위한 지표로 사용되는 국제총톤수가 있다.
- 총톤수(Gross tonnage) : 선박의 총톤수 측정에 관한 법률에서 규정된 선박의 밀폐구역의 용적톤수를 말한다. 국제협약에 따른 국제총톤수(International Gross tonnage, IGT)와 4,000톤 미만 선박에 대하여 우리나라 해사법령의 적용을 위한 국내총톤수(Korean Gross tonnage, GT)가 있다.
- 커버율 (Coverage) : 통계값에 대하여 특정 사건이나 대상이 포함된 비율을 말한다. 여기서는 톤수별 제원을 산출하기 위해 고려한 선박 수의 비율을 의미한다.

[해 설]

(1) 이 기준에서 정하지 아니한 용어는 관련 법규 또는 최신의 항만용어사전에 제시된 정의를 따른다.

1.5 기호의 정의

내용 없음

1.6 설계고려항목

항만 및 어항시설의 설계 시에는 이 기준의 1.2 적용범위에서 제시한 설계조건 외에 다음의 항목을 고려한다.

(1) 시설의 기능
(2) 시설의 중요도
(3) 내용연수(耐用年數)
(4) 발생확률
(5) 자연조건
(6) 재 료
(7) 설계법(안전율 등)
(8) 시공방법(施工方法)
(9) 시공정밀도
(10) 공 기
(11) 건설비

[해 설]

설계조건의 설정은 시설의 안전성, 기능의 확보, 경제성 등에 중요하게 영향을 미치므로 신중하게 처리하여야 하며, 여기서 열거하는 설계조건은 항만시설에 영향도가 큰 항목을 열거한 것이다. 설계조건은 일반적으로 조사 및 시험의 결과를 근거로 하여 정하는 것으로 이들을 설정하려면 사전에 충분한 조사와 시험을 시행할 필요가 있고, 조사 및 시험 방법과 그 결과를 충분히 이해할 필요가 있다. 또한 가설구조물에 대하여는 시용기간을 고려하여 설계조건을 결정하게 된다.

[참 고]

이 기준의 1.6 설계고려항목에서 제시한 항목을 고려할 때는 다음의 내용을 참고한다.

(1) 시설의 기능

시설의 기능은 한가지로 국한되지 않기 때문에 각각의 기능이 충분히 발휘될 수 있도록 배려할 필요가 있다. 예를 들면 방파제는 파도를 막는 기능만이 아니고 폭풍해일이나

지진해일의 세력을 감쇄하는 기능을 갖는다.

(2) 시설의 중요도

시설의 안정성 및 경제성을 고려하여 설계를 하려면 시설의 중요도를 고려할 필요가 있다. 중요도가 설계상에서 미치는 영향을 살펴보면 설계조건이 되는 자연조건, 설계진도, 내용연수, 하중, 안전율 등이 있다.

또한 중요도의 판정에 있어서는 다음 사항을 고려할 필요가 있다.

① 시설의 파손이 인명, 재산에 미치는 영향
② 시설의 파손이 사회, 경제에 미치는 영향
③ 시설의 파손이 다른 시설에 미치는 영향
④ 시설의 대체성

(3) 내용연수(耐用年數)

내용연수는 시설의 설계에서 구조나 재료를 결정할 때 고려함과 동시에 현존 시설의 개량 필요성 및 개량 정도를 결정하는데 고려하는 경우가 있다. 내용연수에는 다음의 기능적인 것, 경제적인 것, 사회계획적인 것과 물리적인 것이 있다. 내용연수의 설정에서는 이들에 대하여 검토를 하고 결정하여야 한다. 설계에 있어서 위의 내용으로부터 내용연수를 결정하는 경우, 그 내용연수에 적합한 구조, 재료를 선정할 필요가 있다. 이들로부터 결정이 되지 않는 경우에는 물리적으로 결정하는 내용연수를 결정한다.

① 기능적인 내용연수

선박의 대형화에 의한 박지의 수심이 부족한 것과 같이 시설의 기능에 불합리점이 생기고 그 시설을 사용할 수 없는 연수

② 경제적인 내용연수

무엇인가 개량을 하지 않으면 신형식과 다른 시설과의 경제적인 경쟁에서 불리한 상태의 연수

③ 사회계획적 내용연수

신규 계획보다 당초 목적한 기능이 불필요하거나 또는 별도의 기능을 요청할 때까지의 연수

④ 물리적인 내용연수

구조물을 구성하는 재료가 부식, 풍화 등의 작용을 받아 필요한 재료의 강도를 유지할 수 없는 연수

(4) 발생확률

내용연수에 밀접한 관계가 있는 항목에는 발생확률이 있다. 이 발생확률(E_1)은 다음 식으로 구할 수 있고 발생확률의 계산(計算) 결과표는 참고 표 (1.6-1)를 참조한다.

$$E_1 = 1-(1-1/\overline{T_1})^{L_1}$$ 참고 식 (1.6-1)

여기서, L_1 : 내용연수, $\overline{T_1}$: 재현기간

발생확률(發生確率)이 갖는 의미에 대하여 생각해보면, 예를 들어 연간 최대파(最大波)를

쓴 수많은 종이를 상자(箱子)속에 넣고 그 중 내용연수 L_1에 상당하는 매수(枚數)만큼 종이를 무작위(無作爲)로 뽑고 그 종이 중 재현기간 T_1에 대한 파고보다 큰 파고가 있으면「있음」이라 하고, 없으면「없음」이라 하여 표시(表示)한다. N번 실시한 중에서 P번「있음」이 있으면 내용연수 L_1에 대한 재현기간(再現期間) T_1의 파고의 발생확률(發生確率)은 P/N이 된다. N을 크게 하면 이것이 참고 표 (1.6-1)에 표시한 어느 값에 접근한다. 예를 들면 내용연수(耐用年數) 30년의 구조물을 생각하고 내용연수와 같은 재현기간의 파고를 사용하여 설계하면 이 파고이상의 파고가 내용연수 30년의 사이에 1회 이상 내습(來襲)하는 확률은 참고 표 (1.6-1)에서 L_1 = 30, $\overline{T_1}$ = 30이라 할 때의 교점(交點)의 값으로 0.638임을 알 수 있다.

바꾸어 말하면 큰 파고가 내습하는 확률은 내습하지 않는 확률보다 크다. 이에 대처하기 위해서는 재현기간을 60년 아니면 80년으로 하고 발생확률을 낮출 것을 생각하게 된다. 발생확률(發生確率)은 재현기간을 60년으로 하면 0.396, 80년으로 하면 0.314가 된다. 그러나 재현기간(再現期間)을 어느 정도로 설정하느냐, 마지막으로 발생확률을 어느 정도까지 내리느냐는 구조물의 중요성, 경비 등의 많은 요소를 고려하여 결정할 필요가 있다. 또한 확률적으로 기술을 하면 설계파고(設計波高)보다 큰 파고가 내습할 때 구조물이 반드시 재해(災害)를 입지는 않는다. 즉, 발생확률(發生確率)은 구조물의 파괴확률(破壞確率)을 나타내는 것만은 아니라는 것에도 주의할 필요가 있다.

참고 표 (1.6-1) 내용연수(耐用年數)(L_1)과 재현기간(再現期間)($\overline{T_1}$)에 대한 발생확률(發生確率)(E_1)

L_1 \ $\overline{T_1}$	5	10	15	20	25	30	40	50	60
1	0.200	0.100	0.067	0.050	0.040	0.033	0.025	0.020	0.017
2	0.360	0.190	0.129	0.098	0.078	0.066	0.049	0.040	0.033
3	0.488	0.271	0.187	0.143	0.115	0.097	0.073	0.059	0.049
4	0.590	0.344	0.241	0.185	0.151	0.127	0.096	0.078	0.065
5	0.672	0.410	0.292	0.226	0.185	0.156	0.119	0.096	0.081
6	0.738	0.469	0.339	0.265	0.217	0.184	0.141	0.114	0.096
7	0.790	0.522	0.383	0.302	0.249	0.211	0.162	0.132	0.111
8	0.832	0.570	0.424	0.337	0.279	0.238	0.183	0.149	0.126
9	0.866	0.613	0.463	0.370	0.307	0.263	0.204	0.166	0.140
10	0.893	0.651	0.498	0.401	0.335	0.288	0.224	0.183	0.155
12	0.931	0.718	0.563	0.460	0.387	0.334	0.262	0.215	0.183
14	0.956	0.771	0.619	0.512	0.435	0.378	0.298	0.246	0.210
16	0.972	0.815	0.668	0.560	0.480	0.419	0.333	0.276	0.236
18	0.982	0.850	0.711	0.603	0.520	0.457	0.366	0.305	0.261
20	0.988	0.878	0.748	0.642	0.558	0.492	0.397	0.332	0.285
25	0.996	0.928	0.822	0.723	0.640	0.572	0.469	0.397	0.343
30	0.999	0.958	0.874	0.785	0.706	0.638	0.532	0.455	0.396
35	0.999	0.975	0.911	0.834	0.760	0.695	0.588	0.507	0.445
40	0.999	0.985	0.937	0.871	0.805	0.742	0.637	0.554	0.489
45	0.999	0.991	0.955	0.901	0.841	0.782	0.680	0.597	0.531
50	0.999	0.995	0.968	0.923	0870	0.816	0.718	0.636	0.568

참고 표 (1.6-1) 내용연수(耐用年數)(L_1)과 재현기간(再現期間)($\overline{T_1}$)에 대한 발생확률(發生確率)(E_1) (계속)

L_1 \ $\overline{T_1}$	80	100	120	160	200	250	300	400	500
1	0.012	0.010	0.008	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002
2	0.025	0.020	0.017	0.012	0.010	0.008	0.007	0.005	0.004
3	0.037	0.030	0.025	0.019	0.015	0.012	0.010	0.007	0.006
4	0.049	0.039	0.033	0.025	0.020	0.016	0.013	0.010	0.008
5	0.061	0.049	0.041	0.031	0.025	0.020	0.017	0.012	0.010
6	0.073	0.059	0.049	0.037	0.030	0.024	0.020	0.015	0.012
7	0.084	0.068	0.057	0.043	0.034	0.028	0.023	0.017	0.014
8	0.096	0.077	0.065	0.049	0.039	0.032	0.026	0.020	0.016
9	0.107	0.086	0.073	0.055	0.044	0.035	0.030	0.022	0.018
10	0.118	0.096	0.080	0.061	0.049	0.039	0.033	0.025	0.020
12	0.140	0.114	0.096	0.072	0.058	0.047	0.039	0.030	0.024
14	0.161	0.131	0.111	0.084	0.068	0.055	0.046	0.034	0.028
16	0.182	0.149	0.125	0.095	0.077	0.062	0.052	0.039	0.032
18	0.203	0.165	0.140	0.107	0.086	0.070	0.058	0.044	0.035
20	0.222	0.182	0.154	0.118	0.095	0.077	0.065	0.049	0.039
25	0.270	0.222	0.189	0.145	0.118	0.095	0.080	0.061	0.049
30	0.314	0.260	0.222	0.171	0.140	0.113	0.095	0.072	0.058
35	0.356	0.297	0.254	0.197	0.161	0.131	0.110	0.084	0.068
40	0.395	0.331	0.284	0.222	0.182	0.148	0.125	0.095	0.077
45	0.432	0.364	0.314	0.246	0.202	0.165	0.140	0.107	0.086
50	0.467	0.395	0.342	0.269	0.222	0.182	0.154	0.118	0.095

(5) 자연조건

자연조건으로는 시설구조의 결정에 직접 영향이 미치는 파고, 지진, 지형, 지반 등의 조건뿐만 아니라 수질, 저질, 생물, 대기 등의 조건 외에 지구온난화에 수반하는 해수면 상승도 고려대상이 된다.

(6) 재 료

재료는 작용하는 물리적 외력, 열화외력, 사용연수, 형상, 시공성, 경제성, 환경, 경관에 미치는 영향을 고려하여 산정(算定)할 필요가 있다. 또 품질을 보장하는 것도 중요하다. 근래에 와서 종전의 재료에 스테인리스, 티탄, 새로운 고무 등의 신재료나 슬래그, 석탄회, 준설토사 등의 재생자원재료가 사용되고 있다.

(7) 설계법(안전율 등)

설계법은 구조물의 안전성을 판단하는 방식으로 분류하면 안전율을 사용하는 방법과 확률론에 근거한 지표를 사용하는 방법으로 대별된다. 안전율은 안전성을 정량적으로

표현하는 지표가 아니고 제 요소의 불확실성을 보충하기 위하여 경제적으로 정해진 성격을 갖는 것이다. 안전율은 표준적인 조건의 시점에서 경제적으로 충분히 안전하다고 생각되는 값을 나타낸 것이다. 조건(條件)에 따라서는 이들의 값을 내려도 좋으나 이런 경우 충분한 자료에 근거하여 신중한 판단을 하여 결정할 필요가 있다. 하중과 구조물의 내력(耐力)에 대한 확률분포(確率分布)를 가정할 수 있는 경우에는 안전율을 사용하지 않는 신뢰성설계법 등을 사용할 수 있다. 종래의 안전율을 사용하는 설계법과는 다르고 신뢰성설계법에서는 구조물 파괴의 가능성을 정량적으로 파악하고 그것을 일정한 허용값 이하로 마무리하는 것이 가능하다. 신뢰성설계법 등에서는 안전계수나 안정성 지표 등을 사용하여 설계한다. 한계상태설계법은 형식적으로는 신뢰성설계법의 한 형식으로 분류할 수 있다.

(8) 시공방법(施工方法)

합리적(合理的)인 설계를 하려면 시공방법(施工方法)을 충분히 고려할 필요가 있다.

(9) 시공정밀도

실제 시공 정밀도에 대응한 설계를 할 필요가 있다. 시공 정밀도에 대해서는 항만 및 어항공사 표준시방서 등을 참고한다.

(10) 공 기

공기가 결정된 경우 그 공기 내에 준공이 되도록 시공방법과 같이 설계에서도 공기에 대한 고려를 할 필요가 있다.

(11) 건설비 등

건설비 중에는 초기투자비용과 유지관리비용이 있고 이들의 전체를 고려하여 검토하여야 한다. 투자효과의 조기 발현에 대하여도 배려할 필요가 있고, 안정성 확보를 전제로 하여 시설의 정비수준에 따라 시설의 공유를 고려한 설계방법도 있다.

여기서의 초기투자비용은 보상비가 포함된 것이다. 설계를 할 때 건설비가 구조형식, 시공방법 등에 따라 변화하므로 이 점을 충분히 고려하여 설계할 필요가 있다.

2. 조사 및 계획

내용 없음

3. 재료

내용 없음

4. 설계

4.1 선박

4.1.1 대상선박의 주요치수

(1) 선박은 항만 및 어항시설의 배치, 규모, 형식 등을 결정하는 기본적인 고려 대상이므로 대상선박의 결정은 신중히 이루어져야 한다.

(2) 대상선박의 주요치수는 다음의 방법으로부터 설정하여야 한다.

① 대상선박이 특정한 경우에 대하여는 특정선박의 주요치수

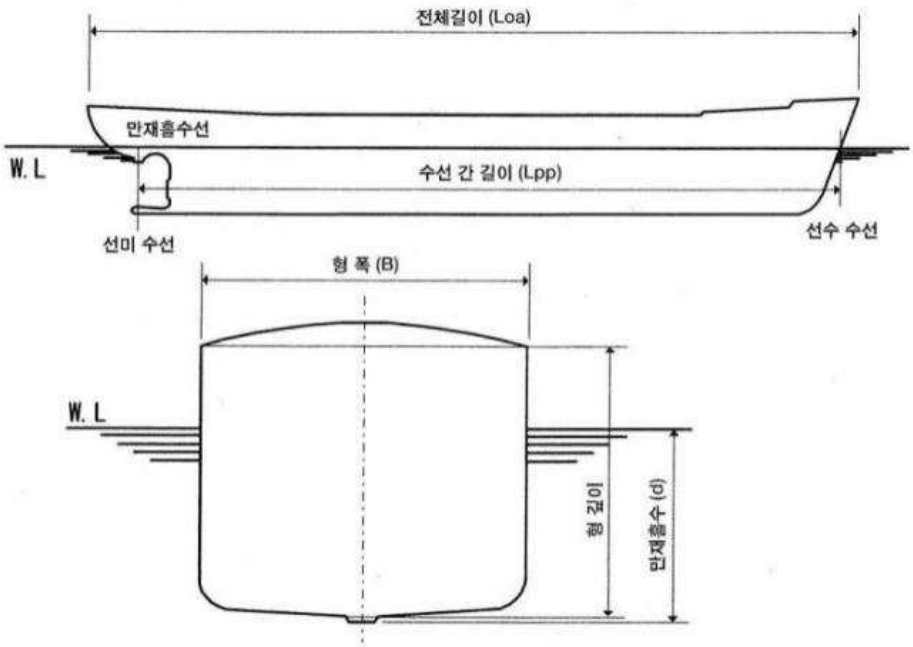
② 대상선박이 특정하지 않은 경우에 대하여는 최신의 통계자료 등에 의하여 정하여진 주요치수

[해 설]

(1) 선박의 주요치수

가. 선박의 주요치수(제원)는 선박의 형태, 성능, 특성 등을 나타내는 중요한 수치를 말한다.

나. 본 코드에서 다루는 선박의 주요치수는 전장, 수선간장, 형폭, 만재흘수가 있으며, 해설 그림 (4.1-1)은 각 주요치수에 대한 개념도이다.



해설 그림 (4.1-1) 선박의 주요치수

(2) 대상선박의 정의

가. 대상선박이란 항만계획 수립시 항만시설에 사용하는 것으로 예정되는 선박 중 항만시설의 사용성에 주요한 영향을 미치는 제원을 갖는 선박을 말한다. 일반적으로 제원은 톤수를 원칙으로 한다.

나. 다만, 항만시설의 운영 예정현황과 이용조건에 따라 톤수 외에 다른 제원이 항만시설의 사용성에 영향을 미칠 수 있으므로 이 경우는 해당 제원을 기준으로 대상선박을 정한다.

(3) 공공항만시설과 같이 대상선박을 사전에 특정할 수 없을 경우에는 참고 표 (4.1-1)을 참고하여 대상선박의 주요치수를 정할 수 있다.

[참 고]

(1) 대상선박의 주요치수에 대한 사항

가. 참고 표 (4.1-1)과 참고 표 (4.1-2)는 기술기준 전문기관(한국항만협회)에서 분석한 선종별 주요치수(제원) 중 일부를 제시한 것이다. 제시된 제원 활용 시 아래사항에 대한 주의가 필요하다.

① 선박제원의 통계분석에 사용한 자료는 IHS Markit을 통해 취득한 국제해사기구(International Maritime Organization)의 선박등록자료(2020.12 기준)로서, 로이드(Lloyd's) 등 여러 선급회사에 등록된 국내·외 선박정보를 포함하고 있다. 따라서 국내 선박만을 대상으로 하는 부두에 대해서는 별도의 선박제원을 분석할 필요가 있다.

② 제시된 제원은 커버율 75%에 해당하는 값이며, 통계분석에 따른 결과이므로 제시된 제원보다 크거나 작은 제원의 선박이 존재할 수 있다. 또한, 소형급 선박은 참고 표 (4.1-2)에 제시된 수치와 상이한 선박이 다수 존재하여 분산(산포도)이 크므로 활용시 주의할 필요가 있다.

③ 페리의 경우, 우리나라의 여객항로의 항해거리가 대부분 300km이하이므로 기존에 항해거리 300km를 기준으로 구분하던 중·단거리 페리와 장거리 페리를 구분하지 않는다.

④ 산적화물선(벌크선)의 경우, 일반화물선에 비해 대형화가 급격하게 진행되었으며, 별도의 부두를 지정하여 운영하는 사례가 많아 선박의 제원을 별도로 분석하여 제시하였다.

⑤ 선종별 톤수의 종류는 취급화물의 종류와 선박특성에 따라 선택하였다. 화물적재량이 중요한 일반화물선, 산적화물선(벌크선), 컨테이너선, 유조선은 재화중량톤수(Dead Weight Tonnage, DWT)를 기준으로 표기하였고 그 외의 선종에 대해서는 국제총톤수(IGT)를 기준으로 제시하였다.

⑥ 컨테이너선과 여객선에 대하여 추가 제시된 TEU와 승객수는 톤수와 각 변수간의 관계를 일차식으로 분석한 결과를 바탕으로하며 제시된 수치보다 크거나 작은 수용량을 가진 선박이 존재하므로 활용시 주의할 필요가 있다.

나. 참고 표 (4.1-3)은 어선 제원에 대한 통계분석한 결과를 제시한 것으로 일반어선과 양식어선은 선형이 서로 상이하므로 구분하여 제시하였다.

다. 참고 표 (4.1-4)은 크루즈 선사에서 운용하는 크루즈 여객선에 대한 구체적인 제원 정

보를 제시한 것이다.

라. 이 외에도 필요에 따라서는 국제수상교통시설협회(PIANC), 일본 항만협회의 '항만 설계의 기술상 기준 및 동 해설' 등에서 제시하는 최신의 선박제원 자료도 참고할 수 있다.

(2) 대상선박의 톤수 환산

① 참고 식 (4.1-1)은 기술기준 전문기관(한국항만협회)에서 분석한 재화중량톤수(DWT)와 국제총톤수(IGT)간의 관계를 분석한 결과이다.

② 참고 식 (4.1-1)은 일차식 기반의 회귀분석을 통해 산정된 식이며, 이 관계식에 따른 추정치보다 크거나 작은 총톤수의 선박이 존재할 수 있다.

③ 이 식은 참고 표 (4.1-1)의 최대톤수 이하의 범위에서 적용가능하다.

일반화물선	IGT = 0.678DWT	
산적화물선	IGT = 0.529DWT	
컨테이너선	IGT = 0.938DWT	
유조선	IGT = 0.522DWT	
RO/RO선	IGT = 1.824DWT	
자동차전용선	IGT = 2.766DWT	참고 식 (4.1-1)
LPG선	IGT = 0.883DWT	
LNG선	IGT = 1.263DWT	
일반여객선	IGT = 1.409DWT	
페리선	IGT = 4.408DWT	
크루즈 여객선	IGT = 10.484DWT	

여기서, IGT : 총톤수(국제총톤수)
DWT : 재화중량톤수

참고 표 (4.1-1) 대상선박의 일반적 주요치수(한국항만협회, 2023)

(1) 화물선

톤 수	전장 (L_{oa})	수선간장 (L_{pp})	형폭 (B)	만재흘수 (d)
(DWT)	(m)	(m)	(m)	(m)
1,000	61	56	10.4	4.0
2,000	77	72	12.7	4.9
3,000	89	83	14.2	5.5
5,000	106	100	16.4	6.5
10,000	138	129	20.0	8.6
12,000	145	136	21.2	8.9
18,000	163	154	24.2	9.8
20,000	168	159	25.1	10.1
30,000	189	179	28.6	11.0
40,000	205	196	31.5	11.8
50,000	205	196	32.8	13.0
70,000	219	214	36.1	14.2

(2) 산적화물선

톤 수	전장 (L_{oa})	수선간장 (L_{pp})	형폭 (B)	만재흘수 (d)
(DWT)	(m)	(m)	(m)	(m)
1,000	61	56	11.4	3.9
2,000	75	70	13.7	4.8
3,000	86	80	15.3	5.4
5,000	100	94	17.6	6.3
10,000	125	118	21.3	7.7
12,000	132	126	22.4	8.2
18,000	150	143	25.0	9.2
20,000	155	148	25.7	9.5
30,000	176	169	28.7	10.7
40,000	193	186	31.0	11.7
50,000	207	200	33.0	12.6
70,000	230	223	36.1	13.9
90,000	249	243	38.7	15.0
100,000	257	251	39.8	15.5
120,000	273	266	41.8	16.3
150,000	292	287	44.5	17.4
200,000	303	294	49.2	18.4
250,000	320	313	57.1	19.2
300,000	335	329	62.1	21.3
400,000	361	355	65.0	23.0

참고 표 (4.1-1) 대상선박의 일반적 주요치수(계속)

(3) 컨테이너선

톤 수	전장 (L_{oa})	수선간장 (L_{pp})	형폭 (B)	만재흘수 (d)	적재가능 컨테이너 수
(DWT)	(m)	(m)	(m)	(m)	(TEU)
10,000	138	129	22.4	8.0	900
20,000	180	169	27.3	10.0	1,800
30,000	211	198	29.5	11.3	2,700
40,000	235	222	32.1	12.4	3,600
50,000	257	243	32.1	13.3	4,400
60,000	275	261	36.9	13.7	4,900
70,000	297	283	40.7	14.0	5,300
100,000	328	313	45.1	14.8	8,900
120,000	345	329	47.8	15.2	10,700
150,000	368	352	48.9	16.0	11,600
200,000	400	385	59.5	16.3	18,000
250,000	400	385	61.0	16.7	24,000

(4) 유조선(Tanker)

톤 수	전장 (L_{oa})	수선간장 (L_{pp})	형폭 (B)	만재흘수 (d)
(DWT)	(m)	(m)	(m)	(m)
1,000	67	62	10.1	3.9
2,000	81	76	12.6	4.9
3,000	91	85	14.2	5.6
5,000	105	99	16.6	6.5
10,000	128	121	20.6	8.1
15,000	144	136	23.3	9.2
20,000	156	148	25.5	10.1
30,000	176	167	28.8	11.2
50,000	203	194	33.7	12.8
70,000	230	220	37.4	14.0
90,000	244	234	40.4	15.0
120,000	262	251	44.1	16.2
150,000	276	265	50.4	17.2
200,000	296	284	51.0	18.9
220,000	328	313	51.1	19.6
250,000	328	313	55.1	20.6
300,000	338	326	60.5	22.0
400,000	371	356	60.5	25.4

참고 표 (4.1-1) 대상선박의 일반적 주요치수(계속)

(5) 롤온·롤오프(RO/RO)선

톤 수	전장 (L_{oa})	수선간장 (L_{pp})	형폭 (B)	만재흘수 (d)
(IGT)	(m)	(m)	(m)	(m)
3,000	123	114	19.1	5.4
5,000	139	130	21.1	6.0
10,000	164	154	24.3	7.0
20,000	194	184	27.9	8.2
30,000	214	203	30.3	9.0
40,000	230	218	32.1	9.6
50,000	235	222	35.1	10.0
60,000	235	222	35.1	10.0
100,000	296	287	37.6	11.5

(6) 자동차전용(PCC)선

톤 수	전장 (L_{oa})	수선간장 (L_{pp})	형폭 (B)	만재흘수 (d)	CEU
(IGT)	(m)	(m)	(m)	(m)	
3,000	124	114	20.1	6.2	320
5,000	136	125	22.0	6.7	500
10,000	154	143	24.8	7.6	1,100
12,000	159	149	25.6	7.8	1,270
20,000	175	164	28.0	8.5	2,100
30,000	188	177	30.1	9.1	3,200
40,000	198	187	31.6	9.6	4,200
50,000	206	196	31.9	9.4	5,300
60,000	213	203	32.3	10.5	6,300
70,000	219	209	36.3	10.5	7,400

※ CEU(Car Equivalent Unit) : 차량 1대를 운반할 수 있는 공간의 단위

(7) LPG선

톤 수	전장 (L_{oa})	수선간장 (L_{pp})	형폭 (B)	만재흘수 (d)
(IGT)	(m)	(m)	(m)	(m)
3,000	97	86	15.9	6.0
5,000	111	99	18.1	7.1
10,000	134	119	21.6	8.9
20,000	170	161	26.8	10.5
30,000	196	188	29.2	11.3
40,000	217	209	33.7	12.0
50,000	229	227	37.1	12.0
60,000	233	227	37.1	12.4

참고 표 (4.1-1) 대상선박의 일반적 주요치수(계속)

(8) LNG선

톤 수	전장 (L_{oa})	수선간장 (L_{pp})	형폭 (B)	만재흘수 (d)
(IGT)	(m)	(m)	(m)	(m)
20,000	169	160	26.9	7.9
30,000	193	184	30.4	8.9
50,000	229	220	35.4	10.2
80,000	267	258	40.7	11.7
90,000	284	272	42.6	12.6
100,000	289	279	44.5	12.6
120,000	300	290	48	12.6
150,000	313	304	52.6	12.6
160,000	345	332	54.4	12.9

(9) 일반여객선

톤 수	전장 (L_{oa})	수선간장 (L_{pp})	형폭 (B)	만재흘수 (d)	승객수
(IGT)	(m)	(m)	(m)	(m)	
500	51	45	11.0	2.7	140
1,000	65	59	13.2	3.4	280
1,500	75	68	14.7	4.0	410
2,000	83	76	15.9	4.4	550
3,000	101	93	15.2	5.2	830
5,000	120	110	17.6	6.2	1,380
7,000	135	124	19.4	7.1	1,930
9,000	147	135	20.9	7.7	2,490
10,000	152	140	21.5	8.0	2,760
20,000	193	177	26.2	10.4	5,520

(10) 페리선

톤 수	전장 (L_{oa})	수선간장 (L_{pp})	형폭 (B)	만재흘수 (d)
(IGT)	(m)	(m)	(m)	(m)
500	56	50	13.4	2.6
1,000	70	63	15.2	3.1
1,500	79	72	16.4	3.5
2,000	87	79	17.3	3.7
3,000	99	90	18.7	4.2
5,000	116	106	20.6	4.7
10,000	145	133	23.8	5.7
20,000	176	162	27.0	6.6
30,000	197	182	29.1	6.9
50,000	228	211	30.4	7.3
70,000	251	232	32.9	7.5

참고 표 (4.1-1) 대상선박의 일반적 주요치수(계속)

(11) 크루즈 여객선

톤 수	전장 (L_{oa})	수선간장 (L_{pp})	형폭 (B)	만재흘수 (d)	승객수
(IGT)	(m)	(m)	(m)	(m)	
3,000	96	85	15.5	4.6	100
5,000	114	101	17.7	5.2	200
10,000	144	126	21.1	6.2	300
20,000	181	158	25.1	7.4	600
30,000	207	180	27.8	7.7	900
50,000	245	212	31.6	7.7	1,500
70,000	271	231	32.5	8.1	2,200
100,000	300	264	36.7	8.5	3,100
120,000	315	282	36.7	8.7	3,700
130,000	323	290	37.8	8.8	4,000
150,000	336	306	40.0	8.9	4,600
160,000	342	314	41.0	9.0	4,900
225,000	361	331	47.0	9.3	6,900

참고 표 (4.1-2) 대상선박을 특정할 수 없는 경우의 소형화물선의 주요치수

톤 수	전장 (L_{oa})	수선간장 (L_{pp})	형폭 (B)	만재흘수 (d)
(DWT)	(m)	(m)	(m)	(m)
500	48	44	8.6	3.2
700	54	50	9.4	3.6

참고 표 (4.1-3) 어선의 표준선형

선종	톤수 (GT)	표 준 선 형 (m)					
		길 이 (m)	폭 (m)	선 심 (m)	전 장 (m)	전 폭 (m)	만재 흘수 (m)
일 반 어 선	1	5.5	1.7	0.7	7.2	2.0	0.6
	3	7.3	2.2	1.0	9.3	2.5	0.8
	5	9.6	2.9	1.1	12.1	3.3	0.9
	8	12.1	3.5	1.2	15.7	4.0	1.0
	10	14.1	3.9	1.4	17.8	4.5	1.1
	13	15.2	4.1	1.5	19.2	4.7	1.3
	15	16.3	4.3	1.6	20.5	4.9	1.3
	20	17.5	4.5	1.8	22.1	5.1	1.5
	30	20.6	4.8	2.0	25.1	5.4	1.7
	50	23.0	5.2	2.4	27.8	5.9	2.1
	60	26.9	5.6	2.6	32.5	6.3	2.5
	70	27.0	6.2	2.8	32.7	7.0	2.6
	100	29.3	6.3	3.1	35.5	7.1	2.7
	120	31.6	6.5	3.2	37.3	7.3	3.1
	200	35.9	7.0	4.2	41.5	7.9	3.2
	300	45.0	8.3	5.1	50.4	8.7	4.2
	350	46.9	8.7	5.4	52.5	9.1	4.3
	420	48.9	8.8	5.5	54.8	9.2	4.3
	500	51.5	9.1	5.7	57.7	9.6	4.3
양 식 어 선	1	5.7	1.8	0.6	7.4	2.0	0.6
	3	6.9	2.2	0.9	8.8	2.5	0.7
	5	10.1	3.6	1.0	12.7	4.2	0.8
	8	11.8	4.3	1.1	15.3	4.9	0.8
	10	13.9	4.4	1.3	17.5	5.0	1.0
	13	15.4	4.5	1.4	19.4	5.2	1.3
	15	16.1	4.6	1.5	20.2	5.3	1.3
	20	17.5	4.7	1.7	22.1	5.3	1.5
	30	20.0	4.8	2.08	24.4	5.4	1.8

주) 1) 어선의 표준선형 및 선석치수는 이용어선 현황을 조사하여 이용어선이 안전하고 원활하게 이용할 수 있도록 정하여야 하며, 본 참고 표는 특정의 대상어선이 없을 경우에 참조한다.
2) 톤수(GT)는 국내총톤수를 의미한다.

참고 표 (4.1-4) 주요 크루즈 선사의 선박제원

Class		총톤수 (IGT)	전장 (m)	흘수 (m)	마스트높이 (m)	전폭 (m)
Carnival Corporation	Fantasy	70,367	260.60	7.77	54.25	36.00
	Spirit	88,500	293.52	7.77	52.50	38.80
	Destiny	101,353	272.19	8.23	60.96	35.54
	Triumph	101,509	272.19	8.23	64.00	35.54
	Conquest	110,000	290.47	8.23	64.00	35.54
	Splendor	113,300	289.56	8.23	64.00	-
	Dream	130,000	306.10	8.23	64.00	-
	Vista	135,000	321.56	8.53	64.00	-

Class		총톤수 (IGT)	전장 (m)	흘수 (m)	마스트높이 (m)	전폭 (m)
MSC Cruises	Lirica	58,825	251.30	6.60	47.24	28.80
	Musica	92,409	293.80	7.90	51.82	32.20
	Fantasia	137,940	333.30	8.50	59.44	37.92
	Seaside	152,050	323.00	8.80	-	41.00

Class		총톤수 (IGT)	전장 (m)	흘수 (m)	마스트높이 (m)	전폭 (m)
Royal Caribbean	Sovereign	73,192	268.32	7.85	52.00	36.00
	Vision	78,340	279.00	7.90	52.00	35.60
	Radiance	90,090	293.20	8.50	52.50	39.80
	Voyager	137,276	311.12	9.10	63.40	39.04
	Freedom	154,407	338.04	8.80	67.00	39.04
	Quantum	168,666	347.17	8.82	-	49.47
	Oasis	225,282	360.00	9.32	72.00	65.70

Class		총톤수 (IGT)	전장 (m)	흘수 (m)	마스트높이 (m)	전폭 (m)
Norwegian Cruise Line	Sun	78,309	258.50	8.00	54.25	36.00
	Spirit	75,904	268.60	8.42	49.38	32.30
	Dawn	92,250	294.13	8.20	51.82	32.30
	Jewel	93,502	294.13	8.60	54.25	37.80
	Norwegian	155,870	329.45	9.03	60.96	40.64
	Breakaway	145,660	325.65	8.60	59.44	39.71
	Plus	165,157	325.90	8.60	-	41.40

자료 출처 : PIANC Report No 152-2016(Guidelines for cruise terminals) (Lloyd Register Marine)

(3) 선박의 마스트 높이

가. 공선시 선종별 수면에서의 최대 마스트 높이는 국제수상교통시설협회(PIANC, 2022)에서 제시하는 마스트 높이 자료를 참고하여 정할 수 있다. 다만, 수면에서의 최대 마스트 높이는 선박의 화물적재량, 파랑에 의한 동요 등에 의해 달라질 수 있다.

나. 선박의 마스트 높이는 동일종류, 동일톤수의 선박에 있어서도 약간 차이가 있기 때문에 항로를 횡단하는 교량 등의 설계에서는 대상선박의 마스트 높이에 대한 분석을 하여야 한다.

[참고문헌]

1) 한국항만협회 (2023). 항만 및 어항시설 설계를 위한 선박제원 통계분석

2) PIANC (2022). Ship dimensions and data for design of marine infrastructure (MarCom WG-235), Appendix-A

3) 日本港灣協會 (2018). 港灣の施設の技術上の基準·同解說

4.1.2 선박에 의하여 발생되는 외력

4.1.2.1 일반사항

(1) 접안 시나 계류 시 선박에 의한 계류시설에 작용하는 외력은 대상선박의 제원, 접안방법 및 접안속도, 계류시설의 구조, 계류방법, 계류시스템의 성질, 바람, 파도, 조류 등의 영향을 고려하여 정한다.
(2) 접안 시나 계류 시 선박으로 인한 계류시설에 작용하는 하중으로는 선박의 접안 시 발생하는 하중과 계류선박의 동요에 의하여 발생하는 하중이 있다.

[해 설]

(1) 일반적으로 계류시설의 설계에서는 접안 시 선박의 접안력, 계류 시에는 선박에 작용하는 파력, 풍압력 및 조류에 의한 유압력을 받아 동요하는 선박으로 인해 계류시설에 작용하는 충격력 및 견인력을 고려한다.
특히, 외해에서 발생한 장주기파가 직접 내습하는 항만의 계류시설이나 시버스 등의 외해부나 항 입구부에 시설된 계류시설 또는 항내에서 대피하는 선박이 이용하는 계류시설 등에서는 선박에 작용하는 파력의 영향이 크므로 그의 영향을 충분히 고려하여야 한다.
(2) 선박으로 인해 계류시설에 작용하는 접안력은 선박의 접안에너지에 근거하여 방충공의 변위복원력 특성을 사용하여 계산한다.
(3) 계류 중 선박의 동요에 의하여 생기는 견인력이나 충격력은 선박에 작용하는 파력, 풍압력, 조류에 의한 유압력, 계류시스템의 특성 등을 근거로 하여 동요계산을 한다.

[참 고]

(1) 계류시설의 기본설계에 있어서 선박하중이 지배적인 요소가 되는 경우는 일반적으로 적다.
그러나 대형탱커나 대형광석선이 계류하는 시버스, 설계진도가 적은 경우의 잔교나 항내 대피용 계류시설 등의 설계에서는 선박하중이 지배적인 요소가 되므로 선박하중에 대해서 충분히 유의하여야 한다.
(2) 일반적으로 방충공의 설계에는 선박의 접안력과 계류선박의 동요에 의한 충격력, 또 계선주의 설계에서는 선박에 작용하는 풍압력이 지배적인 요인이 된다.
접안력이나 계류선박의 동요에 의한 충격력은 대상선박의 선형, 접안속도, 접안방법, 파의 제원, 방충공의 변위복원력 특성 등의 영향이 크며, 또한 풍압력은 대상선박의 선형 등의 영향이 크기 때문에 설계에 있어서는 대상선박의 제 조건, 파의 제원, 계류시설의 구조나 계류시스템의 특성 등을 충분히 조사하여 적용하여야 한다.

4.1.2.2 선박의 접안 시 발생하는 외력

(1) 접안에너지

선박의 접안에너지는 운동역학적 방법에 의해서 계산하여야 하며 다음 식에 의하여 계산한다.

$$E_f = (\frac{M_s V^2}{2}) C_e C_m C_s C_c \qquad \text{식 (4.1-1)}$$

여기서, E_f : 선박의 접안에너지(kN·m)
M_s : 선박의 질량(t)
V : 선박의 접안속도(m/s)
C_e : 편심계수
C_m : 가상질량 계수
C_s : 유연성계수(표준은 1.0)
C_c : 선석의 형상계수(표준은 1.0)

[해 설]

선박의 접안에너지를 구하는 방법은 운동역학적방법외에 통계적 방법, 수리모형실험에 의한 방법, 유체역학적 모델 등이 있으나 이들에 대해서는 설계에 필요한 데이터가 부족하거나 계산을 위한 여러 가지 정수가 충분히 밝혀지지 않았기 때문에 운동역학적인 방법을 일반적으로 사용한다.

[참 고]

(1) 선박의 운동에너지 Es(단위 : kN·m)는 선박이 횡접안으로 이동한다고 보면 $(M_s V^2)/2$과 같다.
선박이 돌핀, 방충재가 부착된 안벽 또는 방충판 등에 접안하는 경우, 방충재에 의하여 흡수되는 에너지를 고려한 값, 즉 선박의 접안에너지 $E_f = f \times Es$가 된다.
여기서, $E_f = C_e \times C_m \times C_S \times C_c$이다.

(2) 선박의 재화중량톤수(DWT), 또는 총톤수(GT)와 만재시의 배수량(DT)과의 관계식으로 다음 식을 사용하여도 좋다.

화물선	DT = 1.174DWT
컨테이너선	DT = 1.385DWT
탱 커	DT = 1.235DWT
롤온·롤오프선	DT = 1.022GT
자동차전용선	DT = 0.751GT

LPG선 DT = 1.400GT
LNG선 DT = 1.118GT
여객선 DT = 0.573GT
페리선(장거리) DT = 1.240GT
페리선(중·단거리) DT = 1.279GT

여기서, DT : 선박의 만재 시 배수톤(t)
GT : 선박의 총톤수(GT)
DWT : 선박의 재화중량톤수(DWT)

(3) 선박의 유연성계수(C_S)
선박의 유연성계수는 선박의 접안에너지에 대한 선박외판의 변형에 의해서 흡수되는 접안에너지의 비율이며 일반적으로 선박외판의 변형에 의해서 흡수되는 에너지는 적으므로 C_S값은 1.0을 취한다.

(4) 선석의 형상계수(C_c)
선석의 형상계수는 선박 접안 시 선박과 계류시설과의 사이에 있는 수괴(水塊)가 압축되는 완충작용이 방충재에 의해서 흡수되는 에너지를 감소시키는 효과를 고려하여야 하나 이 현상은 접안각도, 선박외판의 형상, 언더 킬 클리어런스(Under keel clearance) 및 접안속도 등에 관계되는 것으로 아직 해명되지 않는 부분이 많다.
C_c 값은 1.0을 표준으로 하고 있다.

(5) 안전계수(Fs)
해외 기준인 BS 6349-4와 PIANC의 “Guideline for the design of fenders systems:2002”에서는 선박의 접안에너지 산정 시 비정상적인 충격력을 고려하여 안전계수(Fs)를 적용하도록 하고 있다. 비정상적인 충격력은 선박 조종자의 실수, 오작동, 바람이나 조류의 급변 등 예상치 못한 여건변화에 의해 발생할 수 있으며, 설계자는 현장여건에 따라 안전계수를 적용하여 선박의 접안에너지를 산정할 수 있다.[신설, 2018.09.27.개정]

(2) 접안속도
선박의 접안속도는 대상선박의 선형, 재화상태, 계류시설의 위치 및 구조, 기상 및 해상상황, 예인선의 유무, 크기 등을 고려하고 실측값 또는 기왕의 접안속도 실측자료에 근거하여 정하여야 한다.

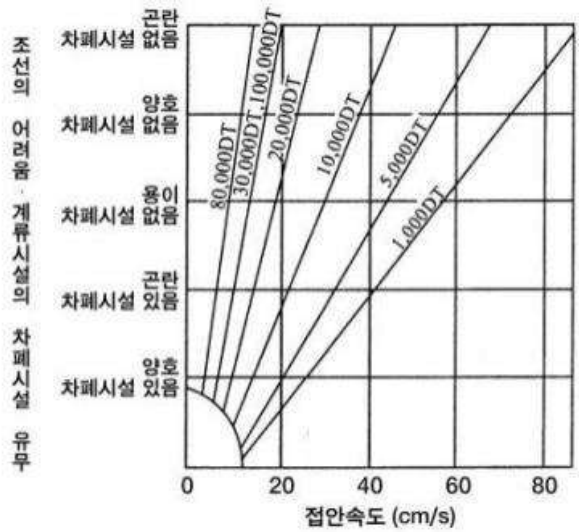
[참고]

(1) 대형화물선과 초대형유조선(Tanker)의 접안상황을 보면, 계류시설에서 약간 떨어진 위치에 계류시설과 평행이 되도록 일단 정지한 후 수 척의 예인선으로 천천히 밀면서 접안하며, 이때에도 접안돌핀(시설)에 설치된 속도계(Docking sonar system)를 보면서

계류하기 때문에 10～15㎝/s정도의 속도를 유지하도록 하며, 바람이 계류시설 방향 즉 접안방향으로 강하게 부는 경우, 예인선으로 역방향으로 당기면서 접안하기도 한다.

(2) 페리, 컨테이너선(주로 RO/RO선) 등의 특수선, 혹은 소형화물선 등은 예인선을 사용하지 않고 자력으로 접안하거나 선수 또는 선미에 램프(Ramp)가 있는 경우, 접안시설 기준선에 평행으로 이동하는 등 이들의 접안방법에 따른 실측값을 근거하여 접안속도를 결정해야 한다.

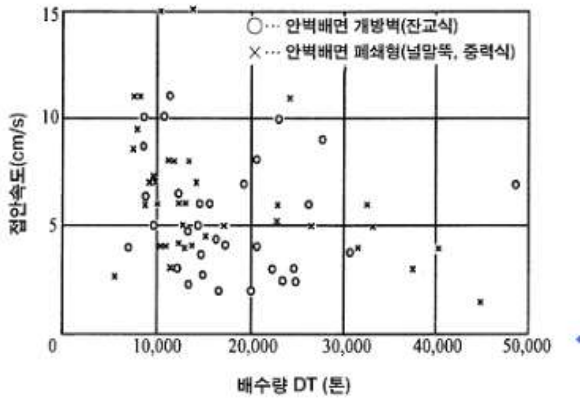
(3) 참고 그림 (4.1-1)은 경험적인 데이터에 의한 조선조건과 선박의 접안속도와의 관계를 표시한 것이며, 계류시설이 외해에 있을 때나 소형선에 대해서는 보다 큰 접안속도를 사용해야 함을 나타낸 것이다.



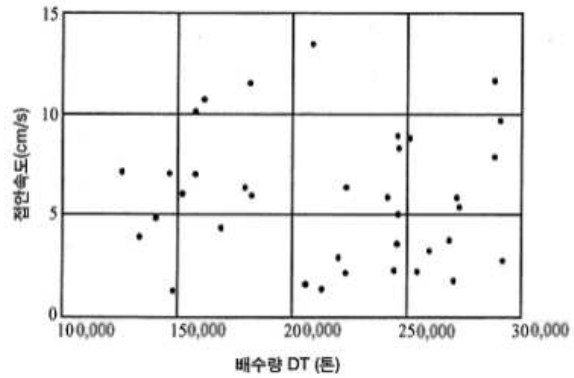
참고 그림 (4.1-1) 조선조건 및 선형과 접안속도와의 관계

(4) 접안속도에 관한 조사결과에 의하면 일반화물선에서는 거의가 10㎝/s 이하이며, 10㎝/s를 넘는 것은 없다[참고 그림 (4.1-2) 참조]. 대형탱커의 접안속도도 10㎝/s를 넘는 것이 별로 없으며, 자력으로 접안하는 페리는 10㎝/s 이하가 대부분의 경우지만, 15㎝/s를 넘는 경우도 있으므로 페리부두 설계 시 충분한 주의가 필요하다.

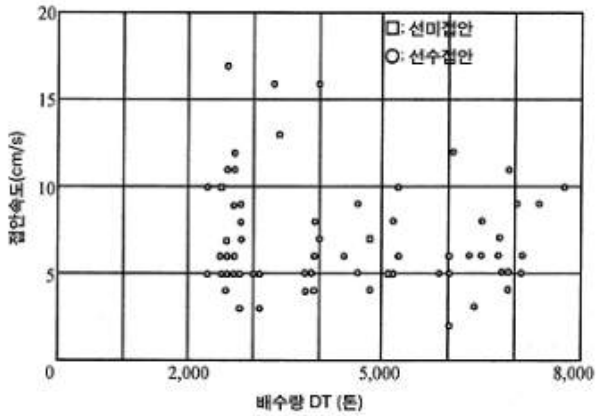
또한, 상기의 조사결과에 의하면 선박의 재화상태가 접안속도에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, 만재상태에서 여유수심이 적으면 접안속도가 적고 반대로 경화상태로 여유수심이 많으면 접안속도가 큰 경향이 있다.



참고 그림 (4.1-2) 일반화물선의 접안속도와 배수량



참고 그림 (4.1-3) 대형탱커의 접안속도와 배수량

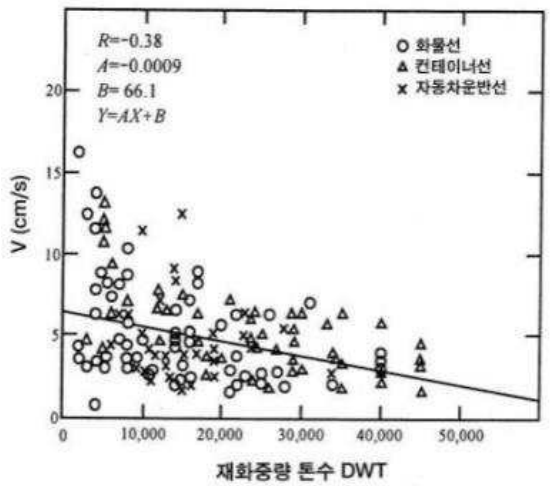


참고 그림 (4.1-4) 페리의 선축방향 접안속도와 배수량

화물선, 컨테이너선, 자동차 운반선 등 접안속도의 평균값은 조사통계에 의하면 참고 표 (4.1-7)과 같다. 또 참고 그림 (4.1-5)는 재화중량톤수와 접안속도의 관계를 나타낸 것이다. 이 조사통계에서도 선형이 클수록 접안속도가 적은 경향으로 나타난다. 또한 관측된 접안속도의 최댓값은 10,000DWT 미만에서는 거의 15㎝/s, 10,000DWT 이상은 거의 10㎝/s 이다.

참고 표 (4.1-7) 선박의 재화중량톤수와 접안속도의 평균값

재화중량톤수 (DWT)	접안속도(㎝/s)			
	화물선	컨테이너선	자동차운반선	전선박
1,000급	8.1	–	–	8.1
5,000급	6.7	7.8	–	7.2
10,000급	5.0	7.2	4.6	5.3
15,000급	4.5	4.9	4.7	4.6
30,000급	3.9	4.1	4.4	4.1
50,000급	3.5	3.4	–	3.4
전 선박	5.2	5.0	4.6	5.0



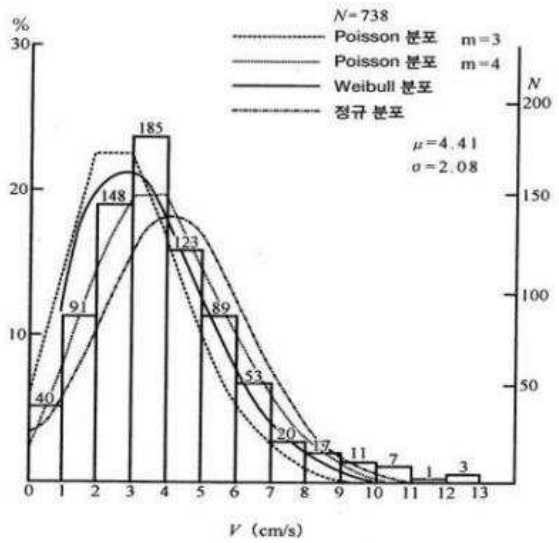
참고 그림 (4.1-5) 재화중량톤수와 접안속도의 관계

(5) 200,000DWT급의 대형탱커용 돌핀에서 접안속도 실측기록을 보면 접안속도의 빈도분포 [참고 그림 (4.1-6) 참조]에서 접안속도 실측값의 최대는 13㎝/s이다. 이는 미초과확률(누적발생확률)로 99.6%에 해당된다. 같은 방법으로 평균값 μ는 4.4㎝/s, 표준편차 σ는 2.08㎝/s이다. 이로부터 와이블(Weibull) 분포에 준한 확률밀도 $f(V)$를 구하면 다음 식과 같다.

$$f(V) = \frac{V}{0.8}\exp(-V^{1.25}) \qquad \text{참고 식 (4.1-1)}$$

여기서, V : 접안속도(㎝/s)

또 접안속도의 1/1000 기댓값을 구하면 14.5㎝/s가 된다. 접안속도를 실측한 돌핀(또는 해양구조물(Sea berth))의 설계접안속도는 15~20㎝/s이다.



참고 그림 (4.1-6) 접안속도의 빈도분포

(6) 소형화물선이나 어선 등의 소형 선박은 접안 시에 예인선을 사용하지 않고 자력으로 접안하기 때문에 대형선에 비하여 일반적으로 접안속도가 크고, 경우에 따라서는 30㎝/s 이상이 되기도 하므로 주의를 요한다. 이 때문에 특히 소형선박의 접안속도는 실측값 등을 근거로 하여 신중하게 결정하여야 한다.

(7) 위와 같이 신중한 접안방법을 강구하지 않는 경우나 흐름이 작용하는 선석에서 중·소형 선박 등의 접안에 대해서는 표류속도를 고려하고 실측자료 등에 근거하여 접안속도를 정할 결정하여야 한다.

(8) 어선 등이 사용할 가능성이 있는 계류시설의 설계에서는 어항에서의 설계기준 및 실적에 근거하여 설계한다.

(3) 편심계수

편심계수는 다음 식으로 계산하는 것을 기준으로 한다.

$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{\ell}{r}\right)^2} \qquad \text{식 (4.1-2)}$$

여기서, ℓ : 선박의 접촉면으로부터 계류시설의 기준선에 평행하게 측정한 당해선박의 중심까지 거리(m)

r : 선박의 중심을 통하는 연직축 둘레의 회전반경(m)

[참 고]

(1) 접안조선중의 선박은 선석기준선과는 평행하지 않고 선박은 계류시설(방충재)과 접촉한 후 회전(Yawing)을 시작하고 롤링을 한다. 그 결과 운동에너지의 일부가 소모된다. 그러나 롤링(Rolling)에 의한 에너지의 소모는 회전(Yawing)에 비해 적으므로 무시되며 식 (4.1-2)는 회전(Yawing)에 의한 에너지 소모를 고려하고 있다.

(2) r/L_{pp}는 선박의 블록계수 C_b와의 관계로 참고 그림 (4.1-7)에서 구할 수 있고, 근사적으로는 다음 식을 사용하여도 좋다.

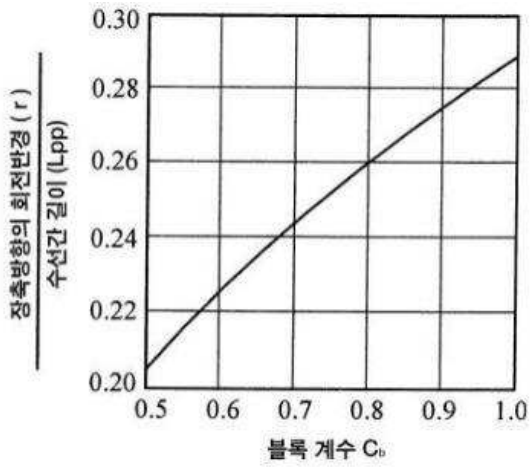
$$r = (0.19C_b + 0.11)L_{pp}$$ 참고 식 (4.1-2)

여기서, r : 전반경(또는 환동반경)으로 선박의 수직 축주변의 관성모멘트 I_z와의 사이에서 $I_z = M_s \cdot r^2$의 관계

L_{pp} : 수선간 길이(m)

C_b : 블록계수 , $C_b = \nabla/(L_{pp}Bd)$

(∇ : 선박의 배수부피(㎥), B : 형폭(m), d : 흘수(m))



참고 그림 (4.1-7) 장축방향의 회전반경과 블록계수와의 관계(Myer. 1969)

(3) 선박이 P점에서 접안시설의 방충재 F_1과 F_2에 접촉할 때 계류시설에 평행하게 측정한 접촉점에서 선박의 중심까지의 거리 ℓ은 다음 2가지 식으로 구할 수 있다.

$$L_1 = \{0.5\alpha + e(1-k)\}\ L_{pp}\cos\theta$$ 참고 식 (4.1-3)

$$L_2 = \{0.5\alpha - ek\}\ L_{pp}\cos\theta$$ 참고 식 (4.1-4)

여기서, L_1 : 선박이 방충재 F_1에 접촉할 때의 계류시설에 평행하게 측정한 접촉점에서 선박의 중심까지의 거리

L_2 : 선박이 방충재 F_2에 접촉할 때의 계류시설에 평행하게 측정한 접촉점에서 선박의 중심까지의 거리

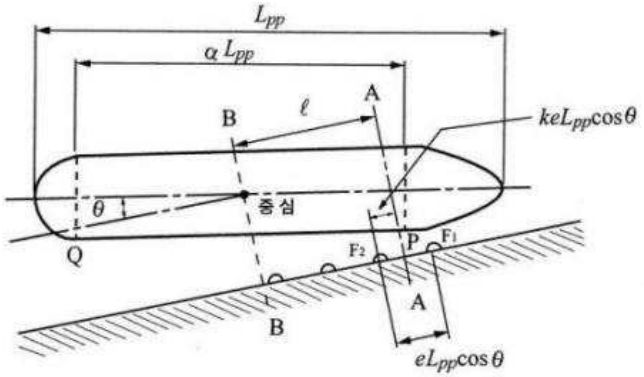
θ : 접안각도(설계조건에 주어진 값으로 통상 0~10°정도가 많다)

e : 배의 장축방향에서 관측한 방충재 간격과 수선간 길이의 비

α : 방충재와 접촉점 높이에서 선박측면의 평행현의 길이와 수선간 길이의 비 (일반적으로 1/2~1/3이다)

k : 방충재 F_1과 F_2의 사이에서 선박과 접안시설이 가장 가까운 점을 표시하는 계수, $0 < k < 1$로서 일반적으로 $k = 0.5$ 정도이다.

설계조건



참고 그림 (4.1-8) 선박의 접안상황

(4) 가상질량계수

가상질량계수는 다음 식으로 계산하는 것을 기준으로 한다.

$$C_m = 1 + \frac{\pi}{2C_b} \times \frac{d}{B} \qquad \text{식 (4.1-3)}$$

$$C_b = \frac{\nabla}{L_{pp}Bd}$$

여기서, C_b : 블록계수

∇ : 선박의 배수부피(㎥)

L_{pp} : 수선간 길이(m)

B : 형폭(m)

d : 만재흘수(m)

[참 고]

(1) 선박의 접안 시에는 선박의 질량(M_s)과 선박주변 수괴의 질량(M_w)이 동시에 감속된다. 따라서 수괴의 질량에 의한 관성력이 선박에 부가된다.
이로 인한 가상질량 계수는 다음 식으로 구한다.

$$C_m = \frac{M_s + M_w}{M_s} \qquad \text{참고 식 (4.1-5)}$$

여기서, C_m : 가상질량계수

M_s : 선박의 질량(선박의 배수량/중력가속도)

M_w : 선박주변의 수괴질량(부가질량) (t)

(2) 수선간 길이(L_{pp}), 형폭(B), 만재흘수(d)는 대상선박의 치수를 사용하지만 표준선형으로 사용할 경우 표준선형표를 사용할 수 있다. 표준선형에 대한 수선간 길이(L_{pp})는 참고표 (4.1-1)을 참고할 수 있다.

4.1.2.3 계류 중 선박의 동요에 의하여 발생하는 외력

(1) 계류선박의 동요
계류선박의 동요에 의하여 발생하는 외력은 선박에 작용하는 파력, 풍압력, 물의 흐름에 의한 유압력 등을 설정하고 동요계산을 한다.

[해 설]

(1) 외해나 항입구 부근에 시설된 계류시설, 장주기파의 침입이 예상되는 항만의 계류시설에 계류된 선박 또는 악천후 시에 계류하는 선박에 대하여는 파도와 바람, 흐름 등에 의한 하중의 작용을 받아 선박이 동요하게 된다. 계류선박의 동요에 의한 운동에너지가 접안에너지를 초과하는 경우가 있기 때문에 계선주 또는 방충재의 설계 시 계류선박의 동요에 의한 견인력 또는 충격력을 고려하여야 한다.
(2) 계류선박의 동요에 의하여 발생하는 외력은 선박에 작용하는 파력, 풍압력, 흐름에 의한 유압력, 계류시스템의 특성을 근거로 동요계산을 하고 있다.

[참 고]

(1) 계류선박의 동요는 하중의 불규칙성, 계류시스템의 변위복원력 특성의 비선형성을 고려하여 수치모형실험 등에 의하여 구한다.
(2) 대형탱커와 같이 블록계수가 0.7～0.8인 선박에서는 선체를 타원주체로 보고 근사적으로 파력을 구할 수 있다.
(3) 작업선과 같이 상자형 단면형상일 때에는 선체를 구형단면 부체 또는 직사각 부체로 보고 파력을 구할 수 있다.

(2) 선박에 작용하는 파력
계류선박에 작용하는 파력은 선형이나 파의 제원을 고려하여 계산한다.

[해 설]

계류선박에 작용하는 파력은 스트립법, 특이점분포법(特異點分布法), 경계요소법(境界要素法), 유한요소법(有限要素法) 등을 사용하는데 선박에서는 스트립법을 가장 많이 사용한다.

[참 고]

(1) 스트립법에 의한 파력
① 선체에 작용하는 규칙적인 파력
선체에 작용하는 파력은 프루드 크릴로프의 힘(Froude-kriloff force)과 선체에 의한 회절파력의 힘(Diffraction force)의 합으로 된다.

② 프루드 크릴로프의 힘

선체를 통과하는 파에 의한 힘으로 입사파의 힘과 접안시설에 의한 반사파에 의한 힘의 합으로 된다.

③ 반사파의 힘

선박에 의한 반사파의 힘은 입사파가 선체에 의해 분산될 때의 압력의 변화로 인해 발생하는 힘으로 이 압력의 변화를 상대적으로 선체를 운동하게 하여 라디에이션의 유체력(Radiation force), 정지유체 속을 선박이 어느 정도의 속도로 운동할 때의 조파저항력(造波抵抗力)으로 바꾸어 추정할 수 있다. 이때의 선박의 속도는 선체단면과 입사파의 물입자와의 상대속도가 같다고 가정하고 이 속도를 등가상대속도(等價相對速度)라 부른다.

④ 선체 전체에 작용하는 힘

선체단면에 작용하는 프루드 크릴로프의 힘과 반사파의 힘을 선박의 장축방향에 따라 $x = -L_{PP}/2$ 부터 $x = L_{PP}/2$까지 적분하여 선체전체에 파력을 구할 수 있다.

(2) 회절파이론에 의한 파력

선박이 블록계수 C_b : 0.7~0.8정도이고 배후에 반사구조물이 없고 선박의 동요가 작다고 보아질 때에는 선박을 타원주체로 가정하고 회절파 이론을 근거로 한 식에 의한 파력을 계산할 수 있다.

4.1.2.4 선박에 작용하는 풍하중

계류선박에 작용하는 풍하중은 풍속의 시간적 변동성, 선체의 단면 형상에 따라 풍항력계수의 특성을 고려하여 계산한다.

[참 고]

(1) 선박에 작용하는 풍하중은 x, y방향의 풍항력계수 C_x, C_y와 선박중심축 회전의 풍압모멘트계수 C_M을 써서 다음 식으로 구한다.

참고 식 (4.1-6)

$$\left.\begin{aligned} R_x &= \frac{1}{2}\rho_a U^2 A_r C_x \\ R_y &= \frac{1}{2}\rho_a U^2 A_L C_y \\ R_M &= \frac{1}{2}\rho_a U^2 A_L L_{pp} C_M \end{aligned}\right\}$$

여기서, C_x : x방향(선체정면방향)의 풍항력 계수
C_y : y방향(선체측면방향)의 풍항력 계수
C_M : 미드십선회의 풍압모멘트 계수
R_x : 풍하중 합력의 x방향성분(kN)
R_y : 풍하중 합력의 y방향성분(kN)
R_M : 풍하중 합력의 선박중심축 회전 모멘트(kN.m)
ρ_a : 공기의 밀도,
ρ_a = 1.23×10-3(t/㎥)
U : 풍속(m/s)
A_r : 수면상 선체 정면 투영면적(㎡)
A_L : 수면상 선체 측면 투영면적(㎡)
L_{pp} : 수선간 길이(m)

(2) 풍압계수 C_x, C_y, C_M은 특정선박에 대한 풍동실험(風洞實驗)이나 수조에서의 실험에서 구하여야 한다. 이와 같은 실험은 시간, 비용 등이 들기 때문에 기왕의 풍동실험이나 수조에서의 실험결과를 근거하여 풍항력계수의 계산식을 사용하여 구할 수 있다.

(3) 풍속(U)는 최대풍속(10분간 평균 풍속)을 사용한다.

(4) 수면상의 선체 정면 투영면적과 수면상 선체 측면 투영면적은 대상선박의 치수를 사용하여야 한다. 표준선형에 대해서는 회귀식을 참고로 사용하여 구할 수 있다.

(5) 풍속은 시간이나 공간적으로 변동하므로 계류 선박의 동요 해석에서는 풍속은 변동풍(変動風)으로 하고 시간적인 변동풍속의 스펙트럼은 더번포트(Davenport)나 히노(日野)가 제시한 다음의 주파수 스펙트럼은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$
\left.
\begin{aligned}
& fS_u(f) = 4K_r U_{10}^2 \frac{X^2}{(1+X^2)^{4/3}} \\
& X = 1200 f / U_{10} \\
& S_u(f) = 2.856 \frac{K_r U_{10}^2}{\beta} \left\{ 1 + (\frac{f}{\beta})^2 \right\}^{-5/6} \\
& \beta = 1.169 \times 10^{-3} (\frac{U_{10}\alpha}{\sqrt{K_\gamma}}) (\frac{z}{10})^{2m\alpha - 1}
\end{aligned}
\right\}
$$

참고 식 (4.1-7)

여기서, $S_u(f)$: 주파수 스펙트럼(㎡/s)

U_{10} : 기준 높이 10m에서의 평균풍속(m/s)

K_r : 기준 높이의 풍속으로 정의한 표면 마찰계수로 해상에서는 K_r = 0.003이 적당하다.

α : 풍속의 수직분포를 지켜야 할 법칙으로 표시한 때의 지켜야 할 지수 ($U \propto (z/10)^{\alpha}$)

z : 지표면 또는 수면상의 높이(m)

m : 대기의 안정도에 관한 수정계수, 폭풍우에 대하여 $m = 2$이다.

4.1.2.5 선박에 작용하는 조류에 의한 유체압력

선박에 작용하는 흐름에 의한 유체압력은 선수방향에서 흐름에 의한 유체압력과 선측 방향에서 흐름에 의한 유체압력을 산정하여 정한다.

[참 고]

(1) 선수 방향에서 흐름에 의한 유체압력
선수 방향에서 흐름과 선박 사이에서 발생되는 유체압력은 다음 식으로 계산된다.

$$R_f = 0.0014SV^2$$ 참고 식 (4.1-8)

여기서, R_f : 유체압력(kN)
S : 침수면적(㎡)
V : 유속(m/s)

(2) 선측 방향에서 흐름에 의한 유체압력
선측 방향에서 흐름에 의한 유체압력은 다음 식으로 계산된다.

$$R = 0.5\rho_o CV^2 B$$ 참고 식 (4.1-9)

여기서, R : 유체압력(kN)
ρ_o : 해수의 밀도(t/㎥), (표준값 : ρ_o = 1.03t/㎥)
C : 유압계수
V : 유속(m/s)
B : 흘수선 밑의 선체 측면 투영면적(㎡)

(3) 조류에 의한 유체압력은 마찰저항과 압력저항으로 나누어진다.
선수 방향에서 흐름에 대한 저항은 대부분 마찰저항이다. 측면에서 흐름에 대해서는 대부분이 압력저항으로 생각할 수 있다. 그러나 양자를 엄밀하게 구분하기란 어렵다. 다음 식은 프루드(R. E. Froude)식에 $\rho_w = 1.03$, $t = 15℃$, $\lambda = 0.14$를 대입한 것을 간략화 한 것이다.

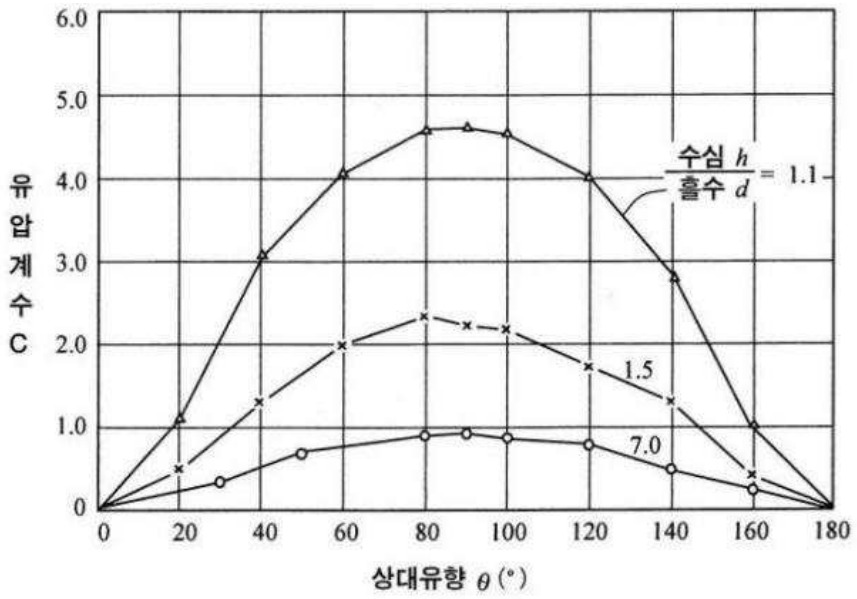
$$R_f = \rho_w g\lambda \ \{1 + 0.0043(15 - t)\} \ SV^{1.825}$$ 참고 식 (4.1-10)

여기서, R_f : 유체압력(N)
ρ_w : 해수의 비중, (표준값 : ρ_w=1.03)
g : 중력 가속도(m/s2)
t : 온도(℃)
S : 침수면적(㎡)

V : 유속(m/s)
λ : 계수
선박의 전장(全長) 30m일 경우 λ : 0.14741
선박의 전장(全長) 250m일 경우 λ : 0.13783

(4) 유압계수 C는 선박의 흐름의 상대유향 θ에 따라 변화하지만 참고 그림 (4.1-9)에서 구한 값을 참고로 할 수 있다.

(5) 침수면적 S, 흘수면 하의 선체 측면 투영면적 B는 통계 해석에서 구해진 회귀식에 의한 값을 사용하여도 된다.



참고 그림 (4.1-9) 유압계수 C

4.1.2.6 계류시스템의 특성

계류시스템의 동요 계산 시에는 계류라인이나 방충재 등의 계류시스템의 변위복원력 특성을 모델(Model)화 한다.

[해 설]

계류라인이나 방충재 등의 변위 복원력 특성은 일반적으로 비선형 특성이 있다.
또한 방충재의 변위 복원력 특성에 대해서는 히스테리시스를 갖는 경우도 있으므로 이를 모델화하여 동요계산을 하여야 한다.

4.1.2.7 계선주에 작용하는 힘

(1) 계선주에 작용하는 선박의 견인력은 표 (4.1-1)의 값을 기준으로 한다.
직주에 있어서는 아래 표의 값을 규정한 선박의 견인력이 수평방향으로 작용하고, 그 반(1/2)의 견인력이 수직방향으로 동시에 작용하는 것을 기준으로 한다.
곡주에서는 아래 표의 값을 규정한 선박의 견인력이 모든 방향에 작용하는 것을 기준으로 하고 있다.

표 (4.1-1) 선박의 견인력

선박의 총톤수 (GT,톤)	직주에 작용하는 견인력 (kN, {t})	곡주에 작용하는 견인력 (kN, {t})
200톤 이상 500톤이하	150 {15}	150 {15}
500 〃 1,000 〃	250 {25}	250 {25}
1,000 〃 2,000 〃	350 {35}	250 {25}
2,000 〃 3,000 〃	350 {35}	350 {35}
3,000 〃 5,000 〃	500 {50}	350 {35}
5,000 〃 10,000 〃	700 {70}	500 {50}
10,000 〃 20,000 〃	1,000 {100}	700 {70}
20,000 〃 50,000 〃	1,500 {150}	1,000 {100}
50,000 〃 100,000 〃	2,000 {200}	1,000 {100}
100,000 〃 150,000 〃	2,000 {200}	1,500 {150}
150,000 〃 200,000 〃	2,500 {250}	1,500 {150}
200,000 〃 250,000 〃	2,500 {250}	2,000 {200}

(2) 어선의 견인력은 표 (4.1-2)를 참조한다.

표 (4.1-2) 어선의 견인력

(단위 : kN)

어선 총톤 수	견인력(계선주 1기당)
10 ton 미만	10
10 ton 이상 ~ 150 ton 미만	30
50 ton 이상 ~ 1100 ton 미만	50
100 ton 이상 ~ 1200 ton 미만	70
200 ton 이상 ~ 1500 ton 미만	150
500 ton 이상 ~ 11,000 ton 미만	250

주 : 악천후 시의 계선주(환) 1기에 작용하는 견인력은 어선의 계류 척수 등을 고려하여 정한다.

[해 설]

직주는 폭풍 시에 선박을 계류하기 위한 선석 양단 부근의 계류시설 또는 그 부근의 기준선으로부터 떨어지게 설치하는 계선주이다. 또 곡주는 평상시에 선박을 계류 또는 이접안하기 위한 계류시설로 기준선 가까이에 설치하는 계선주이다.

[참 고]

(1) 계선주에 작용하는 견인력은 계류라인의 절단하중, 계류시설이 설치되는 지점의 기상·해상조건, 선박의 제원 등을 근거로 하여 필요에 따라 접안 중의 선박에 의한 힘, 계류 중의 선박의 풍압력, 동요에 의한 힘을 고려하여 계산하여야 한다.

(2) 선박의 총톤수가 5,000톤을 넘는 경우 선석이 일정한 계류시설의 중간부에 스프링라인을 걸기위한 계선주에서 계류라인이 2줄 이상 필요치 않을 경우에는 곡주에 작용하는 견인력은 표 (4.1-1)에 표시된 값의 반으로 한다.

(3) 표 (4.1-1)의 총톤수가 200톤이하 또는 100,000톤을 넘는 선박의 견인력이나 악천후시에도 선박을 계류하는 계류시설 및 외해 등 기상·해상조건의 영향을 받는 수역에 설치하는 계류시설에 작용하는 견인력은 기상·해상조건, 계류시설의 구조, 기왕의 견인력 실측자료 등을 감안하여 정한다.

(4) 직주에 작용하는 견인력은 직주가 안벽 기준선에서 선박 폭만큼 후방에 또는 브레스트라인(Breast line)이 선축과 45°의 방향으로 당겨지는 것으로 하고, 25～30m/s의 풍속에도 경화(輕貨)상태의 선박이 안전하게 계류할 수 있도록 선박에 작용하는 풍압력으로 구하는 것이다. 견인력은 계류라인 1～2줄의 절단강도에 상당한다. 또한 1,000GT 이하의 소형선에 대해서는 35m/s의 풍속을 견딜 수 있는 견인력으로 되어 있다.
곡주에 작용하는 견인력은 선수미(船首尾)가 선축과 25°이상의 방향에서 당기는 것으로 하고 경화 시에 대해서도 곡주가 15m/s의 풍속까지 계류할 수 있도록 선박에 작용하는 풍압력에서 구한 것이다. 이는 5,000GT 이하의 선박에 대한 계류라인의 1줄의 절단강도, 5,000GT를 넘는 경우에는 계류라인 2줄의 절단강도에 상당한다.
선석이 정해진 선석의 중간부에 설치하는 스프링라인용 곡주에 대한 견인력은 계류라인 1줄의 절단강도에 상당한다. 다만, 합성섬유삭에 관한 규정은 나일론삭, 비니론삭 B종은 사용실적이 적고 내마모성이 작은 이유로 소요의 안전율을 크게 잡고 있어 소요지름이 크고 절단하중도 크다. 따라서 나일론삭이나 비니론삭 B종을 사용하는 경우에는 상기 참고 (3)항의 규정은 적용되지 않는다. 이상과 같이 견인력의 산정은 풍압력 외에 선축방향에 2노트, 선축 직각방향에 0.6노트의 유속이 고려되어 있다.

(5) 200GT 이하 소형선의 견인력은 선박의 종류, 접안상황, 계류시설의 구조 등을 고려하여 결정하여야 한다. 즉 실제의 설계에서는 200GT 이하의 경우 직주에 작용하는 견인력은 150kN, 곡주에 작용하는 견인력은 50kN을 표준으로 하고 있다.

(6) 페리, 컨테이너선, 여객선 등의 견인력 산정은 바람의 수압면적(受壓面積)이 크기 때문에 상기 표 (4.1-1)을 사용할 때 주의를 요한다.

4.2 바람과 풍압력

4.2.1 바람과 풍압력의 일반사항

항만시설의 계획 및 설계에 있어서는 기상의 요소인 바람, 기압, 안개, 강우, 강설, 기온 등을 고려하여야 하며 이들 요소가 항만에 미치는 영향은 다음과 같다.

(1) 기압과 기압분포는 바람 또는 폭풍해일 발생의 지배적 요인이 된다.
(2) 바람은 파도 및 고조 발생의 요인이 되고 항구의 위치, 방향, 방파제의 방향 등의 결정에 영향을 준다. 또 항만시설 및 계류 중의 선박에 풍압이 작용하며, 하역 시나 기타 항만에서의 여러 가지 작업을 저해하는 요인으로 작용한다.
(3) 강우는 항만내의 배수시설 용량 결정에 주요인이 될 뿐 아니라 하역작업 등 여러 가지 작업의 저해요인이 된다.
(4) 안개는 선박의 항행 및 입출항에 지장을 주어 항만의 이용도를 저해시키는 요인이 된다.
(5) 적설은 항만시설의 적재하중에 영향을 미친다.
(6) 기온은 구조부재의 응력분포에 영향을 미치며 온도응력을 발생시킬 수 있다.

[참 고]

(1) 태풍에 의한 고조나 파랑발생의 계산은 태풍권내의 기압 실측값에 따라 후지다(藤田)의 식 또는 마이어스(Myers)식의 정수를 결정하고 기압분포를 가정하는 수가 많다.

$$p = p_\infty - \frac{\Delta p}{\sqrt{1+(\frac{r}{r_o})^2}} \quad \text{(후지다식)} \qquad \text{참고 식 (4.2-1)}$$

$$p = p_c + \Delta \exp(-\frac{r_o}{r}) \quad \text{(마이어스식)} \qquad \text{참고 식 (4.2-2)}$$

여기서, p : 태풍 중심에서부터의 거리 r점의 기압(hPa{mb})
r : 태풍 중심에서부터의 거리(km)
p_c : 태풍 중심의 기압(hPa{mb})
r_o : 태풍 중심에서부터 대략 최대 풍속 점까지의 거리(km)
Δp : 태풍 중심에서 기압의 깊이(hPa{mb}), $\Delta p = p_\infty - p_c$
p_∞ : $r \rightarrow \infty$의 기압(hPa{mb}), $p_\infty = p_c + \Delta p$ 일반적으로 태풍의 규모는 시간적으로 변동하므로 r_o , Δp는 시간의 함수로서 구하지 않으면 안 된다.

(2) 강우는 일반적으로 단기간에 강우량이 집중하는 뇌우(雷雨)와 태풍으로 대표되는 계속시간이 긴 강우로 나누어진다. 배수시설의 설계는 순간적인 유출량이 큰 경우와

유출시간이 긴 경우에 대한 강우강도를 결정하여야 한다. 뇌우 등 강우강도가 문제가 되는 하수도계획 등에는 샤먼식이나 탈보트식(Talbot)이 사용된다.

$$R = \frac{a}{t^n} \quad \text{(샤먼식)} \qquad \text{참고 식 (4.2-3)}$$

$$R = \frac{a}{t+b} \quad \text{(탈보트식)} \qquad \text{참고 식 (4.2-4)}$$

여기서, R : 강우 강도(㎜/h)
t : 강우 지속시간(min)
a, b, n : 정수(하수도시설기준 참조)

최대 강우량과 강우기간과의 관계는 $P = aT^n$ 으로 나타낼 수 있다.
최근에는 강우의 종류나 지형을 고려한 실험식이 제안되어 있다. 통상 관측되고 있는 1시간 강우량에서 1시간 이하의 스케일로 강우강도를 구하는 식이다.

$$R = 7.7 R_o T^{0.5} \qquad \text{참고 식 (4.2-5)}$$

여기서, R_o : 1시간 측정한 강우강도(㎜/h)
N년 확률로 60분 우량이 있을 때에는 이를 사용한다.
T : 구하고자 하는 1시간 이하의 시간스케일(min)
R : 구하고자 하는 시간스케일의 강우강도(㎜/h)

태풍과 같이 전체우량이 많을 때나 산에서 육역으로 강우유출이 문제가 되는 경우는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$P = 83 D^{0.33} \qquad \text{참고 식 (4.2-6)}$$

여기서, P : 최대강우량(㎜)
D : 강우시간(h)

(3) 부정정 구조물의 설계에서는 온도변화가 발생하는 온도응력의 영향을 고려하여야 한다. 일반적으로는 구조물에 일정한 온도의 승강이 있다고 보고 온도의 승강은 연평균기온과 월평균기온의 최고와 최저의 차에서 구하고 있으나 일반적으로 (±)15℃가 적당하다. 다만, 연간의 기온차가 큰 지점에서는 이에 대하여 고려하여야 한다. 또한 부분적으로 온도가 다른 구조물은 그 영향을 고려하여야 한다.

4.2.2 바람

파고 등의 추정에 사용하는 바람이나 항만시설에 외력으로 작용하는 바람은 다음 방법으로 결정하는 것을 표준으로 한다.

(1) 파고의 추정이나 고조의 추정에 쓰이는 풍속, 풍향은 바람의 실측값 또는 경도풍 등의 계산 값에 높이 등의 필요한 보정을 하여 계산한다.
(2) 항만시설에 작용하는 풍속은 당해시설 및 구조물의 특성 등에 따라 최소 20년 이상 기간의 통계자료를 근거로 하여 결정한다.

[참 고]

(1) 경도풍

① 경도풍의 풍속은 기압경도, 등압선의 곡률반경, 위도, 공기밀도의 함수로서 다음 식으로 계산한다.

$$V_g = rw\sin\phi\left(-1+\sqrt{1+\frac{\partial p/\partial r}{\rho_a r\omega^2 \sin^2\phi}}\right)$$ 참고 식 (4.2-7)

여기서, V_g : 경도풍속(m/s), 고기압성의 경우 식 참고 (4.2-7)은 (-)가 되므로 절대값을 취한다.

$\frac{\partial p}{\partial r}$: 기압경도(저기압성은 (+), 고기압성은 (-)로 한다.) ($kg/m^2/s^2$)

r : 등기압선의 곡률반경(m)

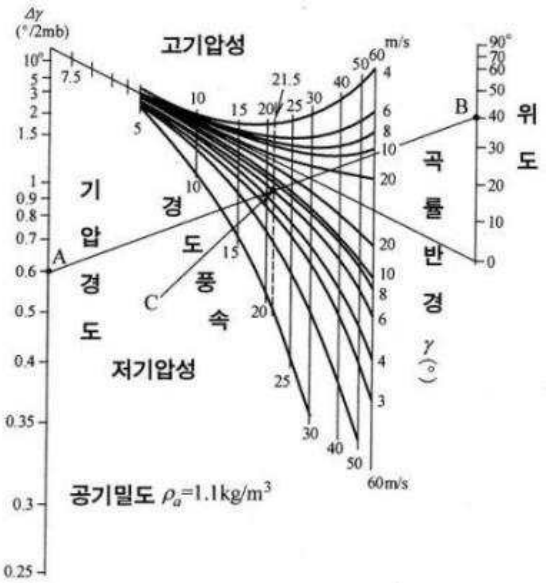
ω : 지구자전의 각속도(角速度 : l/s),
$\omega = 7.27\times10-5l/s$)

ϕ : 위도(°)

ρ_a : 공기의 밀도(kg/m3)
위도 1°상당에 해당하는 거리는 약 1.11×105m, 기압 1hPa는 100kg/m/s^2 임

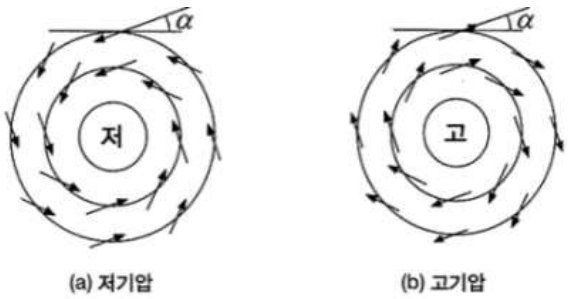
② 곡률반경이 무한대(등압선이 직선이 됨)인 경우 경도풍을 특히 지형풍(地衡風)이라 부르며, 그 풍속은 $V=(\partial p/\partial r)/(2\rho_a\omega\sin\phi)$가 된다.

③ 경도풍의 산정은 참고 그림 (4.2-1)의 경도풍산정 노모그래프(Nomograph)를 이용하면 편리하다. 이는 ρ_a = 1.1kg/㎥을 가정한 것이다.
사용 예를 설명하면, 위도 40°지점의 2hρ_a 등압선 간격(기압경도)이 위도로서 0.6° 등압선 곡률반경이 6°의 경우(저기압성으로 한다)는 A점과 B점을 직선으로 연결하여 곡률반경 r=6°의 곡선과 교차되는 C를 구하고 세로선의 눈금을 읽으면 경도풍속은 약 21.5m/s를 구할 수 있다.



참고 그림 (4.2-1) 경도풍산정 노모그래프(Nomograph)

(2) 실제 해상에서의 풍속은 일반적으로 경도풍의 계산식보다 값이 적다. 또 경도풍의 풍향은 이론적으로는 등압선에 평행하지만 실제는 참고 그림 (4.2-2)와 같이 등압선에 대한 어느 각도 α방향(Cross isobar angle)으로 분다.
지구의 북반구에서는 저기압의 중심을 향하여 왼쪽방향으로 불고, 고기압의 중심에서는 오른쪽방향으로 분다.



참고 그림 (4.2-2) 저기압 및 고기압에서의 바람 부는 방향(북반구)

경도풍과 해상풍의 관계는 위도에 따라 다르며 평균적으로 참고 표 (4.2-1)과 같다.

참고 표 (4.2-1) 경도풍과 해상풍의 관계(위도별)

위 도	10°	20°	30°	40°	50°
각 도 α	24°	20°	18°	17°	15°
풍속비 Vs/Vg	0.51	0.60	0.64	0.67	0.70

주 : Vs : 해상풍속(m/s), Vg : 경도풍속(m/s)
α : 해상풍의 풍향과 등압선이 이루는 각도

그러나 위 표는 하나의 표준이고 해상풍의 추정에 있어서는 연안의 실측값이나 기상도에 기입된 해상 선박에서의 통보된 값을 참고하여 보정을 행한 후 해상풍을 추정하여야 한다.

(3) 항만시설에 작용하는 바람의 설계풍속의 선정은 장기간(20년 이상)의 실측값에 따라 풍속의 출현확률분포를 추정한 후, 소요 재출현기간에 대응하는 풍속을 채택한다.

바람의 제원은 풍향 및 풍속으로 하며 풍향은 16방위, 풍속은 10분간 풍속으로 표시하는 것을 표준으로 한다.

기상청 관측 자료는 약 35년간의 최대 10분 평균풍속에서 이중지수분포를 가정하고 5, 10, 20, 50, 100, 200년의 재현기대풍속을 추정하고 있다. 따라서 대상지점에 인접한 관측소의 지형조건이 다른 경우는 최저 1년간 관측하고 지형관계를 비교 검토하여 관측성과를 이용하는 것이 적정하다.

(4) 폭풍해일 및 파고의 추정에 사용하는 풍속은 해면상 10m에서의 값을 기준으로 하고 있다.

또 기상청의 관측된 풍속은 지상 10m정도의 값이다. 따라서 관측 값을 이용하여 해상풍을 추정하는 경우 대상으로 하는 구조물의 높이가 관측기준 높이와 떨어져 차이가 있는 경우 풍속에 대한 높이의 보정을 하여야 한다. 풍속의 수직분포는 일반적으로 대수측(對數側)으로 표시되지만 현행의 각종 구조물 설계계산에서는 간단하게 지수측(指數側)을 적용한다.

$$U_h = U_o\left(\frac{h}{h_o}\right)^n$$ 참고 식 (4.2-8)

여기서, U_h : 높이 h에서의 풍속(m/s)

U_o : 높이 h_o에서의 풍속(m/s)

지수는 지표부근의 조도, 대기의 안정도의 상태에 따라 변화하지만 구조물의 강도계산에서는 n=1/10～1/4을 사용하고, 해상에서는 일반적으로 $n \geq 1/7$을 사용하는 경우가 많다.

풍속의 통계자료는 10분간 평균 풍속을 대상으로 하는 경우가 많으나, 구조물에 따라 이보다 더 짧은 평균시간의 평균풍속 또는 최대 순간풍속이 대상이 될 수도 있고, 이 경우에는 당해지역에서의 평균시간과 최대풍속의 관계, 돌풍률 등의 특성을 파악하여야 한다.

(5) 풍속과 풍향

① 항만시설물의 계획에 사용되는 풍속과 풍향을 실측값에서 추정한다.

② 구조물 또는 선박에 사용하는 바람의 자료는 30년 이상의 기간에 걸쳐서 실측한 자료에서 구한다.

③ 설계심해파를 태풍에서 계산할 때에는 계산식에서 추정한다.

④ 풍향은 참고 그림 (4.2-3)과 같이 16방위로 표시한다.

⑤ 풍향은 방파제와 같은 외곽시설의 설치 위치와 방향을 정할 때 파향과 거의 같기 때문에 중요한 요소가 된다. 항구의 방향과 위치는 특히 최다풍향을 고려하여 결정하여야 한다.

⑥ 풍향은 풍향도를 표시하고 풍향도에는 전년풍향도(全年風向圖), 각월 풍향도, 계절 풍향도 등이 있다. 전년풍향도는 매일 6회 관측한 기록을 그 풍속에 관계없이(1m/s 이상만) 방향별로 회수를 분류하여 다음과 같은 표를 만들고 풍향도를 그린다.

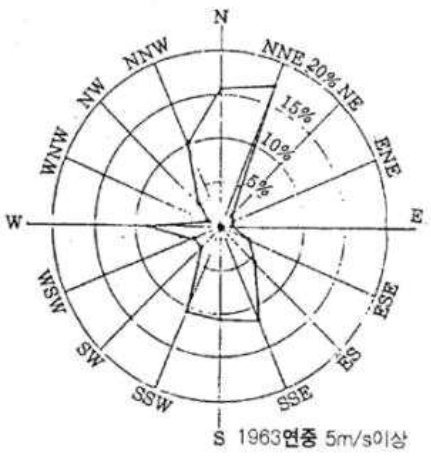
이 표에서 각 방향에 대한 1년간의 총 회수를 구한다.

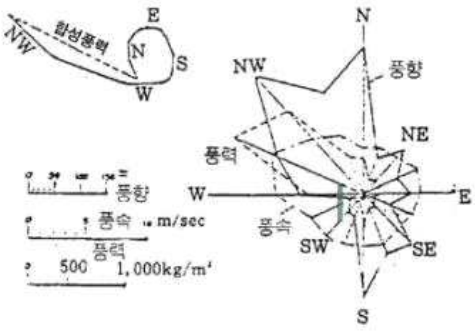
이와 같은 수년간의 기록을 평균하여 각 방향에 대한 1년간 회수의 평균값을 구할 수 있다. 이 평균값을 적당한 축척으로 표시하여 각 방향별로 그리면 참고 그림 (4.2-4)와 같은 전년풍향도가 된다.

⑦ 풍향도에서 가장 많이 불어오는 방향을 알 수 있으며, 이와 같은 방향의 바람을 항풍(Prevailing wind)이라 한다.

참고 표 (4.2-2) 항풍(Prevailing wind)

월 별 / 풍 향	1월	2월	3월	----------12월
N	35	30	25	----------12월
NNE	31	34	25	----------12월
NE	25	31	31	----------12월
ENE	202	19	35	----------12월





참고 그림 (4.2-3) 풍향표시도 참고 그림 (4.2-4) 풍향도

⑧ 풍속은 시시각각으로 변하므로 일정시간 내의 평균값을 택한다. 풍속은 일반적으로 10분간의 풍속을 평균한 값이다.

풍속도의 작성법은 풍향도 작성법과 같으며, 풍속대신 풍향을 쓴다.

4.2.3 풍압력

풍압력은 시설의 형태, 설치장소의 상황 등을 고려하여 정하여야 한다.
그리고 헛간 및 창고, 하역기계 및 교량 또는 고가도로 등에 작용하는 풍압력은 다음에 의하여야 한다.

(1) 부두의 헛간 및 창고에 작용하는 풍압력은 KDS 41 10 15 건축구조기준 설계하중을 적용하여 산정한다.
(2) 교량, 고가도로 또는 이에 유사한 구조물 등에 작용하는 풍압력은 KDS 24 12 20 교량설계하중(일반설계법)의 풍하중에 의하여 산출한다.
(3) 하역기계에 작용하는 풍압력은 KPCS 64 50 10을 적용하고 작업상태, 휴지상태 및 지역적 특성을 고려하여 반영하여야 한다.

[참고]

하역기계에 작용하는 풍하중은 다음과 같이 계산하는 것을 규정하고 있다.

(1) 풍하중 값은 다음의 식으로 계산한다.

$$F = \gamma \cdot A \cdot q \cdot C_f$$ 참고 식 (4.2-9)

여기서, F : 풍하중(N)
γ : 설계적용 하중계수
A : 바람을 받는 투영면적(㎡)
q : 속도압(㎡)
C_f : 풍력계수

(2) 풍하중 계산과 관련하여 풍속 및 속도압의 기준은 다음의 구분에 따라 적용한다.
① 작업상태에 해당하는 경우에는 지면상 20m에서 초속 20m의 순간풍속을 고려하여 속도압을 $q = 130\sqrt[4]{h}\ \ (N/m^2)$ 이상으로 적용한다.
② 휴지상태에 해당하는 경우의 속도압은 대상지역별 풍속기준에 따라 다음 표로부터 계산된 값 이상을 사용한다.

참고 표 (4.2-3) 지역별 풍속 및 속도압

대상지역	풍속(m/s)	속도압(N/㎡)
서해안(인천~군산)	55	$880\sqrt[4]{H}$
남해안, 동해안, 제주도	60	$1050\sqrt[4]{H}$
목 포	70	$1430\sqrt[4]{H}$
울릉도	75	$1640\sqrt[4]{H}$

상기의 적용풍속은 지면상 20m에서의 최대순간풍속(2~3초 거스트)을 기준으로 하며, 속도압 산정에서는 지면상 20m 이하는 동일하게 적용한다.

③ 대상 부재별 풍하중 하중계수

가. 타이다운로드 : 1.5

나. 스토이지핀 : 1.5

다. 일반구조부재 : 1.0

(3) 풍력계수는 크레인이 바람을 받는 면에 대하여 풍동시험(Wind tunnel test)으로 얻은 값, 또는 검증된 국제표준(International code)에 제시된 값으로 한다.

[참고문헌]

日本港灣協會(2007), 港灣の施設の技術上の基準·同解說

4.3 파랑 및 파력

4.3.1 파랑일반

(1) 항만구조물의 설계 및 항내정온도 분석을 위한 파랑은 관측값 또는 풍속으로부터 추산한 설계파 및 평상시 파랑 자료를 통계처리하여 사용하여야 한다. 이때 해안지형에 의한 변형을 고려한 값을 사용한다.
(2) 설계파 추산 및 항내정온도 검토 시 파랑의 불규칙성을 고려한다.

[해 설]

(1) 우리나라 해안에 내습하는 설계파랑은 주로 태풍과 동계 계절풍에 의한 파랑이다. 현재까지 우리나라의 파랑 실측기간은 길지 않으나, 바람자료는 관측기간이 상대적으로 길기 때문에 일반적으로 바람자료로부터 추산한다.
(2) 최근에는 태풍 또는 저기압에 의한 바람은 기압 분포에서 비교적 정확하게 계산할 수 있고, 그 결과를 가지고 파랑수치모형을 사용하여 계산된 불규칙파의 파고와 주기를 사용한다.
(3) 파랑의 통계처리는 이상시(異常時) 파랑과 평상시(平常時) 파랑으로 구분하여 이에 적합한 분석방법을 사용한다. 이상시 파랑은 태풍, 폭풍 등에 의해 발생하는 고파랑의 장기간 자료의 극치통계분석을 통해 구하며, 평상시 파랑은 1년 이상의 연속된 파랑 자료를 통계 처리하여 구한 파랑조건을 사용한다. 이상시 파랑은 구조물의 설계파 산정과 이상시 항내정온도 검토에 이용되고, 평상시 파랑은 항내정온도 분석 및 항만 가동일수 또는 작업일수 산정에 이용된다.
(4) 파랑 변형은 외해로부터 내습하는 파랑이 파랑 자료를 필요로 하는 천해지점에 도달할 때까지의 변형으로서 천수변형, 굴절변형, 회절변형, 반사 및 쇄파 등에 의한 변형이다.

4.3.1.1 규칙파

파랑의 파장, 주기 및 파고 등은 일반적으로 미소진폭파이론에 의하여 산정하나, 파고가 큰 천해역에서는 파랑의 유한진폭 효과를 고려하여 산정하여야 한다. 그러나 불규칙파군을 각 성분파의 중첩으로 나타내는 경우에 성분파의 기본성질은 미소진폭파이론에 의해 계산할 수 있다.

[해 설]

진행파의 파형은 파고 H, 주기 T 및 수심 h에 따라 변한다. 파랑 이론은 미소진폭파(微小振幅波) 이론과 유한진폭파(有限振幅波) 이론으로 대별되며, 유한진폭파는 파봉(波峯)이

뾰쪽하고 파곡(波谷)은 평평한 형태를 보인다. 파고, 파장 및 수심으로부터 두 개의 무차원변수를 만들 수 있다. 즉, 파장에 대한 파고의 비인 파형경사(波形傾斜) H/L, 파장에 대한 수심의 비인 상대수심 h/L, 그리고 이 변수들로부터 구성되는 또 다른 무차원변수 HL^2/h^3인 어셀(Ursell)수의 상대적인 크기에 따라 적합한 파랑 이론을 사용한다.

[참 고]

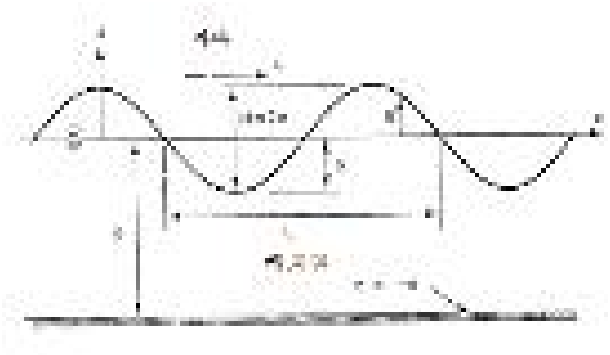
(1) 미소진폭파 이론

파랑의 선형적인 특성은 미소진폭파 이론으로 나타내어지며, 필요에 따라 고차의 근사식인 유한진폭파 이론 등 보다 정밀한 파랑 특성을 계산할 수 있다. 미소진폭파 이론에 따른 파랑운동은 속도포텐셜(ϕ)로 표시된다. 파랑의 운동방정식은 라플라스(Laplace)식($\nabla^2\phi = 0$)이며, 적합한 경계조건을 부여하고 $H \ll L$ 및 $H \ll h$의 전제조건 하에 풀면 다음과 같은 파랑 특성을 얻게 된다.

① 수면변위(m)

$$\eta_{(x,\,t)} = \frac{H}{2}\sin 2\pi\left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T}\right) \qquad \text{참고 식 (4.3-1)}$$

여기서, η는 기준면인 정수면으로부터의 수면변위로서 파의 형태를 나타내고, x축은 파의 진행방향으로 취한 거리, z축은 정수면에서 연직상향으로 취한 거리, t는 시간, T는 주기(s), L은 파장(m), 그리고 H는 파고(m)이다[참고 그림 (4.3-1)].



참고 그림 (4.3-1) 규칙파의 정의

② 파 장(m)

$$L = \frac{gT^2}{2\pi}\tanh\frac{2\pi h}{L}\ (= CT) \qquad \text{참고 식 (4.3-2)}$$

여기서, g는 중력가속도(m/s^2), h는 수심(m)이다. 참고 식 (4.3-2)를 파랑분산식이라 하며,

각주파수(σ=2π/T)와 파수(k=2π/L)를 사용하면 참고 식 (4.3-3)이 된다.

$$\sigma^2 = g\,k\tanh kh$$ 참고 식 (4.3-3)

참고 식 (4.3-2) 또는 참고 식 (4.3-3)은 파장 또는 파수에 대한 비선형식이므로 반복법으로 계산하며, 이 결과의 일부가 참고 표 (4.3-1)에 제시되어 있다.

③ 파 속(m/s)

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}\tanh\frac{2\pi h}{L}}\ \left(=\frac{L}{T}\right)$$ 참고 식 (4.3-4)

④ 수립자(水粒子)의 속도(m/s)

$$\begin{cases} u = \dfrac{\pi H}{T}\dfrac{\cosh\dfrac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh\dfrac{2\pi h}{L}}\sin\left(\dfrac{2\pi}{L}x - \dfrac{2\pi}{T}t\right) \\ w = \dfrac{\pi H}{T}\dfrac{\sinh\dfrac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh\dfrac{2\pi h}{L}}\cos\left(\dfrac{2\pi}{L}x - \dfrac{2\pi}{T}t\right) \end{cases}$$ 참고 식 (4.3-5)

여기서, u는 수평수립자(水平水粒子) 속도(m/s), w는 연직수립자(鉛直水粒子) 속도(m/s)이다.

⑤ 수립자의 가속도(m/s^2)

$$\begin{cases} \dfrac{\partial u}{\partial t} = \dfrac{2\pi^2 H}{T^2}\dfrac{\cosh\dfrac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh\dfrac{2\pi h}{L}}\cos\left(\dfrac{2\pi}{L}x - \dfrac{2\pi}{T}t\right) \\ \dfrac{\partial w}{\partial t} = -\dfrac{2\pi^2 H}{T^2}\dfrac{\sinh\dfrac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh\dfrac{2\pi h}{L}}\sin\left(\dfrac{2\pi}{L}x - \dfrac{2\pi}{T}t\right) \end{cases}$$ 참고 식 (4.3-6)

가속도는 참고 식 (4.3-6) 이외의 추가 항들이 존재하나 참고 식 (4.3-7) 미소진폭파에서는 이들이 작기 때문에 무시한다.

$$\begin{cases} a_x = \dfrac{du}{dt} = \dfrac{\partial u}{\partial t} + u\dfrac{\partial u}{\partial x} + w\dfrac{\partial u}{\partial z} \simeq \dfrac{\partial u}{\partial t} \\ a_z = \dfrac{dw}{dt} = \dfrac{\partial w}{\partial t} + u\dfrac{\partial w}{\partial x} + w\dfrac{\partial w}{\partial z} \simeq \dfrac{\partial w}{\partial t} \end{cases}$$ 참고 식 (4.3-7)

⑥ 파력(t/㎡)

$$p = w_o \frac{H}{2} \frac{\cosh \frac{2\pi(z+h)}{L}}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} \sin\left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t\right) - w_o z \qquad \text{참고 식 (4.3-8)}$$

여기서, w_o는 해수(海水)의 단위체적중량이며, 참고 식 (4.3-8)의 우변 첫 항은 동수압(動水壓), 둘째 항은 정수압(靜水壓)이다. 동수압은 파랑에 의한 수립자의 운동에 의한 압력 변동 부분을 의미한다.

⑦ 해면의 단위면적당 파의 평균에너지(t·m/㎡)

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{8} w_o H^2 \qquad \text{참고 식 (4.3-9)}$$

여기서, $E_k = E_p$이며(E_k = 운동에너지, E_p= 위치에너지), 한 파장내의 모든 점에서의 평균에너지(E)는 일정하다. 단 마찰에 의한 손실은 무시한다.

⑧ 단위시간에 단위폭당 파의 진행방향으로 전달되는 평균에너지(Joule/s)

$$E_F = EC_G = ECn \qquad \text{참고 식 (4.3-10)}$$

여기서, C_G는 파의 군속도(群速度)(m/s)이며, $C_G = Cn$ 이다.

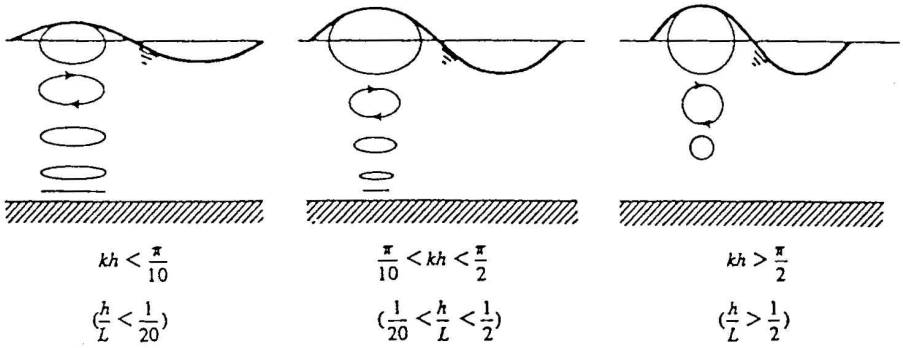
$$n = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{\frac{4\pi h}{L}}{\sinh \frac{4\pi h}{L}}\right) \qquad \text{참고 식 (4.3-11)}$$

위의 식들은 미소진폭파의 식이며, 실제 파랑은 이 식들과 다소 다르다. 그러나 파랑의 굴절, 수중압력 등을 취급할 때는 이들의 식을 이용할 때가 많으며, 특히 중복파는 미소진폭파를 합성함으로써 얻을 수 있다.

(2) 심해파 및 장파의 특성

① 심해파

$\frac{h}{L} > \frac{1}{2}$ 인 해역에서는 수심이 깊어 파랑의 수립자 운동이 해저면까지 이르지 못해 수립자의 운동이 해저면에 의해 변형되지 않게 된다[참고 그림 (4.3-2)].



참고 그림 (4.3-2) 진행파의 상대수심별 수립자운동

이 해역에 존재하는 파랑을 심해파라 하며, 파장에 비해서 수심이 아주 깊은 경우 $(h/L \rightarrow \infty)$라고 가정하여 파속 및 파장을 다음과 같이 구한다. 즉, $\tanh 2\pi h/L = 1$이므로 다음과 같다.

$$\begin{cases} L_o = \dfrac{gT^2}{2\pi} = 1.56\,T^2 \ (m) \\ C_o = \dfrac{gT}{2\pi} = 1.56\,T \ (m/s) \end{cases}$$

참고 식 (4.3-12)

$$C_G = 0.78\,T(m/s) = 2.81\,T \ (km/hr)$$

아래첨자 o는 심해파를 나타내는 것이며, 파속 및 파장은 모두 수심에는 관계없이 주기에만 관계된다.

② 파장 또는 천해파

$\frac{h}{L} < \frac{1}{20}$인 수역에서는 파장이 수심에 비해서 매우 길며, 여기서의 파를 장파 또는 천해파라 한다[참고 그림 (4.3-2)].

천해파의 특성은 h/L값이 매우 작아 $\tanh 2\pi h/L = 2\pi h/L$이므로 다음과 같다.

$$\begin{cases} L = T\sqrt{gh} \qquad (m) \\ C = C_G = \sqrt{gh} \ (m/s) \end{cases}$$

참고 식 (4.3-13)

③ $\frac{1}{2} < \frac{h}{L} < \frac{1}{20}$의 경우에는 천이역(遷移域)으로 파장과 파속이 복잡하게 변하며, 참고 식 (4.3-2)와 참고 식 (4.3-4)를 각각 사용하여 구한다.

④ 수심 h, 파장 L, 파속 및 주기의 관계는 참고 표 (4.3-1)에 제시되었다.

참고 표 (4.3-1) 수심, 주기, 파장 및 파속의 표 (계속)

주기 (s) / 수심 (m)	3.0		4.0		5.0		6.0		7.0		8.0		9.0		10.0	
	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)
0.5	6.40	2.13	8.67	2.17	10.92	2.18	13.16	2.19	15.40	2.20	17.62	2.20	19.85	2.21	22.07	2.21
1.0	8.69	2.90	12.00	3.00	15.24	3.05	18.44	3.07	21.62	3.09	24.79	3.10	27.96	3.11	31.11	3.11
1.5	10.22	3.41	14.38	3.59	18.41	3.68	22.37	3.73	26.30	3.76	30.21	3.78	34.09	3.79	37.97	3.80
2.0	11.31	3.77	16.23	4.06	20.95	4.19	25.58	4.26	30.16	4.31	34.69	4.34	39.20	4.36	43.70	4.37
2.5	12.10	4.03	17.72	4.43	23.09	4.62	28.32	4.72	33.48	4.78	38.58	4.82	43.65	4.85	48.69	4.87
3.0	12.68	4.23	18.96	4.74	24.93	4.99	30.72	5.12	36.41	5.20	42.03	5.25	47.61	5.29	53.16	5.32
3.5	13.10	4.37	20.00	5.00	26.53	5.31	32.86	5.48	39.05	5.58	45.15	5.64	51.20	5.69	57.22	5.72
4.0	13.41	4.47	20.86	5.22	27.95	5.59	34.77	5.80	41.44	5.92	48.01	6.00	54.51	6.06	60.96	6.10
4.5	13.62	4.54	21.59	5.40	29.20	5.84	36.51	6.08	43.63	6.23	50.64	6.33	57.56	6.40	64.43	6.44
5.0	13.76	4.59	22.20	5.55	30.31	6.06	38.09	6.35	45.66	6.52	53.08	6.64	60.41	6.71	67.68	6.77
6.0	13.93	4.64	23.13	5.78	32.19	6.44	40.87	6.81	49.27	7.04	57.50	7.19	65.61	7.29	73.62	7.36
7.0	14.00	4.67	23.78	5.94	33.69	6.74	43.22	7.20	52.42	7.49	61.41	7.68	70.24	7.80	78.96	7.90
8.0	14.05	4.68	24.21	6.05	34.89	6.98	45.22	7.54	55.19	7.88	64.90	8.11	74.43	8.27	83.82	8.38
9.0	14.05	4.68	24.49	6.12	35.84	7.17	46.94	7.82	57.65	8.24	68.05	8.51	78.24	8.69	88.27	8.83
10.0	14.05	4.68	24.68	6.17	36.59	7.32	48.41	8.07	59.82	8.55	70.90	8.86	81.73	9.08	92.37	9.24
11.0	14.05	4.68	24.79	6.20	37.18	7.44	49.66	8.28	61.76	8.82	73.49	9.19	84.94	9.44	96.18	9.62
12.0	14.05	4.68	24.87	6.22	37.64	7.53	50.73	8.46	63.49	9.07	75.85	9.48	87.90	9.77	99.73	9.97
13.0	14.05	4.68	24.98	6.25	37.99	7.60	51.65	8.61	65.03	9.29	78.01	9.75	90.65	10.07	103.04	10.30
14.0	14.05	4.68	24.98	6.25	38.25	7.65	52.42	8.74	66.40	9.49	79.98	10.00	93.20	10.36	106.14	10.61
15.0	14.05	4.68	24.98	6.25	38.46	7.69	53.07	8.85	67.63	9.66	81.79	10.22	95.57	10.62	109.05	10.90
16.0	14.05	4.68	24.98	6.25	38.61	7.72	53.62	8.94	68.72	9.82	83.45	10.43	97.78	10.86	111.78	11.18
17.0	14.05	4.68	24.98	6.25	38.72	7.74	54.08	9.01	69.69	9.96	84.96	10.62	99.84	11.09	114.36	11.44
18.0	14.05	4.68	24.98	6.25	38.80	7.76	54.47	9.08	70.55	10.08	86.35	10.79	101.75	11.31	116.79	11.68
19.0	14.05	4.68	24.98	6.25	38.87	7.77	54.79	9.13	71.31	10.19	87.63	10.95	103.54	11.50	119.08	11.91
20.0	14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	55.05	9.17	71.98	10.28	88.79	11.10	105.21	11.69	121.24	12.12
22.0	14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	55.44	9.24	73.10	10.44	90.83	11.35	108.22	12.02	125.21	12.52
24.0	14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	55.71	9.28	73.96	10.57	92.53	11.57	110.85	12.32	128.75	12.88
26.0	14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	55.88	9.31	74.61	10.66	93.94	11.74	113.13	12.57	131.93	13.19
28.0	14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.00	9.33	75.10	10.73	95.10	11.89	115.10	12.79	134.76	13.48
30.0	14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	75.47	10.78	96.05	12.01	116.82	12.98	137.29	13.73
35.0	14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	76.04	10.86	97.73	12.22	120.13	13.35	142.50	14.25
40.0	14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	76.50	10.93	98.70	12.34	122.37	13.60	146.37	14.64
50.0	14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	76.50	10.93	99.92	12.49	124.83	13.87	151.30	15.13
60.0	14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	76.50	10.93	99.92	12.49	125.84	13.98	153.83	15.38
70.0	14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	76.50	10.93	99.92	12.49	126.47	14.05	155.06	15.51
심해파	14.05	4.68	24.98	6.25	39.03	7.81	56.21	9.37	76.50	10.93	99.92	12.49	126.47	14.05	156.13	15.61

참고 표 (4.3-1) 수심, 주기, 파장 및 파속의 표 (계속)

주기 (s) / 수심 (m)	11.0		12.0		13.0		14.0		15.0		16.0		18.0		20.0	
	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)
1.0	34.26	3.11	37.41	3.12	40.56	3.12	43.70	3.12	46.84	3.12	49.98	3.12	56.26	3.13	62.54	3.13
2.0	48.18	4.38	52.66	4.39	57.13	4.39	61.59	4.40	66.05	4.40	70.50	4.41	79.40	4.41	88.29	4.41
3.0	58.68	5.33	64.19	5.35	69.68	5.36	75.17	5.37	80.65	5.38	86.12	5.38	97.04	5.39	107.95	5.40
4.0	67.38	6.13	73.77	6.15	80.14	6.16	86.50	6.18	92.84	6.19	99.18	6.20	111.82	6.21	124.44	6.22
5.0	74.90	6.81	82.08	6.84	89.24	6.86	96.37	6.88	103.49	6.90	110.59	6.91	124.76	6.93	138.90	6.94
6.0	81.58	7.42	89.49	7.46	97.36	7.49	105.20	7.51	113.02	7.53	120.82	7.55	136.38	7.58	151.90	7.59
7.0	87.61	7.96	96.19	8.02	104.73	8.06	113.23	8.09	121.70	8.11	130.15	8.13	147.00	8.17	163.79	8.19
8.0	93.11	8.46	102.33	8.53	111.50	8.58	120.62	8.62	129.71	8.65	138.77	8.67	156.82	8.71	174.80	8.74
9.0	98.18	8.93	108.01	9.00	117.78	9.06	127.49	9.11	137.15	9.14	146.79	9.17	165.98	9.22	185.09	9.25
10.0	102.89	9.35	113.30	9.44	123.63	9.51	133.91	9.56	144.13	9.61	154.31	9.64	174.58	9.70	194.76	9.74
12.0	111.38	10.13	122.89	10.24	134.31	10.33	145.64	10.40	156.91	10.46	168.13	10.51	190.44	10.58	212.62	10.63
14.0	118.86	10.81	131.42	10.95	143.85	11.07	156.18	11.16	168.43	11.23	180.61	11.29	204.82	11.38	228.87	11.44
16.0	125.54	11.41	139.09	11.59	152.48	11.73	165.76	11.84	178.93	11.93	192.02	12.00	218.02	12.11	243.83	12.19
18.0	131.53	11.96	146.03	12.17	160.35	12.33	174.53	12.47	188.59	12.57	202.55	12.66	230.25	12.79	257.72	12.89
20.0	136.93	12.45	152.36	12.70	167.57	12.89	182.62	13.04	197.53	13.17	212.33	13.27	241.66	13.43	270.72	13.54
22.0	141.83	12.89	158.15	13.18	174.23	13.40	190.12	13.58	205.85	13.72	221.45	13.84	252.35	14.02	282.95	14.15
24.0	146.27	13.30	163.47	13.62	180.39	13.88	197.10	14.08	213.62	14.24	230.00	14.38	262.42	14.58	294.49	14.72
26.0	150.32	13.67	168.36	14.03	186.11	14.32	203.61	14.54	220.91	14.73	238.05	14.88	271.94	15.11	305.44	15.27
28.0	154.01	14.00	172.87	14.41	191.42	14.72	209.70	14.98	227.76	15.18	245.64	15.35	280.96	15.61	315.85	15.79
30.0	157.37	14.31	177.04	14.75	196.37	15.11	215.41	15.39	234.21	15.61	252.81	15.80	289.54	16.09	325.78	16.29
35.0	164.52	14.96	186.14	15.51	207.36	15.95	228.24	16.30	248.83	16.59	269.17	16.82	309.26	17.18	348.76	17.44
40.0	170.19	15.47	193.62	16.14	216.65	16.67	239.28	17.09	261.58	17.44	283.59	17.72	326.91	18.16	369.50	18.47
45.0	174.65	15.88	199.78	16.65	224.52	17.27	248.84	17.77	272.78	18.19	296.40	18.52	342.81	19.04	388.37	19.42
50.0	178.13	16.19	204.83	17.07	231.18	17.78	257.12	18.37	282.65	18.84	307.81	19.24	357.22	19.85	405.64	20.28
55.0	180.83	16.44	208.95	17.41	236.82	18.22	264.29	18.88	291.35	19.42	318.02	19.88	370.33	20.57	421.53	21.08
60.0	182.89	16.63	212.29	17.69	241.57	18.58	270.51	19.32	299.04	19.94	327.16	20.45	382.29	21.24	436.20	21.81
70.0	185.64	16.88	217.14	18.09	248.90	19.15	280.52	20.04	311.81	20.79	342.70	21.42	403.24	22.40	462.36	23.12
80.0	187.17	17.02	220.20	18.35	253.97	19.54	287.93	20.57	321.72	21.45	355.17	22.20	420.85	23.38	484.95	24.25
90.0	188.00	17.09	222.08	18.51	257.42	19.80	293.33	20.95	329.34	21.96	365.15	22.82	435.66	24.20	504.53	25.23
100.0	188.92	17.17	223.22	18.60	259.72	19.98	297.22	21.23	335.14	22.34	373.08	23.32	448.10	24.89	521.54	26.08
120.0	188.92	17.17	224.83	18.74	262.19	20.17	301.90	21.56	342.77	22.85	384.22	24.01	467.26	25.96	549.18	27.46
140.0	188.92	17.17	224.83	18.74	263.86	20.30	304.14	21.72	346.91	23.13	390.92	24.43	480.51	26.70	569.98	28.50
160.0	188.92	17.17	224.83	18.74	263.86	20.30	306.02	21.86	349.09	23.27	394.82	24.68	489.49	27.19	585.49	29.27
180.0	188.92	17.17	224.83	18.74	263.86	20.30	306.02	21.86	351.29	23.42	397.02	24.81	495.45	27.52	596.91	29.85
200.0	188.92	17.17	224.83	18.74	263.86	20.30	306.02	21.86	351.29	23.42	399.70	24.98	499.31	27.74	605.19	30.26
심해파	188.92	17.17	224.83	18.74	263.86	20.30	306.02	21.86	351.29	23.42	399.70	24.98	505.86	28.10	624.52	31.23

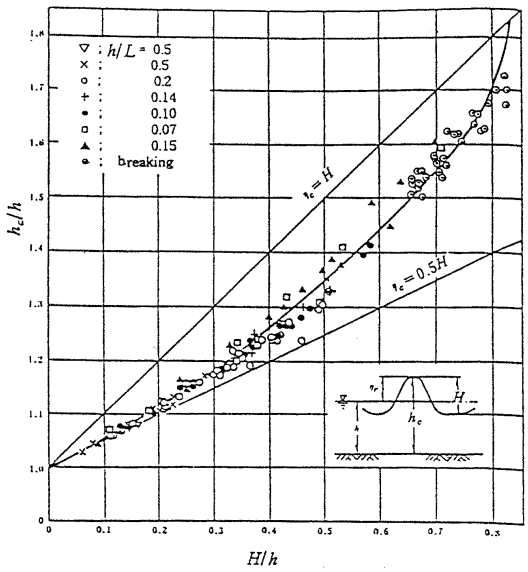
참고 표 (4.3-1) 수심, 주기, 파장 및 파속의 표 (계속)

주기 (s) / 수심 (m)	2.2		2.4		2.6		2.8		3.0		3.2		3.5		4.0	
	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)	파장 (m)	파속 (m/s)
0.1	2.15	0.98	2.35	0.98	2.55	0.98	2.75	0.98	2.95	0.98	3.15	0.98	3.45	0.99	3.95	0.99
0.2	3.00	1.36	3.28	1.37	3.57	1.37	3.85	1.38	4.14	1.38	4.42	1.38	4.85	1.39	5.56	1.39
0.3	3.62	1.64	3.97	1.66	4.33	1.66	4.68	1.67	5.03	1.68	5.38	1.68	5.91	1.69	6.78	1.69
0.4	4.12	1.87	4.53	1.89	4.95	1.90	5.36	1.91	5.77	1.92	6.17	1.93	6.78	1.94	7.79	1.95
0.5	4.53	2.06	5.00	2.09	5.47	2.10	5.94	2.12	6.40	2.13	6.85	2.14	7.54	2.15	8.67	2.17
0.6	4.89	2.22	5.41	2.26	5.93	2.28	6.44	2.30	6.95	2.32	7.46	2.33	8.21	2.35	9.46	2.36
0.7	5.20	2.37	5.77	2.41	6.34	2.44	6.90	2.46	7.45	2.48	8.00	2.50	8.82	2.52	10.17	2.54
0.8	5.48	2.49	6.09	2.54	6.70	2.58	7.30	2.61	7.90	2.63	8.49	2.65	9.37	2.68	10.83	2.71
0.9	5.72	2.60	6.38	2.66	7.03	2.70	7.68	2.74	8.31	2.77	8.95	2.80	9.89	2.82	11.44	2.86
1.0	5.93	2.70	6.64	2.77	7.33	2.82	8.02	2.86	8.69	2.90	9.36	2.93	10.36	2.96	12.00	3.00
1.1	6.12	2.78	6.87	2.86	7.61	2.93	8.33	2.97	9.04	3.01	9.75	3.05	10.80	3.09	12.53	3.13
1.2	6.29	2.86	7.08	2.95	7.85	3.02	8.62	3.08	9.37	3.12	10.11	3.16	11.22	3.20	13.03	3.26
1.3	6.45	2.93	7.27	3.03	8.08	3.11	8.88	3.17	9.67	3.22	10.45	3.27	11.61	3.32	13.50	3.38
1.4	6.58	2.99	7.45	3.10	8.29	3.19	9.13	3.26	9.95	3.32	10.77	3.36	11.97	3.42	13.95	3.49
1.5	6.70	3.05	7.60	3.17	8.49	3.26	9.36	3.34	10.22	3.41	11.06	3.46	12.32	3.52	14.38	3.59
1.6	6.81	3.09	7.74	3.23	8.67	3.33	9.57	3.42	10.46	3.49	11.34	3.54	12.65	3.61	14.78	3.69
1.7	6.90	3.14	7.87	3.28	8.83	3.40	9.77	3.49	10.69	3.56	11.61	3.63	12.96	3.70	15.17	3.79
1.8	6.99	3.18	7.99	3.33	8.98	3.45	9.95	3.55	10.91	3.64	11.86	3.70	13.25	3.79	15.53	3.88
1.9	7.06	3.21	8.10	3.37	9.12	3.51	10.12	3.62	11.11	3.70	12.09	3.78	13.53	3.87	15.89	3.97
2.0	7.13	3.24	8.19	3.41	9.25	3.56	10.28	3.67	11.31	3.77	12.31	3.85	13.80	3.94	16.23	4.06
심해파	7.56	3.43	8.99	3.75	10.55	4.06	12.24	4.37	14.05	4.68	15.99	5.00	19.13	5.46	24.98	6.25

(3) 유한진폭파 이론

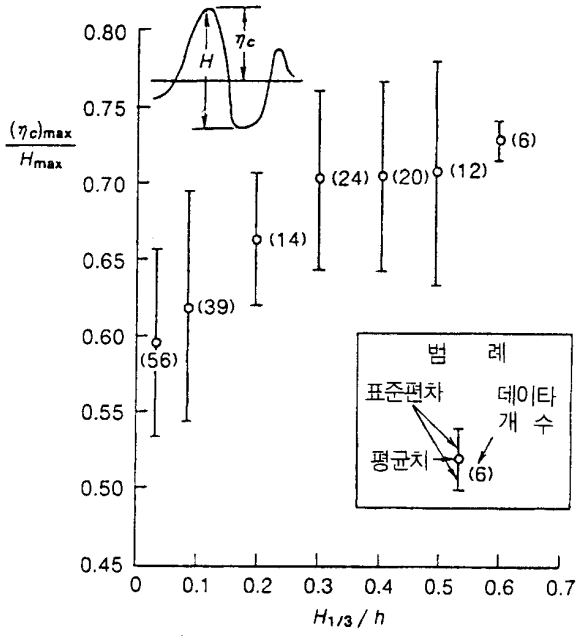
파고가 큰 일반적인 천해파에 대해서는 미소진폭파 식의 정도가 높지 않으므로 필요에 따라 유한진폭파 이론식을 사용한다.

미소진폭파 이론식을 사용하여 계산할 때 오차는 파형경사 H/L 및 상대수심 h/L에 의하여 변한다. 특히 해상구조물과 잔교식 구조물 등의 설계 시에는 미소진폭파 식은 상당한 오차를 유발하여 부적절하므로 유한진폭파 식을 사용하여야 한다. 유한진폭파 식도 파형경사 및 상대수심에 따라 여러 가지 이론이 있어 적합한 이론을 사용해야 하나, 수치모형인 푸리에급수 파랑이론(Fourier series wave theory)은 상대수심의 전체 범위에 걸쳐 한계파고까지 파랑특성을 계산할 수 있다(참고 ACES Technical Ref., 1992). 파의 유한진폭 효과의 하나는 파고에 대한 파봉고의 비가 변하며, 파고가 커지는 만큼 비도 증대된다. 참고 그림 (4.3-3)은 수심 100∽150cm의 수리모형실험의 자료로부터 진행파의 파봉고 변화를 나타낸 것이다[Goda(合田), 1974].



참고 그림 (4.3-3) 수심에 따른 파고와 파봉고의 관계

참고 그림 (4.3-4)는 현지의 파형기록에 의거 작성된 것으로서 각 관측기록의 최고 파봉고$(\eta_c)_{\max}$와 최대 파고 $H_{\max}$에 대한 비를 $H_{1/3}/h$의 관계로 나타낸 것이다.



참고 그림 (4.3-4) 최고 파봉고$(\eta_c)_{\max}$와 최대파고 $H_{\max}$의 비(比)와 $H_{1/3}/h$의 관계

실제 파봉고는 수리모형실험의 값보다 약간 크며, $H_{1/3}/h<0.5$의 영역에서는 현장관측에서 구한 참고 그림 (4.3-4)를 이용하는 것이 바람직하다.

4.3.1.2 불규칙파의 통계적인 특성

(1) 불규칙한 심해파 파군의 파고분포로는 레일레이(Rayleigh) 분포를 사용한다.
(2) 레일레이 분포 이론은 파의 에너지가 특정 주파수 영역에 매우 좁게 분포한다고 가정하여 제안된 것으로 주파수대가 넓으면 적용성의 문제가 있지만 근사적으로 적용할 수 있다.

[참 고]

(1) 레일레이 분포

$$p(H/\overline{H}) = \frac{\pi}{2}\frac{H}{\overline{H}}\exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{H}{\overline{H}}\right)^2\right]$$ 참고 식 (4.3-14)

여기서, $\overline{H} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} H_i$ 이며, N은 측정기간의 파랑 개수이고, H_i는 개별 파고이다.

[참고 그림 (4.3-5)]

최대파고 $H_{\max}$, 유의파고 $H_{1/3}$, 1/10 최대파고 $H_{1/10}$ 및 평균파고 $\overline{H}$ 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립된다.

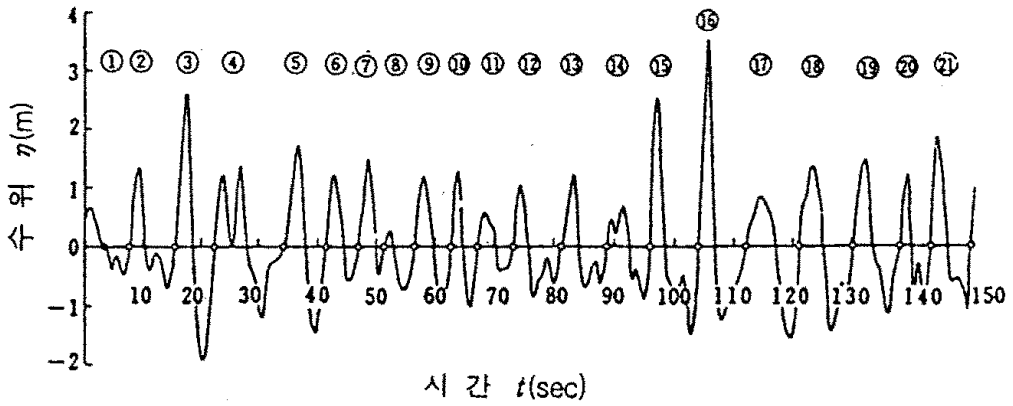
$$H_{1/10} = 1.27\, H_{1/3}$$

$$H_{1/3} = 1.60\,\overline{H}$$

$$H_{\max} = (1.6 \sim 2.0)\ H_{1/3}$$ 참고 식 (4.3-15)

(2) 불규칙파의 파고 및 주기

① 실제 파형은 매우 불규칙하며, 한 점에서 측정한 파고기록은 참고 그림 (4.3-5)와 같은 형태를 보인다. 기록된 파형의 평균면을 기준선으로 정하고 개개의 파형이 파곡에서 파봉으로 상향 진행할 때 기준선과 만나는 점들로부터 개별 파의 주기와 개수를 결정하는 방법이 영점상향교차(零點上向交叉, Zero up-crossing)법이다.
반면에 영점하향교차(零點下向交叉, Zero down-crossing)법은 파형이 기준선을 하향으로 통과하는 점들을 하나의 파랑 시작점과 끝점으로 정하며, 통계학적으로는 두 방법은 같은 방법으로 취급한다.



참고 그림 (4.3-5) 파랑관측기록의 영점상향교차법의 예

② 상기 ①항의 방법에서 파형이 기준선을 통과하지 않고 불규칙하게 움직이는 경우에는 동일한 파랑으로 간주한다. 인접한 영점이 교차하는 사이를 하나의 파랑으로 정의하여 영점상향교차법을 사용한 참고 그림 (4.3-5)에서는 관측기간 중에 총 21개의 파랑으로 구성되며, 개개 파랑의 파고는 파형의 최고점과 최저점의 수위차가 된다. 개별 파랑의 파고와 주기를 순차적으로 정리한 결과가 참고 표 (4.3-2)이다.

참고 표 (4.3-2) 참고 그림 (4.3-5)로부터 구한 개별 파랑의 파고와 주기

파 번 호	파 고 H(m)	주 기 T(s)	파고 순위
1	0.54	4.2	21
2	2.05	8.0	12
3	4.52	6.9	2
4	2.58	11.9	8
5	3.20	7.3	4
6	1.87	5.4	17
7	1.90	4.4	16
8	1.00	5.2	20
9	2.05	6.3	13
10	2.37	4.3	10
11	1.03	6.1	19
12	1.95	8.0	15
13	1.97	7.6	14
14	1.62	7.0	18
15	4.08	8.2	3
16	4.89	8.0	1
17	2.43	9.0	9
18	2.83	9.2	7
19	2.94	7.9	6
20	2.23	5.3	11
21	2.98	6.9	5

(3) 대표파고 및 주기

한 지점에서 파랑을 일정시간 동안(예 : 20분간) 연속 관측한 관측기록을 참고 표 (4.3-2)와 같은 방법으로 정리하여 관측기간을 대표하는 각종 파랑을 다음과 같이 정의한다.

① 최대파($H_{\max}$, $T_{\max}$) : 파군 중 최대의 파고를 의미하며, 그 파의 주기를 $T_{\max}$ 로 나타낸다.

참고 표 (4.3-2)에서는 16번의 파랑이 최대파이며, $H_{\max}$ = 4.89 m, $T_{\max}$ = 8초이다.

② 1/10 최대파고($H_{1/10}$, $T_{H_{1/10}}$) : 파고가 큰 것으로부터 전체 파랑 개수의 1/10에 해당하는 파고와 주기의 평균값을 각각 말한다.

③ 유의파($H_{1/3}$, $T_{H_{1/3}}$) : 파고가 큰 것으로부터 전체 파랑 개수의 1/3까지의 파고를 평균한 파고이다. 참고 표 (4.3-2)에서는 16번, 3번, 15번, 5번, 21번, 19번, 18번이 대상이 되며, 이를 평균한 파고 $H_{1/3}$ = 3.6 m, $T_{H_{1/3}}$ = 7.8초가 된다.

④ 평균파고($\overline{H}$, $\overline{T}$) : 파고의 평균값을 말한다.

(4) 유의파는 불규칙한 파군의 하나의 통계적 지표로서 가상적인 파이다. 유의파는 파랑의 주파수 스펙트럼(Frequency spectrum)에 있어서 에너지가 가장 큰 주파수에 대체적으로 해당하는 파고이며, 특별히 구분하지 않는 경우에 파랑은 유의파를 지칭한다.

(5) 다수의 관측기록으로부터 파고를 평균파고로 나누어 무차원화한 것에 대한 파고의 도수 분포를 만들고 이 분포의 면적을 1로 정한 상대도수분포(相對度數分布)는 레일레이(Rayleigh) 분포로 가정하여 구한 것과 비교하면 큰 차가 없다. 단, 쇄파대 내에서는 파고 분포를 레일레이 분포로 적용할 수가 없다.

(6) 일반적으로 바람 자료에서 파고 또는 주기를 추산할 때는 유의파를 산출하게 된다. $H_{1/10}$, $\overline{H}$, $H_{\max}$ 등의 자료가 필요할 때는 참고 식 (4.3-15)를 이용하여 $H_{1/3}$에서 구할 수 있다. 파수(波數)에 따른 $H_{\max}$ 와 $H_{1/3}$과의 관계를 통계분석을 통해 제시된 자료로부터 $H_{\max}$ 의 최다값(最多値, Mode), 평균값(平均値) 및 위험값(危險値) 등을 구할 수 있다[Goda(合田), 1973].

(7) 주기의 분포는 파고의 분포와 달리 일반형이 존재하지 않으나 최대파, 1/10 최대파, 유의파 및 평균파의 주기 사이에는 근사적으로 참고 식 (4.3-16)의 관계가 있다.

$$T_{\max} \fallingdotseq T_{H_{1/10}} \fallingdotseq T_{H_{1/3}} \fallingdotseq (1.1 \sim 1.3)\overline{T} \qquad \text{참고 식 (4.3-16)}$$

4.3.1.3 불규칙파의 스펙트럼

파랑의 추산 또는 항만구조물을 설계할 때는 파랑의 스펙트럼형상에 대해서 고려하고 해당 해역에 적합한 스펙트럼 분포형을 사용한다.

[해 설]

불규칙파의 파형을 무수한 주파수 및 파향의 성분파가 중첩된 것이라 가정하여 성분파의 에너지 분포를 주파수와 파향에 대해 표시한 것이 파랑 스펙트럼(Wave spectrum)이다. 여기서 전자를 주파수 스펙트럼, 후자를 파향스펙트럼이라 한다.

[참 고]

(1) 파랑 스펙트럼의 일반형은 다음 식과 같다[Goda(合田) 등, 1975]

$$S(f,\theta) = S(f) \cdot G(f,\theta) \qquad \text{참고 식 (4.3-17)}$$

여기서, f는 주파수, θ는 파랑의 주방향에서의 편각(偏角)이며, $S(f,\theta)$는 파랑에너지의 주파수 및 방향에 대한 분포를 나타내는 함수이며 방향 스펙트럼(Directional spectrum)이다. $S(f)$는 주파수 성분에 대한 파랑의 에너지 분포를 나타내는 함수로서 주파수 스펙트럼(Frequency spectrum)이며, $G(f,\Theta)$는 파랑에너지의 방향성분을 나타내는 함수로 방향함수이다. Bretschneider의 제안식을 Mitsuyasu(光易)가 계수를 수정한 식은 다음과 같다.

$$S(f) = 0.205 H_{1/3}{}^2 T_{1/3}{}^{-4} f^{-5} \exp[-0.75(T_{1/3}f)^{-4}] \qquad \text{참고 식 (4.3-18)}$$

$$G(f,\theta) = Go \cos^{2s}(\frac{\theta}{2}) \qquad \text{참고 식 (4.3-19)}$$

참고 식 (4.3-19)의 비례상수 Go는 $\int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} G(f,\theta)\,d\theta = 1$에서 구한다.

여기서, $\theta_{\max}$, $\theta_{\min}$은 각각 주방향으로부터의 최대 및 최소 편각이다. 참고 식 (4.3-19)의 S는 파랑의 방향집중도를 나타내는 함수이며, 다음 식과 같다.

$f > f_m$일 때, $S = S_{\max}\left(\frac{f}{f_m}\right)^{-2.5}$ 참고 식 (4.3-20)

$f \le f_m$일 때, $S = S_{\max}\left(\frac{f}{f_m}\right)^{5}$ 참고 식 (4.3-21)

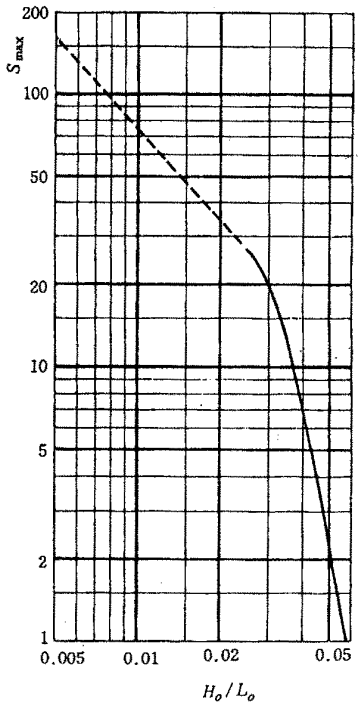
여기서, f_m은 스펙트럼의 첨두(尖頭) 주파수이며, 유의파의 주기 $T_{H_{1/3}}$을 이용하여 환산하면 다음과 같다.

$$f_m = 1 \ / \ (1.05\, T_{H_{1/3}})$$ 참고 식 (4.3-22)

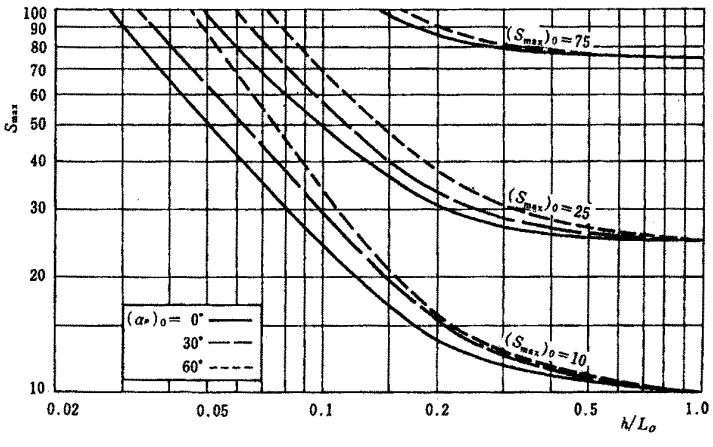
(2) 파랑의 방향집중도를 나타내는 계수인 참고 식 (4.3-20)과 참고 식 (4.3-21)의 $S_{\max}$는 풍파에 대해서는 10을 표준으로 하고, 너울(Swell)에 대해서는 파랑의 감쇠상태 등을 고려하여 20 이상으로 한다(즉, 풍파의 경우 $S_{\max}$=10, 감쇠거리가 짧은 파랑의 경우 $S_{\max}$=25, 감쇠거리가 긴 파랑의 경우 $S_{\max}$=75).

참고 그림 (4.3-6)은 현지 파랑관측 결과와 실험 자료로부터 평균적인 $S_{\max}$와 파형경사의 관계를 표시한 것으로 $S_{\max}$는 파형경사에 의해 변화하며, 충분한 관측 자료를 확보하지 못한 경우에는 참고 그림 (4.3-6)을 이용하여 추정할 수 있다 [Goda(合田), 1990].

(3) 참고 식 (4.3-19)의 방향함수의 모양은 굴절에 의해서 변하므로 불규칙파 변형계산 시 굴절후의 파랑을 사용할 때는 방향함수의 변화를 고려하는 것이 중요하다. 해안선이 직선으로 길고 지형이 단순하며 등수심선이 해안선과 평행하다고 간주할 수 있는 경우에 참고 그림 (4.3-7)을 이용하여 $S_{\max}$값의 변화를 추정할 수 있다. 그림 중 $(\alpha_p)_0$은 심해파의 주 방향각이며, 등심선에 대한 수직방향으로부터의 편각을 의미한다.



참고 그림 (4.3-6) 파형경사에 대한 $S_{\max}$의 추정도



참고 그림 (4.3-7) 굴절에 의한 $S_{\max}$의 변화

(4) 불규칙파의 스펙트럼이 주어진 경우는 유의파고($H_{1/3}$ 또는 Hs)를 다음 식에서 계산할 수 있다.

$$H_{1/3} = 3.8 \left[\int_0^{\infty} \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} S(f, \theta)\, df\, d\theta \right]^{1/2} \left(= \frac{3.8}{4.0} Hs \right)$$ 참고 식 (4.3-23)

여기서, $H_s = 4.0\sqrt{m_o}$, $m_n = \int_o^{\infty} f^n S(f) df$ 이다.

4.3.2 설계파 추산방법 및 절차

4.3.2.1 설계파 추산

(1) 항만시설의 구조안정 검토에 사용되는 파랑자료의 통계기간은 항만시설의 기능 및 구조특성, 재해위험 등을 감안하여 설정하여야 한다.
(2) 설계파는 장기간의 파랑관측자료를 이용하여 추산하는 것이 바람직하나, 파랑관측자료가 충분하지 않을 경우 바람장(해상풍)을 추정하고 이로부터 설계파를 추산한다.
(3) 설계파의 추산 시에는 파랑의 발달, 굴절, 회절, 천수변형 및 쇄파 등을 효과적으로 반영할 수 있는 기법을 사용하여야 한다.

[해 설]

설계파의 제원은 구조물에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 주방향마다 설정하며, 설계파 추산방법은 다음과 같다.

(1) 관측자료로서는 20년 이상의 자료가 바람직하나 관측자료가 없는 경우에는 30년 이상의 기상자료를 이용하여 파랑 추산값을 구하고, 이를 관측값과 보정하여 사용한다.
(2) 기상자료에서 구한 추산값을 관측자료로 보정할 경우, 관측자료는 태풍 또는 계절풍 등에 의해 큰 파가 발생한 자료를 포함하여야 한다.
(3) 현지 관측자료가 전혀 없는 경우 또는 매우 한정된 조건의 경우에는 자연조건이 유사한 인접지역의 관측자료를 참고로 하여 구할 수 있다.
(4) 기상자료에 의한 추산기간(推算期間) 이외에도 특이한 기록이 있는 경우에는 이를 고려한다.
(5) 관측자료를 이용해서 설계파를 추산할 경우 관측파고는 파의 굴절이나 천수변형 등의 영향을 받고 있기 때문에 파의 굴절계수 및 천수계수 등을 제외하여 심해파로 환산한다. 이때 파향의 변화를 고려하여야 한다.

(6) 관측값의 유의파고가 관측지점 수심의 0.5배 이상일 때에는 쇄파의 영향을 고려하여야 한다.

(7) 설계파는 재현기간과 구조물의 내용연수에 입각한 발생확률(Encounter probability)에서 구하는 것이 바람직하나, 발생확률을 어떻게 취하는가는 구조물의 기능, 중요도, 투자효과, 복구방법 등을 고려하여 결정하여야 한다. 여기서, 발생확률이란 가정한 재현기간의 파고보다 큰 파고가 내용연수(耐用年數)의 기간 내에 적어도 한번 발생할 확률이다.

(8) 설계파를 결정하는 경우, 설계대상물에 인접한 기존 구조물의 외력 또는 각종 재해에 관한 기존 자료(구조물 파손, 월파, 침수, 연안재해 등)를 참고할 필요가 있다.

(9) 설계파의 제원은 16방위마다 설정하는 것이 바람직하나, 파고가 작고 명백하게 구조물에 영향이 작다고 예상되는 파고의 파향은 제외할 수 있다. 여기서, 파향은 불규칙파의 성분파 중 에너지가 가장 큰 파의 방향을 의미하며 이를 주파향이라 한다.

[참 고] [신설, 2021.11.02. 개정]

(1) 파랑에 대한 구조안정을 검토함에 있어 내용연수를 50년으로 상정한 항만시설물의 경우 통상적으로 50년 재현기간의 설계파를 적용하여 왔으나, 50년 재현기간의 설계파로 설계된 구조물의 경우에 그 구조물이 내용연수 50년 내에 설계파를 상회하는 큰 파랑과 조우할 확률은 63.6%에 달한다. 또한, 최근 기후변화 영향에 의한 태풍의 대형화, 고파랑 내습 등으로 설계파가 점차 증가하는 경향이 나타나고 있고 이에 따라 항만시설물의 피해도 빈번히 발생하고 있다. 이에 대상시설물의 안정성 향상을 위한 방법 중 하나로 설계파 재현기간을 구조물의 내용연수보다 길게 하여 구조물이 설계파를 초과하는 파랑과 조우할 확률을 낮출 수 있는 방안도 있다. 다만 이를 모든 시설물에 적용하기에는 사회적, 경제적 측면에서 문제가 있을 수 있으므로 설계파 재현기간은 대상시설물의 내용연수, 기능, 중요도, 대상항의 피해이력 및 자연 상황 등을 고려하여 적절히 결정함이 바람직하다.

(2) 예를 들어, 항만시설물의 기능과 중요도를 고려할 때 국민경제와 공공의 이해에 밀접한 관계가 있어 지정된 무역항의 항만시설 중 외곽시설의 경우 구조안정 검토 시 사용하는 설계파의 재현기간을 100년 이상으로 적용할 수 있다. 다만 항만의 이용과 관련한 항내 정온도 산정시 적용 파랑은 이 기준의 4.3.8.2 항내정온도의 산정에 따른다.

4.3.2.2 설계파 추산방법

설계파 추산방법에는 바람장을 이용하여 추산하는 방법과 심해설계파를 적용하여 파의 굴절, 회절, 천수변형 및 쇄파 등에 의한 전파 변형을 고려하여 추산하는 방법이 있다. 이중 설계파는 구조물 또는 배후시설에 가장 불리하게 작용하는 파를 사용하여야 한다. 다만, 별도로 정하는 경우는 심해설계파만을 활용하여 산정할 수 있다.

[해 설]

(1) 바람장을 이용하여 설계파를 구하는 방법(바람장 이용법)은 정확도가 확인된 예보 바람장 또는 재분석 바람장을 이용하여 제3세대 파랑추산 모델(SWAN, WAVEWATCH III 등)로 설계 대상지점에서의 파랑을 직접 구하는 방법이다. 먼저, 설계 대상지점에 크게 영향을 미친 과거의 주요 태풍 및 비태풍의 사상(Event)들을 선정하고 각 사상들마다 특성을 분석하여 파고 첨두치를 재현할 수 있는 적절한 기간의 바람장을 선정하여야 한다. 선정된 바람장을 이용하여 파랑추산 모델로 설계 대상지점의 파랑을 추산한다. 과거의 주요 태풍이나 비태풍 사상들을 모두 고려할 수 없는 부득이한 경우에는 16방위의 파향별로 영향을 크게 미친 2~3개의 태풍 및 비태풍 사상들의 적용을 고려할 수 있으며, 이 경우 설계파고 재현빈도는 전국 심해설계파 산출 보고서(해양수산부, 2019)에 제시된 재현빈도별 파랑과 바람조건들을 사용하여 추정할 수 있다.

(2) 중요도가 상대적으로 낮은 항만 및 국가어항의 경우에는 설계의 신속성과 경제성 등을 고려하여 심해설계파를 적용할 수 있다. 이 경우 심해설계파는 해안·항만 구조물 설치위치의 설계파를 결정하기 위한 수심이 깊은 지점의 재현빈도별 확률파고를 말하며, 전국 심해설계파 산출 보고서(해양수산부, 2019)에서 전국 해안을 따라 일정한 간격의 격자점에서 재현빈도별로 제공하는 심해설계파를 참조할 수 있다. 다만 심해설계파 제공 격자점이 전국의 모든 항만들의 인접 지역을 포함하고 있지 않으므로 심해설계파 격자점으로부터 대상지역까지 파랑변형 수치모의를 통하여 설계파를 산출하는 과정이 필요하다. 이 경우 수치모형실험 시 격자점 선정에 따른 구조물 설계파 산정결과에 영향을 미칠 수 있으므로 유의하여야 한다.

(3) 본문의 별도로 정한 경우라 함은 항 기능이 중요하다고 판단되는 항만 및 국가어항 또는 대상구조물이 태풍이나 온대성저기압 등에 의한 피해이력이 있는 경우를 제외한 항을 말하며 (2)의 방법을 적용할 수 있다.

[참 고]

(1) 바람장(해상풍)은 태풍에 대해서는 전국 심해설계파 산출 보고서(해양수산부, 2019)에 제시된 WRF(The Weather Research and Forecasting Model) 바람장과 일본기상청의 JMA(Japan Meteorological Agency)-MSM(Meso-Scale Model) 예보바람장 등을 활용할 수 있다. 또한 온대성 저기압에 대해서는 한국해양과학기술원의 재분석 바람장이나 JMA-MSM 예보바람장 등도 활용할 수 있다. 그 밖에도 한국 기상청(KMA, Korea Meteorological Administration), 미국 국립환경예측센터(NCEP, National Centers for Environmental Prediction), 유럽중규모기상예보센터(ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 등의 다양한 바람장을 사용할 수 있으며, 직접 재분석한 바람장도 사용 가능하다. 다만 온대성 저기압에 대하여 바람장으로 계산한 파고는 우리나라의 해역에 따라서는 관측된 파고에 비해 과소평가되는 경향도 있으므로 유의해서 적용할 필요가 있다.

(2) 바람장을 이용하여 구조물 설계파를 산정하는 방법의 적용 예로서 항만 및 어항 설계기준 적용을 위한 풍파 추산 연구용역 보고서(해양수산부, 2020)를 참조할 수 있으며,

산정된 결과는 전국파랑관측자료 제공시스템(WINK)의 파랑관측자료와 비교하여 검증해야한다.

(3) 대상지점에서의 특수요건, 예를 들어 반사파 또는 오목부에 의한 파고 증대 등의 영향이 있는 경우, 그리고 유속이 강한 해역은 이에 의해 파랑의 발달 및 전파 변형에 상당한 영향을 줄 수 있으므로 이러한 영향을 고려한다.

(4) 이상에서 구한 파에 대해서 파력, 월파 및 기타 구조물에 대한 파의 작용을 계산한다.

(5) 조위가 낮을 때에 파력이 커지는 경우가 있으므로 여러 가지 조위에 대해서도 검토한다.

(6) 각 방향에 대해서 산정된 설계파 중 파의 작용이 최대로 되는 것, 또는 구조물 및 배후시설에 가장 불리하게 작용하는 것을 설계파로 결정한다.

4.3.2.3 파의 추산(推算)

(1) 설계일반

> 파를 발생·발달시키는 장소를 풍역이라 하며, 파를 발생시키기 위한 제원으로는 풍속, 풍향, 취송거리, 취송시간 등이 있다. 풍역이 설정되면 해당 풍역조건에 가장 적합한 추산법을 사용하여 파의 발달·감쇠를 계산한다.

[해 설]

파의 추산은 다음 2가지 단계로 나누어 실시한다.

(1) 풍역의 설정

(2) 파의 발달·감쇠(減衰)의 계산

[참 고]

(1) 풍역은 다음 순서로 설정한다.

① 지상일기도.기상자료의 수집

② 추산 케이스의 결정

③ 지상일기도에서의 경도풍의 계산

④ 경험공식이나 실측자료로부터의 해상풍의 추정

⑤ 풍역도의 작성

(2) 지상일기도는 3, 9, 15, 21시의 6시간 간격의 일기도를 사용한다. 그 중 9, 21시의 일기도는 기상청 발행의 아시아 일기도를 사용한다. 3, 15시의 일기도는 기입된 기상요소의 시간적 변화의 연속성(예를 들면 태풍이나 온대성 저기압의 진행경로)을 전술한 아시아 일기도로 확인한 후에 사용한다.

(2) 발생역(發生域)에서의 파의 추산

> 파랑발생역에서의 파의 추산은 파랑 스펙트럼법 또는 유의파법 등을 이용한다.

[해 설]

(1) 파의 추산은 파랑발생역에서 발생하는 일반적인 파의 제원을 산정하는 것을 의미하며, 추산결과의 타당성 및 그 정도에 대해서는 관측값과 비교하여 검토할 필요가 있다.

(2) 스펙트럼법은 에너지 평형방정식에 기초한 스펙트럼의 발달·감쇠를 추적 계산하는 방법을 총칭하며, 이 방법은 컴퓨터를 사용하여 대규모의 계산을 수행할 필요가 있다. 그리고 파의 발달·감쇠의 이론식 및 경험식에는 개선의 여지가 남아 있으나 너울을 포함한 파의 스펙트럼의 발달·변형의 상황을 파악할 수 있는 점 등은 유의파법에서 볼 수 없는 특징이다.

(3) 유의파법은 처음으로 유의파의 개념을 제안하고 이 유의파의 추산법을 제시한 스베르드럽(Sverdrup), 멍크(Munk) 및 이를 수정 개량한 Bretschneider에 의한 S-M-B법, 또한 이를 보다 일반적인 풍역에 적용 가능하게 확장한 Wilson법, 천해에서의 파의 추정법인 Bretschneider법과 이를 수치계산화한 방법을 총칭한다.

(4) 파의 스펙트럼을 추정하는 방법으로서는 피어슨(Pierson)·노이만(Neumann)·제임스(James)에 의한 P-N-J법을 비롯하여 왈든(Walden)법, 다비샤(Darbyshire)법 등이 있으나 이들의 방법도 추산 순서는 상기 유의파법과 큰 차가 없고, 또 추산 결과는 유의파로 표시하는 경우가 많다. 여기서는 유의파법과 특별히 구별하지 않고 유의파법에 준하는 것으로 취급한다.

[참 고]

(1) 스펙트럼법

① 일 반

스펙트럼법은 주파수·방향별의 스펙트럼의 각 성분이 어떤 평형상태까지 독립으로 발달는 것으로 하여 조립(組立)한 스펙트럼법(참고문헌 91, 94∽96)과 파의 스펙트럼의 발하달·감쇠는 어떤 소수의 파라메타로 기술할 수 있다는 식견에 의거한 파라메타법(참고문헌 99∽101)으로 분류된다. 전자는 스펙트럼 성분파에 바람으로부터의 에너지 유입과 성분파 간의 약한 비선형 상호작용에 의해 파랑의 발달이 기술된다는 입장을 취하고 있다. 한편, 후자는 파랑의 발달을 강한 비선형 효과의 종합적인 결과로 이루어지는 것으로 보아 파랑장에 일종의 상사 발달기구를 상정하고 그 발달 및 변형과정에 관한 법칙성을 파라메타를 사용하여 수식화하여 계산하는 것이다.

스펙트럼법의 추산 정도에 대하여는 반드시 충분한 검토가 이루어졌다고 말할 수는 없으나, 파랑 추산의 정도는 해상풍의 추정 정도에 크게 의존되므로 현재로서는 유의파법과 같은 정도로 생각해도 좋다. 그러나 같은 파랑 추산 모델을 사용하여도 계산격자·경계조건·경험정수 등의 차이로 인하여 결과는 10∽20% 정도 차가 나는 경우도 있으므로 주의가 필요하다. 따라서 관측값과 대조하여 추산 결과의 타당성 및 그 정도에 대하여 검토하여 볼 필요가 있다. 특히, 현상의 스펙트럼법은 파랑 발달의 극한으로서 평형 스펙트럼형을 주는 방법을 사용하고 있으며, 이 가정된 평형 스펙트럼의 정도(精

度) 그 자체가 결과를 크게 좌우한다고 생각된다. 주파수 스펙트럼 또는 방향 스펙트럼에 대하여 정도를 검토하는 쪽이 좋다. 이것은 유의파고가 방향 스펙트럼의 적분값의 평방근에 비례하므로 다소 스펙트럼의 형상 자체에 차(差)가 있어도 유의파고에는 크게 차가 나타나지 않는 계산이 되고 있기 때문에 스펙트럼 형상으로 평가한 쪽이 엄격한 것이 되고 있다고 생각되기 때문이다.

유의파법에 비해 스펙트럼법은 다음과 같은 이점이 있다.

가. 풍속.풍향의 변동에 대한 물리적 특성을 명확하게 고려한다.

나. 파의 발달과정에서는 유의파의 주기가 시간과 더불어 변화하는데 풍역이 파의 전파속도(傳群速度)와 같은 속도로 파의 전파방향으로 이동하는 경우에 있어서도 타당한 추산 결과가 얻어진다.

다. 풍역조건에 의해서 풍파와 너울이 혼재하는 경우에도 풍파의 발달과정의 계산과 너울에 관한 감쇠과정의 계산을 분리하여 계산하지 않고 동일 모델로 양자를 포함하여 연산을 할 수가 있다.

따라서 유의파법에 대한 추산 결과에 의문이 있는 경우에는 스펙트럼법으로 재검토하는 것이 좋다. 또한, 스펙트럼법은 심해파를 중심으로 연구·개발되어 있고 천해역에 관한 것으로는 코린즈(Collins, 1972), 카바레리(Cavaleri)와 리조리(Rizzoli, 1981), 골딩(Golding, 1983) 및 야마구찌(山口, 1986) 등에 의한 예가 있다.

② 상세(詳細)

스펙트럼 모델에서 기본이 되는 것은 참고 식 (4.3-24)에서 표시하는 에너지 평형방정식이다.

$$\frac{\partial}{\partial t}E(f,\theta,t,x) = -C_G(f)\cdot\nabla E(f,\theta,t,x)+\alpha(f,U)+\beta(f,U)E(f,\theta,t,x)+F_3+F_4+F_5$$ 참고 식 (4.3-24)

여기서, $E(f,\theta,t,x)$: 이차원(二次元)의 파(波)의 에너지 밀도(密度)

$\alpha(f,U)$: 필립스(Phillips, 1957)의 공명이론(共鳴理論)에 있어서 선형 증폭계수(線形 增幅係數)

$\beta(f,U)$: 마일즈(Miles, 1959)의 Shear 불안정이론(不安定 理論)에 있어서 지수형 증폭계수(指數型 增幅係數)

F_3 : 쇄파에 의한 에너지의 소모율

F_4 : 파가 전파될 때의 내부마찰 등에 의한 에너지 소모율

F_5 : 성분파간의 비선형 상호작용에 의한 에너지의 교환율

f,θ : 성분파의 주파수 및 진행각

t : 시간

x : 위치 벡터

$C_G(f)$: 군속도(群速度) 벡터

U : 풍속

이후, 수식을 기술하는데 번잡을 피하기 위하여 파의 에너지 밀도를 시각과 위치의

변수 t 및 x를 생략하여 $E(f,\theta)$로 표시한다. 그리고 파의 에너지 밀도 $E(f,\theta)$를 전 방향($-\pi < \theta < \pi$의 범위)에 대하여 적분한 것을 $E(f)$로 표시한다.

참고 식 (4.3-24)의 표시는 하셀만(Hasselman, 1968)에 의한 것으로 좌변은 파의 에너지 밀도의 시간적 발전을 표시하고, 우변의 제1항은 성분파가 군속도로 전파 하는데 따라 에너지의 유출·유입을 표시하고, 제2항, 제3항은 바람으로부터 에너지의 공급을 표현하고 있다. 실제의 계산을 위해서는 우변 제2항 이하를 정식화할 필요가 있다. 증폭계수 a, β는 각각 필립스(Phillips, 1957)와 마일즈(Miles, 1959)에 의하여 이론적으로 주어졌지만 정밀한 관측결과에 따라 관측값이 이론값보다 큰 값이 되는 것을 알고 있으므로 수치계산에서는 관측값에 의거하여 a와 β를 사용하고 있다. 그러나 조합한 관측값의 차이 등에 의하여 파랑추산 모델마다 다른 표현식을 쓰는 경우도 있다. 그리고 쇄파에 의한 에너지 손실은 주파수 스펙트럼의 한계값을 설정하는 것에 의하여 평가하는 계산법을 채용하고 있으나 이것도 계산 모델에 따라 다른 것을 채용되고 있다. 그리고 내부마찰·비선형 간섭·역풍에 의한 감쇠 등에 관하여도 동일하게 계산 모델에 따라 틀리는 경우가 있다. 따라서 기본식은 동일하지만 실제의 계산에 쓰이는 수식 및 여러 정수는 계산모델마다 다르므로 주의하여야 한다.

③ 스펙트럼법의 분류

파랑의 스펙트럼에 의거한 파랑예측의 역사는 파랑의 스펙트럼의 관측과 해석 기술의 진보와 더불어 발전하였다. 현재까지 제안되어 있는 방법은 일반적으로 비선형 상호작용 항의 취급방법의 차이에 따라 DP(Decoupled propagation) 모델, CH(Coupled hybrid) 모델 및 CD(Coupled discrete) 모델의 세 가지로 분류되어 있다.

DP 모델에서는 에너지 원천함수는 바람에서 파의 에너지 수송의 항과 에너지 소산(消散)의 항으로 구성되어 비선형 상호작용에 의한 성분파 간의 에너지 수송의 항은 형식적으로는 고려되지 않았다. 그러므로 방향스펙트럼의 각 주파수·방향마다의 파랑 성분은 서로 독립으로 전파하므로 DP 모델이라 부르고 있다. 이와 같이 DP 모델은 편의적인 모델화가 되어 있는 것이지만 계산시간이 적고 파고에 관하여는 실용상 허용할 수 있는 정밀도를 가지고 있는 점으로부터 간편하게 쓰이는 파랑추산 모델로서 현재에도 다방면으로 쓰이고 있다.

CH 모델에서는 풍파의 스펙트럼이 상사형(相似形)을 유지하면서 발달한다는 관측 사실에서 풍파 성분을 몇 개의 파라메타에 의하여 표현하면서 너울 성분에 대하여는 DP 모델과 마찬가지로 독립으로 전파하는 것으로 하여 취급한다.

파라메타로 표현된 풍파스펙트럼과 DP 모델로서 취급하는 너울의 스펙트럼을 결합시킨 모델이므로 CH 모델이라 부르고 있다. CH 모델은 풍파 스펙트럼의 경험값을 재치 있게 삽입한 파랑 모델로서 비선형 에너지 수송의 항은 간접적으로 고려되어 있으나 풍파와 너울의 분리는 기계적으로 취급되어 있고, 풍파 성분과 너울 성분의 시간적·공간적인 분포가 불연속으로 되는 결점이 있다고 지적되고 있다.

CD 모델에서는 비선형 에너지 수송항(輸送項)을 몇 개의 모양으로 직접적으로 고려한 점이 DP 모델이나 CH 모델과 크게 다르다. 비선형 에너지 수송식의 엄밀한 계산

방법을 실용적인 파랑 모델에 포함시키기가 곤란하므로 실제는 비선형 에너지 수송항의 엄밀계산 결과를 파라메타화하여 도입하도록 연구하고 있다. 그러나 역으로 CD 모델의 결점은 이 비선형 에너지 수송항의 파라메타화에 있다.

즉, 실제의 파랑 스펙트럼은 표준적인 스펙트럼과는 다르고 두 방향에서 내습하는 성분파가 겹치는 쌍봉형(雙峰形)의 스펙트럼 등 복잡한 스펙트럼 현상을 나타내는 경우가 많다.

이와 같이 복잡한 스펙트럼에 대한 비선형 에너지 수송항을 표준적인 스펙트럼의 비선형 에너지 수송을 파라메타화한 결과로 표현하는 것은 한계가 있고 때에 따라서는 비현실적이고 불안정한 스펙트럼이 계산되어 버리는 결점이 있다.

CD 모델의 이와 같은 결점을 해소하는 목적으로 Hasselmann(1985)은 비선형 에너지 수송항의 보다 직접적인 근사방법을 제안하고 이 근사계산방법을 도입한 WAM모델을 개발하였다. 이 WAM모델은 분류상 CD 모델로 분류되지만 기왕의 CD 모델에 비하여 비선형 에너지 수송항의 계산 방법의 자유도(自由度)가 높고 형식적으로는 표준적인 스펙트럼 형상의 제약을 벗어버리고 있다는 점에서 새로운 세대의 모델이며, 제3세대의 파랑추산 모델이라 부르고 있다.

여기에 대응하여 1960년대부터 1970년대의 초기에 걸쳐 개발된 DP 모델을 제1세대 모델, 1970년대부터 1980년대에 걸쳐서 개발된 CH 모델 및 CD 모델을 제2세대의 파랑추산 모델이라 분류하는 것도 있다.

WAM 이외의 제3세대 파랑추산 모델로서는 SWAN(Booij 등, 1996), WAVEWATCH III(Tolman and Chalikov, 1996) 등이 있다. SWAN은 수심에 의한 쇄파나 Wave set-up을 고려할 수 있도록 확장시킨 모델이며, 천해역의 파랑추산에 사용되고 있다. 그리고 WAVEWATCH III는 최근의 Version-up(Tolman and WAVEWATCH III Development Group, 2014)을 통하여 심해역 뿐만 아니라 천해역의 천수효과를 고려한 주기나 너울의 추산 정밀도 향상에 대한 개량이 이루어지고 있다.

이상과 같이 현재까지 제안된 파랑추산 모델에는 많은 종류가 있고 1970년대부터 현재에 걸쳐 보다 정밀한 파랑모델이 발전되어 왔다.

그러나 파랑추산의 정밀도는 파랑모델뿐만 아니라 일기도의 정도와 바람의 추산정도 등 많은 요소에 의존하는 점에서 파랑관측 자료에 의한 추산정도의 검증은 반드시 필요하다.

따라서 파랑추산을 실시하는 경우에는 소수의 예 일지라도 현지에서의 관측 자료와 비교하여 채용한 파랑추산법의 신뢰도를 확인함과 동시에 이 추산법에 의한 추산 결과가 특이한 편차가 있는 경우에는 적정하게 보정하는 것이 필요하다.

(2) 유의파법

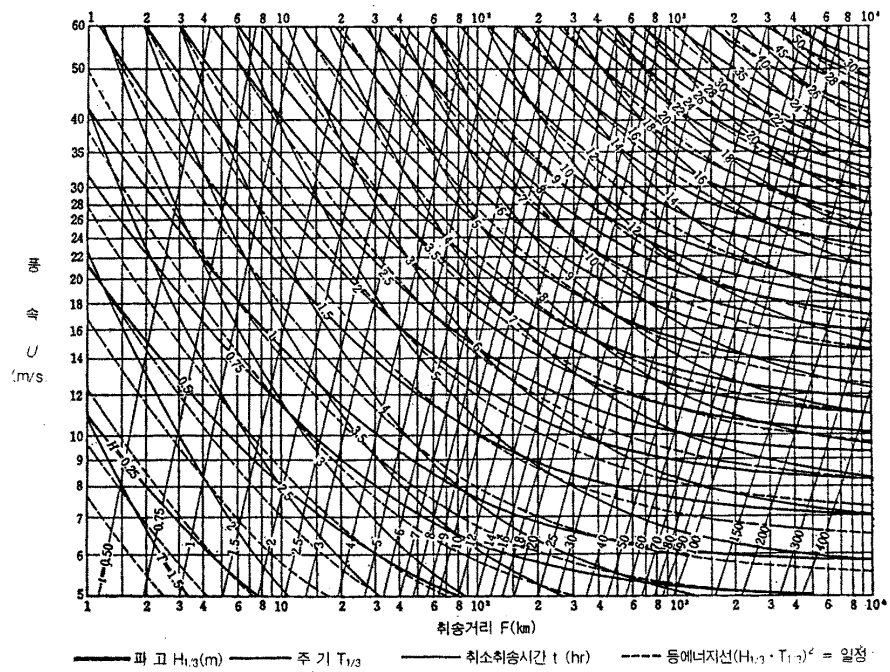
① S-M-B법

S-M-B법은 풍역이 이동하지 않는 경우에 적용하는 것으로서 풍역 내의 풍속, 취송시간, 취송거리에서 참고 그림 (4.3-8)을 사용하여 심해에서의 유의파의 파고, 주기를 추정한다. 풍속-취송시간, 풍속-취송거리의 각각의 조합에서 얻어지는 파고 및 주기 중 적은 쪽을 추산값으로 한다. 참고 그림 (4.3-8)은 윌슨(Wilson) 참고 식 (4.3-25), 참고 식 (4.3-26)으로부터 계산한 값을 도시한 것이다.

$$\frac{gH_{1/3}}{U^2} = 0.30\left[1 - \frac{1}{\left\{1 + 0.004\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/2}\right\}^2}\right] \qquad \text{참고 식 (4.3-25)}$$

$$\frac{gT_{1/3}}{2\pi U} = 1.37\left[1 - \frac{1}{\left\{1 + 0.008\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/3}\right\}^5}\right] \qquad \text{참고 식 (4.3-26)}$$

여기서, $H_{1/3}$는 유의파고(m), $T_{1/3}$는 유의파의 주기(sec), U는 해상 10m에서의 풍속(m/sec), F는 취송거리(吹送距離, m), g는 중력가속도(9.81 $\mathbf{m/s^2}$) 이다.



참고 그림 (4.3-8) S-M-B법에 의한 파랑예보 곡선

② 윌슨(Wilson)법

윌슨(Wilson)법은 S-M-B법을 확장하여 태풍과 같은 이동성의 풍역에 적용될 수 있도록 개량한 것으로 참고 그림 (4.3-9)의 $H_{1/3} - t - F - T_{1/3}$ 그림을 사용하여 $F - t$ 면에서 파의 진행을 추적하고 $H_{1/3} - F$면, $T_{1/3} - t$면에서 유의파의 파고, 주기의 발달

을 추적한다. 참고 그림 (4.3-9)는 참고 식 (4.3-25), 참고 식 (4.3-26)에서 구한 것이다.

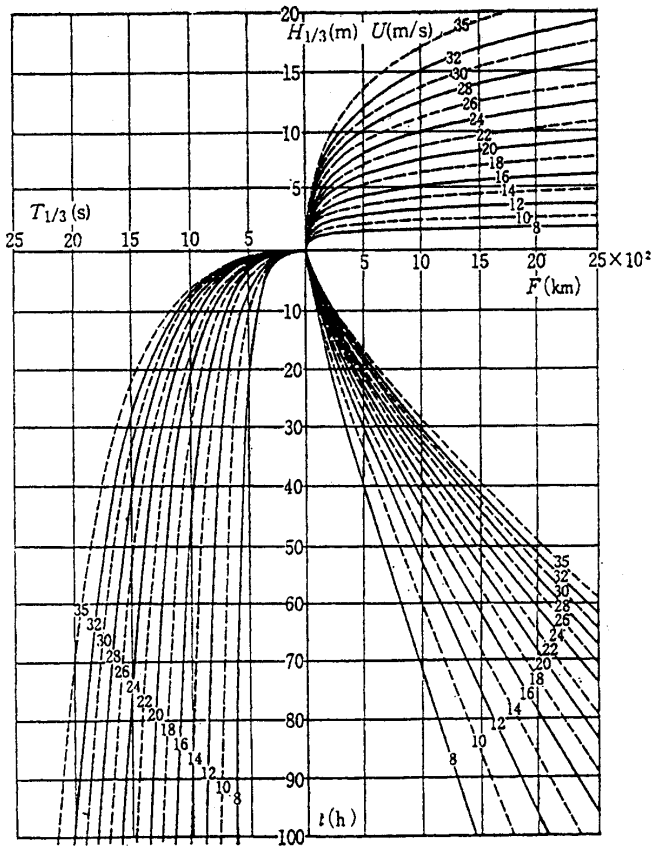
③ 천해에서의 추산

파의 발달에 대한 수심의 영향(해저마찰에 의한 에너지의 손실)을 고려한 방법으로는 사까모토(坂本)-이지마(井島)법 등[사까모토(坂本) 등, 1960 ; 이지마(井島)법, 1968 ; 이지마(井島)법 등, 1967]이 있다. 유의파의 주기는 유의파의 파고와 참고 식 (4.3-27)의 관계에서 성립되는 것을 경험적으로 말할 수 있다. 단, 이 식은 풍역내(風域內)의 파에 대한 것이다.

$$T_{1/3} = 3.86\sqrt{H_{1/3}}$$ 참고 식 (4.3-27)

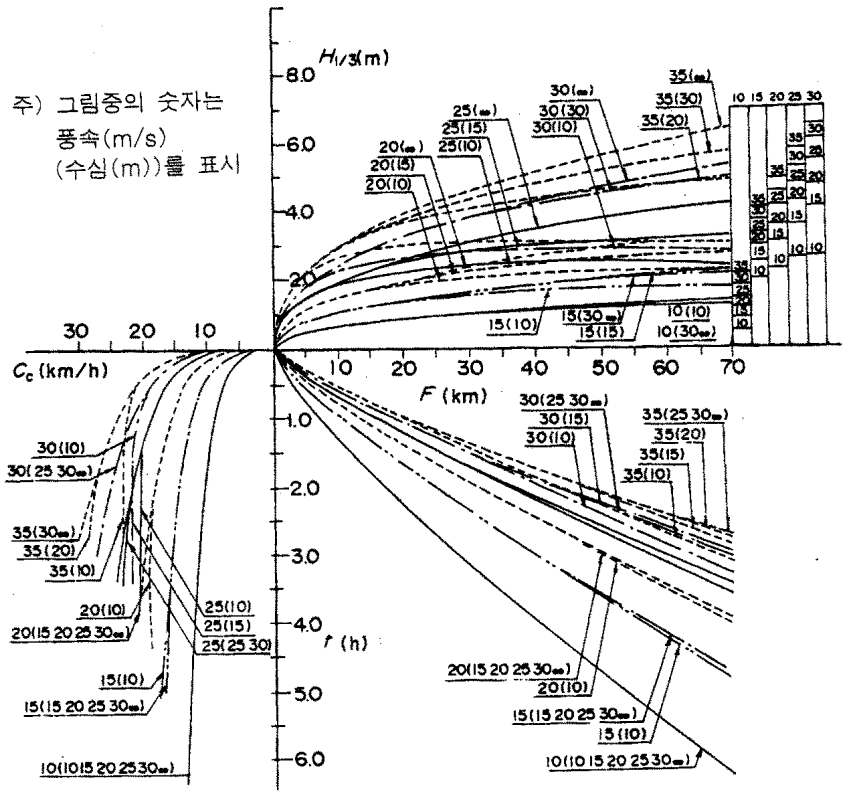
여기서, $H_{1/3}$: 유의파고(m)

$T_{1/3}$: 유의파주기(sec)



참고 그림 (4.3-9) $H_{1/3} - t - F - T_{1/3}$ 도 (윌슨(Wilson)식에 의함)

사까모토(坂本)-이지마(井島)법은 심해에서의 Wilson법의 고려방법을 천해의 경우로 도입하여 참고 그림 (4.3-10)과 같은 $H_{1/3} - t - F - CG$도를 작성하여 변동 풍역내에서 천해파의 추산을 할 수 있도록 한 것이다.



참고 그림 (4.3-10) 천해파의 $H_{1/3} - t - F - CG$도 [사까모토(坂本)-이지마(井島)법]

④ 유의파법의 수치계산법

변동풍역에 대한 Wilson법 및 사까모토(坂本)-이지마(井島)법은 어느 것이나 도식해법에 의하여 파의 추산을 하는 것이지만 이것을 컴퓨터를 사용하여 해석하도록 한 것이 유의파법에 있어서의 수치계산법이다. 도식해법의 경우에는 선풍역(線風域)을 설정하지만 수치계산법의 경우에는 평면적인 풍역의 시간 변화를 입력으로 사용하고 파의 주방향이 그 장소의 풍향에 따라서 변화하는 것으로 하여 취급하는 점이 다르다. 적용 범위는 원리적으로 도식해법과 동일하다.

⑤ 유의파법의 여러 가지 방법의 적용에 대하여

파의 추산에 쓰이는 유의파법의 선택은 대상지점이 외해에 면하는 연안에 있는가 혹은 소해만(小海灣) 또는 내만(內灣)의 연안에 있는가에 따라서 다르다.

외해의 경우에는 취송거리 및 취송시간이 길고 S-M-B법이 가정하고 있는 일정 풍역의 근사가 곤란하므로 Wilson법 또는 수치계산법을 사용한다. 동해의 연안은 비교적 해저경사가 급하므로 천해파로서의 추산은 필요치 않다. 도식해법과 수치계산법은 어느 것을 이용해도 좋다. 그리고 풍역의 변동이 적은 경우에는 참고 그림 (4.3-8) 중에 표시한 등에너지선을 이용하는 것에 의하여 S-M-B법을 적용할 수 있다.

그러나 외해에 접한 연안에서 태풍이나 저기압에 의한 파의 추산인 경우에는 풍역의

설정에 주관이 들어가기 쉽고, 또 추산 정도가 저하되기 쉬우므로 S-M-B법을 사용하지 않는 것이 바람직하다. 대상지점이 소해만이나 내만인 경우에는 일반적으로 천해파로서의 추산이 필요하다.

추산하고자 하는 파가 천해파로 되느냐 안 되느냐를 조사하기 위해서는 참고 그림 (4.3-8)을 사용하여 심해파로서의 제원을 구하고 발생파의 파장과 대상지점의 수심과의 관계에서 판단하면 된다.

수역이 협소하고 수심이 비교적 깊은 경우와 같이 근사적으로 심해파로 볼 수 있는 경우에는 S-M-B법을 사용해도 좋다. 천해파로서의 추산을 하고자 할 경우에는 사까모토(坂本)-이지마(井島)법 또는 수치계산법에 의한다.

(3) 너울(Swell)의 추산

너울의 추산은 Bretschneider법의 적용을 표준으로 하며 해당 해역의 특성에 맞는 보다 적합한 추산법이 있는 경우에는 이를 적용할 수 있다.

[해 설]

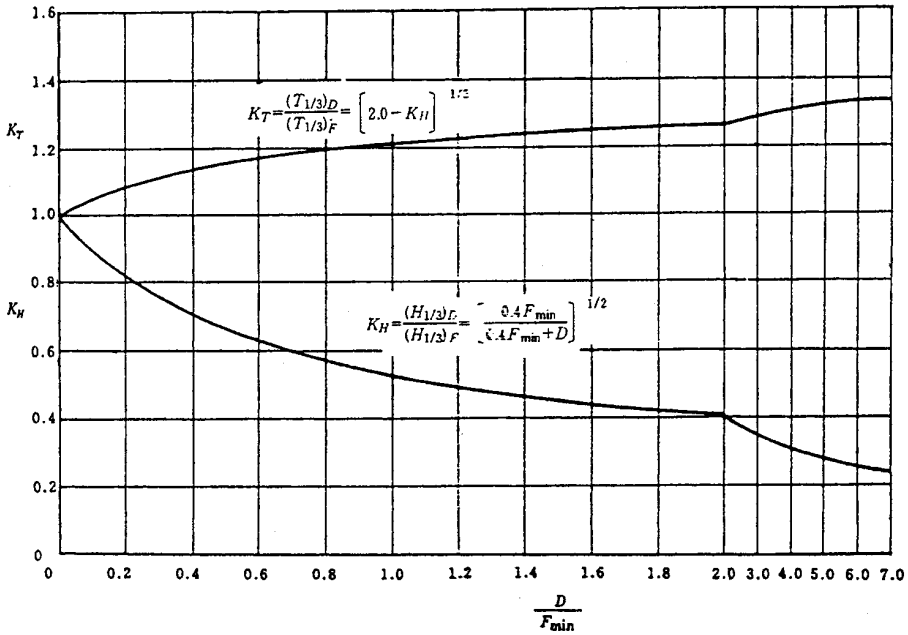
(1) 파랑이 그 발생역으로부터 빠져나가 파랑을 발생시키는 바람과 관계없이 진행하는 파랑을 너울이라 하며, 파랑이 풍역에서 벗어나 너울로 진행하게 되면 바람으로부터 에너지의 공급이 없으므로 파고는 점차적으로 감소된다. 파고 감소의 원인은 방향 분산과 속도 분산에 의한 파에너지의 밀도 저하에 의한 것이다.

(2) 너울의 추산법에는 Bretschneider법(1968), P-N-J법(1955) 및 파랑 스펙트럼법 등이 있다. 파랑 스펙트럼법은 앞에서 언급한 바와 같이 수치계산에 의한 것으로 발생역에서 풍파와 너울을 구별하지 않고 여러 주파수에 대해 동시에 계산을 한다.

결과는 이 두 가지를 합성해서 유의파 제원으로 제시한다. 파랑 발생역에서 파의 추산에 유의파법을 사용한 경우에는 너울을 추산할 필요가 있으며, 이 경우에는 비교적 간단하며 사용하기 쉬운 Bretschneider법을 표준으로 하였다.

[참 고]

이 방법은 Bretschneider에 의해서 제안된 방법이며, 참고 그림 (4.3-11)에서 너울을 추산한다.



참고 그림 (4.3-11) 너울의 산정도(算定圖)

그림에서 $F_{\min}$은 최소 취송거리, D는 너울의 감쇠거리, $(H_{1/3})_F$, $(T_{1/3})_F$는 풍역 종단(終端)에서의 유의파의 파고와 주기, $(H_{1/3})_D$, $(T_{1/3})_D$는 너울의 추산 지점에서의 유의파의 파고와 주기이다.

최소 취송거리 $F_{\min}$은 S-M-B법에 있어서 추산값이 풍속과 취송거리에 의해서 결정되는 경우는 실제의 취송거리를 사용하고, 풍속과 취송시간에 의해서 결정되는 경우는 이에 대응되는 취송거리를 사용한다. 감쇠거리 D까지 진행하는데 필요한 시간 t는 다음 식과 같다.

$$t=\frac{D}{C_{GD}}=\frac{4\pi D}{gT_D}$$ 참고 식 (4.3-28)

여기서, C_{GD}는 T_D에 대응하는 군속도이다.

너울에 대해서는 신뢰할 수 있는 관측 자료가 충분히 확보되어 있지 않기 때문에 발생역에서의 파에 대한 경우보다도 추산 정도는 낮다. 따라서 관측값과 비교 검토하여 사용한다.

4.3.3 파랑의 통계분석

파랑자료는 장기간의 관측자료 또는 기상자료에 의해 추산한 값을 관측값으로 보정한 자료를 기초로 하여 상시 파랑과 이상시 파랑으로 구분하여 파랑 특성을 통계 분석한다. 주어진 재현기간에 상응하는 설계파는 이상시 파랑 자료에 적절한 극치통계해석기법을 적용하여 결정한다.

[해 설]

(1) 항내정온도 및 작업일수 검토 등에 이용되는 상시 파랑의 특성을 분석하기 위해서는 파랑자료를 월별, 계절별 및 연별로 정리하여 파향별 파고, 주기의 상관도수 분포표를 이용한다.

(2) 극치통계해석을 위한 파고의 선정법(Sampling method)에는 통상 1년마다 1개의 최대 파고를 취하는 연최대파법(AMM: Annual Maxima Method)과 정해진 기간마다 특정한 파고보다 크거나 같은 것을 모두 취하는 POT(Peaks Over Threshold)법이 있다. 단, POT법에서는 하나의 사건(Event)에서 하나의 파고만이 선정되도록 하고, 각각의 사건은 독립적이어야 한다.

(3) 재현기간은 상정한 값을 상회하는 파랑이 나타난 평균적인 연수이다. 예를 들면, 6m 이상의 파고의 파가 평균하여 M년에 1회 비율로 나타난다면 이 파랑의 재현기간은 M년이다.

(4) 극치통계를 위한 파고가 연최대파법(AMM)으로 추출된 경우에는 Gumbel 분포함수, Weibull 분포함수 및 일반화 극치분포함수(GEV) 등을 적용하여 파고의 발생확률을 추정하고 재현기간에 대응하는 확률파고를 결정한다. 한편, POT법으로 파고를 추출한 경우에는 파고의 역치(閾値:Threshold)를 고려할 수 있는 확률모형(예를 들면 Pareto 분포 등)을 적용하여 확률파고를 산정하여야 한다.

(5) 확률파고에 대응하는 주기에 대해서는 확률파고 추정을 위하여 사용된 극대파 자료의 파고와 주기의 관계로부터 상관관계를 기초로 하여 적정하게 결정한다.

[참 고]

확률파고 추정방법을 이용하여 임의 재현기간에 대한 파고를 추정하기 위한 통계 자료의 특성, 후보 분포함수의 선정, 자료와의 관계식 도출, 분포함수의 적합성을 측정하는 통계지표 등에 대한 참고자료로서는 Goda(合田, 1988) 또는 ACES technical reference(1992) 등이 있고, 여기에는 관련사항이 잘 기술되어 있으며 프로그램도 이용이 가능하다.

4.3.4 파랑의 변형

항만시설 설계 시의 파랑은 굴절, 회절, 반사, 천수 및 쇄파 변형 등과 같은 전파변형을 고려하여 산정하여야 한다.

[해 설]

파랑변형은 수심과 흐름의 변화 및 구조물 등에 의해 발생된다. 수심이 파장의 1/2 이하인 수역에서는 파랑은 해저의 영향을 받아 파속은 느려지고 파장이 짧아지며 파고도 변한다. 따라서 수심이 파장의 1/2 이상인 해역을 심해역이라 하고, 이보다 얕은 해역을 천해역이라 한다.

[참 고]

불규칙파에 대한 심해역과 천해역의 구분은 심해파의 유의파 주기로부터 구한 파장과 이에 대한 수심으로 해역을 구분한다. 천해역에서는 굴절, 회절, 천수 변형 및 쇄파 등의 영향을 받아서 스펙트럼 형태와 파고분포가 심해파의 상태와 다른 점을 고려해야 한다.

4.3.4.1 천수변형

파랑이 천해역을 진행할 때에는 수심변화에 따른 굴절.회절 변형뿐만 아니라 천수변형도 고려하여야 한다. 수심이 얕은 지역에서의 천수계수 산정 시에는 파랑의 비선형성을 고려하여야 한다.

[참 고]

(1) 심해파가 등심선에 직각 방향으로 해안을 향해서 진행할 때 수심 변화에 따른 미소진폭파의 파랑 변형은 다음 식으로 계산한다.

$$L/L_o = C/C_o = \tanh(2\pi h/L)$$ 참고 식 (4.3-29)

$$H/H_o = \sqrt{\frac{1}{2n}\frac{C_o}{C}} = K_s$$ 참고 식 (4.3-30)

$$n = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{\frac{4\pi h}{L}}{\sinh\frac{4\pi h}{L}}\right)$$ 참고 식 (4.3-31)

$$L_o = 1.56\,T^2, \quad C_o = 1.56\,T$$ 참고 식 (4.3-32)

여기서, L_o, C_o, H_o : 심해파의~파장(m), 파속(m/s) 및 파고(m)

$L,\ C,\ H$: 수심 h지점에서의~파장(m), 파속(m/s) 및 파고(m)

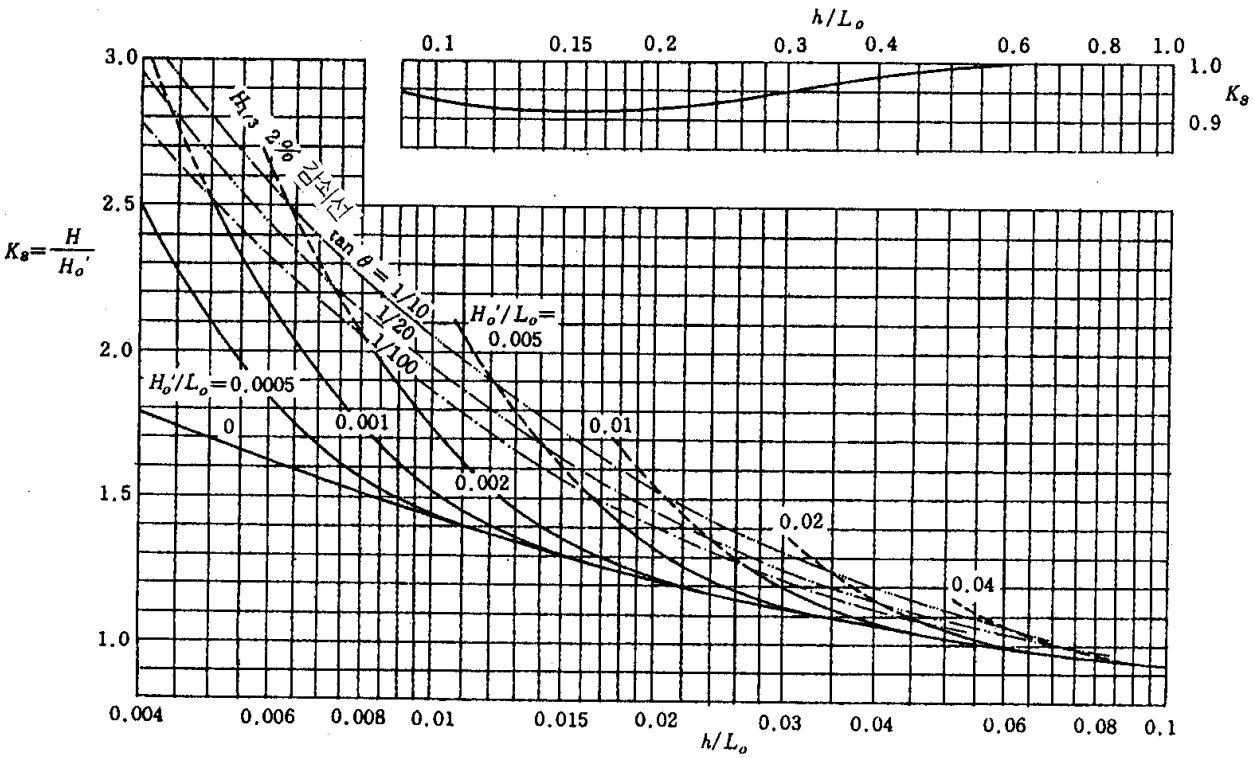
T : 주기(s)

K_s : 천수계수

두 지점을 통과하는 단위폭당 에너지 수송량은 마찰 등과 같은 손실을 고려한 에너지 보존식으로부터 천수계수가 계산된다.

수심이 변하면 파속과 군속도는 일정하게 변하지 않고 파랑 분산식에 의해 복잡한 변화를 보인다.

에너지 손실이 없는 경우 참고 그림 (4.3-12)의 상단에 나타낸 바와 같이 천수계수 K_s는 심해에서 1의 값으로부터 점차 감소하여 h/L_o=0.157에서 0.913의 최솟값을 보인 후 다시 증가하나 쇄파로 인해 파고는 해안 부근에서 다시 작아진다.



참고 그림 (4.3-12) 천수계수 산정도

(2) 참고 그림 (4.3-12)는 슈토(首藤, 1974)의 비선형 장파이론에 근거한 것으로 심해에서 천해에 도달하는 파랑의 천수 변형을 추정할 수 있다. 여기서 K_s는 천수계수, H_o'는 환산심해파고이며, 천수변형만을 고려하는 경우 환산심해파고와 심해파고는 동일하다.

(3) 불규칙파가 천해역에 들어가면 불규칙파 중의 각 성분파의 파속은 어느 것이든 장파의 속도에 수렴하여 주파수에 따른 파속의 차이가 거의 없기 때문에 파군(波群)의 형태는 거의 변하지 않고 진행한다.

이와 같은 경우에 쇄파 이전의 파랑만을 대상으로 한정하면 불규칙한 파군중의 개개파에 대하여 비선형 변형이론이 적용될 수 있다.
따라서 규칙파에 대한 비선형 파랑의 변형식은 불규칙파에도 적용될 수 있다.

(4) Bretschneider나 Pierson, Moskovitsz의 스펙트럼을 갖는 불규칙한 파랑의 각 성분파가 미소진폭파와 동일한 천수변형을 한다고 가정하여 계산한 불규칙파의 천수계수는 미소진폭 규칙파의 천수계수와 $h/L_o > 0.05$의 영역에서는 약 5% 정도의 차이가 발생한다. 따라서 장파 영역 외에는 불규칙파의 천수계수로 미소진폭 규칙파의 천수계수를 근사적으로 사용할 수 있다.

(5) 상기 (3)과 (4)항에서 쇄파 이전의 천해역에서 불규칙파의 천수계수는 장파 영역 내외의 여하에 관계없이 유의파로 대표된 참고 그림 (4.3-12)를 이용하여 구할 수 있다.

(6) 참고 그림 (4.3-12)의 일점쇄선은 쇄파로 인해 유의파가 98%로 감쇠된 지점을 나타낸다. 이 선보다 위의 영역에서는 쇄파에 의한 파고감쇠가 커서 천수변형만으로는 파고변화를 추정할 수 없다.

4.3.4.2 굴절변형

파랑이 천해역을 진행할 때에는 평면적인 수심변화에 따른 파속의 변화로 인해 굴절현상이 발생하므로 굴절에 의한 파향 및 파고 변화를 고려하여야 한다.

[참 고]

(1) 규칙파의 굴절 계산

① 굴절현상과 굴절계수

수심이 h_1에서 h_2로 변하는 경계선에서 파가 사각으로 입사할 때는 수심변화에 따라 파속이 변하므로 파가 경계면에서 굴절되고 이에 의해 파향선의 간격이 변한다.
파향선의 폭의 변화가 급격하지 않으면 파의 에너지는 파향선을 가로질러 유출되지 않는다고 가정할 수가 있으며, 마찰 등에 의한 에너지 감쇠를 무시하면 에너지 수송량이 보존된다. 수심 h_1에 대한 군속도를 C_{G1}, h_2에 대한 군속도를 C_{G2}라 하고 수심 h_1에서의 파봉선의 폭 b_1이 h_2에서는 b_2로 변하면, 이 사이의 에너지가 일정하므로 파고 H_1과 H_2는 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$\frac{H_2}{H_1} = \sqrt{\frac{b_1}{b_2}}\sqrt{\frac{C_{G1}}{C_{G2}}} = K_r \cdot K_s \qquad \text{참고 식 (4.3-33)}$$

여기서, K_s는 참고 식 (4.3-30)에 의해 표시된 천수계수이고, K_r은 굴절계수이다. 굴절계수는 파봉선의 폭의 변화로 표시되며, 파봉선의 폭은 파수(k)의 비회전성으로부터 구하게 된다.

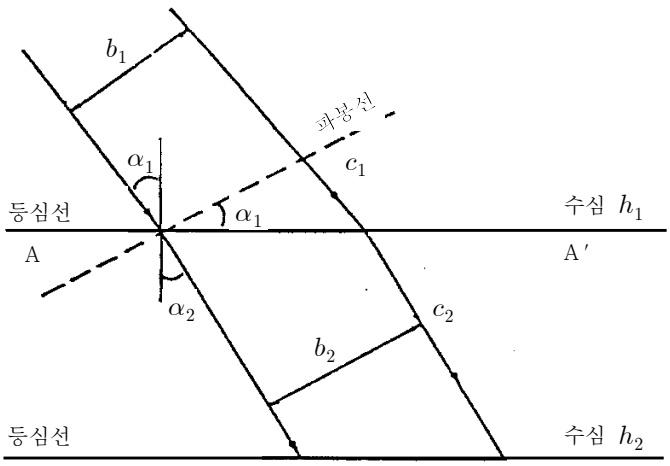
$$\frac{\partial k \sin\alpha}{\partial x} - \frac{\partial k \cos\alpha}{\partial y} = 0$$ 참고 식 (4.3-34)

파봉선의 폭을 구하기 위해 y축을 등심선 방향, x축을 파랑 진행방향으로 정한 참고 그림 (4.3-13)에서와 같이 등심선이 평행한 경우에는 y방향의 변화율이 없어지므로 참고 식 (4.3-34)로부터 스넬(Snell) 법칙이 얻어진다.

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{L_1}{L_2}$$ 참고 식 (4.3-35)

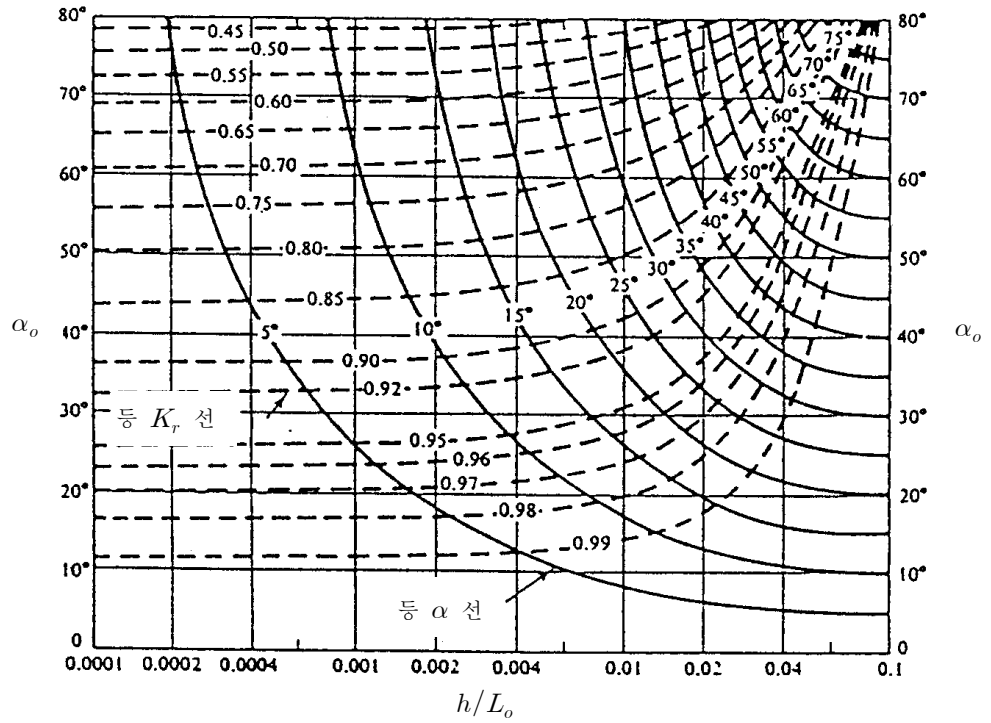
또한 두 파향선 사이의 y방향 거리는 같으므로

$$K_r = \sqrt{\frac{b_1}{b_2}} = \sqrt{\frac{\cos\alpha_1}{\cos\alpha_2}}$$ 참고 식 (4.3-36)



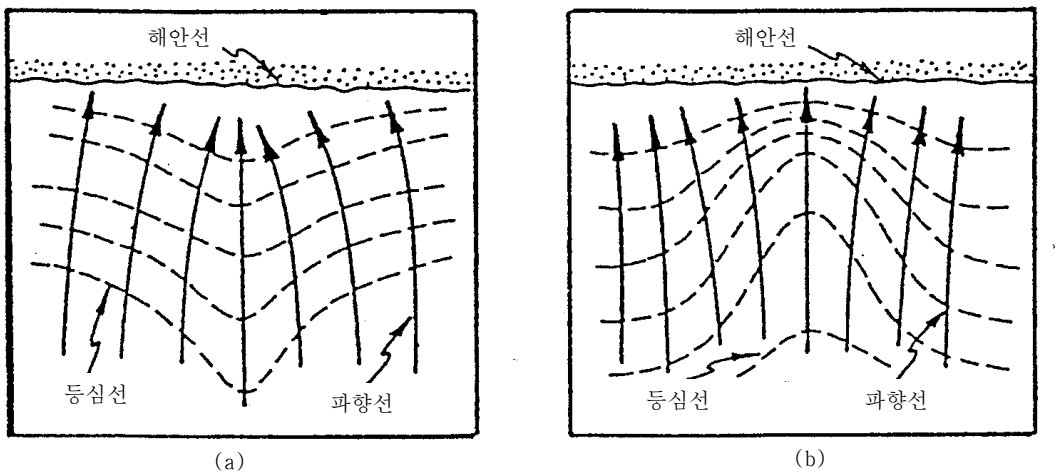
참고 그림 (4.3-13) 평행한 등심선에서 파랑굴절(Snell 법칙)

수심의 평면적인 변화가 있는 지역에서는 참고 식 (4.3-34)로부터 파향선의 각을 구해 굴절계수를 계산한다[참고 그림 (4.3-14) 참조].

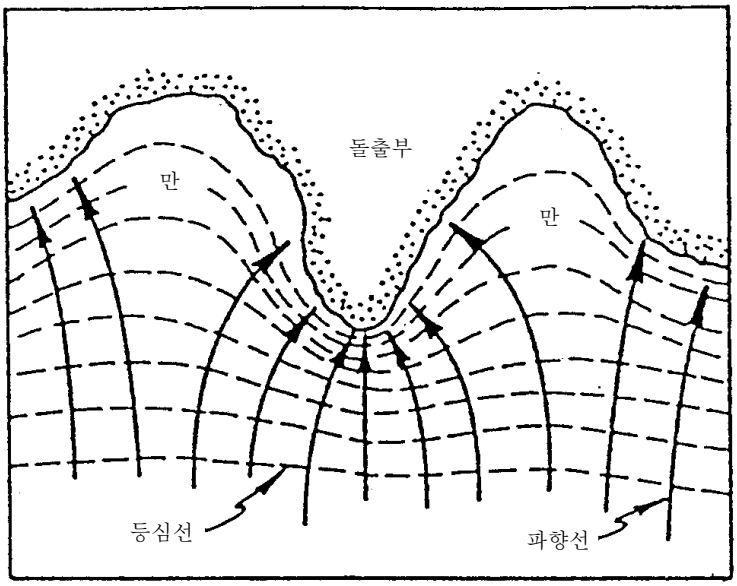


참고 그림 (4.3-14) 직선 평행해안에서의 굴절계수

② 참고 그림 (4.3-15)에서와 같이 해저계곡에서는 파향선이 발산하여 파고가 작아지나 돌출부에서는 집중되어 파향선 간격이 좁아져 파고가 커지게 된다.



참고 그림 (4.3-15)(a) 불규칙한 등심선의 해역에서의 굴절 변형(직선 해안)



참고 그림 (4.3-15)(b) 불규칙한 등심선의 해역에서의 굴절변형(굴곡 해안)

(2) 규칙파 굴절 계산의 적용범위

① 규칙파에 의한 계산이 적용될 수 있는 것은 너울 및 지진해일과 같이 방향 분산이 작고 주파수대가 좁은 파랑이다. 풍파와 같이 방향 분산이 크고 주파수대가 넓은 파에 대해서는 불규칙파에 의한 굴절 계산을 해야 한다.

② 천퇴(淺堆)와 같은 지형 뒤편에서는 파향선이 좁아져 때로는 교차하는 경우가 생긴다. 참고 식 (4.3-33)과 참고 (4.3-36)에서 파향선의 폭이 영(0)이 되면 파고가 무한대로 커져 굴절 계산을 할 수 없게 된다. 실제는 파향선을 가로질러 파에너지가 이동되는 회절현상이 더 강해져 파고는 낮아지게 된다.

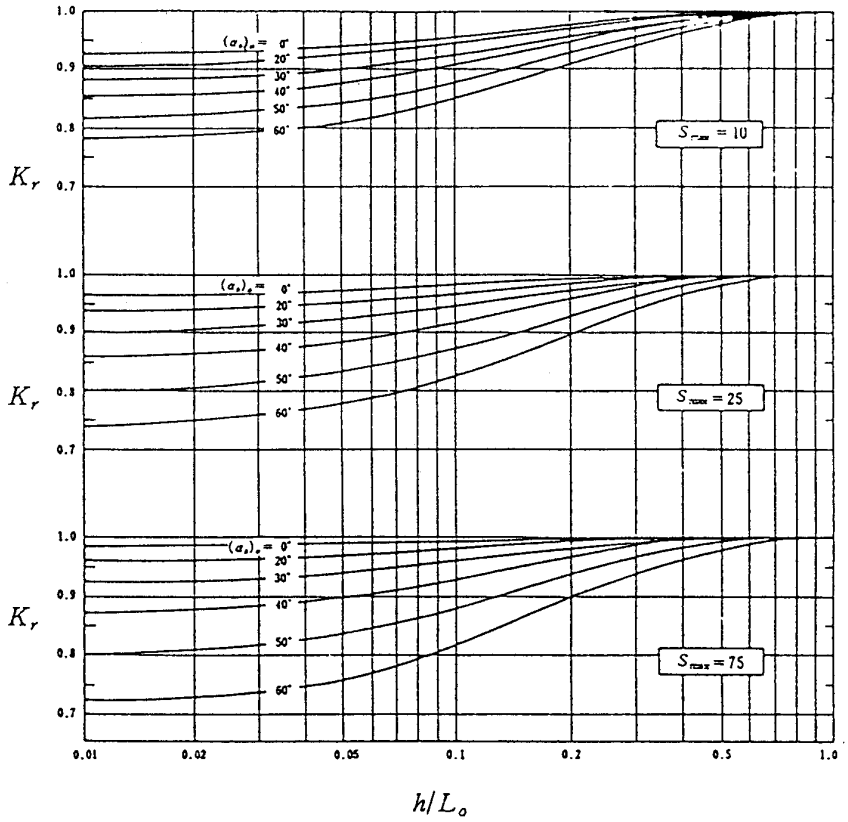
③ 해안선에 평행한 직선 등심선을 갖는 해안에서는 규칙파의 계산 결과를 이용할 수 있다.

(3) 불규칙파에 의한 굴절 계산

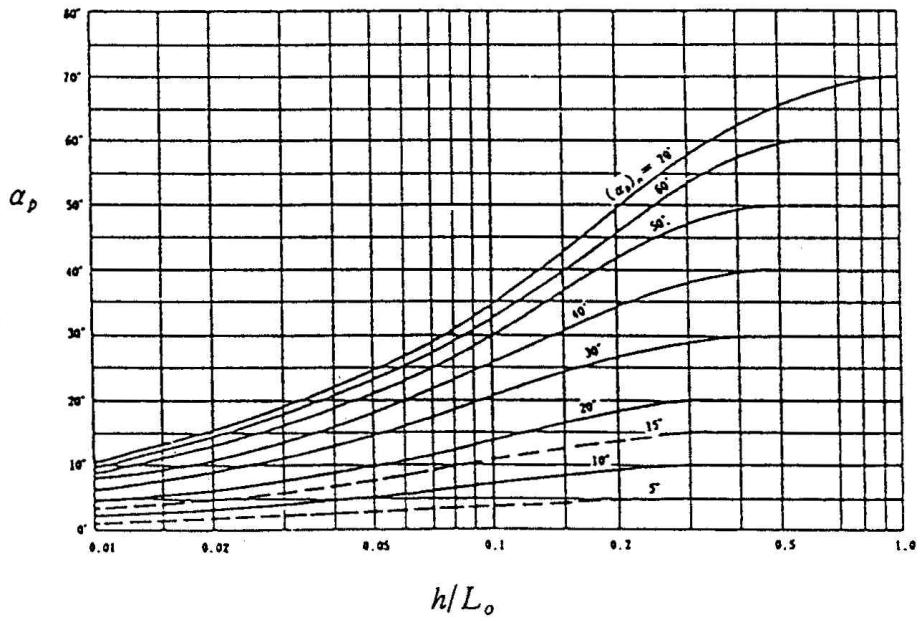
① 불규칙파에 대한 굴절 계산으로는 파의 방향 스펙트럼을 적절한 개수의 성분파로 분할하여 각 성분파에 대해 완경사방적식을 풀어서 불규칙파의 굴절계수를 구하는 성분파법(예: Chae and Jeong, 1992)과 파의 에너지 평형방정식을 차분화하여 직접 계산하는 방법(다까야마(高山) 등, 1981)이 있다.

② 심해파가 섬이나 갑(岬) 등에 의해 굴절된 파인 경우에는 파의 스펙트럼을 표준형으로 가정한다면 일반적으로 차이가 생기기 때문에 회절 후의 스펙트럼을 사용하여 굴절 계산을 하여야만 한다.

③ 참고 그림 (4.3-16)과 참고 그림 (4.3-17)은 등심선이 해안에 평행한 지역에서 계산된 불규칙파 굴절계수 K_r과 입사각α_p를 나타낸다[Goda(合田), 1975]. 그림에서 $(\alpha_p)_o$는 심해파의 주 파향각이며, 등심선에 대하여 수직 방향으로부터의 편각을 나타낸다. 또한, $S_{\max}$는 파의 방향 집중도를 나타낸 계수의 최댓값이다.



참고 그림 (4.3-16) 직선 평행등심선 해안의 불규칙 파랑의 굴절계수



참고 그림 (4.3-17) 직선 평행등심선 해안에서 굴절에 의한 불규칙파의 주파향 α_p 의 변화도

④ 수심이 심해파고의 1/2 이하인 지점에서는 파랑으로서의 성질보다 쇄파에 의한 흐름으로서의 성질이 우세하므로 위의 굴절계산법을 적용할 수 없다.

4.3.4.3 회절변형

> 방파제, 섬 등과 같은 구조물(지장물)에 의해 회절파의 영향을 크게 받을 것으로 예상되는 영역 내의 파고는 회절도, 회절계산 또는 수리모형실험으로 산정하여야 한다.

[참 고]

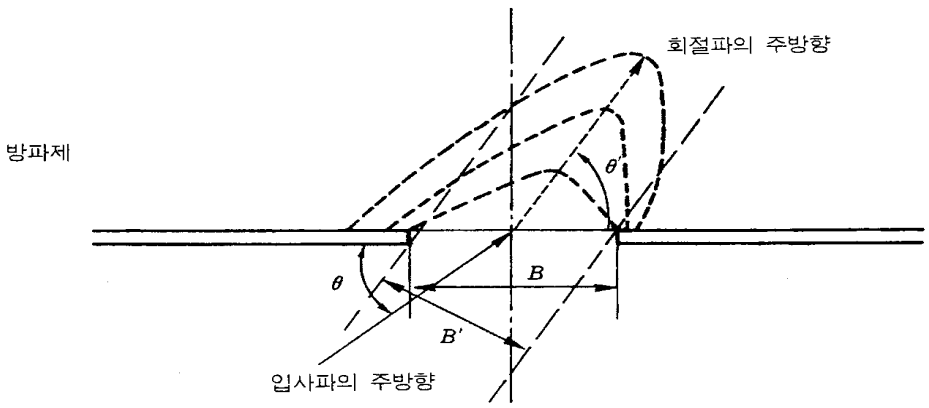
(1) 방파제의 선단부 뒤편에도 파랑에 의한 수면의 진동이 발생된다. 이는 파랑 에너지가 큰 쪽에서 작은 쪽(방파제로 인한 차폐구역)으로 이동되는 회절현상에 의해 나타난다. 회절은 항내 파고를 산정하는 경우에 가장 중요한 현상이며, 회절계산시 파랑의 불규칙성을 고려해야 한다. 항내 수심이 일정하다고 가정하면 반 무한방파제나 단일개구부를 갖는 직선배치방파제에 대해서는 불규칙파의 회절도가 요구된다. 회절에 의해 변화하는 파고의 비율을 회절계수 K_d라 하며, 회절계수 K_d는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$K_d = H_d / H_i$

여기서, H_i : 항외측 입사파고
H_d : 회절변화 후 항내측 파고

회절도 및 회절계산법은 항내 측 수심이 일정하다고 가정하고 있다. 따라서 항내의 수심변화가 큰 경우에는 오차가 크게 발생하기 때문에 수리모형실험이나 굴절을 동시에 고려할 수 있는 수치계산법으로 항내 파고를 검토하는 것이 바람직하다.

(2) 반무한제(半無限堤)에 의한 불규칙파의 회절도는 부록 그림 (1-1)∽그림 (7-3)과 같으며, 그림 중에서 실선은 등파고비선(等波高比線), 점선은 등주기비선(等周期比線)이다. S_{max} = 10은 풍파, S_{max} = 25는 감쇠 초기의 너울, S_{max} = 75는 너울성의 파랑에 해당된다. 단, 천해역에서는 굴절에 의한 S_{max}의 변화[참고 그림 (4.3-16) 참조]를 고려한다.
회절파고(回折波高)와 입사파고(入射波高)와의 비가 회절계수(K_d)이다. θ는 파랑의 주방향을 나타내며, 좌표는 유의파의 파장으로 무차원화되어 있다. 이 그림은 방파제의 뒤쪽에서 반사되는 방향의 입사파는 무시되어 있으며, 방파제의 반사계수는 1로 완전반사의 경우이다.



참고 그림 (4.3-18) 가상 개구폭 B'와 회절파의 축선(軸線) 각도 θ'

(3) 부록 그림 (8-1)∽그림 (11-3)은 개구부를 갖는 방파제에 대한 회절파로서 파랑의 주방향은 방파제에 대하여 수직이며, 좌표는 개구부에 의해 무차원화된 값이고, 이 그림에서 오른쪽 반은 회절계수, 왼쪽 반은 주기의 비를 나타낸 것이다.

(4) 개구 방파제에 파랑이 사각(斜角)으로 입사할 때의 회절도는 수치계산으로 구하는 것이 바람직하나 이런 방법으로 할 수 없을 때는 아래와 같이 근사적인 방법으로 구하여도 좋다.

사각 입사의 경우, 개구 방파제에 의한 회절파의 축선 방향 θ'[참고 그림 (4.3-18) 참조]는 입사각 θ와 약간 차이가 있다. 이 편각을 표시한 것이 부록 그림 (12-1)~그림 (13-3)이다. 개구폭비 및 파랑의 입사방향에 대한 회절파의 축선 방향은 참고 표 (4.3-3) (a)∽(c)를 이용하여 구한다.

참고 표 (4.3-3) 불규칙파 입사 시 회절파의 진행 축선각도(θ')

[( )내는 입사각에 대한 편각]

(a) S_{max} = 10

B/L	방파제와 파향이 이루는 각 θ			
	15°	30°	45°	60°
1.0	53° (38°)	58° (28°)	65° (20°)	71° (11°)
2.0	46° (31°)	53° (23°)	62° (17°)	70° (10°)
4.0	41° (26°)	49° (19°)	60° (15°)	70° (10°)

(b) S_{max} = 25

B/L	방파제와 파향이 이루는 각 θ			
	15°	30°	45°	60°
1.0	49° (34°)	52° (22°)	61° (16°)	70° (10°)
2.0	41° (26°)	47° (17°)	57° (12°)	67° (7°)
4.0	36° (21°)	42° (12°)	54° (9°)	65° (5°)

(c) S_{max} = 75

B/L	방파제와 파향이 이루는 각 θ			
	15°	30°	45°	60°
1.0	41° (26°)	45° (15°)	55° (10°)	66° (6°)
2.0	36° (21°)	41° (11°)	52° (7°)	64° (4°)
4.0	30° (15°)	36° (6°)	49° (4°)	62° (2°)

참고 표 (4.3-3)에서 회절파의 축선 방향을 구하여 θ'에 대한 가상 개구폭비 B'/L은 참고 식 (4.3-37)로 구한다[참고 그림 (4.3-18) 참조].

$$B'/L = (B/L)\sin\theta' \qquad \text{참고 식 (4.3-37)}$$

직각 방향에서의 입사파에 의한 회절도[부록 그림 (8-1∽11-3)]로부터 가상 개구폭비와 같은 개구비의 회절도를 선택하여 이 회절도의 입사방향과 참고 표 (4.3-3)에서 구한 회절파의 축선 방향이 일치되도록 회전시켜 보면 비스듬한 입사파의 회절도가 된다. 이 근사법에 의한 오차는 방파제 개구부 부근에서 가장 크고 회절계수의 값으로는 0.1 정도이다.

(5) 개구폭비 B/L에 해당하는 동일한 회절도가 없을 때는 이에 가까운 값의 회절도를 쓰든가 혹은 그 값에 가까운 2개의 회절도로부터 내삽하여 정한다.

(6) 파랑의 회절에서는 주기의 변화보다 파향 변화의 효과가 크므로 파장에 비하여 큰 섬 등에 의한 회절에 있어서는 파 에너지의 방향분산만을 고려한 방향분산법으로 계산해도 좋다.

(7) 파랑의 차폐 구역에서 수심이 크게 변화할 때는 적절한 방법으로 파랑의 굴절도 동시에 고려하여야 한다.

(8) 회절된 불규칙파의 유의파 주기는 회절 전과 다르므로 주의해야 한다.

(9) 회절 후의 파랑이 안벽 등에 의해서 반사될 때는 반환 회절도법이나 기타 적절한 방법으로 반사의 효과를 계산해야 한다.

(10) 규칙파의 회절도를 부록 그림 (14-1) (a)∽(h)와 부록 그림 (15-1) (a)∽(h)로 나타내었다. 부록 그림 (14-1)는 반무한제에 의한 회절도이며, 부록 그림 (15-1)은 개구방파제에 의한 회절도이다. 파형경사가 작은 너울($H_o'/L_o \leq 0.005$ 정도)에 의한 회절은 이들 규칙파의 회절도를 써서 산정하여도 좋다.
또한, 규칙파에 의한 정온도 실험으로 사전에 항내의 파고 분산을 추정할 경우에도 규칙파의 회절도를 사용한다.

(11) 수리모형실험에 의한 검토
다방향 불규칙파 조파기의 발달로 인하여 방향 분산성을 갖는 파를 평면수조 내에서 재현할 수 있으므로 회절 실험을 비교적 간단히 실시할 수 있다. 유효조파영역 내에 항만 모형의 개구부를 설치하고 관측은 항내의 여러 지점에서 동시에 실시한다. 회절계수는 항입구에 적어도 2개 지점에서 관측한 유의파고의 평균값으로 항내관측 유의파고를 나눈 값이다.

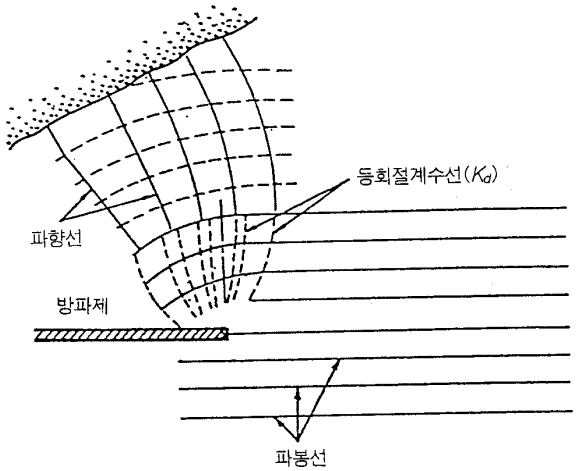
(12) 파고가 매우 큰 폭풍 시에는 항입구로 쇄파가 침입하는 경우가 있으며 이때에도 앞에서 언급한 회절도를 이용하여 항내 파고를 산정하면 좋다. 단, 쇄파가 발생하는 경우에는 파 에너지의 방향 집중도가 크게 되기 때문에 방향집중도 계수 $S_{\max}$의 값이 75 이상인 회절도나 규칙파의 회절도를 이용한다.

4.3.4.4 굴절·회절 변형

수심변화 등으로 인해 파고의 공간적인 변화가 상당히 클 경우에는 굴절 · 회절 변형을 동시에 고려한다.

[참 고]

(1) 방파제 또는 이안제 및 해안측의 수심이 변하는 경우는 굴절·회절 변형이 동시에 발생된다. 이와 같은 경우의 파고 및 파향은 근사적으로 다음의 순서에 따라서 추정할 수 있다[참고 그림 (4.3-19) 참조].



참고 그림 (4.3-19) 굴절·회절 변형의 근사계산

① 방파제 및 이안제까지의 굴절도를 작성한다.
② 이 점에서 해안쪽으로 3~4 파장 정도의 연속파봉을 가진 회절도를 작성한다.
③ 이 회절도에서 결정한 해안쪽의 파봉선에서 구할 파향에 의해서 연안 지점까지 또는 쇄파 지점까지 새로운 굴절도를 작성한다.
④ 해안에 가장 가까운 파봉선의 파향 및 파고, 그리고 이에 연결되는 굴절도에서 연안 지점 또는 쇄파 지점의 파고와 파향을 산정한다.

(2) 굴절·회절 변형을 동시에 나타내는 완경사 파랑식을 이용하여 수치계산법에 의해 파랑을 계산할 수 있다. 그러나 완경사 파랑식에 의한 방법은 정확하나 넓은 해역에 적용하는 데에는 계산 시간이 비교적 많이 소요된다. 이에 비해 계산 속도가 빠르고 쇄파 지역의 경계조건 설정이 용이한 포물형 완경사 파랑식이 파랑 추정에 많이 이용된다(예: Kirby and Darlymple, 1983).

(3) 파랑 변형의 수치모형 결과는 수리실험 또는 실측값과 비교하여 신뢰도를 검증해야 한다. 수치모형은 각기 다른 특성을 가지고 있기 때문에 결과의 해석에 세심한 주의가 필요하며, 특히 모형의 장·단점 및 포함된 가정을 이해하지 못하는 경우에는 수치해석 결과를 잘못 해석하지 않도록 주의한다.

4.3.4.5 환산심해파고(換算深海波高)

환산심해파고는 굴절, 회절 등에 의한 파고 변화의 영향을 설계계산 및 수리모형실험에서 쉽게 다루기 위한 가상적인 파고이며, 쇄파, 파의 처올림, 월파 등의 현상을 심해파와 관련하기 위해 도입한 것이다.

[해 설]

(1) 환산심해파고의 파고 및 주기는 다음 식으로 산정한다.

$$H_o' = K_d K_r (H_{1/3})_o , \quad T_{H_{1/3}} = (T_{H_{1/3}})_o \qquad \text{해설 식 (4.3-1)}$$

여기서, H_o' : 환산심해파고(유의파)
$(H_{1/3})_o = H_o$: 심해파고(유의파)
K_d : 회절계수
K_r : 굴절계수
$(T_{H_{1/3}})_o$: 심해파의 유의파 주기

(2) 쇄파, 파의 처올림, 월파 등과 같은 현상은 주로 수리모형실험에 의해 분석되며, 기존의 결과들은 2차원 수로에서 이루어진 것들이 많으므로 이를 활용하기 위한 방안으로 환산심해파고가 고안된 것이다.

(3) 회절과 굴절 등을 고려할 수 있는 3차원 수조에서는 이 개념이 필요하지 않으나 3차원 실험은 과다한 비용과 시간이 소요되는 단점이 있어 환산심해파고를 계속 사용하고 있다.

(4) 해저경사가 완만하고 파랑이 상당한 거리를 진행하면 해저마찰로 인한 파고 감쇠를 무시할 수 없으며, 이런 경우 감쇄율 K_f를 해설 식 (4.3-1)에 곱해 환산심해파고를 계산한다.

(5) 실제 지형에서는 굴절·회절 계수가 장소에 따라 다르기 때문에 환산심해파고 계산은 장소에 따라 변하는 점에 주의한다.

4.3.4.6 반 사

(1) 설계일반

항만시설물 설계 시 인근 구조물에 의한 반사파의 영향과 해당 시설물이 인근 지역에 미치는 반사파의 영향에 대하여 검토하여야 한다.

[해 설]

방파제에서 반사된 파가 항로를 소란하게 하거나, 인근 안벽에서 다중 반사된 파가 항내를 교란시키기도 한다. 항만시설에 의한 반사파가 선박의 항행 및 하역에 큰 영향을 미치는 경우가 있으므로 주의를 요한다.

[참 고]

반사파에 의해 여러 파군이 존재할 경우의 파고는 참고 식 (4.3-38)로 산정할 수 있다.

$$H_s = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 + \cdots + H_n^2}$$ 참고 식 (4.3-38)

여기서, H_s는 파군 전체의 유의파고, $H_1, H_2, \cdots, H_n$는 각 파군의 유의파고이다.
단, 파향에 따라 파랑의 작용이 다를 경우에는 각 파군의 파향의 차이를 고려한다.

(1) 구조물의 수직선과 입사파와의 사잇각(입사각)이 45°보다 작은 경우 입사각과 같은 반사각을 가지는 반사파가 형성되나 입사각이 45°보다 크고 70°보다 작은 경우에는 반사각은 입사각보다 크게 될 뿐만 아니라 마하스템(Mach-stem)이라는 새로운 파형이 구조물에 인접한 곳에 형성되며, Mach-stem의 진폭은 입사파의 진폭보다 크다. 입사각이 70°보다 큰 경우에는 Mach-stem만이 존재하며, 구조물로부터 직각 방향으로 형성되는 Mach-stem의 폭은 입사파랑 진행방향으로 점차 증가하고 진폭도 커지게 되므로(Chen, 1961) 돌제 등의 마루높이 결정에 이를 고려한다.

(2) 반사파와 반사파 또는 입사파와 반사파가 중첩된 경우의 파고는 다음과 같이 구한다. 규칙파는 파형의 단순한 중첩에 의해 구하며, 이는 위상의 상황에 따라 심한 기복을 나타낸다. 그러나 불규칙파에서는 많은 성분파를 포함하고 있기 때문에 이 기복은 평활화되어 반사파의 파고는 각 파군의 에너지가 중첩된 것으로서 참고 식 (4.3-38)로 계산할 수 있다. 이와 같은 방법은 반사면에서 0.7파장 이상 떨어진 지점에서 적용할 수 있다.

(2) 반사율의 산정

항반사율은 현장관측에 의해 산정하는 것이 바람직하지만, 관측이 어려운 경우 또는 시공전의 경우에는 수리모형실험 결과를 참조하여 산정한다. 반사율 산정 실험시의 파랑은 불규칙파를 사용하여야 한다.

[참 고]

반사율은 반사계수 K_R로 나타내며, 반사파고 H_R에 대한 입사파고 H_I의 비로 정의한다. 반사율은 구조물의 형태, 재질과 같은 구조물 특성과 파형경사, 상대수심과 같은 파랑의 특성에 따라 정해진다. 참고 표 (4.3-4)를 참고하여 반사율의 개략값을 산정할 수 있다.

참고 표 (4.3-4) 반사율의 개략값(Seelig and Ahrens, 1981)

구 조 형 식	반 사 율
직립벽(마루가 정수면 위)	0.7∽1.0
직립벽(마루가 정수면 아래)	0.5∽0.7
사석사면(1:2∽3 경사)	0.3∽0.6
이형소파 블록사면	0.3∽0.5
직립소파 구조물	0.3∽0.6
자연해빈	0.05∽0.2

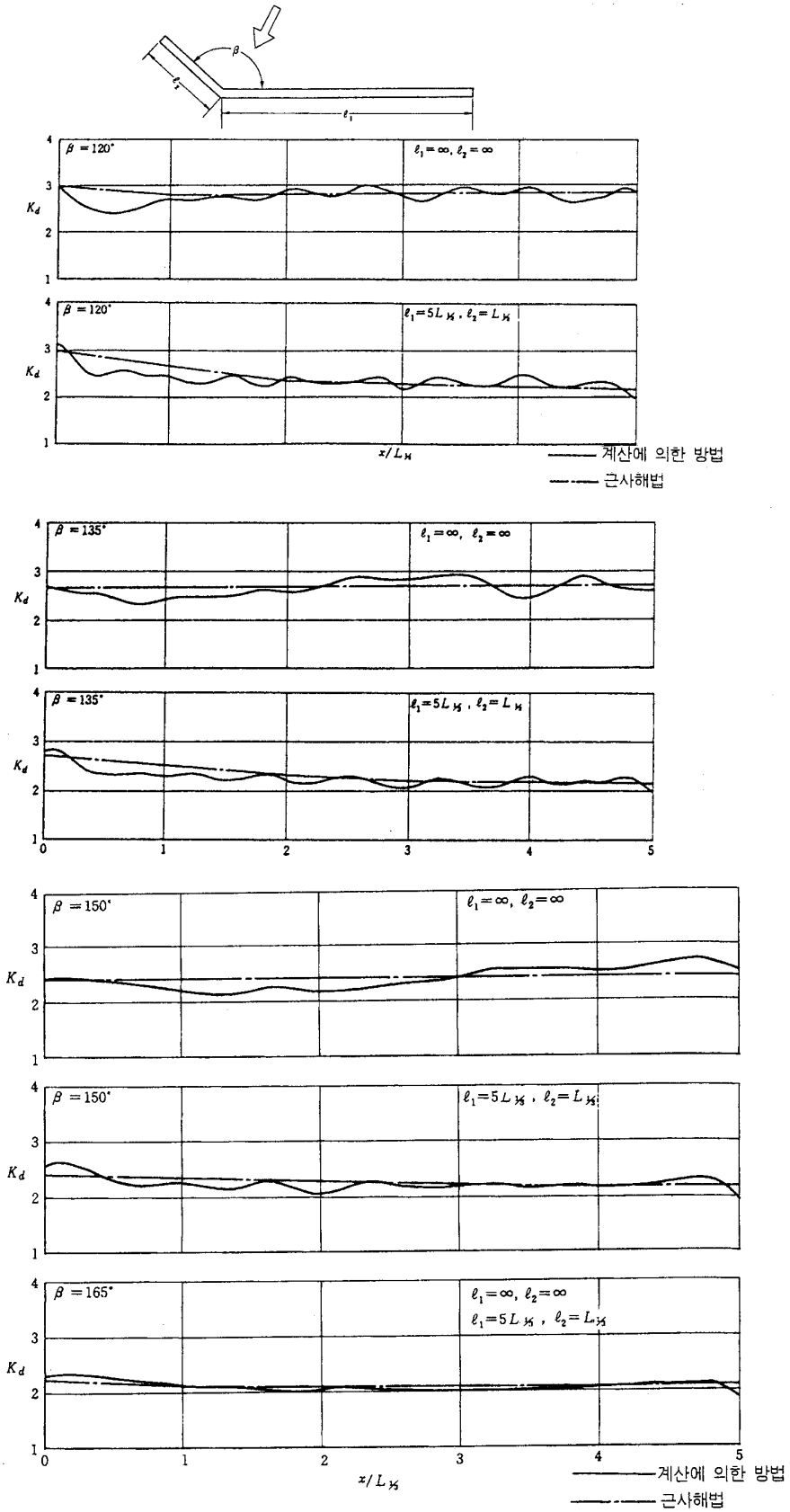
(3) 오목부, 방파제 두부(頭部) 부근 및 도제(島堤) 주변에서의 파랑변형

구조물의 오목부, 방파제 두부 부근 및 도제 주변에서는 일반적인 중복파보다 큰 파고가 발생하므로 파고 증대에 대해 검토하여야 한다. 파고 증대 검토 시 파랑의 불규칙성을 고려하여야 한다.

[참 고]

(1) 규칙파로 오목부나 방파제 두부 부근의 파고 분포를 계산하면 매우 기복이 심한 파고 분포를 얻게 된다. 그러나 파랑의 불규칙성을 고려하여 계산하면 오목점에서 1파장 미만의 범위를 제외하면, 파고 분포는 평활화되어 파고가 작아진다. 이 때문에 규칙파에 의해 계산된 파고는 과대하다.

(2) 불규칙파에 의한 오목부 부근의 파고 분포를 참고 그림 (4.3-20)에 나타내었다. 이 그림은 수치계산에 의하여 각 주파향에 대하여 구한 파고의 최댓값 분포 모양을 나타낸 것으로서 파랑은 방파제에 의해 완전히 반사된다고 가정한 것이다. 그림에서 K_d는 주방파제 전면의 파고와 입사파고와의 비를 나타낸다. 계산에 쓰인 불규칙파는 $S_{\max}$ =75의 스펙트럼형으로 상당히 파향 집중도가 높은 파랑이다. 그림의 일점쇄선은 근사계산으로 구해진 각 점에서의 파고의 최댓값 분포이다.
또한 l_1은 주방파제의 길이, l_2는 부방파제의 길이, β는 주방파제와 부방파제가 이루는 각도이다. 이 그림으로 오목부 부근의 파고 분포를 산정하여도 좋다.



참고 그림 (4.3-20) 오목부에서의 파고의 최댓값 분포

(3) 방파제의 반사율이 0.4 이하가 되도록 소파공을 설치하면 오목부에 의한 파고 증대는 거의 고려하지 않아도 된다. 다만, 이는 부방파제의 전장에 걸쳐 소파공을 설치한 경우이다. 부방파제가 긴 경우 부방파제에 의한 반사파의 영향이 오목점에서 떨어진 곳까지 도달하기 때문에 소파공을 방파제 연장상에 길게 설치하지 않는 한 그 효과는 크게 기대할 수 없다. 또한 주방파제가 부방파제에 미치는 효과도 같다고 할 수 있다.

(4) 반무한 방파제, 개구 방파제 및 도제의 두부 부근(두부에서 1파장 미만의 범위)에는 파랑의 회절에 의해 일반적인 중복파의 파고보다도 더 큰 파랑이 발생한다. 또한 방파제 후면의 파고 분포도 제체를 따라 진동하기 때문에 항내·외의 수위차에 따라서는 큰 파력이 미치게 되는 것에 주의해야 한다[이또(伊藤)와 다니모토(谷本), 1971]. 특히, 도제의 경우 도제의 길이와 파장의 비 또는 파향에 따라서 최대의 파력을 발생하는 위치가 크게 이동하는 것에 주의를 요한다.

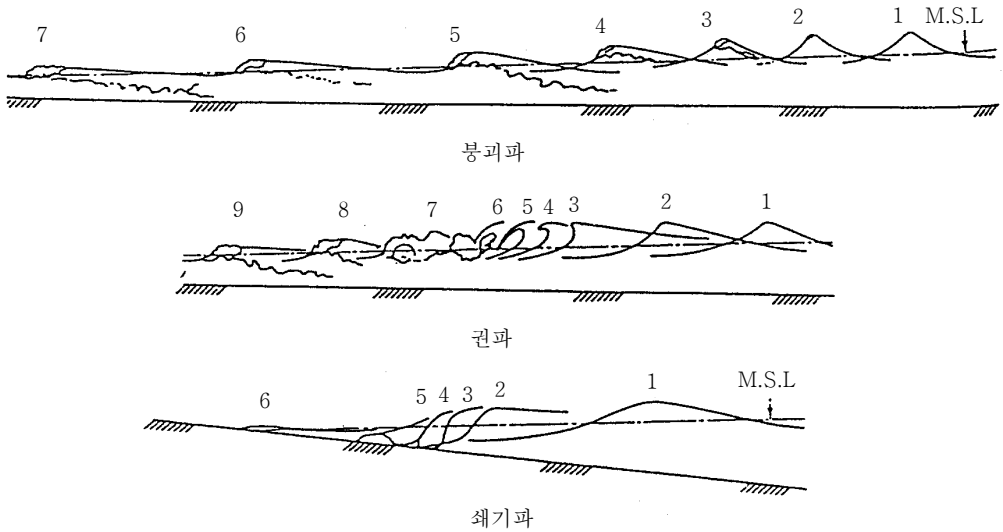
4.3.5 쇄 파

4.3.5.1 쇄파일반

항만구조물이 쇄파지점 부근에 있는 경우에는 쇄파의 영향을 고려하여야 한다.

[참 고]

(1) 쇄파 형식은 다음과 같은 세 가지가 있으며 형태는 참고 그림 (4.3-21)과 같다.



참고 그림 (4.3-21) 쇄파 형태

① 붕괴파(Spilling breakers)
파형이 진행함에 따라 비대칭이 되고, 파봉 부분의 일부에 하얀 거품이 생기며 점차적으로 깨져 그것이 차차 파의 전면에 무너져가는 형태의 쇄파로 천해인 해안뿐만 아니라 심해역에서도 발생한다.

② 권파(Plunging breakers)
해안 부근의 수심이 얕은 곳에 파랑이 도달하면 해저 마찰 때문에 수립자의 속도가 해저보다 표면에서 크게 되어 파봉이 앞으로 덮어씌워져 파랑 전체가 앞으로 일시에 넘어지는 형태의 쇄파이다.

③ 쇄기파(Surging breakers)
권파와 같이 일시에 파랑 전체가 깨지는 것이 아니고, 파랑의 하부쪽에서 부서지기 시작하여 파의 전면 대부분이 깨어져 해안선에서 공기를 혼합시키면서 사면을 타고 올라간다.

(2) 쇄파 형식은 입사파의 파형경사 H_o/L_o와 해저경사의 영향을 받게 된다. 일반적으로 파형경사가 큰 경우는 붕괴파가 되고, 해저경사가 큰 경우는 쇄기파가 발생한다.

(3) 쇄파 형식은 해안선 변형에 밀접한 관계가 있는 동시에 구조물에 작용하는 파력에도 관계가 있다. 경사가 완만한 해안에서는 여러 번의 쇄파가 발생하며, 가장 먼 외해 쪽에서부터 해안 가장 가까운 곳까지 쇄파가 일어나는 지역을 쇄파대라 한다.

(4) 방파제에 강력한 파력을 미치는 쇄파는 주로 권파이며, 많은 파력 공식들은 이 쇄파에 대한 식이다.
(5) 구조물이 쇄파지점 내에 있는 경우는 쇄파후의 파랑이 구조물에 작용하는 것으로 하여 설계한다. 구조물이 쇄파지점보다 외해 쪽에 있는 경우는 굴절 또는 회절에 의해서 구한 파향 및 파고에 의해서 설계한다.

4.3.5.2 규칙파의 쇄파 한계파고(碎波 限界波高)

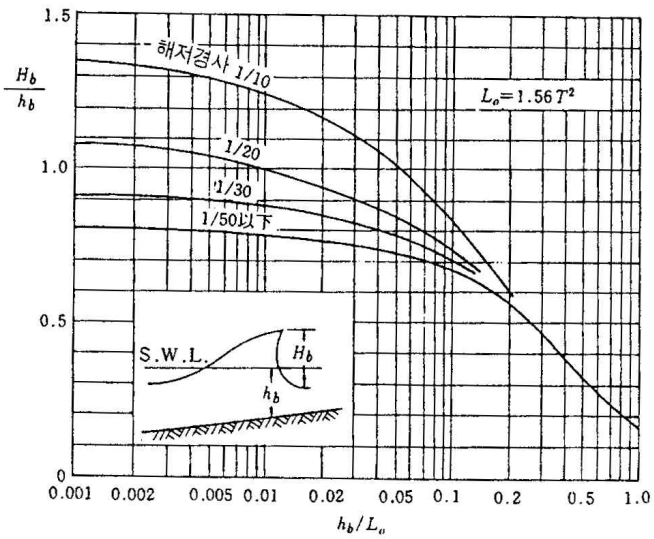
해저경사가 비교적 작은 경우에 규칙파의 쇄파 한계파고는 이론식 또는 수리모형실험 결과를 이용하여 산정하여야 한다.

[참 고]

(1) 파랑이 해안으로 진입하면 천수변형에 의해 파고가 증가하고 한계파고에 이르면 쇄파가 발생된다. 쇄파로 인해 공기가 수중에 주입되고 와류가 형성되어 쇄파 전후의 파랑운동은 상당한 차이가 있다. 파가 부서지는 점을 쇄파점, 그 지점의 수심을 쇄파수심, 그리고 그 때의 파고를 쇄파고로 정의한다.
(2) 참고 그림 (4.3-22)는 규칙파의 쇄파한계파고를 표시하며, 이 그림에 의해서 쇄파한계파고를 산정할 수 있다. 그림에서 곡선은 참고 식 (4.3-39)로 근사적으로 구할 수 있다.

$$\frac{H_b}{L_o}=0.17\left\{1-\exp\left[-1.5\frac{\pi h}{L_o}(1+15\tan^{4/3}\theta)\right]\right\} \qquad \text{참고 식 (4.3-39)}$$

여기서, $\tan\theta$는 해저경사이다.



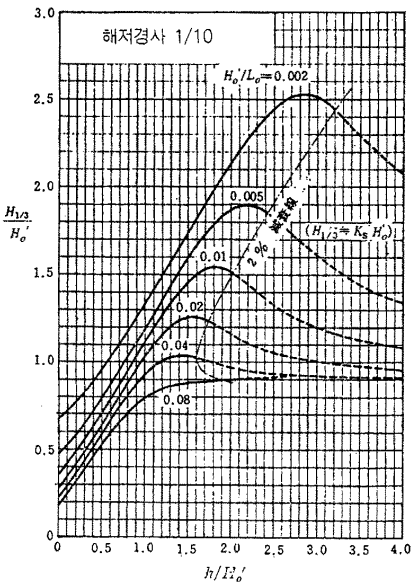
참고 그림 (4.3-22) 규칙파의 쇄파한계파고(Goda(合田), 1970)

4.3.5.3 쇄파에 의한 파고변화

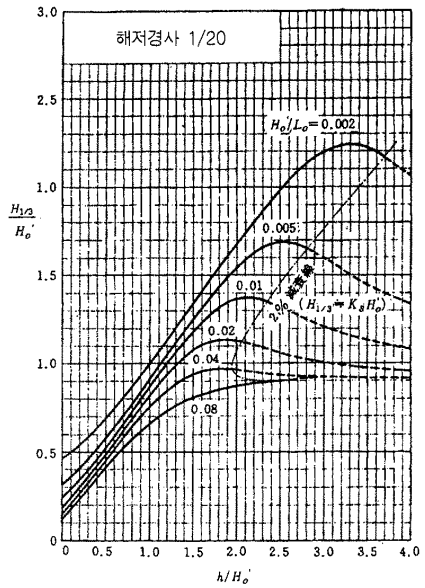
수심이 환산심해파 파고의 약 3배 이하의 영역에서는 쇄파에 의한 파고 변화를 고려하여야 한다. 쇄파에 의한 파고 변화 산정 시 파랑의 불규칙성을 고려하여야 한다.

[참 고]

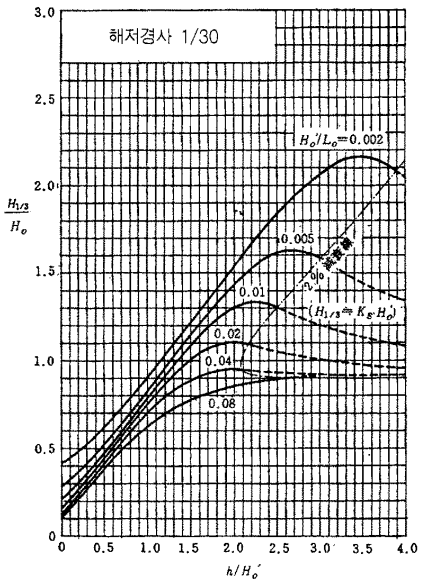
(1) 쇄파에 의한 파고 변화는 참고 그림 (4.3-23)(a∽e) 또는 참고 그림 (4.3-24)(a∽e)에 의해 구하며, 이 그림은 Goda(合田, 1975)의 쇄파 이론으로 계산한 불규칙파의 파고 변화를 나타낸 것이다.



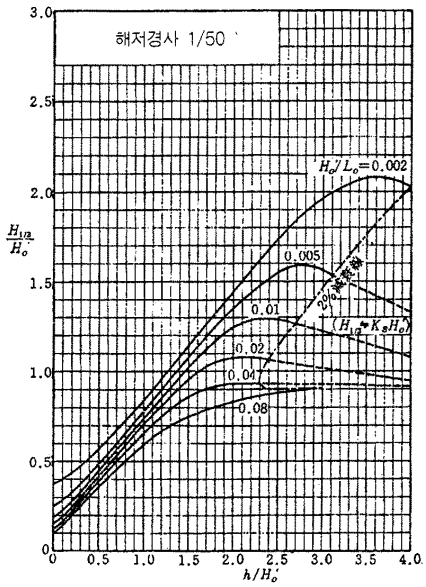
참고 그림 (4.3-23)(a) 쇄파대 내의 유의파고 산정도



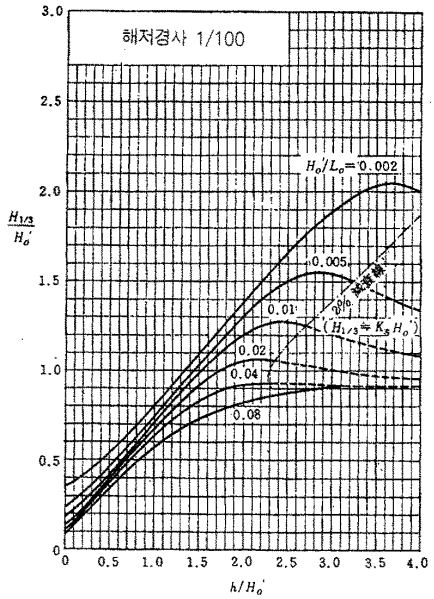
참고 그림 (4.3-23)(b) 쇄파대 내의 유의파고 산정도

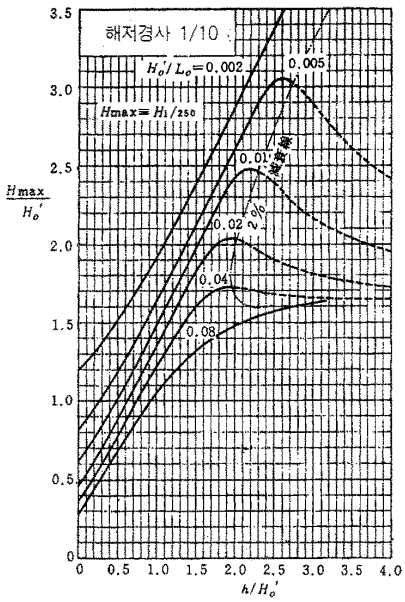


참고 그림 (4.3-23)(c) 쇄파대 내의 유의파고 산정도

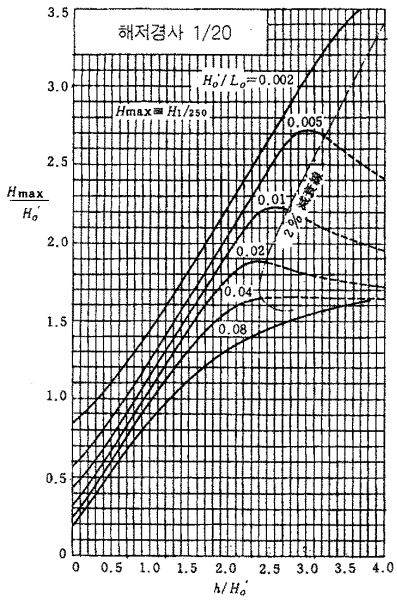


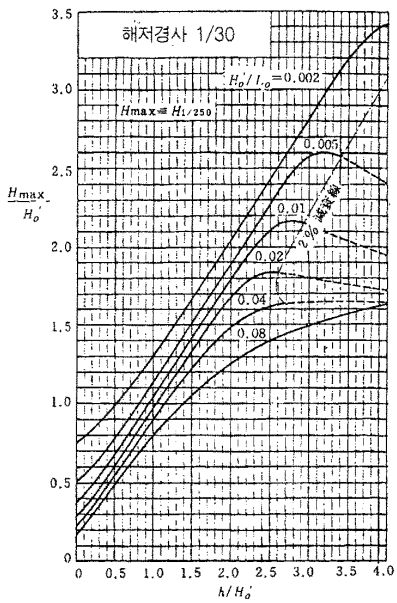
참고 그림 (4.3-23)(d) 쇄파대 내의 유의파고 산정도



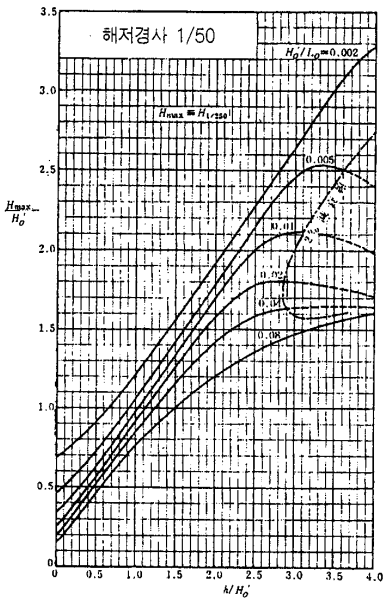


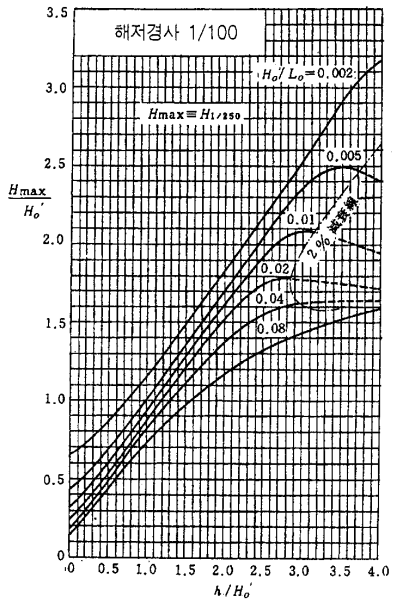
참고 그림 (4.3-23)(e) 쇄파대 내의 유의파고 산정도 참고 그림 (4.3-24)(a) 쇄파대 내의 최대파고 산정도





참고 그림 (4.3-24)(b) 쇄파대 내의 최대파고 산정도 참고 그림 (4.3-24)(c) 쇄파대 내의 최대파고 산정도





참고 그림 (4.3-24)(d) 쇄파대 내의 최대파고 산정도 참고 그림 (4.3-24)(e) 쇄파대 내의 최대파고 산정도

(2) 그림에서 일점쇄선의 우측 영역의 파고 변화는 천수변형의 천수계수를 사용하여 계산한다. 일점쇄선의 좌측 영역에서는 쇄파에 의한 파고 변화가 탁월하므로 이들의 그림을 이용하여 파고를 정한다.

(3) 이 그림들을 사용하여 파고를 결정해야 하는 해저경사는 수심과 환산심해파 파고의 비 h/H_o'가 1.5∽2.5인 범위에서의 평균 해저경사를 사용하는 것이 적당하다.

(4) 쇄파에 따른 파고의 변화는 매우 복잡하여 실측자료는 상당한 범위에 걸쳐 나타난다. 그림에 도시된 것과 실제 파랑은 $H_{1/3}/H_o'$의 비에서 (±)0.1 정도 혹은 그 이상 차이가 날 때도 있으므로 이를 충분히 고려해야 한다.

(5) 수심이 환산심해파 파고의 0.5배 이하의 해안 지역에서는 파랑에 의한 파력보다는 해수가 쇄파로 인해 경사면상을 오르내리는 흐름으로서의 에너지가 더 크다. 이를 감안하여 구조물에 작용하는 파력의 산정은 수심이 환산심해파 파고의 0.5배 정도 되는 지점의 파고를 사용하는 것이 바람직하다.

(6) 쇄파이론 모델에 의한 파고 변화의 계산은 일반적으로 컴퓨터에 의한 연산을 필요로 하나 현상의 변동성이나 종합적인 정확도를 고려한다면 다음의 식을 사용하여 파고 변화를 계산하여도 좋다.

$$H_{1/3} = \begin{cases} K_s H_o' & (h/L_o \geq 0.2) \\ \min(\beta_0 \mathrm{H_o}' + \beta_1 \mathrm{h}),\ \beta_{\max} H_o',\ K_s H_o' \} & (h/L_o < 0.2) \end{cases}$$

참고 식 (4.3-40)

여기서, $\beta_o = 0.028(H_o'/L_o)^{-0.38}\exp[20(\tan\theta)^{1.5}]$

$\beta_1 = 0.52\exp[4.2\tan\theta]$

$\beta_{\max} = \max\{0.92,\ 0.32(H_o'/L_o)^{-0.29}\exp[2.4\tan\theta]\}$

천수계수 K_s는 참고 그림 (4.3-12)에서 구하며, min{ }및 max{ }는 각각 { }안의 최솟값과 최댓값을 나타내고, tanθ는 해저경사를 나타낸다. 또한, 최대파 $H_{\max}$의 간편식도 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_{\max} = \begin{cases} 1.8K_sH_o' & (h/L_o \geq 0.2) \\ \min(\beta^*\mathrm{H_o}' + \beta_1^*\mathrm{h}),\ \beta_{\max}^* H_o',\ 1.8K_sH_o' \} & (h/L_o < 0.2) \end{cases}$$ 참고 식 (4.3-41)

여기서, $\beta_o^* = 0.052(H_o'/L_o)^{-0.38}\exp[20(\tan\theta)^{1.5}]$

$\beta_1^* = 0.63\exp[3.8\tan\theta]$

$\beta_{\max}^* = \max\{1.65,\ 0.53(H_o'/L_o)^{-0.29}\exp[2.4\tan\theta]\}$

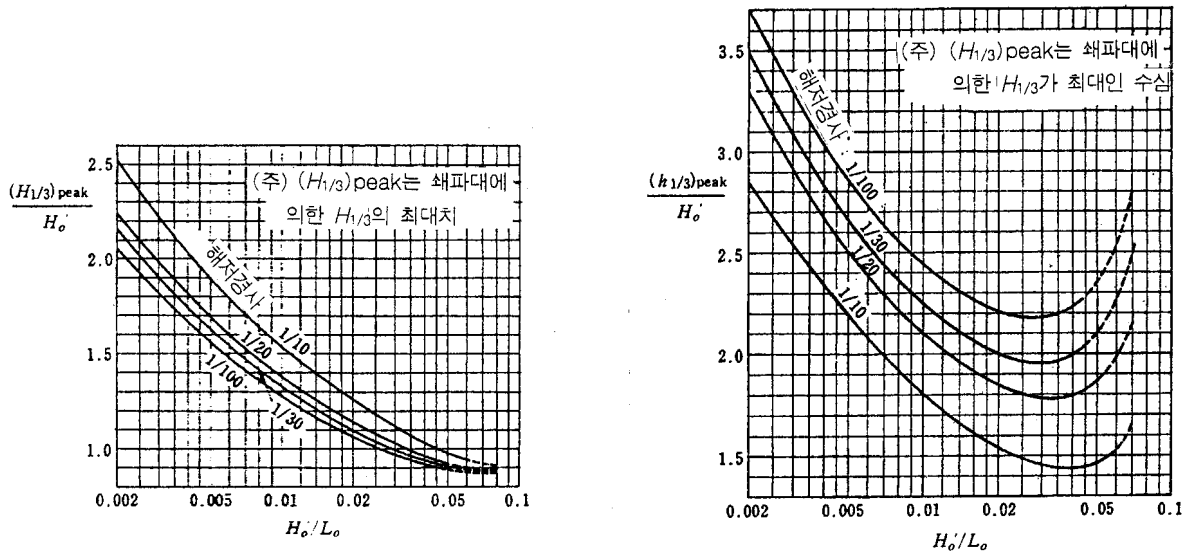
4.3.5.4 쇄파고와 쇄파수심

진행파의 쇄파고와 쇄파수심은 기존 연구성과 등을 활용하여 조건에 부합하는 적합한 방법으로 산정하며, 쇄파현상이 복잡한 경우에는 수리모형실험을 수행한다.

[참 고]

(1) 파군 중 개개의 파에 대한 쇄파점을 나타내기는 쉬워도 불규칙파군에 대한 쇄파점을 지정하기는 어렵다.
그러나 때로는 불규칙파의 쇄파대 폭을 추정 또는 파군 전체에 대한 쇄파지표의 지정이 필요한 경우가 있다.

(2) 쇄파대 내에서의 유의파고의 최댓값 ($H_{1/3}$)peak를 쇄파고로 하면 쇄파지표 곡선은 참고 그림 (4.3-25)(a)로 나타낼 수 있다.
또한, 유의파고가 최대로 되는 수심 ($H_{1/3}$)peak를 쇄파수심으로 하면 쇄파수심은 참고 그림 (4.3-25)(b)로부터 산정할 수 있다(Goda(合田), 1975).



(a) (b)

참고 그림 (4.3-25) (a) 쇄파대 내에서 유의파고의 최댓값 산정도
(b) 유의파고의 최댓값이 출현하는 수심의 산정도

4.3.5.5 쇄파에 의한 평균수면 상승

쇄파에 의해 쇄파대 내에서 발생하는 평균수위의 상승이 현저할 경우에는 마루높이 산정 등과 같은 구조물 설계에 고려하여야 한다.

[참 고]

(1) 쇄파대 내에서 쇄파에 의해 평균수위가 현저하게 상승(Wave setup)하거나 진동하는 경우가 있다. 이와 같은 장소에서 방파제 및 물양장의 마루높이를 산정하는 경우 이를 고려해야 한다.

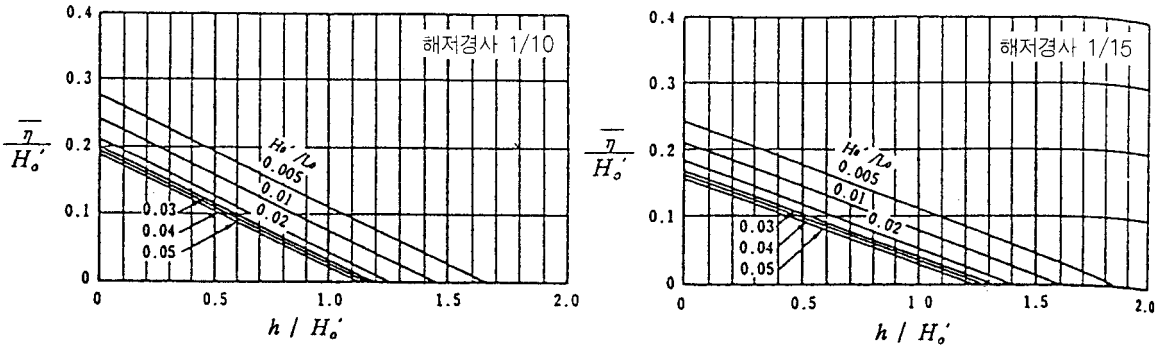
(2) 해안에서의 평균수면 상승은 파랑전파시 에너지가 파랑과 함께 전파될 뿐만 아니라 해수도 파랑의 전파방향으로 움직이게 되어 이에 의한 운동량의 수송이 이루어진다. 운동량은 파랑에 의해 결정되는데 이를 잉여응력(Radiation stress)이라 하며, 파고가 작은 해안선 부근에서는 작아져 운동량은 장소에 따라 변하게 된다(Longuet-Higgine and Stewart, 1962). 운동량의 차이와 평균해수면 경사에 의한 정수압의 차가 균형을 이루게 되어 해안 쪽으로 평균수면이 상승한다.

(3) 평균수면을 $\bar{\eta}$로 나타내면 평균수면의 식은 참고 식 (4.3-42)로 주어지며, 외해 쪽에서 해안 쪽으로 수치적분을 하여 $\bar{\eta}$를 계산한다.

$$\frac{d\bar{\eta}}{dx} = -\frac{1}{\bar{\eta}+h}\frac{d}{dx}\left[\frac{\overline{H^2}}{8}\left(\frac{1}{2}+\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)}\right)\right] \qquad \text{참고 식 (4.3-42)}$$

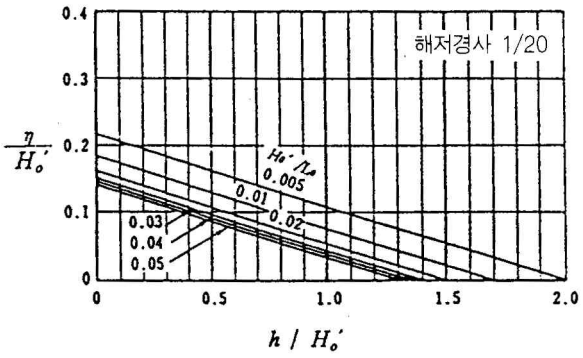
여기서, $\overline{H^2}$은 불규칙파군 중의 파고 자승의 평균값이다. 파고는 수면상승에 의해 변하기 때문에 파고와 수면변화를 동시에 관련시켜 계산한다.

(4) 참고 그림 (4.3-26)으로부터 평균수면 상승량은 해저경사가 급할수록, 또 파형경사가 작을수록 현저하게 나타난다.

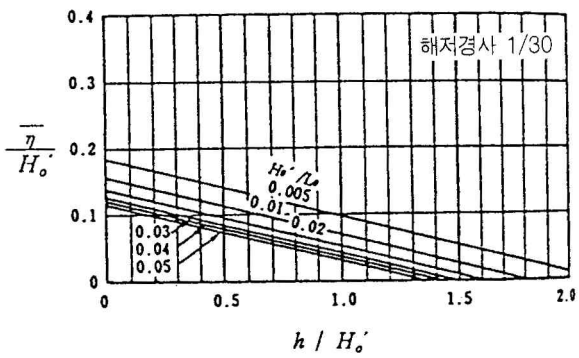


a) 해저경사 1/10 b) 해저경사 1/15

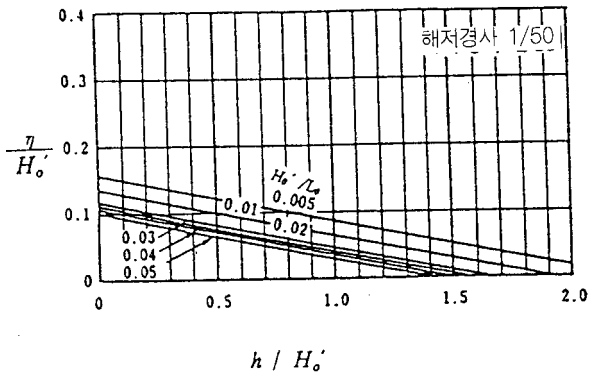
참고 그림 (4.3-26) 쇄파에 의한 수위상승 (계속)



c) 해저경사 1/20



d) 해저경사 1/30



e) 해저경사 1/50

참고 그림 (4.3-26) 쇄파에 의한 수위상승

(5) 쇄파에 의한 수위상승 이외에도 파랑 간의 상호작용으로부터 생성되는 내습파의 주기의 수 배~수십 배에 해당하는 해면의 상·하 진동이 있으며, 이를 서프비트(Surf beat)라 한다. 서프비트의 진폭은 심해파 진폭의 30% 이상이 되는 경우가 있다.
쇄파대 내의 서프비트의 진폭은 참고 식 (4.3-43)으로 계산한다.

$$\zeta_{rms} = \frac{0.01 H_o'}{\sqrt{\frac{H_o'}{L_o}\left(1+\frac{h}{H_o'}\right)}}$$

참고 식 (4.3-43)

여기서, ζ_{rms}는 서프비트 파형의 표준편차 값이다.

4.3.6 처오름 높이, 월파 및 전달파

4.3.6.1 처오름 높이

파랑의 처오름 높이는 파랑 특성, 제체 형상, 설치 위치 및 해저지형 등을 고려하여 산정한다.

(1) 제체 형상 및 해저형상이 복잡한 경우에 수리모형실험으로 산정하여야 한다. 단, 설계조건과 기존 연구성과(산정도표 또는 산정식)가 부합하는 제한된 조건에 대해서는 기존 연구성과를 이용하여 산정할 수 있다.
(2) 월파량이 중요한 경우에는 월파량이 허용값 이하가 되도록 마루높이 및 호안형상 등을 결정하여야 한다.

[참 고]

(1) 직립벽에서의 처오름 높이는 정상파(중복파)와 쇄파로 나누어 생각할 수 있다(Goda, 2010).
① 직립벽이 비교적 수심 깊은 곳에 설치되어 직립벽 앞에서 쇄파가 발생하지 않는 경우의 처오름 높이는 정상파의 파봉 높이와 같다.
② 직립벽 앞 수심이 파고에 비해 비교적 크지 않아 직립벽 앞에서 쇄파가 발생하는 경우 처오름 높이는 여러 가지 요인의 영향을 받는다. 직립벽에서의 처오름 높이를 산정하기 위한 연구로는 Saville(1958), 木村 등(2001), EurOtop(J. van der Meer 등, 2018)이 있다.
(2) 불투과성인 일정한 사면경사에서의 불규칙파 처오름 높이는 참고 식 (4.3-44)를 활용하여 산정할 수 있다(Mase, 1989).

$$\frac{R_x}{H_0} = A\xi^B, \quad \frac{1}{30} \leq \tan\beta \leq \frac{1}{5}, \quad 0.007 < \frac{H_0}{L_0} \qquad \text{참고 식 (4.3-44)}$$

여기서, x, A 및 B는 처오름 높이의 통계값과 산정식계수(A 및 B)를 나타내며, 참고 표(4.3-5)에 제시되어 있다.

참고 표(4.3-5) 참고 식 (4.3-44)의 계수

R_x	R_{max}	$R_{2\%}$	$R_{1/10}$	$R_{1/3}$	$\overline{R}$
A	2.32	1.86	1.70	1.38	0.88
B	0.77	0.71	0.71	0.70	0.69

여기서, R_{max}는 처오름 높이의 최댓값, $R_{2\%}$는 전체 처오름높이 중 상위 2%가 그것보다 높은 처오름 높이이다. $R_{1/10}$, $R_{1/3}$, $\overline{R}$는 각각 불규칙파고를 통계해석하는 경우와

마찬가지 방법으로 산출할 수 있는 처오름 높이의 1/10, 1/3 최댓값 및 평균값이다. ξ는 쇄파 유사성 매개변수로서 $\xi = \tan\beta / \sqrt{H_0/L_0}$이며, $\tan\beta$는 해저경사이다.
1/3 최대 처오름높이에 대해서는 참고 식 (4.3-45)를 이용할 수 있다.

$$R_{1/3}/H_s = 0.25 + 1.1\xi \quad (0 < \xi \leq 2.2)$$ 참고 식 (4.3-45)

$$R_{1/3}/H_s = 3.0 - 0.15\xi \quad (2.2 < \xi \leq 9.0)$$

$$R_{1/3}/H_s = 1.65 \quad (9.0 < \xi)$$

(3) 피복석 사면의 처오름 높이에 대해서는 참고 식 (4.3-46)을 이용할 수 있다(Coastal Engineering Manual, 2006).

$$R_x/H_{s,t} = A\xi_m \quad (1.0 < \xi_m \leq 1.5)$$ 참고 식 (4.3-46)(a)

$$R_x/H_{s,t} = B\xi_m^C \quad (1.5 < \xi_m \leq (D/B)^{1/C})$$ 참고 식 (4.3-46)(b)

$$R_x/H_{s,t} = D \quad ((D/B)^{1/C} \leq \xi_m < 7.0)$$ 참고 식 (4.3-46)(c)

여기서, 산정식의 계수는 참고 표 (4.3-6)에 제시되어 있다. 또한 $\xi_m = \tan\beta / \sqrt{2\pi H_{s,t}/(g T_{m,0}^2)}$이며, $H_{s,t}$는 구조물 설치수심에서의 유의파고, $T_{m,0}$는 평균주기이며, $\tan\beta$는 제체의 사면경사이다. 참고 식 (4.3-46)(a)와 참고 식 (4.3-46)(b)는 투과성 및 불투과성 피복석 사면, 참고 식 (4.3-46)(c)는 투과성 피복석 사면의 처오름높이 산정에 이용할 수 있다. 참고 식 (4.3-46)은 제체의 사면경사($\tan\beta$)가 1:1.5～1:6의 실험결과로부터 얻어진 경험식이다. 그리고 참고 식 (4.3-46)은 레일레이(Reyleigh) 분포에 가까운 파고분포를 가지는 상대적으로 심해조건인 경우에 타당하다.

참고 표 (4.3-6) 참고 식 (4.3-46)의 계수

R_x	R_{max}	$R_{2\%}$	$R_{1/20}$	$R_{1/10}$	$R_{1/3}$	$\overline{R}$
A	1.12	0.96	0.86	0.77	0.72	0.47
B	1.34	1.17	1.05	0.94	0.88	0.60
C	0.55	0.46	0.44	0.42	0.41	0.34
D	2.58	1.97	1.68	1.45	1.35	0.82

(4) TTP 피복(2층 피복, $\tan\beta$=1/1.5, 1/2 조건) 투과성 경사식구조물의 경우, 직각입사 조건에서의 처오름 높이 산정은 참고 식 (4.3-47)을 이용할 수 있다(이종인 등, 2015(a,b)). 참고 식 (4.3-47)은 전면 해저경사가 1/50인 조건의 수리실험결과를 이용한 것이다.

$$R_x/H_{s,t} = \gamma_t A\xi_s^B$$ 참고 식 (4.3-47)

참고 식 (4.3-47)에서 $H_{s,t}$는 구조물 선단부에서의 유의파고, $\xi_s = \tan\beta / \sqrt{2\pi H_{s,t}/(g T_{s,0}^2)}$, $T_{s,0}$는 유의주기이며, γ_t는 피복층 두께에 따른 처오름 높이 저감계수로서 TTP가 2층 피복된 경우에는 γ_t=1이다. 참고 식 (4.3-47)의 계수 A, B와 적용범위는 사면경사에 따라 참고 표 (4.3-7) 및 참고 표 (4.3-8)에 제시되어 있다. 참고 표 (4.3-7) 및 참고 표 (4.3-8)에서 d_t는 구조물 선단부의 수심이며, 쇄파의 영향을 고려하기 위해 구조물 선단부에서의 수심과 유의파고의 비($H_{s,t}/d_t$)에 따라 계수 A, B가 제시되어 있다. 그리고 동일한 $H_{s,t}/d_t$ 값일 경우에는 보다 높은 처오름 높이 산정결과를 적용하는 것이 바람직하다.

참고 표 (4.3-7) 참고 식 (4.3-47)의 계수 ($\tan\beta$=1/1.5 조건)

R_x	$H_{s,t}/d_t$ = 0.14∼0.27		$H_{s,t}/d_t$ = 0.27∼0.36		$H_{s,t}/d_t$ = 0.36∼0.45		$H_{s,t}/d_t$ = 0.45∼0.56	
	A	B	A	B	A	B	A	B
$R_{\max}$	1.80	0.28	1.13	0.63	1.19	0.64	1.09	0.75
$R_{1\%}$	1.49	0.28	1.04	0.61	1.07	0.64	0.99	0.75
$R_{2\%}$	1.43	0.26	1.03	0.58	1.02	0.64	0.95	0.75
$R_{1/20}$	1.27	0.26	1.02	0.51	0.93	0.64	0.89	0.75
$R_{1/10}$	1.14	0.26	1.01	0.44	0.85	0.64	0.83	0.75
$R_{1/3}$	0.90	0.23	0.90	0.34	0.74	0.58	0.73	0.71
$\overline{R}$	0.51	0.18	0.50	0.28	0.46	0.45	0.52	0.51
적용범위	$2.5 \le \xi_s \le 8.0$		$2.5 \le \xi_s \le 8.0$		$2.5 \le \xi_s \le 7.0$		$2.5 \le \xi_s \le 6.5$	

참고 표 (4.3-8) 참고 식 (4.3-47)의 계수 ($\tan\beta$=1/2 조건)

R_x	$H_{s,t}/d_t$ = 0.14∼0.27		$H_{s,t}/d_t$ = 0.27∼0.36		$H_{s,t}/d_t$ = 0.36∼0.45		$H_{s,t}/d_t$ = 0.45∼0.56	
	A	B	A	B	A	B	A	B
$R_{\max}$	2.40	0.24	1.65	0.65	1.65	0.65	1.65	0.65
$R_{1\%}$	2.18	0.24	1.63	0.58	1.53	0.65	1.53	0.65
$R_{2\%}$	2.10	0.21	1.58	0.56	1.48	0.65	1.48	0.65
$R_{1/20}$	1.91	0.20	1.47	0.53	1.40	0.65	1.40	0.65
$R_{1/10}$	1.72	0.20	1.37	0.50	1.26	0.65	1.33	0.65
$R_{1/3}$	1.34	0.19	1.18	0.42	1.07	0.61	1.16	0.64
$\overline{R}$	0.92	0.09	0.90	0.22	0.83	0.40	0.94	0.45
적용범위	$2.0 \le \xi_s \le 6.0$		$2.0 \le \xi_s \le 6.0$		$2.0 \le \xi_s \le 5.5$		$2.0 \le \xi_s \le 5.0$	

(5) 기존 경사식구조물의 보강을 위해 기존 TTP 피복층 사면 위에 고중량의 TTP를 추가로 피복하는 경우에 피복층의 두께가 증가함으로 인해 처오름 높이는 약간 저감된다.

참고 식 (4.3-47)에서 γ_t는 TTP 피복층의 두께증가에 따른 처오름 높이 저감계수이다. 기존 2층 TTP 피복층 상부에 추가로 TTP를 2층 피복하게 되면 피복층의 두께가 약 2배 증가하게 된다. 이러한 경우에 처오름 높이의 저감은 평균적으로 약 5% 발생하며, 참고 식 (4.3-47)에서 γ_t=0.95를 대입하여 산정할 수 있다. 구조물 설계파 조건의 경우, 상대적으로 장주기에 해당되는 것이 일반적이기 때문에 피복층수 증대에 따른 처오름 높이의 저감은 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 본 처오름 높이 저감계수가 월파량 저감율과 동일하지는 않다. 기존 피복층 상부에 추가로 피복을 하게 되면, 상치콘크리트 전면 피복층의 어깨폭이 증가하기 때문에 처오름 높이 저감율에 비해 월파량은 더 큰 저감이 있을 것으로 예상된다.

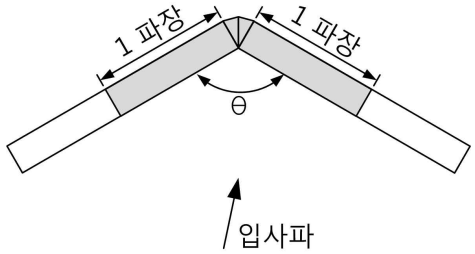
(6) TTP로 피복된 경사식구조물의 오목부 구간에서의 처오름 높이는 구조물이 직선인 경우에 비해 파랑의 반사, 중첩 등으로 인해 증폭될 수 있다.
따라서 오목부 구간에서의 처오름을 억제해야 하는 경우에는 참고 식 (4.3-48)과 같이 처오름 높이의 증폭을 고려하여 마루높이를 설정하는 것이 바람직하다(Lee 등, 2014).

$$(R_{1/3})_{\text{오목부}} = 1.1(R_{1/3})_{\alpha=0^\circ} \quad (160^\circ < \theta < 180^\circ) \qquad \text{참고 식 (4.3-48)(a)}$$

$$(R_{1/3})_{\text{오목부}} = 1.2(R_{1/3})_{\alpha=0^\circ} \quad (140^\circ < \theta \leq 160^\circ) \qquad \text{참고 식 (4.3-48)(b)}$$

$$(R_{1/3})_{\text{오목부}} = 1.3(R_{1/3})_{\alpha=0^\circ} \quad (120^\circ \leq \theta \leq 140^\circ) \qquad \text{참고 식 (4.3-48)(c)}$$

참고 식 (4.3-48)에서 $(R_{1/3})_{\alpha=0^\circ}$는 참고 식 (4.3-47)로부터 산정된 1/3 처오름 높이이고, θ는 오목부 구간의 각도로서 θ=180°는 구조물이 직선으로 배치된 것을 의미한다. 참고 식 (4.3-48)을 적용하는 오목부 구간 범위는 오목부 중심을 기준으로 좌·우 1 파장(구조물 선단부에서의 유의파장) 범위가 적절하다[참고 그림 (4.3-27) 참조].
단, 오목부 구간에서의 처오름높이를 저감시키기 위해 추가적인 대책을 수립할 경우에는 참고 식 (4.3-48)의 결과와 다를 수 있으므로 별도로 검토하는 것이 바람직하다.



참고 그림 (4.3-27) 오목부 구간 처오름높이 적용범위

허용월파량을 대상으로 마루높이를 설정할 경우, 참고 식 (4.3-48)의 오목부구간 처오름 높이 증폭비가 월파량 증폭비와 일치하지 않을 수 있지만, 수리모형실험을 통해 오목부 구간의 월파량을 산정하지 않는 조건에서는 근사적으로 활용할 수 있다.

(7) 복단면의 경우, 불규칙파에 대해선 충분한 연구가 이루어져있지 않지만, 규칙파에 대해서는 사비에르(Saville)의 가상경사법 및 나카무라에 의한 개량가상경사법을 이용하는 것이 가능하다. 복단면이란 해저형상 및 제체형상 및 배치가 참고 그림(4.3-28)과 같은 경우를 말한다.

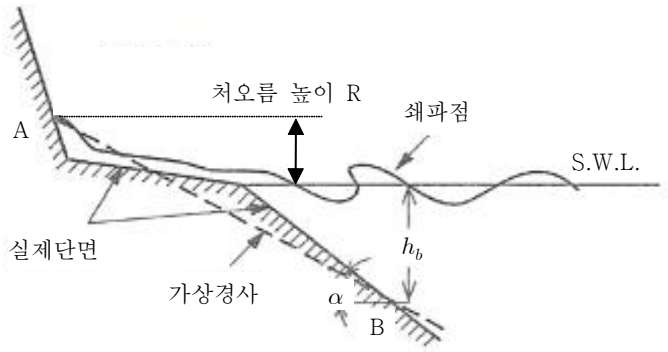
① 복단면으로 간주할 수 있는 경우의 제체에 대한 파랑의 처오름 높이는 다음과 같이 구한다.

가. 심해파의 특성에서 쇄파점 B를 구한다.

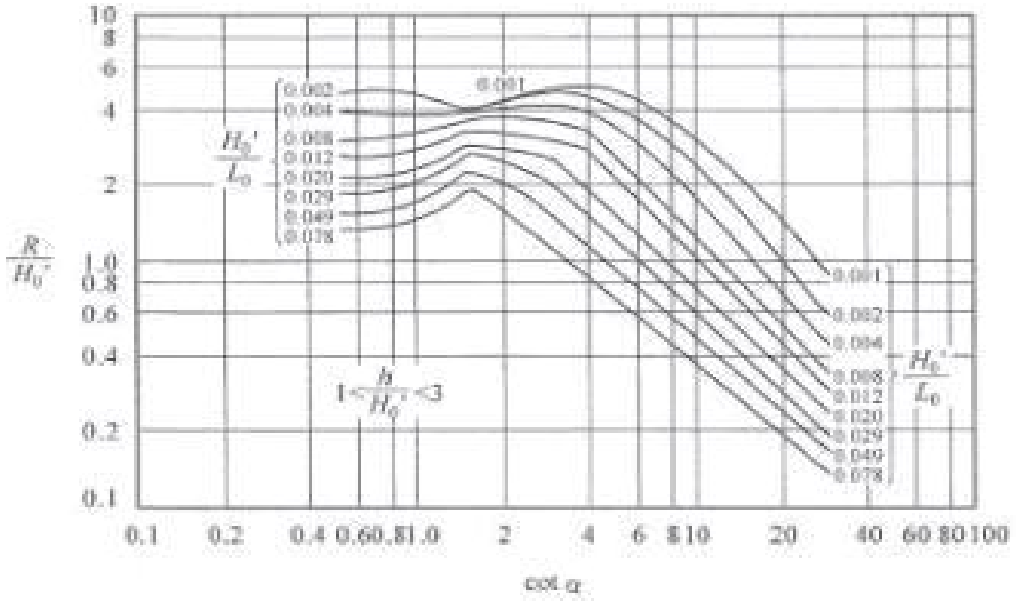
나. 다음으로 파랑의 처오름높이 R을 가정하여, 그 점 A와 쇄파점 B를 잇고, 이것을 가상경사 $\cot\alpha$로 한다.

다. 참고 그림(4.3-29)를 이용하여 이 가상경사에 대한 파랑의 처오름 높이를 산정하고 처음으로 가정한 처오름높이와 비교한다. 양자가 일치하지 않을 때는 가정한 처오름 높이, 즉 가상경사를 바꾸어 양자가 일치할 때 까지 반복한다.

라. 이러한 방법으로 얻은 값이 해당하는 복단면의 처오름 높이다.



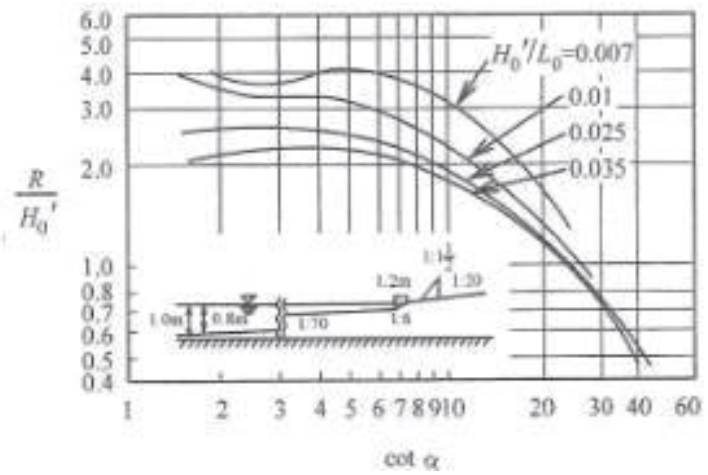
참고 그림 (4.3-28) 복단면과 가상경사



참고 그림 (4.3-29) 사면상의 처오름높이

② 이 방법으로 구한 결과와 실제 복합단면에 관한 실험결과를 비교하면, 일반적으로 10% 이내의 오차로 양자는 상당히 일치한다. 하지만 해저경사가 완만해지면 양자의 일치도는 나빠지기 때문에 이 방법은 해저경사가 1/30 보다 급한 경우에 적용한다.

③ 참고 그림 (4.3-30)은 해저경사 1/70으로 구한 실험결과로서 완만한 해저경사 복단면에 대한 파랑의 처오름높이를 추정하는데 참고할 수 있다.



참고 그림 (4.3-30) 쇄파점에서 육지의 제방쪽으로 내습하는 파랑의 처오름 높이

(8) 제체에 비스듬하게 파랑이 입사하는 경우

참고 그림 (4.3-31)은 입사파의 파봉선과 제체기준선이 β 각도를 이룰 때의 입사방향계수 K_β(β=0에서 파랑이 직각으로 입사할 때의 처오름높이에 대한 각 각도에서의 처

오름 높이 비)와 각도 β와의 관계를 나타낸 그림이며, 이것으로 파랑의 입사각이 처오름 높이에 미치는 영향을 추정하는 것이 가능하다.

(9) 소파공의 효과

제체전면을 소파블록으로 완전히 피복하면 파랑의 처오름높이를 상당히 감소시킬 수 있으며, 참고 그림 (4.3-32)는 그 일례를 나타낸 것이다.

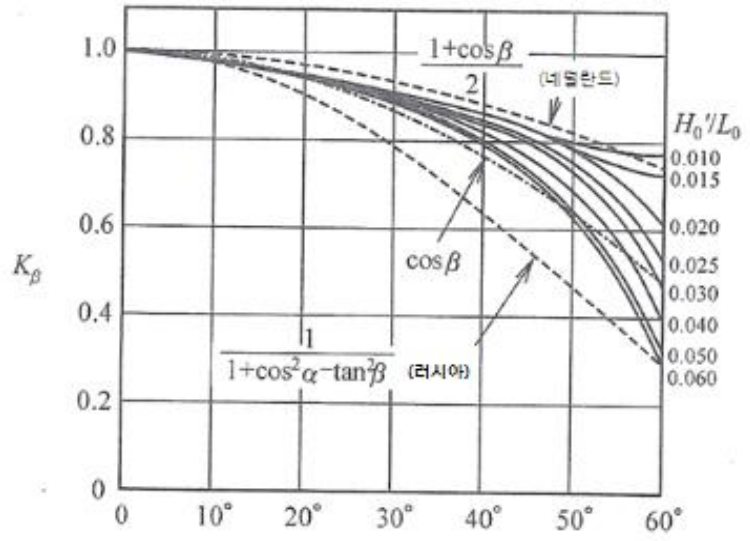
하지만 소파공의 설치방법에 의해 그 효과는 현저히 변화하므로 일반적으론 모형실험으로 처오름 높이를 결정하는 것이 바람직하다.

(10) 산정오차

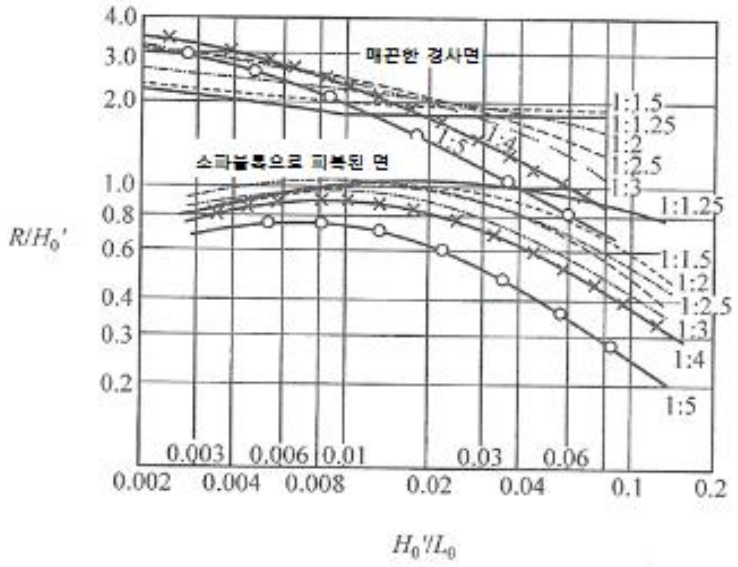
파랑의 처오름 높이 산정을 위한 곡선은 상당한 편차를 나타내는 실험값의 평균값인 점을 고려해 둘 필요가 있다.

또한 유의파를 이용하여 제체 최상부높이의 성능조사를 실시하면, 실험값의 편차를 고려하지 않더라도 최상부높이를 넘는 파도의 빈도는 커지고, 현저할 때는 약 절반정도의 파도가 이 최상부높이를 넘을 수도 있다는 점을 명심해야 한다.

따라서 제체나 호안 등의 최상부높이는 처오름 높이만으로 결정되는 것이 아니라, 월파량에 대한 고려도 이루어지게 된다.



참고 그림 (4.3-31) 파랑의 입사각과 처오름높이의 관계 (실선 : 일본건설성토목연구소 (실험값))



참고 그림 (4.3-32) 소파공에 의한 파랑의 처오름높이 감소

4.3.6.2 월파량

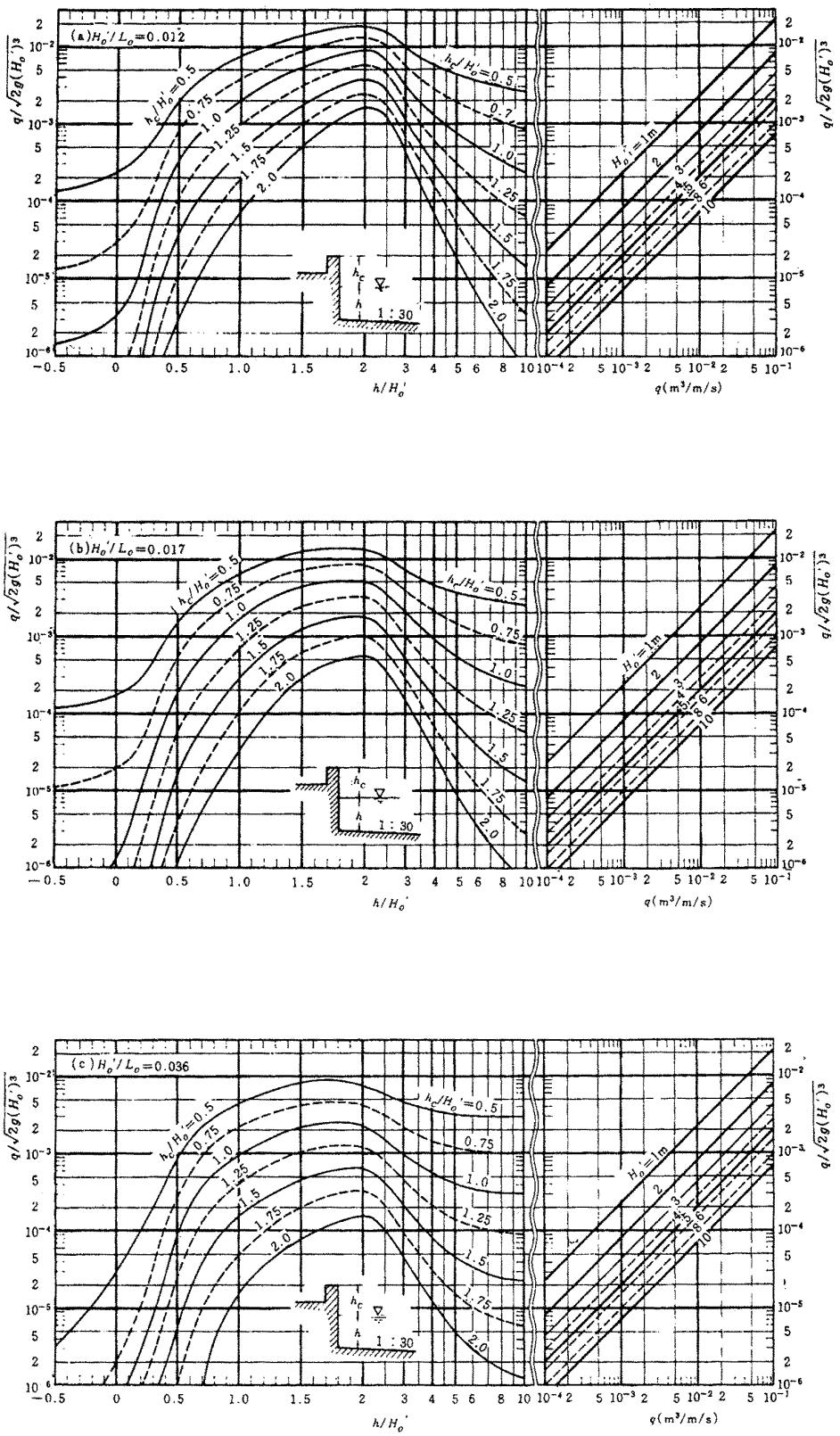
(1) 항만구조물을 설계할 때 월파량이 중요한 경우에는 수리모형실험으로 산정하여야 한다. 단, 설계조건과 기존 연구성과(산정도표 또는 산정식 등)가 부합하는 제한된 조건에 대해서는 기존 연구성과를 이용하여 산정할 수 있다.
(2) 월파량 산정 시에는 파랑의 불규칙성을 고려하여야 한다.

[해 설]

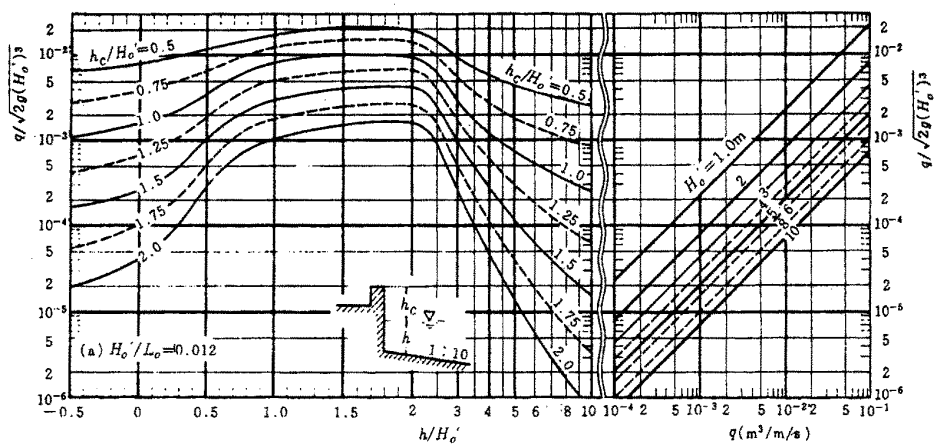
월파량을 수리모형실험에서 추정할 경우에 실험파는 불규칙파를 사용하여야 하지만 불규칙파의 실험을 할 수 없는 경우는 규칙파의 실험에서 산정할 수 있으며, 이 경우 사용하는 주기는 유의파 주기로 한다. 월파량은 월파한 물의 단위폭당 부피이고, 월파유량은 단위시간당 월파한 물의 단위폭당 부피이다.

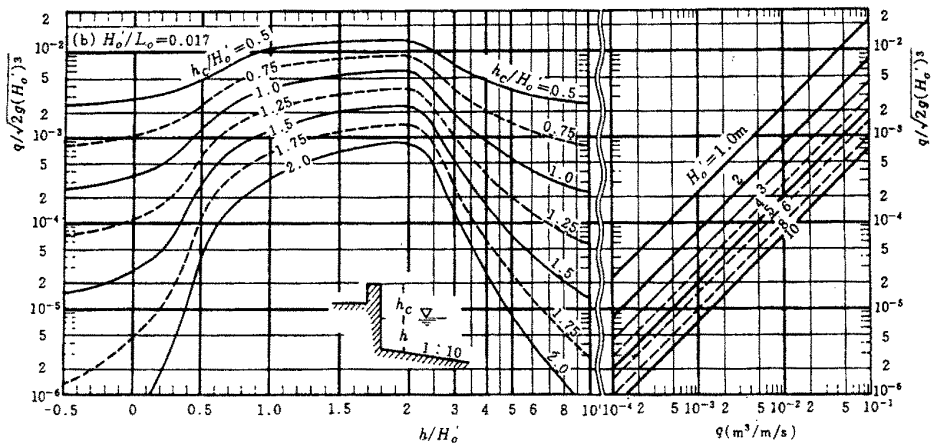
[참 고]

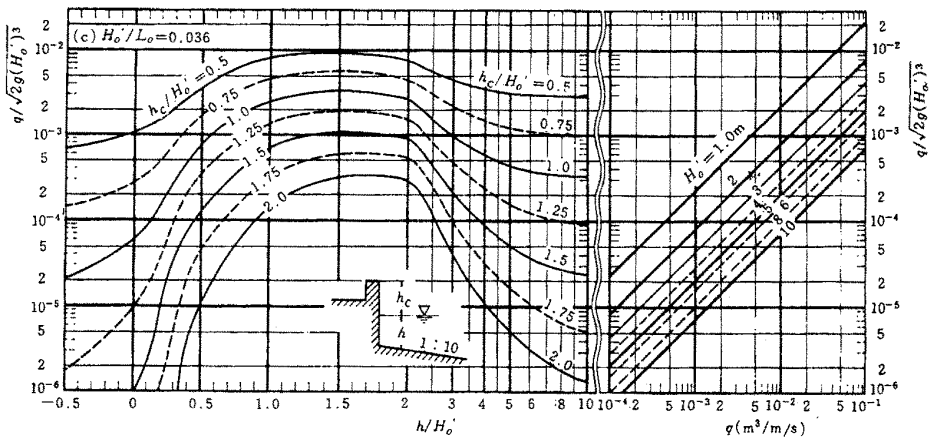
(1) 규칙파의 실험에서 월파량을 산정할 때는 먼저 월파 유량곡선(환산심해파 파고에 대한 월파유량의 관계)의 실험에 의해 작성된다. 월파 유량곡선을 구하면 각 파고의 출현율을 곱해서 월파량의 기댓값(이것을 기대월파유량이라 함)을 구하여 불규칙파에 대한 추정값으로 한다.
(2) 단순한 형상의 직립 및 소파호안에 대하여는 불규칙파의 실험에 의해 작성한 참고 그림 (4.3-33)∽참고 그림 (4.3-36)을 사용하여 월파량을 추정하여도 좋다[Goda(合田) 등, 1975].



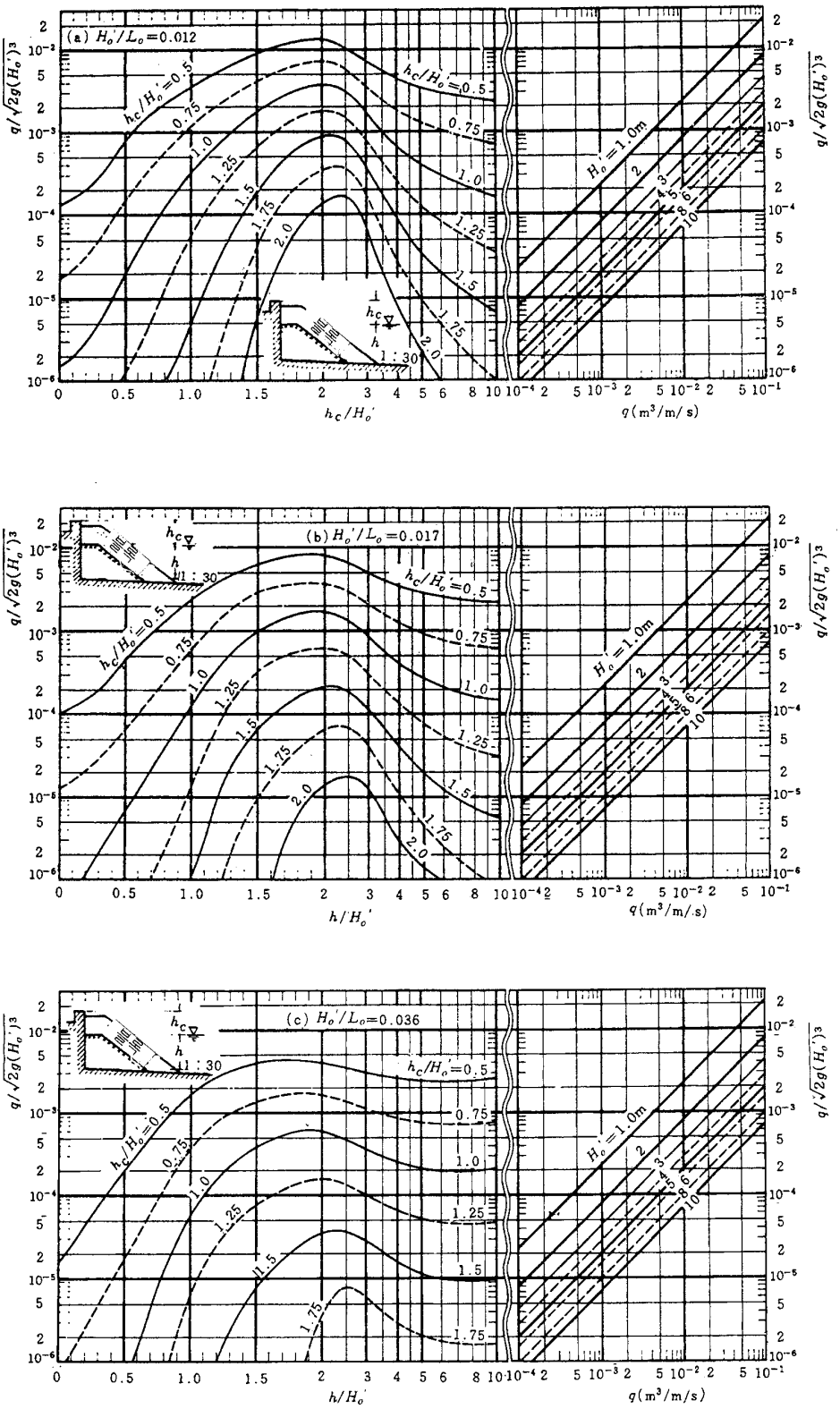
참고 그림 (4.3-33) 직립호안의 월파유량 산정도(해저경사 1:30)



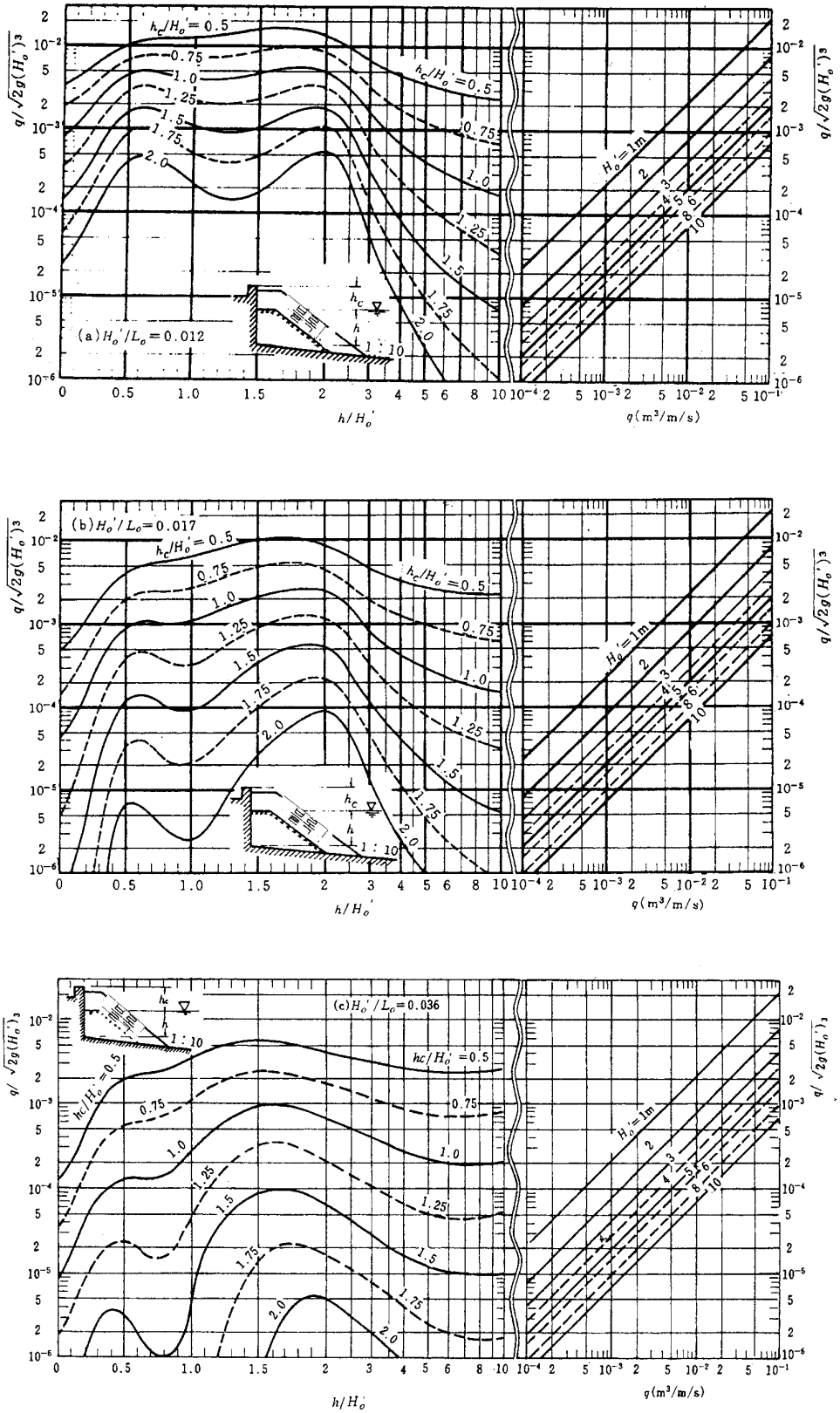




참고 그림 (4.3-34) 직립호안의 월파유량 산정도(해저경사 1:10)



참고 그림 (4.3-35) 소파호안의 월파유량 산정도(해저경사 1:30)



참고 그림 (4.3-36) 소파호안의 월파유량 산정도(해저경사 1:10)

(3) 호안제방 배후지역의 이용 측면에서 본 허용 월파유량은 그 이용 상황, 중요도에 따라 다르지만 일반적인 기준으로는 참고 표 (4.3-9)가 있으며, 사람이나 차량이 통행하는 기준으로는 참고 표 (4.3-10)이 있다.

참고 표 (4.3-9) 배후지의 중요도를 고려한 허용월파량[후꾸다(福田) 등, 1973, 1973; 나가이(永井) 등, 1964]

요 건	월파량(㎥/m·s)
• 배후에 민가, 공공시설 밀집으로 월파, 물보라 등의 유입으로 중대한 재해가 예상되는 지역	0.01 정도
• 기타 중요한 지역	0.02 정도
• 기타 지역	0.02~0.06

참고 표 (4.3-10) 배후토지 이용상황에서 본 허용월파량[후꾸다(福田) 등, 1973]

이용방법	상태(호안 후면)	월파량(㎥/m·s)
보 행	위험 없음	3×10^{-5}
자동차	고속통행 가능	1×10^{-6}
	운전 가능	2×10^{-5}
가 옥	위험 없음	7×10^{-5}

참고 표 (4.3-11) 피재한계(被災限界)의 월파유량[Goda(合田), 1970]

종 별	피 복 공	월파유량(㎥/m·s)
호 안	배후포장 있음 배후포장 없음	0.2 0.05
제 방	3면이 콘크리트 마루 포장·뒷채움 미시공 마루 포장 없음	0.05 0.02 0.005 이하

참고 그림 (4.3-33)~참고 그림 (4.3-36)에서 $H_{1/3}$는 구조물 전면의 유의파고, hc는 정수면에서 구조물 마루까지의 높이, q는 단위시간, 단위길이당의 월파량(㎥/m·sec)을 각각 나타낸다.

(4) 실험에 의해서 월파량을 추정하는 경우에는 조위 변화를 고려하여 수위를 변화시키면서 추정한다.

(5) 허용 월파량에 대해서는 호안의 구조, 호안 배후의 토지이용 상황, 배수시설의 능력 등에 따라 다르기 때문에 주어진 상황에 따라 적절히 결정한다.

(6) 환산 최상부높이 계수

소파블록을 설치한 호안이나 종 슬리트(Slit)형 소파호안의 월파량을 설정하는 기준으로 환산 최상부높이 계수를 이용할 수 있다. 환산 최상부높이 계수는 동일파고와 해저형상 조건으로 직립호안을 설치했을 경우를 가정하여, 동일 월파량이 되는 때의 대상호안 높이와 직립호안 높이의 비교값이다. 환산 최상부높이 계수가 1보다 작은 경우는 직립호안에 비해 최상부높이가 낮은 호안이어도 동일 월파량이 되는 것을 나타나고 있어 그 호안형상이 월파량저감에 유효하다는 것을 의미한다. 대표적인 호안형상 환산 최상부높이 계수 β의 참고값은 다음과 같다.

블록을 설치한 소파호안 : β = 0.9～0.7
종 슬리트(slit)형 호안 : β = 0.6
파라핏(parapet) 후퇴형 호안 : β = 1.0～0.5
계단호안 : β = 1.7～1.0

파도가 비스듬하게 입사하는 경우 :

$$\beta = \begin{cases} 1-\sin^2\theta & |\theta| \le 30^\circ \\ 1-\sin^2 30^\circ = 0.75 & |\theta| > 30^\circ \end{cases}$$

(θ는 파도의 입사각으로서 호안에 직각 입사하는 경우를 0°로 한다.)

4.3.6.3 전달파고

방파제를 월파한 파랑 및 방파제 제체를 통과한 파랑에 의한 전달파의 파고는 수리모형실험으로 산정하여야 한다. 단, 설계조건과 기존 연구성과(산정도표 또는 산정식 등)가 부합되는 제한된 조건에 대해서는 기존 연구성과를 이용하여 산정할 수 있다.

[참 고]

(1) 파고 전달율은 다음 식과 같다.

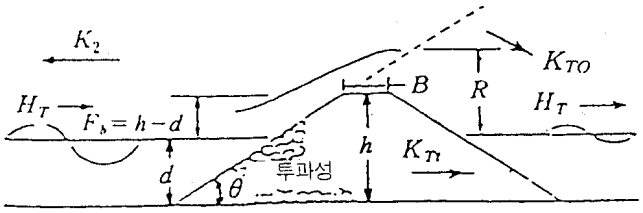
$$K_{TO}=\sqrt{(K_{TO})^2+(K_{Tt})^2}=\frac{H_T}{H_I}$$ 참고 식 (4.3-49)

여기서, K : 파에 의한 파월 전달율

K_{Tt} : 투과에 의한 파고 전달율

H_I : 입사파고

H_T : 전달파고[참고 그림 (4.3-37)]



$$K_{TO}=\sqrt{(K_{TO})^2+(K_{Tt})^2}=H_T/H_I$$

참고 그림 (4.3-37) 전달파고

① 월파에 의한 파고 전달율은 Seelig(1980)이 제안한 경험식에 의해 다음과 같이 추정한다.

K 참고 식 (4.3-50)

여기서, F_b : 방파제의 정수면상 높이

c : 경험계수

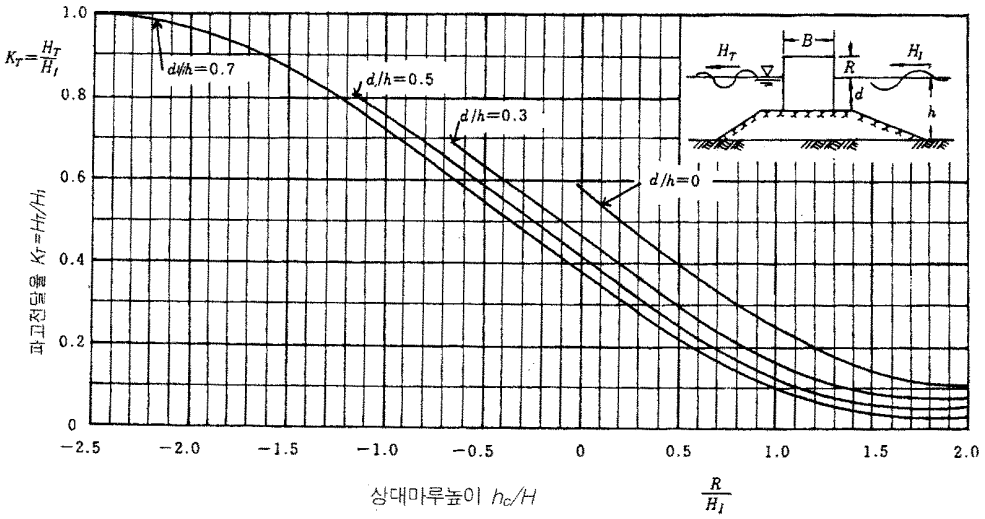
R : 처오름 높이

$0 \leqq (KTO) \leqq 1.0$

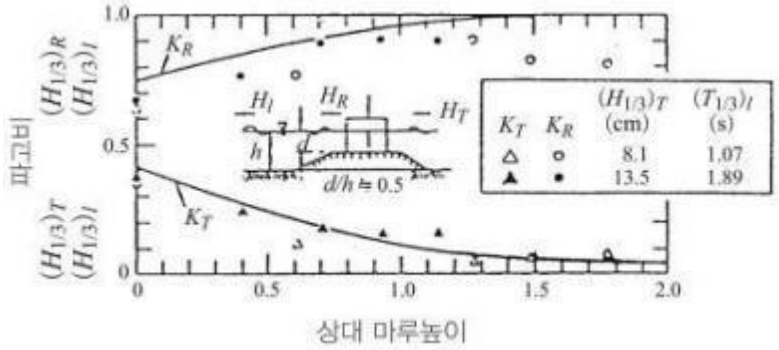
② 참고 식 (4.3-50)에서 c는 방파제 폭과 관련이 있으며 다음 식으로 구한다.

$$c=0.51-0.11B/h$$ 참고 식 (4.3-51)

(2) 혼성 방파제를 월파한 파랑 및 제체 통과에 의한 항내로 유입된 전달파고의 산정은 참고 그림 (4.3-38)을 사용하여도 좋다.



(a) 규칙파에 의한 혼성방파제의 전달파고계수



(b) 불규칙파에 의한 혼성방파제의 전달파고계수와 반사계수

참고 그림 (4.3-38) 혼성방파제의 전달파고계수와 반사계수

(3) 참고 그림 (4.3-38)(a)는 규칙파에 의한 실험에서 얻어진 것이나 불규칙파일 때[참고 그림 (4.3-38)(b) 참조]와도 거의 일치한다.

(4) 전달파의 주기는 유의파 주기 또는 평균 주기에 대응하는 입사파 주기의 50∼80%로 감소한다.

(5) 소파블록 및 사석 등 피복 방파제에 대한 전달파고는 미육군공병단편람(Coastal Engineering Manual, 2006) 및 기타 실험 자료를 참조하여 수리모형실험에 의해 산정한다.

4.3.7 장주기파와 부진동

(1) 항내의 장주기파 또는 부진동에 대해서는 가능한 한 현장관측을 실시하고, 그 결과를 이용하여 대응하여야 한다. 현장관측이 어려운 경우에는 수치해석 및 수리모형실험 등으로 해석할 수 있다.
(2) 항만계획 시에는 부진동의 영향이 가능한 적게 되는 항만배치를 채택하여야 한다.

[해 설]

항내 또는 외해의 관측점에서는 주기가 1분에서 수분인 장주기의 수위변동이 나타나는 일이 있는데 이를 장주기파라 부른다. 선박과 계류라인으로 구성되는 진동계의 고유진동주기와 장주기파의 주기가 거의 같을 때에는 파고가 작아도 공진현상에 의해 큰 전후이동(Surge)을 일으켜 항만가동율에 크게 영향을 준다. 관측에 의해 대략 유의값으로 파고 10～15㎝ 이상의 장주기파가 항내에서 빈번히 발생할 경우에는 부두의 배치, 안벽 형태의 변경 등과 같은 하드웨어적 대책, 또는 계류라인의 스프링 상수 조정 등과 같은 소프트웨어적인 대책을 검토한다. 우리나라의 경우, 포항신항 등에서 이러한 현상이 우세하게 나타나고 있음이 현장관측과 항만가동기록 자료에 제시되어 있다.
항내에 주기 수 분 이상의 현저한 수위변동이 나타나는 경우에는 부진동 현상이 발생하고 있다고 볼 수 있다. 부진동 현상은 외해의 기압 변화에 의해서 발생하는 미소한 교란이 항내 또는 만의 고유진동에 의해서 증폭되는 것이다. 부진동의 진폭이 현저하게 큰 경우에는 만 안쪽에서의 침수나 배수구의 역류 현상이 발생하거나 국소적으로는 빠른 유속이 발생하고 소형선의 계류라인이 절단되는 경우가 있다.

[참 고]

(1) 항내에서 관측되는 장주기파의 주된 발생 요인
파군 모양이 뚜렷한 파의 경우에는 Longuette-Higgins와 Stewart가 1962년에 제안한 잉여응력(Radiation stress)의 분포가 불균일하게 되기 때문에 장주기의 수위변동이 발생한다. 이 파는 파군에 수반되어 진행하기 때문에 구속파(拘束波)라 부른다. 이 파는 이론상 파군속도 CG로 진행하고 그 진폭은 파군을 구성하는 풍파의 파고의 제곱에 비례한다. 그리고 수심이 얕아지면 진폭이 크게 된다. 방파제나 갑(岬)에서 풍파의 회절이 발생하면 회절 파고가 작아지기 때문에 구속되는 장주기파도 작아진다. 그러나 그때까지 발생된 장주기의 수위변동이 갑자기 소멸되지 않고 외견상 구속받지 않는 장주기파로 변환되어 항내에 전파한다. 이를 자유진행장파라 부르고 전파속도는 장파의 파속으로서 $\sqrt{gh}$이다.
또, 파군 구조를 갖는 파가 쇄파되면 파고의 크기에 따라 쇄파점이 해안 또는 외해 쪽으로 이동하고 잉여응력의 경사에 시간변화가 생겨 쇄파대 내에서 자유진행장파가 발생한다[가또오(加藤) 등, 1991].

자유진행장파로서 항내에 침입한 장주기파는 안벽이나 해빈에서 반사되어 에너지의 일부가 다시 항외로 전파한다. 따라서 항외의 관측점에서 측정된 장주기파에는 구속파의 성분과 자유진행장파의 성분이 모두 포함되어 있다.

(2) 장주기파의 하역한계파고

안벽 전면의 장주기파는 공진에 의해 선박에 진폭이 수 m인 전후이동(Surge)을 발생시키는 경우가 있어 충분한 검토가 요구된다. 장주기파의 하역한계파고는 주기, 선박의 제원, 계류 상황, 재하조건 등에 따라 다르나 일부 항만의 경우 관측에 의하면 유의값으로 약 10㎝∽15㎝이다(정원무 등, 1997).

(3) 장주기파의 전파 계산

장주기파의 항내 전파는 외해쪽에 입사경계를 설정하고 완경사방정식, 부시네스크(Boussinesque) 방정식 또는 선형장파에 의한 계산법 등을 이용하여 계산한다.

(4) 장주기파의 파향

장주기파가 전파하는 경우에는 연안에서의 반사파와 중복되는 경우가 많아 파향을 결정하기 어렵다. 그러나 주된 장주기파의 에너지는 단주기파(풍파)의 주파향과 일치한다고 생각해도 좋다.

(5) 부진동의 계산법

부진동의 계산법에 대해서는 이 기준의 4. 설계조건(4.4 조석)을 참조한다.

(6) 장주기파 또는 부진동에 대한 대책

장주기파가 현저한 수역에서는 항내로의 장주기파의 침입을 억제하도록 방파제 배치계획을 세우는 것이 바람직하다. 이때 사석부의 재료입경이 클 경우에는 장주기파의 에너지가 거의 투과되므로 방파제 또는 사석부 구조에 대해 적절히 검토해야 한다.

선박의 전후이동(Surge)을 억제하기 위해서는 계류계의 고유주기를 침입 장주기파의 주기와 약간 다르게 한다. 이를 위해서는 계류라인의 부착 위치나 초기장력의 변경 또는 로프의 재질 개선이 바람직하나 적절한 수치계산에 의해서 그 효과를 사전에 검토하여 적절하게 대응해야 한다.

장주기파고의 분포는 항내에서 일정하지 않으므로 계획단계시 대상 부두에서 장주기파고가 한계값을 확실히 초과할 것으로 예상될 때 부두의 위치를 변경하는 것도 바람직하다.

(7) 장주기파와 부진동의 구별

일반적인 항만에서는 부진동의 주기가 수 분 이상으로 장주기파의 주기보다 길어서 진동 주기의 해석에서 구별할 수 있다. 단, 배가 모이는 곳이나 마리나 등에서는 부진동의 주기가 2∽3분으로 짧게 되는 수가 있어 구분하기 어렵다. 그 경우는 외해측의 관측 결과나 주변 항만의 상황에서 적절히 판단한다.

4.3.8 항내파랑

4.3.8.1 항내정온도와 항내수면교란의 요소

항내정온도 산정 시에는 항내수면을 교란시키는 항입구 침입파, 항내로의 전달파, 반사파, 장주기파, 부진동, 항내 발생파, 항주파 등과 같은 여러 요인을 고려하여야 한다.

[해 설]

항내정온도 문제는 파랑, 바람, 선박 동요 또는 작업기기의 내풍성, 내파성 등의 물리적인 요소뿐 아니라 선박입출항의 난이, 악천후 시 피박(避泊), 해상작업의 한계조건 등의 판단 요인을 합하고, 또한 하역효율, 선박가동율, 정온도 향상을 위한 제반시설의 건설비 등의 경제적 요인과도 관계되는 극히 복잡한 과제이다.

4.3.8.2 항내정온도의 산정

항내정온도는 항내수면을 교란시키는 각 요소들에 대해서 추정된 파랑 성분을 고려하여 산정한다.

[참 고]

(1) 정온도 계산시의 유의점

정온도 계산을 실시하기 전에 다음과 같은 유의사항을 숙지한다.

① 항입구의 파고·주기빈도분포를 설정할 것

② 항로수심이 주변해역의 수심과 현저히 다른 경우, 항내에 여울이 존재하는 경우, 항입구에서 급격한 수심변화가 나타나는 경우의 항내 파고계산은 가능한 한 항내의 수심변화를 고려할 것

③ 항내 파고의 허용값은 주기영향을 도입할 것

④ 정온도 목표값은 장래 항만의 이용 상황을 고려할 것

(2) 정온도 산정

정온도는 하역한계파고 또는 정박한계파고를 넘지 않는 파고의 시간적 발생확률로 계산할 수 있다. 하역한계파고는 안벽이나 돌핀에 계류된 선박이 하역활동을 안전하게 실시할 수 있는 한계파고이며, 정박한계파고는 정박지에서의 묘박이나 계선부표 및 계류시설에서의 계류가 가능한 파고이다. 여기서, 하역한계파고를 넘지 않는 파고의 시간적 발생확률을 가동률이라 하고, 일반적으로 정온도는 가동률로 평가한다.

① 평상파에 대한 가동률 계산

가. 항외의 주기대별로 파향별 파고빈도표를 작성한다.

나. 계산대상인 항외측 파향과 계산파고를 설정한다.

항외 지점의 파향별 풍파빈도표에서 계산대상으로 하는 파향을 설정한다. 또한 항외지점에서 설정한 주기 · 파향의 조합마다 에너지 평형방정식 등을 이용하여 항입구 지점의 파향과 파고를 계산한다.

다. 항내 지점의 파고산정과 항내 파고빈도분포를 작성한다.

에너지 평형방정식 등으로 계산한 항외지점과 항입구 지점의 파고비와 항내 수심이 비교적 변화하지 않는 경우에는 항입구 지점과 항내 각 지점의 파고비를 구한다. 또한 나.항에서 구한 항외 주기대마다의 파향별 풍파빈도표의 파고계급값(상단값)에 해당하는 항내·외의 파고비를 곱하여 대상시설 전면파고를 산출하고, 항내의 주기대마다 (항외의) 파향별 파고표를 작성한다. 또한 항내에서는 주로 회절과 반사변형 등에 유의하여 항내 파고를 구한다. 이 때 필요에 따라 전달파 및 투과파 검토도 실시한다. 그리고 항내 파고는 회절파, 반사파, 전달파 등을 각각 제곱 한 것의 합의 평방근으로 추정할 수 있다. 항내파 주기는 전달파나 투과파의 영향이 비교적 적은 항만에서는 회절파 주기로 대표해도 좋다.

라. 평상파 성분에 대한 가동률을 계산한다.

가동률은 다음 절차로 계산할 수 있다.

(가) 하역한계파고를 설정한다. (각 계류시설마다 이용선박의 종류 및 적재화물 중량톤 그리고 파랑의 파향 및 주기 등을 설정한다)

(나) 대상시설 전면파고가 하역한계파고를 넘는 경우의 빈도를 누적한다.

(다) 하역한계파고를 초과하는 비율(%)을 구하고, 전주기(全周期) · 전파향(全波向)에 대해 합산한 후 100%에서 이것을 뺀 가동률을 구한다.

② 이상시 파랑에 대한 정온도

이상시의 파랑(예를 들어, 설계공용기간 50년인 시설에 대해서는 재현기간 50년의 확률파)에 대한 정온도는 일반적으로 이상시의 항내 파랑이 항만시설의 성능에 큰 영향을 끼치는 점을 고려하여 이상시 항내 파랑이 항만시설에 큰 피해를 끼치지 않도록 파고의 한계값을 설정하며, 항내 파고계산으로 산출된 파고가 이 한계값을 넘지 않는 것을 확인함으로서 평가할 수 있다.

③ 장주기파에 대한 하역가동률 계산

가. 하역한계파고를 설정한다.

장주기파성분에 대한 하역한계파고 설정은 대상으로 하는 선박종류나 하역방식을 고려하여 하역실태를 조사한 후 개별적으로 구하는 것이 바람직하며, 장주기파의 하역한계파고는 참고 표 (4.3-12)로 정의된다.

나. 항외의 파향별 장주기파빈도표를 작성한다.

현지관측에 의한 장주기파의 파향별 빈도표를 얻지 못한 경우, 항외측의 파향별 풍파빈도표를 이용하여 항외측의 파향별 장주기파 빈도표를 작성한다.

다. 항내 장주기파 파고를 설정한다.
항외측 파향별 장주기파 빈도표에서 파향이나 장주기파 성분의 파고를 설정한다.

라. 항내지점의 파고산정과 항내 장주기파 파고빈도표를 작성한다.

마. 장주기파 성분에 대한 가동률 계산을 실시한다.
항내파고가 하역한계파고를 넘는 비율을 전 파향에 대해 집계한 후, 100%에서 이것을 뺀 가동률을 구한다.

참고 표 (4.3-12) 장주기파의 하역한계파고

장주기파의 유의파고 수준	대상 조건	하역한계파고 (m)
1	서징에 대해 하역허용 동요량이 비교적 큰 선박, 또는 서징의 고유주기가 1.5min 이하인 선박 (중급선박 : 1,000~5,000DWT)	0.20
2	서징에 대해 하역허용 동요량이 중간정도인 선박, 또는 서징의 고유주기가 1.5min 이하인 선박 (일반화물선 : 5,000~10,000DWT)	0.15
3	서징에 대해 하역허용 동요량이 작은 선박, 또는 서징의 고유주기가 2~3min 이하인 선박 (컨테이너선, 광석선 등 : 10,000~70,000DWT)	0.10

(3) 부진동은 대체로 주기가 5분 이상으로 극단적으로 하역을 악화시키는 요인은 아니다. 그러나 그 진폭이 커지면 소형선박의 계류장해, 배수구의 역류, 안벽침수 등의 피해가 발생하므로 부진동특성을 가지지 않는 항만형상을 고려하는 것이 바람직하다. 부진동 추정에는 선형장파의 근사식이나 천수장파이론 등을 응용할 수 있다.

4.3.8.3 항주파

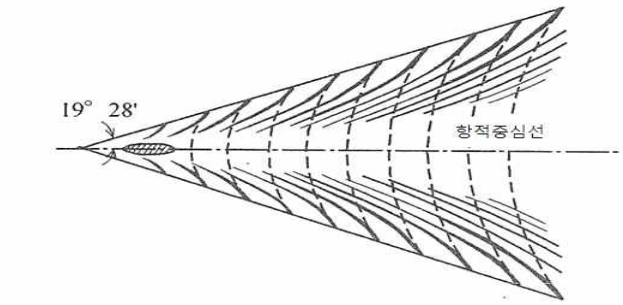
운하나 항로에서는 항행선박에 의한 항주파를 고려하여야 한다.

[참 고]

(1) 항주파는 선박이 항행할 때 발생하는 파도로 항적파라고도 하며, 선박이 클수록, 속도가 빠를수록 파고가 커진다. 항주파는 전파거리가 커지면 감쇠되므로 넓은 수역에서는 큰 문제가 되지 않지만, 항구 내, 폭이 좁은 수로 (항로) 등에서는 정박 중인 소형선박, 이동식부두 등의 흔들림을 발생시키는 경우가 있다. 또한 수로의 양쪽 호안에서의 월파, 세굴, 피복블록의 안정성 등에 영향을 미치는 경우도 있다.

(2) 항주파 평면형상

항주파를 상공에서 바라보면, 참고 그림 (4.3-39)과 같이 배 앞머리의 약간 전방에서부터 八자 모양으로 넓어지는 파도와 배 후방에서 파봉이 배의 진행방향과 직각이 되는 파도의 2가지 계열로 구성되어 있으며, 전자는 종파(Divergent waves), 후자는 횡파(Transverse waves)로 불린다. 종파는 요곡선을 이루며, 그 간격은 안쪽으로 갈수록 좁아진다. 횡파는 거의 원호형이며 그 간격도 일정하다. 또한 항주파의 존재범위는 수심이 깊은 경우, 선수의 약간 전방을 기점으로 항적중심선(±19° 28′)과 이 각도를 이루는 선 (이것을 커스프라인(Cuspline)이라 한다)의 안쪽으로 한정된다. 최외연인 종파와 횡파는 이 선의 약간 안쪽에서 교차하며, 그 지점에서 파고는 최대가 된다. 종파에 비해 횡파는 파형경사가 작아 항공사진으로는 식별되지 않는 경우가 많다.



참고 그림 (4.3-39) 항주파 평면도 (그림의 실선은 종파, 파선은 횡파를 나타냄)

(3) 항주파의 파장 및 주기

항주파의 파장 및 주기는 종파와 횡파가 다르며, 후자쪽이 더 길다. 또한 종파의 파장 및 주기는 제1파가 최장이며, 점차 짧아진다.

① 횡파의 파장은 횡파파속이 배의 전진속도와 같다는 조건하에 참고 식 (4.3-52)의 수치해로 구할 수 있다.

$$\frac{gL_t}{2\pi}\tanh\frac{2\pi h}{L_t} = V^2$$ 참고 식 (4.3-52)

여기서, $V = \sqrt{gh}$
L_t : 횡파파장 (m)
h : 수심 (m)
V : 배의 항행속도 (m/s)
단, 수심이 충분히 깊은 경우에는 참고 식 (4.3-53)로 계산한다.

$$L_0 = \frac{2\pi}{g}V^2 = 0.169\,V_K^2$$ 참고 식 (4.3-53)

여기서, L_o : 수심이 충분히 깊은 곳에서의 횡파파장 (m)
V_k : 배의 항행속도 (kt) $V_k = 1.946\,V$

② 횡파주기는 수심 h의 파장 L_t를 갖는 진행파 주기이며, 참고 식 (4.3-54)과 참고 식 (4.3-55)로 구한다.

$$T_t = \sqrt{\frac{2\pi}{g}L_t\coth\left(\frac{2\pi h}{L_t}\right)} = T_0\coth\left(\frac{2\pi h}{L_t}\right)$$ 참고 식 (4.3-54)

$$T_0 = \frac{2\pi}{g}V = 0.330\,V_K$$ 참고 식 (4.3-55)

여기서, T_t : 수심 h의 횡파주기 (s)
T_o : 수심이 충분히 깊은 곳에서의 횡파주기 (s)

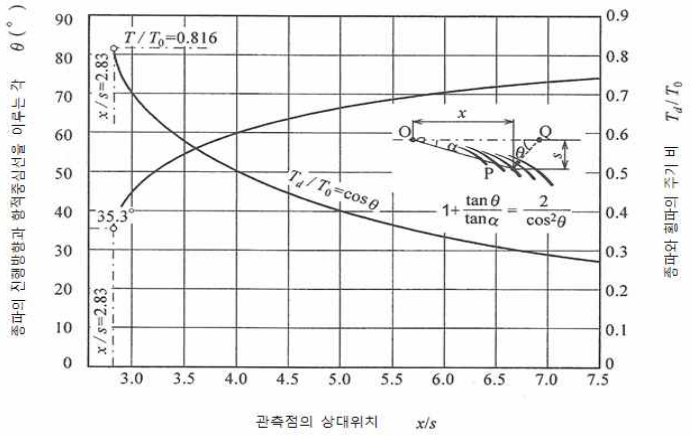
③ 종파의 파장 및 주기는 종파의 진행방향에 대한 배의 속도성분이 종파파장과 같다는 조건하에 참고 식 (4.3-56)과 참고 식 (4.3-57)로 구할 수 있다.

$$L_d = L_t\cos^2\theta$$ 참고 식 (4.3-56)

$$T_d = T_t\cos\theta$$ 참고 식 (4.3-57)

여기서, L_d : 종파 진행방향으로 측정한 파장 (m)
T_d : 종파주기 (s)
θ : 종파의 진행방향과 항적중심선이 이루는 각도 (°)

켈빈(Kelvin)의 조파이론에 의하면, 수심이 충분히 깊은 곳에서의 종파 진행각도 θ는 대상지점과 배와의 상대위치 함수로서 참고 그림 (4.3-40)과 같이 구할 수 있다. 단, 실제 선박에서는 θ의 최솟값이 40° 정도인 경우가 많고, 또한 1개 종파상의 파고최대점을 주목해보면 $\theta \fallingdotseq 50 \sim 55°$가 된다. 또한 각도 θ는 그림중의 삽도로도 알 수 있듯이 대상지점에 도달한 종파파원의 위치 Q를 나타내는 각도이다. 그리고 α는 커스프라인과 항적중심선이 이루는 각도이다.



참고 그림 (4.3-40) 수심이 충분히 깊은 곳에서의 종파파고 및 주기

(4) 항주파에 대한 천수효과

일반적인 물과 파도와 마찬가지로 항주파도 그 파장에 비해 수심이 얕아지면, 수심의 영향으로 그 성질이 변화한다. 항주파에 대한 천수효과를 무시할 수 있는 것은 참고 식 (4.3-58)에 나타내는 조건에 한한다.

$$V \leq 0.7\sqrt{gh}$$ 참고 식 (4.3-58)

참고 식 (4.3-58)에 의해 항주파가 심해파로 간주되는 한계수심을 시산하면 참고 표 (4.3-13)과 같다. 이 표에서 알 수 있듯이 일반선박이 만드는 파도는 거의 대부분이 심해파이다. 천수파가 되는 것은 고속페리 등이 비교적 얕은 수역을 항행하는 경우, 모터보트가 천수역을 항행하는 경우, 혹은 항주파가 천수역에 전파하는 경우이다. 또한 천수역에서 만들어지는 항주파의 파장 및 주기는 같은 항행속도에 대한 심해역의 항주파보다 길어진다.

참고 표 (4.3-13) 항주파가 심해파로 간주되는 조건

배의 높이 V_k(kt)	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	25.0	30.0
수심 h(m)≥	1.4	3.1	5.5	8.6	12.4	16.9	22.0	34.4	49.6
횡파주기 T_o(s)	1.7	2.5	3.3	4.1	5.0	5.8	6.6	8.3	9.9

(5) 항주파의 파고

일본 해난방지협회 항주파연구위원회는 항주파의 파고추산식으로 참고 식 (4.3-59)을 제안하고 있다.

$$H_0 = \left(\frac{L_s}{100}\right)^{1/3} \sqrt{\frac{E_{HPW}}{1620 L_s V_K}}$$ 참고 식 (4.3-59)

여기서, H_o : 항주파의 특성파고 (m), 또는 배가 만적항해속력으로 달리고 있을 때 항적중심선에서 100m 거리에서 관측되는 최대파고

L_s : 배의 길이 (m)

V_K : 만적항해속력 (kt)

E_{HPW} : 조파마력 (W)

조파마력 E_{HPW} 는 다음과 같이 산정된다.

$$E_{HPW} = E_{HP} - E_{HPF}$$ 참고 식 (4.3-60)

$$E_{HP} = 0.6 S_{HPm}$$ 참고 식 (4.3-61)

$$E_{HPF} = \frac{1}{2} \rho S V_0{}^3 C_F$$ 참고 식 (4.3-62)

$$S = 2.5 \sqrt{\nabla L_s}$$ 참고 식 (4.3-63)

$$C_F = 0.075 / \left(\log \frac{V_0 L_s}{\nu} - 2\right)^2$$ 참고 식 (4.3-64)

여기서, S_{HPm} : 연속최대 축마력 (W)

ρ_o : 해수밀도 (kg/m^3), ρ_o = 1,030 (kg/m^3)

V_o : 만재항행속도 (m/s), $V_o = 0.514 V_K$

C_F : 마찰저항계수

ν : 물의 동점성계수 (m^2/s), $\nu \fallingdotseq 1.2 \times 10^{-6}$ (m^2/s)

∇ : 배의 만재배수량 (m^3)

참고 식 (4.3-64)는 조파저항에 의해 소비되는 마력이 항주파의 전파에너지와 같다고 간주하여 계수값을 선형시험 데이터 등에서 평균적으로 정한 것이다. 특성파고는 배의 특유한 값이지만, 중·대형선에선 $H_0 \fallingdotseq 1.0 \sim 2.0$m이다. 또한 예선(曳船)이 전속력으로 항행하고 있을 때도 비교적 큰 파도를 발생시킨다. 관측점이 항적중심선에서 S만큼 떨어져있는 경우에는 $S^{-1/3}$으로 쇠퇴한다고 간주하고, 속력을 떨어뜨려 항행하고 있을 때의 파고는 속력의 3승에 비례하는 것으로 간주된다. 따라서 항주파의 최대파고 $H_{\max}$는 아래와 같이 산정된다.

$$H_{\max} = H_0 \left(\frac{100}{S}\right)^{1/3} \left(\frac{V_k}{V_K}\right)^3$$ 참고 식 (4.3-65)

여기서, $H_{\max}$: 임의관측점의 항주파 최대파고 (m)

S : 관측점에서 항적중심선까지의 거리 (m)
V_k : 배의 실제 항행속도 (kt)

참고 식 (4.3-65)는 S가 상당히 작은 곳에서는 적용할 수 없지만, 배의 길이 L_S 또는 100m 중 작은 값까지는 거의 적용 가능하다. 항주파의 파고 상한 값은 최대파고의 종파 파형경사가 $H_{\max}/L_t$=0.14의 쇄파한계에 도달한 경우이다. 한 개 종파상의 파고 최대점에서 파향과 항적중심선이 이루는 각을 θ=50°로 간주하면, 임의지점의 파고 상한 값은 참고 식 (4.3-66)으로 구할 수 있다. 단, 심해파의 조건을 만족시키는 것으로 한다.

$$H_{\lim} = 0.010\, V_k^{\,2} \qquad \text{참고 식 (4.3-66)}$$

여기서, $H_{\lim}$: 쇄파조건으로 규정된 항주파의 파고 상한값 (m)

(6) 항주파의 전파

① 항주파 중 횡파는 배의 항행방향으로 진행하고, 배가 전침(항로변경) 혹은 정지했을 때에도 전파는 계속된다. 이 경우에는 참고 식 (4.3-54)로 주어진 주기를 갖는 규칙파로서의 성질이 강하고, 굴절과 그 밖의 변형을 계속하면서 군속도로 진행하며, 이 예는 타케우치·나나자와(1961)에 의해 소개되고 있다. 단, 전파와 함께 파봉장이 넓어져 파고는 수심이 일정한 경우에도 진행거리의 1/2승에 역비례하여 감쇠한다.

② 종파의 전파방향은 파봉상의 각 점마다 다르다. 켈빈(Kelvin)의 조파이론에 의하면, 종파의 외연에서 항적중심선이 이루는 각이 θ=35.3°이고, 파봉을 따라 안쪽으로 이동함에 따라 θ의 값이 90°에 가까워진다. 그리고 특정 지점에서 차례차례 내습하는 종파는 제1파가 θ=35.3° 방향이고, 제2파 이후는 θ의 값이 점차 증대한다. 이러한 종파 전파방향의 공간적 변화는 참고 그림 (4.3-40)으로 추정할 수 있다.

③ 종파의 전파속도는 파봉상의 각 지점주기 T_d [참고 식 (4.3-57)]에 대응하는 군속도이다. 참고 그림 (4.3-40)에서 성분파가 파원인 Q지점에서 P지점까지 군속도로 전파하는 시간은 배가 Q점에서 O점까지 속력 V로 진행하는 시간과 같다.
그리고 각각의 파형은 파속(위상속도)으로 진행하기 때문에 종파의 최외연(最外緣)에서는 파도가 커스프라인 밖으로 나가면서 점차 소멸하는 것처럼 보인다.

(7) 고립파의 발생

천해역에서 선박이 항행하는 경우, 항행속도 V_k (m/s)가 $\sqrt{gh}$에 가까워지면, 선박의 진행방법 전방에 고립파가 발생하는 경우가 있어 하구부근에서는 소형선박에 영향을 미칠 가능성이 있다.

4.3.9 구조물에 작용하는 파력(波力)

4.3.9.1 설계일반

항만구조물에 작용하는 파력은 구조물의 형상, 해저지형, 수심 및 파랑 등의 특성을 고려하여 적합한 파력 산정식 또는 수리모형실험으로 산정하여야 하며, 파력 산정시 파랑의 불규칙성을 고려하여야 한다.

[해 설]

(1) 파랑의 특성, 구조물의 형상과 전면수심과의 상호관계에 의해 파력이 달라진다. 즉, 전면수심과 파고와의 관계에 따라서 쇄파 또는 중복파가 작용하게 된다.

(2) 수리모형실험에서 파력 산정시 대상 구조물의 파괴성을 충분히 고려하여 적절한 측정법을 사용하고, 파랑의 불규칙성을 고려하는 것이 바람직하다. 특히, 규칙파 실험의 경우는 최대파에 대한 검토도 포함되어야 한다.

4.3.9.2 직립벽에 작용하는 파력

4.3.9.2.1 직립벽에 작용하는 파력의 설계

직립벽에 작용하는 파력은 파랑 조건 외에 조위, 수심, 해저지형, 구조물의 단면형상, 평면 형상 등에 의해 변하므로 이러한 요건을 고려하여 산정하고, 수리모형실험으로 확인하여야 한다. 특히, 급경사의 해저면상이나 높은 사석부상의 직립벽에는 매우 큰 충격쇄파력이 작용할 수 있기 때문에 충격쇄파력의 발생조건에 충분히 유의하여 파력을 산정하여야 한다.

[해 설]

(1) 직립벽에 작용하는 파력의 주된 요인은 파랑의 제원과 조위, 수심, 해저 경사, 사석부 마루의 수심 및 폭, 사석부의 경사, 직립벽의 마루높이 및 전면수심 등이다. 이들 외에, 평면배치 모양에 굴곡부가 있을 때에는 무한직선제(無限直線堤)일 경우보다 큰 파력을 받을 경우가 있으므로 배치 형태의 영향을 고려하여야 한다. 또한 직립벽 전면이 소파블록으로 피복되었을 때에는 소파블록의 특성, 마루높이 및 폭이 요인이 된다.

(2) 파력은 작용하는 파랑의 형태에 의해 중복파력, 쇄파력, 쇄파후의 파랑에 의한 파력으로 분류되지만 이는 연속적인 변화과정을 보인다. 중복파력은 수심에 비해 작은 파고의 파랑에 의해 생기고 파압의 시간적 변화는 완만하다. 파고의 증대와 함께 커다란 파력이 작용하며, 일반적으로 직립벽에서 약간 외해측에서 쇄파된 파가 충돌할 때 가장 커다란 파력이 생긴다. 따라서 매우 천해역을 제외하면 직립벽의 상당히 외해에서

쇄파되는 커다란 파고의 쇄파후의 파에 의한 파력보다도 직립벽 직전에서 쇄파하는 쇄파력이 더 크다. 특히, 급경사 해저면 상의 직립벽이나 완경사에 있어서도 높은 마운드 상에 있는 직립벽에 쇄파가 작용할 때에는 매우 큰 충격쇄파력이 발생하므로 주의를 요한다.

(3) 직립제에는 전면수심과 파고의 관계에 따라서 중복파 또는 쇄파가 작용한다. 일반적인 기준으로는 전면수심 h와 파고 $H_{1/3}$에 따라 다음과 같이 파랑을 구별한다.

① 중복파 : $\frac{h}{H_{1/3}} > 2$

② 쇄　파 : $\frac{h}{H_{1/3}} < 2$

4.3.9.2.2 직립벽에 작용하는 중복파 또는 쇄파의 파력

(1) 벽면에 파봉이 있을 때
① 직립벽에 작용하는 최대 파력 및 양압력은 Goda식(1973)을 이용하여 산정한다.
② Goda식은 급경사의 해저면상이나 높은 사석부상의 직립벽에 작용하는 충격쇄파력을 과소평가할 수 있으므로 충격쇄파력의 발생이 예상되는 경우에는 수리모형실험으로 파력을 산정하여 구조물 설계에 적용하여야 한다.
③ 파력계산은 정수시를 기준으로 한다.

(2) 벽면에 파곡이 있을 때
벽면에 파곡이 있을 때 부(負)의 파력은 수리모형실험 또는 기존 산정식으로 산정하여야 한다.

[해 설]

(1) 벽면에 파봉이 있을 때

직립벽에 작용하는 최대파력 및 양압력은 Goda(合田)식을 표준으로 한다. Goda식은 파압 실험 결과와 현지 방파제에 적용한 성과 등을 감안한 다음, 파향에 대해 수정한 것으로 중복파에서 쇄파까지의 파력을 연속적으로 계산할 수 있다[Goda(合田), 1973].

① 직립벽의 전면파압

정수면의 높이에서 최댓값 p_1, 정수면상 η^*의 높이에서 영(零), 저면에서 p_2가 되는 직선 분포로서 직립벽 저면으로부터 마루까지의 파압을 고려한다[해설 그림 (4.3-1) 참조].

$$\eta^* = 0.75(1+\cos\beta)\lambda_1 H_D$$ 해설 식 (4.3-2)

$$p_1 = \frac{1}{2}(1+\cos\beta)(\alpha_1\lambda_1 + \alpha_2\lambda_2\cos^2\beta)\rho_o\, g H_D$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h/L)}$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2}\left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)}\right]^2$$

$$\alpha_2 = \min\left[\frac{h_b - d}{3h_b}\left(\frac{H_D}{d}\right)^2, \frac{2d}{H_D}\right]$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h}\left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)}\right]$$

여기서, η^* : 정수면상에서 파압 강도가 영(零)이 되는 점까지의 높이(m)

p_1 : 정수면에서의 파압 강도(kN/m^2)

p_2 : 해저면에서의 파압 강도(kN/m^2)

p_3 : 직립벽 저면에서의 파압 강도(kN/m^2)

ρo : 해수의 밀도(t/m^3)

g : 중력가속도(m/s^2)

λ_1, λ_2 : 파압의 보정계수(표준 1.0)

h : 직립벽 전면의 수심(m)

h_b : 직립벽 전면에서 외해(심해측)로 유의파고의 5배만큼 떨어진 지점의 수심(m)

h' : 직립벽 저면의 수심(m)

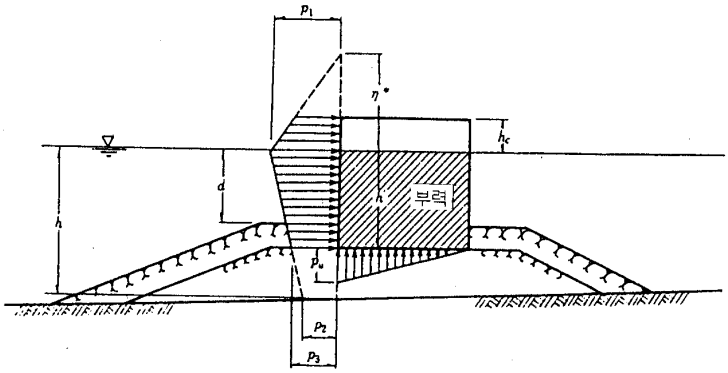
d : 사석부의 근고공 또는 피복공의 마루 중에서 작은 수심(m)

H_D : 설계계산에 쓰이는 파고(m)

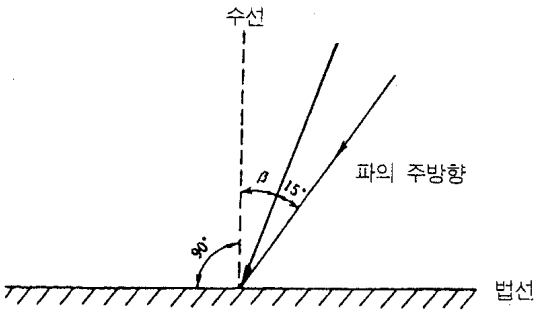
L : 수심 h에서의 설계계산에 쓰이는 파장(m)

min (a, b) : a 또는 b중 작은 값

β : 파의 주방향에서 직립벽에 직각이 되는 방향으로 15°만큼 회전시킨 방향이 직립벽에 직각인 선과 이루는 각도(°)[해설 그림 (4.3-2) 참조]. 파의 주방향과 직립벽에 직각인 선이 이루는 각도가 15° 미만인 경우는 $\beta = 0^\circ$ 를 사용함



해설 그림 (4.3-1) 직립제의 설계파압 분포



해설 그림 (4.3-2) 제체의 수직선과 입사각의 보정각(β)

② 양압력

직립벽 저면에 작용하는 양압력은 외해측 끝부분에 해설 식 (4.3-3)의 p_u(kN/m2), 내해측 끝부분에서 영(零)인 삼각형 분포로 한다[해설 그림 (4.3-1) 참조].

$$p_u = \frac{1}{2}(1+\cos\beta)\alpha_1\alpha_3\lambda_3\rho_o g H_D \qquad \text{해설 식 (4.3-3)}$$

여기서, λ_3은 양압력의 보정계수이며 일반적으로 1.0이다.
이 경우 부력은 정수중의 배수체적에 대해서만 고려한다.

③ 파력계산에 쓰이는 파고 및 파장

해설 식 (4.3-2)와 해설 식 (4.3-3)에 있어 설계계산에 쓰이는 파고 H_D 및 파장 L은 최대파의 파고 및 파장으로 한다. 최대파의 파장은 유의파 주기에 대응하는 파장으로 하고, 파고는 다음의 최대파고 $H_{\max}$를 사용한다.

가. 최대파고가 쇄파의 영향을 받지 않는 경우

$$H_D = H_{\max} = 1.8\, H_{1/3}$$

여기서, $H_{1/3}$은 직립벽 전면수심에서 진행파의 유의파고(m)

나. 최대파고가 쇄파의 영향을 받는 경우

H_D = 불규칙파의 쇄파 변형을 고려한 $H_{\max}$ [참고 그림 (4.3-24) 쇄파 참조]

단, 이때의 최대파고는 직립벽 전면에서 $5H_{1/3}$만큼 외해측에 떨어진 지점에서의 수심 h_b에 대한 값을 쓴다.

[참 고]

(1) 벽면에 파봉이 있을 때

① 최대파

Goda(合田)식은 개개의 파에 대한 파력을 나타내는 것이라고 말할 수 있으므로 일반 설계에서 대상으로 하는 파군 중에서 가장 큰 파력이 작용하는 최대파를 대상으로 한다. 불규칙파의 최대파 $H_{\max}$는 출현확률이 해역에 따라 일정치 않으므로 일률적으로 정할 수 없지만 현지 방파제에 대한 적용 결과 등으로 보아 파고는 쇄파변형이 일어나지 않는 곳에서 유의파고의 1.8배, 파장은 유의파 주기에 해당하는 값을 사용한다. 단, 현지의 장기파랑 관측 자료가 있을 때에는 이 기준의 4. 설계, 4.3.1.2 불규칙파의 통계적인 특성을 충분히 검토하여 적용할 수 있다. 최대파의 쇄파에 의한 영향 여부와 파고는 참고 그림 (4.3-24)를 참조하여 결정한다.

② 보정계수(λ_1, λ_2, λ_3)

해설 식 (4.3-2)와 해설 식 (4.3-3)은 일반화된 Goda(合田)식으로 조건이 다른 벽에도 적용할 수 있도록 보정계수를 포함한다. 보정계수는 일반적인 직립벽의 경우 1.0이다. 그러나 소파블록으로 피복된 케이슨이나 직립소파 케이슨 등 여러 종류의 벽에 작용하는 파압의 경우는 더 적은 값으로서 이에 적절한 보정계수를 사용해야 한다.

③ Goda(合田)식의 특징과 적용한계

이 식의 가장 큰 특징은 중복파에서 쇄파까지의 파력을 주기의 영향을 포함해서 연속적으로 계산할 수 있는 점이다. 파라미터 α_1은 주기(정확하게는 h/L)의 영향을 나타내며 천해파에서 극한 값으로 1.1, 그리고 심해파에서 0.6이다. 그 밖에 주기의 영향은 최대파고 결정에도 영향을 주어 심해파고가 일정하더라도 주기가 길면 큰 최대파를 사용하게 된다. 따라서 설계조건 설정시 주기에 대해서도 신중을 기해야 한다.

또 한 가지의 특징은 사석부 높이와 해저 경사에 의한 파력의 변화를 파라메터 α_2로 나타내고 있는 점이다. 해설 식 (4.3-2)에서 알 수 있듯이 H_D를 일정하게 하고 사석부의 높이를 해저면에서 서서히 높여 가면 α_2값이 0에서 서서히 증가하여 극대값인 1.1에 달하고 그 이상이면 감소하여 d=0에서 다시 α_2는 0이 된다. 따라서 α_1의 극한값 1.1과 합치면 정수면에서 파압강도는 $2.2\rho_o gH_D$가 된다.

한편, 해저 경사의 영향은 α_2의 식에서 h_D가 직립벽에서 설계유의파고의 5배 거리만큼 외해 쪽으로 떨어진 지점의 수심이므로 급경사일수록 마운드가 높은 경우와 같은 효과로 나타난다. 또, 쇄파의 영향을 받는 영역에서는 $5H_{1/3}$만큼 떨어진 지점의

최대파고를 설계파고로 한 것은 직립벽에 최대 파력이 작용하는 파가 진행파로서 외해에서 쇄파된 것을 반영했다. 이외에도 쇄파의 영향을 받는 곳에서는 해저 경사가 급할수록 큰 파고가 된다. 이와 같이, 해저 경사가 파력에 미치는 영향은 상당히 크므로 설계조건 설정시 주의를 요한다.

이상과 같이, 본 계산식은 사석부의 높이나 해저 경사의 영향을 고려한 것이지만 높은 사석부나 급경사 해저면상의 직립벽에는 강한 쇄파력이 작용할 수 있으며, 이러한 조건에 대해 이 식을 사용하면 파력이 과소평가될 수 있으므로 주의를 요한다. 특히, 사석부가 높은 경우에는 해설 식 (4.3-2)의 α_2만이 아니고 이 기준의 4. 설계, 4.3.9.2 직립벽에 작용하는 파력, 4.3.9.2.3 충격쇄파력의 계수 α_1을 고려하여 α_1이 α_2보다 큰 경우에는 α_1의 값을 취한다.

문제점은 정선 부근과 같이 수심이 극히 낮은 수역에의 적용성 여부이다. 본 식은 어디까지나 직립벽의 외해측에서 쇄파하는 파가 최대의 파력을 작용하는 범위이다. 그 한계를 명확히 구분하기는 곤란하나 정선 부근에 있는 직립벽에 작용하는 파력에 대해서는 다른 계산식과 합해서 적절히 사용하는 것이 좋다.

④ 파력 계산식의 파향 보정

파향이 파력에 미치는 영향에 대해서는 몇 개의 실험 결과가 있으나 명확하지 않은 점이 많다. 종래에는 중복파 작용에 대해서는 파향 보정을 고려하지 않고 쇄파작용에 대해서만 $\cos^2\beta$를 곱함으로써 파향의 영향을 고려하여 왔다. 그러나 쇄파에 대해서는 파향의 증가와 함께 파력이 감소하여 β = 90°인 극한에서는 0이 되는 것에 대해 중복파의 경우 완전 반사된 파와의 중첩이 직각의 경우와 동일한 모양으로 유지되어 있다고 가정하는 것은 불합리하다. 예를 들면, 실제 방파제는 그 길이가 유한하기 때문에 비스듬히 입사하는 각도가 큰 경우에는 파고가 2배가 되는 곳은 제체 끝단에서 상당히 떨어져 있고, 극단적으로 β = 90°인 경우에는 무한원점이 되므로 이 경우 직립벽에는 진행파의 파압이 작용한다고 보는 것이 타당하다. 또, 방파제의 길이가 무한히 길다고 보는 경우에도 제2차 근사의 유한진폭파 이론을 사용하면 비스듬히 입사하는 파에 의한 파압은 직각으로 입사하는 경우보다는 약간 감소하고 그 정도는 파형경사에 비례하는 것으로 알려져 있다[Goda(合田), 1967]. 이와 같은 점과 현지 방파제에 대해 적용한 결과를 감안해서 파향에 대한 보정은 해설 식 (4.3-2)의 p_1에 나타난 것과 같이 사석부의 효과를 나타내는 α_2에 대해서 $\cos^2\beta$를 곱하고, 또 전체에 $0.5(1+\cos\beta)$를 곱했다.

⑤ 주기가 다른 2종류의 파군이 중첩된 경우의 파력과 유의파 주기

주기가 다른 2종류의 파군이 중첩된 예로서는 만외에서의 침입파와 만내에서 발생된 파와의 중첩, 그리고 항구에서의 회절파와 월파에 의한 전달파의 중첩 등을 들 수 있다. 이 경우 스펙트럼은 쌍봉형(雙峰形, 스펙트럼 첨두가 2개인 형태)이며, 현지관측 예가 있다[다니모토(谷本) 등, 1986], 이 때 파력 계산에는 쌍봉형 스펙트럼을 이용하고, Goda(合田)식이 적용될 수 있음을 확인하였으며 파력 계산식에 쓸 수 있는 유의파 주기 계산법을 제안하였다. 주기가 중첩 전의 각각의 주파수 스펙트럼

이 Bretschneider-Mitsuyasu 형태일 경우 적절한 방법에 의해 중첩한 후 유의파 주기를 구한다.

⑥ 직립벽의 마루가 낮은 경우의 파력

Goda(合田)식을 방파제 등에 적용하는 경우 직립벽의 마루높이가 낮으면 파압의 작용범위의 감소에 의한 파력 저감보다도 중량 감소에 의한 저항력 감소가 크기 때문에 일반적으로는 벽체의 폭을 넓게 할 필요가 있다. 그러나 활동실험(滑動實驗) 결과 자료에 의하면 마루높이를 낮추는 정도에 따라서 안정성이 증가하는 경향이 있다. 이 때 파력 산정법으로서 저감계수 λ_h를 전면파압과 양압력에 곱해줌으로써 파력을 저감하는 방법이 제안되었다[나카다(中田) 등, 1984].

⑦ 직립벽의 마루가 높은 경우의 파력

직립벽의 마루가 일반적인 방파제의 경우보다 상당히 높은 경우에는 월파하지 않기 때문에 Goda(合田)식에 의한 파력보다 큰 파력이 작용하는 경우가 있다[미즈노(水野) 등, 1993].

⑧ 직립벽이 경사진 경우의 파력

직립벽이 조금 경사진 사다리꼴 모양의 케이슨 등일 경우 수평파력은 연직벽의 경우와 크게 다르지 않으나 경사면에 작용하는 파력의 연직성분의 고려나 양압력의 저감 등을 고려할 필요가 있다. 다니모토(谷本)와 기무라(木村)(1985)는 직립벽이 약간 경사진 경우의 파력에 대한 실험을 실시하고 파력 산정법을 제안한 바 있다.

⑨ 직립부 전면 사석부의 마루수평부분이 긴 경우

혼성제 직립부에 작용하는 파력은 사석부 높이뿐만 아니라 전면의 어깨 폭, 기준선의 경사에 의해서도 변한다. Goda(合田)식은 이미 언급한 바와 같이, 이 중에서 사석부 높이의 효과를 반영한 것이다. 따라서 이들이 통상의 것과 뚜렷하게 다른 경우에는 되도록 수리실험에 의해서 검토한다. 그러나 전면의 어깨폭이 충분히 긴 경우에는 그것을 해저지형의 일부로 생각할 수 있으므로 사석부 전면의 어깨폭이 이곳에서의 파장의 1/2보다 긴 경우에는 사석부 상단에서의 파고와 파장을 사용한다[나가이(永井) 등, 1965].

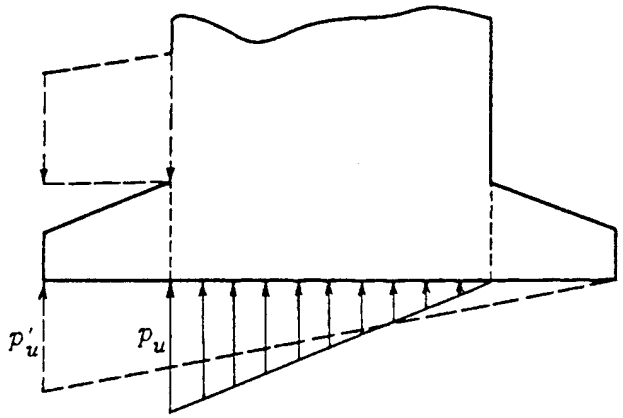
⑩ 일련의 원통들로 이루어진 방파제의 직립벽에 작용하는 파력

강관 방파제와 같이 원통열(圓筒列) 방파제의 직립벽에 작용하는 파력에 대해서는 평면 직립벽에 작용하는 파력과 큰 차이가 없다. 따라서 Goda(合田)식을 준용한다.

⑪ 확대기초(Footing)가 있을 때의 양압력

케이슨 등과 같은 확대기초가 있을 때는 파가 작용하는 쪽의 확대기초 상면에서 하향의 파력 또는 저면의 앞부분에서 p'_u, 뒷부분에서는 영(零)의 양압력이 작용한다.

그러나 보통의 경우 그 합력은 확대기초가 없을 때의 양압력과 큰 차이가 없다. 이 때문에 참고 그림 (4.3-41)에 나타낸 것과 같이 확대기초를 무시하고 직립벽 전면의 연장점에서 해설 식 (4.3-3)에 의한 p_u, 후면의 연장점에서 영(零)의 삼각형 분포로서 양압력을 산정해도 좋다. 단, 확대기초가 상당히 긴 경우에는 p'_u의 변화 등을 고려하여 적절하게 양압력을 산정해야 한다.



참고 그림 (4.3-41) 케이슨 확대기초가 있는 경우의 양압력

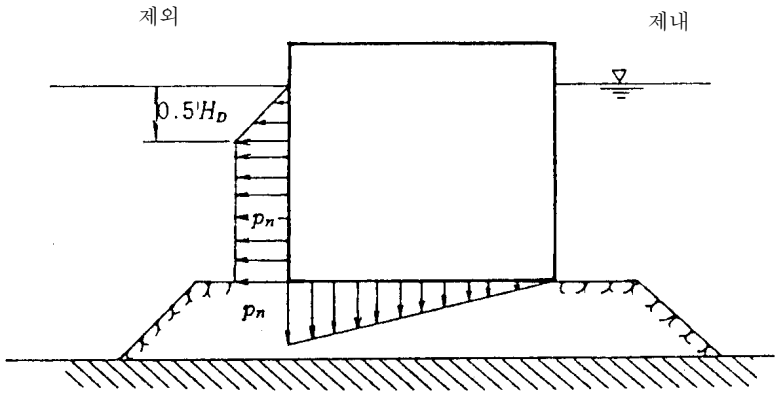
⑫ 기타의 산정식

본 Goda(合田) 파력 산정식은 중복파에서 쇄파까지의 파력을 그 적용한계에 의해 구별하지 않는 장점이 있으나 수심에 대한 파고비가 작고 명확하게 중복파의 파력이 작용한다고 생각되는 경우에는 정도 높은 중복파 이론식[히로이(廣井), 1919 ; 생플루(Sainflou), 1928]을 적용하여도 좋다.

단, 그 때 현지 파랑의 불규칙성을 충분히 고려할 필요가 있으며 최대파에 대한 검토도 필요하다.

(2) 벽면에 파곡이 있을 때

벽면에 파곡이 있을 때의 벽 전면에서 부(負)의 파압은 참고 그림 (4.3-42)와 같이 정수면에서 영(零), 정수면하 $0.5H_D$에서 p_n, [참고 식 (4.3-67) 참조] 그 이하 저면까지 일정한 직선 분포의 파압이 외해 측을 향해서 작용하는 것으로 한다.



참고 그림 (4.3-42) 부(負)의 설계파압 분포

$$p_n = 0.5\rho_o g H_D$$ 참고 식 (4.3-67)

여기서, p_n : 균일파압 부분에 있어서 파압강도(kN/m^2)
H_D : 설계계산에 쓰이는 (최대)파고(m)

수심이 커서 명백히 중복파가 작용하는 경우에는 고차 근사의 유한진폭중복파 이론에 의한 결과를 사용하는 것이 좋다. 특히, 대수심 방파제에서는 파곡일 때의 부압력(負壓力)의 크기가 파봉이 있을 때의 정압력(正壓力)의 크기보다 크므로 벽체가 바다 쪽으로 미끄러지는 경우도 있다.

4.3.9.2.3 충격쇄파력

(1) 충격쇄파력에 대한 일반적인 산정법을 제시하기가 어려우므로 충격쇄파력의 발생이 예상될 경우에는 수리모형실험을 수행하여 검토하여야 한다.
(2) 단면형상, 구조형식 등은 가능한 한 충격쇄파력이 발생하지 않도록 설계하고 급경사 해저면상 등과 같이 충격쇄파력의 발생을 피할 수 없는 경우에는 소파공을 설치하여 파력을 완화시킨다.

[해 설]

벽면에 쇄파의 꺽어세운 파면(波面)이 충돌할 때 충격쇄파력이 발생한다.
충격쇄파력에 대한 수리모형실험에서 최대파압은 조건에 따라 파고에 해당되는 정수압($1.0\rho_o g H_D$)의 수 배 내지 수십 배로 나타난다. 그러나 그 작용시간은 짧고 국소적이며 다소의 조건 변화에 따라서도 변동이 매우 크다. 또한, 충격 특성 때문에 구조물의 역학적 특성에 따라서 안정성이나 부재 응력에 미치는 효과도 다르다. 충격쇄파력에 대한 일반적인 산정법을 제시하기가 어려우므로 개개의 역학적 조건에 대한 수리모형실험에 의해서 파력을 검토한다(예를 들면, 활동실험, 부재 강도의 검토 등).

[참 고]

(1) 충격쇄파력의 발생조건
충격쇄파력의 발생조건에는 여러 가지 인자가 관여되어 일반적으로 규정하기는 어려우나 각종 실험 결과에서 구조물 기준선의 수직선과 파향과의 교차각 β[해설 그림 (4.3-2) 참조]가 20° 이내에 있고 또 다음과 같은 경우에 충격쇄파력이 생기기 쉽다.

① 급경사 해저의 경우
해저 경사가 1/30보다 급하고 직립벽보다 약간 심해측에서 쇄파되는 파를 포함하며, 또한 환산심해파 파형경사가 0.03 정도 이하일 때 충격쇄파력이 생기기 쉽다.

② 사석부가 높은 경우

해저 경사가 완만할 때에도 파의 조건 외에 사석부의 마루높이, 전면 어깨폭, 사면 경사 등과 같은 사석부의 형상에 의해 충격쇄파력이 발생한다. 일반적으로 사석부가 비교적 높고 또 전면 어깨폭이 적당히 넓거나 사면 경사가 완만하여 사석부 경사면 또는 경사의 어깨 부근에서 수벽(水壁) 모양의 쇄파가 충돌할 때 충격쇄파력이 생긴다. 해저 경사가 1/50보다 완만하고 설치 수심에 대한 사석부 마루(피복공 포함) 상의 수심비(水深比)가 0.6보다 큰 경우에는 매우 큰 충격쇄파력은 발생하지 않는다고 생각해도 좋다.

(2) 대책공법

직립벽에 매우 큰 충격쇄파력이 작용하는 경우, 전면에 소파블록으로 충분히 피복하면 파력을 아주 완화시킬 수 있다. 특히 사석부가 높은 경우에 소파블록으로 충분히 피복하면 충격 쇄파의 발생을 방지할 수 있다. 또 직립부는 적절한 소파 케이슨 또는 사면 케이슨 등의 이형(異型) 케이슨으로 하는 것에 의해서도 충격쇄파력의 작용을 피할 수 있는 경우가 있다. 또한 방파제의 기준선을 파향과 직각으로 하지 않는 것도 하나의 대책이다[다니모토(谷本) 등, 1981].

(3) 모형실험에 의한 파력 검토

충격쇄파력이 작용하는 경우의 모형실험에 의한 파력을 검토하기 위해서는 충격력에 대한 구조물의 응답 특성을 분석하는 것이 필요하다. 직립벽 전체의 안정성 검토, 예를 들어 제체의 활동실험, 그리고 파라피트 등의 부재 강도에 대한 검토는 응력측정실험에 의한다.

(4) 급경사 해저면상의 직립벽에 작용하는 충격쇄파력

① 파압이 최대가 되는 수심과 평균 파압강도

급경사 해저면 상의 직립벽에 작용하는 충격쇄파력에 대해서는 많은 연구가 수행되었다[Mitsuyasu(光易), 1962;, 혼마(本間) 등, 1962]. 이들 중 Mitsuyasu(光易)(1962)는 경사가 1/50, 1/25, 1/15인 일정한 경사면 상의 여러 가지 수심에서 직립벽에 작용하는 규칙파의 쇄파력 실험을 광범위하게 수행하였다. 여기서 설치수심(設置水深)에 따른 전파력(全波力)의 변화를 조사하여 충격쇄파력이 가장 현저한 수심 h_M의 산정식을 얻었으며, 이는 심해파장에 대한 비로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{h_M}{H_o} = C_M\left(\frac{H_o}{L_o}\right)^{-1/4}$$ 참고 식 (4.3-68)

여기서, C_M : $0.59-3.2\tan\theta$

H_o : 심해파고(m)

L_o : 심해파장(m)

$\tan\theta$: 일정한 경사면의 경사

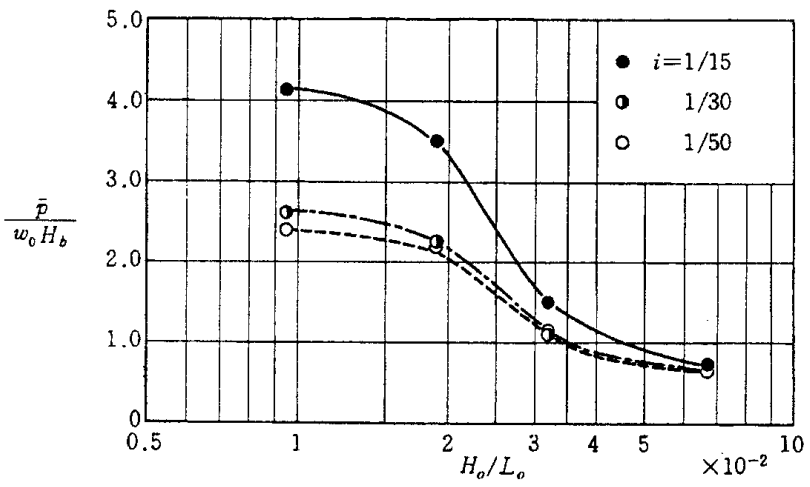
참고 그림 (4.3-43)은 Mitsuyasu(光易, 1962)의 실험 결과를 바탕으로 이러한 파력이 가장 엄격하게 되는 때의 전파력(全波力)을, 파력의 작용 범위를 해저에서 정수면상 쇄파한계파고 H_b의 0.75배까지로 하고 평균 파압강도 p를 구하여 $\rho_o g H_b$ 로 나누어 무차원화하고 심해파형경사 (H_o/L_o)에 대해 사면 경사에 따라 나타낸 것이다.

여기서 개략적인 경향을 보면, 파형 경사가 작을수록 강한 충격쇄파력이 발생하지만, 사면경사가 완만해지면 최대 충격쇄파력의 강도가 감소한다.

② 충격쇄파력의 발생조건에 대하여 (1) ①의 급경사 해저인 경우 충격쇄파력의 발생 조건은 참고 그림 (4.3-43)에 기초하여 대략적으로 설정한다. 현지 불규칙파에 대한 경우 환산심해파형경사는 직립벽에서 외해쪽으로 $5H_{1/3}$만큼의 지점에서의 불규칙파의 쇄파변형을 고려해서 구한 최대파고 $H_{\max}$에 대한 환산심해파고와 유의파 주기에 대한 심해파장의 비로 한다. 단, 이때의 H_b는 $H_{\max}$로 한다. 또한, 설계파에 대해서 이와 같은 최대 충격쇄파력이 작용하는 수심을 피해 설치수심을 설정할 수 있다. 그러나 보다 해안쪽에 직립벽을 놓고 쇄파후의 파가 작용하도록 하는 경우에는 설계파보다 작은 파고의 파에 대한 검토도 필요하다.

③ 급경사 사면과 연결된 수평마루에 놓인 직립벽에 작용하는 충격쇄파력(여기에 대해서는 다카하시(高橋) 등(1983)의 연구가 있다)

경사가 1/10 또는 3/100의 사면에 이어지는 수평마루를 설치하고 여러 위치에서 직립벽에 작용하는 파압을 규칙파 실험을 통해 측정하였으며, 어느 파랑조건에 대해서 파력이 최대가 되는 직립벽의 위치 또는 그 때의 파력 산정법이 제안되었다.



참고 그림 (4.3-43) 최대 충격쇄파에 의한 평균파압강도(급경사 사면상의 직립벽)

(5) 혼성제에 작용하는 충격쇄파력

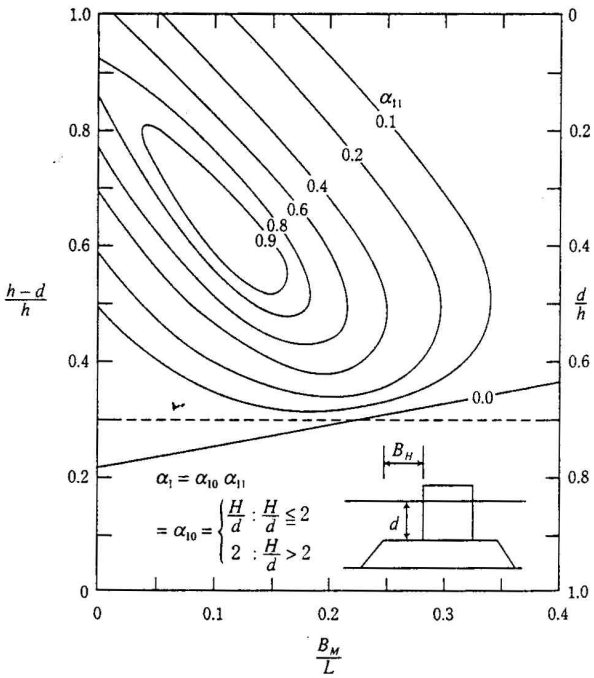
① 사석부 모양의 영향(충격쇄파력 계수)

사석부가 높고 충격쇄파력이 작용하는 경우에 대해 그 파력의 정도를 나타내는 계수로서 다카하시(高橋) 등(1992)은 활동실험 결과를 기초로 충격쇄파력 계수 α_I 를 다음과 같이 제안했다.

$$\alpha_{\mathrm{I}} = \alpha_{\mathrm{I0}}\alpha_{\mathrm{I1}} \qquad \text{참고 식 (4.3-69)}$$

$$\alpha_{Io} = \begin{cases} H/d & (H/d \le 2) \\ 2 & (H/d > 2) \end{cases} \qquad \text{참고 식 (4.3-70)}$$

여기서, H는 설계파고(최대파고), d는 사석부 마루의 수심, h는 설치수심이며, α_{I1}은 참고 그림 (4.3-44)를 참조한다.



참고 그림 (4.3-44) 충격쇄파력 계수

참고 그림 (4.3-44)는 충격쇄파력 계수 $\alpha_{\mathrm{I}1}$의 분포를 나타내며, d/h가 0.4, B_M/L이 0.12일 때 $\alpha_{\mathrm{I}1}$이 최대이고 그 값은 1이다. $\alpha_{\mathrm{I}1}$의 범위는 0~2이며, 이 값이 클수록 충격쇄파력이 커진다. 기존의 Goda(合田)식을 사용하여 파력을 계산할 때에는 Goda(合田)식의 α_2와 이 α_I 중에서 큰 값을 사용한다. 단, 이 α_I는 H/h가 0.6 이상인 경우의 활동실험 결과를 바탕으로 제안한 식으로 파고가 비교적 큰 경우 직립벽의 활동을 검토할 때에 사용될 수 있다.

② 직립벽 마루높이의 영향

마루높이가 높을수록 충격쇄파력 발생의 위험성이 높다. 이는 쇄파되어 반듯이 선 파면(波面)이 정수면보다 높은 위치에 있는 경우가 많고 여기에 직립벽이 있으면 파면의 충격에 의한 충격력이 발생하기 때문이다. 마루높이가 높을 때에는 사석부가 비교적 낮은 경우에도 충격쇄파력이 발생할 수도 있다(미즈노(水野) 등, 1993).

③ 파향의 영향

다니모토(谷本) 등(1981)에 의한 활동실험 결과에서는 기준선직각 방향에 대한 파향각 β가 0°일 경우 매우 강한 충격쇄파력이 발생하지만, β=30°, 45°일 때는 파력이 급격히 감소한다. 파향에 대해 방파제가 비스듬히 놓여 있을 경우에는 충격쇄파력이 발생하지 않거나 발생한다고 해도 활동에 의한 영향이 급감하고 실제로 무시할 수 있다. 따라서 β=20° 이내인 경우에 한해서 충격쇄파력을 고려한다.

④ 충격쇄파력에 대한 직립부의 동적 응답과 활동

충격쇄파력이 작용하는 경우에는 국소적인 순간값으로서 파고에 해당되는 정수압의 수 배에서 수십 배에 달하는 파압이 기록되었다. 그러나 그 충격량의 변동은 크지 않고 강한 충격쇄파력의 작용시간은 짧다. 이러한 충격쇄파력의 활동에 대한 기여는 사석부, 지반의 변형을 고려한 동적 응답으로서 고려되어야 한다. 여러 수치실험 결과(Goda(合田), 1973; 다카하시(高橋) 등, 1993) 또는 활동실험 결과에서 판단할 때 극한적인 충격쇄파력이 사석부에 있는 직립부의 활동에 작용하는 것을 정적으로 등가한 평균파압강도는 (2.5～3.0)$\rho_o g H$로 보는 것이 적당하다. 따라서 충격쇄파력 계수는 활동실험 결과를 이용하여 도출되었기 때문에 동적 응답 효과도 어느 정도 고려되었다.

4.3.9.2.4 소파블록으로 피복된 직립벽에 작용하는 파력

(1) 소파블록으로 피복된 직립벽에 작용하는 파력은 소파공의 마루높이, 폭, 소파블록의 특성 등에 의해 변하므로 수리모형실험 또는 적합한 산정법으로 산정하여야 한다.

(2) 소파공의 마루높이가 설계해면보다 낮거나 인근에 있을 경우에는 파력이 크게 작용할 때가 많으므로 주의하여야 한다.

[해 설]

직립벽의 전면에 이형 콘크리트 블록 등을 소파공으로 설치하면 벽체에 작용하는 파력이 변한다. 파력의 감소 효과는 소파공의 구조에 따라 다르나 충분한 폭과 마루높이를 갖는 소파공으로 가능하다. 그러나 소파공의 마루높이가 설계해면보다 낮을 경우에는 파력이 크게 될 때가 많으므로 주의를 요한다.

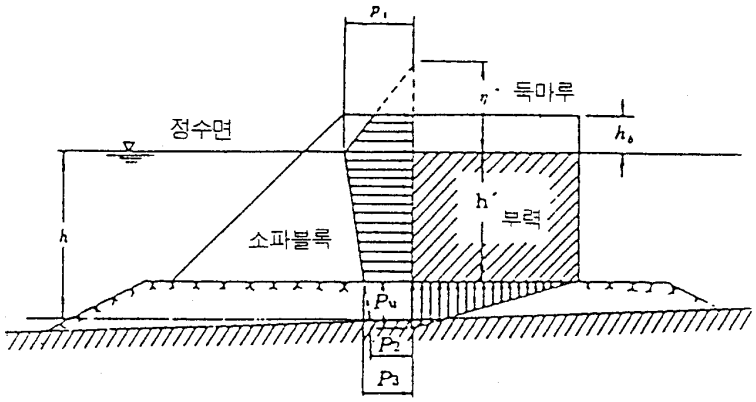
[참 고]

(1) 소파블록을 충분히 피복할 때의 파력 산정식

소파공의 마루높이가 직립벽의 마루와 같은 정도이고 파의 작용에 대해 소파블록의 안정이 충분히 확보될 때 직립벽에 작용하는 파력은 Goda(合田)식을 다음과 같이 준용하여 산정할 수 있다[다니모토(谷本) 등, 1976].

직립벽에 작용하는 중복파 또는 쇄파 파력의 표준식인 해설 식 (4.3-2)의 η^*, p_1, 또는 해설 식 (4.3-3)의 p_u 대신에 각각 참고 식 (4.3-71)의 η^*, 참고 식 (4.3-72)의 p_1, 참고 식 (4.3-73)의 p_u를 써서 파력을 산정한다.

이때, 쇄파압은 소파블록에 의해 현저히 저감되므로 쇄파압 저감계수 λ_2 = 0, 그리고 λ_1(중복파압 보정계수)과 λ_3(양압력 보정계수)는 파고 H에 의존한다고 생각하여 λ_3 = λ_1으로 하고 λ_1을 λ로 하여 다음 식이 제안되었다[참고 그림 (4.3-45) 참조].



참고 그림 (4.3-45) 소파블록으로 피복된 경우의 설계파압 분포[Goda(合田)식]

$$\eta^* = 0.75(1+\cos\beta)\lambda H_D \qquad \text{참고 식 (4.3-71)}$$

$$p_1 = \frac{1}{2}(1+\cos\beta)\lambda\alpha_1\rho_o\, gH_D \qquad \text{참고 식 (4.3-72)}$$

$$p_u = \frac{1}{2}(1+\cos\beta)\lambda\alpha_1\alpha_3\rho_o gH_D \qquad \text{참고 식 (4.3-73)}$$

여기서, η^* : 정수면 상에서 파압강도가 0이 되는 점까지의 높이(m)

p_1 : 소파블록으로 피복되는 경우 정수면에서의 파압 강도(kN/m^2)

p_u : 소파블록 케이슨 저면의 외해쪽 끝부분의 양압력 강도(kN/m^2)

β : 파의 주방향에서 직립벽에 직각이 되는 방향으로 15°만큼 회전시킨 방향이 직립벽에 직각인 선과 이루는 각도(°) [해설 그림 (4.3-2) 참조]

λ : 소파블록 피복에 의한 파압의 저감률 $= \begin{cases} 1.0 & (H/h \le 0.3) \\ 1.2-2(H/h)/3 & (0.3 < H/h \le 0.6) \\ 0.8 & (H/h > 0.6) \end{cases}$

α_1 : 해설 식 (4.3-2)에 정의된 계수

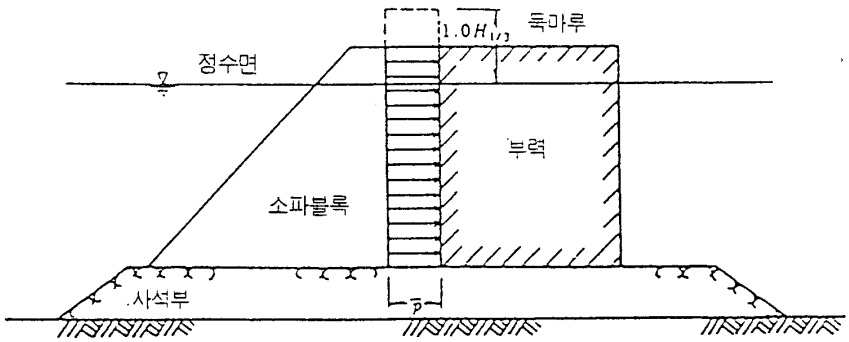
α_3 : 해설 식 (4.3-2)에 정의된 계수

H_D : 설계계산에 쓰이는 파고, 최대파고(m)

파압의 저감율 λ는 피복의 정도나 파의 조건 등에 의해서 정해지나, 소파블록을 충분히 피복한 경우 직립벽의 안정성 등의 검토에 대해서는 일반적으로 λ=0.8을 쓴다. 단, 경사제 상부공과 같이 직립벽의 기면이 정수면 부근에 있는 경우에는 저감율이 주기에 의해 크게 변화되며 주기가 긴 경우 λ=1.0 정도를 사용한다.

(2) 모리히라(森平, 1967)식

소파블록으로 충분히 피복되고, 유의파고가 쇄파의 영향에 의해서 작아지는 쇄파대내에 있는 경우 모리히라(森平)식을 이용할 수 있다. 참고 식 (4.3-74)에 의한 평균 파압강도가 직립벽 기부부터 정수면상 $1.0\,H_{1/3}$ 또는 직립벽 마루높이 가운데 낮은 편의 높이까지 일정하게 작용하는 것으로 간주한다[참고 그림 (4.3-46) 참조].



참고 그림 (4.3-46) 소파블록으로 피복된 경우의 설계파압 분포[모리히라(森平, 1967)]

$$\bar{p} = 1.0\rho_o g H_{1/3}$$ 참고 식 (4.3-74)

여기서, $\bar{p}$: 소파블록을 피복했을 때의 직립벽에 작용하는 평균 파압강도(kN/㎡)

$H_{1/3}$: 설계유의파고(m)

양압력은 벽 전체에 대해서 부력이 작용하므로 그 중에 포함되는 것으로 생각한다. 단, 둑마루의 높이가 $1.0\,H_{1/3}$보다 높을 경우는 양압력이 과대하게 산정된다. 사각 입사 시 참고 식 (4.3-74) 대신 참고 식 (4.3-75)를 써서 파력의 경감을 고려하나 파력의 작용 높이는 변하지 않는다고 가정한다.

$$\begin{cases} \bar{p} = 1.0\rho_o g H_{1/3}\cos\beta, & 0 \le \beta \le 45^\circ \\ \bar{p} = 0.7\rho_o g H_{1/3}, & \beta > 45^\circ \end{cases}$$ 참고 식 (4.3-75)

여기서, β : 파의 주방향에서 직립벽에 직각이 되는 방향으로 15°만큼 회전시킨 방향이 직립벽에 직각인 선과 이루는 각도(°)

(3) 소파블록으로 충분히 피복된 경사제 상부공에 작용하는 파력
경사제 상부공과 같이 바닥면이 정수면 부근에 있고, 또 소파블록으로 충분히 피복되어 있는 경우 파압의 저감율 λ에 대해서는 다니모토(谷本)와 고지마(小島, 1983)가 산정식을 제안하였다.

(4) 소파블록 또는 사석으로 피복된 경사제 전체에 작용하는 파력
사석 경사 방파제의 경우는 이 기준의 4.3.9.2의 파력식을 변형하여 적용할 수 있으나 파가 전체를 투과하고 또한 제체 전부가 사석으로 이루어져 파의 작용 방향성 등을 고려한 λ, α 값이 아직까지 제시되지 못하고 있다. 이에 대한 연구는 현재 시작 단계에 있다.

(5) 파가 작용할 때의 블록 하중
소파블록으로 피복된 직립벽에는 파의 직접작용에 의한 파력과 블록이 기대어 있음으로 인한 하중이 작용한다. 이들에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다[예: 다카하시(高橋) 등, 1990].

① 파가 작용하지 않는 정수시의 블록 하중은 설치 직후에는 작으나 파의 작용에 따라서 증가하여 일정한 값에 가까워진다.
그 하중은 토압과 같은 모양의 분포로 생각할 수 있으나 그 크기는 작용한 파의 크기에 따라 다르다.

② 파가 작용할 때의 블록 하중은 통상적인 경우 무시할 수 있다.
이는 파의 작용에 의해서 직립벽이 미소하나마 변위되고 블록 하중이 감소하고 파고가 크면 거의 0이 되기 때문이다. 단, 파고가 작을 경우나 수심이 크고 정수시의 블록 하중이 클 때에는 무시할 수 없다.

4.3.9.2.5 구조물 반사파랑에 의한 파력

(1) 기준선에 굴곡이 있는 경우에는 입사파의 상호 간섭에 의한 파력의 증대를 고려하여 파력을 산정하여야 한다. 이러한 경우에 설계파고로는 진행파 파고에 기준선 형태의 영향에 의한 적합한 증대율을 곱한 파고를 사용하고, Goda(1973)의 파력산정식을 표준으로 하여 파력을 산정한다.

(2) 파고의 변동은 특히 파향에 대해서 凹 모양의 오목을 형성하는 배치일 경우에 현저하므로 파력 산정 시 이를 고려한다.

[해 설]

일반적으로 제체에 굴곡이 있는 경우에는 파의 반사 및 회절 효과 등에 의해서 기준선을 따른 파고분포가 동일하지 않다. 실제 피해 방파제의 활동 상황 대부분이 파상분포(波狀分布)를 나타내고 있으므로 이것을 사행재해(蛇行災害)라 부르고 그 원인의 하나로서 기준선에 따라 파고분포가 서로 달라 작용파력에 영향을 미친 것으로 설명된다[이또(伊藤)와 다니모토(谷本), 1971].

[참 고]

제체 굴곡의 영향을 고려한 파력 산정법의 충분한 성과를 얻기 위해서는 조건에 적합한 수리모형실험에 의한 검토가 바람직하나 파력의 증대는 제체의 굴곡에 의한 파고의 증대에 상당히 대응되므로 참고 식 (4.3-76)과 같이 설계계산에 적용하는 파고의 영향 정도를 할증하고 일반적인 산정식에 따라 파력을 산정할 수 있다.

$$H'_D = \min K_c H_D,\ K_{cb} H_b \qquad \text{참고 식 (4.3-76)}$$

여기서, H'_D : 제체 굴곡의 영향을 고려한 파력의 산정에 쓰이는 파고(m)

K_c : 제체 굴곡의 영향에 의한 파고 증대율($K_c \geqq 1.0$)

K_{cb} : 쇄파한계파고의 증대율의 한계값($K_{cb} \fallingdotseq 1.4$)

H_D : 제체 굴곡의 영향을 고려하지 않을 때의 파력 산정에 쓰이는 파고(m)

H_b : 진행파로서의 유의파고의 5배 거리의 외해 지점에 있는 쇄파한계파고(m)

참고 식 (4.3-76)의 파고 증대율은 일반적으로 참고 식 (4.3-77)에 의하며, 파가 쇄파되지 않는 조건으로 구한 기준선을 따른 중복파고의 분포에 따라서 적절히 정한다.

$$K_c = H_s / H_I (1 + K_R) \qquad \text{참고 식 (4.3-77)}$$

여기서, H_s : 벽면에서의 파고(m)

H_I : 입사파고(m)

K_R : 방파제의 반사율

이때 규칙파로 계산하면 제체선에 따른 파고 증대율이 현저하게 달라지며, 또한 입사파의 주기나 입사방향에 의해서도 현저한 영향을 받으므로 주기 또는 입사방향의 불규칙성을 고려해서 구하는 것이 합리적이다. 그러나 이와 같이 구한 K_c의 값은 기준선을 따라 변동하고, K_c < 1.0이 되는 범위도 나타난다고 해서 설계에 쓰이는 파고를 이에 따라서 축소해서는 안 된다.

쇄파한계파고 H_b는 최대파고가 쇄파의 영향을 받는 영역에 직립벽이 있을 때는 쇄파 변형을 고려한 최대파고 $H_{\max}$ [참고 그림 (4.3-24) 참조]를 적용하고, 이것보다 외해쪽에 있을 때에는 규칙파에 의한 쇄파지수를 이용한다.

쇄파한계파고 증대율의 한계값 K_{cb}에 대하여는 충분한 자료가 없으나 기왕의 실험 결과로 보아 1.4 정도로 고려한다.

4.3.9.2.6 수심 급변부에서의 직립벽에 작용하는 파력

암초 등에 의해 수심이 급변하는 장소에 설치되는 직립벽에 작용하는 파력은 파의 현저한 변형을 고려하여 수리모형실험으로 파력을 산정하여야 한다.

4.3.9.2.7 쇄파선에서 육지쪽으로 상당한 거리에 있는 직립벽에 작용하는 파력

(1) 정선(汀線)의 바다쪽에 있는 직립벽에 작용하는 파력
정선 부근의 수심이 얕은 장소에 설치되는 직립벽에 작용하는 파력은 서프비트(Surf beat) 등에 의한 수위변화 영향이나 불규칙파에 의한 복잡한 쇄파를 고려하여 수리모형실험으로 파력을 산정하여야 한다.

(2) 정선(汀線)의 육지쪽에 있는 직립벽에 작용하는 파력
정선(汀線)의 육지 쪽에 직립벽이 설치되는 경우의 파력은 서프비트(Surf beat)에 의한 수위상승이나 파의 처올림 등을 고려하여 수리모형실험으로 산정하여야 한다.

[해 설]

(1) 정선(汀線)의 바다쪽에 있는 직립벽에 작용하는 파력
특정한 파의 조건으로 일정사면 상에 설치된 직립벽의 설치수심에 따른 파력의 변화를 검토해보면, 일반적으로 진행파의 쇄파점에서 조금 안쪽에 직립벽이 있을 때 최대파력이 되고 설치수심이 그 보다 얕을수록 파력은 감소한다. 이러한 경향에 의해 어느 정도의 수심을 유지할 때에는 직립벽에서 외해측으로 상당한 거리에 떨어진 지점에서 쇄파하는 큰 파가 쇄파한 후의 파력보다도 직립벽의 조금 외해쪽에서 쇄파되는 것보다 작은 파에 의한 파력이 크다고 생각된다.
파력계산에 이용되는 표준식인 해설 식 (4.3-2)와 해설 식 (4.3-3)은 직립벽의 조금 외해쪽에서 쇄파하는 파에 의한 파력을 계산하는 식이다. 그러나 정선 부근의 수심이 얕은 곳에서는 서프비트(Surf beat) 등에 의한 수위변화에 따라서 쇄파파고가 크게 변하고, 또 그 쇄파력은 해저 경사나 심해파의 파형경사, 혹은 파의 불규칙성에 의해서 크게 변하므로 표준식을 쓰는 것은 적절치 않다. 따라서 조건에 적합한 산정식 혹은 수리모형실험 결과를 이용해서 산정한다. 또한, 표사 현상에 의해서 수심 자체가 변하는 것, 혹은 폭풍해일 등의 영향이 클 경우 이를 고려한다.

(2) 정선(汀線)의 육지쪽에 있는 직립벽에 작용하는 파력
정선(汀線)의 육지 쪽에 있는 직립벽에도 파력은 작용한다. 이 파력은 서프비트 등에 의한 수위상승이나 파의 처오름에 의해서 크게 변하므로 적절한 산정식 혹은 수리모형실험 결과를 이용해서 산정할 필요가 있다. 또 표사 현상에 의해서 정선 부근의 지형이 변하기 쉬운 곳, 혹은 폭풍해일 등의 영향을 크게 받는 경우 이들을 고려해야 한다.

[참 고]

(1) 정선(汀線)의 바다쪽에 있는 직립벽에 작용하는 파력
몇 개의 파력식이 제안되고 있으나 조건에 따라 적절한 파력을 산정할 필요가 있다. 표준식을 수심이 환산심해파고의 0.5배 정도 이하의 지점에 적용하는 경우에는 계산에 쓰이는 파장, 파고 모두 환산심해파고의 0.5배 수심에서의 값으로 하는 것이 적당하다.

(2) 정선(汀線)의 육지쪽에 있는 직립벽에 작용하는 파력
미육군공병단의 해안공학연구센터의 식(C.E.M., 2006), 또는 기타 수리모형실험 결과 등을 참고한다.

4.3.9.2.8 상부사면(上部斜面) 케이슨제에 작용하는 파력

> 상부사면 케이슨제에 작용하는 파력은 조건에 따라 다르므로 수리모형실험 또는 해당 조건에 부합하는 적합한 산정식으로 산정하여야 한다.

[참 고]

(1) 상부사면 케이슨제의 파력산정식
상부사면 케이슨제에 작용하는 파력은 조건에 맞는 모형실험결과에 의거하여 산정해야 한다. 단, 이것을 적용시키는 것이 곤란한 경우에는 다음 산정식을 사용할 수 있다 [참고 그림 (4.3-47) 참조].

$$F_X = F_{SH} + F_V = \lambda_{SL}' F_1 \sin^2\alpha + \lambda_V F_2$$

$$F_Z = -F_{SV} + F_U = -\lambda_{SL}' F_1 \sin\alpha\cos\alpha + 0.5 p_u B$$

$$\lambda'_{SL} = \min\left[\max\left\{1.0,\ -23(H/L)\tan^{-2}\alpha + 0.46\tan^{-2}\alpha + \sin^{-2}\alpha\right\},\ \sin^{-2}\alpha\right]$$

$$\lambda_V = \min\left[1.0,\ \max\left\{1.1,\ 1.1 + 11\,d_c/L\right\} - 5.0(H/L)\right]$$

여기서, F_X : 상부사면제에 작용하는 전 수평파력(全 水平波力) (kN/m)
F_Z : 상부사면제에 작용하는 전 연직파력(全 鉛直波力) (kN/m)
F_{SH} : 사면부에 작용하는 파력의 수평성분 (kN/m)
F_{SV} : 사면부에 작용하는 파력의 연직성분 (위쪽을 향하는 것이 양(陽)임) (kN/m)
F_V : 직립부에 작용하는 파력 (kN/m)
F_U : 저면에 작용하는 양압력 (kN/m)
F_1 : Goda식으로 산정되는 직립벽에 작용하는 수평파력 중 사면부에 대응하는 부분 (kN/m)
F_2 : Goda식으로 산정되는 직립벽에 작용하는 수평파력 중 직립부에 대응하는 부분 (kN/m)
λ'_{SL} : 사면부에 작용하는 파력의 보정계수
λ_V : 직립부에 작용하는 파력의 보정계수
α : 사면부의 각도 (°)
p_u : Goda식으로 계산되는 통상 케이슨의 전지(前趾) 양압력 (kN/m^2)
B : 상부사면제의 케이슨 폭 (m)

H : 파고 (m)
L : 파장 (m)
d_c : 정수면에서 사면 하단까지의 높이 (정수면보다 위에 있는 경우를 양(陽)으로 함) (m)

λ'_{SL}은 다음과 같은 3가지 영역으로 정의된다.

(a) H/L이 비교적 작을 때

$\lambda'_{SL} = \sin\alpha$, 즉 $F_{SH} = F_1$, $F_{SV} = F_1 \cdot \tan^{-1}\alpha$

(b) H/L이 클 때

$\lambda'_{SL} = 1.0$, 즉 $F_{SH} = F_1 \cdot \sin^2\alpha$, F_{SV}=F$_1 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha$

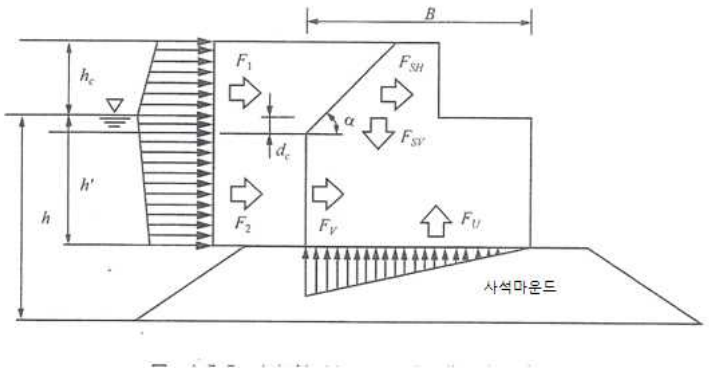
(c) H/L이 (a)와 (b)의 중간일 때

H/L이 커짐에 따라, λ'_{SL}은 감소한다.

그리고 λ_V에 대해서는 H/L이 비교적 작을 때는 λ_V=1.0 이고, H/L이 커짐에 따라 λ_V는 감소한다. 단, 이 파력산정법은 외해에 면한 비교적 수심이 깊고 설계파주기가 긴 경우를 대상으로 한 것으로 λ_V 값은 0.75 정도를 하한선으로 해야 한다. 또한 이 산정법이 제안되기 이전에는 간편한 방법으로 λ'_{SL}=λ_V=1.0 으로 계산되었다. 이 경우, H/L이 비교적 작을 때 이외에는 거의 안전값이 된다.

(2) 소파블록으로 피복된 상부사면 케이슨제에 작용하는 파력

소파블록피복 상부사면 케이슨제에 작용하는 파력에 관해서는 사토 등(1992)의 연구를 참조할 수 있다. 또한 사면부 하단이 수면하에 있는 반 수몰형의 경우, 카타야마 등(1998)이 파력산정식을 제안하고 있다.



참고 그림 (4.3-47) 상부사면 케이슨제에 작용하는 파력

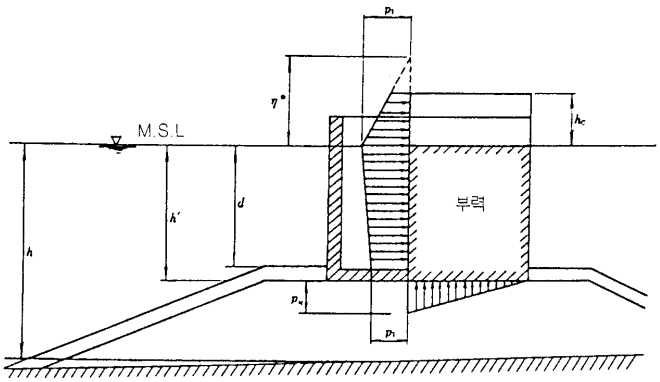
4.3.9.2.9 직립 소파케이슨에 작용하는 파력

직립 소파케이슨에 작용하는 파력은 소파부의 구조에 따라 다르므로 수리모형실험 또는 해당 조건에 부합하는 적합한 산정식으로 산정하여야 한다.

[참 고]

(1) 유수실(遊水室)에 덮개판이 없을 때 안전성의 검토에 쓰이는 파력

직립 소파케이슨에 작용하는 파력은 소파부의 구조 조건에 따라서 다르므로 일반적으로 규정할 수는 없다. 그러나 안전성의 검토에 쓰이는 파력에 있어서는 다음과 같이 Goda식(1973)을 보정해서 사용해도 좋다[참고 그림 (4.3-48) 참조].



참고 그림 (4.3-48) 안전성의 검토에 쓰이는 파압 분포(유수실의 덮개판이 없는 경우)

소파부를 무시한 케이슨 본체에 파압이 작용하는 것으로 하고 해설 식 (4.3-2)의 η^*와 p_1, 그리고 해설 식 (4.3-3)의 p_u 대신에 참고 식 (4.3-78)의 η^*, 참고 식 (4.3-79)의 p_1, 참고 식 (4.3-80)의 p_u를 각각 써서 파력을 산정한다.

이때의 부력은 소파부에 대해서는 전체, 케이슨 본체에 대해서는 정수시의 배수 체적에 대해서만 고려한다.

$$\eta^* = 0.75(1+\cos\beta)\lambda_1 H_D \qquad \text{참고 식 (4.3-78)}$$

$$p_1 = \frac{1}{2}(1+\cos\beta)(\alpha_1 + \lambda_2\alpha_2\cos^2\beta)\lambda_1\rho_o\, gH_D \qquad \text{참고 식 (4.3-79)}$$

$$p_u = \frac{1}{2}(1+\cos\beta)(\lambda_1\alpha_1\alpha_3\rho_o\, gH_D) \qquad \text{참고 식 (4.3-80)}$$

여기서, η^* : 정수면상에서 파압 강도가 0이 되는 점까지의 높이(m)

p_1 : 정수면에서의 파압 강도(kN/m^2)

p_u : 소파부를 제외한 케이슨 본체부의 저면 전단에서의 양압력 강도(kN/㎡)

β : 파의 주방향에서 직립벽에 직각이 되는 방향으로 15°만큼 회전시킨 방향이 직립벽에 직각인 선과 이루는 각도(°)[해설 그림 (4.3-2) 참조]

λ_1, λ_2 : 직립 소파케이슨의 구조에 따른 파압의 보정계수

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: 해설 식 (4.3-2)에 의한 계수

ρ_o : 해수의 밀도(≒1.03kg.$kg \cdot s^2/m^4$)

g : 중력가속도(≒9.8m/s^2)

H_D : 설계계산에 쓰이는 파고, 최대파고(m) $H_{\max}$

보정계수 λ_1, λ_2는 구조조건 등에 의해 적절히 정할 필요가 있다. 예를 들면, 곡면 슬릿 케이슨 외에 다공 케이슨, 종 슬릿 케이슨에서는 평균적으로 λ_1 = 1.0, λ_2 = 0으로 한다(다니모토(谷本) 등, 1980; 1981).

(2) 유수실에 덮개판이 있는 경우의 안정성 검토에 쓰이는 파력

유수실 상부(上部)가 덮개판에 의해 막혀져 있는 경우는 파의 작용에 의해 상부에 공기층이 가두어지는 순간에 충격압이 발생하므로 특히 부재의 설계에 쓰이는 파력에는 이를 고려해야 한다. 이 충격압은 적당한 공기공을 설치함으로써 저감되는데 개구부가 너무 크면 파면이 직접 작용하게 되므로 파력이 오히려 크게 되는 수가 있으므로 주의가 필요하다.

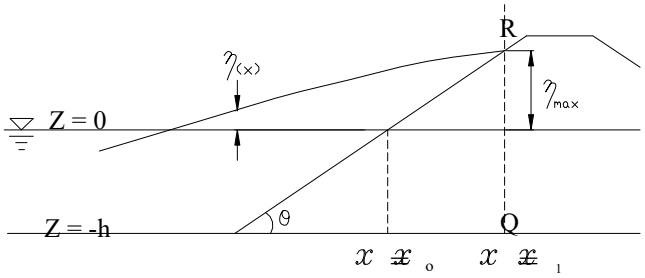
4.3.9.2.10 경사제 또는 경사구조물의 제체에 작용하는 총파력

> 경사제 또는 경사면을 가지는 투과성 구조물의 제체에 작용하는 파력은 제체 전면의 유의파고가 동일하더라도 쇄파영역 또는 비쇄파영역, 제체 전면의 해저경사, 제체 사면의 경사, 제체 사면의 형상, 제체의 투과성, 월파 또는 비월파 등에 따라 다르므로 수리모형실험 또는 해당 조건에 부합하는 적합한 산정식으로 산정하여야 한다.

[참 고]

수리모형실험에서 경사면을 가지는 투과성 제체의 사면에서 측정한 파압을 사면에 따라 적분한 값은 제체 전체에 작용하는 파력을 하중측정기로 직접 측정한 값과 매우 근사하게 일치하므로[이달수 등 2003(a), 2003(b); Lee 등(2004)], 파력이 최대가 되는 순간의 사면파압분포를 예측할 수 있으면 제체에 작용하는 총파력을 산정할 수 있다. 참고 그림 (4.3-49) 및 참고 식 (4.3-81)은 경사제 사면의 단면형상이 단순한 경우에 제체에 작용하는 파력이 최대가 되는 순간의 사면파압분포를 수리모형실험의 결과와 매우 근사하게 예측하므로 총파력 산정에 이용될 수 있는 간략이론이다[이달수 등 2003(a), 2004(a), 2004(b)].

(1) 사면상의 수면파형 간략이론식



참고 그림 (4.3-49) 사면상의 부분 중복파형(이달수 등, 2002; Goda(合田) 등, 2004)

참고 그림 (4.3-49)에서와 같이 사면에서 처오름이 도달하는 최고 위치에 반사계수가 경사제의 반사계수와 동일한 연직평면 $\overline{RQ}$가 존재한다고 가상하여 처오름이 최대가 되는 순간의 사면상의 수면파형을 참고 식 (4.3-81)과 같이 가상 연직평면의 전면에서 형성되는 규칙파의 부분 중복파형으로 간략하게 표현한다.

$$\eta(x) = \frac{1}{2} H_{\max} \sqrt{1 + 2K_R \cos 2k(x - x_1) + K_R^2}$$ 참고 식 (4.3-81)

여기서, $\eta(x)$: 정지수면으로부터의 수위(m)

$H_{\max}$: 1.8 $H_{1/3}$: $H_{1/3} \leq$ h/2

$H_{\max}$: 0.9h : $H_{1/3} \geq$ h/2

$H_{\max}$: 경사제 전면에서의 최대 입사파고(m)

h : 정지수면 하의 수심(m)

$H_{1/3}$: 경사제 전면에서의 설계 유의파고(m)

K_R : 설계 유의파 주기의 규칙파에 대한 제체의 반사계수

k : 파수($\fallingdotseq 2\pi/L$)

L : 경사제 전면에서의 설계 유의파의 파장(m)

x : 수평좌표축(m)

x_1 : 가상의 연직평면 $\overline{RQ}$의 위치(m)

x_1값은 다음 참고 식 (4.3-82)로 결정한다.

$$x_1 = x_0 + \eta_{\max} \cot\theta$$ 참고 식 (4.3-82)

$$\eta_{\max} = \frac{1}{2}(1 + K_R) H_{\max}$$ 참고 식 (4.3-83)

여기서, $\eta_{\max}$: 경사제의 사면에서 간략이론식에 의한 처오름높이(m)

x_0 : 경사제의 사면과 정지수면이 만나는 점의 X축의 좌표(m)

θ : 경사제의 사면이 수평면과 이루는 각(°)

(2) 처오름 최대 시 사면상의 파압분포

$$p(x,z)=\rho_0 g[\eta(x)-z] \;=\rho_0 g[\eta(x)-(x-x_0)\tan\theta] \quad : 0 \le z \le \eta_{\max}$$ 참고 식 (4.3-84)

$$p(x,z)=\rho_0 g\eta(x)\frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \quad : -h \le z \le 0$$ 참고 식 (4.3-85)

여기서, h : 경사제 전면에서의 수심(m)
z : 연직좌표축(m)
p : 경사제의 사면에 작용하는 파압강도(kN/m^2)
ρ_0 : 해수의 밀도(t/m^3)
g : 중력가속도(m/s^2)

참고 식 (4.3-81)로 계산한 처오름 높이는 사면에서 실제 발생하는 처오름 높이보다 매우 작기 때문에 참고 식 (4.3-84) 및 참고 식 (4.3-85)는 총파력의 크기를 추산하는 과정의 파압식으로는 사용할 수 있으나 파력이 최대가 되는 순간이라 할지라도 정지수면으로부터 상방향으로 이격이 큰 사면상의 임의의 위치에 작용하는 파압의 크기를 파악할 목적으로는 사용할 수 없다.

(3) 총파력의 수평 및 연직분력

제체에 작용하는 총파력의 수평 및 연직분력은 각각 참고 식 (4.3-86) 및 참고 식 (4.3-87)로 계산한다.

$$F_H = \sin\Theta \int_{-h}^{\eta_{\max}} p(x,z)ds = \int_{-h}^{\eta_{\max}} p(x,z)dz$$ 참고 식 (4.3-86)

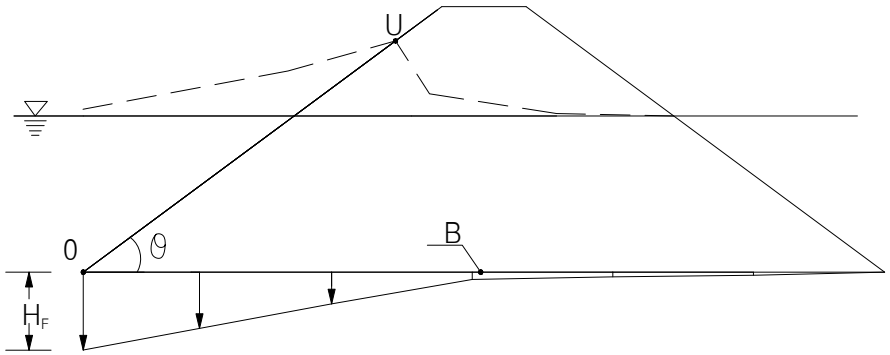
$$F_V = \cos\Theta \int_{-h}^{\eta_{\max}} p(x,z)ds = \cot\Theta \int_{-h}^{\eta_{\max}} p(x,z)dz$$ 참고 식 (4.3-87)

여기서, F_H : 경사제의 길이 1m당 작용하는 총파력의 수평분력(kN/m)
F_V : 경사제의 길이 1m당 작용하는 총파력의 연직하향분력(kN/m)
ds : 경사제 사면의 미소 길이(m)

전달변형 및 비쇄파 영역을 대상으로 한 비월파 규칙파 조건에서 간략이론은 수리모형실험과 비교할 때에 적정한 반사계수값을 사용하면 총파력을 사면경사가 1:1.5인 경우에는 매우 근사하게 예측하며 사면경사가 1:2인 경우에는 실제보다 더 크게 예측한다. 쇄파영역에서는 유의파고에 대한 최대파고의 비가 비쇄파 영역에 비하여 작다는 사실에 착안할 때 쇄파영역에서도 참고 식 (4.3-81)에서 정의된 $H_{\max}$를 그대로 사용한다면 이 간략이론으로 예측된 총파력은 안전측의 결과가 될 것이다. 또한 이 간략이론은 비월파의 경우에 작성된 것이므로 월파의 경우에는 더 안전측의 결과를 낸다.

(4) 연직하향파력의 수평분포

파력으로 인한 제체 하부지반으로의 영향과 관련하여 제체 하부로 전달되는 반복하중의 크기를 알고자 할 경우 또는 연약지반을 개량할 때 제체로부터 하부로 전달되는 반복하중의 크기를 알고자 하는 경우에는 참고 그림 (4.3-50)에 보인 연직하향파력의 수평분포를 참고할 수 있다. 이 연직하향파력의 수평분포 형상은 제체의 저면에서 파에 의한 동하중을 직접 계측한 별도의 수리모형실험을 통해 파악한 연직하향파력의 분포형상을 모사한 결과이다. 이 때 연직하향파력 분포삼각형의 높이 H_F 및 밑변 $\overline{OB}$의 크기는 각각 참고 식 (4.3-88) 및 참고 식 (4.3-89)로 계산한다.



참고 그림 (4.3-50) 파력이 최대일 때 제체의 하부로 전달되는 연직하향파력의 수평분포

$$H_F = \frac{2F_V}{\overline{OB}} \qquad \text{참고 식 (4.3-88)}$$

$$\overline{OB} \simeq \overline{OU} = \frac{h + \eta_{max}}{\sin\Theta} \qquad \text{참고 식 (4.3-89)}$$

여기서, H_F : 경사제의 길이 1m당 지반에 전달되는 연직하향파력 분포삼각형의 높이(kN/㎡)

F_V : 경사제의 길이 1m당 작용하는 총파력의 연직하향분력(kN/m)

$\overline{OB}$: 제체의 하부로 전달되는 연직하향파력 분포삼각형 밑변의 길이(m)

$\overline{OU}$: 경사제 사면의 하부로부터 간략이론 처오름 높이까지의 사면의 길이(m)

η_{max} : 경사제의 사면에서 간략이론식에 의한 처오름 높이(m)

(5) 반사계수 K_R 값의 추정

이 간략이론을 사용하려면 참고 식 (4.3-81)에 포함된 설계 유의파 주기의 규칙파에 대한 제체의 반사계수 K_R의 값이 필요하다. K_R의 값은 수리모형실험에서 직접 구하거나 참고 식 (4.3-90)을 이용하여 등가의 반사계수 K_R^*의 값을 간접적으로 계산하여 사용한다.

$$K_R^* = \frac{2\eta^*_{max}}{\alpha H_{max}} - 1 \qquad \text{참고 식 (4.3-90)}$$

여기서, K_R^* : 등가의 반사계수

η^*_{max} : 주기가 설계 유의파 주기인 규칙파의 파고 H_{max}에 의한 사면상의 실제 처오름높이(m)로서 수리모형실험에서 계측하거나 이 기준 4.3 파랑 및 파력 (4.3.6.1 처오름 높이)에서 H_{max}에 대응하는 처오름 높이를 구하여 사용한다.

H_{max} : 경사제 전면에서의 최대 입사파고(m)

α : 처오름높이 보정계수(실제 처오름높이/참고 식 (4.3-83)의 간략이론 처오름높이)로서 참고 표 (4.3-14)에 제시된 값들을 사용한다.

참고 표 (4.3-14) 처오름높이 보정계수(α)

사면경사	1 : 1.5	1 : 2	비 고
α	1.9	1.6	피복재 : 사석, 테트라포드

4.3.9.3 수중부재에 작용하는 파력

수중부재에 작용하는 파력은 수리모형실험 또는 설계조건에 부합하는 적합한 산정식으로 산정하여야 한다.

[해 설]

수중부재에 작용하는 파력은 수리모형실험 또는 다음 식에 의해 산정하는 것을 표준으로 한다[모리슨(Morison, 1950)].

$$\overrightarrow{f_n} = C_D \frac{\rho_o}{2} D \overrightarrow{U_n} |\overrightarrow{U_n}| \triangle s + C_M \rho_o A \ \overrightarrow{\alpha_n} \triangle s \qquad \text{해설 식 (4.3-4)}$$

여기서, $\overrightarrow{f_n}$: 부재의 축방향의 미소 길이 △s(m)에 작용하는 부재축과 수립자 운동방향(水粒子 運動方向)의 공통면에서 부재축에 직각방향의 힘(kN)

$\overrightarrow{U_n}, \overrightarrow{\alpha_n}$: 부재축과 수립자 운동방향의 공통면에서 부재축 직각방향(f_n과 같은 방향)의 수립자 속도 성분(m/s) 및 가속도 성분(m/s^2)

$|\overrightarrow{U_n}|$: $\overrightarrow{U_n}$ 의 절대값(m/s)

C_D : 항력계수

C_M : 관성력계수

D : $\overrightarrow{f_n}$의 방향에서 본 부재축 직각방향의 부재 폭(m)

A : 부재축에 수직한 부재 단면적(㎡)

ρ_o : 해수의 밀도(t/m^3) (보통 1.03t/㎤)

[참 고]

(1) 물체를 대표하는 길이(D)

직주(直柱)의 예를 들면 직경과 입사파장 L과의 비가 작으면 물체에 의한 파랑의 변형은 거의 무시할 수 있다. 통상 D/L<0.2인 경우 본 절에 기술된 것이 적용되며, 이보다 큰 물체는 입사파랑을 상당히 변형시키게 되므로 달리 취급한다.

(2) 수중 부재에 작용하는 파력 산정식

수중 말뚝과 같이 그 직경이 파장에 비해 작아서 파의 진행을 거의 저지하지 않는 구조물에 작용하는 파력은 수립자 속도의 제곱에 비례하는 항력과 가속도에 비례하는 관성력의 합으로 구한다. 해설 식 (4.3-4)는 직주(直柱)에 대해서 모리슨 등(Morison et al., 1950)이 표시한 산정식을 임의 방향 부재의 미소 길이 △s의 구간에 작용하는 파력으로 일반화하여 표현한 것이며, 우변의 제1항은 항력, 제2항은 관성력이다.

식 중에서 수립자의 속도 성분 $\overrightarrow{U_n}$, 가속도 성분 $\overrightarrow{a_n}$은 시간과 위치에 따라 변하는 양이므로 그 변화에 주의해서 부재 또는 구조물에 가장 심하게 작용하는 파력의 분포를 검토한다.

(3) 수립자의 속도 성분과 가속도 성분

해설 식 (4.3-4) 중의 $\overrightarrow{U_n}$, $\overrightarrow{a_n}$은 구조물이 없다고 간주한 투명한 구조물의 중심축에서 수립자 운동의 부재축에 대한 직각방향 성분이다. 파력의 산정은 실험값과 이론값에 의해 되도록 정확하게 한다.

특히, 수립자의 속도 성분은 파력에 제곱으로 기여하기 때문에 파고가 큰 경우에는 미소진폭파 이론에 의한 근사값으로는 불충분하다. 또, 부재가 수면 상에 있는 경우에는 파력의 작용범위, 즉 파봉고에 대해서도 충분히 고려한다.

이들을 이론값으로 구할 때에는 유한진폭파 이론으로 하는 것이 바람직하다. 그러나 파력의 산정에 쓰이는 파고, 주기는 파의 불규칙성을 충분히 고려해서 부재 또는 구조물에서 가장 위험한 제원을 대상으로 하고, 주기는 유의파 주기를 사용한다.

(4) 항력계수

항력계수 C_D는 일반적으로 정상류(定常流)에서의 항력계수의 값을 이용해도 좋으나, 부재의 형상, 조도(粗度)(K), 레이놀즈수(R_e), 인접 부재와의 간격, 그리고 쿨리간-카펜터수(Keulegan-Carpenter, KC, 1958)에 의해서 변화하므로 이를 고려해서 결정하여야 한다. 쿨리간-카펜터수와 레이놀즈수에 대한 식은 참고 식 (4.3-91)로 정의된다.

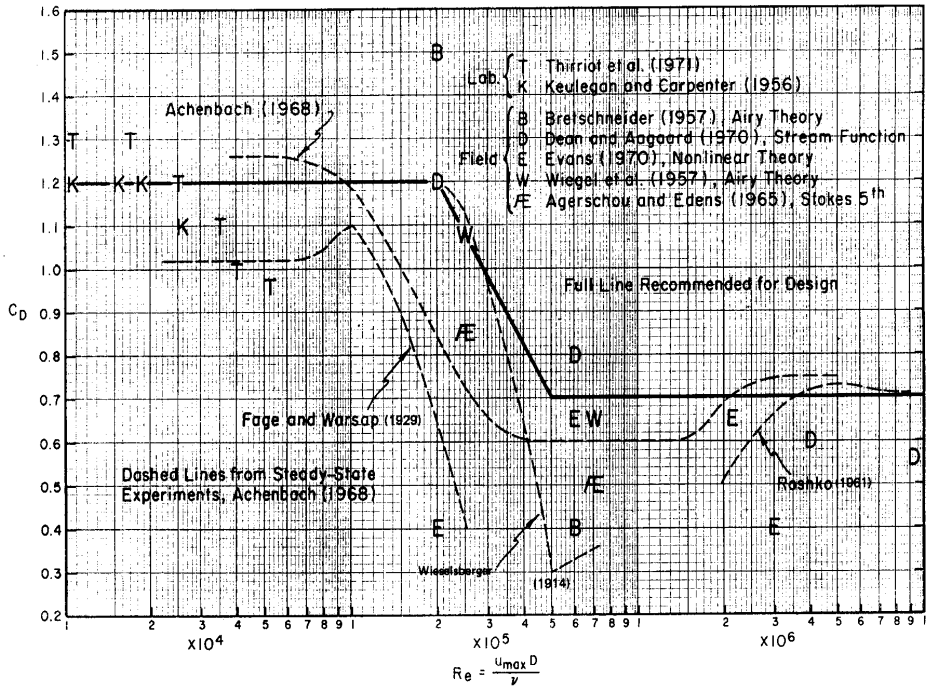
$$\begin{cases} R_e = \dfrac{\overrightarrow{|U_n|}D}{\nu} \\ KC = \dfrac{\overrightarrow{|U_n|}T}{D} \end{cases}$$

참고 식 (4.3-91)

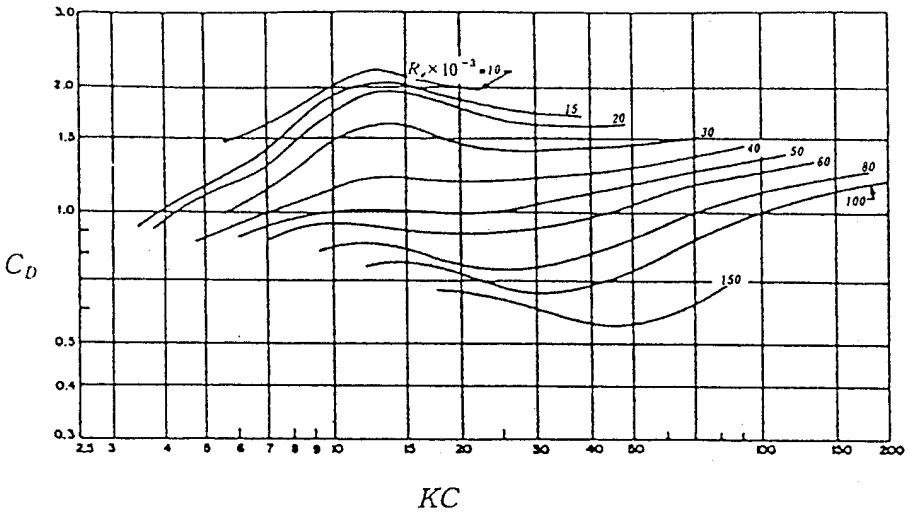
여기서, ν : 물의 동점성계수 ($1.25\times10^{-6}m^2/s$, 20℃에서)

T : 파의 주기(s)

항력계수는 미육군공병단편람(Shore Protection Manual, 1984)에 제시된 참고 그림 (4.3-51)로부터 정하거나 참고 그림 (4.3-52)로부터 구할 수 있다. 항력계수는 표면의 조도가 크면 증가되며 조도에 따른 항력계수는 참고 그림 (4.3-53)을 사용하여 정한다. 그러나 참고 그림 (4.3-52)와 참고 그림 (4.3-53)의 항력계수는 수리모형실험의 결과이므로 모형의 축척 효과를 감안하여 결정한다.



참고 그림 (4.3-51) 항력계수(shore protection manual, 1984)

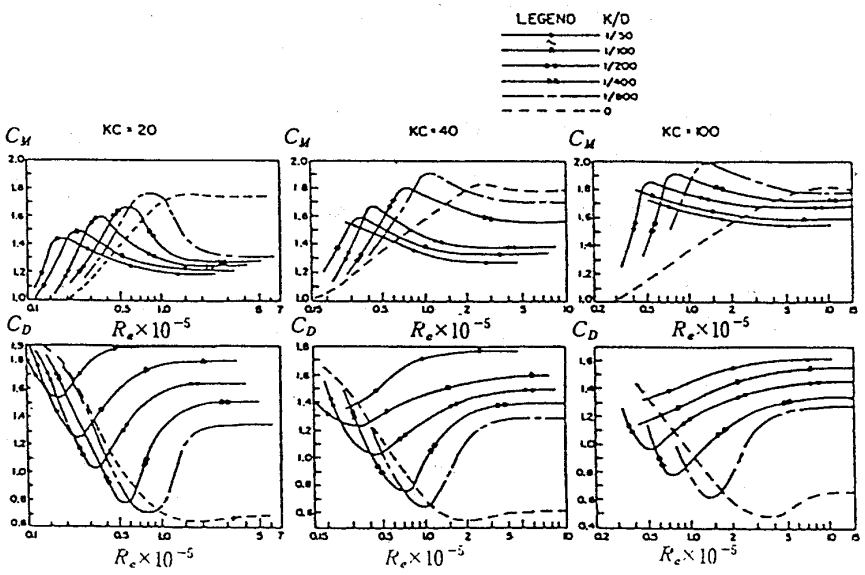


참고 그림 (4.3-52) 매끄러운 직주에 대한 항력계수(Sarpkaya, 1975)

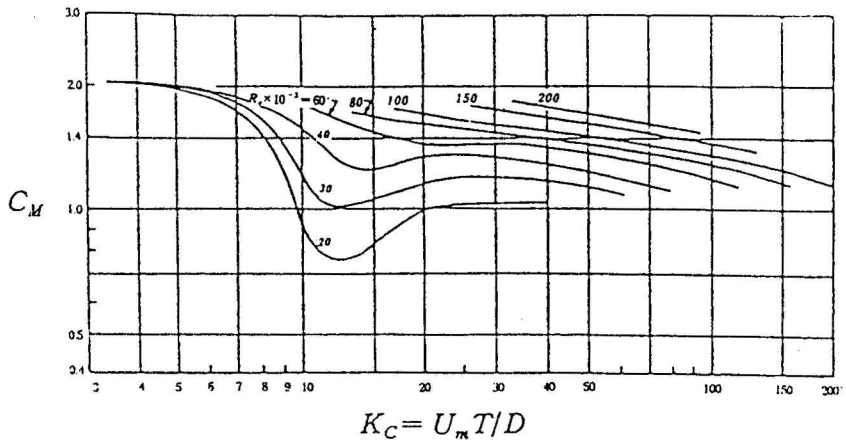
(5) 관성력계수

관성력계수 C_M은 미소진폭파 이론에 의한 값을 써도 좋으나 부재의 형상 외에 레이놀즈수, KC수, 조도(K), 인접부재와의 간격 등에 의해서 달라지므로 조건에 따라서 적절한 값을 결정해야 한다. 한 개의 원주 부재에 대해서는 미육군공병단편람(Shore Protection Manual, 1984)에 제시된 참고 식 (4.3-92)를 사용하거나, 참고 그림 (4.3-53) 또는 참고 그림 (4.3-54)을 사용하여 정한다.

$$C_M = \begin{cases} 2.0, & R_e < 2.5\times10^5 \\ 2.5 - \dfrac{R_e}{5\times10^5}, & 2.5\times10^5 < R_e < 5\times10^5 \\ 1.5, & R_e > 5\times10^5 \end{cases} \qquad \text{참고 식 (4.3-92)}$$



참고 그림 (4.3-53) 항력 및 질량계수에 대한 조도 영향(Sarpkaya, 1976)



참고 그림 (4.3-54) 매끄러운 직주에 대한 질량계수(Sarpkaya, 1975)

(6) 다수 부재로 구성된 구조물

직주, 사재(斜材) 및 수평재(水平材) 등으로 구성된 구조물 전체에 작용하는 파력은 각 부재에 작용하는 파력의 위상 차이를 고려해서 해설 식 (4.3-4)로 산정하고 이들 벡터의 합을 합성하여 구한다. 다수 부재로 구성된 구조물은 부재의 1개소가 파괴되면 전체가 파괴될 위험이 있으므로 특히 개개의 부재 및 구조물 전체에서 가장 심한 파력의 분포를 고려한다.

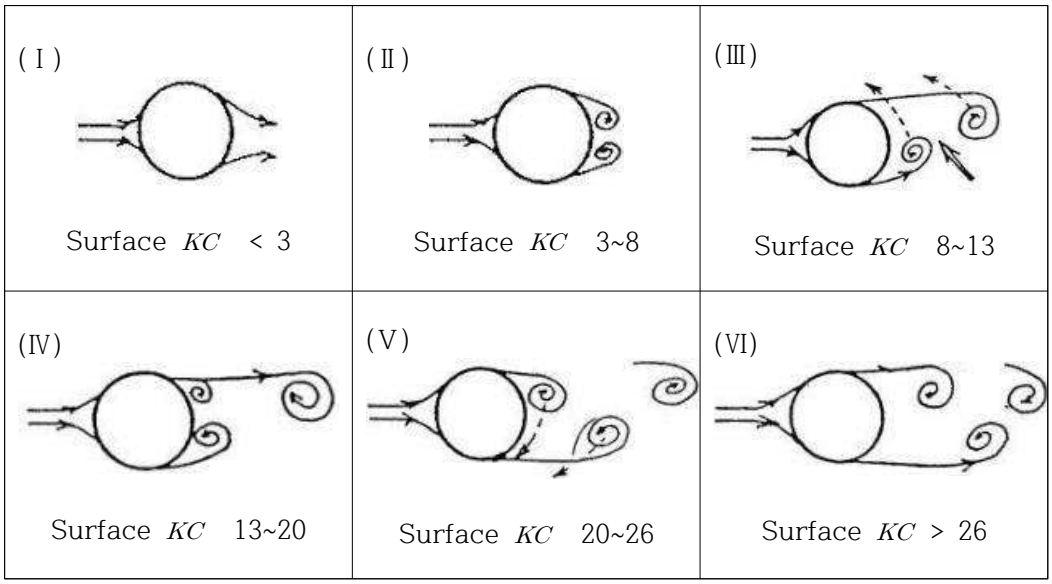
(7) 쇄파가 작용할 때의 파력

급경사 해저면 상의 구조물에 쇄파가 작용할 때는 해설 식 (4.3-4)에서 주어지는 항력 및 관성력 외에 직립벽에 작용하는 충격쇄파압과 유사한 충격성의 파력이 작용할 때가 있다.

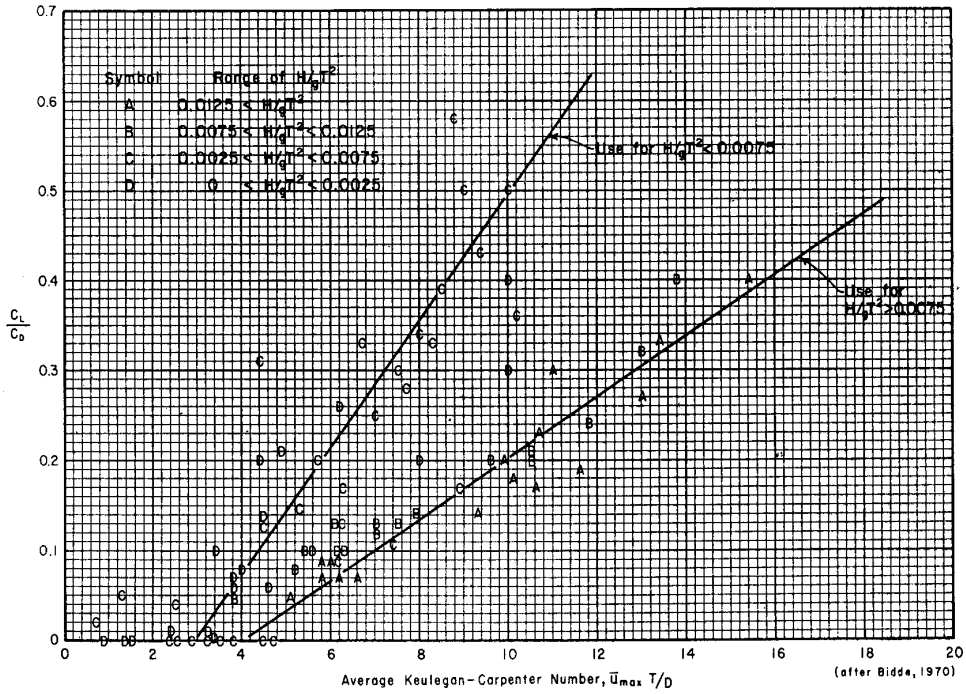
이와 같은 충격적인 외력에 대해서는 구조물의 응답 특성이 지배적인 영향 요소가 되기 때문에 파력 산정만이 아니고 파력에 의한 구조물 전체, 나아가서는 부재의 거동을 포함한 검토가 필요하다.

(8) 양 력

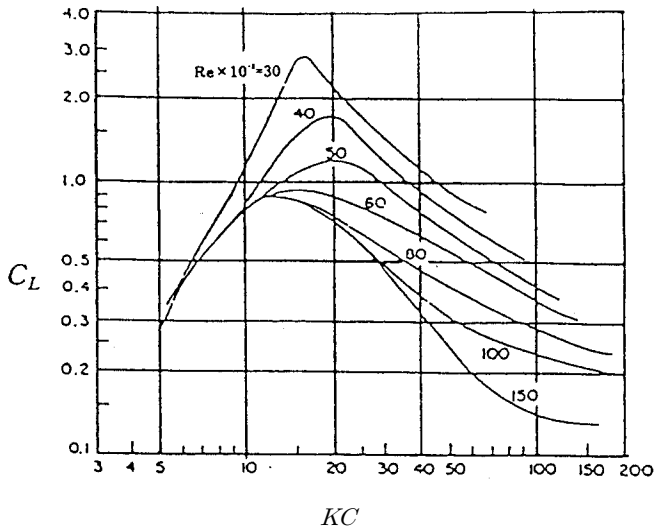
수중 부재에 작용하는 파력은 해설 식 (4.3-4)에 의한 항력과 관성력 외에 부재축과 수립자 운동 방향의 공통면에 수직한 방향으로 양력이 작용한다. 양력은 참고 그림 (4.3-55)에서와 같이 파랑에 의한 소용돌이에 의해 생성된다. 쿨리간-카펜터수가 3보다 크면 소용돌이가 생성되며 5보다 크면 생성된 소용돌이가 비대칭이 되어, 이에 따른 비대칭의 압력으로 인해 양력이 생긴다. 양력계수는 참고 그림 (4.3-56)으로부터 정하거나 참고 그림 (4.3-57)로부터 구할 수 있다. 또한 가늘고 긴 부재에 대해서는 양력에 의한 진동이 고유진동과 같으면 공진으로 인해 진동이 크게 증폭되므로 주의해야 한다.



참고 그림 (4.3-55) 파랑에 의한 소용돌이 생성



참고 그림 (4.3-56) 양력계수와 질량계수의 비(Shore Protection Manual, 1984)



참고 그림 (4.3-57) 매끄러운 직주에 대한 양력계수(Sarpkaya, 1975)

(9) 파와의 공진현상(共振現象)과 불규칙 파력

구조물의 강성이 낮고 고유진동주기가 길게 될 경우에는 주기적으로 작용하는 파력에 대한 동적응답의 영향을 고려한다. 이 경우의 파력은 해설 식 (4.3-4)에서 $\overrightarrow{U_n}$, $\overrightarrow{a_n}$의 시간적 변화에 대해서 구하면 된다.

불규칙 파랑에 대한 파력을 구하는 것은 파봉(波峰)의 높이, 항력계수 등을 적절히 정하여 미소진폭파 이론에 의한 수립자 운동성분을 산정한다.

4.3.9.4 부체에 작용하는 파력

부체, 수중에 설치되는 대형 고립 구조물에 작용하는 파력은 구조물의 크기, 단면형상 등에 따라 크게 변하므로 수치계산 또는 수리모형실험 등으로 산정하여야 한다.

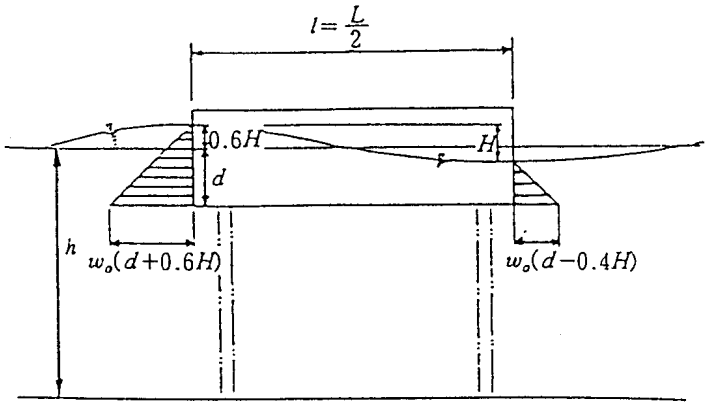
[참 고]

(1) 파장보다 큰 대형의 고립 구조물에 작용하는 파력은 보통 항력이 무시되기 때문에 속도 포텐셜(Velocity potential)을 이용해서 산정할 수가 있다. 단순한 형상의 구조물에서는 해석적인 개략식으로 파력을 정할 수 있으나 구조물이 복잡하면 경계적분요소법이나 유한요소법에 의한 수치계산법으로 구조물에 가해지는 파력을 계산하여야 한다. 그러나 쇄파력 등은 수리모형실험 등에서 산정한다.

(2) 수면 부근에 떠있는 물체에 작용하는 파력

① 물체가 고정된 경우

파장에 비해서 물체의 직경이 커지면 항력은 무시할 정도로 작아 파력 참고 식 (4.3-93)은 질량력으로만 표시할 수 있다. 참고 그림 (4.3-58)과 같은 기중기선 등과 같이 폰툰(Pontoon)형 물체에 작용하는 전·후면의 압력을 계산하여 물체에 가해지는 힘을 구하게 된다.



참고 그림 (4.3-58) 폰툰형 선박에 작용하는 파력

이와 같이 하면 폰툰형의 선박 길이가 파장의 1/2인 때에 최대의 파력이 생긴다.

가장 간단한 예로, 폰툰형 선박에 의한 파랑의 산란을 무시하고 선박의 앞면에 파봉이 있어 정수면에서 0.6 H의 높이까지 수면이 상승하고, 후면에는 파곡이 있어 정수면 아래 0.4 H의 깊이까지 수면이 하강한 상태를 생각하면 그 파력은 참고 식 (4.3-93)으로 구해진다.

$$P = \frac{1}{2}\rho_o g B\{(0.6H+d)^2 - (d-0.4H)^2\} \fallingdotseq \rho_o g HBd$$ 참고 식 (4.3-93)

여기서, P : 폰툰형 선박에 작용하는 파력(kN)
ρ_o : 해수의 밀도(보통 1.03 t/m^3)
H : 파고(m)
B : 폰툰형 선박의 폭(m)
d : 폰툰형 선박의 흘수(m)

단, 폰툰형 선박의 폭이 넓을 경우에는 그 앞면에서 산란파에 의한 파랑이 중복되어 수면이 높아지므로 참고 식 (4.3-93)으로 구해지는 값보다도 20~30% 더 커지게 된다. 보다 엄밀한 파력은 속도포텐셜(ϕ)로 표시되는 적분방정식으로부터 계산된다.

② 다소 이동이 허용되는 경우

부유방파제 등과 같이 부체가 계류라인으로 계류되어 있을 때에 작용하는 파력에 관해서는 몇 개의 수리모형실험을 했을 뿐 별로 잘 알려져 있지 않다. 따라서 될 수 있는 대로 수리모형실험으로 작용하는 파력을 검토할 필요가 있다. 또한 부체를 계류하는 경우는 (부체+계류밧줄)의 고유주기가 짧으면 파랑에 의해서 공진이 일어나는 수도 있으므로 이 점을 검토한다.

4.3.9.5 수면 부근의 구조물에 작용하는 파력

(1) 수면 부근의 수평판에 작용하는 양압력

> 수면 부근의 수평판 저면에는 해상조건이나 구조물의 형상에 따라 충격적인 파력이 작용하는 경우가 있으므로 이러한 경우에는 수리모형실험 등과 같은 방법으로 충격적인 양압력을 산정하여야 한다.

[해 설]

잔교의 상부공이나 말뚝식 돌핀 상부공 등과 같이 정수면 부근의 구조물로서 특히 수면과 거의 평행한 구조물은 상승하는 파면이 저면에 충돌하여 충격적인 파력(이하 양압력이라 한다)이 작용할 위험성이 있다. 특히, 파고가 크고 정수면과의 간격이 작은 경우에는 큰 충격력이 된다. 또, 파가 중복파로 되어 작용하는 경우 파면의 상승속도가 크게 되어 충격력도 크게 된다. 이러한 구조물의 저면에는 충격적인 양압력(揚壓力) 외에 보통의 충격력이 아닌 양압력도 작용하는 것에 주의할 필요가 있다.

[참 고]

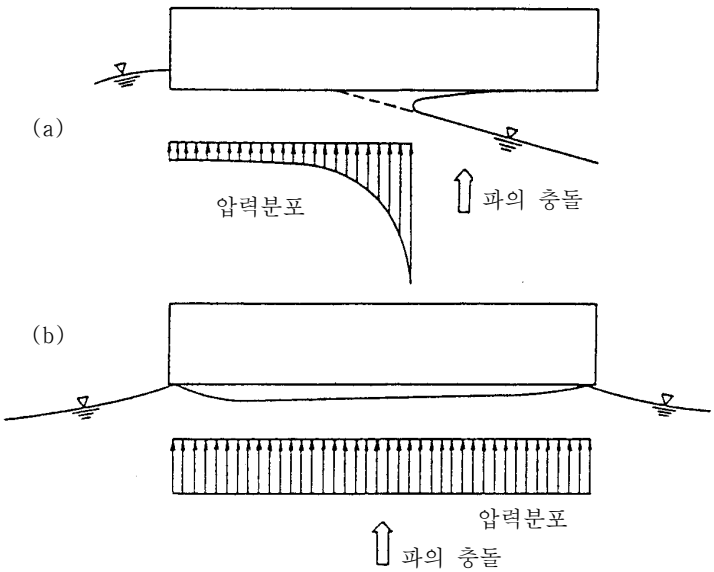
(1) 충격적인 양압력의 특성

수면 부근의 수평한 판에 작용하는 충격력인 양압력은 판의 저면이 평탄한 경우에는 파면이 충돌하는 속도와 그 면과 판이 이루는 각도에 의하여 변화한다.

참고 그림 (4.3-59)(a)과 같이 파면(波面)과 판이 이루는 각이 어느 정도 있는 경우에는 파면이 판의 저면을 따라 나타나고 그림과 같은 분포 형상의 파압이 작용한다.

이 파압은 시간이 짧고 급하게 커지는 것이 특징이다. 한편, 파면과 판이 이루는 각이 참고 그림 (4.3-59)(b)과 같이 0°에 가까울 때는 공기층이 파면과 판과의 사이에 갇혀 이 공기층의 압축에 의한 압력이 그림과 같은 분포 형상으로 발생한다. 이 파압은 시간적으로는 짧은 주기의 감쇄진동파형(減衰振動波形)이 되는 것이 특징이다.

수평판의 저면에 보 등이 있는 잔교의 경우에는 보에 의하여 파면이 교란되어 양압력의 발생이 복잡하게 된다. 또 보에 의하여 공기층이 갇혀 압축되는 수도 있다. 수평판 저면의 형상에 의한 양압력의 변화를 고려하여야 한다.



참고 그림 (4.3-59) 파면과 수평판의 충돌

또한, 충돌하는 파면의 형상은 파가 진행파인지 중복파인지에 따라서 크게 변한다.

중복파의 경우에는 파의 반사 위치에서 수평판까지의 거리에 따라서 변화한다. 이렇게 틀려지는 것도 고려하여야 한다.

(2) 저면이 평탄한 수평판에 작용하는 양압력(중복파의 경우)

Goda(合田)(1967)는 수평판에 작용하는 양압력을 파면과 판과의 충돌에 의한 운동량의 급변에 기인하는 힘이라고 생각하여 카만(Karman)의 이론으로부터 수평판에 작용(作用)하는 중복파에 의한 양압력의 산정식을 다음과 같이 나타냈다.

$$P = \zeta \frac{\rho_o g}{4} HLB \tanh \frac{2\pi h}{L} \left(\frac{H}{s'} - \frac{s'}{H} \right)$$ 참고 식 (4.3-94)

$$s' = s - \pi \frac{H^2}{L} \coth \frac{2\pi h}{L}$$ 참고 식 (4.3-95)

여기서, P : 전양압력(kN)
ζ : 보정계수
ρ_o : 해수의 밀도(=1.03t/㎥)
H : 진행파의 파고(m)(보통은 최고파고 $H_{\max}$)
L : 진행파의 파장(m)
B : 폭(m)
h : 수심(m)
s : 정수면상의 간격(m)
s' : 파고중분면(파봉과 파곡과의 높이를 2등분한 면) 상의 간격(m)

위 식은 수평판의 길이 ℓ 에 의존하지 않는 것에 유의할 필요가 있다.
충격력은 위 식에서 나타나는 크기로 충돌의 순간으로부터 시간 τ의 사이에 계속되는 펄스(Pulse) 형태의 힘이다. 계속시간 τ는 파의 주기를 T로 하고 수평판의 길이를 ℓ로 하면 다음과 같다.

$$\tau = \frac{\pi T \ell^2}{L^2} \frac{s'}{\sqrt{H^2 - s'^2}}$$ 참고 식 (4.3-96)

참고 식 (4.3-94)는 수평판의 길이가 파장 L에 비하여 아주 작고 또한 저면이 평탄한 면이면 양압력의 특성을 간단하고 적절히 나타내고 있다. ζ = 1.0으로 한 계산 값은 실험값과 비교하면 H/s'가 2 이하에서는 비교적 좋은 일치를 나타내고 있다. 다니모토[(谷本) 등, 1978]는 같은 수평판에 작용하는 양압력을 산정하는 방법을 와그너(Wagner)의 이론에 기초하여 나타내고 있다. 이 산정법에서는 파면과 수평판이 충돌하는 각도 β와 충돌속도 V_n을 스토크(Stokes)의 제3차 근사파에 의해 주고 충격압의 공간적 분포와 시간적 변화를 구할 수가 있다. 단, 스토크(Stokes)의 제3차 근사파를 쓰고 있기 때문에 계산이 조금 복잡하다. 이 계산법은 저면이 평탄한 경우를 대상으로 하고 있고 보통의 잔교와 같이 슬래브에 거더나 보 등이 있어 공기가 갇혀 있거나 파면의 교란이 발생하고 충격력은 저면이 평탄한 수평판의 경우보다는 작아진다. 따라서 산정법에서 계산되는 값은 보통의 잔교에 있어서의 양압력의 상한 값으로 생각할 수 있다.

(3) 잔교에 작용하는 양압력(중복파의 경우)
이토(伊藤)와 다께다(竹田, 1967)는 잔교 모형을 써서 도판(渡版)에 작용하는 양압력과 도판의 진동한계중량 및 낙하한계중량을 구하고 있다. 실험조건은 파고가 최대 40㎝, 주기가 1초와 2.4초, 수심이 56㎝와 60㎝이다. 도판 부분에 별도로 부착한 파압계의 기록에 의하면 동일조건 하에서도 일파마다 첨두 값은 상당히 변동되었으나 이들의

첨두 값의 평균값은 대략 참고 식 (4.3-97)과 같다.

$$P = \rho_o g(8H - 4.5s)$$ 참고 식 (4.3-97)

여기서, P : 양압력 강도의 첨두 값의 평균값(kN/㎡)
ρ_o : 해수의 밀도(1.03 t/㎥)
g : 중력가속도(9.81 m/s^2)
H : 입사파고(m), (H_{max})
S : 조위에서 도판하면(渡版下面)까지의 거리(m)

그러나 참고 식 (4.3-97)에 주어진 양압력 강도의 첨두 값은 그 작용시간이 극히 짧고, 또 장소적인 위상을 가지고 작용하므로 양압력 강도 P가 도판의 자중 q(단위면적당중량, kN/㎡)를 초과했다고 해서 당장 도판이 동요하거나 낙하하지는 않는다.
이러한 관점에서 도판이 진동하는 한계의 중량 및 낙하하는 한계의 중량을 구하고 있다. 주기 2.4초의 파가 작용할 때 진동한계중량과 파고의 관계는 다음과 같다.

$$q = \rho_o g(1.6H - 0.9s)$$ 참고 식 (4.3-98)

여기서 q는 도판의 진동한계중량(振動限界重量)이다. 참고 식 (4.3-98)의 진동한계중량은 참고 식 (4.3-97)에 의한 양압력 강도의 1/5이다. 또 진동한계중량은 낙하한계중량(落下限界重量)의 1/2∽1/3이다. 이 도판의 실험에서 도판에 여러 가지 크기의 구멍 또는 간격을 설치하고 도판의 공극율의 변화에 의한 안전중량의 변화도 검토하고 있다. 도판의 진동한계중량은 구멍을 뚫지 않을 때에 비하여 공극률이 비교적 적을 때(1% 정도)는 공기가 빠지기 쉬워 이로 인해 수면이 도판에 강하게 부딪혀서 약간 증대되는 경향이 있으나 일반적으로 공극율의 변화에 의한 증감은 적다. 이에 반하여, 낙하한계중량은 공극률이 20%를 넘는 범위에서는 명확히 감소하고 있다. 여기서 말하는 도판의 중량은 공극 부분을 제한 실질 부분의 단위면적당 중량을 의미한다.
이처럼 공극률에 의한 진동한계중량, 즉 도판의 실질 부분의 단위면적당 안정중량의 증감은 적으므로 구멍을 뚫는 것에 의해 어느 면적 전체의 중량을 감할 수 있다. 그리고 낙하한계중량은 공극율의 증대에 의하여 감소한다. 이 두 가지에서 공극률을 높이는 것이 좋음을 알 수 있다.
이토(伊藤)와 다께다(竹田, 1967)는 잔교 모형의 상부공의 슬래브에 변형계를 설치하여 응력을 측정하였다. 그 결과 슬래브에 등분포로 작용한다고 가정한 등가정하중(等価靜荷重)(kN/㎡)으로 나타내었다.

$$\rho = 4\rho_o g H$$ 참고 식 (4.3-99)

단, 실험값의 상한에 대응하는 것으로 조위에서 상부공 하면까지의 거리 s가 대략 0인 경우에 대한 것으로 생각해도 좋다.

참고 식 (4.3-99)로 나타낸 등가정하중은 일반적으로 저면이 평탄한 수평판에 작용하는 양압력보다 적다. 이것은 거더나 보에 의해 충돌하는 파면이 교란되거나 공기를 가둬 두기 때문이다.

또한 아주 국지적이고 시간적으로 짧은 양압력은 등가정하중으로서는 적은 값이라 생각된다.

(4) 저면이 평탄한 수평판에 작용하는 양압력(진행파의 경우) 수면 부근에 고정된 수평판에 진행파가 작용하는 경우에도 충격적인 양압력은 작용한다. 다니모토(谷本) 등(1977)은 중복파가 작용하는 경우와 같다고 보고 이 충격적인 양압력의 산정법을 제안하고 있다.

(5) 디태치드 피어(Detached pier) 상부공에 작용하는 양압력(진행파의 경우)

이토(伊藤)와 다께다(竹田, 1967)는 Detached pier에 작용하는 진행파에 의한 양압력을 검토 하였다. 즉, Detached pier 모형의 슬래브에 발생하는 응력을 측정하고 실험 결과의 상한 값에서 등분포의 등가정하중을 나타냈다.

$$\rho = 2\rho_o g H$$ 참고 식 (4.3-100)

(2) 수면 부근의 연직판에 작용하는 수평파력

> 수면 부근의 연직판에 작용하는 수평파력은 수리모형실험 등과 같은 적절한 방법으로 산정하여야 한다.

[해 설]

수면 부근에 설치된 커튼벽(Curtain wall) 등과 같이 두께가 얇은 연직판이나 고정식 시버스의 돌핀 상부공 등의 수평판의 연직면에는 수평파력이 작용한다. 이 수평파력의 산정은 수면의 위치나 자유표면의 존재에 의한 조파저항력(造波抵抗力) 등을 고려할 필요가 있다.

[참 고]

(1) 돌핀 상부공에 작용하는 수평파력

다니모토(谷本) 등(1977)은 돌핀 상부공을 주대상으로 수면 부근의 고정구조물에 작용하는 수평파력의 산정식을 제안하고 있다.

(2) 커튼벽에 작용하는 수평파력

다니모토(谷本) 등(1977)은 전술한 수평판의 수평파력의 산정식을 수면 부근에 고정시킨 커튼벽에 작용하는 수평파력의 산정식으로 쓰는 것도 제안하고 있다.

또, 이러한 몰수수심(沒水水深)이 얕은 커튼벽에 대하여는 久宝 등(1973)도 산정식을 제안하고 있다.

모리히라(森平) 등(1964)은 커튼벽을 방파제로 쓰는 경우에 작용하는 수평파력을 실험적으로 구하고 있다.
그 결과에 의하면, 커튼벽의 몰수수심 d와 수심 h의 비(比)가 0.255보다 큰 범위에서는 해설 식 (4.3-2)의 직립벽에 작용하는 파력의 표준산정식에 주어진 파압 분포에 있어서 판의 하단에서 해저까지의 부분을 뺀 합력의 0.6∽1.0 정도인 파압합력으로 되어 있다. 또, 세키모토(關本) 등(1988) 등은 입사각을 고려한 커튼벽에 작용하는 파력의 산정법을 나타내고 있다.

4.3.9.6 부체에의 작용과 그 동요

부체에 작용하는 힘 또는 부체의 동요는 부체의 형상, 계류방법 및 규모 등에 따라 다르므로 해당 조건에 부합하는 적합한 해석법 또는 수리모형실험으로 산정하여야 한다.

[참고]

(1) 일반

① 부체는 바람, 물결, 파랑 등의 작용에 의해 발생하는 동요량 및 계류력을 충분히 감안하여 적절하게 성능조사를 행할 필요가 있다.

② 일반적으로 부체라고 하는 것은, 수중에서 부력을 가지고, 일정 범위의 운동이 허용된 상태에서 공용되는 구조물을 말한다. 부체의 성능조사에서는 부체에 요구되는 기능에 대한 검토와 안정성에 대한 검토를 함께 행해야만 한다. 각각의 검토에 있어 설계조건의 설정이 일반적으로 다른 것에 주의해야 한다.

③ 부체의 계류 장치는 일반적으로 계류라인, 계류앵커, 싱커, 중간웨이트, 중간브이, 계류간, 조인트장치, 방위공 등 몇 가지 요소의 조합으로서 구성되며, 다양한 종류가 있다. 계류 장치는 부체의 운동에 크게 영향을 미치며 그 안정성을 적절하게 조사하는 일이 중요하다.

④ 부체는 그 계류방법에 의해서도 분류할 수 있다. 계류방법으로서는 이하에 나타낸 것과 같이 카테나리 계류(이완계류), 긴장계류, 돌핀계류 등이 있다.

가. 카테나리 계류[참고 그림 (4.3-60)(a) 참고]

가장 일반적인 계류방법이다. 이것은 체인 등을 사용하여 길이에 충분히 여유를 가지고 이완 계류하는 방법으로 부체의 운동 자체를 구속하는 힘은 적으나, 부체를 그 위치에 유지하는 기능은 있다. 이 계류방법은 계류라인의 재질, 계류라인의 수, 중간브이나 싱커의 유무 등에 의한 다양한 종류가 있다.

나. 돌핀계류[참고 그림 (4.3-60)(b) 참고]

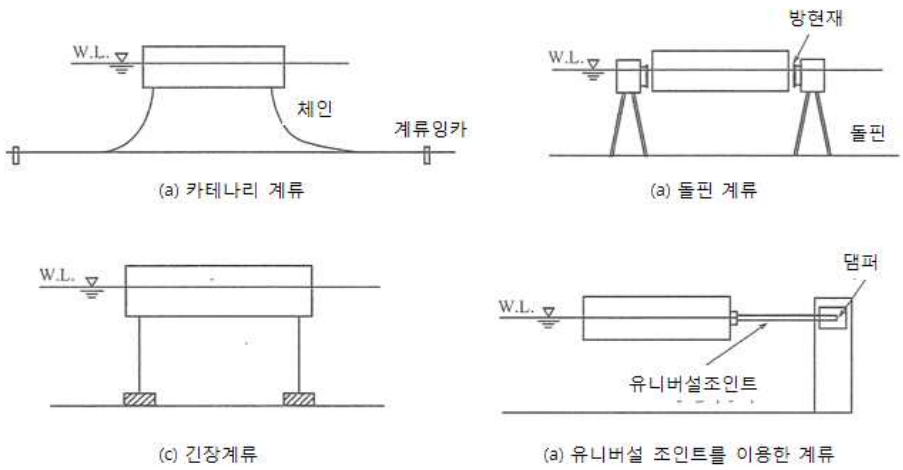
중력식의 돌핀 등에 의해 계류하는 방법이다. 일반적으로 부체의 수평방향의 동요를 구속하는 데에 적합하며, 돌핀에는 커다란 계류력이 작용한다.

다. 긴장계류[참고 그림 (4.3-60)(c) 참고]

부체의 동요를 현저하게 감소시키는 계류방식이며, 텐션레그 플랫폼 (TLP)이 그 예이다. 이는 계류라인에 큰 초기장력을 부여하여, 부체의 동요에 의해서도 계류라인이 이완되지 않도록 하는 방법이다. 이 방법은 부체의 동요량이 적은 특징을 가지는 것 외에도 계류라인의 설치에 필요한 면적이 적다는 장점을 가진다. 단, 계류라인에 큰 장력이 발생하기 때문에 이의 적절한 설계가 부체 전체의 안정성에 크게 영향을 미치는 것에 주의를 기울여야만 한다.

라. 유니버설조인트를 사용한 계류방법[참고 그림 (4.3-60)(d) 참고]

그림에 나타낸 계류 장치는 대형부체의 계류법 중 하나이다.



참고 그림 (4.3-60) 부체의 계류방법 예

(2) 부체에 발생하는 작용

① 작용의 종류와 그 산정법

부체구조의 항만시설에서 부체에 작용하는 힘 또는 부체의 동요에 기인하는 힘은 일반적으로 풍항력, 흐름항력, 파랑 강제력, 파랑 표류력, 조파 저항력, 복원력 및 계류력이다. 이들 힘은 부체의 계류방법 및 규모 등에 따라 적절한 해석법 및 수리모형실험에 의해 산정할 필요가 있다.

② 풍항력

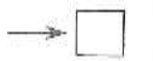
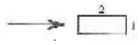
부체의 일부가 해면상에 있는 구조물에서는 바람에 의한 힘이 작용한다. 이 힘이 풍항력(풍압력)이라 불리는 힘으로서 압력항력과 마찰항력이 있다. 부체의 규모가 비교적 작을 때는 압력항력이 지배적이고, 이는 풍속의 2승에 비례하는 힘으로서 다음 식으로 나타낸다. 다음 식에 있어 첨자 k는 특성 값을 나타낸다.

$$F_{Wk} = \frac{1}{2}\rho_a C_{DW} A_W U_{Wk}^2$$ 참고 식 (4.3-101)

여기서, F_W : 풍항력(N)
F_W : 공기의 밀도(kg/m^3)
A_W : 바람이 부는 방향으로부터 부체 해상부의 투영면적(m^2m2)
U_W : 풍속(m/s)
C_{DW} : 풍항력 계수

풍항력 계수는 풍압력 계수로도 불리는 비례상수로서 풍동실험 등에 의해 구할 수 있다. 단, 비슷한 형상에 대해 이미 구해져 있는 기존의 실험값을 사용해도 좋다.
정상류 중의 물체의 풍항력 계수에 대해서는 참고 표 (4.3-15)와 같은 수치가 제안되고 있다. 이 표를 보면 알 수 있듯이 항력계수는 부체의 형상 및 풍향, 레이놀즈수에 의해 변화한다. 또한 풍압력은 수면상의 부체의 투영도의 중심을 작용점으로 하여 풍속방향에 작용하는 것으로 판단되지만, 부체가 커지게 되면 반드시 그렇지만도 않다는 것에 유의해야만 한다. 또, 실제 바람의 속도는 한결같이 연직방향인 것은 아니기 때문에 풍압력의 계산에 사용하는 풍속 U_W는 해면상 10m 지점에 있어서의 값을 사용한다.

참고 표 (4.3-15) 풍압력계수

	정방형단면	2.0 [1.2] (0.6)
	정방형단면	0.6 [1.4] (0.7)
	장방형단면 변 길이비 (1:2)	2.3 [1.6] (0.6)
	장방형단면 변 길이비 (1:2)	1.5 (0.6)
	장방형단면 (변 길이비 1:2, 한 면을 땅에 접한 경우)	1.2
	원형단면 (표면이 미끄러움)	1.2 (0.7)

〔 〕는 한변의 1/4의 지름을 가지고 자른 경우
( )는 한계 레이놀즈수 이상의 수치

③ 흐름항력

조류 등의 흐름이 존재하는 경우, 부체의 수몰부분에는 흐름에 의한 힘이 작용한다. 이 힘을 유압력 또는 흐름항력이라 부르며, 풍항력의 경우와 마찬가지로 유속의 2승에 비례하는 힘이다. 단, 일반적으로 흐름의 빠르기는 작으므로 흐름과 부체운동속도와의 상대속도의 2승에 비례하는 힘으로 하여 다음 식으로 나타낸다.

$$F_{Ck} = \frac{1}{2}\rho_0 C_{DC} A_C |U_{CK} - U_k|(U_{Ck} - U_k)$$ 참고 식 (4.3-102)

여기서, F_C : 흐름항력(N)

ρ_0 : 유체의 밀도(kg/m^3)

A_C : 수면 아랫부분의 흐름방향 투영면적(m^2)

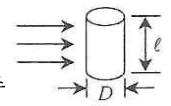
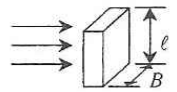
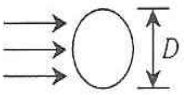
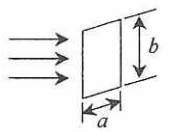
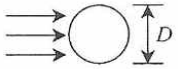
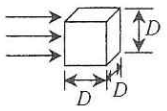
U_C : 흐름의 속도 (m/s)

U : 부체의 운동속도 (m/s)

C_{DC} : 흐름에 대한 항력계수

C_{DC}는 레이놀즈수의 함수이며 이 값이 클 때는 참고 표 (4.3-16)의 정상류 중의 항력계수의 값을 사용해도 좋다.

참고 표 (4.3-16) 항력계수

물체의 형상	기준면적	항력계수
원주 	Dl	$1.0\,(l > D)$
각주 	Bl	$2.0\,(l > B)$
원판 	$\frac{\pi}{4}D^2$	1.2
평판 	ab	$a/b =$ 1의 경우 1.12 〃 2 〃 1.15 〃 4 〃 1.19 〃 10 〃 1.29 〃 18 〃 1.40 〃 ∞ 〃 2.01
구 	$\frac{\pi}{4}D^2$	0.5~0.2
육면체 	D^2	1.3~1.6

일반적으로 흐름에 대한 항력계수는 부체의 형상이나 흐름의 방향, 레이놀즈수에 의해 변화한다. 또 풍압력과 마찬가지로 흐름에 의한 힘의 방향과 흐름의 방향이 반드시 일치하지는 않는다. 또, 부체의 흘수가 깊어지면 흐름에 대한 항력계수는 일반적으로 커진다. 이를 천수효과라 부르며 해저면과 부체 하단부와의 간격이 좁아지면 물이 부체 하부를 통과하여 흐르기 어려워지기 때문이다.

④ 파랑강제력

파랑강제력은 부체가 수중에 고정되어 있는 것으로 생각될 때, 입사파에 의해 부체에 작용되는 힘이다. 이 힘은 입사파의 파고에 비례하는 선형적인 힘과 파고의 2승에 비례하는 비선형적인 힘으로 이루어진다. 선형적인 힘은 부체가 입사파를 변형시키고 그 반작용으로서 입사파로부터 부체가 받는 힘이며, 입사파의 변형을 나타내는 속도포텐셜은 파의 회절이론에 의해 구한다. 한편, 비선형적인 힘은 파의 유한진폭성에 수반되는 힘과 유속의 2승에 비례하는 힘으로 구성된다. 전자에 대해서는 이론적인 해석도 정립되어 있지만, 일반적으로 이 힘은 종종 무시된다. 후자인 유속 2승에 비례하는 힘은 특히 파장에 비해 부체지름이 작을 경우에 커지지만 실험적으로 정해야 한다.

⑤ 파랑 표류력

부체에 파가 작용하면, 운동의 중심위치는 서서히 파도의 진행방향으로 이동한다. 이 원인이 되는 힘을 파랑 표류력이라 하며, 2차원 부체에서 파의 에너지가 흩어지지 않는다고 가정했을 때 다음 식으로 나타낸다. 다음 식에 있어서 첨자 k는 특성값을 나타낸다.

$$F_{d_k} = \frac{1}{8}\rho_0 g H_{i_k}^2 R$$ 참고 식 (4.3-103)

$$R = K_R{}^2 \left\{1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)}\right\}$$ 참고 식 (4.3-104)

여기서, $\rho_0 g$: 해수의 단위체적중량(kN/m^3)
h : 수심 (m)
L : 파장 (m)
F_d : 단위폭당 파랑 표류력 (N)
H_i : 입사파고 (m)
K_R : 반사율
R : 표류력 계수

부체의 크기가 파장에 비해 아주 작을 때 파랑 표류력은 파랑 강제력에 비해 무시할 수 있지만, 부체가 커지면 지배적인 힘이 된다.

또, 파랑 표류력은 거대 유조선을 대상으로 한 일점계류부이 등 구속력이 약한 계류부체에 불규칙파가 작용했을 때, 장주기 동요(Slow drift oscillation)를 발생시키는 원인이 되어 특히 문제가 된다. 이 경우는 파랑 표류력으로서 장주기의 변동 표류력

이 부체의 장주기 동요에 크게 영향을 미친다. 예를 들어, 두 개의 다른 주파수의 파로부터 불규칙파가 구성되어 있다면, 변동 표류력은 다음 식으로 나타낸다. 다음 식에 있어서 첨자 k는 특성값을 나타낸다.

$$F_{d_k} = \frac{1}{4}\rho_0 g H_{i_k}^2 R\left(\frac{\omega_1+\omega_2}{2}\right)\left(1+\cos\left(\frac{\omega_1-\omega_2}{2}\right)t\right)$$ 참고 식 (4.3-105)

여기서, $\rho_0 g$: 해수의 단위체적중량 (kN/m^3)

F_d : 단위 폭 당 파랑(변동) 표류력 (N)

H_i : 입사파고 (m)

$R((\omega_1+\omega_2)/2)$: $\cos((\omega_1+\omega_2)/2)$의 규칙파에 의한 표류력 계수

ω_1 및 ω_2 : 파주파수 (rad/s)

t : 시간 (s)

⑥ 조파 저항력

조파 저항력은 부체가 정수(靜水) 중을 운동할 때, 부체가 유체에 작용을 미치는 힘의 반작용으로서 유체로부터 부체가 받는 힘이다. 이 힘은 부체를 정수 중에서 강제 운동시켜 부체에 작용하는 힘을 측정함으로써 구할 수 있지만, 일반적으로는 부체가 성분별로 운동하는 것으로 보고 부체 주변의 유체운동을 나타내는 속도포텐셜을 구해 해석하는 방법이 사용된다. 해석적으로 구하는 것은 부체의 운동에 비례하는 힘만으로 운동의 2승에 비례하는 비선형적인 힘은 구할 수 없다. 선형적인 힘(부체운동에 비례하는 힘) 중 부체의 가속도에 비례하는 항이 부가 질량항이 되고, 속도에 비례하는 항이 선형 감쇠항이 된다.

⑦ 복원력

정적 복원력은 부체가 정수 중을 운동할 때, 부체를 원래의 위치로 되돌아가도록 하는 힘으로 히빙, 롤링 및 피칭의 경우에 발생한다. 이 힘은 일반적으로 운동진폭에 비례하는 형태로 나타나지만, 운동진폭이 커지면 운동진폭에 비례하지 않게 된다. 그러나 일반적으로 정적 복원력은 진폭에 비례하는 것으로 보고 취급되는 일이 많다.

⑧ 계류력

계류력은 부체의 운동을 구속하기 위해 발생하는 힘(구속력)이며, 그 크기는 계류계의 변위복원특성 등에 의해 크게 달라진다.

⑨ 파랑 강제력과 조파 저항력의 잠재 속도에 의한 해법

파랑 강제력 및 조파 저항력은 유체운동을 나타내는 속도포텐셜을 구하고, 그 잠재속도로부터 계산하는 방법이 채택된다. 또, 조파 저항력 및 파랑 강제력을 구하기 위한 잠재속도의 해석법은 조파 저항력 및 파랑 강제력의 어느 쪽이든 경계조건이 달라지는 것뿐으로 기본적으로 같다.

잠재 속도는 영역분해법, 적분 방정식법 및 스트립법, 유한요소법 등에 의해 구할 수 있다.

⑩ 구형단면의 고정부체에 작용하는 파력

부체가 고정되어 있는 경우에는 해저와 부체주변의 경계조건을 충족하는 잠재속도로부터 파력이 구해지고, 이토 등(1972)의 유사이론에 의해 부방파제와 같은 긴 구형단면부체에 작용하는 파력을 구할 수 있다.

⑪ 계류재와 계류력

계류에 사용하는 재료와 그 특성에 관해서는 문헌[104]을 참조할 수 있다.

⑫ 초대형 부체식 구조물에 작용하는 힘

초대형 부체식 구조물에서는 부체의 규모가 크다는 점, 부체의 탄성변형을 무시할 수 없다는 점 등으로부터 ②~⑪)에서 기술한 작용이 규모가 작은 부체에 대한 것과 다르므로 그 특성에 대해 충분히 검토해야만 한다.

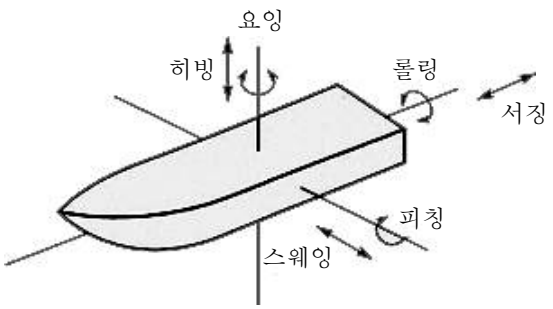
(3) 부체의 동요 및 계류력

① 부체의 동요 및 계류력의 산정법

부체의 동요 및 계류력은 부체의 형상, 작용 및 계류계의 특성에 맞춰 적절한 해석법 또는 수리모형실험에 의해 산정할 필요가 있다.

② 부체의 운동

부체운동은 바람이나 파도에 의한 힘과 부체 자신의 복원력 및 계류라인이나 방충재의 반력을 작용으로 하는 운동방정식을 풀어 구할 수 있다. 강체운동으로 가정될 때의 부체운동은 참고 그림 (4.3-61)에 나타난 것처럼 서징, 스웨잉, 히빙, 피칭, 롤링 및 요잉의 6성분으로 구성된다. 이 중 서징, 스웨잉, 요잉의 수평면 내의 운동은 주기 수분 이상의 장주기변동을 나타내는 일이 있다. 장주기의 동요는 계류라인의 피박 면적이나 계류장치의 조사에 크게 영향을 미치므로 바람이나 파랑의 장주기 변동성분 및 파랑 표류력만을 작용으로 하여 장주기의 동요만을 별도로 고려해도 좋다. 부체가 길고 커지면 동요에 수반하여 탄성변형이 발생하므로 필요에 따라 검토한다.



참고 그림 (4.3-61) 부체의 운동성분

③ 운동방정식의 해법

가. 비선형운동방정식의 정상해법

유체의 운동방정식은 비선형이며 해를 구하기가 쉽지 않다. 단, 운동의 미소진폭성을 가정하고 비선형항을 선형 근사하여 운동방정식을 선형화하면 비교적 간단하게 해를 구할 수 있다. 예를 들어, 3차원 부체의 경우에는 6가지 성분의 운동

진폭과 위상차에 관한 연립 일차방정식이 된다. 또, 부체운동이 강체운동이라고 가정된 선형의 경우에 운동은 작용에 비례한다. 특히 바람과 흐름에 의한 힘이 없을 때는 운동은 파고에 비례한다.

나. 비선형운동의 수치 시뮬레이션

일반적으로 풍항력이나 흐름항력은 비선형이며, 구속력도 비선형인 경우가 많다. 이 경우에는 운동방정식을 시간단계별로 풀어가는 수치해석이 유효하며, 현재 일반적으로 쓰이고 있다. 또한 수치해석은 각종 부체의 동요해석에 사용되고 있다. 수치해석에서 통상적으로 유체는 완전유체일 것, 부체의 동요량은 미소할 것, 입사파는 선형으로 중첩이 성립될 것 등의 조건을 전제로 하고 있다. 이러한 전제의 성립에 문제가 있는 경우 등에는 수리모형실험을 행해야만 한다.

④ 수리모형실험

부체의 운동이나 계류력을 구하는 수단으로서 수리모형실험은 유력한 방법 중 하나로서 지금까지 다양한 부체에 관한 수리모형실험이 실시되고 있다. 수리모형실험을 행할 경우에는 부체의 관성 모멘트나 계류장치의 특성에 관한 상사법칙에 충분히 유의해야 한다.

⑤ 부체 동요량과 계류력의 통계처리

불규칙파에 의한 수치해석이나 수리모형실험에 의해 얻어진 부체의 동요량이나 계류력은 시간적으로 불규칙적으로 변화한다. 따라서 부체의 동요진폭이나 계류력의 피크 값도 변화한다. 그 최댓값들은 파의 스펙트럼이 같아도 파의 작용시간이나 파의 연속이 달라지면 변화한다. 즉, 부체의 동요진폭이나 계류력은 확률변수가 되므로 통계처리를 행하고 기댓값을 추정해야 한다. 일반적으로 통계처리에서는 얻어진 동요진폭이나 계류력의 피크 값의 확률밀도분포를 정규분포나 레일레이분포 등에 적용하여 기댓값의 추정을 행한다.

⑥ 구형 단면부체의 동요와 계류력(구속력)

구형 단면부체의 동요량과 계류력에 대해서는 비교적 취급이 쉬운 이토 등(1972)의 근사이론을 적용할 수 있다.

⑦ 계류계의 상사법칙

부체의 운동특성은 계류방법에 의해 크게 달라지므로 계류장치의 변위.반력특성을 적절히 유사하게 하는 것이 부체의 수리모형실험에서는 특히 중요하다. 예를 들어, 계류 로프에 대해 실물과 같은 재질을 사용하여 형상만 비슷하게 한 것으로는 상사법칙이 성립되지 않는다. 모형재료의 탄성계수를 그 축척만큼 실물보다 작게 할 필요가 있다. 그러나 실제로는 이런 재료를 찾는 일이 불가능하며 보다 다양한 연구가 필요하다.

4.3.10 피복재 안정질량

4.3.10.1 경사면의 피복석 또는 블록의 안정질량

(1) 파력을 받는 경사면의 표면에 피복되는 사석 또는 인공블록의 안정질량은 수리모형실험 또는 해당 조건에 부합하는 적합한 산정식으로 산정하여야 한다.
(2) 경사제의 사면피복재는 내부사석 등을 보호하는 것으로 그 자체가 산란되지 않도록 안정한 질량(소요질량)을 확보하여야 한다.
(3) 안정질량 산정 시 파랑의 불규칙성을 고려하여야 한다.

[해 설]

파력을 받는 경사면의 표면에 피복하는 사석 또는 인공블록의 안정질량은 안정계수 N_s를 사용하는 다음과 같은 일반화된 허드슨식(Hudson, 1959)으로 계산할 수 있다.

$$M = \frac{\rho_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3}$$ 해설 식 (4.3-5)

여기서, M : 사석 또는 블록의 안정에 필요한 최소질량(t)
ρ_r : 사석 또는 블록의 밀도(t/m^3)
S_r : 사석 또는 블록의 해수에 대한 비중
H : 안정계산에 사용하는 파고(m)
N_s : 피복재의 형상, 경사, 피해율 등에 의해 결정되는 계수(안정계수)

해설 식 (4.3-5)은 혼성제의 사석부나 다른 피복재에도 적용될 수 있는 일반적인 식이다. 피복재의 안정성에 대해서는 과거 소요중량이라는 용어를 사용하였으나 SI단위의 도입에 따라 중량이 아니고 질량으로 정의하는 것이 합리적이므로 소요질량을 쓴다.

[참 고]

(1) 안정계수와 대표직경
안정계수는 파고 H에 대해서 필요한 피복재의 크기(대표직경)와 직접적인 관계가 있다. 즉, 대표직경을$D_n = (M/\rho_r)^{1/3}$로 하고, $\triangle = (S_r - 1)$로 해서 해설 식 (4.3-5)에 대입하면 $H/(\triangle D_n) = N_s$으로 보다 간단한 식이 되어 파고와 대표직경은 비례하고 $\triangle N_s$가 비례상수가 된다.

(2) 설계계산에 사용하는 파고(H)
허드슨식은 규칙파에 의한 실험결과를 바탕으로 제안된 것으로 실제 불규칙파가 작용하는 경우에는 어떤 파고를 사용할 것인가가 문제가 된다. 그러나 사석 또는 블록에 의해 구성되는 구조물로는 불규칙파군 중의 최고파 하나로는 파괴되지 않고 크고 작은 파들의 연속적인 작용에 의해 차례로 피해가 진행되어 가는 경향을 갖고 있다.

이러한 특성과 기왕의 실적 등을 감안하여 해설 식 (4.3-5)의 파고 H는 불규칙파군의 규모를 대표하는 것으로서 사면 설치위치에서 진행파의 유의파고를 사용하는 것을 표준으로 하되 경우에 따라서 $H_{1/10}$ 또는 $H_{1/20}$에 대해서도 검토할 수 있다(C.E.M, 2006). 그러나 일반화된 허드슨식을 사용할 경우에는 유의파고를 사용한다. 단, 수심이 환산심해파고의 0.5배 이하인 지점의 경우에는 환산심해파고의 0.5배인 수심에서의 유의파고를 사용한다.

(3) N_s값에 영향을 주는 인자

피복석이나 블록의 소요질량은 해설 식 (4.3-5)에 나타난 것과 같이 파고와 피복재의 밀도, 안정수 N_s에 의해서 변하지만 N_s값은 구조물의 특성, 피복재의 특성, 파의 특성 등의 영향을 나타내는 계수이고 주로 다음과 같은 요인에 의해 그 값은 변한다.

① 구조물의 특성

가. 구조형식(경사제, 소파블록 피복제, 혼성제 등)

나. 피복사면의 경사

다. 피복위치(제두부, 제간부, 정수면에서의 위치, 비탈어깨(法肩) 또는 비탈면, 후면, 소단 등)

라. 천단고 또는 폭, 상부공의 형상

마. 하부피복층(투수계수, 두께, 고르기 정도)

② 피복재의 특성

가. 피복재의 형상(피복석의 형상이나 블록의 형상, 피복석의 경우는 입도 분포)

나. 쌓는 방법(층두께, 정적 또는 난적 등)

다. 피복재의 강도

③ 파의 특성

가. 파수(작용하는 파의 수)

나. 파형경사

다. 해저형상(해저경사, 리프(reef)의 유무 등)

라. 수심과 파고의 비(쇄파와 비쇄파, 쇄파형태 등)

마. 파향과 파의 스펙트럼 형상이나 파군성(波群性)

④ 피해의 정도(피해율, 피해레벨지수, 피해정도)

설계에 사용되는 값은 상황에 대응하는 수리실험결과를 바탕으로 적절히 정한다. 더욱, 유의파에 대응하는 규칙파를 사용한 실험결과와 불규칙파 실험결과(鹿島 등, 1995)를 비교한 예로는 0~10%범위로 동일한 피해율이 되는 규칙파고와 유의파고의 비에 의해서 1.0~2.0 범위에 드문드문 산재하는 불규칙파가 작용하는 편이 보다 파괴적인 경향이 인정된다. 이 때문에 실험은 불규칙파에 의한다.

⑤ 안정수 N_s와 K_D값

허드슨은 1959년 이리바렌-허드슨(Iribarren-Hudson)식을 대체할 수 있는 허드슨식을 발표했다. 해설 식 (4.3-5)는 허드슨이 제안한 것이며 안정수 N_s대신에 $K_D\cot\alpha$를 쓴 것이다.

$$N_s^3 = K_D \cot\alpha$$ 참고 식 (4.3-106)

여기서, α : 사면이 수평면과 이루는 각(°)
K_D : 주로 피복재의 형상 또는 피해율 등에 의해서 결정되어지는 정수

허드슨식은 광범위한 실내실험결과를 바탕으로 하고, 또한 현지 사용실적도 많으므로 사면피복재의 소요질량은 허드슨식(K_D값에 의한 허드슨식)에 의해 산정해 왔다. 단, 해설 식 (4.3-5)의 안정계수에 의한 허드슨식은 다음에 서술하는 혼성제 사석부의 피복재 소요질량 산정식으로써 사용되고 있고, 또 잠제 등 다른 구조물의 피복재에 대해서도 사용되고 있기 때문에 기왕의 K_D값을 이용한 식보다 일반적인 식이고, 안정계수에 의한 허드슨식을 사면피복재 소요질량 산정식의 기본식으로 생각된다.
안정계수 N_s에 대해서는 참고 식 (4.3-106)을 쓰면 K_D값과 사면과 수평면이 이루는 각 α를 이용하여 그와 대응하는 값을 구할 수 있으며, 실적이 있는 K_D값이고 통상의 사면각도일 경우에는 문제가 없다. 단, 이제까지 제시된 그 많은 K_D값들은 구조물이나 파의 특성 등의 여러 가지 요인을 충분히 포함하지 않기 때문에 꼭 경제적으로 되어 있다고는 할 수 없다. 따라서 보다 적절한 소요질량의 산정을 위해서는 조건에 맞는 실험결과를 사용하거나, 다음 여러 종류의 요인을 포함한 산정식(산정도)를 사용하는 것이 바람직하다.

(4) 파의 특성을 포함한 피복석의 안정계수 산정식

반 데 미어(Van der Meer, 1987)는 천단고가 높은 경사제의 사면피복석에 관한 체계적인 실험을 실시하고 사면경사뿐 아니라 파형경사나 파의 수. 그리고 피해의 정도를 고려하는 다음과 같은 안정계수를 제안하고 있다. 단, 다음 식은 반 데 미어식 중에서 초과확률이 2%인 파고 $H_{2\%}$를 $H_{1/20}$로 치환하여 계산이 편리하도록 약간 변경한 것이다(Van der Meer, 1987).

$$N_s = \max(N_{spl}, N_{ssr})$$ 참고 식 (4.3-107)

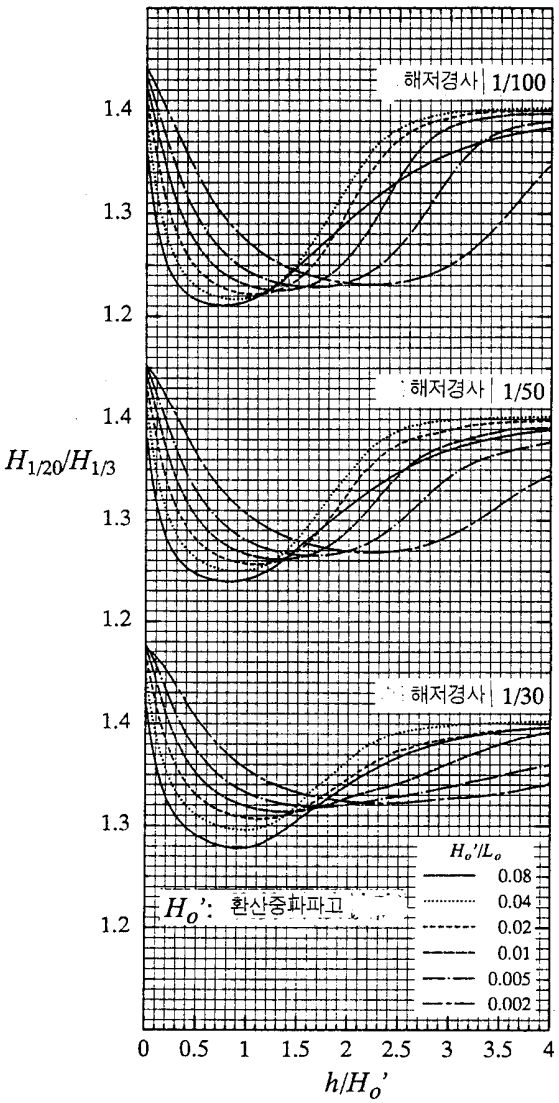
$$N_{spl} = 6.2 C_H P^{0.18} (S^{0.2}/N^{0.1}) I_r^{-0.5}$$

$$N_{ssr} = C_H P^{-0.13} (S^{0.2}/N^{0.1}) (\cot\alpha)^{0.5} I_r^P$$

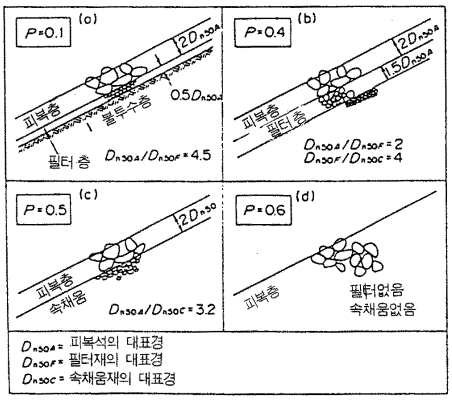
여기서, N_{spl} : 쇄파(Plunging breakers)에 대한 안정계수
N_{ssr} : 쇄기파(Surging breakers)에 대한 안정계수
I_r : 이리바렌수(Iribaren number) $(\tan\alpha / S_{0m}^{0.5})$
쇄파 유사성 매개변수(Surf similarity parameter)라고도 한다.
S_{om} : 파형경사($H_{1/3}/L_o$)
L_o : 심해파장($L_o = g T_{1/3}^2/2\pi, g = 9.81 m/s^2$)
$T_{1/3}$: 유의파 주기
C_H : 쇄파효과계수 $\{= 1.4/(H_{1/20}/H_{1/3}\}$ 비쇄파영역에서는 1.0

$H_{1/3}$: 유의파고
$H_{1/20}$: 1/20 최대파고[참고 그림 (4.3-62) 참조]
α : 사면이 수평면과 이루는 각(°)
D_{n50} : 피복석의 50% 질량에 상당하는 입경$(=(M_{50}/\rho_r)^{1/3})$
M_{50} : 피복석의 잘량누적곡선에서 50%에 해당하는 질량(피복석의 소요질량)
P : 피복층 하부의 투수지수[참고 그림 (4.3-63) 참조]
S : 변형정도$(S=A/D_{n50}^2)$ [참고 표 (4.3-17) 참조]
A : 침식부의 면적[참고 그림 (4.3-64) 참조]
N : 작용하는 파의 수

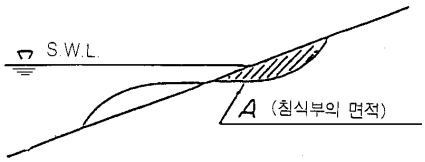
참고 그림 (4.3-62)에서 $H_{1/20}$은 외해측으로 $5H_{1/3}$거리에서의 값이고, H_o'는 환산심해파고이다. 변형정도는 피복석의 변형량을 나타내는 지수이고 피해율의 일종이다.



참고 그림 (4.3-62) $H_{1/20}$과 $H_{1/3}$의 비($H_{1/20}$은 $5H_{1/3}$ 외해측의 값)



참고 그림 (4.3-63) 투수지수 P



참고 그림 (4.3-64) 침식부의 면적 A

S는 파에 의해서 침식된 참고 그림 (4.3-64)의 면적 A를 피복석의 50% 직경 D_{n50}의 자승으로 나눠준 것이다. 피복석의 변형정도는 참고 표 (4.3-17)에 나타난 것과 같이 초기 피해, 중간피해 및 최종피해(피재)의 3가지의 단계로 정의하여 각각의 변형정도 S에 의해서 나타낸다. 통상 설계에서는 파수 N이 1,000파에 대해서 초기피해의 변형정도를 많이 사용하고 있으나 어느 정도 변형을 허용하는 설계에서는 중간 피해값을 사용하는 것도 고려할 수 있다.

참고로 파수가 1,000인 경우는 예를 들어 유의파 주기가 12초인 파가 3시간 20분정도 작용한다고 가정한다. 이는 태풍이 우리나라 주변 해역을 통과할 때 한 지점에서 약 3∽4시간 정도 설계파 주기에 상당하는 큰 파가 발생함을 의미한다.

참고 표 (4.3-17) 2층 피복의 경우에 있어서 각 단계의 피재(被災)에 대한 변형정도 S

사면경사	초기피재	중간피재	피 재
1 : 1.5	2	3∽5	8
1 : 2	2	4∽6	8
1 : 3	2	6∽9	12
1 : 4	3	8∽12	17
1 : 6	3	8∽12	17

(5) 파의 특성을 포함하는 블록의 안정계수 산정식

반 데 미어(Van der Meer, 1988)는 몇 개의 이형블록에 대해서도 모형실험을 실시하여 안정수 N_s의 산정식을 제안했다. 그 외에도 이형블록에 대한 산정식을 확립하기 위한 연구가 진행되고 있다.

(6) 소파블록 피복제의 블록안정계수 산정식

소파블록 부분의 단면은 여러 종류가 있으나 특히 직립벽 전면이 대략 전단면에 걸쳐서 소파블록으로 피복된 경우에는 그 투수성의 높이에서 통상의 경사제 피복블록[예 : 참고 그림 (4.3-64)]의 경우에 비해 높은 안정성을 유지한다. 다까하시·요시하(高橋·羊澤, 1998)등은 전단면에 난적된 소파블록에 대해 다음 식을 제안했다.

$$N_s = C_H \{a(N_o/N^{0.5})^{0.2} + b\}$$ 참고 식 (4.3-108)

여기서, N_o : 피해도(피해정도를 나타내는 피해율의 하나로 방파제 기준선방향(法線方向)의 폭 D_n의 범위 내에서 이동한 블록의 갯수. D_n은 블록의 대표직경)

C_H : 쇄파의 효과를 나타내는 계수, $C_H = 1.4/(H_{1/20}/H_{1/3})$

(비쇄파영역 $C_H = 1.0$)

a, b : 블록의 형상이나 사면경사 등에 의한 계수

(K_D값이 8.3의 이형블록으로 $\cot\alpha = 4/3$인 경우, a=2.32 , b=1.3 ; $\cot\alpha = 1.5$

인 경우는 a=2.32 , b=1.42)

또한, 다까하시·요시하(高橋·羊澤, 1998) 등은 내용연수 동안의 누적피해도(기대피해도)의 계산법을 제시한 바 있어 앞으로는 이를 고려한 신뢰성 설계법도 보다 고도의 설계기법으로서 중요하다. 비파괴 영역으로 파수 N은 1,000파 피해도 N_o가 0.3인 경우에 대략 종래의 K_D값에 의한 설계질량과 같다. 이때, 피해도 N_o = 0.3은 보통 피해율로 나타내면 대략 1% 정도이다.

(7) 제두부(堤頭部) 질량의 할증(割增)

제두부에는 파가 여러 방향에서 내습하고 비탈어깨(法肩)의 피복재는 전방보다는 오히려 후방(背面)으로 굴러 떨어지는 위험이 있다. 이 때문에, 제두부에 사용하는 사석 또는 콘크리트 블록은 참고 식 (4.3-106)으로 계산되는 값보다도 큰 질량의 것을 사용할 필요가 있다.

허드슨식은 사석에 대해서 약 10%, 콘크리트블록에 대해서 약 30%의 질량할증을 나타내고 있으나 이정도로는 충분치 못하므로 적어도 해설 식 (4.3-5)의 1.5배 이상인 질량의 사석 또는 콘크리트 블록을 사용하는 것이 바람직하다.

(8) 수면하(水面下) 부분의 피복재 질량

경사제의 수면보다 아래에 있는 부분은 파의 작용이 감소하므로 정수면하 1.5 $H_{1/3}$보다 깊은 부분은 질량이 작은 사석 또는 콘크리트블록을 사용할 수 있다.

(9) 파향에 대한 보정

구조물의 기준선에 대해서 비스듬히 파가 작용하는 경우, 파의 입사각이 어느 정도로 피복석의 안정성에 영향을 미치는 가는 아직 충분히 검토되지 않았다. 그러나 반 데 크리크(Van de Kreeke, 1969)가 파향을 0°(직각입사), 30°, 45°, 60°, 90°(기준선과 평행하게 입사)와 같이 변화시켜 가면서 수행한 실험결과에 의하면 파향 45° 이하의 피해율은 0°의 경우와 정도가 같고, 파향이 60°보다 큰 경우에는 피해율이 감소한다. 이러한 점을 고려해서 파의 입사각 β가 45° 이하일 때는 파향에 대한 소요질량을 보정하지 않는 것이 좋다. 또한 크리스텐센(Christensen, 1984) 등에 의하면 파의 방향분산성이 크면 안정성은 증가한다.

(10) 콘크리트블록의 강도

이형콘크리트블록의 경우에는 설계파 작용에 대해 소요질량을 확보해야 하는 점 외에

블록자체가 충분한 구조강도를 유지해야 한다.

(11) 리프(Reef)상의 소파블록의 안정성

일반적으로, 리프는 해저면(海底面)에서 급경사로 서있는 비교적 평탄하고 얕은 마루와 같은 지형을 형성한다. 따라서 여기에 큰 파가 침입하면 사면부근에서 쇄파되고 재생된 파가 리프상을 단파형상(段波形象)으로 전파한다. 리프에서의 파랑 특성은 입사파 조건 외에 리프상의 수심과 비탈면어깨(法肩)에서의 거리에 크게 지배되므로 소파블록의 안정성도 이에 의해서 크게 다르고 일반적인 경우보다 한층 복잡하다. 따라서 이는 조건에 적합한 수리모형실험 또는 유사한 조건을 갖는 실적을 기초로 하여 검토할 필요가 있다.

(12) 마루높이가 낮은 경사제의 블록 안정성

경사제 배후에 벽이 없고 마루높이가 낮고 소파블록에 의해 피복된 경우. 특히 배후측의 블록이 피해를 받기 쉬우므로 주의를 요한다[소가(曾我) 등, 1982]. 예를 들면, 소파블록에 의한 이안제의 경우는 소파블록 피복제와 달라서 배후의 벽에 의한 지지가 없고, 또한 마루높이도 그다지 높지 않기 때문에 마루 특히 배후의 블록이 피해를 받기 쉽고 이러한 피해사례가 보고되었다. 이와 같은 이안제의 경우에 마루 배후측의 블록은 그 종류에 따라 전면측보다 크게 할 필요가 있다.

(13) 급경사 해저상의 블록 안정성

해저경사가 급해서 권파형태의 쇄파가 발생할 때에는 블록의 형상에 의해서도 강한 파력이 작용할 수 있으므로 이에 대한 검토가 필요하다[다께다(竹田) 등)].

(14) 비중이 큰 블록

비중이 큰 골재를 사용해서 만든 블록의 소요질량도 안정계수를 사용한 허드슨식 해설 식 (4.3-5)에서 구한다. 이 블록은 안정성이 높고 작은 블록으로 안정한 피복층을 만들 수가 있다.

(15) 구조조건의 영향

소파블록의 안정성은 난적, 정적 등의 구조조건 또는 쌓는 방법에 따라 변한다. 일본항만기술연구소의 실험결과에 의하면 전체단면을 난적한 것과 사석의 표층을 2층으로 정적한 경우에 정적으로 잘 맞물리게 하는 것이 대부분 안정성이 뚜렷하게 개선되었다. 또한, 안정성은 소파블록의 마루폭이나 마루높이에도 영향을 받는다. 예를 들면, 마루폭이 넓고 또는 마루높이가 높은 경우가 안정성이 일반적으로 높다.

(16) 수리모형실험방법

블록의 안정성에 대해서는 영향을 주는 인자가 매우 많고, 아직도 충분히 해명되어 있지 않다. 이 때문에 실제 설계 시에는 모형실험에 의한 검토가 필요하고, 또한 이러한 실험결과를 계속 축적해 나가야 한다.

모형실험을 검토할 때에는 다음 사항을 참고로 한다.

① 실험은 불규칙파 사용을 표준으로 한다.

② 특정조건을 대상으로 한 실험에서는 3회(3波群)이상 반복해서 실험한다. 단 질량을 변화시켜서 수행하는 체계적인 실험에서는 많은 데이터가 얻어지므로 동일조건으로

반복할 필요는 없다.

③ 동일 파고 수준의 파를 작용시킬 때 1,000파를 표준으로 한다. 체계적인 실험이라 할지라도 500파 정도 이상이 바람직하다.

④ 피해정도에 대해서는 이제까지 사용한 피해율 외에 변형수준(Level)이나 피해도도 쓸 수 있다. 변형수준은 이동된 블록의 개수를 측정하기 어려울 때에, 피해도는 소파블록의 피해를 표시할 때에 적합하다. 피해율은 비파괴에 대한 파고를 H_D=( )이라고 하고 이 파고보다 높은 파고 H가 작용하였을 때 검사범위내의 피복재 층개수에 대한 피해를 받은 개수의 비율로 나타낸 것이다[참고 표 (4.3-18) 참조]. 이때, 검사범위는 대상으로 하는 블록질량에 대해 허드슨식에서 파고 H를 역산하여 정수면하 1.5H까지의 깊이 또는 피복된 부분의 하단에서의 깊이 중에서 얕은 쪽까지의 길이로 하는 범위이다.

단, 변형수준이나 피해도에 대해서는 검사범위를 정의할 필요는 없다. 더욱 피해의 판정은 블록길이의 1/2～1정도이상 이동한 블록을 피해로 한다.

(17) C.E.R.C가 제안한 K_D값

미국의 육군해안공학연구센타(C.E.R.C)가 제안한 피복석의 K_D값을 참고 표 (4.3-19)에 제시하였다(C.E.M, 2006). 표에서 ※를 하지 않은 값은 실험결과(규칙파실험)를 바탕으로 한 것이고 불규칙파작용에 대해서 피해율이 5%이하에 상당한다고 생각된다.

※표시의 값은 추측값으로, 예를 들면 2층으로 난적된 둥근 사석의 쇄파에 대한 값

※1.2는 모난사석(2층)의 쇄파의 K_D값이 비쇄파의 경우에 1/2인 것에서 유추하여 2.4의 절반인 1.2로 주어진 것이다. 그러나 규칙파 파고를 유의파고에 대응시키는 경우 규칙파실험의 쇄파상태로는 불규칙파의 최고파에 가까운 파가 연속적으로 작용하는 의미이므로 비쇄파조건과 비교해서 과대평가된다. 불규칙파 실험에서는 앞에서 언급한 바와 같이 유의파를 기준으로 하는 한 강한 쇄파조건일수록 역으로 K_D값이 크게 되는 경향이 있다. 적어도 쇄파조건에 대해 K_D값을 적게 할 필요는 없다. 더욱 1984년에 제안된 K_D값은 1973년에 제시된 것에 비해 다르게 추정되었다.

(18) 경사방파제 단면의 설계 및 수중부분의 사석 질량

참고 식 (4.3-106)은 강력한 파력이 작용하는 수면부근의 사석질량을 산출하는데 사용하는 것이다.

수중부분은 파력이 감소되므로 사석질량에 대해서는 참고 그림 (4.3-65)의 단면을 참조한다.

참고 표 (4.3-18) H/H_D=( )와 피해율과의 관계[1]

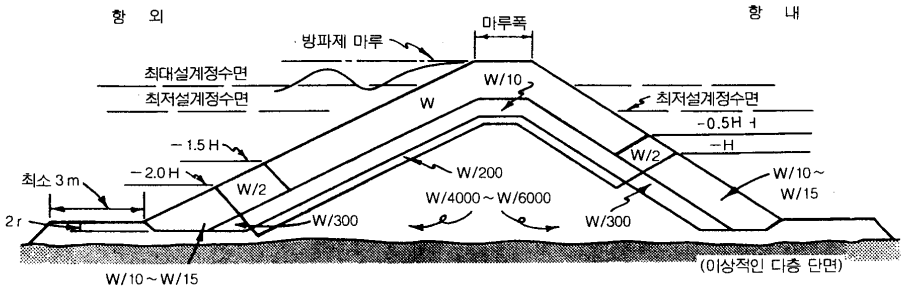
피 해 율 (%)	쇄석		T.T.P.	Tribar
	둥 근 돌	모 난 돌	H/H_D=( )	H/H_D=( )
	H/H_D=( )	H/H_D=( )		
0∽5	1.08	1.08	1.08	1.00
5∽10	1.08	1.08	1.09	1.11
10∽15	1.14	1.19	1.17[3]	1.25[3]
15∽20	1.20	1.27	1.24[3]	1.36[3]
20∽30	1.29	1.37	1.32[3]	1.50[3]
30∽40	1.41	1.47	1.41[3]	1.59[3]
40∽50	1.54	1.56[2]	1.50[3]	1.64[3]

주 : 1) 방파제의 제간부, 2층으로 난적, 비쇄파, 약간의 월류를 허용하는 조건
2) 고딕체로 쓰인 값은 내·외삽으로 계산된 것임.
3) 실험은 개개의 효과를 고려하지 않았으므로 설계파(設計波)보다 10% 이상 큰 파에 대해서는 제시된 값보다 상당히 피해를 입을 수가 있다.

참고 표 (4.3-19) 피복재 질량을 결정하기 위한 K_D값

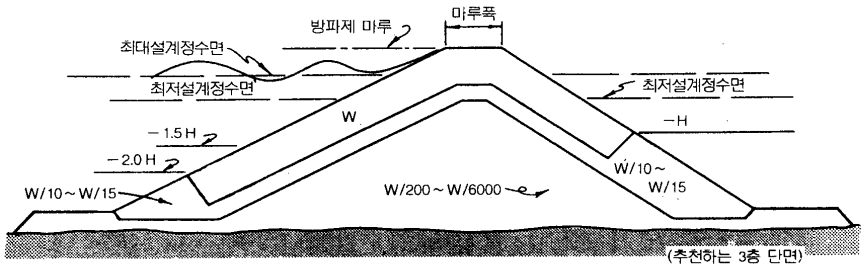
피복재	n[3]	거 치	제 간 부		
			K_D[2]		
			쇄 파	비 쇄 파	경사(傾斜)
매끈하고 둥근사석	2	난적	※1.2	2.4	1.5부터 3.0
〃	>3	〃	※1.6	※3.2	[4]
거칠고 모가 있는 돌	2	〃	2.0	4.0	1.5 2.0 3.0
〃	>3		※2.2	4.5	[4]
	2	특별한 것[6]	5.8	7.0	[4]
평면육면체돌[6]	2	〃[1]	7.0∽20.0	※8.5∽24.0	
테트라포드(Tetrapod) 또는 쿼드리포드(Quadripod)	2	난적	7.0	8.0	1.5 2.0 3.0
트라이바(Tribar)	2	〃	※9.0	10.0	1.5 2.0 3.0
돌로스(Dolos)	2	〃	15.8[7]	31.8[7]	2.0[8] 3.0
모디파이드큐브(Modified cube)	2	〃	※6.5	7.5	[4]
헥사포드(Hexapod)	2	〃	※8.0	9.5	[4]
토스케인(Toskane)	1	〃	※11.0	22.0	[4]
트라이바(Tribar)	1	정적	12.0	15.0	[4]

주: 1) 주의 : ※ 표시의 K_D값들은 실험에 의해 뒷받침된 것이 아니며 단지 임시로 설계목적을 위하여 제공된 것으로 이 값을 적용 시는 신중을 기하여야 한다.
2) 1:1.5부터 1:5까지 경사에 적용할 수 있다.
3) n은 피복층이 이루는 구성수
4) 경사에 따라 K_D값의 변화에 이용할 수 있는 보다 많은 지식이 체득될 때까지 K_D값의 사용은 경사 1:1.5에서 1:3까지로 제한되어야 한다.
5) 사석의 긴 축으로 특별한 거치는 구조물 표면에 수직으로 거치한다.
6) 평행육면체돌 : 긴 길이가 가장 짧은 길이의 약3배 정도 되는 긴 슬래브 같은 돌
7) 전혀 피해가 없는 조건(5%이하의 흔들림이나 이동 등)을 참조하고 전혀 흔들림이 없으려면(2%이하) K_D값을 50% 감소시킨다.
8) 1:2보다 더 급한 Dolos의 안정성은 현장조건에 적합한 실험에 의해 확인되어야 한다.

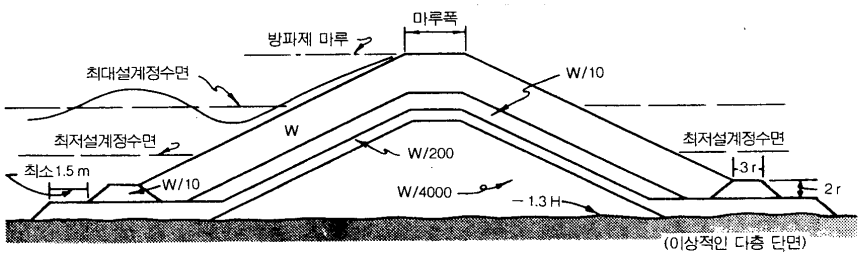


사석크기	층 별	사석크기의 범위(%)
W	피복층	125 to 75
W/2 and W/15	수중 피복층	125 to 75
W/10 and W/300	1차 중간층	130 to 70
W/200	2차 중간층	150 to 50
W/4000~W/6000	속채움 및 바닥깔기층	170 to 30

H = 설계파고
W = 피복재 개체의 질량
r = 층의 평균두께

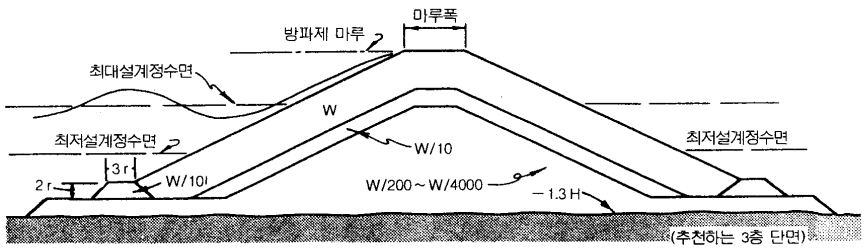


(a) 파랑이 바다측에서 내습하는 경우



사석크기	층 별	사석크기의 범위(%)
W	피복층	125 to 75
W/10	소단 및 1차 중간층	130 to 70
W/200	2차 중간층	150 to 50
W/4000	속채움 및 바닥깔기층	170 to 30

H = 설계파고
W = 피복재 개체의 질량
r = 층의 평균두께



(b) 파랑이 제체 양쪽에서 내습하는 경우

월파가 거의 없거나 어느 정도 있을 때

참고 그림 (4.3-65) 경사제 단면도(C.E.M 2004)

① 방파제 마루폭 : $B = nK_1\left(\frac{W}{W_r}\right)^{1/3}$

여기서, B는 마루폭, n은 층수(3이상), K_1층의 상수, W피복재의 개당 질량(kg), W_r, 피복재의 단위체적질량(kg/㎥)이다. 피복재 층의 상수와 공극률은 참고 표 (4.3-20)과 같다.

참고 표 (4.3-20) 피복재별 층의 상수와 공극률(SPM, 1984)

피 복 재	n	거 치	층의 상수 (K_1)	공극률 P(%)
사석(매끈한 것)	2	난 적	1.02	38
사석(거친 것)	2	〃	1.00	37
사석(거친 것)	>3	〃	1.00	40
사석(평면육면체돌)	2	〃	-	27
입방체돌(수정한 것)	2	〃	1.10	47
테트라포드(Tetrapod)	2	〃	1.04	50
쿼드리포드(Quadripod)	2	〃	0.95	49
헥사포드(Hexapod)	2	〃	1.15	47
트라이바(Tribar)	2	〃	1.02	54
돌로스(Dolos)	2	〃	0.94	56
토스케인(Toskane)	2	〃	1.03	52
트라이바(Tribar)	1	정 적	1.13	47

② 사석층의 두께 : $r = nK_l\left(\frac{W}{W_r}\right)^{1/3}$

여기서, r은 층의 평균두께(m), n은 사석이나 콘크리트의 피복층수, W는 각 피복재의 개당 질량(kg), W_r은 피복재의 단위체적질량(kg/㎥)이다.

③ 피복재의 개수 : $\frac{N_r}{A} = nK_l\left(1-\frac{P}{100}\right)\left(\frac{W_r}{W}\right)^{2/3}$

여기서, N_r은 주어진 면적당 각 피복재의 소요개수, A는 표면적(㎡), P는 피복재의 평균 공극률(%)이다.

④ 피복재 및 중간피복재의 층수

피복재 및 중간피복재의 층수는 2층을 표준으로 한다. 단, 해상조건, 피해사례, 거치방법 등을 고려하여 1층으로 할 수도 있다. 콘크리트블록 피복재는 블록 제안자가 제시하는 층수를 사용하되 수리모형실험으로 검토하는 것이 바람직하다.

⑤ 방파제의 선단에는 파향이 여러 방향으로부터 내습하여 사석이 전면보다 후면으로 굴러 떨어지는 경우가 있으므로 피복재는 전면보다 후면에 큰 사석을 사용해야 한다. 안정을 기하기 위해서는 제간부 피복재질량의 1.5배 이상인 사석 또는 블록을 사용하는 것이 바람직하다.

4.3.10.2 혼성제 사석부의 피복석 또는 블록의 안정질량

(1) 혼성제 사석부의 피복석 또는 인공블록의 안정질량은 수리모형실험 또는 설계 조건에 부합하는 적합한 산정식으로 산정하여야 한다.
(2) 안정질량 산정 시 파랑의 불규칙성을 고려하여야 한다.

[해 설]

파력을 받는 혼성제사석부의 피복석 또는 블록의 소요질량은 해설 식 (4.3-5)를 이용하여 산정할 수 있다. 혼성제의 사석부 피복재의 소요질량은 파의 제원이나 설치수심, 사석부의 두께, 전면 어깨폭(前 肩幅), 경사 등의 사석부 형상, 피복재의 종류나 쌓는 방법, 그리고 위치(제두부나 제간부) 등에 따라 다르다. 특히, 파의 제원과 사석부 형상의 영향은 경사면에 피복된 피복재에 미치는 영향보다 현저하다. 따라서 기존의 조사 연구성과나 현장실적을 참고하여 필요에 따라 모형실험을 실시하고 적절한 질량을 결정한다. 또 파의 불규칙성의 영향에 대해서도 충분히 유의해야 한다. 단, 혼성제 사석부 피복재의 안정성은 반드시 질량만으로 결정되는 것이 아니고 구조 또는 배열에 의해서 비교적 작은 질량의 것으로도 안정성을 확보할 수도 있다.

[참 고]

(1) 소요질량산정 기본식

혼성제 사석부의 피복재 소요질량은 사면피복재의 안정질량과 같은 일반화된 허드슨 해설 식 (4.3-5)에 의해 산정할 수 있다. 이 식은 브레브너와 도넬리(Brebner·Donnelly, 1962)에 의해서 직립벽 기초사석부의 소요질량 산정을 위한 기본식으로서 널리 사용되고 있다. 이론적인 측면에서도 어느 정도 타당성을 갖고 있으므로 혼성제 사석부 피복재의 소요질량은 이 식을 기본으로 산정한다[다니모토(谷本) 등, 1982]. 단, 안정계수 N_s는 수심, 파의 제원, 사석부의 형상, 피복재의 특성, 상대여유고뿐 아니라 그 위치(제간부나 제두부 등)에 따라서도 다르므로 조건에 적합한 수리모형실험에 의해서 적절히 결정할 필요가 있다. 또 설계계산에 사용되는 파고는 통상 유의파고이고 모형실험은 불규칙파를 사용한다.

(2) 피복석의 안정계수

안정계수 N_s는 브레브너 도넬리나 과거 피해사례를 기초로 하여 제안된 식 또는 수리실험결과를 토대로 하여 제안된 식들이 있다. 여기서는 다까하시·기무라(高橋·木村, 1990)등에 의해서 사석부 부근의 유속 다니모토 등(谷本 등, 1982), 파향 등의 영향을 고려한 식을 사용한다.

① 확장된 다니모토(谷本)식

$$N_s = \max\left\{1.8,\ 1.3\frac{1-K'}{K'^{1/3}}\frac{h'}{H_{1/3}}+1.8\exp\left[-1.5\ \frac{(1-K')^2}{K'^{1/3}}\frac{h'}{H_{1/3}}\right]\right\}\ ;\ B_M/L' < 0.25 \quad \text{참고 식 (4.3-109)}$$

설계조건

$$K = K_1(K_2)_B \qquad \text{참고 식 (4.3-110)}$$

$$K_1 = \frac{4\pi h'/L'}{\sinh(4\pi h'/L')} \qquad \text{참고 식 (4.3-111)}$$

$$(K_2)_B = \max\ \{\alpha_s\ \sin^2\beta\cos^2(2\pi l\cos\beta/L'), \cos^2\beta\sin^2(2\pi l\cos\beta/L')\} \qquad \text{참고 식 (4.3-112)}$$

여기서, h' : 기초사석부(피복층제외)의 마루의 수심(m)[참고 그림 (4.3-66) 참조]

l : 파가 직각으로 입사할 경우는 앞 어깨 폭 B_M (m)
파가 사각으로 입사할 경우는 앞 B_M 또는 B_M'중에서
$(K_2)_B$가 큰 편의 값[참고 그림 (4.3-66) 참조]

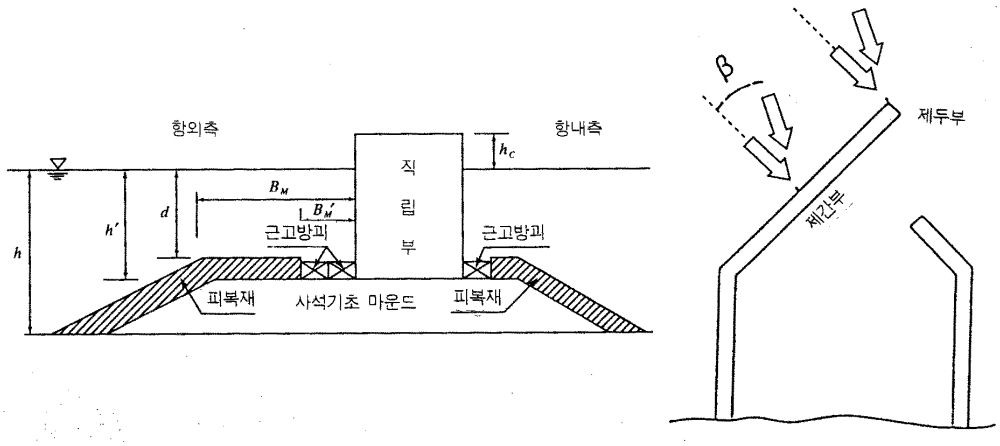
L' : 수심 h'에서 설계유의파 주기에 대한 파장(m)

α_s : 대상지점이 수평한 경우의 보정계수(= 0.45)

β : 파의 입사각(기준선방향과 이루는 각, 15°의 파향 보정은 하지 않음)
[참고 그림 (4.3-67) 참조]

$H_{1/3}$: 설계유의파고(m)

위 식은 제간부를 대상으로 하고 입사각이 60°까지 경사지게 입사하는 파에 대해서도 유효하다.



참고 그림 (4.3-66) 혼성제의 표준적인 단면과 기호 참고 그림 (4.3-67) 방파제의 방선형상이나 파향의 영향

② 변형을 허용하는 안정계수

사석부의 높이가 낮은 비쇄파 조건에 한정하여 기무라(須藤.木村, 1992) 등은 수리실험을 실시한 후 임의의 작용파수 N과 피해율 D_N(%)에 대한 안정계수 N_S를 구하는 식을 제안하였다.

$$N_s^* = N_s[D_N/\exp\ \{0.3(1-500/N)\}\ ]^{0.25} \qquad \text{참고 식 (4.3-113)}$$

여기서 N_s는 다니모토(谷本, 1982)식에 의해 주어지는 안정계수이고, N=500으로 피해율 1%인 경우의 안정계수이다. 설계에서는 피해의 진행상황에서 판단하여 N=1,000파를 채택할 필요가 있다. 한편 피해율로서는 2층 피복이면 3～5%로 해도 충분하다고 생각된다. 즉 N=500, D_N=1(%)을 주면 $N_s^* = 1.44N_s$가 되며 소요질량은 약 1/3이 된다.

(3) 피복블록의 안정계수

콘크리트블록의 안정계수 N_s는 블록의 형상, 쌓는 방법에 따라 각각 다르므로 수리모형실험에 의해 산정하는 것이 바람직하다. 실험은 불규칙파를 이용한다.

(4) 사석부 피복재에 대한 안정계수의 적용조건

사석부 피복재상의 수심이 낮은 경우는 쇄파에 의해 불안정하게 되는 경우가 많다. 이 때문에 안정계수는 $h'/H_{1/3} \geqq 1$인 조건일 때 적용하고, $h'/H_{1/3} < 1$일 때는 사면피복재의 안정계수를 사용하는 것이 적절하다. 더욱 다니모토(谷本, 1982)등의 피복석 안정계수는 $h'/H_{1/3}$이 적은 경우에는 실험으로 검증되지 않고 있다. 따라서 $h'/H_{1/3}$가 1정도일 때는 수리모형실험을 통해 확인하는 것이 바람직하다.

(5) 피복재의 층수

피복석의 층수는 2층을 표준으로 한다. 단, 시공예나 피해사례를 고려해서 1층으로 해도 좋다. 이때에 앞에서 참고 식 (4.3-113)의 N=1,000파에 대해 피해율을 1%로 줄여서 대응시키는 것도 생각할 수 있다. 또 피복블록의 층수에 관해서는 1층을 표준으로 하나 블록의 형상, 해상조건이 좋지 않은 경우에는 2층으로 해도 좋다.

(6) 제두부(堤頭部)의 피복재

제두부는 직립부 끝부분의 모서리로 국소적으로 빠른 유속이 발생하기 때문에 피복재가 움직이기 쉽고 이곳의 피복재질량의 할증에 대해서는 수리모형실험을 통해 확인할 필요가 있다. 수리실험을 하지 않는 경우에는 제간부 질량의 1.5배 이상으로 하는 것을 표준으로 한다. 또 범위에 대해서는 케이슨식의 방파제일 경우 제두부분의 케이슨 1개정도로 한다.

더욱 확장된 다니모토(谷本)식으로도 제두부 피복석 질량을 산정할 수 있다. 즉, 제두부의 경우에는 참고 식 (4.3-110)의 무차원유속 K를 다음과 같이 고쳐 쓴다.

$$K = K_1 (K_2)_T \qquad \text{참고 식 (4.3-114)}$$

$$(K_2)_T = 0.22 \qquad \text{참고 식 (4.3-115)}$$

단, 산정된 질량이 제간부의 1.5배 이하인 경우에는 1.5배로 하는 것이 바람직하다.

(7) 항내측의 피복

항내측 피복재의 필요여부 또는 소요질량은 기존의 설계 예를 참고로 함과 동시에 항

내측의 파나 시공시의 파의 조건, 월파 등을 고려하고 필요에 맞게 수리실험에 의해 결정한다.

(8) 피복재 질량의 저감

피복재 소요질량 산정식은 보통 사석부의 수평부나 비탈면어깨(法肩)를 대상으로 한 것이 있으나 사석부두께가 작은 때에는 사면부분 전체를 같은 질량으로 하는 경우가 많다. 그러나 사석부 두께가 클 때에는 수심이 깊은 사면부분의 질량을 저감할 수가 있다.

4.3.10.3 흐름에 대한 사석의 안정질량

흐름에 대한 사석 등의 안정질량은 수리모형실험 또는 설계조건에 부합하는 적합한 산정식으로 산정하여야 한다.

[해 설]

흐름에 대한 마운드의 사석 등의 피복재의 소요질량은 적절한 수리모형실험 또는 다음 식에 의해 산정하는 것을 표준으로 한다.

$$M = \frac{\pi \rho_r U^6}{48 g^3 y^6 (S_r - 1)^3 (\cos\theta - \sin\theta)^3}$$ 해설 식 (4.3-6)

여기서, M : 사석의 안정질량(kN)
ρ_r : 사석의 밀도(kN/m^3)
U : 사석의 상부에서의 물의 유속(m/s)
g : 중력가속도(m/s^2)
y : 이스바쉬의 정수(파묻힌 돌은 1.20, 노출된 돌은 0.86)
S_r : 사석의 물에 대한 비중
θ : 수로상(水路床)의 축방향의 사면의 경사(°)

또한, 흐름에 대한 피복재의 안정질량은 흐름이 빨라지면 갑자기 커진다는 것에 주의할 필요가 있다. 그리고 안정질량은 피복재의 형상이나 밀도 등에 의해서도 변화하는 것에 유의할 필요가 있다.

(1) 이스바쉬(Isbash)의 식

흐름에 대한 사석의 안정질량에 대하여는 미국의 해안공학연구센터(CERC)가 조류에 의한 세굴을 방지하기 위한 사석질량으로 해설 식 (4.3-6)을 제시하고 있다.

(2) 이스바쉬(Isbash)의 정수

해설 식 (4.3-6)은 경사면상의 구체에 작용하는 흐름 항력과 구(球)의 마찰저항과의 균형을 고려하고 유도한 것이다. 이 식은 정상류에 있어서의 힘의 균형을 고려했기 때

문에 심한 소용돌이의 생성이 예상되는 곳에서는 이 보다도 큰 질량의 사석을 사용할 필요가 있다.

(3) 지진해일 방파제 개구부의 마운드 피복재

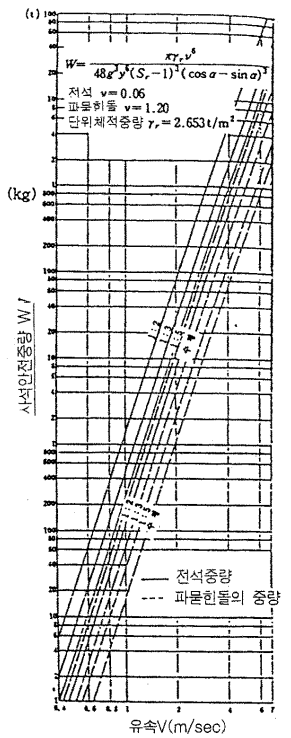
이와자키(岩崎) 등은 지진해일 방파제의 개구부 잠제(開口部 潛堤)의 마운드 피복재로서 이형블록을 사용한 경우 해설 식 (4.3-6)의 이스바쉬의 정수로 1.08을 얻고 있다. 다니모토(谷本) 등은 개구부를 대상으로 하는 3차원 평면실험을 행하여 개구부 부근에서의 3차원적인 흐름의 구조를 밝힘과 동시에 피복재로서의 석재나 이형블록을 사용한 경우의 이스바쉬 정수와 피해율의 관계를 밝히고 있다.

[참 고]

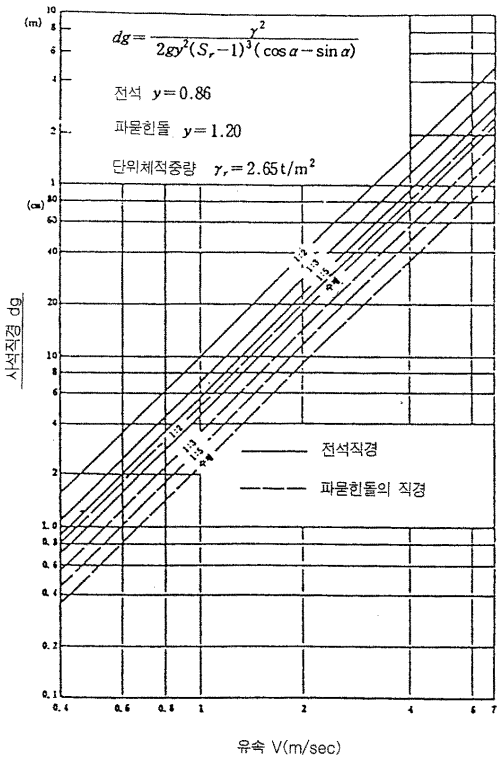
미국의 해안공학연구센터(CERC)이 제안한 사석질량 해설 식 (4.3-6)은 수평바닥 위의 구체에 작용하는 흐름의 항력과 구의 마찰저항과의 평형을 고려하여 유도된 것이다. 정수(y)는 $(2\mu/3C_D)0.5$와 같다. 단, μ는 마찰계수, C_D는 항력계수이다. 참고 그림 (4.3-68)은 해설 식 (4.3-6)에 의한 사석의 단위체적질량이 $2.65t/m^3$일 때의 사석질량 산정도이다.

참고 그림 (4.3-69)에 의해 사석(구형)의 직경을 쉽게 구할 수 있다. 단위체적질량이 다른 때에는 보정계수 f_n를 곱하면 된다.

또, 해설 식 (4.3-6)은 정상류에서 힘의 균형을 생각한 것이므로 심한 소용돌이의 생성이 예상되는 곳에서는 이보다 더 큰 질량의 사석을 사용해야 한다.



참고 그림 (4.3-68) 흐름에 대한 사석의 안정질량



참고 그림 (4.3-69) 흐름에 대한 사석 안정직경

[참고문헌]

1) 나카무라, 사사키, 야마다(1972), "복합단면에 있어서 파도의 처오름에 관한 연구", 제19회 해안공학강연회강연집, pp.309 ~ 312.
2) 다케우치, 나나사와(1961), "이마바리 해안에 있어서의 소위 군함파에 대해서", 일본 해양학회지 Vol.17 No.2, pp.80 ~ 90.
3) 사토, 후루카와, 다카하시, 호소야마(1992), "소파 블록피복상부사면제의 수리특성-나하항 대수심역에 있어서 신구조방파제의 개발", 해안공학논문집 제39권, pp.556 ~ 560
4) 운수성 항만기술연구소.항만국(1985), 부체공법개발조사보고서, pp.171
5) 이달수 등(2002), "경사식방파제의 최적 설계기술 개발(III)", 해양수산부 연구용역 보고서, 한국해양연구원.
6) 이달수 등(2003), "경사식방파제의 최적 설계기술 개발(IV)", 해양수산부 연구용역 보고서, 한국해양연구원.
7) 이달수 등(2004a), "경사제에 작용하는 총파력 : I. 수평파력 추정법", 2004년도 대한토목학회 정기 학술대회 논문집.
8) 이달수 등(2004b), "경사제에 작용하는 총파력 : III. 연직파력 추정법", 2004년도 대한토목학회 정기 학술대회 논문집.
9) 이종인, 배일로(2015a), “TTP로 피복된 경사식구조물의 처오름높이 산정식: 사면경사 1:1.5 조건”, 대한토목학회논문집, 제35권, 제4호, pp.845-852
10) 이종인, 배일로(2015b), “TTP로 피복된 경사식구조물의 처오름높이 산정식: 사면경사 및 피복층두께 효과”, 대한토목학회논문집, 제35권, 제5호, pp.1051-1059
11) 이토, 치바(1972), "부방파제의 수리에 관한 근사이론과 응용", 항만기술연구소보고 Vol.11 No.2, pp.15 ~ 28
12) 카타야마, 세키모토, 우에키(1998), "반몰 수형상부 사면제에 작용하는 파력특성에 관하여", 해안공학논문집 제45권, pp.776 ~ 780
13) 해양수산부(2019), 전국 심해설계파 산출 보고서
14) 호소이, 슈도(1932), "제방에 경사로 입사하는 경우의 처오름에 대하여", 제9회 해안공학강연회강연집, pp149 ~ 152.
15) Bretschneider. C.L.(1968), "Decay of ocean waves, Fundamentals ocean engineering-Part 8b", Ocean Industry, pp. 45 ~ 50.
16) Brebner, A. and D. Donnelly(1962), "Laboratory study of rubble foundations for vertical breakwaters", Proc. 8th Conf. of Coastal Eng, New Mexico City, pp. 408 ~ 429.
17) Cavaleri, L. and P.H. Rizzoli(1981), "Wind wave prediction in shallow water theory and applications", Jour. Geopyhs. Res., Vol. 86, No. C11, pp. 10,961 ~ 10,973.
18) CERC. Dept. of the Army U.S.(1992), Automated Coastal Engineering System. Tech. Ref.

19) Chae. J.W. and S.T. Jeong(1992), "Current-depth refraction and diffraction model for irregular water waves", Proc. 23rd ICCE, ASCE, Venice, Vol. 1, pp. 129 ~ 141.
20) Chen. T.C.(1961), "Experimental study on the solitary wave reflection along a straight sloped wall of oblique angle of incidence", Tech Memo 124, Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engineers.
21) Christensen. F.T., P.C. Broberg. S.E. Sand. and P. Tryde(1984), "Behavior of rubble- mound breakwater in directional and uni-directional waves", Coastal Eng., Vol. 8, pp. 265 ~ 278.
22) Coastal Engineering Research Center(1984), Shore Pretection Manual, Department of Army Corps of Engineers.
23) Collins, J.I.(1972), "Prediction of shallow water wares", Jour. Geopyhs. Res., Vol. 77, No. 15, pp. 2,693 ~ 2,702.
24) Goda. Y.(1988), "On the methodology of selecting design wave height", Proc. 21st ICCE, ASCE, Spain, pp. 899 ~ 913.
25) Goda. Y.(2010), Random Seas and Design of Maritime Structures, World Scientific.
26) Goda, Y. and Matsumoto, A.(2004), "A Simplified Theory on Total Wave Pressure Exerted on a Rubble Mound Breakwater", Proc of Asian and Pacific Coasts 2003, APAC094.
27) Golding. B.(1983), "A wave prediction system for realtime sea state forecasting", Quat, Jour. Royal Meleorol. Soc., Vol. 109, No. C11, pp. 393 ~ 416.
28) Gunther, H. et al(1979), "A hybrid parametrical wave prediction model", Jour. Geophys. Res., Vol. 84, pp. 5,727 ~ 5,738.
29) Hasselman, K.(1968), "Weak-interaction of ocean waves, Basic Developments in Fluid Dynamics", Vol. 2, Academic Press Inc., New York.
30) Hasselman, S and K. Hasselman(1985), "Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in a gravity wave spectrum", Part I : A new method for efficient computations of the exact nonlinear transfer integral, J. Phys. Oceanogr. 15, pp. 1,369 ~ 1,377.
31) Hiroi. I.(1919), "On a method of estimating the force of waves", 東京帝國大學工科紀要, Vol. X, No. 1, 19p.
32) Hudson. R.Y.(1959), "Laboratory investigation of rubble-mound breakwater", Proc. ASCE, Vol. 85, W.W.3, pp. 93 ~ 121.
33) Inoue, T.(1967), "On the growth of the spectra of a wind generated sea according to a modified Miles-Phillips mechanism and its application to wave forecasting", Geophysical Science Lab., TR-67-5, New York Univ., pp. 1 ~ 74.
34) Isozaki, I. and T. Uji(1973), "Numerical prediction of ocean wind waves", Papers of Meteorology and Geophysics, Vol. 24, No. 2, pp. 207 ~ 231.
35) Joseph, P.S., S. Kawai and Y. Toba(1981), "Ocean wave prediction by a hybrid

model combination of single-parameterize wind waves with spectrally treated Swells", Sci. Rep, Tohoku Univ., Set. 5, (Tohoku Geophys. Jurn.), Vol. 28, No. 1.

36) Keulegan. G.H. and L.H. Carpenter(1958), "Forces on cylinders and plates in an oscillating fluid", Journal of the National Bureau of Standards, Vol. 60, No. 5, pp. 423 ~ 440.

37) Kirky. J.T. and R.A. Darlymple(1983), "Propagation of weakly-nonlinear surface water waves in regions with varying depth and current", ONR. Tech. Rep. 14, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Delaware.

38) Lee, D.S., Kim, C.I., Oh, Y.M. and Lee, K.S.(2004), "Direct Measurement of Wave Force Acting on a Rubble Mound Breakwater in Hydraulic Experiment", Proc of Asian and Pacific Coasts 2003, APAC093.

39) Longuet-Higgins. M.S. and R.W. Stewart(1962), "Radiation stress and mass transport in gravity waves with application to surf beats", Jour. Fluid Mechanics, Vol. 13, pp. 481 ~ 504.

40) Mase H.(1989), "Random wave runup height on gentle slope", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean engineering, ASCE, Vol.118, No.5, pp.649 ~ 664.

41) Miles, J.W.(1959), "On the generation of surface waves by shear flows", J. F. M., Vol. 6, pp. 568 ~ 582.

42) Mitsuyasu, H.(1962), "Experimental study on wave force against a wall", Report of Trans. Tech. Res. Inst, No. 47, pp. 1 ~ 39.

43) Morison. J.R., M.P. O'Brien, J.W. Johonson, S.A. Schaaf(1950), "The force exerted by surface waves on piles, Petroleum Trans", 189, TP2846, pp. 149 ~ 154.

44) Phillips, O.M.(1957), "On the generation of waves by turbulent wind", J. F. M., Vol. 2, pp. 417 ~ 445.

45) Pierson, W.J.Jr., G. Neumann and R.W. James(1955), "Practical methods for observing and forecasting ocean waves by means of wave spectra and statistics", U.S. Navy Hydro Office Pub., No. 603.

46) Saville, T.Jr.(1958), "Wave run-up on composite slopes", Proc.6th Conf.on Coastal Eng.m pp.691 ~ 699.

47) Sainflou. G.(1928), "Essai sur les diques maritimes verticales", Annales des Ponts et Chaussees, Vol. 98, No. 1, pp. 5 ~ 48.

48) Sarpkaya. T.(1975), "Forces on cylinders and spheres in a sinusoidally oscillating fluid", Journal of Applied Mechanics, Trans. of ASME, Vol. 42, No. 1, pp. 32 ~ 37.

49) Sarpkaya. T.(1976), "In-line and transverse forces on cylinders in oscillatory flow at high Reynolds number", Proc. of the Offshore Technology Conference, Vol. Ⅱ, pp. 95 ~ 108.

50) Seelig, W.N. and J.P. Ahrens(1981), "Estimation of wave reflection and energy dissipation coefficients for beaches, revetments", and breakwaters, U.S. Army Corps of Engineers, CERC, Tech. Paper, No. 81-1, 40p.

51) Uji, T.(1985), "A coupled discrete wave model MRI-II", Journ Of Oceanogr, Society of Japan, Vol. 40, pp. 303 ~ 313.
52) US Army Corps(2006), Coastal Engineering Manual
53) van de Kreeke. J.(1969), "Damage function of rubble mound breakwaters", ASCE, Journal of the Waterway and Harbors Division, Vol. 95, WW3, pp. 345 ~ 354.
54) van der Meer J.W.(1988), "Rock solpes and gravel beaches under wave attack", Doctoral thesis, Delft Univ. of Tech., 152p. あるいは Van Der Meer J.W.(1987), Stability of breakwater amour layer-Design formulae, Coastal Engineering, 11, pp. 219 ~ 239.
55) van der Meer. J.W.(1988), "Stability of cubes, Tetrapods and Accropode", Proc. of Breakwater 88, Eastbourne, UK, pp. 71 ~ 80.
56) van der meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, Tl, Shüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B.(2018), EurOtop,Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. www.overtopping-manual.com.
57) van der meer, J.W. and C.M. Stam(1992), "Wave runup on smooth and rock slopes of coastal structures", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol.118, No.5, pp.534 ~ 550.
58) 加藤一正, 中村聰志, 池田直太(1991), "波の連なりを考慮した長周期波の波高推定 - 波崎海洋研究施設における現地觀測にもとづく檢討", 港灣技術研究所報告, Vol. 30, No. 1, pp. 137 ~ 163.
59) 木村克俊, 安田佳乃子, 山本泰司, 梅沢信敏, 清水敏晶, 佐藤 隆(2001), “道路護岸における越波による通行障害とその対策について”, 土木学会, 海岸工学研究発表会論文集, Vol. 48, pp. 756~760.
60) 高橋重雄, 谷本勝利, 鈴村論司(1983), "直立壁に作用する衝撃 碎波壓の發生機構に關する一考察", 港灣技術研究所報告, Vol. 22, No. 4, pp. 3 ~ 31.
61) 高橋重雄, 谷本勝利, 下迫健一郎(1990), "消波ブロック被覆堤直立部の滑動安全性に對する波力とブロック荷重", 港灣技術研究所報告, 第29券, 第1号, pp. 54 ~ 75.
62) 高橋重雄, 谷本勝利, 下迫健一郎, 細山田得(1992), "混成防波堤のマウンド形狀による衝撃 碎波力係數の 提案", 海岸工學論文集, 第39卷, pp. 676 ~ 680.
63) 高橋重雄, 半沢稔, 佐藤弘和, 五明美智男, 下迫健一郎, 寺內潔, 高山知司, 谷本勝利(1998), "期待被災度を考慮した消波ブロックの安定重量一消波ブロック被覆堤の設計法の再檢討", 第1報一, 港灣技術研究所報告, 第38券, 第1号, pp. 3 ~ 28.
64) 高橋重雄, 下迫健一郎, 土部達生, 谷本勝利(1993), "衝撃碎波力に對する混成防波堤の動的應答計算", 海岸工學論文集, 第40券, pp. 766 ~ 770.
65) 高山知司(1981), "波の回析と港內波高分布に關する研究, 港灣技研資料", No. 367, pp. 140.
66) 光易 恒(1965), "波壓論, 1965年水工學に關すゐ夏期研修會講義集B海岸.ユース", 土木

學會水理委員會, pp. B-16-1 ~ B-16-25.
67) 谷本勝利(1976), "混成防波堤に働く波力について", 昭和51年度 港灣技術研究所講演會講演集, pp. 1 ~ 26.
68) 谷本勝利, 高橋重雄, 轟正彦, 和泉田芳和(1977), "ドルフィン上部工に作用する水平波力", 港灣技術研究所報告, Vol. 16, No. 3, pp. 39 ~ 68.
69) 谷本勝利, 高橋重雄, 北谷高雄(1981), "混成防波堤のマウンド形狀による衝撃 碎波力の發生と對策について", 港灣技術研究所報告, Vol. 20, No. 2. pp. 3 ~ 39.
70) 谷本勝利, 高橋重雄, 和果田芳和(1978), "水平版に働く揚壓力に關する研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 17, No. 2, pp. 3 ~ 47.
71) 谷本勝利, 柳澤忠彦, 村永 努, 紫田鋼三, 合田良實(1982), "不規則波實驗による混成堤マウンド被覆材の 安定性に關する研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 21, No. 3, pp. 3 ~ 42.
72) 谷本勝利, 木村克俊(1985), "台形ケーソンの水理特性に關する實驗的研究", 港灣技研資料, No. 528, pp. 28.
73) 谷本勝利, 木村克俊. Antonio Paulo dos Santos Pinto(1986), "二山型スペクトル波による混成堤に働く 波力と設計週期の算定法", 港灣技術研究所報告, Vol. 25, No. 2, pp. 3 ~ 25.
74) 谷本勝利, 小島朗史(1983), "傾斜堤上部工およびブロック式混成堤に働く波力", 港灣技研資料, No. 450, 32p.
75) 谷本勝利, 原中祐人, 富田英治 , 和泉田芳和, 鈴村論司(1980), "曲面スリットケーソンの水理特性に關する實驗的研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 19, No. 4, pp. 3 ~ 53.
76) 関本桓浩, 近藤浩右, 大下哲則, 今井澄雄, 中村光宏(1988), "入射角を考慮したカーテンウォール式防波堤の設計波力について", 海岸工學會論文集, 第35券, pp. 657 ~ 661.
77) 久宝雅史, 竹沢三雄, 植木隆彦(1973), "波峯付近における波壓に關する實驗的研究", 第20回 海岸工學講演會論文集, pp. 279 ~ 284.
78) 鹿島遼一, 榊山 勉, 清水琢 三, 關本恒浩, 國栖廣志, 京谷 修(1995), "不規則波に對する消波ブロック被覆工の變形量評價式について", 海岸工學論文集, 第40券, pp. 795 ~ 799.
79) 福田伸夫, 宇野俊泰, 人江功(1973), "防波護岸の越波に關する現地觀測(第2報)", 第20回海岸工學講演會論文集, pp. 113 ~ 118.
80) 本間 仁, 堀川清司, 長谷直樹(1962), "護岸に働く波力について", 第9回 海岸工學講演會論文集, pp. 133 ~ 137.
81) 須藤賢哉, 木村克俊, 笹島降彦, 水野雄三, 竹田英章(1995), "變形を許容した混成提マウンド被覆材の必要重量算定式", 海岸工學會論文集, 第42券, pp. 896 ~ 900.
82) 水野雄三, 杉本義昭, 木村克俊, 山中浩次, 鞠池聰一(1993), "高天端防波堤の波力特性に關する研究", 海岸工學論文集, 第40卷, pp. 721 ~ 725.
83) 首藤伸夫(1974), "非線形長波の變形-水路幅, 水深の變化する場合", 第21回 海岸工學講演會論文集, pp. 57 ~ 64.
84) 山口正隆, 畑田佳男, 日野幹雄, 小渕恵一郎(1986), "エネルギー平衡方程式に基づく淺海波浪推算モデルの適用性について, 土木學會論文集", 第369号, II-5券, pp. 233 ~ 242.

85) 森平倫生, 崎秀 作, 菊谷 徹(1967), "異形ブロックの波力減殺效果に關する研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 6, No. 4, pp. 3~31.
86) 森平倫生, 柿崎秀作, 合田良実(1964), "カーテン防波堤とその特性について", 港灣技術研究所報告, Vol. 3, No. 1, 16p.
87) 永井康平, 小沢大造, 岸良安治 , 西村達郎(1986), "台風による二山型 スペクトルを有する現地波浪の諸特性", 第33回 海岸工學講演會論文集, pp. 144~148.
88) 永井莊七朗, 高田彰(1964), "海岸堤防の越波に及ぼす消波堤の効果", 第11回 海岸工學講演會講演集, pp. 279~286.
89) 伊藤喜行, 谷本勝利(1971), "混成防波堤の蛇行災害", 港灣技研資料, No. 112.
90) 伊藤喜行, 谷本勝利(1971), "混成防波堤の蛇行災害", 港灣技研資料, No. 112, 13p.
91) 伊藤喜行, 藤島 睦, 北谷高雄(1966), "防波堤の安定性に關する研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 5, No. 14, 134p.
92) 伊藤喜行, 竹田英章(1967), "桟橋に作用する波の楊壓力", 港灣技術研究所報告, Vol. 6, No. 4, pp. 37~68.
93) 井島武士(1968), "波浪の數値豫測, 1968年度 水工學に關すゐ夏期研修會講義集".
94) 井島武士, 副島 毅, 松尾隆彦(1967), "數値計算によゐ台風域內の波の分布にいて", 第14回 海岸工學講演會講義集.
95) 中田邦夫, 寺內 潔, 西田仁志, 梅木 功(1984), "低天端混成堤の諸特性について", 第31回 海岸工學講演會論文集, pp. 532~536.
96) 坂本信雄, 井島武士, 佐藤昭二, 青野尚(1960), "浅海における風波の図式計算法", 第7回 海岸工學講演會講義集.
97) 平口博丸, 山口正隆, 土屋義人(1985), "波浪予知モデルの日本海への適用", 第32回 海岸工学講演会論文集, pp. 139~143.
98) 平石哲也, 河野信二, 玉城重則, 長谷川準三(1997), "港灣構造物の設計に用いる長週期波の標準スペクトルについて", 海岸工學論文集, 第44卷, pp. 246-250.
99) 合田良實(1967), "構造物に働く波力, 1967年度 水工學に關する夏期研修會講義集", 海岸·港灣ユース 土木學會水理委員會, pp. B-10-1~B-10-31.
100) 合田良實(1970), "防波護岸の越波流量に關する研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 9, No. 4, pp. 3~41.
101) 合田良實(1970), "碎波指標の整理について", 土木學會論文報告集, 第180号, pp. 39~49.
102) 合田良實(1970), "波浪の數値計算-波浪スペクトルの應用例-, 1970年度 水工學に關すゐ夏期研修會講義集".
103) 合田良實(1973), "防波堤の設計波壓に關する研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 12, No. 3, pp. 31~69.
104) 合田良實(1973), "衝撃碎波壓を受ける混成防波堤の擧動に關する考察", 港灣技術研究所報告, Vol. 12, No. 3, pp. 3~29.
105) 合田良實(1975), "淺海域における波浪の碎波變形", 港灣技術研究所報告, Vol. 14, No. 3.

106) 合田良實(1990), "港灣構造物の耐波設計", 鹿島出版社, pp. 12 ~ 17, 265 ~ 322.
107) 合田良實, 岸良安治, 神由 豊(1975), "不規則波による防波護岸の越波流量に關する實驗的研究", 港灣技術研究所報告, Vol. 14, No. 1, pp. 3 ~ 44.
108) 合田良實, 永井康平(1974), "波浪の統計的性質に關する調査.解析, 港灣技術研究所報告", Vol. 13, No. 1, pp. 3 ~ 37.
109) 合田良實, 鈴木康正(1975), "光易型方向スヘ゜クトルを用いた不規則波の回析.屈析計算", 港灣技術資料, No. 230.

4.4 조석

4.4.1 설계조위

(1) 항만시설의 구조 설정 및 안전 검토에 사용되는 조위는 천문조와 폭풍해일, 지진해일 등에 의한 이상조위의 실측값 또는 추산값에 기초하여 정한다.
(2) 구조물의 목적에 따라 그리고 같은 구조물에서도 기능에 따라 적합한 설계조위를 선정하여 사용한다.
(3) 폭풍해일과 지진해일은 어느 것이나 드물게 발생하는 현상이므로 동시에 나타나지는 않는 것으로 취급한다.

[해 설]

(1) 설계조위의 결정법

구조물의 목적에 따라, 그리고 같은 목적의 구조물이라도 설계 계산의 목적에 따라 다른 설계조위를 적용하는 경우가 있다. 예를 들면, 폭풍해일 대책시설에 있어서 마루높이는 월파량에 의하여 결정되므로 월파량이 최대가 되는 조위를 설계조위로 하지만 안정계산에 있어서는 보다 낮은 조위에서도 위험한 경우가 있으므로 이때에는 그 조위를 설계조위로 하여야 한다. 방파제 안전계산의 경우에는 그 구조물이 가장 불안정하게 되는 조위를 적용한다.

4.4.2 천문조(天文潮)

(1) 천문조의 제원으로는 기본수준면, 평균해면, 각종 조위기준면(Tidal datums)의 높이를 고려하며 1년 이상의 검조 기록으로부터 정한다.
(2) 각종 조위는 다음과 같이 결정한다.
① 평균해면(平均海面, M.S.L : Mean Sea Level)
18.6년 조석주기동안 해수위의 평균 높이를 평균해면이라 한다. 실용적으로는 1년간의 매 시별 해수위의 평균값인 연평균해면을 평균해면으로 사용한다.
② 기본수준면(基本水準面, D.L : Datum Level) - 약최저저조위(略最低低潮位, A.L.L.W : Approximate Lowest Low Water)
한국 연안의 수심 및 조위 측정의 기준인 기본수준면은 약최저저조위로 각 지점의 연평균해면으로부터 주요 4개 분조(分潮)인 M_2, S_2, K_1, O_1 분조의 반조차(半潮差)의 합만큼 내려간 면으로 정한다.
③ 약최고고조위(略最高高潮位, A.H.H.W : Approximate Highest High Water)
연평균해면에서 4개 주요 분조의 반조차의 합만큼 올라간 해면의 높이

④ 대조평균고조위(大潮平均高潮位, H.W.O.S.T : High Water Ordinary Spring Tide)
대조기의 평균고조위로서 연평균해면에서 M_2와 S_2분조의 반조차의 합만큼 올라간 해면의 높이

⑤ 평균고조위(平均高潮位, H.W.O.M.T : High Water Ordinary Mean Tide)
대·중·소조기의 평균고조위로서 연평균해면에서 M_2분조의 반조차만큼 올라간 해면의 높이

⑥ 소조평균고조위(小潮平均高潮位, H.W.O.N.T : High Water Ordinary Neap Tide)
소조기의 평균고조위로서 연평균해면에서 M_2와 S_2분조의 반조차의 차만큼 올라간 해면의 높이

⑦ 소조평균저조위(小潮平均低潮位, L.W.O.N.T : Low Water Ordinary Neap Tide)
소조기의 평균저조위로서 연평균해면에서 M_2와 S_2분조의 반조차의 차만큼 내려간 해면의 높이

⑧ 평균저조위(平均低潮位, L.W.O.M.T : Low Water Ordinary Mean Tide)
대·중·소조기의 평균저조위로서 연평균해면에서 M_2분조의 반조차만큼 내려간 해면의 높이

⑨ 대조평균저조위(大潮平均低潮位, L.W.O.S.T : Low Water Ordinary Spring Tide)
대조기의 평균저조위로서 연평균해면에서 M_2와 S_2분조의 반조차의 합만큼 내려간 해면의 높이

[해 설]

(1) 한국 근해의 천문조의 분포

각 해안의 조시(潮時)와 조차(潮差)는 해안 지형, 수심 분포, 그리고 해수의 관성과 마찰에 의하여 매우 복잡한 분포를 나타낸다.

한국 연안에서는 동·남·서해안별로 크게 다른 분포를 보인다. 해설 그림 (4.4-1)과 (4.4-2)는 각각 황·동중국해 및 한반도 주변의 M_2분조의 등조시·조차도(等潮時·潮差圖)이다.

(2) 조석(潮汐)의 조화상수(調和常數)

복잡한 운동을 하는 달과 태양에 기인하는 조석을 지구로부터 일정한 거리에서 일정한 주기로 천구(天球)의 적도상을 운행하는 무수한 가상 천체(假想天體)에 기인하는 규칙적인 각각의 조석을 합성한 것으로 생각할 때, 이 각각의 조석을 분조라 한다.

각 지점의 조석 실측값으로부터 분조를 얻는 것을 조석 조화분석(調和分析)이라 하고 각 분조의 조차의 1/2인 반조차와 위상 지각(位相 遲角)을 조석의 조화상수라 한다.

임의 지점에서 실측 조위 h_t는 다음 식으로 표현된다.

$$h_t = Z_o + \sum f H \cos(V_o + U + \omega t - \kappa)$$ 해설 식 (4.4-1)

여기서, Z_o : 평균해면

f, V_o, U : 천체운동에서 얻어지는 천문상수(시간의 함수)

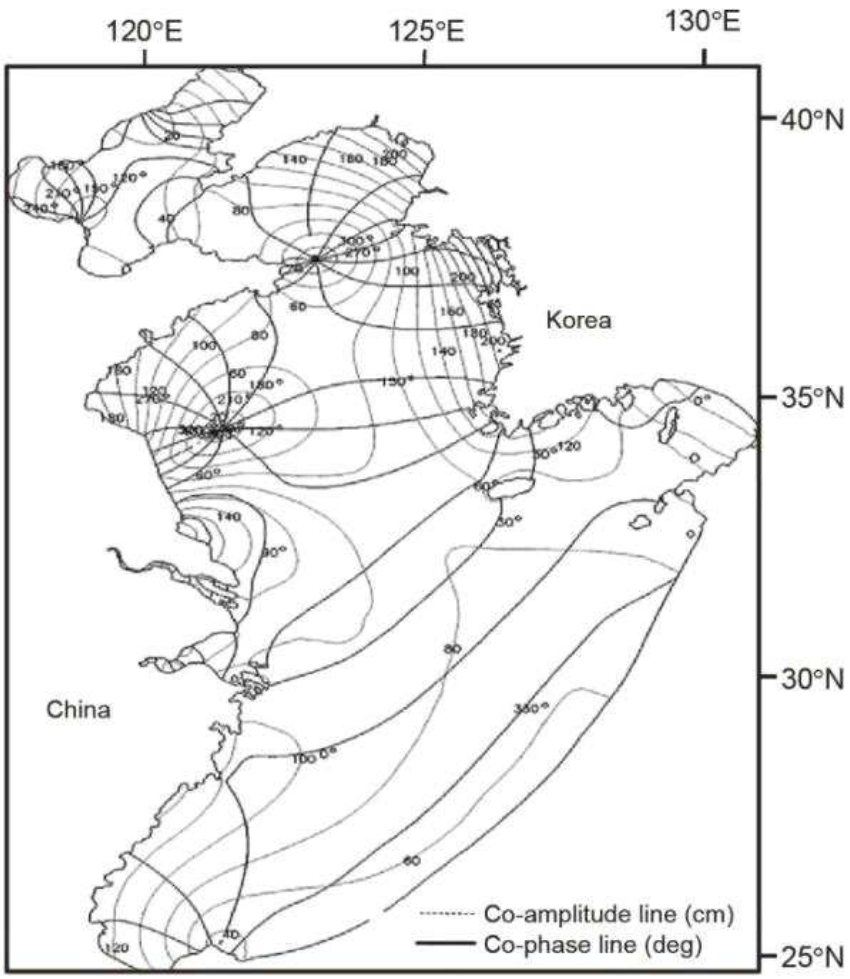
H : 반조차

κ : 위상 지각

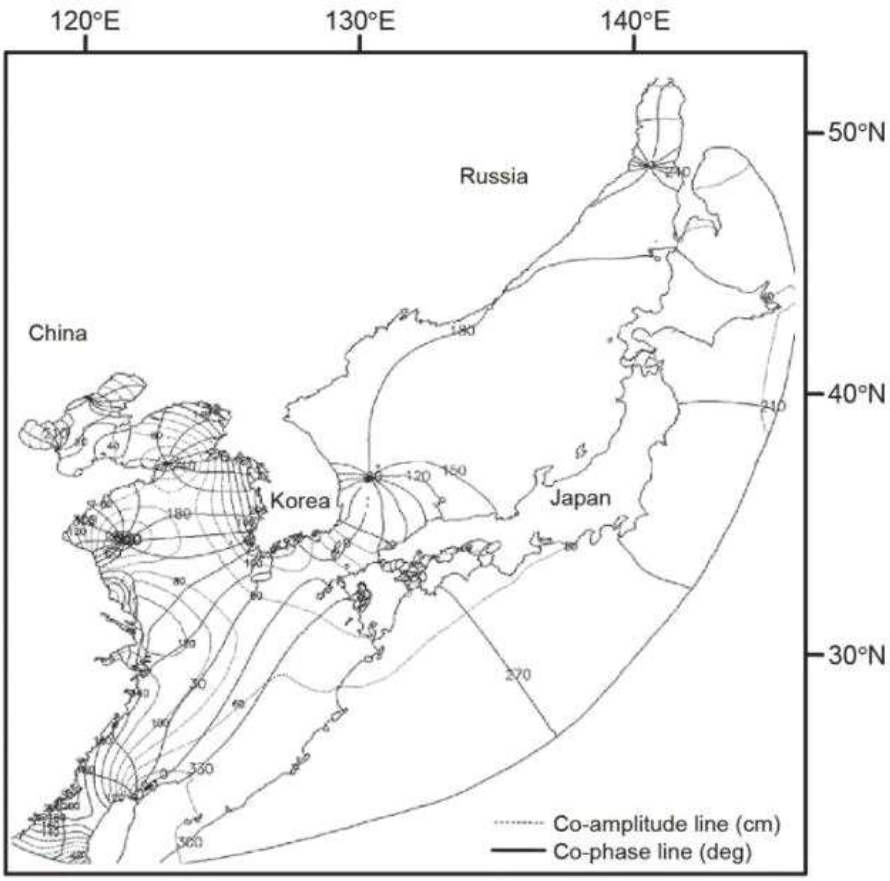
ω : 분조의 각속도

t : 시간

각 분조의 가상 천체가 자오선을 통과하고 난 후 그 분조가 고조가 될 때까지의 시간을 각도로 표시한 것이 위상 지각이다. 분조의 수는 매우 많지만 그 가운데서 4대 주요 분조는 해설 표 (4.4-1)과 같다. 해설 표 (4.4-2)는 한국 연안의 주요 분조의 조화상수이다.



해설 그림 (4.4-1) 황·동중국해의 M_2 분조의 등조시와 등조차도(Choi et al., 2010)



해설 그림 (4.4-2) 한반도 주변의 M_2 분조의 등조시와 등조차도(Choi et al., 2010)

해설 표 (4.4-1) 4대 주요 분조

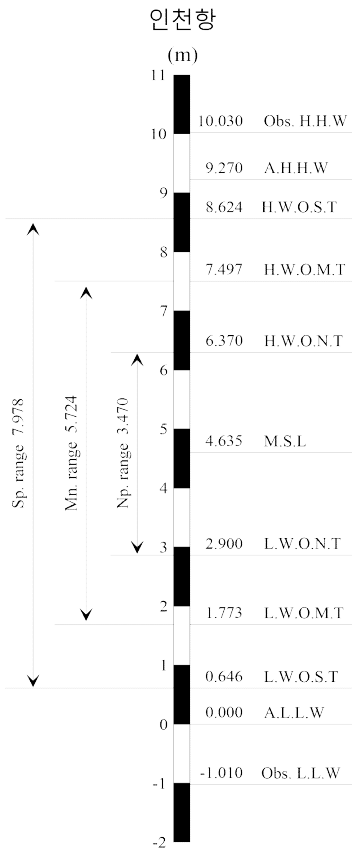
분 조	명 칭	각속도 (°/hour)	주 기 (hour)	조화상수 기호	
				반조차	지각
M_2	주태음반일주조	28.984	12.42	H_m	K_m
S_2	주태양반일주조	30.000	12.00	H_s	K_s
O_1	주태음일주조	13.943	25.82	H_o	K_o
K_1	일월합성일주조	15.041	23.93	H'	K'

(3) 조석의 비조화상수(非調和常數)

조석의 조화상수로부터 산정되는 조석의 비조화상수는 조차, 조위 및 조시 간격 등 실제의 항만설계에 이용되는 조석의 제원으로서 약최고고조위, 대조평균고조위, 평균고조위, 소조평균고조위, 평균해면, 소조평균저조위, 평균저조위, 대조평균저조위, 약최저저조위, 평균고조간격과 평균저조간격, 그리고 대조차, 평균조차, 소조차 등이 있다. 비조화상수 계산식은 다음과 같다.

평균고조간격(M.H.W.I : Mean High Water Interval) : K_m/29시
평균저조간격(M.L.W.I : Mean Low Water Interval) : K_m/29시+6시12분
약최고고조위(A.H.H.W) : $2(H_m+H_s+H_o+H')$
대조평균고조위, 대조승(H.W.O.S.T) : $2(H_m+H_s)+H_o+H'$
평균고조위(H.W.O.M.T) : $2H_m+H_s+H_o+H'$
소조평균고조위, 소조승(H.W.O.N.T) : $2H_m+H_o+H'$
평균해면(M.S.L) : $H_m+H_s+H_o+H'$
소조평균저조위(L.W.O.N.T) : $2H_s+H_o+H'$
평균저조위(L.W.O.M.T) : H_s+H_o+H'
대조평균저조위(L.W.O.S.T) : H_o+H'
약최저저조위(A.L.L.W) = 기본수준면 : 0.0
대조차(Sp. R. : Spring Range) : $2(H_m+H_s)$
평균조차(Mn. R. : Mean Range) : $2H_m$
소조차(Np. R. : Neap Range) : $2(H_m-H_s)$

해설 표 (4.4-3)은 해설 표 (4.4-2)에 제시된 조화상수로부터 산정된 조석의 비조화 상수이다.



해설 그림 (4.4-3) 인천항 기준조석의 조위면도(1943~1944)

해설 표 (4.4-2) 한국 연안의 주요 분조의 조화상수

조위 관측소	위치(WGS-84)		관측기간	M_2		S_2		K_1		O_1	
	위도(N)	경도(E)		H(m)	K(°)	H(m)	K(°)	H(m)	K(°)	H(m)	K(°)
대청도	37-46-31	124-43-05	08.01.01~08.12.31	1.048	158.0	0.412	198.3	0.344	308.1	0.255	277.2
강화대교	37-43-55	126-31-21	09.08.12~10.08.15	2.099	167.7	0.733	221.5	0.297	313.4	0.212	276.9
영종대교	37-32-44	126-35-04	09.08.12~10.08.15	2.890	125.5	1.162	174.2	0.392	296.3	0.280	267.2
인천	37-28-18	126-35-44	43~44	2.862	129.5	1.127	179.1	0.394	295.3	0.252	266.4
인천(송도)	37-20-24	126-35-24	10.09.01~11.09.04	2.785	119.8	1.126	167.5	0.388	292.9	0.285	263.2
영흥도	37-14-19	126-25-43	09.10.01~10.10.04	2.619	117.1	1.055	164.4	0.386	292.8	0.274	263.8
안산(탄도)	37-11-32	126-38-52	02.01.01~02.12.31	2.619	119.2	1.040	166.9	0.382	292.5	0.299	265.0
굴업도	37-11-40	125-59-42	10.01.01~10.12.31	2.298	114.4	0.921	159.7	0.376	290.7	0.276	261.3
평택	36-58-01	126-49-22	80.06.01~81.05.31	2.866	126.5	1.111	175.4	0.391	294.4	0.286	266.1
대산	37-00-27	126-21-09	03.08.01~04.07.31	2.480	110.9	0.992	157.3	0.383	288.3	0.284	259.5
태안	36-54-48	126-14-19	11.06.01~12.06.03	2.312	106.0	0.925	151.5	0.370	286.7	0.276	257.8
안흥	36-40-43	126-04-08	86.12.01~87.12.05	2.111	95.4	0.810	138.8	0.358	280.1	0.268	252.1
보령	36-24-24	126-29-10	86.01.01~87.01.05	2.294	86.8	0.891	130.8	0.361	276.2	0.272	247.9
서천	36-07-43	126-29-45	10.10.01~11.10.04	2.103	77.8	0.840	121.3	0.348	271.8	0.261	243.4
군산외항	35-58-17	126-37-29	80.03.01~82.04.04	2.201	82.2	0.816	126.3	0.344	272.0	0.262	243.9
장항	36-00-25	126-41-16	04.04.01~05.03.31	2.262	81.9	0.872	127.1	0.348	273.4	0.259	246.2
어청도	36-07-02	125-59-05	08.01.01~08.12.31	1.780	77.9	0.693	121.2	0.323	274.5	0.251	246.4
위도	35-37-06	126-18-07	75.06.15~75.07.14	1.997	68.0	0.726	117.9	0.339	265.9	0.253	244.6
영광	35-25-34	126-25-14	01.11.16~02.11.19	2.042	63.7	0.774	106.6	0.340	263.7	0.261	238.3
목포	34-46-52	126-23-26	99.01~02.12	1.411	29.6	0.478	70.2	0.305	243.4	0.236	219.9
진도(수품)	34-22-40	126-18-31	06.01.01~06.12.31	1.077	320.6	0.415	345.7	0.294	208.9	0.224	186.6
대흑산도	34-41-06	125-26-29	79.1~80.1, 2.1~83.1	1.062	28.0	0.360	64.1	0.242	245.7	0.189	223.4
추자도	33-57-45	126-17-53	83.12.01~84.12.04	0.876	314.5	0.350	336.1	0.260	211.4	0.192	189.1
제주	33-30-51	126-31-43	73.01.01~76.01.01	0.697	303.5	0.295	324.1	0.230	210.2	0.168	189.1
모슬포	33-12-52	126-15-04	04.01.01~04.12.31	0.736	294.5	0.309	317.1	0.242	208.9	0.183	188.5
서귀포	33-14-19	126-33-51	74.09.02~74.10.01	0.757	274.1	0.337	293.9	0.245	200.8	0.177	177.1
성산포	33-28-29	126-55-39	04.01.01~04.12.31	0.654	274.2	0.300	296.3	0.217	202.6	0.160	182.3
완도	34-18-24	126-45-15	83.01.01~84.01.04	1.071	283.5	0.461	308.4	0.271	194.1	0.199	171.7
고흥(발포)	34-28-52	127-20-33	06.01.01~06.12.31	1.006	268.2	0.449	293.7	0.246	184.1	0.177	160.3
거문도	34-01-42	127-18-32	83.01.01~84.01.04	0.897	269.8	0.401	294.7	0.234	193.0	0.168	171.2
여수	34-44-50	127-45-57	65.04.01~66.04.04	1.012	253.9	0.474	282.7	0.202	190.7	0.120	152.6
광양	34-54-13	127-45-22	82.03.01~83.03.04	1.080	254.5	0.503	282.1	0.195	174.8	0.133	152.6
통영	34-49-40	128-26-05	76.03~77.02	0.796	248.4	0.370	275.9	0.147	172.6	0.097	149.4
마산	35-12-36	128-35-20	03.01.01~03.12.31	0.582	241.5	0.277	268.8	0.081	156.7	0.044	130.6
부산신항	35-04-39	128-47-13	12.01.01~13.01.04	0.544	240.5	0.257	267.8	0.078	155.9	0.043	133.1
거제(구조라)	34-47-55	128-42-05	06.04.01~07.03.31	0.576	242.0	0.270	268.2	0.100	163.8	0.061	143.2
가덕도	35-01-29	128-48-39	78.01.01~78.12.31	0.567	240.7	0.263	269.0	0.080	153.1	0.043	131.4
부산	35-05-41	129-02-11	74.01.01~75.01.05	0.400	232.8	0.189	261.3	0.044	137.1	0.016	112.2
울산	35-30-55	129-23-05	74.01.01~77.01.05	0.169	212.3	0.078	246.8	0.033	45.1	0.030	350.3
포항	36-01-15	129-23-49	74.01.01~76.12.31	0.031	120.6	0.007	167.3	0.042	3.2	0.043	325.7
저동(울릉도)	37-29-46	130-54-41	75.06.01~76.05.30	0.050	73.4	0.017	92.8	0.047	346.8	0.046	317.1
후포	36-40-39	129-27-11	03.01.01~03.12.31	0.041	92.3	0.011	117.8	0.042	356.8	0.041	322.9
동해항	37-29-42	129-08-38	12.01.01~13.01.04	0.061	86.3	0.020	104.7	0.046	355.2	0.044	323.2
묵호	37-33-01	129-06-59	65.07.01~66.07.04	0.069	85.7	0.023	106.5	0.049	357.5	0.047	321.8
속초	38-12-25	128-35-39	74.01.01~76.01.01	0.071	82.2	0.025	103.2	0.051	356.9	0.048	322.8

자료: 국립해양조사원(고시 제2014-2호)

해설 표 (4.4-3) 한국 연안의 조석의 비조화상수

조위관측소	대조차 (Sp.R, m)	소조차 (Np.R, m)	약최고고조위 (AHHW, m)	대조평균고조위 (HWOST, m)	평균해면 (MSL, m)	평균고조간격 (MHWI, h:m)	조석형태수 (Tide form)
대청도	2.920	1.272	4.118	3.519	2.059	5:27	0.41
강화대교	5.664	2.732	6.682	6.173	3.341	5:47	0.18
영종대교	8.104	3.456	9.448	8.776	4.724	4:20	0.17
인천	7.978	3.470	9.270	8.624	4.635	4:28	0.16
인천(송도)	7.822	3.318	9.168	8.495	4.584	4:08	0.17
영흥도	7.348	3.128	8.668	8.008	4.334	4:02	0.18
안산(탄도)	7.318	3.158	8.680	7.999	4.340	4:07	0.19
굴업도	6.438	2.754	7.742	7.090	3.871	3:57	0.20
평택	7.954	3.510	9.308	8.631	4.654	4:22	0.17
대산	6.944	2.976	8.278	7.611	4.139	3:49	0.19
태안	6.474	2.774	7.766	7.120	3.883	3:39	0.20
안흥	5.842	2.602	7.094	6.468	3.547	3:17	0.21
보령	6.370	2.806	7.636	7.003	3.818	3:00	0.20
서천	5.886	2.526	7.104	6.495	3.552	2:41	0.21
군산외항	6.034	2.770	7.246	6.640	3.623	2:50	0.20
장항	6.268	2.780	7.482	6.875	3.741	2:49	0.19
어청도	4.946	2.174	6.094	5.520	3.047	2:41	0.23
위도	5.446	2.542	6.630	6.038	3.315	2:21	0.22
영광	5.632	2.536	6.834	6.233	3.417	2:12	0.21
목포	3.778	1.866	4.860	4.319	2.430	1:01	0.29
진도(수품)	2.984	1.324	4.020	3.502	2.010	11:03	0.35
대흑산도	2.844	1.404	3.706	3.275	1.853	0:58	0.30
추자도	2.452	1.052	3.356	2.904	1.678	10:51	0.37
제주	1.984	0.804	2.780	2.382	1.390	10:28	0.40
모슬포	2.090	0.854	2.940	2.515	1.470	10:09	0.41
서귀포	2.188	0.840	3.032	2.610	1.516	9:27	0.39
성산포	1.908	0.708	2.662	2.285	1.331	9:27	0.40
완도	3.064	1.220	4.004	3.534	2.002	9:47	0.31
고흥(발포)	2.910	1.114	3.756	3.333	1.878	9:15	0.29
거문도	2.596	0.992	3.400	2.998	1.700	9:18	0.31
여수	2.972	1.076	3.616	3.294	1.808	8:45	0.22
광양	3.166	1.154	3.822	3.494	1.911	8:47	0.21
통영	2.332	0.852	2.820	2.576	1.410	8:34	0.21
마산	1.718	0.610	1.968	1.843	0.984	8:20	0.15
부산신항	1.602	0.574	1.844	1.723	0.922	8:18	0.15
거제(구조라)	1.692	0.612	2.014	1.853	1.007	8:21	0.19
가덕도	1.660	0.608	1.906	1.783	0.953	8:18	0.15
부산	1.178	0.422	1.298	1.238	0.649	8:02	0.10
울산	0.494	0.182	0.620	0.557	0.310	7:19	0.26
포항	0.076	0.048	0.246	0.161	0.123	4:10	2.24
저동(울릉도)	0.134	0.066	0.320	0.227	0.160	2:32	1.39
후포	0.104	0.060	0.270	0.187	0.135	3:11	1.60
동해항	0.162	0.082	0.342	0.252	0.171	2:59	1.11
묵호	0.184	0.092	0.376	0.280	0.188	2:57	1.04
속초	0.192	0.092	0.390	0.291	0.195	2:50	1.03

자료: 국립해양조사원(고시 제2014-2호) [조위관측소 위치와 관측기간은 해설 표 (4.4-2)와 같음]

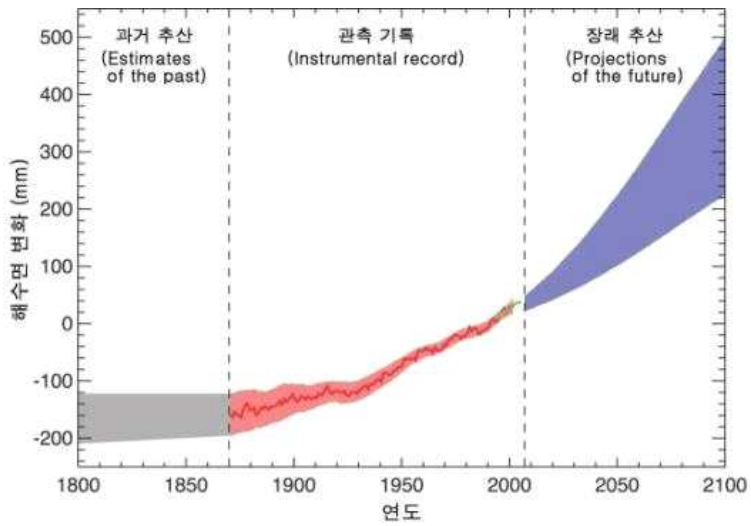
(4) 평균해면

한국에서 육지 높이의 기준은 1914~1916년의 인천항 평균해면이며(국립해양조사원, 2012a), 자기(自記) 검조곡선으로부터 면적측량의 방법으로 구하였다(국토지리정보원, 2010). 각 항의 연평균해면은 1914~1916년의 인천항 평균해면 즉, 측지기준면과 일반적으로 일치하지 않으며, 각 항에서 1년 이상의 조위 관측값으로부터 매일 매시의 조위의 평균값으로 계산하여야 한다. 국립해양조사원에서는 한국 연안의 주요 항에 설치된 조위 관측소의 관측값으로부터 매월, 매년의 평균해면을 해양조사기술연보에 발표하고 있다.

(5) 평균해면의 장기적인 상승

기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change) 실무 그룹의 제4차 평가보고서에 의하면, 해수면 상승은 온난화 경향과 일치한다(IPCC, 2007). 지구 평균해수면은 1961~2003년에 1.8±0.5 mm/yr의 속도로 상승하였고, 1993~2003년에는 3.1±0.7 mm/yr의 속도로 상승하였다. 미국 국립해양대기청(NOAA)의 인공위성 고도계 자료에 의하면 1993년부터 2016년까지 24년간 동해의 평균해수면은 2.8±0.4 mm/yr의 속도로 상승하였고, 황·동중국해에서는 2.2±0.4 mm/yr의 속도로 상승하였다(http://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/lsa/SeaLevelRise). 전 지구 온실가스 배출에 관한 6개 SRES(Special Report on Emissions Scenarios) 시나리오(Nakicenovic and Swart, 2000)별 해수면 상승 추정값은 배출량이 가장 적은 B1 시나리오의 경우 1980~1999년 대비 2090~2099년에 0.18~0.38 m(1.5~3.9 mm/yr)이고, 배출량이 가장 많은 A1FI 시나리오의 경우 0.26~0.59 m(3.0~9.7 mm/yr)이다. 해설 그림 (4.4-4)는 온실가스 배출량이 중간 정도인 SRES A1B 시나리오에 대한 해수면 상승 예측값을 나타낸 것이다.

해수면이 상승하면 해일 발생 시 해안 시설물의 안전성이 저하되고 재해의 위험성이 증가한다. 항만시설, 해상 교량과 배수구 등의 설계시 해수면 상승의 영향을 반영할 필요가 있으며, 이 때 시설물의 내구연수, 비용대비 효과, 주변 환경에 미치는 영향, 해수면 상승 예측값의 불확실성 등을 충분히 고려하여야 한다.



해설 그림 (4.4-4) SRES A1B 시나리오에 대한 해수면 상승 예측

(6) 기본수준면의 결정

한국 연안의 수심측정의 기준인 기본수준면은 약최저저조위로서 연평균해면으로부터 주요 4대 분조(M_2, S_2, O_1, K_1분조)의 반조차를 합한 만큼 아래로 내려간 면이다.

$$DL = A_o - (H_m + H_s + H_o + H') \qquad \text{해설 식 (4.4-2)}$$

여기서, DL : 기본수준면
A_o : 연평균해면
H_m, H_s, H_o, H' : 4개 분조의 반조차

조석의 높이 즉, 조고(潮高) 또는 조위는 어떤 기준면으로부터 측정한 값이며 수심은 그 기준면으로부터 아래로 측정한 값이므로 그 기준면을 명백히 설정하여야 한다. 현재 한국에서는 약최저저조위(A.L.L.W) 일명, 인도양 대조저조위(Indian spring low water)를 기본수준면(DL)으로 채택하여 해도, 조석표, 항만공사 등의 기준면으로 사용하고 있다. 외국에서는 국가별로 인도양 대조저조위(Indian spring low water, 일본), 평균최저조위(Lowest normal low water, A_o-1.1(H_m+H_s), 중국), 평균저조위(Mean low water springs, A_o-(H_m+H_s), 독일 북해, 이탈리아), 평균저저조위(Mean lower low water, A_o-(K_m+(H_o+H')cos45°), 미국 태평양) 등을 기본수준면으로 채택하고 있다(국립해양조사원, 2009). 한편, 국제수로기구 조석위원회(IHO : International Hydrographic Organization, Tidal committee)는 1997년에 18.6년의 완전한 조석주기 동안 조석현상에 의하여 나타날 수 있는 최저극천문조위(LAT : Lowest Astronomical Tide)를 기본수준면으로 채택할 것을 권장하였으며 2012년 현재 영국, 프랑스, 스페인, 호주 등 12개국이 채택하고 있다(국립해양조사원, 2012b). 국립해양조사원은 LAT와 최고극천문조위(HAT : Highest Astronomical Tide)에 대한 분석 및 연구사업을 진행 중이나 2013년 6월 현재 LAT와 HAT로 대체할 계획은 결정된 바가 없다. 최근 국내에서도 해상풍력 지지구조물 설계시 천문조에 의한 최저조위와 최고조위의 기준으로 국제기준에 따라 LAT와 HAT를 적용하는 방침이 정해졌다.

기본수준면을 결정하기 위해서는 해당 지점의 연평균해면값과 4대 주요 분조의 반조차를 결정하여야 한다. 기본수준면은 국립해양조사원의 기본수준점표(基本水準点標, T.B.M : Tidal Bench Mark) 성과를 이용하여야 한다. 기본수준점표가 없는 경우에는 1개월 이상 검조하고 이를 조화분석하여 4대 주요 분조의 조화상수를 얻어 결정하여야 한다. 한국 연안은 분조의 계절변화가 크게 나타날 수 있기 때문에 유의하여야 한다. 예를 들면, 제주도와 진도 인근은 하계 M_2 분조의 진폭이 동계보다 0.1 m 정도 작은 반면에 경기만에서는 반대 경향을 보인다(Kang et al., 2002). 따라서 필요시 계절 보정을 할 필요가 있다. 분조의 진폭뿐만 아니라 월평균해면도 하계와 동계의 차이가 0.2~0.3 m에 달할 수 있기 때문에 월평균해면을 연평균해면으로 보정하고, 이로부터 기본수준면을 산정하여야 한다.

해당 지점의 연평균해면은 다음과 같이 결정한다.

$$A_o' = A_1' + (A_o - A_1)$$ 해설 식 (4.4-3)

여기서, A_o' : 해당 지점의 연평균해면
A_o : 기준검조소의 연평균해면
A_1', A_1 : 같은 기간의 해당 지점 및 기준검조소의 평균해면

(7) 기준 검조소
한국 연안에서 연중 조석관측을 실시중인 기준검조소가 설치되어 있는 항만은 해설 표 (4.4-4)와 같다.

(8) 기본수준점표 성과
국립해양조사원은 각 항의 기본수준점표를 설치하고 그 성과를 해양조사기술연보와 조석표에 기재·공표하고 있는데, 그 중 주요 항만의 기본수준점표 성과는 해설 표 (4.4-5)와 같다.

해설 표 (4.4-4) 한국 연안의 조위관측소 현황 (2012년 말 현재) (계속)

지점명			설치위치	WGS-84	관측요소	설치(교체) 연도
서해	1	강화대교	인천 옹진군 강화읍 갑곶리	37° 43′ 55″ N 126° 31′ 20″ E	조위 (Miros)	2006. 12
	2	영종대교	인천시 서구 경서동	37° 32′ 44″ N 126° 35′ 04″ E	조위 (Miros)	2009. 12
	3	인천	인천시 중구 연안부두 관선부두	37° 27′ 07″ N 126° 35′ 32″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1959. 05
	4	안산	경기 안산시 단원구 선감동	37° 11′ 31″ N 126° 38′ 50″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2002. 01
	5	굴업도	인천 옹진군 덕적면 굴업리	37° 11′ 40″ N 125° 59′ 42″ E	조위, 파고, 파주기	2008. 08
	6	평택	경기 평택시 포승읍 만호리	36° 58′ 01″ N 126° 49′ 22″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1992. 06
	7	대산	충남 서산시 대산읍 독곶리	37° 00′ 27″ N 126° 21′ 10″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2002. 12
	8	안흥	충남 태안군 근흥면 신진도리	36° 40′ 25″ N 126° 07′ 55″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1986. 10
	9	보령	충남 보령시 오천면 영보리	36° 24′ 24″ N 126° 29′ 09″ E	조위	1985. 08
	10	장항	충남 서천군 장항읍 신창리	36° 00′ 25″ N 126° 41′ 15″ E	조위, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2003. 12
	11	군산외항	전북 군산시 오식도동	35° 58′ 32″ N 126° 33′ 47″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1980. 02
	12	어청도	전북 군산시 옥구군 어청면	36° 07′ 02″ N 125° 59′ 05″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온, 가시거리	2007. 09
	13	위도	전북 부안군 위도면 진리	35° 37′ 05″ N 126° 18′ 06″ E	조위	1984. 11
	14	영광	전남 영광군 홍농읍 성산리	35° 25′ 34″ N 126° 25′ 14″ E	조위, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2001. 10
	15	목포	전남 목포시 금화동 20번지	34° 46′ 47″ N 126° 22′ 32″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1952. 08
	16	진도	전남 진도군 의신면 금갑리 수품항	34° 22′ 40″ N 126° 18′ 31″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2005. 12
	17	대흑산도	전남 신안군 흑산면 예리	34° 41′ 03″ N 125° 26′ 08″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1965. 01
	18	영흥도	인천 옹진군 영흥면 외리 영흥화력 내	37° 14′ 22″ N 126° 25′ 43″ E	조위, 파고, 파주기, 풍향, 풍속, 기온, 기압	2009. 08
	19	인천(송도)	인천 연수구 동춘동 송도가스기지 내	37° 20′ 31″ N 126° 35′ 10″ E	조위, 파고, 파주기, 풍향, 풍속, 기온, 기압	2010. 09
	20	태안	충남 태안군 원북면 방갈리 태안화력 내	36° 54′ 47″ N 126° 14′ 20″ E	조위, 파고, 파주기, 풍향, 풍속, 기온, 기압	2010. 10
	21	서천(마량)	충남 서천군 서면 마량리 서천화력 내	36° 07′ 44″ N 126° 29′ 43″ E	조위, 파고, 파주기, 풍향, 풍속, 기온, 기압	2010. 10
	22	경인항	인천 서구 오류동 아라서해갑문 내	37° 33′ 39″ N 126° 36′ 04″ E	조위, 파고, 파주기, 층별 수온, 염분, 용존산소, 혼탁도, 엽록소, 시정, 일사	2012. 11

※ 국립해양조사원 제공 자료

※ Miros : 조위관측소를 설치하기 어려운 곳에서는 극초단파(Microwave)를 이용하여 해수면으로 신호를 보내고 반사되어 들어오는 신호의 높이 차이로 조위를 측정하며, Miros는 노르웨이 장비 제작사 이름임.

해설 표 (4.4-4) 한국 연안의 조위관측소 현황 (2012년 말 현재)

지점명			설치위치	WGS-84	관측요소	설치(교체) 연도
남해	1	추자도	제주시 추자면 대서리	33° 57′ 43″ N 126° 18′ 01″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1983. 10
	2	제주	제주시 건입동 1319-89 제7부두	33° 31′ 39″ N 126° 32′ 35″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1964. 01
	3	모슬포	서귀포시 대정읍 하모리	33° 12′ 52″ N 126° 15′ 04″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2003. 11
	4	서귀포	서귀포시 서귀동	33° 14′ 24″ N 126° 33′ 42″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 기온	1984. 11
	5	성산포	서귀포시 성산읍 오조리	33° 28′ 29″ N 126° 55′ 39″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2003. 11
	6	완도	전남 완도군 완도읍 군내리	34° 18′ 57″ N 126° 45′ 34″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1982. 10
	7	고흥	전남 고흥군 도화면 발포리	34° 28′ 51″ N 127° 20′ 33″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2004. 12
	8	거문도	전남 여수시 삼산면 거문리	34° 01′ 43″ N 127° 18′ 27″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1981. 11
	9	여수	전남 여수시 수정동	34° 44′ 50″ N 127° 45′ 57″ E	조위, 파고, 파주기, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1965. 02
	10	광양	전남 광양시 도이동 광양항 내	34° 54′ 14″ N 127° 45′ 17″ E	조위 (Miros)	2010. 10
	11	통영	경남 통영시 도남동	34° 49′ 40″ N 128° 26′ 05″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1976. 01
	12	마산	경남 마산시 회원구 양덕 2동	35° 12′ 36″ N 128° 35′ 20″ E	조위, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2002. 11
	13	거제도	경남 거제시 일운면 구조라리	34° 48′ 06″ N 128° 41′ 57″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2005. 12
	14	가덕도	부산 강서구 천성동	35° 01′ 27″ N 128° 48′ 39″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1976. 11
	15	부산	부산시 중구 남포동1가	35° 05′ 46″ N 129° 02′ 07″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1955. 02
	16	순천만	전남 순천시 대대동 순천만 자연생태공원 내	34° 52′ 52″ N 127° 31′ 07″ E	조위, 수온,	2010.
	17	진해군항	진해군항	※ 대 외 비※	조위, 파고, 파주기, 기온, 기압, 풍향, 풍속, 습도, 일사량	2010.
	18	부산신항	부산광역시 부산신항내 방파제	35° 04′ 39″ N 128° 47′ 05″ E	조위, 파고, 파주기, 기온, 기압, 풍향, 풍속	2011. 12
동해	1	울산	울산시 남구 매암동	35° 30′ 06″ N 129° 23′ 13″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1962. 09
	2	포항	경북 포항시 항구동	36° 02′ 50″ N 129° 23′ 02″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1971. 05
	3	후포	경북 울진군 후포면 후포리	36° 40′ 39″ N 129° 27′ 11″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	2002. 10
	4	울릉도	울릉군 울릉읍 도동리	37° 29′ 29″ N 130° 54′ 49″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1965. 08
	5	묵호	강원도 동해시 묵호진동	37° 33′ 01″ N 129° 06′ 59″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1965. 02
	6	속초	강원 속초시 동명동	38° 12′ 25″ N 128° 35′ 40″ E	조위, 수온, 염분, 기압, 풍향, 풍속, 기온	1973. 11
	7	동해항	강원도 동해시 동해항	37° 29′ 41″ N 129° 08′ 38″ E	조위, 파고, 파주기, 기온, 기압, 풍향, 풍속	2011. 12

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과

■ 동해 (26개소 91개)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
거진	No.4	38-26-47.0	128-27-22.7	수로국	2.094	2.272	94. 06
(고성군 거진읍)	No.6	38-26-47.5	128-27-23.9	해양조사원	1.876	2.054	02. 04
	No.8	38-26-48.4	128-27-25.2	〃	1.874	2.052	10. 04
속초	No.1	38-12-25.2	128-35-31.7	수로국	6.337	6.532	69. 09
(속초시 동명동)	No.3	38-12-25.4	128-35-39.8	〃	1.593	1.788	88. 12
	No.4	38-12-24.9	128-35-38.9	해양조사원	2.983	3.178	09. 03
	TGBM	38-12-43.1	128-35-49.6	〃	3.178	3.373	12. 10
주문진	No.3	37-53-40.8	128-50-00.1	해양조사원	2.336	2.531	95. 05
(명주군 주문진읍)	No.5	37-53-43.1	128-49-57.3	〃	3.511	3.706	05. 04
	No.6	37-53-34.3	128-49-59.7	〃	4.657	4.852	05. 04
	No.7	37-53-48.8	128-50-02.9	〃	3.306	3.501	13. 10
안목	No.1	37-46-20.1	128-57-02.1	해양조사원	4.962	5.147	05. 04
(강릉시 견소동)	No.3	37-46-13.3	128-57-06.8	〃	4.701	4.886	05. 04
	No.4	37-46-16.6	128-57-00.3	〃	4.361	4.546	09. 09
묵호	No.2	37-33-01.1	129-06-59.8	수로국	1.748	1.936	86. 11
(동해시 묵호진동)	No.5	37-33-14.9	129-07-12.2	해양조사원	4.875	5.063	03. 03
	No.6	37-33-09.3	129-06-56.4	〃	3.353	3.541	03. 03
	No.7	37-33-00.1	129-06-58.9	〃	1.820	2.008	06. 04
	TGBM	37-33-01.9	129-07-01.2	〃	4.839	5.027	12. 10
동해	No.1	37-29-39.4	129-08-37.4	해양조사원	5.018	5.189	13. 04
(동해시 송정동)	No.2	37-29-37.9	129-08-34.4	〃	3.468	3.639	13. 04
	No.3	37-29-34.6	129-08-28.8	〃	2.798	2.969	13. 04
	TGBM	37-29-12.0	129-07-25.4	〃	5.302	5.473	13. 09
천부동(울릉도)	No.1	37-32-31.0	130-52-26.9	수로국	4.245	4.400	82. 04
(울릉군 북면)	No.2	37-32-28.6	130-52-22.8	〃	2.102	2.257	82. 04
	No.4	37-32-32.0	130-52-27.0	해양조사원	4.046	4.201	10. 07
저동(울릉도)	No.3	37-29-29.6	130-54-49.7	수로국	3.022	3.182	82. 04
(울릉군 남면)	No.6	37-29-30.0	130-54-49.1	해양조사원	1.507	1.667	10. 07
	No.7	37-29-29.0	130-54-50.3	〃	6.930	7.090	10. 07
	TGBM	37-29-28.3	130-54-49.2	〃	4.946	5.106	12. 10
독도	No.2	37-14-20.7	131-52-06.3	해양조사원	3.187	3.348	89. 08
(울릉군 울릉읍)	No.3	37-14-21.5	131-52-05.3	〃	1.343	1.504	13. 08
	No.4	37-14-21.2	131-52-02.6	〃	2.527	2.688	13. 08
삼척	No.5	37-26-19.6	129-11-24.6	해양조사원	3.121	3.296	97. 10
(삼척시 정하동)	No.7	37-26-33.2	129-11-33.3	〃	5.566	5.741	05. 04
	No.8	37-26-27.0	129-11-31.5	〃	6.552	6.727	07. 06
임원	No.7	37-13-39.5	129-20-29.2	해양조사원	5.930	6.084	05. 05
(삼척시 임원리)	No.9	37-13-40.8	129-20-30.3	〃	1.942	2.096	10. 04
	No.10	37-13-41.2	129-20-31.5	〃	1.801	1.955	13. 11
죽변	No.1	37-03-27.2	129-25-12.4	해양조사원	1.306	1.441	00. 10
(울진군 죽변면)	No.3	37-03-26.8	129-25-13.1	〃	1.971	2.106	00. 10
	No.4	37-03-25.5	129-25-08.4	〃	1.356	1.491	10. 04

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
거진	No.4	38-26-47.0	128-27-22.7	수로국	2.094	2.272	94. 06
(고성군 거진읍)	No.6	38-26-47.5	128-27-23.9	해양조사원	1.876	2.054	02. 04
	No.8	38-26-48.4	128-27-25.2	〃	1.874	2.052	10. 04
속초	No.1	38-12-25.2	128-35-31.7	수로국	6.337	6.532	69. 09
(속초시 동명동)	No.3	38-12-25.4	128-35-39.8	〃	1.593	1.788	88. 12
	No.4	38-12-24.9	128-35-38.9	해양조사원	2.983	3.178	09. 03
	TGBM	38-12-43.1	128-35-49.6	〃	3.178	3.373	12. 10
주문진	No.3	37-53-40.8	128-50-00.1	해양조사원	2.336	2.531	95. 05
(명주군 주문진읍)	No.5	37-53-43.1	128-49-57.3	〃	3.511	3.706	05. 04
	No.6	37-53-34.3	128-49-59.7	〃	4.657	4.852	05. 04
	No.7	37-53-48.8	128-50-02.9	〃	3.306	3.501	13. 10
안목	No.1	37-46-20.1	128-57-02.1	해양조사원	4.962	5.147	05. 04
(강릉시 견소동)	No.3	37-46-13.3	128-57-06.8	〃	4.701	4.886	05. 04
	No.4	37-46-16.6	128-57-00.3	〃	4.361	4.546	09. 09
묵호	No.2	37-33-01.1	129-06-59.8	수로국	1.748	1.936	86. 11
(동해시 묵호진동)	No.5	37-33-14.9	129-07-12.2	해양조사원	4.875	5.063	03. 03
	No.6	37-33-09.3	129-06-56.4	〃	3.353	3.541	03. 03
	No.7	37-33-00.1	129-06-58.9	〃	1.820	2.008	06. 04
	TGBM	37-33-01.9	129-07-01.2	〃	4.839	5.027	12. 10
동해	No.1	37-29-39.4	129-08-37.4	해양조사원	5.018	5.189	13. 04
(동해시 송정동)	No.2	37-29-37.9	129-08-34.4	〃	3.468	3.639	13. 04
	No.3	37-29-34.6	129-08-28.8	〃	2.798	2.969	13. 04
	TGBM	37-29-12.0	129-07-25.4	〃	5.302	5.473	13. 09
천부동(울릉도)	No.1	37-32-31.0	130-52-26.9	수로국	4.245	4.400	82. 04
(울릉군 북면)	No.2	37-32-28.6	130-52-22.8	〃	2.102	2.257	82. 04
	No.4	37-32-32.0	130-52-27.0	해양조사원	4.046	4.201	10. 07
저동(울릉도)	No.3	37-29-29.6	130-54-49.7	수로국	3.022	3.182	82. 04
(울릉군 남면)	No.6	37-29-30.0	130-54-49.1	해양조사원	1.507	1.667	10. 07
	No.7	37-29-29.0	130-54-50.3	〃	6.930	7.090	10. 07
	TGBM	37-29-28.3	130-54-49.2	〃	4.946	5.106	12. 10
독도	No.2	37-14-20.7	131-52-06.3	해양조사원	3.187	3.348	89. 08
(울릉군 울릉읍)	No.3	37-14-21.5	131-52-05.3	〃	1.343	1.504	13. 08
	No.4	37-14-21.2	131-52-02.6	〃	2.527	2.688	13. 08
삼척	No.5	37-26-19.6	129-11-24.6	해양조사원	3.121	3.296	97. 10
(삼척시 정하동)	No.7	37-26-33.2	129-11-33.3	〃	5.566	5.741	05. 04
	No.8	37-26-27.0	129-11-31.5	〃	6.552	6.727	07. 06
임원	No.7	37-13-39.5	129-20-29.2	해양조사원	5.930	6.084	05. 05
(삼척시 임원리)	No.9	37-13-40.8	129-20-30.3	〃	1.942	2.096	10. 04
	No.10	37-13-41.2	129-20-31.5	〃	1.801	1.955	13. 11
죽변	No.1	37-03-27.2	129-25-12.4	해양조사원	1.306	1.441	00. 10
(울진군 죽변면)	No.3	37-03-26.8	129-25-13.1	〃	1.971	2.106	00. 10
	No.4	37-03-25.5	129-25-08.4	〃	1.356	1.491	10. 04
후포	No.9	36-40-39.2	129-27-11.4	해양조사원	3.298	3.433	03. 03
(울진군 후포면)	No.10	36-40-45.4	129-27-06.9	〃	2.110	2.245	06. 03
	No.12	36-40-43.4	129-27-07.8	〃	1.594	1.729	09. 04
	No.13	36-40-50.2	129-27-54.3	〃	7.257	7.392	09. 04
	TGBM	36-40-50.0	129-27-12.9	〃	2.599	2.734	13. 09

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
축산 (영덕군 축산면)	No.2	36-30-42.3	129-26-56.4	수로국	3.052	3.183	92. 06
	No.4	36-30-37.8	129-26-54.0	해양조사원	2.563	2.694	01. 05
	No.5	36-30-40.3	129-26-59.4	〃	3.876	4.007	01. 09
강구 (영덕군 강구면)	No.7	36-21-33.5	129-23-24.3	해양조사원	1.627	1.752	01. 05
	No.10	36-21-35.8	129-23-28.0	〃	4.578	4.703	06. 11
	No.11	36-21-31.9	129-23-29.1	〃	4.203	4.328	11. 04
	No.12	36-21-30.7	129-23-30.1	〃	5.562	5.687	11. 04
월포리 (포항시 청하면)	No.2	36-12-33.6	129-22-44.3	수로국	5.526	5.652	72. 05
	No.5	36-12-31.0	129-22-40.5	해양조사원	3.643	3.769	01. 05
	No.8	36-12-33.5	129-22-45.6	〃	2.364	2.490	01. 05
	No.9	36-12-33.4	129-22-46.4	〃	1.642	1.768	01. 05
포항 (포항시 항구동)	No.3	36-03-05.7	129-22-27.8	해양조사원	1.242	1.365	99. 09
	No.5	36-02-49.7	129-23-02.0	〃	3.424	3.546	02. 11
	No.6	36-03-03.4	129-22-48.4	〃	1.809	1.932	05. 05
	No.8	36-03-06.7	129-22-33.8	〃	1.248	1.371	06. 04
	TGBM	36-03-06.9	129-22-29.3	〃	2.448	2.571	12. 10
	구분체	36-02-49.6	129-23-02.0	〃	4.069	4.192	02. 09
양포 (포항시 양포리)	No.3	35-52-55.8	129-31-10.4	해양조사원	2.559	2.677	99. 09
	No.4	35-52-55.0	129-31-13.5	〃	1.716	1.834	01. 05
	No.6	35-52-53.3	129-31-12.5	〃	1.480	1.598	13. 11
구룡포 (영일군 구룡포읍)	No.6	35-59-28.2	129-33-25.8	해양조사원	2.311	2.427	05. 05
	No.7	35-59-27.9	129-33-25.8	〃	1.623	1.739	12. 04
	No.8	35-59-28.3	129-33-28.3	〃	1.652	1.768	12. 04
감포 (경주시 감포읍)	No.5	35-48-15.2	129-30-18.0	해양조사원	3.406	3.537	01. 05
	No.6	35-48-14.9	129-30-18.0	〃	4.076	4.207	01. 05
	No.8	35-48-13.4	129-30-17.6	〃	4.937	5.068	12. 04
정자 (울산시 정자동)	No.1	35-37-06.8	129-27-01.6	수로국	2.557	2.761	85. 09
	No.5	35-37-13.8	129-26-57.4	해양조사원	2.066	2.270	09. 03
	No.6	35-37-06.8	129-27-04.9	〃	2.456	2.660	09. 10
울산 (울산시 장생포동)	No.5	35-30-13.4	129-23-13.6	수로국	2.571	2.875	96. 09
	No.7	35-30-10.3	129-23-14.5	해양조사원	1.715	2.019	07. 05
	No.9	35-30-06.7	129-23-13.6	〃	1.662	1.966	13. 06
	TGBM	35-30-13.5	129-23-14.2	〃	3.323	3.627	12. 10
온산 (울산시 황성동)	No.5	35-28-09.8	129-20-53.3	해양조사원	0.652	0.948	01. 05
	No.11	35-28-05.3	129-21-01.4	〃	1.745	2.041	11. 04
	No.12	35-28-03.5	129-21-01.7	〃	2.070	2.366	11. 04
방어진 (울산시 방어진항)	No.8	35-28-57.6	129-25-51.9	해양조사원	1.650	1.930	13. 06
	No.9	35-28-59.3	129-25-51.6	〃	1.973	2.253	13. 06
	No.10	35-29-01.6	129-25-51.7	〃	1.690	1.970	13. 06
고리 (부산시 기장군)	No.2	35-19-37.8	129-17-06.8	수로국	3.311	3.707	82. 11
	No.5	35-19-40.4	129-17-11.5	해양조사원	4.004	4.400	02. 04
	No.6	35-19-33.4	129-17-06.0	〃	1.205	1.601	12. 04
대변 (부산시 기장군)	No.5	35-13-12.0	129-13-40.1	해양조사원	3.056	3.541	98. 09
	No.6	35-13-06.3	129-13-41.2	〃	1.140	1.625	01. 05
	No.7	35-13-10.8	129-13-39.3	〃	3.396	3.881	02. 04

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

■ 남해 (106개소 364개)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
부산 (중구 대교동)	No.7	35-05-48.2	129-02-03.0	해양조사원	1.628	2.277	11. 03
	No.8	35-05-46.9	129-02-05.9	〃	2.361	3.010	13. 06
	TGBM	35-06-08.6	129-01-57.9	〃	13.235	13.884	12. 10
부산신항 (부산시 강서구)	No.1	35-04-39.4	128-47-05.2	해양조사원	2.318	3.240	13. 04
	No.2	35-04-39.3	128-47-05.6	〃	2.303	3.225	13. 04
	No.3	35-04-41.3	128-47-05.1	〃	1.867	2.789	13. 04
	TGBM	35-04-56.7	128-46-59.3	〃	2.089	3.011	13. 09
가덕도 (부산시 강서구)	No.4	35-01-24.1	128-48-39.5	해양조사원	2.053	3.006	02. 04
	No.5	35-01-25.9	128-48-36.8	〃	2.435	3.388	06. 04
	No.7	35-01-27.1	128-48-39.1	〃	2.386	3.339	06. 04
	TGBM	35-01-23.8	128-48-39.5	〃	4.291	5.244	12. 10
해운대 (부산시 해운대구)	No.1	35-09-37.4	129-11-30.6	해양조사원	1.446	1.968	07. 08
	No.2	35-09-37.0	129-11-29.2	〃	2.879	3.401	07. 08
	No.3	35-09-36.9	129-11-27.9	〃	3.585	4.107	07. 08
동삼동 (부산 영도구) 해양박물관	No.1	35-04-41.5	129-04-52.5	해양조사원	4.044	4.657	13. 06
	No.2	35-04-48.0	129-04-48.8	〃	3.351	3.964	13. 06
	No.3	35-04-45.0	129-04-45.3	〃	5.071	5.684	13. 06
	청사조형물	35-04-40.9	129-04-31.1	〃	7.127	7.740	13. 12
	TGBM	35-04-39.3	129-04-30.9	〃	7.206	7.819	13. 12
다대포항 (부산시 사하구)	No.1	35-03-15.7	128-58-20.9	해양조사원	1.153	1.87.9	13. 06
	No.2	35-03-16.7	128-58-20.2	〃	1.348	2.074	13. 06
	No.3	35-03-16.1	128-58-18.6	〃	1.843	2.569	13. 06
북형제도 (부산시 사하구)	No.1	34-55-57.1	128-58-24.0	해양조사원	8.896	9.868	07. 08
	No.2	34-55-58.2	128-58-24.4	〃	8.329	9.301	07. 08
	No.3	34-55-58.0	128-58-25.0	〃	5.772	6.744	07. 08
장승포 (거제시 장승포)	No.4	34-51-46.6	128-43-28.6	수로국	2.143	3.085	92. 06
	No.5	34-51-50.4	128-43-25.6	〃	2.095	3.037	92. 06
	No.7	34-51-45.9	128-43-29.5	해양조사원	2.053	2.995	02. 04
	No.8	34-51-46.7	128-43-29.8	〃	1.773	2.715	13. 07
지세포 (거제시 일운면)	No.1	34-49-49.8	128-42-14.1	수로국	2.435	3.393	85. 07
	No.3	34-49-49.1	128-42-13.4	해양조사원	3.020	3.978	00. 08
	No.4	34-49-50.2	128-42-13.6	〃	2.380	3.338	02. 04
	No.5	34-49-49.3	128-42-18.3	〃	1.757	2.715	12. 03
	No.6	34-49-48.4	128-42-20.2	〃	1.264	2.222	12. 03
	No.7	34-49-47.4	128-42-20.9	〃	1.675	2.633	12. 03
거제(구조라) (거제시 일운면)	No.5	34-48-07.8	128-41-57.1	해양조사원	3.831	4.838	04. 04
	No.6	34-48-08.4	128-41-56.5	〃	5.590	6.597	06. 12
	No.7	34-48-07.4	128-41-57.1	〃	3.760	4.767	06. 12
	TGBM	34-48-07.1	128-41-56.6	〃	6.257	7.264	12. 10
고현 (거제시 신현읍)	No.2	34-53-26.6	128-37-12.9	수로국	2.157	3.206	92. 08
	No.6	34-53-29.4	128-37-14.8	해양조사원	2.131	3.180	06. 04
	No.7	34-53-30.4	128-37-17.1	〃	2.438	3.487	06. 04
북여도 (거제시 남부면)	No.1	34-41-01.4	128-46-30.5	해양조사원	-0.403	0.827	07. 08
	No.2	34-41-01.3	128-46-30.8	〃	-0.563	0.667	07. 08
	No.4	34-41-00.7	128-46-29.8	〃	-0.862	0.368	11. 04

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
저구리 (거제시 남부면)	No.2	34-43-13.9	128-35-12.0	해양조사원	5.346	6.732	07. 08
	No.3	34-43-14.0	128-35-12.0	〃	6.690	8.076	07. 08
	No.4	34-42-56.1	128-35-04.9	〃	2.286	3.672	13. 07
	No.5	34-42-53.6	128-35-06.6	〃	4.803	6.189	13. 07
	No.6	34-42-54.1	128-35-08.5	〃	1.582	2.968	13. 07
서정리 (거제시 거제면)	No.1	34-50-46.5	128-34-55.3	해양조사원	2.161	3.593	07. 08
	No.2	34-50-47.5	128-34-56.4	〃	1.484	2.916	07. 08
	No.3	34-50-49.9	128-34-56.2	〃	2.065	3.497	07. 08
	No.4	34-50-58.5	128-35-00.2	〃	2.696	4.128	07. 09
사근리 (거제시 사등면)	No.1	34-54-54.0	128-30-57.8	해양조사원	2.834	3.913	07. 08
	No.2	34-54-54.5	128-30-57.3	〃	2.363	3.442	07. 08
	No.3	34-54-55.4	128-30-55.7	〃	3.027	4.106	07. 08
외포항 (거제시 장목면)	No.1	34-56-29.5	128-43-07.7	해양조사원	4.069	4.938	12. 05
	No.2	34-56-27.6	128-43-03.3	〃	2.584	3.453	12. 05
	No.3	34-56-24.5	128-43-02.1	〃	3.781	4.650	12. 05
능포항 (거제시 능포동)	No.1	34-53-07.0	128-44-09.8	해양조사원	2.494	3.359	12. 05
	No.2	34-53-05.9	128-44-15.2	〃	2.388	3.253	12. 05
	No.3	34-53-05.3	128-44-17.1	〃	2.595	3.460	12. 05
다대 다포항 (거제시 다대리)	No.1	34-43-54.8	128-37-48.0	해양조사원	1.973	3.046	12. 05
	No.2	34-43-52.8	128-37-45.0	〃	2.169	3.242	12. 05
	No.3	34-43-53.7	128-37-47.7	〃	4.295	5.368	12. 05
대포 근포항 (거제시 저구리)	No.1	34-42-56.1	128-35-04.9	해양조사원	1.468	2.713	12. 05
	No.2	34-42-53.6	128-35-06.6	〃	4.944	6.189	12. 05
	No.3	34-42-54.1	128-35-08.5	〃	1.748	2.993	12. 05
진해 (창원시 진해구)	No.1	35-08-58.4	128-38-15.6	해양조사원	2.871	3.868	98. 09
	No.2	35-08-58.3	128-38-16.9	〃	3.496	4.493	98. 09
	No.3	35-08-59.2	128-38-11.0	〃	3.037	4.034	11. 07
마산 (창원시 마산합포구)	No.12	35-12-39.4	128-35-02.4	해양조사원	4.522	5.506	06. 04
	No.13	35-12-39.5	128-34-59.2	〃	6.422	7.406	06. 04
	No.14	35-12-31.9	128-35-06.4	〃	2.377	3.361	06. 04
	TGBM	35-12-42.1	128-35-23.9	〃	2.424	3.408	13. 08
진해(동섬) (창원시 진해)	No.2	35-05-34.5	128-43-10.1	해양조사원	1.733	2.686	10. 11
	No.3	35-05-34.2	128-43-09.9	〃	1.542	2.495	10. 11
	No.4	35-05-33.6	128-43-09.9	〃	3.076	4.029	13. 06
광암항 (창원시 마산합포구)	No.3	35-06-16.0	128-29-51.0	해양조사원	2.452	3.487	12. 05
	No.4	35-06-13.8	128-29-52.1	〃	1.787	2.822	12. 05
	No.5	35-06-08.9	128-29-57.9	〃	3.678	4.713	12. 05
신리각(원정항) (창원시 마산합포구)	No.1	35-04-05.3	128-38-03.2	해양조사원	1.957	2.910	07. 08
	No.2	35-04-05.9	128-38-02.4	〃	2.032	2.985	07. 08
	No.3	35-04-05.7	128-38-01.6	〃	2.051	3.004	07. 08
	No.4	35-04-04.1	128-37-52.3	〃	2.056	3.009	12. 05
	No.5	35-04-05.1	128-37-53.8	〃	2.573	3.526	12. 05
	No.6	35-04-05.2	128-37-58.6	〃	2.300	3.253	12. 05

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
삼천포화력	No.2	34-54-52.2	128-06-06.1	수로국	9.553	11.105	94. 04
(사천시 서동)	No.4	34-54-52.5	128-06-06.5	해양조사원	6.892	8.444	02. 04
	No.5	34-54-51.7	128-06-05.5	〃	8.801	10.353	06. 05
삼천포(신항)	No.1	34-55-37.1	128-05-02.0	해양조사원	2.654	4.232	08. 11
(사천시 동서금동)	No.2	34-55-39.2	128-05-10.5	〃	3.614	5.192	08. 11
	No.3	34-55-39.0	128-05-15.8	〃	3.452	5.030	08. 11
중항리	No.1	35-03-23.6	128-01-34.2	해양조사원	2.518	4.479	07. 08
(사천시 곤양면)	No.2	35-03-25.5	128-01-32.7	〃	4.353	6.314	07. 08
비토리	No.1	34-57-57.8	127-58-20.1	해양조사원	3.024	4.720	07. 08
(사천시 서포면)	No.3	34-57-57.1	127-58-29.0	〃	3.905	5.601	07. 08
	No.5	34-57-56.5	127-58-25.7	〃	3.147	4.843	13. 06
맥전포	No.2	34-54-11.5	128-09-55.4	해양조사원	3.433	4.903	12. 05
(고성군 하일면)	No.3	34-54-12.3	128-09-54.9	〃	2.844	4.314	12. 05
	No.4	34-54-12.7	128-09-54.2	〃	3.922	5.392	12. 05
	No.5	34-54-12.7	128-09-54.4	〃	1.893	3.363	13. 06
남포항	No.1	34-57-25.9	128-19-21.7	해양조사원	2.347	3.799	12. 06
(고성군 고성읍)	No.2	34-57-30.7	128-19-18.4	〃	2.086	3.538	12. 06
	No.3	34-57-31.1	128-19-17.7	〃	2.331	3.783	12. 06
통영	No.10	34-49-39.9	128-26-04.4	해양조사원	2.152	3.562	99. 09
(통영시 도남동)	No.12	34-49-41.6	128-26-03.9	〃	2.765	4.175	04. 04
	No.13	34-49-41.8	128-26-05.1	〃	2.837	4.247	04. 04
	TGBM	34-49-40.7	128-26-03.6	〃	2.976	4.386	12. 10
사량도	No.5	34-50-36.5	128-13-32.9	해양조사원	2.862	4.389	98. 09
(통영시 사량면)	No.7	34-50-37.2	128-13-32.6	〃	2.552	4.079	02. 04
	No.8	34-50-36.6	128-13-30.1	〃	2.295	3.822	04. 04
소매물도	No.2	34-37-18.3	128-32-52.9	해양조사원	4.003	5.363	09. 06
(통영시 한산면)	No.3	34-37-17.4	128-32-52.2	〃	2.827	4.187	09. 06
	No.4	34-37-18.2	128-32-53.0	〃	2.797	4.157	11. 04
홍도(통영시)	No.2	34-32-14.7	128-43-53.5	해양조사원	3.021	4.372	07. 08
(통영시 한산면)	No.3	34-32-13.7	128-43-53.9	〃	3.993	5.344	07. 08
	No.4	34-32-13.9	128-43-53.8	〃	1.702	3.053	11. 04
추도리	No.1	34-45-29.4	128-17-15.6	해양조사원	3.101	4.732	07. 08
(통영시 산양읍)	No.2	34-45-29.6	128-17-15.3	〃	2.117	3.748	07. 08
	No.3	34-45-30.5	128-17-15.7	〃	1.913	3.544	07. 08
갈도	No.1	34-33-47.2	128-11-01.3	해양조사원	2.564	4.289	07. 08
(통영시 욕지면)	No.2	34-33-47.3	128-11-00.6	〃	2.374	4.099	07. 08
	No.4	34-33-47.4	128-11-00.9	〃	1.871	3.596	11. 04
매물도항	No.1	34-38-56.4	128-34-29.9	해양조사원	2.700	3.935	12. 06
(통영시 한산면)	No.2	34-38-50.9	128-34-30.8	〃	2.824	4.059	12. 06
	No.3	34-38-48.0	128-34-26.7	〃	6.938	8.173	12. 06
호두항	No.1	34-44-21.5	128-30-19.0	해양조사원	2.323	3.589	12. 06
(통영시 한산면)	No.2	34-44-19.6	128-30-14.9	〃	2.507	3.773	12. 06
	No.3	34-44-21.7	128-30-08.6	〃	2.381	3.647	12. 06

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
삼덕항 (통영시 산양읍)	No.1	34-47-35.5	128-22-54.1	해양조사원	4.037	5.414	12. 06
	No.2	34-47-36.7	128-22-55.3	〃	2.564	3.941	12. 06
	No.3	34-47-44.0	128-23-01.9	〃	2.771	4.148	12. 06
풍화리 (통영시 산양읍)	No.1	34-50-14.3	128-20-30.5	해양조사원	2.563	3.992	13. 06
	No.2	34-50-10.1	128-20-32.5	〃	2.161	3.590	13. 06
	No.3	34-54-09.2	128-20-33.2	〃	1.504	2.933	13. 06
능양항 (통영시 사량면)	No.1	34-48-44.1	128-14-42.5	해양조사원	2.590	4.018	12. 05
	No.2	34-48-44.4	128-14-43.4	〃	2.993	4.421	12. 05
	No.3	34-48-46.0	128-14-43.0	〃	1.436	2.864	12. 05
욕지도 (통영시 욕지면)	No.5	34-38-05.4	128-16-02.8	해양조사원	3.616	5.048	99. 11
	No.6	34-38-04.0	128-16-04.0	〃	3.347	4.779	99. 11
	No.8	34-38-04.4	128-16-00.7	〃	2.299	3.731	12. 05
물건항 (남해군 삼동면)	No.1	34-47-38.0	128-03-06.0	수로국	4.873	6.344	12. 05
	No.3	34-47-38.0	128-03-06.0	해양조사원	3.500	4.971	12. 05
	No.4	34-47-37.8	128-03-07.0	〃	2.984	4.455	12. 05
	No.5	34-47-39.1	128-03-07.5	〃	2.454	3.925	13. 06
양아리 (남해군 이동면)	No.1	34-42-02.4	127-57-22.9	수로국	4.752	6.466	68. 07
	No.4	34-42-01.9	127-57-25.5	해양조사원	4.270	5.984	02. 04
	No.5	34-42-01.8	127-57-26.3	〃	3.211	4.925	02. 04
노량리 (남해군 설천면)	No.4	34-56-27.6	127-52-30.1	수로국	2.793	4.597	82. 09
	No.5	34-56-28.2	127-52-30.5	〃	2.793	4.597	82. 09
	No.6	34-56-31.1	127-52-30.8	〃	2.793	4.597	82. 09
서상리 (남해군 서면)	No.2	34-48-39.0	127-49-51.2	수로국	6.313	8.147	74. 05
	No.4	34-48-38.3	127-49-51.4	해양조사원	5.374	7.208	00. 08
	No.5	34-48-38.2	127-49-51.8	〃	5.041	6.875	02. 04
동천리 (남해군 삼동면)	No.1	34-49-08.7	128-03-46.6	해양조사원	3.228	4.720	07. 08
	No.2	34-49-05.8	128-03-46.4	〃	3.923	5.415	07. 08
	No.3	34-49-06.3	128-03-44.5	〃	4.219	5.711	07. 08
지족리 (남해군 삼동면)	No.2	34-49-22.0	127-58-31.1	해양조사원	3.709	5.626	07. 08
	No.3	34-49-21.4	127-58-31.3	〃	3.808	5.725	07. 08
	No.4	34-49-21.4	127-58-27.8	〃	3.103	5.020	10. 05
초음리 (남해군 이동면)	No.1	34-49-42.5	127-56-39.3	해양조사원	3.628	5.390	07. 08
	No.2	34-49-44.7	127-56-38.9	〃	3.402	5.164	07. 08
	No.3	34-49-45.7	127-56-37.5	〃	3.318	5.080	07. 08
미조항 (남해군 미조면)	No.1	34-42-23.9	128-02-55.2	해양조사원	2.572	4.097	12. 07
	No.2	34-42-25.5	128-02-55.8	〃	2.380	3.905	12. 07
	No.3	34-42-21.3	128-03-02.3	〃	4.765	6.290	12. 07
감암 (남해군 설천면)	No.1	34-55-40.6	127-51-20.1	해양조사원	3.716	5.422	07. 08
	No.2	34-55-39.5	127-51-20.5	〃	3.191	4.897	07. 08
	No.4	34-55-40.1	127-51-19.3	〃	2.232	3.938	10. 05
	No.5	34-55-41.6	127-51-20.4	〃	2.177	3.883	13. 06
신노량항 (하동군 금남면)	No.1	34-56-52.9	127-51-44.3	해양조사원	2.360	4.090	12. 05
	No.2	34-56-49.6	127-51-48.6	〃	3.451	5.181	12. 05
	No.3	34-56-48.3	127-51-48.4	〃	3.245	4.975	12. 05

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
광양 (광양시 광양제철소)	No.3	34-54-13.4	127-45-22.0	수로국	4.210	6.121	89. 10
	No.4	34-54-09.7	127-45-39.0	〃	4.136	6.047	94. 10
	No.5	34-54-10.5	127-45-38.1	해양조사원	4.208	6.119	02. 04
	TGBM	34-54-10.1	127-45-40.9	〃	3.952	5.863	13. 08
순천만 (순천시 대대동)	No.1	34-53-01.9	127-30-41.7	해양조사원	3.347	5.265	13. 08
	No.2	34-53-01.7	127-30.42.3	〃	2.383	4.301	13. 08
	No.3	34-53-01.4	127-30-42.6	〃	2.227	4.145	13. 08
	TGBM	34-53-04.2	127-30-43.4	〃	3.961	5.879	13. 08
여수 (여수시 오동도)	No.5	34-44-49.2	127-46-58.1	해양조사원	3.167	4.975	00. 08
	No.6	34-44-49.8	127-46-58.3	〃	3.914	5.722	04. 04
	No.7	34-44-49.7	127-46-58.5	〃	3.882	5.690	06. 05
	TGBM	34-44-49.0	127-45-58.4	〃	9.895	11.703	12. 10
우학리 (여천군 남면)	No.2	34-30-34.5	127-46-00.5	수로국	3.867	5.574	77. 05
	No.3	34-30-34.1	127-46-01.0	해양조사원	3.127	4.834	98. 09
	No.4	34-30-34.1	127-46-02.5	〃	2.874	4.581	02. 04
	No.5	34-30-31.8	127-46-10.1	〃	2.724	4.431	13. 06
GS Caltex 제품부두 (여수시 월내동)	No.2	34-51-41.4	127-43-39.4	수로국	4.478	6.220	72. 07
	No.6	34-51-42.9	127-43-34.5	해양조사원	1.745	3.487	06.05
	No.7	34-51-43.0	127-43-34.6	〃	2.713	4.455	13. 07
사도 (여수시 화정면)	No.1	34-35-35.0	127-33-24.8	해양조사원	4.358	6.167	98.07
	No.4	34-35-36.0	127-33-20.8	〃	2.213	4.022	03. 02
	No.5	34-35-36.5	127-33-24.9	〃	3.716	5.525	06. 05
	No.6	34-35-34.9	127-33-24.9	〃	2.611	4.420	13. 07
거문도 (여수시 삼산면)	No.2	34-01-37.8	127-18-38.8	수로국	2.885	4.585	72.10
	No.4	34-01-40.9	127-18-32.8	해양조사원	3.045	4.745	99.09
	No.5	34-01-43.9	127-18-37.7	〃	4.211	5.911	05. 06
	No.6	34-01-44.1	127-18-38.4	〃	4.162	5.862	13. 04
	TGBM	34-01-43.7	127-18-37.0	〃	6.090	7.790	12. 10
초도 (여수시 삼산면)	No.1	34-14-25.4	127-14-46.0	해양조사원	5.271	7.025	07. 08
	No.2	34-14-22.5	127-14-49.5	〃	3.688	5.442	07. 08
	No.3	34-14-27.3	127-14-43.3	〃	4.345	6.099	07. 08
율림리 (여수시 돌산읍)	No.1	34-36-30.5	127-47-22.6	해양조사원	5.293	6.888	07. 08
	No.2	34-36-30.9	127-47-23.3	〃	4.609	6.204	07. 08
	No.4	34-36-31.2	127-47-24.4	〃	3.691	5.286	10. 04
소호동 (전남 여수시)	No.1	34-44-49.9	127-39-30.1	해양조사원	3.259	5.239	07. 08
	No.2	34-44-46.9	127-39-28.8	〃	6.440	8.420	07. 08
	No.3	34-44-47.2	127-39-28.9	〃	5.230	7.210	07. 08
안포리 (여수시 화양면)	No.1	34-37-38.3	127-38-35.2	해양조사원	3.391	5.338	07. 08
	No.2	34-37-39.1	127-38-36.4	〃	2.207	4.154	07. 08
	No.3	34-37-39.1	127-38-36.5	〃	2.342	4.289	07. 08
봉전리 (여수시 율촌면)	No.1	34-48-29.0	127-31-47.8	해양조사원	3.559	5.786	07. 08
	No.2	34-48-27.6	127-31-48.1	〃	3.982	6.209	07. 08
	No.3	34-48-26.7	127-31-50.8	〃	3.650	5.877	07. 08

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
여자만 (여수시 화정면)	No.1	34-45-23.9	127-30-12.0	해양조사원	2.651	4.602	12. 07
	No.2	34-45-22.5	127-30-14.2	〃	5.107	7.058	12. 07
	No.3	34-45-21.3	127-30-11.8	〃	15.702	17.653	12. 07
돌산항 (여수시 돌산읍)	No.1	34-36-47.6	127-43-15.2	해양조사원	3.548	5.229	12. 05
	No.2	34-36-53.3	127-43-17.4	〃	2.374	4.055	12. 05
	No.3	34-36-50.2	127-43-17.5	〃	4.158	5.839	12. 05
낭도항 (여수시 화정면)	No.1	34-36-22.0	127-32-18.0	해양조사원	5.970	7.787	12. 05
	No.2	34-36-15.0	127-32-23.0	〃	5.405	7.222	12. 05
	No.3	34-36-23.0	127-32-21.0	〃	3.838	5.655	12. 05
두모리 (여수시 남면)	No.1	34-31-30.3	127-43-54.0	해양조사원	3.691	5.530	07. 08
	No.2	34-31-28.2	127-43-55.3	〃	3.609	5.448	07. 08
	No.3	34-31-31.0	127-43-57.8	〃	3.971	5.810	07. 08
연도항 (여수시 남면)	No.1	34-25-53.3	127-48-00.0	해양조사원	2.063	3.738	11. 10
	No.2	34-25-42.7	127-47-46.4	〃	3.740	5.415	11. 10
	No.3	34-25-42.0	127-47-41.0	〃	4.331	6.006	11. 10
심포항 (여수시 남면)	No.1	34-29-50.7	127-46-12.4	해양조사원	2.346	4.101	13. 09
	No.2	34-29-50.3	127-46-11.2	〃	3.605	5.270	13. 09
	No.3	34-29-52.3	127-46-14.1	〃	2.503	4.168	13. 09
녹동 (고흥군 도양읍)	No.7	34-31-40.6	127-08-02.7	해양조사원	3.087	5.078	01. 09
	No.8	34-31-38.5	127-07-57.9	〃	2.880	4.871	01. 09
	No.9	34-31-39.7	127-07-56.8	〃	3.746	5.737	03. 04
	No.10	34-31-37.3	127-08-03.0	〃	2.487	4.478	09. 06
	No.11	34-31-37.1	127-08-04.5	〃	2.443	4.434	13. 06
고흥(발포) (고흥군 도화면)	No.2	34-28-49.8	127-20-27.6	해양조사원	4.424	6.303	05. 12
	No.3	34-28-49.8	127-20-27.6	〃	4.601	6.480	05. 12
	No.4	34-28-50.1	127-20-26.1	〃	4.511	6.390	13. 07
	No.5	34-28-51.0	127-20-26.2	〃	4.609	6.488	13. 07
	TGBM	34-28-50.9	127-20-26.1	〃	5.111	6.990	13. 07
금사리 (고흥군 영남면)	No.1	34-35-22.4	127-24-31.7	해양조사원	2.363	4.236	07. 08
	No.2	34-35-24.4	127-24-31.7	〃	1.955	3.828	07. 08
	No.3	34-35-25.2	127-24-32.8	〃	5.723	7.596	07. 08
금진리 (고흥군 금산면)	No.1	34-29-24.7	127-07-23.4	해양조사원	2.585	4.614	07. 08
	No.2	34-29-24.6	127-07-26.8	〃	3.987	6.016	07. 08
	No.3	34-29-23.5	127-07-26.9	〃	3.911	5.940	07. 08
고흥방조제 (고흥군 두원면)	No.1	34-39-41.6	127-13-35.6	해양조사원	3.970	5.986	07. 08
	No.2	34-39-42.9	127-13-35.1	〃	3.315	5.331	07. 08
	No.3	34-39-42.3	127-13-37.5	〃	3.927	5.943	07. 08
우도 (고흥군 남양면)	No.1	34-43-10.4	127-18-36.7	해양조사원	3.270	5.587	07. 08
	No.2	34-43-12.6	127-18-33.3	〃	4.107	6.424	07. 08
	No.4	34-43-11.9	127-18-31.5	〃	3.316	5.633	12. 05
	No.5	34-43-09.2	127-18-30.7	〃	3.162	5.479	13. 07

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
시산항 (고흥군 도양읍)	No.1	34-23-40.5	127-15-38.9	해양조사원	4.858	6.698	12. 05
	No.2	34-23-38.8	127-15-40.5	〃	4.482	6.322	12. 05
	No.3	34-23-37.6	127-15-55.7	〃	5.782	7.622	12. 05
여호항 (고흥군 점암면)	No.1	34-39-37.9	127-28-18.1	해양조사원	2.532	4.457	11. 10
	No.2	34-39-47.0	127-28-16.7	〃	2.049	3.974	11. 10
	No.3	34-39-29.3	127-28-30.9	〃	2.449	4.374	11. 10
동률리 (보성군 회천면)	No.1	34-40-14.0	127-05-45.3	해양조사원	3.592	5.725	07. 08
	No.2	34-40-12.9	127-05-42.8	〃	3.976	6.109	07. 08
	No.3	34-40-12.1	127-05-41.3	〃	4.624	6.757	07. 08
수문리 (장흥군 안양면)	No.1	34-38-06.7	127-02-45.9	해양조사원	2.960	5.070	07. 08
	No.2	34-38-06.8	127-02-45.2	〃	3.515	5.625	07. 08
	No.3	34-38-04.8	127-02-45.6	〃	4.045	6.155	07. 08
대리 (장흥군 회진면)	No.1	34-28-14.0	126-58-36.0	해양조사원	4.316	6.331	12. 05
	No.2	34-28-15.0	126-58-39.0	〃	3.250	5.265	12. 05
	No.3	34-28-15.0	126-58-40.0	〃	4.513	6.528	12. 05
내동리 (해남군 북일면)	No.4	34-28-22.3	126-45-09.5	해양조사원	2.834	4.872	13. 09
	No.5	34-28-20.0	126-45-09.7	〃	2.700	4.738	13. 09
	No.6	34-28-17.9	126-45-10.7	〃	3.836	5.874	13. 09
완도 (완도군 완도읍)	No.5	34-18-58.3	126-45-35.1	수로국	3.667	5.669	92. 08
	No.6	34-18-59.3	126-45-35.0	해양조사원	3.177	5.179	99. 09
	No.8	34-18-56.2	126-45-35.0	〃	3.424	5.426	01. 09
	TGBM	34-18-56.2	126-45-36.4	〃	4.742	6.744	12. 10
득암리 (완도군 약산면)	No.1	34-21-38.5	126-53-37.3	해양조사원	3.638	5.546	07. 08
	No.2	34-21-37.5	126-53-35.5	〃	3.882	5.790	07. 08
	No.3	34-21-38.4	126-53-35.5	〃	3.685	5.593	07. 08
	No.4	34-21-37.3	126-53-34.5	〃	2.834	4.742	13. 06
달도리 (완도군 군외면)	No.1	34-23-35.6	126-38-34.1	해양조사원	2.477	4.547	07. 08
	No.3	34-23-33.7	126-38-33.5	〃	2.979	5.049	07. 08
	No.4	34-23-33.5	126-38-33.6	〃	3.202	5.272	12. 04
생일도 (완도군 생일면)	No.1	34-19-15.0	126-57-36.3	해양조사원	7.074	8.799	12. 05
	No.2	34-19-10.3	126-57-33.6	〃	4.646	6.371	12. 05
	No.3	34-19-08.0	126-57-30.2	〃	4.334	6.059	12. 05
청산도 (완도군 청산면)	No.1	34-10-41.0	126-51-05.0	해양조사원	2.410	4.166	12. 08
	No.2	34-10-44.2	126-50-57.8	〃	3.212	4.967	12. 08
	No.3	34-10-44.0	126-50-57.0	〃	5.363	7.118	12. 08
보옥항 (완도군 보길면)	No.1	34-07-51.0	126-30-44.0	해양조사원	5.436	7.204	12. 04
	No.2	34-07-44.5	126-30-49.0	〃	1.598	3.366	12. 04
	No.3	34-07-38.0	126-30-46.0	〃	4.645	6.413	12. 04
사수도 (완도군 소안면)	No.1	33-55-06.4	126-38-18.5	해양조사원	1.317	2.899	12. 09
	No.2	33-55-06.8	126-38-17.7	〃	1.317	2.899	13. 10
	No.3	33-55-06.7	126-38-17.4	〃	1.317	2.899	13. 10

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
여서도 (완도군 청산면)	No.1	33-59-14.8	126-55-22.5	해양조사원	2.157	3.817	12. 08
	No.2	33-59-19.1	126-55-27.8	〃	12.892	14.552	12. 08
	No.3	33-59-17.5	126-55-11.5	〃	5.636	7.296	12. 08
	No.4	33-59-13.1	126-55-22.2	〃	2.324	3.984	13. 07
도장항 (완도군 금일면)	No.1	34-22-05.3	127-00-39.8	해양조사원	1.900	3.799	11. 09
	No.2	34-22-03.3	127-00-34.9	〃	4.747	6.646	11. 09
	No.3	34-21-55.8	127-00-37.8	〃	5.244	7.143	11. 09
소안항 (완도군 소안면)	No.1	34-08-59.1	126-37-51.4	해양조사원	1.912	3.769	11. 06
	No.3	34-08-57.1	126-37-49.1	〃	2.557	4.414	11. 06
	No.4	34-08-59.0	126-37-54.9	〃	2.161	4.018	13. 08
이목항 (완도군 노화읍)	No.1	34-10-37.0	126-33-59.4	해양조사원	2.206	4.063	05. 06
	No.2	34-10-37.2	126-33-56.9	〃	2.224	4.081	05. 06
	No.3	34-10-36.4	126-34-02.9	〃	2.176	4.033	05. 06
세화 (제주시 구좌읍)	No.4	33-31-39.2	126-51-22.2	해양조사원	1.175	2.464	94. 05
	No.5	33-31-40.6	126-51-19.2	〃	1.164	2.453	01. 09
	No.6	33-31-41.4	126-51-24.7	〃	2.618	3.907	12. 03
제주 (제주시 일도동)	No.7	33-31-38.8	126-32-35.5	해양조사원	2.733	4.150	99. 09
	No.9	33-31-37.4	126-32-36.3	〃	3.231	4.648	01. 09
	No.12	33-31-18.6	126-32-41.5	〃	4.799	6.216	05. 06
	No.13	33-31-17.0	126-32-35.8	〃	5.073	6.490	09. 04
	TGBM	33-31-19.0	126-32-41.8	〃	2.321	3.738	12. 10
한림 (제주시 한림읍)	No.1	33-24-53.0	126-15-29.9	수로국	3.124	4.553	95. 05
	No.3	33-24-58.1	126-15-42.4	〃	2.480	3.909	95. 05
	No.4	33-24-52.4	126-15-51.6	〃	7.541	8.970	95. 05
	No.5	33-24-51.3	126-15-28.8	해양조사원	3.051	4.480	03. 04
추자도 (제주시 추자면)	No.5	33-57-43.2	126-18-00.4	해양조사원	2.235	3.913	00. 11
	No.6	33-57-45.1	126-17-59.6	〃	3.829	5.507	05. 06
	No.7	33-57-45.5	126-17-58.5	〃	3.419	5.097	07. 05
	TGBM	33-57-46.6	126-17-56.1	〃	11.751	13.429	12. 10
신양항 (제주시 추자면)	No.1	33-56-28.5	126-19-28.1	해양조사원	2.780	4.425	12. 05
	No.2	33-56-29.0	126-19-29.0	〃	3.267	4.912	12. 05
	No.3	33-56-35.0	126-19-32.0	〃	5.866	7.511	12. 05
김녕항 (제주시 구좌읍)	No.1	33-33-27.7	126-44-22.2	해양조사원	2.304	3.597	12. 06
	No.2	33-33-29.1	126-44-23.4	〃	2.397	3.690	12. 06
	No.3	33-33-31.3	126-44-28.9	〃	2.891	4.184	12. 06
도두항 (제주시 도두동)	No.1	33-30-23.3	126-27-59.1	해양조사원	2.951	4.248	12. 06
	No.2	33-30-23.7	126-27-59.7	〃	5.364	6.661	12. 06
	No.3	33-30-31.4	126-27-59.6	〃	6.164	7.461	12. 06
성산포 (서귀포시 성산읍)	No.7	33-28-13.9	126-55-21.7	해양조사원	2.090	3.421	05. 04
	No.8	33-28-14.4	126-55-23.8	〃	1.568	2.899	05. 04
	No.9	33-28-07.0	126-55-26.7	〃	2.250	3.581	09. 04
	TGBM	33-28-14.4	126-55-23.8	〃	1.831	3.162	12. 10

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		MSL상	DL상	
서귀포 (서귀포시)	No.3	33-14-22.3	126-33-50.8	수로국	3.693	5.209	82. 03
	No.4	33-14-23.9	126-33-42.3	〃	3.231	4.747	92. 08
	No.5	33-14-22.1	126-33-52.3	해양조사원	3.945	5.461	99. 10
	TGBM	33-14-24.2	126-33-42.6	〃	3.831	5.347	12. 10
서건도(서귀포) (서귀포시 강정동)	No.1	33-13-46.9	126-29-56.2	해양조사원	14.214	15.706	01. 12
	No.2	33-13-47.5	126-29-55.9	〃	14.327	15.819	01. 12
	No.4	33-13-47.3	126-29-55.9	〃	13.306	14.798	12. 04
모슬포 (서귀포시 대정읍)	No.1	33-12-51.8	126-15-04.5	해양조사원	2.712	4.182	05. 06
	No.3	33-12-51.0	126-15-09.3	〃	1.499	2.969	05. 06
	No.4	33-12-49.9	126-15-10.1	〃	0.943	2.413	05. 06
	TGBM	33-12-50.7	126-15-09.5	〃	2.146	3.616	13. 08
하효항 (서귀포시 하효동)	No.1	33-14-57.7	126-37-15.4	해양조사원	2.246	3.629	12. 06
	No.4	33-15-00.8	126-37-13.6	〃	2.945	4.328	13. 06
	No.5	33-15-01.0	126-37-13.7	〃	6.286	7.669	13. 06

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

■ 서해 (173개소 567개)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
백령도	No.3	37-57-11.9	124-43-54.4	수로국	3.494	5.589	94. 07
(옹진군 백령면)	No.4	37-57-08.4	124-43-54.1	해양조사원	4.898	6.993	00. 04
	No.5	37-57-04.6	124-43-52.8	〃	5.091	7.186	00. 04
대청도	No.5	37-49-33.3	124-42-52.5	해양조사원	4.202	6.261	00. 04
(옹진군 대청면)	No.6	37-49-27.3	124-43-01.6	〃	3.930	5.989	03. 04
	No.7	37-49-30.8	124-43-05.3	〃	3.545	5.604	12. 05
	TGBM	37-49-54.0	124-42-50.0	〃	8.927	10.986	12. 10
연평도	No.5	37-39-34.9	125-42-01.8	해양조사원	4.705	8.371	00. 04
(옹진군 송림면)	No.7	37-39-15.5	125-42-36.5	〃	4.924	8.590	03. 04
	No.8	37-39-31.9	125-42-02.7	〃	4.404	8.070	09. 04
	No.9	37-39-16.3	125-42-44.0	〃	5.305	8.971	11. 08
	No.10	37-39-18.0	125-42-32.8	〃	5.555	9.221	11. 08
영종대교	No.1	37-32-56.0	126-35-51.5	해양조사원	7.874	12.597	13. 07
(인천 서구 경서동)	No.2	37-32-55.1	126-35-48.3	〃	7.573	12.296	13. 07
	No.3	37-32-54.9	126-35-48.0	〃	7.866	12.589	13. 07
	TGBM	37-33-07.5	126-36-25.1	〃	20.075	24.798	13. 07
경인항	No.1	37-33-38.9	126-36-05.2	해양조사원	6.504	11.247	13. 07
(인천 서구 오류동)	No.2	37-33-39.6	126-36-04.9	〃	6.505	11.248	13. 07
	No.3	37-33-41.3	126-36-04.3	〃	6.537	11.280	13. 07
	TGBM	37-33-28.1	126-36-12.8	〃	6.843	11.586	13. 07
강화대교	No.1	37-44-00.3	126-31-03.2	해양조사원	18.101	21.442	12. 07
(인천 강화군 강화읍)	No.2	37-44-00.4	126-31-05.5	〃	18.484	21.825	12. 07
	No.3	37-44-00.7	126-31-02.3	〃	17.582	20.923	12. 07
	TGBM	37-44-03.2	126-30-54.6	〃	6.976	10.317	13. 07
강화도(건평)	No.1	37-40-53.8	126-23-45.6	해양조사원	7.709	12.243	13. 09
(강화군 양도면)	No.2	37-40-52.5	126-23-53.1	〃	5.228	9.762	13. 09
	No.3	37-40-49.9	126-23-55.8	〃	3.870	8.404	13. 09
모도(옹진군)	No.5	37-32-08.9	126-24-50.5	해양조사원	5.476	10.224	03. 04
(옹진군 북도면)	No.8	37-32-12.7	126-24-50.3	〃	5.983	10.731	09. 05
	No.9	37-32-11.1	126-24-52.0	〃	5.259	10.007	13. 10
장봉도	No.3	37-31-50.4	126-22-59.6	해양조사원	7.935	12.401	06. 08
(옹진군 북도면)	No.4	37-31-47.7	126-22-55.6	〃	5.366	9.832	06. 08
	No.5	37-31-51.4	126-23-04.9	〃	6.783	12.249	09. 05
소무의도	No.1	37-22-26.9	126-26-30.6	해 군	6.387	10.869	79. 11
(옹진군 용유면)	No.2	37-22-25.7	126-26-30.8	〃	8.257	12.739	79. 11
	No.5	37-22-27.5	126-26-28.8	해양조사원	4.884	9.366	13. 09
굴업도	No.1	37-11-39.8	125-59-42.7	해양조사원	14.896	18.767	11. 10
(옹진군 덕적면)	No.2	37-11-19.7	125-59-09.6	〃	5.330	9.201	11. 10
	No.3	37-11-39.8	125-59-39.2	〃	5.599	9.470	11. 10
	TGBM	37-11-19.4	125-59-09.2	〃	7.693	11.564	12. 10

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
영흥도	No.1	37-13-58.6	126-25-59.0	해양조사원	7.920	12.254	02. 06
(옹진군 영흥면)	No.3	37-14-01.1	126-25-55.9	〃	7.983	12.317	02. 06
	No.4	37-14-05.1	126-25-54.9	〃	9.681	14.015	12. 07
	TGBM	37-14-00.5	126-25-57.1	〃	8.373	12.707	13. 08
선재도	No.2	37-15-12.9	126-30-41.9	해양조사원	5.694	10.160	02. 08
(옹진군 영흥면)	No.3	37-15-11.8	126-30-43.4	〃	4.615	9.081	06. 03
	No.4	37-15-14.8	126-30-40.0	〃	4.549	9.015	06. 03
덕적도(북리)	No.5	37-15-08.7	126-07-06.2	해양조사원	4.763	9.009	03. 04
(옹진군 덕적면)	No.6	37-15-13.8	126-07-07.5	〃	5.168	9.414	06. 09
	No.7	37-15-08.7	126-07-08.4	〃	5.419	9.665	06. 09
덕적도(진리)	No.3	37-13-41.5	126-09-28.5	수로국	4.592	8.674	83. 03
(옹진군 덕적면)	No.9	37-13-42.4	126-09-30.3	해양조사원	4.102	8.184	06. 09
	No.10	37-13-42.5	126-09-31.2	〃	4.193	8.275	06. 09
이작도	No.1	37-10-41.3	126-14-23.3	수로국	5.547	9.688	82. 09
(옹진군 자월면)	No.3	37-10-41.6	126-14-23.0	해양조사원	5.435	9.576	00. 04
	No.4	37-10-44.1	126-14-19.7	〃	6.265	10.406	00. 04
선갑도	No.2	37-05-49.9	126-03-59.6	해양조사원	6.530	10.385	03. 09
(옹진군 자월면)	No.3	37-05-49.5	126-03-59.8	〃	6.247	10.102	06. 09
	No.4	37-05-50.3	126-03-59.4	〃	6.453	10.308	12. 05
자월도	No.1	37-14-41.0	126-19-06.0	해양조사원	7.079	11.335	13. 09
(옹진군 자월면)	No.2	37-14-41.0	126-19-02.5	〃	5.201	9.457	13. 09
	No.3	37-14-41.7	126-19-01.3	〃	5.089	9.345	13. 09
백아도	No.1	37-04-30.7	125-57-13.4	수로국	5.732	9.449	77. 05
(옹진군 덕적면)	No.3	37-04-33.8	125-57-08.5	〃	3.772	7.489	89. 08
	No.4	37-04-33.3	125-57-09.1	해양조사원	5.762	9.479	03. 04
미법도	No.2	37-43-30.6	126-16-07.9	해 군	4.964	9.353	78. 01
(강화군 삼산면)	No.5	37-43-32.7	126-16-10.1	해양조사원	6.287	10.676	03. 04
	No.6	37-43-32.1	126-16-11.7	〃	5.554	9.943	06. 09
세어도	No.4	37-34-23.8	126-34-10.4	해양조사원	4.492	9.199	06. 09
(인천 서구 원창동)	No.5	37-34-23.8	126-34-10.8	〃	4.014	8.721	12. 05
	No.6	37-34-24.1	126-34-09.2	〃	5.426	10.133	12. 05
예단포	No.2	37-31-10.5	126-29-42.1	해양조사원	6.825	11.534	02. 09
(인천 중구 운북동)	No.3	37-31-10.5	126-29-42.0	〃	5.819	10.528	02. 09
	No.4	37-31-10.6	126-29-44.0	〃	7.531	12.240	02. 09
인천	No.3	37-28-11.4	126-35-43.6	수로국	7.391	12.031	81. 12
(인천 중구 북성동)	No.6	37-28-17.6	126-35-44.6	〃	5.964	10.604	94. 12
	No.7	37-28-02.5	126-36-15.1	〃	6.506	11.146	94. 12
	No.9	37-27-01.2	126-35-49.2	해양조사원	5.365	10.005	98. 10
	No.10	37-26-57.7	126-35-46.9	〃	5.727	10.367	98. 10
	No.11	37-27-07.2	126-35-31.8	〃	5.591	10.231	98. 10
	TGBM	37-26-56.0	126-35-46.2	〃	6.680	11.320	12. 10
용유도(을왕리)	No.2	37-26-55.0	126-22-10.2	해양조사원	5.084	9.505	02. 05
(인천 중구 을왕동)	No.4	37-26-53.8	126-22-09.7	〃	5.392	9.813	06. 04
	No.5	37-26-55.6	126-22-08.6	〃	5.842	10.263	06. 04

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
잠진도	No.1	37-25-00.9	126-24-52.7	해양조사원	5.197	9.537	02. 05
(인천 중구 을왕동)	No.2	37-25-00.6	126-24-52.8	〃	5.386	9.726	02. 05
	No.4	37-25-00.9	126-24-54.5	〃	5.443	9.783	13. 06
팔미도	No.1	37-21-30.8	126-30-47.2	해양조사원	4.920	9.456	06. 09
(인천 중구 무의동)	No.3	37-21-31.2	126-30-47.1	〃	7.571	12.110	06. 09
	No.4	37-21-31.3	126-30-47.0	〃	5.720	10.259	09. 04
	No.5	37-21-31.0	126-30-48.2	〃	5.567	10.106	13. 09
인천송도	No.1	37-20-51.5	126-36-08.2	해양조사원	6.843	11.428	12. 07
	No.2	37-20-51.5	126-36-04.3	〃	6.942	11.527	12. 07
(인천 연수구 동춘동)	No.3	37-20-50.6	126-35-57.8	〃	6.855	11.440	12. 07
	TGBM	37-20-51.1	126-36-27.8	〃	7.321	11.906	13. 07
월곶	No.1	37-23-16.2	126-44-03.5	해양조사원	6.235	10.789	02. 05
	No.3	37-23-17.8	126-44-02.4	〃	6.292	10.846	06. 04
(시흥시 월곶)	No.4	37-23-14.8	126-44-05.1	〃	6.321	10.875	09. 04
	No.5	37-23-25.4	126-44-05.5	〃	6.134	10.688	13. 10
상가리도	No.3	37-19-31.5	126-39-18.2	해양조사원	7.998	12.517	02. 06
(시흥시 정왕동)	No.5	37-19-31.4	126-39-17.6	〃	7.926	12.445	06. 04
	No.6	37-19-32.0	126-39-17.5	〃	6.710	11.229	09. 04
오이도	No.1	37-20-49.1	126-40-56.3	해양조사원	5.507	10.102	13. 09
(시흥시 정왕동)	No.2	37-20-45.8	126-41-02.9	〃	5.527	10.122	13. 09
	No.3	37-20-44.3	126-41-08.1	〃	5.326	9.921	13. 09
대부도(남서)	No.1	37-11-54.6	126-32-06.7	해양조사원	5.084	9.379	02. 08
(안산시 대부남동)	No.3	37-11-54.4	126-32-07.1	〃	6.025	10.320	06. 03
	No.4	37-11-54.4	126-32-07.0	〃	5.510	9.805	06. 03
안산(탄도)	No.1	37-11-31.5	126-38-50.8	해양조사원	5.438	9.769	00. 06
(안산시 선감동)	No.2	37-11-32.9	126-38-50.5	〃	5.055	9.386	02. 07
	TGBM	37-11-31.3	126-38-48.9	〃	6.857	11.188	12. 10
풍도	No.1	37-06-47.5	126-23-37.4	해양조사원	5.597	9.898	13. 10
(안산시 풍도동)	No.2	37-06-49.5	126-23-34.6	〃	6.847	11.148	13. 10
	No.3	37-06-50.2	126-23-33.1	〃	6.399	10.700	13. 10
제부도	No.1	37-10-22.7	126-36-59.1	해양조사원	4.218	8.656	00. 06
(화성시 서신면)	No.2	37-10-22.7	126-36-59.7	〃	6.602	11.040	00. 06
	No.8	37-10-20.7	126-37-00.8	〃	6.764	11.202	06. 04
	No.9	37-10-46.1	126-37-19.5	〃	7.237	11.675	13. 09
	No.10	37-10-43.5	126-37-18.6	〃	6.050	10.488	13. 09
	No.11	37-10-43.5	126-37-19.6	〃	5.110	9.548	13. 09
궁평리	No.2	37-07-03.7	126-40-51.6	해양조사원	5.881	10.374	03. 06
(화성시 서신면)	No.4	37-06-55.2	126-40-50.9	〃	7.150	11.643	06. 04
	No.5	37-06-55.4	126-40-44.4	〃	5.376	9.869	06. 04
입파도	No.2	37-05-40.0	126-32-18.0	해양조사원	4.764	9.091	03. 08
(화성시 우정읍)	No.3	37-05-39.5	126-32-17.2	〃	4.577	8.904	03. 08
	No.4	37-05-39.9	126-32-18.0	〃	4.952	9.279	12. 04

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
화옹방조제 (화성시 우정읍)	No.1	37-05-51.6	126-42-09.5	해양조사원	8.365	12.875	13. 09
	No.2	37-05-50.2	126-42-11.7	〃	8.330	12.840	13. 09
	No.3	37-05-49.1	126-42-13.5	〃	8.380	12.890	13. 09
평택(남양만) (평택시 포승면)	No.1	37-00-32.3	126-47-54.7	수로국	4.748	9.402	82. 06
	No.2	37-00-31.3	126-47-55.5	해양조사원	1.668	6.322	07. 10
	No.3	37-00-30.9	126-47-54.6	〃	5.376	10.030	06. 10
평택(LNG부두) (평택시 포승면)	No.1	37-00-13.8	126-46-53.8	수로국	9.129	13.752	94. 05
	No.2	37-00-13.6	126-46-54.3	해양조사원	9.076	13.699	06. 10
	No.4	37-00-13.0	126-46-55.7	〃	8.603	13.226	13. 08
평택(동부두) (평택시 포승면)	No.1	36-57-35.1	126-50-28.6	해양조사원	6.195	10.849	00. 10
	No.2	36-57-48.3	126-50-35.5	〃	7.101	11.755	06. 10
	No.3	36-57-38.5	126-50-26.1	〃	6.255	10.909	06. 10
평택(서부두) (평택시 포승면)	No.1	36-58-00.7	126-49-21.9	해양조사원	6.206	10.860	06. 10
	No.4	36-58-05.7	126-49-18.4	〃	6.262	10.916	09. 10
	No.6	36-58-06.3	126-49-18.0	〃	6.143	10.797	13. 08
	TGBM	36-57-42.2	126-50-44.7	〃	6.397	11.051	13. 08
원정리 (평택시 포승면)	No.1	37-00-20.4	126-46-50.6	해양조사원	7.681	12.310	03. 06
	No.2	37-00-21.2	126-46-49.6	〃	7.821	12.450	03. 06
	No.3	37-00-21.6	126-46-49.2	〃	8.766	13.395	03. 06
대난지도 (당진시 석문면)	No.4	37-03-16.7	126-26-58.7	해양조사원	4.736	9.073	06. 10
	No.5	37-03-13.7	126-26-56.7	〃	6.880	11.217	09. 04
	No.6	37-03-12.3	126-26-56.7	〃	5.003	9.340	09. 04
왜목(교로리) (당진시 석문면)	No.1	37-02-58.1	126-31-36.6	해양조사원	4.122	8.453	03. 06
	No.2	37-02-55.4	126-31-38.3	〃	3.638	7.969	03. 06
	No.4	37-02-57.9	126-31-37.1	〃	4.406	8.742	06. 10
	No.5	37-02-53.3	126-31-38.7	〃	5.128	9.459	09. 04
성구미 (당진시 송산면)	No.1	36-59-57.6	126-38-47.0	해양조사원	5.105	9.648	03. 06
	No.2	36-59-57.7	126-38-45.5	〃	5.093	9.636	03. 06
	No.3	36-59-57.6	126-38-43.3	〃	8.119	12.662	03. 06
가곡리 (당진시 송산면)	No.1	37-00-06.3	126-41-44.0	해양조사원	5.085	9.659	13. 10
	No.2	37-00-05.1	126-41-41.2	〃	5.123	9.697	13. 10
	No.3	37-00-02.4	126-41-40.9	〃	6.231	10.805	13. 10
삽교호 (당진시 신평면)	No.1	36-53-10.5	126-50-13.0	해양조사원	5.849	10.659	03. 06
	No.2	36-53-10.2	126-50-13.9	〃	5.859	10.669	03. 06
	No.3	36-53-10.0	126-50-14.6	〃	5.833	10.643	03. 06
대산 (서산시 대산읍)	No.4	37-00-16.7	126-21-09.4	해양조사원	5.250	9.388	99. 09
	No.6	37-00-17.1	126-21-12.7	〃	5.429	9.567	02. 03
	No.7	37-00-24.6	126-21-11.5	〃	6.127	10.265	04. 09
	TGBM	37-00-24.8	126-21-11.4	〃	5.072	9.210	12. 10
삼길포 (서산시 대산읍)	No.1	36-59-55.2	126-27-10.9	수로국	10.019	14.306	89. 06
	No.2	37-00-02.5	126-27-06.0	〃	7.371	11.658	86. 03
	No.3	36-59-56.0	126-27-13.9	해양조사원	5.631	9.918	02. 03

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
오지리 (서산시 대산읍)	No.1	36-57-41.3	126-20-01.4	해양조사원	5.185	9.139	03. 06
	No.3	36-57-40.6	126-20-03.3	〃	5.133	9.087	03. 06
	No.4	36-57-44.7	126-20-02.6	〃	5.163	9.117	05. 05
웅도 (서산시 대산읍)	No.1	36-55-01.5	126-22-24.5	해양조사원	5.415	9.541	05. 06
	No.3	36-55-01.4	126-22-25.7	〃	5.115	9.241	09. 04
	No.4	36-55-01.6	126-22-25.3	〃	4.570	8.696	09. 04
간월도 (서산시 부석면)	No.4	36-36-15.9	126-24-40.9	해양조사원	5.086	9.416	99. 09
	No.5	36-36-15.8	126-24-40.4	〃	6.671	11.001	99. 09
	No.7	36-36-15.8	126-24-40.6	〃	4.711	9.041	08. 04
태안 (태안군 원북면)	No.1	36-54-29.8	126-13-49.9	해양조사원	6.777	10.660	09. 04
	No.2	36-54-22.6	126-13-49.6	〃	6.968	10.851	09. 04
	No.4	36-54-22.0	126-13-50.0	〃	7.749	11.632	12. 07
	TGBM	36-54-30.9	126-14-15.2	〃	8.524	12.407	13. 08
황촌리 (태안군 원북면)	No.1	36-52-59.2	126-10-57.5	해양조사원	5.586	9.355	13. 09
	No.2	36-52-59.1	126-11-03.9	〃	5.393	9.162	13. 09
	No.3	36-52-59.3	126-11-05.3	〃	4.129	7.898	13. 09
사창리 (태안군 이원면)	No.1	36-50-30.5	126-18-13.0	해양조사원	4.616	8.917	13. 09
	No.2	36-50-27.1	126-18-05.5	〃	4.833	9.134	13. 09
	No.3	36-50-31.3	126-18-01.4	〃	4.872	9.173	13. 09
천리포 (태안군 소원면)	No.4	36-48-16.6	126-08-47.4	해양조사원	4.642	8.293	13. 08
	No.5	36-48-14.5	126-08-51.7	〃	3.399	7.050	13. 08
	No.6	36-48-13.7	126-08-54.8	〃	3.677	7.328	13. 08
어은돌(태안) (태안군 소원면)	No.1	36-45-09.1	126-07-35.4	해양조사원	5.641	9.204	03. 08
	No.2	36-45-08.4	126-07-35.1	〃	6.133	9.696	03. 08
	No.3	36-45-07.8	126-07-27.7	〃	6.126	9.689	03. 08
통개항 (태안군 소원면)	No.1	36-43-10.8	126-08-14.0	해양조사원	6.341	9.923	13. 09
	No.2	36-43-12.5	126-08-11.1	〃	5.399	8.981	13. 09
	No.3	36-43-18.0	126-08-15.3	〃	3.696	7.278	13. 09
의항항 (태안군 소원면)	No.1	36-49-54.7	126-10-03.9	해양조사원	4.059	7.794	13. 08
	No.2	36-49-57.3	126-10-05.8	〃	4.158	7.893	13. 08
	No.3	36-50-07.7	126-10-01.7	〃	4.897	8.632	13. 08
안흥(신진도) (태안군 근흥면)	No.3	36-40-23.0	126-07-56.0	수로국	5.362	8.909	86. 08
	No.4	36-40-26.0	126-07-57.0	해양조사원	3.759	7.306	99. 09
	No.5	36-40-22.3	126-08-08.3	〃	7.349	10.896	02. 04
	TGBM	36-40-24.9	126-08-00.1	〃	4.475	8.022	12. 10
가의도 (태안군 근흥면)	No.1	36-40-41.7	126-04-06.4	해양조사원	7.337	10.778	98. 09
	No.2	36-40-40.1	126-04-07.2	〃	6.832	10.273	98. 09
	No.3	36-40-39.8	126-04-10.1	〃	6.675	10.116	02. 04
	No.4	36-40-39.0	126-04-07.4	〃	5.462	8.903	13. 09
정죽리 (태안군 근흥면)	No.5	36-40-57.2	126-09-14.7	해양조사원	6.852	10.390	02. 04
	No.6	36-40-53.3	126-09-11.7	〃	7.759	11.297	05. 05
	No.7	36-40-46.9	126-09-09.6	〃	4.197	7.735	08. 04
	No.8	36-40-49.9	126-09-08.2	〃	4.293	7.831	13. 08

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
궁시도	No.1	36-39-48.7	125-51-37.5	해양조사원	4.200	7.500	03. 08
(태안군 근흥면)	No.2	36-39-48.5	125-51-38.1	〃	4.270	7.570	03. 08
	No.3	36-39-48.4	125-51-39.0	〃	3.671	6.971	03. 08
북격렬비열도	No.1	36-37-27.3	125-33-41.5	해양조사원	6.099	9.154	03. 06
(태안군 근흥면)	No.2	36-37-28.0	125-33-41.3	〃	5.703	8.758	03. 06
	No.3	36-37-28.3	125-33-41.3	〃	6.131	9.186	03. 06
창리	No.1	36-37-25.4	126-21-23.6	해양조사원	5.036	8.986	03. 06
(태안군 남면)	No.2	36-37-25.8	126-21-24.2	〃	7.016	10.966	03. 06
	No.3	36-37-25.3	126-21-22.7	〃	7.065	11.015	03. 06
백사장	No.1	36-35-11.0	126-19-04.5	해양조사원	4.031	7.636	03. 06
(태안군 안면읍)	No.2	36-35-10.9	126-19-05.7	〃	4.406	8.011	03. 06
	No.3	36-35-10.2	126-19-04.4	〃	4.525	8.130	03. 06
안면암	No.4	36-33-33.9	126-22-31.6	해양조사원	3.932	7.914	05. 04
(태안군 안면읍)	No.5	36-33-33.4	126-22-31.7	〃	3.710	7.692	05. 04
	No.6	36-33-35.9	126-22-28.0	〃	3.473	7.455	13. 09
영목항	No.1	36-23-58.5	126-25-36.0	해양조사원	4.484	8.295	13. 08
(태안군 고남면)	No.2	36-23-59.9	126-25-39.5	〃	4.977	8.788	13. 08
	No.3	36-24-02.3	126-25-40.4	〃	4.207	8.018	13. 08
도황리(채석포)	No.1	36-41-36.7	126-13-43.7	해양조사원	5.426	9.034	03. 06
(태안군 근흥면)	No.2	36-41-37.2	126-13-42.2	〃	6.459	10.067	03. 06
	No.3	36-41-38.8	126-13-39.1	〃	6.425	10.033	03. 06
	No.4	36-41-36.5	126-13-44.6	〃	3.765	7.373	13. 09
남당항	No.1	36-32-06.7	126-27-59.6	해양조사원	4.575	8.440	13. 09
(홍성군 서부면)	No.2	36-32-04.3	126-27-59.8	〃	3.270	7.135	13. 09
	No.3	36-32-02.8	126-28-03.1	〃	5.377	9.242	13. 09
오지리	No.1	36-57-41.3	126-20-01.4	해양조사원	5.185	9.139	03. 06
(서산시 대산읍)	No.3	36-57-40.6	126-20-03.3	〃	5.133	9.087	03. 06
	No.4	36-57-44.7	126-20-02.6	〃	5.163	9.117	05. 05
웅도	No.1	36-55-01.5	126-22-24.5	해양조사원	5.415	9.541	05. 06
(서산시 대산읍)	No.3	36-55-01.4	126-22-25.7	〃	5.115	9.241	09. 04
	No.4	36-55-01.6	126-22-25.3	〃	4.570	8.696	09. 04
간월도	No.4	36-36-15.9	126-24-40.9	해양조사원	5.086	9.416	99. 09
(서산시 부석면)	No.5	36-36-15.8	126-24-40.4	〃	6.671	11.001	99. 09
	No.7	36-36-15.8	126-24-40.6	〃	4.711	9.041	08. 04
고파도	No.1	36-54-37.5	126-20-14.2	해양조사원	4.801	8.994	13. 09
(서산시 팔봉면)	No.2	36-54-42.6	126-20-17.5	〃	4.829	9.022	13. 09
	No.3	36-54-46.6	126-20-19.4	〃	4.682	8.875	13. 09
구도항	No.1	36-49-44.8	126-19-35.5	해양조사원	2.369	6.596	13. 10
(서산시 팔봉면)	No.2	36-49-42.7	126-19-37.5	〃	2.119	6.346	13. 10
	No.3	36-49-40.0	126-19-37.9	〃	1.677	5.904	13. 10
외도	No.1	36-27-13.7	126-18-33.9	수로국	6.317	9.758	79. 09
(보령시 오천면)	No.3	36-27-13.1	126-18-33.2	해양조사원	4.645	8.086	02. 04
	No.4	36-27-09.6	126-18-29.3	〃	5.352	8.793	02. 04

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
보령 (보령화력발전소)	No.3	36-24-21.1	126-29-08.7	수로국	10.004	13.822	94. 10
	No.4	36-24-20.9	126-29-14.2	해양조사원	9.580	13.398	99. 09
	TGBM	36-24-18.1	126-29-14.0	〃	9.394	13.212	12. 10
삽시도 (보령시 오천면)	No.4	36-19-47.1	126-21-36.1	해양조사원	5.877	9.495	05. 05
	No.5	36-19-42.5	126-21-41.7	〃	4.815	8.433	08. 05
	No.6	36-19-41.3	126-21-42.9	〃	5.075	8.693	13. 08
녹도 (부안군 오천면)	No.1	36-16-13.7	126-16-00.2	해양조사원	4.849	8.269	13. 09
	No.2	36-16-10.7	126-15-59.8	〃	7.071	10.491	13. 09
	No.3	36-16-09.2	126-15-58.0	〃	5.414	8.834	13. 09
원산도 (보령시 오천면)	No.1	36-22-59.4	126-26-00.6	해양조사원	4.160	7.965	13. 09
	No.2	36-23-04.0	126-26-00.4	〃	3.873	7.678	13. 09
	No.3	36-23-03.9	126-26-05.4	〃	4.620	8.425	13. 09
외연도 (보령시 오천면)	No.6	36-13-35.1	126-04-49.2	해양조사원	4.437	7.666	08. 04
	No.7	36-13-34.8	126-04-46.4	〃	3.842	7.071	13. 08
	No.8	36-13-32.5	126-04-54.1	〃	3.674	6.903	13. 08
대천 (대천읍 신흑리)	No.7	36-19-37.9	126-30-32.2	해양조사원	5.079	8.789	05. 04
	No.8	36-19-39.4	126-30-36.7	〃	4.040	7.750	05. 04
	No.9	36-19-38.7	126-30-34.1	〃	4.438	8.148	08. 04
무창포 (보령시 웅천면)	No.1	36-14-56.2	126-32-13.8	수로국	5.354	8.989	95. 07
	No.5	36-14-53.4	126-32-15.3	해양조사원	6.417	10.052	05. 04
	No.7	36-14-56.5	126-32-13.5	〃	4.032	7.667	12. 05
마량리 (서천군 서면)	No.6	36-07-11.7	126-30-12.6	해양조사원	4.942	8.544	08. 04
	No.7	36-07-44.4	126-30-11.4	〃	5.186	8.788	08. 04
	No.8	36-07-45.0	126-30-11.6	〃	8.295	11.897	13. 6
	No.9	36-07-44.6	126-30-13.5	〃	4.166	7.768	13. 08
	TGBM	36-07-45.4	126-30-11.7	〃	5.259	8.861	13. 08
다사리 (서천군 종천면)	No.1	36-05-47.0	126-36-51.7	해양조사원	4.526	8.144	04. 08
	No.4	36-05-48.9	126-36-49.7	〃	4.312	7.930	08. 04
	No.5	36-05-49.4	126-36-49.1	〃	6.538	10.156	08. 04
마서면 (장항읍 마서면)	No.1	36-00-52.1	126-39-48.8	해양조사원	4.749	8.358	04. 07
	No.2	36-00-53.4	126-39-45.4	〃	4.034	7.643	04. 07
	No.3	36-00-53.6	126-39-45.0	〃	3.556	7.165	04. 07
장항 (장항읍 신창동)	No.5	36-00-28.6	126-41-21.3	수로국	4.191	7.932	71. 09
	No.6	36-00-27.3	126-41-23.9	해양조사원	4.832	8.573	00. 04
	No.7	36-00-27.0	126-41-27.0	〃	4.909	8.650	00. 04
	TGBM	36-00-28.3	126-41-25.9	〃	4.811	8.552	13. 09
연도(군산) (군산시 옥도면)	No.4	36-04-56.4	126-26-33.7	해양조사원	5.571	9.138	02. 04
	No.5	36-04-57.5	126-26-31.1	〃	5.848	9.415	05. 05
	No.6	36-04-58.4	126-26-30.4	〃	5.686	9.253	05. 05
야미도 (군산시 옥도면)	No.1	35-50-26.9	126-29-25.6	해양조사원	5.302	8.733	13. 08
	No.2	35-50-25.6	126-29-17.7	〃	4.420	7.851	13. 08
	No.3	35-50-33.3	126-29-16.9	〃	4.728	7.709	13. 08

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
십이동파도 (군산시 선유면)	No.1	35-59-25.3	126-13-32.6	해양조사원	4.304	7.656	03. 06
	No.2	35-59-24.8	126-13-33.5	〃	5.094	8.446	03. 06
	No.3	35-59-24.9	126-13-34.7	〃	5.461	8.813	03. 06
군산 (군산시 해망동)	No.1	35-59-35.1	126-42-38.2	수로국	4.331	8.044	62. 04
	No.2	35-59-26.4	126-42-52.9	〃	3.998	7.711	62. 04
	No.5	35-59-35	126-42-38	해양조사원	4.856	8.569	12. 06
군산외항 (군산시 소룡동)	No.1	35-58-16.4	126-37-27.8	수로국	4.803	8.426	80. 01
	No.5	35-58-13.1	126-37-32.2	〃	4.888	8.511	12. 06
	No.6	35-58-13.4	126-42-33.2	해양조사원	5.066	8.689	12. 06
군산외항 6부두 (군산시 소룡동)	No.1	35-58-30.6	126-33-46.9	해양조사원	5.309	8.932	06. 12
	No.2	35-58-18.9	126-33-20.9	〃	5.537	9.160	06. 12
	No.4	35-58-19.7	126-33-17.9	〃	5.696	9.318	12. 06
	TGBM	35-58-30.5	126-33-48.2	〃	7.372	10.995	12. 10
말도 (군산시 옥도면)	No.3	35-51-14.4	126-19-08.0	수로국	5.260	8.630	94. 05
	No.4	35-51-14.1	126-19-08.2	〃	6.403	9.773	94. 05
	No.5	35-51-17.0	126-19-04.8	해양조사원	2.917	6.287	99. 09
	No.6	35-51-16.1	126-19-04.5	〃	3.430	6.800	13. 08
방축도 (군산시 옥도면)	No.1	35-50-52.2	126-22-35.8	해양조사원	5.737	9.153	13. 08
	No.2	35-50-53.5	126-22-37.4	〃	5.432	8.848	13. 08
	No.3	35-50-54.3	126-22-37.4	〃	4.838	8.254	13. 08
선유도 (군산시 옥도면)	No.4	35-48-28.1	126-24-42.6	해양조사원	4.334	7.759	02. 04
	No.6	35-48-27.8	126-24-42.8	〃	5.294	8.719	05. 04
	No.7	35-48-25.2	126-24-41.2	〃	4.742	8.167	05. 04
어청도 (군산시 옥도면)	No.1	36-06-59.4	125-58-56.9	해양조사원	4.258	7.305	07. 09
	No.2	36-06-48.7	125-59-04.6	〃	9.481	12.528	07. 09
	No.3	36-06-48.7	125-59-03.3	〃	11.796	14.843	07. 09
	TGBM	36-06-48.3	125-59-04.5	〃	11.718	14.765	12. 10
비안도 (군산시 옥도면)	No.1	35-44-11.7	126-27-36.4	해양조사원	3.741	7.140	11. 11
	No.2	35-44-15.2	126-27-28.4	〃	4.201	7.600	11. 11
	No.3	35-44-10.6	126-27-33.8	〃	4.115	7.514	11. 11
비응항 (군산시 비응도동)	No.1	35-56-14.4	126-31-58.1	해양조사원	4.542	8.059	13. 08
	No.2	35-56-18.0	126-31-53.8	〃	4.608	8.125	13. 08
	No.3	35-56-20.2	126-31-45.2	〃	5.338	8.855	13. 08
가력도 (부안군 변산면)	No.1	35-43-36.6	126-31-52.8	해양조사원	5.366	8.821	13. 08
	No.2	35-43-36.7	126-31-40.4	〃	5.582	9.037	13. 08
	No.3	35-43-28.6	126-31-51.4	〃	6.768	10.223	13. 08
변산반도(격포) (부안군 변산면)	No.3	35-37-05.4	126-28-11.9	해양조사원	5.126	8.486	04. 03
	No.4	35-39-11.6	126-29-27.1	〃	3.833	7.193	04. 03
	No.5	35-39-12.4	126-29-27.4	〃	4.378	7.738	04. 03
	No.6	35-39-12.6	126-29-28.0	〃	5.023	8.383	04. 03
	No.7	35-37-15.0	126-28-12.2	〃	4.774	8.134	08. 05
	No.8	35-37-14.9	126-28-10.3	〃	3.701	7.061	13. 10

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
위도	No.1	35-37-17.7	126-18-13.5	수로국	5.473	8.788	75. 08
(부안군 위도면)	No.2	35-37-03.8	126-18-05.7	〃	5.842	9.157	75. 08
	No.4	35-37-03.6	126-18-02.9	해양조사원	4.936	8.251	05. 04
	TGBM	35-37-17.6	126-18-13.5	〃	6.086	9.401	12. 10
곰소항(부안군)	No.1	35-35-08.1	126-36-17.2	해양조사원	4.633	8.183	04. 08
(부안군 진서면)	No.2	35-35-08.4	126-36-16.0	〃	5.521	9.071	04. 08
	No.3	35-35-10.2	126-36-15.4	〃	5.559	9.109	04. 10
작당항	No.1	35-35-09.9	126-32-46.0	해양조사원	4.694	8.159	13. 09
(부안군 진서면)	No.2	35-35-05.1	126-32-47.8	〃	4.193	7.658	13. 09
	No.3	35-35-01.8	126-32-47.8	〃	3.422	6.887	13. 09
구시포	No.1	35-27-03.0	126-25-40.0	해양조사원	4.395	7.741	11. 08
(고창군 상하면)	No.2	35-27-02.0	126-25-38.3	〃	4.394	7.740	11. 08
	No.3	35-26-58.9	126-25-44.1	〃	3.816	7.162	11. 08
영광	No.4	35-25-32.7	126-25-12.8	수로국	6.987	10.404	91. 04
(영광군원자력발전소)	No.8	35-25-32.3	126-25-12.2	해양조사원	7.136	10.553	02. 04
	No.9	35-25-35.6	126-25-18.9	〃	8.454	11.871	02. 04
	No.10	35-25-31.9	126-25-13.5	〃	7.337	10.754	04. 12
	TGBM	35-25-28.8	126-25-08.4	〃	10.161	13.578	13. 09
계마리	No.6	35-23-40.2	126-24-25.5	해양조사원	5.369	8.717	99. 09
(영광군 홍농읍)	No.9	35-23-40.0	126-24-25.5	〃	5.532	8.880	08. 04
안마도	No.1	35-20-42.7	126-00-57.9	수로국	5.143	8.043	75. 05
(영광군 낙월면)	No.5	35-05-42.4	126-01-04.5	해양조사원	4.110	7.010	08. 04
	No.6	35-05-42.9	126-01-04.9	〃	4.139	7.039	08. 04
송이도	No.1	35-16-22.4	126-09-02.0	해양조사원	4.439	7.539	11. 11
(영광군 낙월면)	No.2	35-16-21.8	126-08-55.6	〃	4.836	7.936	11. 11
	No.3	35-16-18.6	126-09-01.0	〃	6.781	9.881	11. 11
낙월도	No.1	35-12-07.5	126-08-21.4	해양조사원	3.805	6.782	11. 11
(영광군 낙월면)	No.2	35-12-04.3	126-08-34.5	〃	4.028	7.005	11. 11
	No.3	35-12-02.5	126-08-38.4	〃	4.132	7.109	11. 11
용정리(함평만)	No.1	35-05-11.0	126-23-33.7	해양조사원	5.036	8.285	13. 08
(무안군 현경면)	No.2	35-05-08.4	126-23-29.2	〃	5.074	8.323	13. 08
	No.3	35-05-09.8	126-23-27.6	〃	4.179	7.428	13. 08
도리포	No.2	35-09-27.1	126-20-52.9	해양조사원	6.100	9.195	05. 05
(무안군 해제면)	No.3	35-09-29.1	126-20-50.4	〃	3.706	6.801	05. 05
홀통	No.1	35-03-45.3	126-19-57.4	해양조사원	2.828	5.520	05. 05
(무안군 해제면)	No.2	35-03-42.5	126-19-53.1	〃	3.280	5.972	05. 05
	No.3	35-03-45.9	126-19-59.8	〃	3.441	6.133	05. 05
성내리	No.1	34-55-41.2	126-18-22.5	해양조사원	3.370	5.950	06. 05
(무안군 운남면)	No.2	34-55-42.0	126-18-24.4	〃	3.124	5.704	06. 05
	No.3	34-55-43.7	126-18-29.5	〃	3.161	5.741	06. 05
도원리	No.1	34-55-00.2	126-20-52.2	해양조사원	3.936	6.529	06. 08
(무안군 운남면)	No.2	34-55-01.2	126-20-54.9	〃	3.977	6.600	06. 08
	No.3	34-55-48.7	126-21-52.2	〃	3.887	6.246	06. 08

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
목포	No.5	34-46-55.7	126-23-22.4	해양조사원	7.235	9.664	01. 08
(목포시 금화동)	No.6	34-46-48.2	126-22-34.6	〃	3.154	5.583	01. 08
	No.8	34-46-56.0	126-23-22.8	〃	12.976	15.405	04. 04
	No.9	34-46-50.6	126-22-33.1	〃	6.032	8.461	06. 03
	TGBM	34-46-55.4	126-22-27.4	〃	31.164	33.593	12. 10
달리도	No.1	34-46-41.4	126-19-38.6	해양조사원	3.985	6.467	06. 08
(목포시 달동)	No.2	34-46-38.4	126-19-41.3	〃	4.004	6.486	06. 08
임자도(전장포)	No.3	35-08-16.7	126-08-36.7	해양조사원	3.579	6.498	05. 04
(신안군 임자면)	No.4	35-08-17.6	126-08-39.6	〃	3.665	6.584	05. 04
	No.5	35-08-15.0	126-08-39.2	〃	3.210	6.129	13. 10
임자도(진리)	No.1	35-04-49.3	126-07-15.0	해양조사원	3.162	6.065	11. 11
(신안군 임자면)	No.2	35-04-53.5	126-07-11.0	〃	3.544	6.447	11. 11
	No.3	35-04-53.3	126-07-24.4	〃	3.386	6.289	11. 11
수도	No.1	35-04-59.3	126-08-03.1	해양조사원	3.436	6.200	05. 05
(신안군 임자면)	No.2	35-04-58.7	126-08-04.4	〃	4.490	7.254	05. 05
	No.3	35-04-58.6	126-08-05.5	〃	4.249	7.013	05. 05
재원도	No.1	35-05-03.0	126-01-51.5	해양조사원	3.873	6.703	13. 08
(신안군 임자면)	No.2	35-05-04.0	126-01-46.7	〃	5.754	8.584	13. 08
	No.3	35-05-06.0	126-01-46.8	〃	3.444	6.274	13. 08
암태도	No.1	34-51-33.2	126-04-54.5	수로국	5.501	8.024	76. 07
(신안군 암태면)	No.3	34-51-33.7	126-04-55.3	해양조사원	3.088	5.611	01. 08
	No.4	34-51-27.9	126-04-52.0	해양조사원	2.928	5.451	13. 07
참도	No.1	35-06-26.6	126-12-07.7	해양조사원	3.973	6.839	05. 05
(신안군 지도읍)	No.2	35-06-26.9	126-12-08.1	〃	3.699	6.565	05. 05
	No.3	35-06-26.8	126-12-10.3	〃	3.937	6.803	05. 05
점암	No.1	35-05-26.8	126-09-27.0	해양조사원	3.181	5.967	05. 05
(신안군 지도읍)	No.3	35-05-24.7	126-09-25.3	〃	4.372	7.158	05. 05
송도(하탑)	No.1	35-02-35.5	126-12-13.2	해양조사원	3.559	6.188	05. 08
(신안군 지도읍)	No.2	35-02-35.6	126-12-13.8	〃	4.066	6.695	05. 08
홍도	No.1	34-40-57.0	125-11-32.4	수로국	6.120	7.870	83. 07
(신안군 흑산면)	No.2	34-41-02.2	125-11-34.6	〃	4.128	5.878	83. 07
	No.3	34-40-58.8	125-11-31.6	해양조사원	4.563	6.313	01. 08
우이도	No.1	34-37-07.5	125-51-22.8	수로국	4.503	6.548	75. 06
(신안군 도초면)	No.3	34-37-15.7	125-51-18.6	해양조사원	8.188	10.233	89. 09
하의도(오림리)	No.2	34-34-15.1	126-03-09.8	수로국	2.951	5.011	76. 07
(신안군 하의면)	No.3	34-34-12.5	126-03-12.2	〃	1.944	4.004	83. 10
	No.4	34-34-12.9	126-03-11.3	해양조사원	3.049	5.109	01. 08
	No.5	34-34-12.3	126-03-11.0	〃	2.817	4.877	01. 08
	No.6	34-34-12.3	126-03-10.9	〃	2.132	4.192	01. 08
하의도(응곡리)	No.1	34-36-29.1	126-02-14.0	해양조사원	3.294	5.421	11. 11
(신안군 하의면)	No.2	34-36-31.1	126-02-15.3	〃	2.444	4.571	11. 11
	No.3	34-36-31.0	126-02-18.7	〃	2.802	4.929	11. 11

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
요력도	No.1	34-43-52.5	126-11-15.9	해양조사원	2.845	5.039	06. 08
(신안군 안좌면)	No.2	34-43-52.0	126-11-17.4	〃	2.601	4.795	06. 08
	No.3	34-43-51.2	126-11-18.9	〃	1.820	4.014	06. 08
	No.4	34-43-50.4	126-11-21.4	〃	6.982	9.176	13. 10
장산도	No.1	34-38-29.5	126-11-49.6	해양조사원	2.135	4.308	06. 08
(신안군 장산면)	No.2	34-38-28.3	126-11-47.6	〃	2.272	4.445	06. 08
	No.3	34-38-27.9	126-11-44.8	〃	3.228	5.401	06. 08
증도	No.1	34-59-36.4	126-06-26.6	해양조사원	3.578	6.299	11. 11
(신안군 증도면)	No.2	34-59-37.0	126-06-24.3	〃	5.170	7.891	11. 11
	No.3	34-59-39.7	126-06-23.2	〃	5.415	8.136	11. 11
자은도	No.1	34-55-02.0	126-02-28.7	해양조사원	3.872	6.511	11. 11
(신안군 자은면)	No.2	34-54-59.9	126-02-26.4	〃	3.833	6.472	11. 11
	No.3	34-54-58.8	126-02-24.5	〃	3.456	6.095	11. 11
압해도(송공항)	No.1	34-50-54.5	126-13-41.0	해양조사원	3.377	5.860	13. 10
(신안군 압해읍)	No.2	34-50-54.7	126-13-39.1	〃	3.258	5.741	13. 10
	No.3	34-50-51.8	126-13-38.1	〃	3.424	5.907	13. 10
	No.4	34-50-54.8	126-13-37.8	〃	3.223	5.706	13. 10
매화도	No.1	34-55-08.3	126-13-08.0	해양조사원	3.120	5.694	11. 11
(신안군 압해면)	No.2	34-55-08.3	126-13-11.5	〃	3.189	5.763	11. 11
	No.3	34-55-08.4	126-13-11.6	〃	3.352	5.926	11. 11
추포도	No.1	34-47-47.0	126-04-47.2	해양조사원	2.777	5.147	11. 11
(신안군 암태면)	No.2	34-47-49.4	126-04-44.4	〃	2.990	5.360	11. 11
	No.3	34-47-52.0	126-04-45.4	〃	5.173	7.546	11. 11
팔금도	No.1	34-47-37.8	126-10-21.2	해양조사원	3.586	6.016	11. 11
(신안군 팔금면)	No.2	34-47-39.7	126-10-19.5	〃	3.420	5.850	11. 11
	No.3	34-47-36.4	126-10-14.7	〃	3.162	5.592	11. 11
안좌도	No.1	34-41-59.5	126-10-07.3	해양조사원	2.947	5.175	11. 11
(신안군 안좌면)	No.2	34-42-00.7	126-10-06.0	〃	3.045	5.273	11. 11
	No.3	34-42-00.4	126-10-00.5	〃	3.209	5.437	11. 11
고사도	No.3	34-34-16.3	126-08-55.3	해양조사원	2.656	4.782	11. 11
(신안군 신의면)	No.4	34-34-15.7	126-08-55.6	〃	3.877	6.003	13. 10
	No.5	34-34-17.0	126-08-56.8	〃	3.368	5.494	13. 10
신의도	No.2	34-32-27.4	126-02-12.2	해양조사원	2.738	4.815	11. 11
(신안군 신의면)	No.3	34-32-27.4	126-02-10.7	〃	3.007	5.084	11. 11
	No.4	34-32-27.2	126-02-11.1	〃	3.105	5.182	13. 10
도초도	No.1	34-40-07.6	125-56-57.7	해양조사원	4.342	6.516	11. 11
(신안군 도초면)	No.2	34-40-06.3	125-56-55.4	〃	3.376	5.550	11. 11
	No.3	34-40-04.6	125-56-54.8	〃	4.846	7.020	11. 11
비금도(수대리)	No.4	34-43-18.4	125-56-19.9	해양조사원	4.646	6.898	04. 04
(신안군 비금면)	No.5	34-43-16.5	125-56-16.1	〃	2.658	4.910	04. 04
	No.6	34-43-19.0	125-56-21.0	〃	4.303	6.555	09. 10
비금도(가산리)	No.1	34-45-43.3	125-59-53.3	해양조사원	3.320	5.639	11. 11
(신안군 비금면)	No.2	34-45-40.1	125-59-55.5	〃	2.989	5.308	11. 11
	No.3	34-45-39.0	125-59-53.2	〃	2.989	5.308	11. 11

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
원평	No.1	34-46-52.8	125-54-37.0	수로국	4.260	6.856	88. 05
(신안군 비금면)	No.2	34-46-37.2	125-54-22.1	〃	6.617	9.213	91. 11
	No.3	34-46-54.7	125-54-28.1	〃	5.297	7.893	13. 07
흑산도	No.4	34-41-03.2	125-26-31.8	해양조사원	2.516	4.369	00. 08
(신안군 흑산면)	No.5	34-41-02.7	125-26-08.5	〃	2.709	4.562	06. 12
	No.6	34-41-01.4	125-26-07.9	〃	3.888	5.741	06. 12
	No.7	34-41-01.2	125-26-17.5	〃	3.369	5.222	06. 12
	TGBM	34-40-58.2	125-25-53.9	〃	11.971	13.824	12. 10
하태도	No.1	35-23-35.1	125-17-57.1	해양조사원	6.864	8.454	13. 09
(신안군 흑산면	No.2	35-23-35.1	125-17-56.5	〃	2.450	4.040	13. 09
하태리)	No.3	35-23-39.8	126-17-54.4	〃	3.280	4.870	13. 09
가거도	No.1	34-03-04.1	125-07-46.3	수로국	11.111	12.479	87. 05
(신안군 흑산면)	No.2	34-03-07.6	125-07-35.4	〃	11.241	12.609	87. 05
	No.4	34-03-00.7	125-07-46.8	해양조사원	3.662	5.030	04. 04
선도리	No.1	35-00-21.4	126-15-38.2	해양조사원	2.567	5.316	06. 08
(신안군 지도읍)	No.2	35-00-20.4	126-15-40.9	〃	2.814	5.563	06. 08
	No.3	35-00-20.1	126-15-42.4	〃	2.129	4.878	06. 08
	No.4	35-00-23.0	126-15-34.2	〃	2.451	5.200	13. 08
벽파진	No.6	34-32-24.5	126-20-41.8	해양조사원	4.584	6.672	04. 04
(진도군 고군면)	No.7	34-32-17.8	126-20-40.7	〃	12.815	14.903	13. 08
	No.8	34-32-16.3	126-20-41.4	〃	3.905	5.993	13. 08
진도(회동리)	No.1	34-25-08.8	126-20-33.9	해양조사원	4.823	6.812	02. 05
(진도군 회동리)	No.2	34-25-29.4	126-20-59.5	〃	3.687	5.676	02. 05
	No.3	34-25-30.6	126-21-01.2	〃	4.370	6.359	03. 02
	No.4	34-25-12.0	126-21-35.8	〃	3.453	5.442	13. 07
진도(수품)	No.1	34-22-39.8	126-18-30.5	해양조사원	2.060	4.070	05. 12
(진도군 의신면)	No.2	34-22-39.3	126-18-29.5	〃	3.483	5.493	05. 12
	No.3	34-22-39.6	126-18-29.5	〃	4.578	6.588	05. 12
	TGBM	34-22-39.3	126-18-29.6	〃	5.587	7.597	13. 09
서망항	No.2	34-22-02.0	126-08-06.8	수로국	5.810	7.656	93. 04
(진도군 임해면)	No.3	34-22-00.1	126-08-09.4	해양조사원	3.225	5.071	01. 08
	No.5	34-22-00.9	126-08-06.8	〃	3.334	5.180	10. 07
하조도	No.5	34-18-22.5	126-03-06.4	해양조사원	6.425	8.189	98. 09
(진도군 조도면)	No.7	34-18-15.5	126-03-11.5	〃	3.120	4.884	02. 05
	No.8	34-18-23.7	126-03-06.6	〃	3.975	5.739	10. 10
둔전리	No.1	34-33-36.2	126-18-16.3	해양조사원	3.353	5.350	06. 08
(진도군 군내면)	No.2	34-33-34.1	126-18-20.1	〃	5.795	7.792	06. 08
	No.3	34-33-32.9	126-18-21.2	〃	2.367	4.364	06. 08
죽전리	No.1	34-34-46.1	126-16-45.6	해양조사원	2.848	4.973	06. 08
(진도군 군내면)	No.2	34-34-47.0	126-16-47.4	〃	3.428	5.553	06. 08
	No.4	34-34-40.6	126-16-46.3	〃	2.127	4.252	10. 06
	No.5	34-34-47.8	126-16-53.3	〃	2.640	4.765	13. 07
전두리	No.1	34-31-51.7	126-13-17.8	해양조사원	3.324	5.426	06. 08
(진도군 군내면)	No.2	34-31-49.3	126-13-19.4	〃	2.630	4.732	06. 08
	No.3	34-31-47.2	126-13-25.3	〃	2.325	4.427	06. 08

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
세방리	No.1	34-26-57.5	126-07-04.5	해양조사원	3.143	5.148	06. 05
(진도군 지산면)	No.2	34-26-56.3	126-07-06.0	〃	3.103	5.108	06. 05
	No.3	34-26-55.2	126-07-06.3	〃	3.349	5.354	06. 05
밀매도	No.1	34-14-58.9	126-19-53.2	해양조사원	6.452	8.345	07. 08
(진도군 의신면)	No.2	34-14-59.2	126-19-52.8	〃	7.267	9.160	07. 08
	No.3	34-14-59.3	126-19-52.0	〃	7.441	9.334	07. 08
서거차도	No.4	34-15-09.2	125-55-05.8	해양조사원	3.236	5.173	98. 09
(진도군 조도면)	No.5	34-15-11.8	125-55-06.1	〃	3.375	5.312	98. 09
	No.6	34-15-15.6	125-55-00.1	〃	2.912	4.849	10. 10
성남도	No.1	34-23-44.5	126-02-47.6	해양조사원	4.261	6.249	11. 11
(진도군 조도면)	No.2	34-23-44.0	126-02-45.0	〃	3.880	5.868	11. 11
	No.3	34-23-46.5	126-02-45.9	〃	3.861	5.849	11. 11
상조도	No.1	34-20-00.3	126-02-44.9	해양조사원	2.911	4.780	11. 11
(진도군 조도면)	No.2	34-19-59.0	126-02-40.3	〃	1.802	3.671	11. 11
	No.3	34-19-59.0	126-02-44.5	〃	2.170	4.039	11. 11
관매도	No.1	34-14-20.7	126-02-33.6	해양조사원	2.822	4.712	11. 11
(진도군 조도면)	No.2	34-14-20.2	126-02-40.7	〃	3.066	4.956	11. 11
	No.3	34-14-24.0	126-02-44.8	〃	2.439	4.329	11. 11
시하도	No.1	34-42-03.5	126-14-23.3	수로국	2.601	4.852	77. 06
(해남군 화원면)	No.2	34-41-59.4	126-14-28.4	〃	38.039	40.290	77. 06
	No.3	34-42-03.3	126-14-24.0	해양조사원	4.455	6.706	01. 08
	No.4	34-42-03.1	126-14-23.9	〃	4.852	6.349	10. 09
중앙리	No.1	34-42-10.2	126-15-36.4	해양조사원	3.360	5.640	06. 05
(해남군 화원면)	No.2	34-42-05.1	126-15-37.4	〃	3.147	5.427	06. 05
	No.3	34-42-03.7	126-15-33.5	〃	3.250	5.530	06. 05
월내리	No.7	34-45-23.7	126-17-08.8	해양조사원	3.068	5.555	06. 08
(해남군 화원면)	No.8	34-45-25.9	126-17-08.1	〃	2.291	4.778	06. 08
	No.9	34-45-27.3	126-17-08.7	〃	2.474	4.961	06. 08
양화리	No.1	34-45-07.8	126-18-37.7	수로국	3.114	5.376	65. 05
(해남군 화원면)	No.3	34-45-08.2	126-18-38.4	해양조사원	3.929	6.191	01. 08
	No.5	34-45-06.9	126-18-37.3	〃	3.213	5.475	04. 04
별암	No.1	34-42-04.0	126-20-54.4	해양조사원	2.836	5.291	13. 08
(해남군 화원면)	No.2	34-42-00.8	126-20-51.2	〃	3.810	6.265	13. 08
	No.3	34-42-00.3	126-20-49.0	〃	5.168	7.623	13. 08
임하리	No.1	34-36-40.7	126-16-20.6	해양조사원	2.441	4.611	06. 08
(해남군 문내면)	No.2	34-36-45.5	126-16-10.7	〃	2.778	4.948	06. 08
	No.3	34-36-53.7	126-16-15.1	〃	2.695	4.865	06. 08
	No.4	34-36-53.3	126-16-13.4	〃	2.504	4.674	13. 07
우수영	No.1	34-35-18.7	126-18-36.2	해양조사원	2.541	4.614	13. 07
(해남군 문내면)	No.2	34-35-17.7	126-18-37.1	〃	2.537	4.610	13. 07
	No.3	34-35-18.3	126-18-41.0	〃	2.587	4.660	13. 07
어란진	No.3	34-21-03.5	126-28-29.7	수로국	3.057	4.983	93. 06
(해남군 송지면)	No.4	34-21-03.8	126-28-27.2	해양조사원	4.019	5.945	98. 10
	No.7	34-20-57.5	126-28-35.9	〃	2.148	4.074	07. 08
	No.8	34-20-53.9	126-28-35.0	〃	3.937	5.863	07. 08

해설 표 (4.4-5) 한국 연안의 기본수준점표 성과 (계속)

명칭		위치(WGS-84)		표지 설치자	표고(m)		설치년월
		위도(N)	경도(E)		M.S.L.상	D.L.상	
송호리 (해남군 송지면)	No.2	34-17-54.6	126-31-49.0	해양조사원	2.913	4.787	07. 08
	No.3	34-17-53.2	126-31-49.2	〃	2.377	4.251	07. 08
	No.4	34-17-52.7	126-31-46.0	〃	2.268	4.142	10. 07
구성리 (해남군 화산면)	No.1	34-26-56.7	126-27-15.6	해양조사원	4.473	6.511	06. 08
	No.2	34-26-58.6	126-27-16.7	〃	4.295	6.333	06. 08
	No.3	34-26-58.3	126-27-20.4	〃	3.953	5.991	06. 08
부곡리 (해남군 황산면)	No.1	34-32-07.6	126-23-45.8	해양조사원	7.563	9.639	13. 07
	No.2	34-32-09.1	126-23-47.8	〃	4.124	6.200	13. 07
	No.3	34-32-11.2	126-23-49.3	〃	3.702	5.778	13. 07

자료: 국립해양조사원(고시 제2014-1호)

4.4.3 폭풍해일

(1) 폭풍해일의 제원은 될 수 있는 한 장기간에 걸친 실측값, 기왕 재해시의 침수기록, 이상 기상조건에 대한 추산값을 참고하여 정한다.

(2) 폭풍해일 대책을 위한 설계조위

① 기왕고극조위 또는 이것에 설계자의 판단에 의하여 약간의 여유를 더한 조위
기준검조소가 없는 곳에서는 인근 기준검조소의 기왕고극조위와 약최고고조위의 편차를 해당 지점의 약최고고조위에 더하는 방법으로 계산한다.

② 기왕 이상조위의 발생확률곡선을 산정하고, 내·외삽법(內·外揷法)으로 구한 어떤 재현년도(예 : 50년 등)의 조위
기준검조소가 없는 곳에서는 인근 기준검조소의 어떤 재현년도 조위와 약최고고조위의 편차를 해당 지점의 약최고고조위에 더하는 방법으로 계산한다.

③ 해일 수치모형실험 등에 의해 해일고(海溢高)를 추산하는 경우는 약최고고조위에 해일고를 더한 조위

④ 이상고조위의 발생확률과 각 조위에 대한 배후지의 피해액 및 해일 대책시설의 건설비를 감안하여 결정
이러한 방법은 어느 것이나 장단점이 있다. 먼저 방법 ①은 가장 간단하지만 장기간의 자료를 필요로 하며, 또 기왕고극조위 이상의 이상고조위가 발생하지 않는다는 보장이 없다. 방법 ②는 발생확률 계산결과에 의한 것으로 설계에 쓰이는 고조위가 어느 정도의 발생확률을 갖고 있는가는 명확하나, 비교적 단기간의 자료로부터 장기간의 예측을 하기 때문에 신뢰성에 문제가 있다. 방법 ③은 해일의 주요 특성인 조위편차에 착안하고 있는 점은 다른 방법보다 과학적이지만 약최고고조위를 기준으로 하기 때문에 장래에 대한 보장이 없는 것은 방법 ①과 같다. 방법 ④는 합리적이고 경제적으로 가장 유익한 방법이나 피해액의 추정 등에 상당한 기술과 노력이 필요하다. 어느 방법을 채용하는가는 책임기술자의 판단에 따라 각각의 수치를 비교·검토하고 실측기간, 발생빈도, 시설의 중요성 및 경제성 등을 고려하여 결정하여야 한다.

[해 설]

(1) 해수위의 변동은 천문조, 기압과 바람에 의한 기상조, 부진동, 해류, 해수온도, 하천유량, 연안파랑 등의 합성으로 나타난다. 폭풍해일은 태풍 및 저기압 등의 통과에 의해 나타나는 이상 조위를 뜻하며, 그 요인은 기압 강하에 따른 조위 상승, 이것이 장파로 변형하는 경우의 상승, 이에 유발되는 부진동 그리고 바람에 의한 해수의 해안 수송에 따른 상승 등이 있다. 관측조위와 추산 천문조위의 차를 조위편차(해일고)라 부른다.

(2) 관측 기간

폭풍해일의 관측기간은 될 수 있는 한 장기간일수록 바람직한데 필요한 최소 관측기간은 30년으로 생각된다. 수십 년 이상의 장기간에 걸쳐 폭풍해일의 기록이 정리되어 있는 검조소는 적으므로 기상조건으로부터 추산, 폭풍해일 재해, 신문, 고문서 등의 기록 조사, 기왕 재해자료 등을 수집하여 될수록 장기간의 폭풍해일에 대한 검토를 하여야 한다.

(3) 바람에 의한 해면상승

수심이 얕은 항만, 해안쪽으로 강풍이 장시간 계속되면 해수 수송이 일어나서 해면이 상승한다. 취송거리를 F(km), 평균수심을 h(m), 풍속을 W(m/s), 풍향과 해안선에 직각인 선과의 각도를 α라 할 때 해안에서의 해면상승량 Δh_W(cm)는 다음의 개략식으로 산정할 수 있다.

$$\Delta h_W = k \frac{F}{h} W^2 \cos\alpha$$ 해설 식 (4.4-4)

여기서, 계수 $k = \gamma_s{}^2 \frac{\rho_a}{\rho g}$ 로서, $\gamma_s{}^2$ 은 해수면 마찰계수이고, ρ_a는 공기밀도(≃1.2 kg/㎥), ρ는 해수밀도(≃1,030 kg/㎥), g는 중력가속도(≃9.8 m/s^2)이다.

Wilson(1960)이 제시한 $\gamma_s{}^2 \simeq 2.4\times10^{-3}$을 대입하면 $k \simeq 3\times10^{-2}$으로 된다. 계수 k는 각 해역의 해저지형과 해저마찰계수에 따라 달라진다.

(4) 기압 강하에 의한 정적(靜的)인 해면 상승

기압이 천천히 ΔP(hPa)만큼 강하하면 그 부근의 해역은 주위의 기압이 강하하지 않은 해역과의 기압차에 의해 수면이 상승한다. 해면상승량 Δh_S(cm)는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta h_S = 0.991 \Delta P$$ 해설 식 (4.4-5)

따라서 기압 변화와 바람 등 기상 교란에 기인하는 폭풍해일(일명 기상조)의 높이 Δh는 Δh_S와 Δh_W의 합으로 얻어진다.

$$\Delta h = \Delta h_S + \Delta h_W$$ 해설 식 (4.4-6)

해설 표 (4.4-6)은 한국 연안 주요 항만에서 1959~1981년의 폭풍해일 기록이고 해설 표 (4.4-7)은 2012년 태풍 통과시의 폭풍해일 기록이다.

해설 표 (4.4-6) 한국 연안의 폭풍해일기록(1959~1981)

구분 \ 항명		속초	묵호	포항	울산	부산	진해	여수	제주	목포	인천
고조	편차(m)	0.30	0.68	0.41	0.40	0.43	0.86	0.84	0.90	0.86	1.09
	연월	79.8	68.10	81.9	81.9	74.7	59.9	66.8	64.8	59.9	72.10
	원인	T-Irving	L.P	T-Agnes	L.P	T-Gilda	T-Sarah	T-Winne	T-Kathy	T-Sarah	L.P
저조	편차(m)	-0.27	-0.32	-0.34	-0.29	-0.46	-0.34	-0.61	-0.94	-1.22	-1.26
	연월	81.2	73.10	76.3	68.2	67.1	67.2	67.5	66.10	68.3	65.12
	원인	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P	C.H.P

※ T: 태풍, L.P: 저기압, C.H.P: 대륙성 고기압

해설 표 (4.4-7) 한국 연안의 폭풍해일기록(2012)

T-Chanun (12.7.16∽19)	T-Bolaven (12.8.20∽29)	T-Tembin (12.8.19∽31)	T-Sanba (12.9.11∽18)
이어도 0.17	이어도 1.25	이어도 0.60	마산 1.16
완도 0.32	고흥 1.67	고흥 0.70	속초 0.60
	인천 1.51		

※ 국립해양조사원(2012a)

(5) 고극·저극조위 기록

관측기간의 최고고조위와 최저저조위 기록을 각각 기왕 고극조위(Observed highest high water) 및 기왕 저극조위(Observed lowest low water)라 한다. 국립해양조사원에서는 한국 연안의 기준검조소의 관측 조석에서 부진동을 무시한 평활화시킨 곡선상에서 매월·매년의 최고·최저 조위(해면)인 고극조위(H.H.W)와 저극조위(L.L.W)를 읽어 해양조사기술연보에 발표하고 있다. 해설 표 (4.4-8)은 한국 주요 항만의 1956~2012년의 고극 및 저극조위이다.

해설 표 (4.4-8) 한국 연안의 주요 항만의 최극조위

(1956∽2012)

조위관측소	관측기간	고극조위		저극조위	
		조위(m)	발생일	조위(m)	발생일
인천	99∽12	9.88	01. 8.21	-0.66	02. 3. 1
안산(탄도)	02∽12	9.24	07.10.28	-0.63	02. 3. 1
평택	92∽12	10.31	00. 8.31	-0.65	93.10.17
안흥	86∽12	7.92	97. 8.19	-0.54	95.12.24
보령	86∽12	8.48	97. 8.19	-0.62	95.12.24
군산(내항)	60∽02	8.93	71. 7.12	-0.59	97. 4. 8
군산(외항)	80∽12	8.12	97. 8.19	-0.69	95.12.24
위도	85∽12	7.37	97. 8.19	-0.34	11. 3.22
영광	02∽12	7.44	02. 9. 8	-0.89	05. 1.14
목포	56∽12	5.50	04. 7. 4	-0.99	82. 1.12
진도(수품)	06∽12	4.29	10. 8.10	-0.81	06. 3. 1
대흑산도	65∽12	4.28	69. 7.28	-0.56	78. 1.10
추자도	84∽12	3.78	87. 1. 2	-0.64	93. 2. 8
제주	64∽12	3.28	04. 7.31	-0.48	66. 2. 8
모슬포	04∽12	3.13	04. 8.29	-0.55	05. 1.12
서귀포	85∽12	3.47	01. 8.20	-0.43	88. 2.18
성산포	04∽12	2.90	05. 6. 1	-0.47	05. 1.12
완도	83∽12	4.46	10. 8.10	-0.50	93. 2. 9
고흥(발포)	05∽12	4.33	10. 8.10	-0.55	06. 3. 1
거문도	82∽12	4.13	04. 8.31	-0.41	93. 2. 9
여수	65∽12	4.24	67.10.14	-0.57	69. 4. 4
통영	76∽12	4.30	03. 9.12	-0.48	80. 2.18
마산	03∽12	2.44	04. 8.29	-0.55	10. 3.30
거제도(구조라)	06∽12	2.70	12. 9.17	-0.36	12. 4. 8
가덕도	77∽12	2.52	12. 9.17	-0.40	85. 4. 6
부 산	60∽12	2.11	03. 9.12	-0.41	80. 2.17
울 산	62∽12	1.33	04. 8.19	-0.40	94. 3.27
포 항	72∽12	1.05	04. 8.19	-0.20	88. 2. 3
후 포	02∽12	0.71	04. 8.19	-0.33	06. 2.28
울릉도	65∽12	1.05	66. 8.18	-0.41	85. 4.13
묵 호	65∽12	0.95	68.10.25	-0.36	85. 4.13
속 초	74∽12	0.97	86. 8.28	-0.33	06. 2.28

자료 : 국립해양조사원(http://khoa.go.kr→해양관측/예보→조석→최극조위)

(6) 폭풍해일의 추산식

폭풍해일의 최대 조위편차를 개략 추산하기 위해서 기압 강하에 의한 해면 상승과 바람에 의한 해면 상승을 포함한 해설 식 (4.4-7)로 계산할 수 있으며, 보다 정확하게 추산하려면 폭풍해일 수치모델링을 수행하여야 한다.

$$\Delta h = a\Delta P + b\,W^2\cos\alpha + c$$ 해설 식 (4.4-7)

여기서, Δh : 최대 조위편차(cm)
ΔP : 최대 기압강하량(hPa)
W : 최대 풍속(m/s)
α : 주풍향과 최대풍속 시 풍향과의 각

계수 a, b, c는 각 지점마다 과거 관측된 조위편차와 기압, 바람과의 관계로부터 결정한다.

(7) 폭풍해일의 수치모델링

폭풍해일 현상을 상세하게 해석하기 위해서는 컴퓨터에 의한 수치모델링을 수행한다. 이것은 기압강하에 따른 해수면 상승과 바람에 의한 해면의 전단응력을 외력으로 하고 해수의 운동방정식 및 연속방정식에 따라 각 지점의 조위와 유속의 변화를 일정 시간 간격마다 순차 계산해 가는 방법이다. 기본방정식은 해수유동의 기본방정식과 같으나, 기압 강하에 따른 해면 상승효과를 고려하기 위하여 운동량 보존방정식에 거리에 따른 대기압 변화항이 추가된다. 태풍 내의 기압과 풍속 분포는 마이어스(Myers, 1954)의 식과 같은 이론모델로 계산하거나, 일기도를 이용한 해상풍 모델을 이용하여 계산한다. 최근에는 조석, 폭풍해일, 해파의 상호작용을 고려한 수치모델을 적용하는 추세이다(천 등, 2009a, 2009b; 박 등, 2010; 서와 김, 2012; 최 등, 2012; Dietrich et al., 2011).

4.4.4 지진해일

(1) 지진해일의 제원으로 최고조위, 최저조위, 지진해일 편차, 지진해일의 파고 및 주기 등을 고려한다. 이러한 제원은 될 수 있는 한 장기간에 걸친 실측값, 기왕 재해시의 흔적고 등을 참고하여 정한다.

(2) 방파제를 월류한 지진해일에 의한 침수피해뿐만 아니라 항내에서 소형 계류선의 유출, 방파제 개구부의 세굴, 방파제의 활동(滑動), 전도(轉倒) 등에 대한 검토가 중요하다. 지진 재해에 대해서는 방파제, 방조제 등의 정비뿐만 아니라 경보 시스템의 설치, 피난훈련, 지진해일 정보 제공 등의 대응이 필요하다.

(3) 지진해일 대책을 세우기 위해서는 대상 지역의 지진해일을 가정하고 모형실험으로 지진해일의 파고, 기어오름 높이, 도달 시각 등을 추산하여야 한다.

[해 설]

(1) 지진해일은 주로 해양성 지진에 수반되는 해저지반의 융기·침강에 의하여 발생하는 주기가 매우 긴 파동이다. 연안에 가까워지면 천수(淺水)효과와 지형에 의한 집중효과 때문에 파고가 급격히 커져 연안역에 큰 피해를 주는 경우가 많다.

(2) 일반적으로 대양에서 지진해일의 파고는 매우 작으나, 해일 파고계의 연속 관측기록에 의해 검지할 수 있다. 지진해일이 만내에 침입하면 만의 형태 및 고유진동주기와의 관계에 따라 파고가 크게 변화하므로 설계에 적용하는 지진해일의 제원은 그 지점에 있어서의 기왕의 지진해일 기록 및 지점마다의 계산에서 얻어진 값으로 정한다.

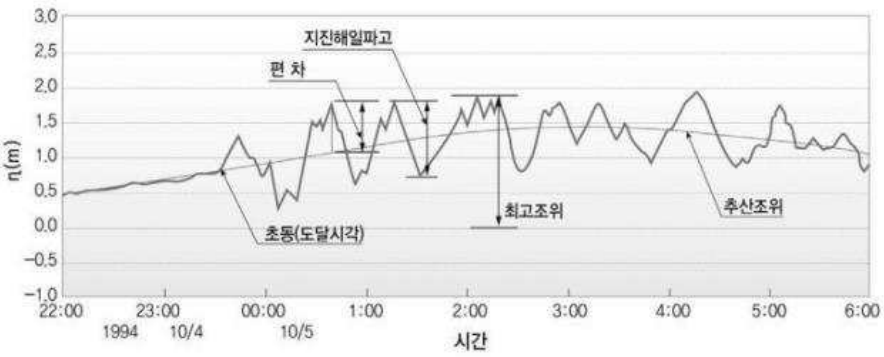
(3) 지진해일에 관한 용어의 정의는 해설 그림 (4.4-5)와 같다.

① 추산 조위

검조기록상에서 지진해일이라고 생각되는 주기 성분 및 이보다 짧은 부진동을 평활화하여 제거한 조위를 기본수준면(D.L)상의 값으로 표시한다.

② 흔적고

육상 자연지형 또는 구조물에 나타난 지진해일의 흔적 높이로서 흔적조사를 기초로 결정한다.



해설 그림 (4.4-5) 지진해일 용어의 설명도

③ 편차

실측조위와 추산조위의 차를 편차라 한다. 실측조위가 추산조위보다 높을 경우 편차의 최댓값을 최대편차라 한다.

④ 최고조위

실측조위의 최곳값(기본수준면상)을 최고조위라 한다.

⑤ 지진해일 파고

풍파와 같이 영점 상향교차법(Zero up-crossing method)으로 분석할 수 있다. 지진해일 파형의 최고수위와 최저수위의 차를 지진해일 파고라 한다. 연속된 지진해일 기록 중에서 최대 파고를 최대 지진해일 파고라 한다.

⑥ 초동(初動)

지진해일이 관측지점에 도달하여 수위가 추산조위와 어긋나기 시작하는 시각을 초동 시각이라 한다.

(4) 지진해일의 주기

만내에서 관측되는 지진해일의 주기는 지진의 규모, 진원으로부터의 거리, 만의 공진 특성 등에 따라 변화한다. 또, 만내의 지진해일 파고는 지진해일의 주기에 따라 크게 달라진다. 따라서 설계 시에는 실측 주기뿐만 아니라 항만의 고유진동 주기와 같은 주기의 지진해일에 대하여도 수치모델링 등을 통하여 검토하는 것이 필요하다.

(5) 만내에서 지진해일의 변형

만내에서 지진해일의 변형 가운데서 중요한 것은 단면적의 감소에 따른 파고와 유속의 증가 및 만내 부진동의 유발에 의한 파고의 증가이다.

미소진폭파의 경우 단면적 변화의 영향은 근사적으로 해설 식 (4.4-8)로 표현되는 그린(Green)의 식으로 계산할 수 있다(Lamb, 1932).

$$\frac{H}{H_o} = (\frac{B_o}{B})^{1/2} (\frac{h_o}{h})^{1/4}$$ 해설 식 (4.4-8)

여기서, H는 폭 B, 수심 h인 단면에서의 장파 파고(m)이고, H_o는 폭 B_o, 수심 h_o인 단면에서의 장파 파고(m)이다. 위 식은 폭과 수심이 모두 매우 완만하게 변화하고 외해로 향하는 반사파가 발생하지 않는다는 조건하에 성립하는 것으로서 마찰에 의한 에너지 손실을 고려하지 않는다. 따라서 수심이 얕은 곳이나 만 안쪽에서 반사의 영향을 받는 경우에는 적용할 수 없다.

(6) 검조기록상의 지진해일

검조 기록은 지진해일의 기록으로서 매우 유효하지만 자료 처리 시에 다음 사항을 유의하여야 한다.

① 검조소가 항내에 있는 경우에는 방파제 등 구조물의 영향 때문에 항외 주변의 지진해일 상황과 다를 가능성이 높다.

② 해설 표 (4.4-9)는 동해중부 지진 시(1983.5.26) 동해안의 각 검조소의 지진해일 기록을 나타낸다(이, 1992).

해설 표 (4.4-9) 동해안의 지진해일 기록(동해중부 지진, 1983.5.26)

검조소	울릉도	속초	묵호	포항	울산	부산
최대파고(m)	1.26	1.56	4.00<	0.62	0.44	0.50
최고조위(D.L상, m)	0.79	1.24	2.40	0.48	0.64	1.41<
도달시각(시:분)	13:18	13:42	13:45	13:52	14:20	14:53

※ 묵호와 부산에서는 기록이 자기지에서 벗어남.

(7) 지진해일의 모형실험

지진해일 수치모형실험의 지배방정식은 폭풍해일 수치모형실험의 지배방정식 중 기상교란항을 제외한 경우에 해당된다. 입사파형을 사전에 정의하고 지진단층모델의 해저지반 변동량과 초기 수위 변동량이 같다고 가정하는 방법으로 방파제의 효과와 준설, 매립 등에 따른 지형변경의 지진해일에 대한 영향을 검토할 수 있다. 지진해일이 파장에 비해 먼 거리를 전파할 경우 지배방정식에 분산효과(Dispersion effect)를 고려하여야 한다. 지진해일 수리모형실험은 모형의 경계에서 사전에 수치모형실험에서 재현한 지진해일 파형을 조파하는 것으로 방파제의 효과, 매립 지형의 영향 등을 검토할 수 있다. 수치모형실험의 초기 수위분포를 얻기 위해 지진을 가정한다. 가상지진(假想地震)의 설정시 다음 사항을 고려한다.

① 대상 지역의 기왕 최대 지진해일

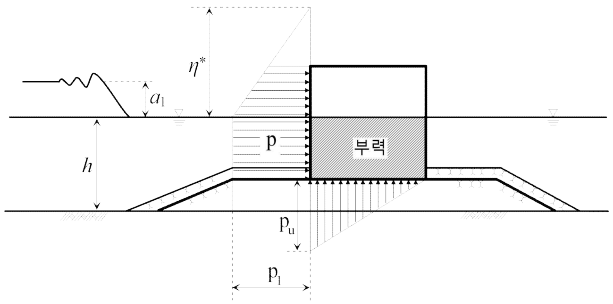
② 각종 자료가 있는 근년의 지진으로 방재계획상 적절한 규모의 것

③ 지진 공백역에서의 상정 지진

어느 것이라도 방재시설의 내진성(耐震性)이나 주변 지역의 상황을 고려하여 상정 지진해일을 설정하여야 한다.

(8) 지진해일의 파력

지진해일에 의한 파력은 장파에 의한 파력으로 주어지며, 해설 그림 (4.4-6)과 같이 나타낼 수 있다. 지진해일파 내습 직전의 수위를 정수면으로 취하고 입사파의 정수면상 높이(진폭)를 a_1이라 할 때, 정수면상 $\eta^* = 3.0a_1$의 높이에서 파압 $p = 0$, 정수면에서 $p = p_1 = 2.2p_o g a_1$인 선형분포이고, 정수면 아래의 파압은 $p = p_1$으로 일정하다(谷本 등, 1983). 전면 하단의 양압력 $p_u = p_1$이다. 파향에 대한 보정은 일반적으로 하지 않는다.



해설 그림 (4.4-6) 지진해일의 파력 개념도

방파제가 있는 조건에서 수치모형실험을 하면 제체 전면에서 반사에 의한 지진해일 파고는 방파제가 없는 경우의 약 2배가 된다. 이 경우에는 제체 전면의 정수면부터 측정한 최고수위 또는 파고의 1/2 값을 입사파고로 볼 수 있다. 경사가 완만한 천해역에서 지진해일파가 비선형성과 분산 영향으로 분열(分裂, Fission)하는 경우의 파력 산정은 이케노 등(池野 등, 1998)에 실험결과가 제시되어 있다.

4.4.5 부진동(副振動)

(1) 부진동이 예상되는 항만에서는 설계조위의 결정이나 박지의 정온도 검토에 있어서 필요에 따라 부진동을 고려한다.

(2) 부진동은 굴입식(掘込式) 항만과 같이 좁고 길며 안벽으로 둘러싸인 항만에서 발생하기 쉽다. 따라서 수치모형실험 등에 의해 주기가 수 분~1시간 정도의 파를 입사시키고, 항내의 증폭률을 산정하여 항만계획 수립 시에 그 영향을 검토하여야 한다. 외해에서 미소 장파(微小 長波)의 진폭이 대략 수 cm인데 항내에서 이것이 10배 이상으로 증폭되는 항만 형태는 피하여야 한다.

[해 설]

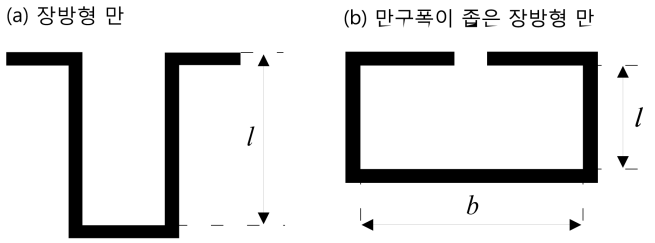
(1) 부진동은 주기가 수 분~수 시간인 이상조위(異常潮位) 현상이다. 외해의 저기압에 의해 발생하는 미소한 수면 변동 가운데서 항만의 고유진동주기와 일치하는 성분이 공진(共振)에 의해 증폭되어 발생한다. 그 진폭은 수십 ㎝로부터 지형에 따라서는 2 m 정도까지 될 수 있으며, 항내에서 부진동의 파고가 수십 cm이더라도 파장이 길기 때문에 수평방향의 물의 이동이 커져 선박의 계류나 하역작업에 큰 장해를 일으킬 수 있다.

(2) 폭풍해일, 지진해일, 부진동의 동시 발생
부진동은 폭풍해일 또는 지진해일에 의하여 유발되는 경우가 많다. 폭풍해일 또는 지진해일에 수반되지 않는 항내 장주기 수면진동은 폭풍해일 또는 지진해일과 동시에 발생하지 않는 것으로 취급한다.

(3) 장방형(長方形) 항의 고유진동주기(固有振動週期)
① 좁고 긴 장방형 항만(해설 그림 (4.4-7)(a))내의 고유진동 주기의 근사식은 해설 식 (4.4-9)와 같이 표시된다(Wilson, 1972).

$$T_m = \frac{4l}{(2m+1)\sqrt{gh}}$$ 해설 식 (4.4-9)

여기서, T_m : 고유진동주기(sec)
l : 만의 길이(m)
m : 만내의 절수(節數, = 0, 1, 2, …)
h : 만의 평균수심(m)
g : 중력가속도(m/s^2)



해설 그림 (4.4-7) 장방형 만의 개념도

② 실제의 항만에서는 만내의 해수가 정상파(定常波)의 형태로 진동할 뿐만 아니라 만구(灣口) 부근의 외해수도 다소 진동하므로 고유진동 주기를 보정하여야 한다. 보정된 고유진동 주기는 해설 식 (4.4-10)으로 계산된다(Honda et al., 1943).

$$T_0 = \alpha \frac{4l}{\sqrt{gh}}$$ 해설 식 (4.4-10)

여기서, α는 만구 보정계수이며 다음 식으로 계산한다.

$$\alpha = \left\{1 + \frac{2b}{\pi l}\left(0.9228 - \ln\frac{\pi b}{4l}\right)\right\}^{1/2}$$ 해설 식 (4.4-11)

여기서, l : 만의 길이(m)
h : 만의 평균수심(m)
b : 만의 폭(m)
이며, b/l에 대한 만구 보정계수는 해설 표 (4.4-10)과 같다.

해설 표 (4.4-10) 만구 보정계수

b/l	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/10	1/25
α	1.320	1.261	1.217	1.187	1.163	1.106	1.064

③ 만구 폭이 좁은 장방형 항(해설 그림 (4.4-7)(b))의 고유진동 주기는 근사적으로 다음 식으로 계산할 수 있다(Raichlen, 1966).

$$T_{m,n} = \frac{2}{\sqrt{gh\ [(m/l)^2 + (n/b)^2]}}$$ 해설 식 (4.4-12)

여기서, b : 항의 폭(m)

n : 항의 폭 방향의 절수(= 0, 1, 2, ···)

m : 항의 길이 방향의 절수

이며, 실제 항의 고유진동 주기는 항입구의 영향 때문에 해설 식 (4.4-12)로 계산된 값보다 조금 작다.

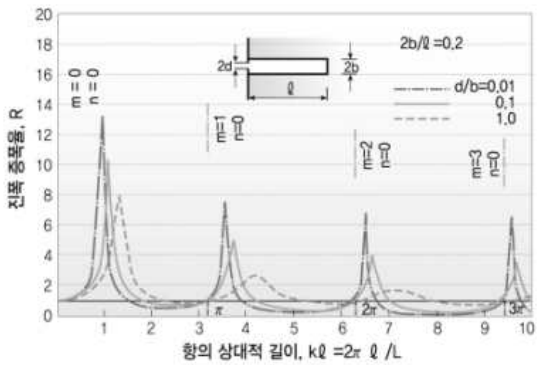
(4) 진폭

① 부진동의 진폭은 그 원인이 되는 장주기 너울(Swell)의 진폭과 그 주기에 대한 진폭 증폭률에 따라 결정된다. 그러나 부진동을 일으키는 장주기의 너울을 관측하는 것은 매우 어렵고 관측 예도 적다. 따라서 그 항구의 부진동 관측결과로부터 그 진폭을 결정하는 것이 좋다.

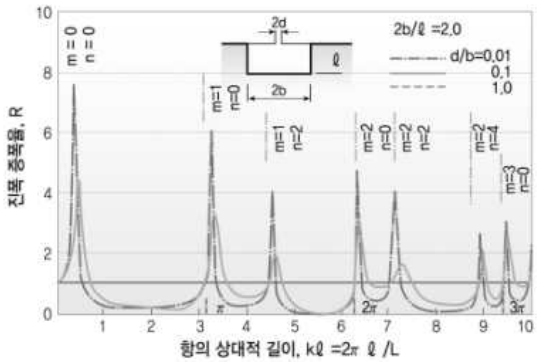
② 부진동에 의한 항내 진동의 증가율은 항입구의 교란파에 의해 방출되는 발산에너지와 항입구에서의 소용돌이나 저면마찰 등에 의한 손실에너지에 의해 제한된다. 따라서 내습하는 너울의 주기가 항의 고유진동 주기와 일치하여도 항내 진동의 진폭이 무한대로 증가하지는 않는다. 단, 마찰 등에 의한 에너지 손실이 매우 적을 때에는 항입구 폭을 좁힘에 따라 항내의 진폭이 증대되는 항만 모순(Harbour paradox) 현상이 일어나므로 주의할 필요가 있다.

③ 항입구에서의 손실을 무시할 경우 장방형의 만 안쪽 구석점에서 진폭 증폭률 R은 파장에 대한 만 길이의 비에 의거하여 해설 그림 (4.4-8)과 (4.4-9)로 구할 수 있다. 해설 그림 (4.4-8)에 제시된 좁고 긴 장방형 항의 경우에, 항폭에 대한 입구폭의 비가 작을수록 증폭비가 커지고, 첨두 증폭이 발생하는 항의 상대적 길이(kl)가 작아진다(Ippen and Goda, 1963). 또한 고차 모드(Mode)로 갈수록 증폭비가 작아진다. 해설 그림 (4.4-9)에 제시된 공진점은 완전히 폐쇄된 장방형 호소의 공진점과 거의 일치하며, 해설 식 (4.4-13)과 같이 표시된다.

$$\frac{l}{L} = \sqrt{m^2 + \frac{n^2}{(\frac{2b}{l})^2}} \qquad (m,n = 0,1,2,\cdots)$$ 해설 식 (4.4-13)



해설 그림 (4.4-8) 좁고 긴 장방형항의 공진스펙트럼



해설 그림 (4.4-9) 폭이 넓은 장방형항의 공진스펙트럼

(5) 부진동의 관측

부진동은 조석 곡선상에 포함되어 기록되므로 자기 검조기록에서 그 진폭과 주기를 얻을 수 있다. 일반적으로 조석 관측값은 부진동을 무시한 평활한 곡선상의 값을 읽는 것이다. 따라서 부진동의 진폭은 조석 곡선상에 나타난 조석주기보다 짧은 주기에 대한 상하 진동의 폭 즉, 파고를 읽어 얻어진다. 그리고 그 짧은 진폭의 주기를 읽어내고 이를 통계하여 주기의 발생빈도를 얻는다. 해설 표 (4.4-10)은 한국 연안의 주요 항만의 부진동 관측자료이다.

해설 표 (4.4-11) 한국 연안의 주요 항만의 부진동 관측자료(1965~66)

항 목	울릉도	묵호	포항	울산	부산	여수	제주	대흑산도
계산주기(분)	2.5	8.5	12.3	45.3	47.6 14.3	9.5 2∽8	8.2	19.6
관측주기(분)	3∽8	11∽13	20∽24 60∽84	45∽56	45∽58 15∽19	11∽14 19∽24	8∽14	19∽21
최대진폭(m)	1.00	0.95	0.64	0.77	1.00	1.09	0.70	0.65
발생일	66.9.10	87.2.3	87.2.3	66.9.24	81.9.2	65.9.8	66.3.8	66.3.6
원인	T(No.19)	L.P	H.P	T	T(Agnes)	T	L.P	L.P
20㎝ 이상 일수	139	30.5	44	9.5	9.5	18.5	14	4
최다발생월	12	11	10	11	11	3	2	3

※ T: 태풍, L.P: 저기압 통과, H.P: 고기압 통과
※ 포항의 통계년은 1973∽1974년임.

(6) 부진동의 대책

부진동은 항 입구로부터 침입하여 온 장주기의 너울이 항내에서 완전반사를 반복하면서 진폭을 증가시키는 것이므로, 부진동의 진폭을 억제하는 데는 항의 안 둘레에서 불완전반사를 시키든가, 항내에서의 에너지 손실을 증가시키는 것을 생각할 필요가 있다. 이러한 의미에서 항내의 전 둘레를 직립안벽으로 하는 것은 바람직하지 않다. 그리고 방파제를 투과성이 있는 완경사의 사면제로 하면 반사파를 약간 감소시킬 수 있고, 또 사면제 내부에서의 에너지 손실을 기대할 수 있다. 그리고 항내의 부진동의 절(節)에 해당되는 위치 근방에 파제제를 설치함으로써 어느 정도 진폭의 감소를 기대할 수 있다. 만의 형태는 기하학적으로 정형(整形)인 것보다는 불규칙한 형태의 것이 좋다.

4.4.6 공사에 따른 조석의 변화

하구둑 건설, 해안 매립, 항만 건설, 수로 준설 등 대규모 개발사업을 설계함에 있어서 해안 및 해저지형 변화에 따른 조석 현상의 변화를 수치모형실험 또는 수리모형실험을 통하여 예측하여야 한다.

[해 설]

(1) 해수유동실험

해수유동실험은 수립, 보정·검증, 예측실험의 3단계로 수행된다. 모델 수립은 계산격자망을 구성하고 해도와 수심도를 이용하여 각 격자에 수심을 입력하는 과정이다. 모델의 경계조건과 보정·검정에 필요한 해저지형, 조석, 조류, 조량 관측 자료의 수집·분석이 선행되어야 한다. 모델 보정(Calibration)은 모델의 경계조건과 불확정 파라메타를 조정하면서 모델계산값을 관측값에 맞추어가는 과정이고, 검정(Validation)은 모델 계산값을 보정시와 다른 정점 또는 다른 시기에 대한 관측값과 비교하여 수치모델의 정확성을 확인하는 과정이다. 검정은 대·중·소조기 및 홍수시에 대하여 조석, 조류, 조량, 수온, 염분 등 해수유동에 영향을 미치는 모든 요소에 대하여 수행하는 것이 바람직하다. 예측실험 과정에서는 개발사업에 따른 해저지형의 변화를 모델에 입력하고 여러 조석 조건과 하천유량 조건에 대한 실험을 실시하여 조석, 조류 및 조량의 변화량을 파악하고 이에 따른 영향을 분석한다. 개발사업에 따른 조석, 조류, 조량의 변화가 현상태와 비교하여 악영향이 예상되는 경우에는 대안을 도출하여 영향이 최소화되도록 반복 실험을 수행할 필요가 있다.

(2) 재현연도

특히 하구역에서 수로 폭의 감소 등으로 홍수 배제에 영향을 줄 우려가 있는 경우에는 대조기 및 50년 또는 100년 빈도 홍수가 동시에 발생하는 상황에 대하여 수위 상승을 예측하여야 하며, 이 때 하천과 해양의 지형과 유동 특성이 모델에 정확하게 반영 및 재현되어야 한다.

(3) 해일고의 예측

① 해안역에는 주요 도시뿐만 아니라 항만시설, 발전소 등 주요 시설물들이 밀집되어 있기 때문에 장래에 발생할 수 있는 폭풍 해일고를 정확하게 예측하여 시설물 방어 대책을 수립하여야 한다. 폭풍해일 수치모형실험은 기압 강하에 따른 해수면 상승과 바람에 의한 해수면의 전단응력 및 점성에 의한 해저면의 전단응력을 고려하고, 해수의 운동량 보존방정식과 연속방정식에 따라 각 지점의 조위와 유속의 변화를 일정 시간간격마다 순차적으로 계산해 나가는 방법이다.

② 시설물 건설에 따른 해일고 분포 변화를 예측하기에 앞서 과거 사상을 재현하여 수치모델의 신뢰성을 재현하여야 한다. 과거의 폭풍해일 사상을 재현하기 위해서는 우선 신뢰성 있는 연안역의 해일고 관측자료와 태풍 풍역의 데이터베이스(DB) 구축이 중요하다.

(4) 부진동 실험

부진동 실험에서는 해당 항만의 탁월주기를 계산하고 항만계획안에 대한 예측실험을 실시하여 부진동 현상으로 인한 하역작업의 지연과 계류라인의 절단 등 악영향을 최소화하는 대안을 수립하여야 한다. 장주기파의 입력조건을 보다 정확하게 설정하기 위해서는 입사경계 인근의 다수 정점에서 파고와 파향을 동시에 관측한 자료가 필요하다. 또한 여러 파향에 대하여 항내 공진 특성을 민감도 분석하여 부진동에 가장 큰 영향을 미치는 파향을 검토하여야 한다. 주파향이 결정되면 장주기파의 주기별로 항만 완공후의 공진특성을 실험하여, 평면 배치의 변경 또는 소파시설의 설치 등, 부진동 영향이 최소화될 수 있는 대안을 검토하여야 한다.

4.4.7 지하수위와 침투

사빈해안(砂濱海岸)의 지하수위가 문제가 되어 위험이 있는 경우는 이를 고려한다. 투수성 지반내 또는 구조물내의 투수유속·유량이 문제가 되어 위험한 경우는 이를 고려한다.

[해 설]

(1) 해안부근의 지하수위

해안 부근에서 지하염수면의 높이는 해설 식 (4.4-14)를 이용하여 추정할 수 있다 (Todd, 1963). 해안 지하수의 개념도는 해설 그림 (4.4-10)과 같다.

$$h^2 = h_o^2 + (h_1^2 - h_o^2)\frac{x}{L}$$ 해설 식 (4.4-14)

여기서, x : 해안부터의 거리

h_o : x=0에서 담수와 염수 경계면의 해면하 깊이($h_o = \frac{\rho_1}{\rho_2 - \rho_1}\zeta_o$)

h_1 : x=L에서 담수와 염수 경계면의 해면하 깊이($h_1 = \frac{\rho_1}{\rho_2 - \rho_1}\zeta_1$)

ρ_1 : 담수의 밀도

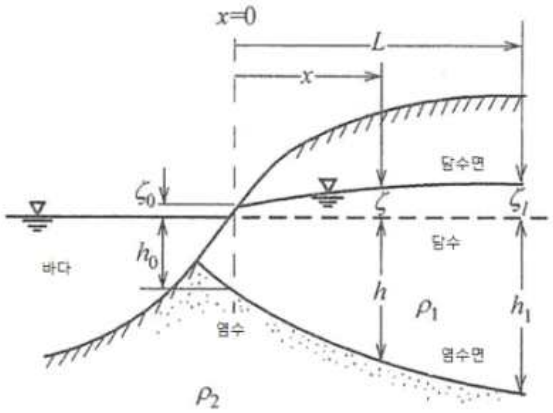
ρ_2 : 염수의 밀도

ζ_o : 해안(x=0)에서 담수의 해면상 높이

ζ_1 : x=L에서 담수의 해면상 높이

L : 해안(x=0)부터 관측점까지의 거리

지표 근처 또는 지하에 불투수층이 존재하는 경우는 해설 식 (4.4-14)가 적용되지 않으므로 일본토목학회(土本學會, 1985)를 참조한다. 해안 지하수의 조석에 의한 영향은 이시하라·혼마(石原·本間, 1966)와 사카이(酒井, 1965)를 참조한다.



해설 그림 (4.4-10) 해안 지하수의 개념도

(2) 기초 및 구조물내의 침투류

① 투수량 계산식

투수층을 흐르는 유체가 층류로 정상적인 경우, 투수유량은 다아시(Darcy)의 식으로 구할 수 있다. 지표층, 여과층(濾過層) 등 일반적인 흙이나 모래로 된 투수층 내의 정상류는 매우 느린 흐름이다. 이 경우의 흐름은 해설 식 (4.4-15)의 다아시(Darcy) 식에 따른다.

$$q = k\,i\,A$$ 해설 식 (4.4-15)

여기서, q : 투수층에서 단위시간당 유량 [L^3/T]

k : 투수계수 [L/T]

i : 동수경사 $i = \frac{h}{L}$ [L/L]

h : 손실 수두 [L]

L : 투수유로의 길이 [L]

A : 단면적 [L^2]

이 식의 적용한계는 투수층을 구성하는 입자의 입경과 투수속도에 관한 레이놀즈수에 의해 규정되는데, 아직 충분한 통일적 견해가 없기 때문에 실측에 의해서 확인하는 것이 좋다. 적용범위 및 투수계수에 대하여는 KDS 64 11 00 지반 (2.2.3 투수계수)를 따른다.

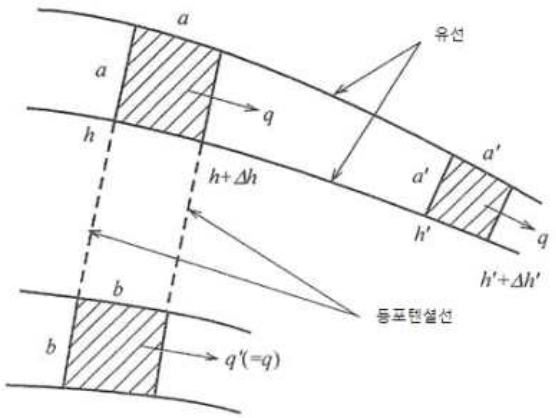
② 투수성 지반의 투수

투수성 지반내의 투수유량은 유선망(Flow net)을 작도하여 구할 수 있다. 수두가 같은 점을 연결한 등수위선(Equipotential line)과 대수층을 따라 물입자의 이상적인 이동경로를 나타내는 유선(Flow line)은 서로 직교하는데, 해설 그림 (4.4-11)과 같이 망의 각 격자를 정방형이 되도록 그린 것이 유선망이다.

유선망에서 인접한 유선으로 구분된 유관(流管) 내에서는 유량이 일정하고, 각 격자의 손실수두는 일정하게 된다. 따라서 유선망에 해설 식 (4.4-16)을 적용하여 총 유량을 구할 수 있다.

$$q = kh\frac{F}{N}$$ 해설 식 (4.4-16)

여기서, q : 단위폭당 투수유량[$L^3/T/L$]
k : 투수계수[L/T]
h : 총 수두차[L]
N : 등수위선에 의하여 구분된 유선 구간의 수
F : 유선에 의하여 구분된 등수위선 구간의 수



해설 그림 (4.4-11) 유선망의 개념도

③ 널말뚝벽의 투수

널말뚝벽의 투수유량은 단순히 널막뚝벽의 투수성만으로 결정되는 것이 아니라, 그 배후 흙 투수성의 지배적인 영향을 받는다. 이 점을 고려하여 소지(莊司, 1982) 등은 이음의 긴장 정도와 모래 채움 유무를 조합한 투수실험을 통해서 해설 식 (4.4-17)을 제안하였다.

$$q = Kh^n$$ 해설 식 (4.4-17)

여기서, q : 널말뚝 이음의 깊이 방향으로 단위길이당 투수유량[$L^3/T/L$]
K : 이음부의 투수계수[L^{2-n}/T]
h : 이음 전후의 압력수두차[L]
n : 이음부의 상태에 의하여 결정되는 계수
이음부에 토사를 채우지 않은 경우 n≒0.5
이음부에 토사를 채운 경우 n≒1.0

K의 값에 대하여는 널말뚝의 양쪽에 모래가 있고 이음이 인장상태 조건인 경우에 7.0×10^{-3} mm/s로 주어지는데, 이 수치에 의한 투수량이 현장 실측값의 30배에 달하는 경우도 있다. 그 이유를 검토한 결과, 실제 계산시에는 실험용 널말뚝벽과 현장 널말뚝벽의 상태가 다르다는 것을 유의할 필요가 있다.

④ 사석내의 침투류

중력식구조물의 기초사석내 투수유량은 해설 식 (4.4-18)을 사용하여 추정할 수 있다(日本港灣協會, 2007).

$$q = UH$$

해설 식 (4.4-18)

$$U = \sqrt{\frac{2gd}{\zeta}\cdot\frac{\triangle H}{\triangle S}}$$

여기서, q : 단위폭당 투수유량(㎥/s/m)

U : 사석 전(全)단면의 평균유속(m/s)

H : 투수층의 높이(m)

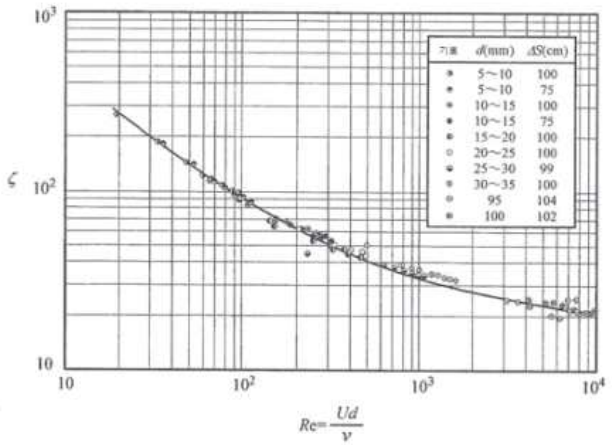
d : 사석 입경(m)

g : 중력가속도(m/s^2)

$\triangle H/\triangle S$: 동수경사

ζ : 저항계수

해설 식 (4.4-18)은 5~100mm까지 8종류의 단일입경 사석에 대하여 실험한 것을 정리한 것으로, 가상 유로장 $\triangle S$는 투수층 높이의 0.7~0.8배를 케이슨 저폭에 더한 것으로 생각해도 좋다. 레이놀즈수($Re = Ud/\nu$)에 따른 저항계수(ζ)의 변화는 해설 그림 (4.4-12)에 제시되어 있으며, Re >10^4에서는 $\zeta \simeq 20$으로 볼 수 있다. ν는 유체의 동점성계수(㎡/s)이다.



해설 그림 (4.4-12) 레이놀즈수와 저항계수의 관계

[참고문헌]

1) 국립해양조사원(2009), 새로운 국제조석기준면 결정방법에 대한 분석 및 국제동향 연구보고서.
2) 국립해양조사원(2012a), 2012년 수직기준 모니터링 및 기본수준점(TBM) 정비사업 학술연구보고서.
3) 국립해양조사원(2012b), 조석자료처리 체계 수립 및 기준면의 재고찰 결과보고서.
4) 국토지리정보원(2010), 국가 수직기준체계 수립을 위한 연구.
5) 박선중, 강주환, 김양선, 문승록(2010), “조석-해일 결합모형의 적용성 검토,” 한국해안·해양공학회논문집, 22(4), pp.254-265.
6) 서승원, 김현정(2012), “상세유한요소격자에서 비대칭 경도풍과 파랑모형이 고려된 서해안의 태풍해일모의,” 한국해안·해양공학회논문집, 24(3), pp.166-178.
7) 이석우(1992), “한국근해해상지”, 집문당, pp.234.
8) 천제호, 안경모, 윤종태(2009a), "천해에 적용 가능한 태풍 해일-조석-파랑 수치모델 개발, 1. 해수유동 모델의 정확도 검토," 한국해안·해양공학회논문집, 21(1), pp.63-78.
9) 천제호, 안경모, 윤종태(2009b), "천해에 적용 가능한 태풍 해일-조석-파랑 수치모델 개발, 2. 태풍 매미에 의한 해일-조석-파랑 모델의 정확도 검토," 한국해안·해양공학회논문집, 21(1), pp.79-90.
10) 최병호, 김경옥, 민병일, 조완희(2012), “한반도 주변해역의 파후 및 설계파 산정,” 한국해양과학기술협의회 공동학술대회발표논문집, 대구 EXCO, 2012년 5월 31일 - 6월 1일, pp.2226-2229.
11) Choi, b.H., K.O. Kim, H.S. Lee and J.H. Yuk(2010), “Perturbation of regional ocean tides due to coastal dikes,”Continental Shelf Research, 30, pp.553-563.
12) Dietrich, J.C., M. Zijlema, J.J. Westerink, L.H. Holthuijsen, C. Dawson, R.A. Luettich Jr., R.E. Jensen, J.M. Smith, G.S. Stelling and G.W. Stone(2011), “Modeling hurricane waves and storm surge using integrally-coupled, scalable computations,” Coastal Engineering, 58, pp.45-65.
13) Honda, K., T. Terada, Y. Yoshida and D. Ishitani(1943), “Secondary undulation of oceanic tides,” Jour. College of Science, Univ. of Tokyo, Vol. 26.
14) IPCC(2007), Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group Ⅰ to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, N. manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp.996.
15) Ippen, A.T. and Y. Goda(1963), “Wave induced oscillations in harbors: The solution for a rectangular harbor connected to the open sea”. Hydrodyn. Lab., Dep. Civil Eng., M.I.T., Rept. No. 59, pp.90.

16) Kang, S.K., M.G.G. Foreman, H.J. Lie, J.H. Lee, J. Cherniawsky, and K.D. Yum(2002), “Two-layer tidal modeling of the Yellow and East China Seas with application to seasonal variability of the M2 tide,”J. Geoyphy. Res., 107, C3, 3020, 10.1029/2001JC000838.
17) Lamb, H.(1932), “Hydrodynamics”. Cambridge University Press.
18) Myers, V.A.(1954), “Characteristics of United States hurricanes pertinent to levee design for Lake Okeechobee”, Florida. Hydro-Meteorological Report of U.S Weather Bureau, 32, pp.1-106.
19) Nakicenovic, N. and R. Swart(eds)(2000), “Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group Ⅲ of the Intergovernmental Panel on Climate Change”. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp.599.
20) Raichlen, F.(1966), “Harbor resonance,” Estuary and Coastline Hydrodynamics, Ippen, A.T.(ed), McGraw-Hill, pp.281-340.
21) Todd, D.K.(1963), “Groundwater Hydrology”, John Wiley & Sons, Inc.
22) Wilson, B.W.(1960), “Note on surface wind stress over water at low and high wind speeds,” J. Geophys. Res., 63, pp.3377-3382.
23) Wilson, B.W.(1972), “Seiches,” Advances in Hydrosciences, 8, V.T. Chow(ed), Academic Press, New York, pp.1-94.
24) 谷本勝利, 高山知司, 村上和男, 村田繁, 鶴谷廣一, 高橋重雄, 森川雅行, 吉本靖俊, 中野晋, 平石哲也(1983), “1983年 日本海 中部地震津波の 實態と 二, 三の考察”, 港灣技術研究所資料 No. 470, pp.299.
25) 石原藤次郎, 本間仁(1966), "應用水理學(中Ⅱ)", 丸善.
26) 日本港灣協會(2007), 港灣の施設の技術上の 基準·同解說(上卷), pp.133.
27) 莊司喜博, 粂田政治, 富田幸晴(1982), “鋼矢板壁の 透水實驗, 港灣技術研究所 報告”, 21(4), pp.41-82.
28) 酒井軍治郎(1965), 地下水學. 朝倉書店.
29) 池野正明, 松山昌史, 田中寬好(1998), “ソリトン分裂津波の 大陸棚上 ぐの 變形と その防波堤設計波壓に 關する 實驗的研究, 海岸工學論文集, 第45卷, pp.366-370.
30) 土本學會(1985), 水理公式集, 昭和 60年 改訂版.

4.5 흐름 및 흐름의 힘

4.5.1 흐름의 제원

(1) 항만시설의 설계에 쓰이는 흐름(海潮流)의 제원은 유속과 유향이며 시설물 설치 위치에서의 실측값 또는 추산값에 기초하여 가장 엄격한 조건을 설정한다.
(2) 매립공사, 항만공사 등에 의한 해안지형의 변화에 따른 해조류(海潮流)의 변화에 대하여는 공사계획 전에 검토하여야 한다.

[해 설]

조류, 하천류 등의 흐름이 강한 곳에 위치하는 구조물에 대하여는 가장 엄격한 유속, 유향에 기인하는 작용력에 대해 검토하여야 한다. 구조물 또는 부재의 종류에 따라서는 흐름의 연직 분포에 대하여도 고려할 필요가 있다. 그리고 파랑과 흐름이 공존하는 경우의 유속, 유향은 공존상태 흐름의 제원으로 하는 것이 필요하다. 해역의 흐름에는 해류, 조류, 취송류 등이 있으며, 염분이나 수온 분포에 기인하는 밀도류도 있다. 해안역에서는 연안류, 이안류가 있다.

(1) 해류

해류는 해양 전체에 있어서의 국부적인 해수밀도 분포에 기인하는 밀도류, 바람의 해수면 전단응력에 기인하는 취송류(吹送流), 전향력과 해수의 압력경도력에 의한 지형류, 그리고 이것들을 보충하는 보류(補流 - 용승류(湧昇流), 침강류(沈降流)) 등이 합쳐져서 생기는 대양의 해수순환 현상이다.

해류는 계절적 변화를 보이나 상당기간에 걸쳐 거의 일정한 방향과 크기를 갖는다. 해설 그림 (4.5-1)은 동해의 표층 해류 모식도이다. 점선은 해류 진로의 변동성이 큼을 의미하고, 동해 북부의 반시계방향 해수 순환은 표층과 중층에서 동시에 나타난다.

(2) 조류

① 조류는 해역의 지리적 조건이나 천체의 운동에 따라 그 성질과 세기가 변화하므로 조류의 상황을 파악하기 위해서는 30일, 적어도 1일(25시간) 이상의 연속관측을 할 필요가 있다. 특히, 연안 천해역의 대규모 매립공사 등으로 지형이 변화하는 경우에는 사전에 조류의 변화를 검토하여야 한다.

② 조류는 조석파에 수반되는 해수의 수평방향의 유동이며, 그 운동은 조석파의 분조(일주조, 반일주조 등)에 대응하여 주기적으로 변화한다. 조류는 일반적으로 약 반일(12시간 25분)의 주기를 갖고 있으나, 곳에 따라 약 1일(25시간 50분)의 주기로 형성되기도 한다. 그리고 연안 천해역의 조류는 지형, 해저마찰 등의 영향을 받아 1/4일, 1/6일 주기 등의 배조류(倍潮流)가 발달하므로 그 형태는 한층 복잡하다.

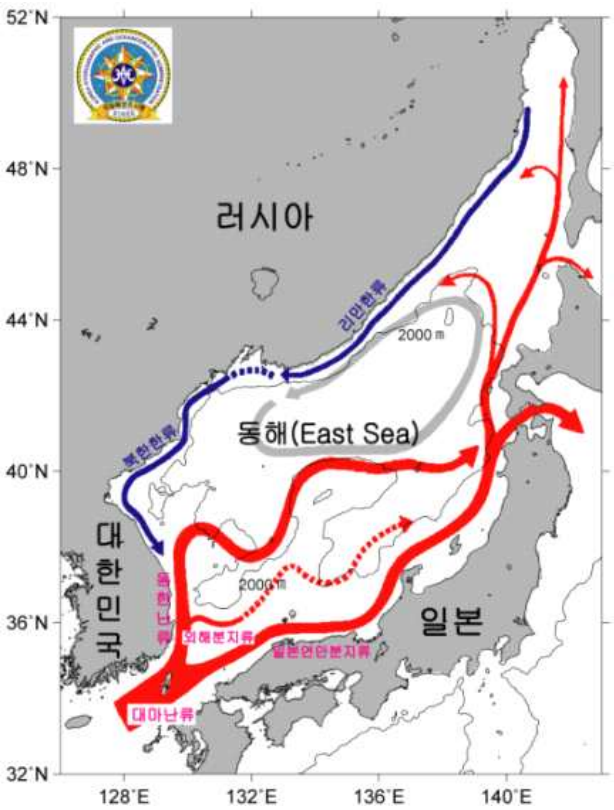
③ 조류를 구성하는 여러 분조가 있으나, 그 가운데서 가장 중요한 것은 M_2, S_2, O_1, K_1의 4개 분조이다. 이 4개 분조를 고려하면 실제 조류를 대략 알 수 있다. 연안역의 흐름을 나타내는 것으로는 항류(恒流)도 중요하다. 항류는 관측기간의 평균류를 나타내며, 조류 조화분석을 통하여 구할 수 있다. 조류가 주기적 운동인데 반해 항류는 일정류

(一定流)이기 때문에 연안역에서의 물질의 확산방향을 결정해주는 매우 중요한 요소이다. 항류의 성인(成因)으로는 조류 현상의 비선형성에 따른 조석 잔차류, 하천으로부터의 담수유입 등에 기인하는 밀도류, 바람의 전단응력에 기인하는 취송류, 외해에 흐르는 해류의 분지류 등이 있다. 장기적인 항류의 변동에는 항내에 유입하는 하천유량의 영향이 크고, 수 일 정도의 단기적인 항류의 변동에는 바람의 영향이 크다.

④ 조류가 빠른 곳에서는 해저 토사가 조류를 따라 이동하여 항로 매몰을 일으킬 수 있다. 특히, 준설 항로가 조류 방향과 평행하지 않고 교차하는 경우에는 항로 준설 계획을 신중하게 검토해야 한다.

⑤ 해조류의 모형실험

조류와 다양한 원인의 해류가 합성되어 나타나는 해조류는 시·공간적으로 매우 불규칙하고 복잡하기 때문에 모형실험으로 이를 재현하거나 예측하는 것이 쉽지 않다. 해조류 수치모형실험의 과정은 4.4.6에 기술한 조석·조류 수치모형실험의 수행 과정과 동일한 것으로 볼 수 있으나, 흐름을 일으키는 여러 요인들, 예를 들면 수온, 염분, 조위, 유량, 바람, 기압 분포와 그 시간적 변화 등을 초기 및 경계 조건으로 입력하고 이를 적절하게 수치 해석하여야 한다. 또한, 조류는 해저마찰에 의해 저층으로 갈수록 유속이 약간씩 감소하는 외에는 수직적으로 유속·유향의 큰 변화가 없으나, 밀도류나 취송류와 같은 흐름은 수직적인 유속·유향의 변화가 크다. 따라서 통상적인 수직적분 2차원 수치모형으로는 실제 현상을 정확하게 재현하기 어려우며, 3차원 수치모형을 적용하여야 한다. 3차원 수치모형 운용 시에는 특히, 수직방향 운동량과 열염(熱鹽)의 난류확산(亂流擴散) 현상을 현실적으로 수치 해석하는 것이 관건이 된다.



해설 그림 (4.5-1) 동해의 표층 해류 모식도

(3) 취송류(吹送流)

해면에 바람이 불면 공기와 수면의 경계마찰의 전단력에 의해 해면이 움직이기 시작한다. 그 흐름이 발달하면 해수의 와동점성(渦動點性)에 의해 상층에 잡아끌리어 하층까지 차차 움직이기 시작하며, 풍속과 풍향이 오랫동안 균일하다면 마침내 정상상태에 달한다. 이 흐름을 취송류라 한다. 이 현상은 에크만의 연구에 의해 확립되어 에크만 나선류(螺旋流, Ekman spiral)라 부르며, 해류에 관한 취송류 이론으로 발전되었다. 주로 해양의 해류현상을 이론적으로 설명하려는 시도로 출발한 이 이론의 결과를 직접 연안천해역의 현상에 적용하는 것은 곤란하므로 에크만 나선류의 개념만을 간단히 기술한다.

① 풍속과 표면 유속과의 관계

취송류의 표면유속 Vo와 풍속 W와의 비를 풍력계수라 한다. 취송유속이 풍속에 비례한다는 가정 하에 얻은 외양에서의 풍력계수는 대략 0.014~0.05의 범위에 있다. 일반적으로 바람에 의해 생기는 취송류의 표면유속과 풍속과의 비 Vo/W는 대략 3 % 정도로 보며 유향은 풍향과 일치하는 것으로 보아도 좋다.

② 연직 유속분포

일반적으로 취송유속은 표면층에만 뚜렷하고 수심이 증가함에 따라 급감한다.

(4) 해빈류(海濱流)

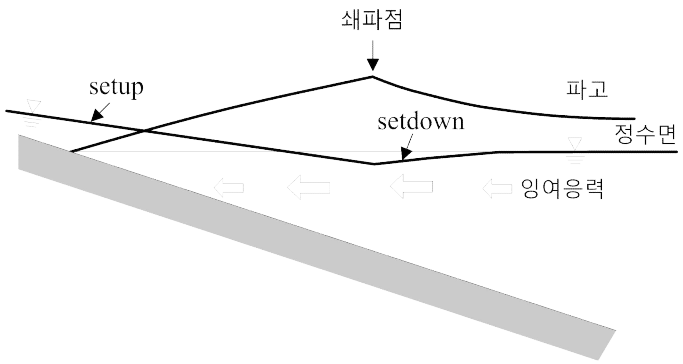
쇄파대에서는 해빈류라는 파랑이 일으키는 특별한 흐름이 존재한다. 해빈류는 쇄파대 내의 흐름이므로 부유상태에 있는 모래를 운반하여 해빈지형의 변화를 일으킨다.

① 질량 수송

파랑이 해안으로 전파될 때, 물입자가 외해에서는 원운동을, 천해에서는 타원운동을 하면서 천천히 파랑의 진행방향으로 이동하는 현상을 파랑에 의한 질량 수송이라 한다. 임의 지점에서 물입자는 파봉이 통과할 때 파의 진행방향으로 이동하고 파곡이 통과할 때는 반대 방향으로 이동하며, 이동 속도는 거의 같다. 그러나 파봉이 통과할 때의 수심이 파곡이 통과할 때의 수심보다 깊기 때문에 파의 진행방향으로 해수의 잔여 이동량이 발생하게 된다. 파봉과 파곡의 수심차는 파고에 해당하고, 물입자의 유속은 파고에 비례하므로 질량수송의 속도는 파고의 제곱에 비례한다. 질량 수송에 의해 해안으로 운반된 수립자는 연안류를 따라 해안에 평행하게 이동하다가 이안류를 따라 외해로 되돌아간다.

② 파랑에 의한 해면 상승(Setup)과 해면 하강(Setdown)

해안으로 진행하는 파는 쇄파점에 접근할수록 파고가 커지고 쇄파 후 해안선으로 가면서 파고가 감소한다. 파랑주기 동안 파 운동량을 수심적분한 잉여응력은 파고의 제곱에 비례하므로 쇄파대 외측에서는 쇄파점으로 갈수록 잉여응력이 증가하여 평균수면이 하강하고, 쇄파대 내측에서는 해안선으로 갈수록 잉여응력이 감소하여 평균수면이 상승한다[해설 그림 (4.5-2)].



해설 그림 (4.5-2) 파랑에 의한 해면상승과 해면하강

③ 연안류(沿岸流)

해안선 방향의 파고 분포가 다르면 쇄파대 내측에서 파랑에 의한 해면 상승(Wave setup) 높이가 달라진다. 이 평균해면 경사에 따라 해안선에 평행한 흐름이 형성되며 이를 연안류(Longshore current)라 한다.

④ 이안류(離岸流)

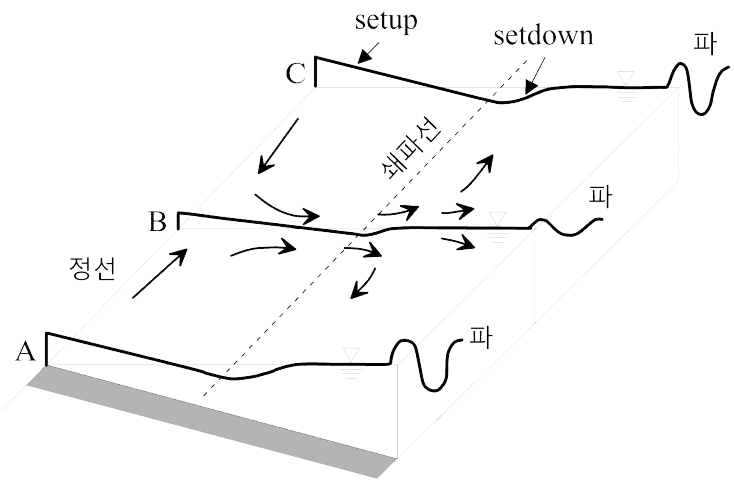
연안류가 해면 상승(Setup)이 상대적으로 낮은 지점에서 수렴하면 해안선에 직각 방향의 강하고 좁은 흐름이 형성되는데, 이를 이안류(Rip current)라 한다. 이안류는 쇄파대를 가로질러 외해로 유출되며 외해에서는 유속이 급격하게 감소한다.

⑤ 해빈류의 형태

연안류와 이안류를 포함한 해안 순환류를 해빈류(Nearshore current) 또는 파랑류(Wave-induced current)라고 한다[해설 그림 (4.5-3)]. 해빈류는 잉여응력이 크고 또한 잉여응력의 공간 변화율이 크며 수심이 얕은 지역에서 강하게 발생한다. 방파제 선단부와 같이 파랑의 전파가 급격하게 차단되는 지역에서도 강한 해빈류가 발생할 수 있다.

⑥ 해빈류 모형실험

해빈류 수치모형실험을 위해서는 먼저 파랑 수치모형실험을 수행하여 파고와 파향 분포를 산정하여야 한다. 기본방정식은 해수유동 방정식과 동일하나, 여기에 파랑 분포에 의한 잉여응력(剩餘應力, Radiation stress)항이 추가된다. 잉여응력은 해수유동 실험에서 바람에 의한 해수면 전단응력을 처리하는 것과 같은 방법으로 수치 해석한다. 해빈류는 쇄파대 내측에서 강하게 형성되기 때문에 쇄파대 내·외측의 급격한 파랑 및 수심 분포 변화를 정확하게 모의하기 위해서는 격자 크기를 충분히 작게 구성하여야 한다. 또한 이안류가 저층에서만 형성(Undertow)되기도 하므로 이를 실제적으로 재현하기 위해서는 3차원 모형을 운용할 필요가 있다.



해설 그림 (4.5-3) 해면 상승·하강과 해빈류의 형태

4.5.2 수중부재 및 구조물에 작용하는 흐름의 힘

물의 흐름에 의한 수중 또는 수면 부근의 부재 및 구조물에 작용하는 항력(抗力) 및 양력(揚力)은 다음 식에 의해 산정하는 것을 표준으로 한다.

(1) 항 력

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_o A U^2 \qquad \text{식 (4.5-1)}$$

여기서, F_D : 물체에 작용하는 흐름방향의 항력(N)
C_D : 항력계수
ρ_o : 물의 밀도(kg/m^3)
A : 물체의 흐름방향의 투영면적(m^2)
U : 유속(m/s)

(2) 양 력

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho_o A_L U^2 \qquad \text{식 (4.5-2)}$$

여기서, F_L : 물체에 작용하는 흐름과 직각방향의 양력(kN)
C_L : 양력계수
A_L : 흐름과 직각방향의 물체의 투영면적(m^2)

[해 설]

잔교 등의 말뚝식 구조물의 말뚝이나 파이프라인 또는 마운드 피복제 등에 작용하는 흐름에 의한 힘은 유속의 제곱에 비례하며, 흐름 방향으로 작용하는 항력과 흐름의 직각방향으로 작용하는 양력이 있다. 한편 수중의 가는 관 형태의 물체에는 와류에 의한 진동이 발생할 수 있다.

(1) 항력계수

흐름에 의한 항력은 점성에 의한 표면저항과 압력에 의한 형상저항의 합으로 표시되며 일반적으로 식 (4.5-1)과 같이 표현된다. 항력계수는 물체의 형상, 크기, 조도, 흐름 방향, 레이놀즈수 등에 따라 다르며, 상황에 따라 적절한 값을 사용하여야 한다. 레이놀즈수가 10^3 정도 보다 큰 경우에는 항력계수의 표준값으로 해설 표 (4.5-1)에 제시된 값을 사용해도 좋다.

(2) 양력계수

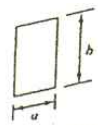
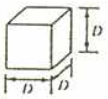
양력계수도 항력계수와 마찬가지로 물체의 형상, 흐름의 방향, 레이놀즈수 등에 따라 다르지만 그 값에 대하여는 잘 알지 못한다.

(3) 지진해일 방파제의 개구부 잠제 상부공에 작용하는 힘

이와사키(岩崎, 1984) 등은 지진해일 방파제 개구부에 설치된 잠제 상부공에 작용하는 흐름에 의한 압력을 측정하고 항력계수로 0.84, 양력계수로 0.48을 얻었다.

다니모토(谷本, 1988) 등은 같은 방식의 측정에서 항력계수로 1.0~1.5, 양력계수로 0.5~0.8을 얻었으나, 유속이 큰 경우에는 수면경사의 영향에 의해 이들 계수가 커지는 것을 지적하고 있다.

해설 표 (4.5-1) 항력계수

물체의 형태	기준 면적	항력계수
원주 (거친 면) ➡ 	D ℓ	1.0 (ℓ>D)
각주 ➡ 	B ℓ	2.0 (ℓ>B)
원판 ➡ 	$\frac{\pi}{4}D^2$	1.2
평판 ➡ 	ab	a/b=1 ; 1.12 a/b=10 ; 1.29 a/b=2 ; 1.15 a/b=18 ; 1.40 a/b=4 ; 1.19 a/b=∞ ; 2.01
구 ➡ 	$\frac{\pi}{4}D^2$	0.5 ~ 0.2
입방체 ➡ 	D^2	1.3 ~ 1.6

(4) 와류에 의한 진동

가는 부재의 경우, 흐름의 작용으로 배후에 와류가 발생하여 흐름과 직각방향의 진동을 일으킬 수 있으므로 주의를 요한다. 이것은 와류에 의한 양력이 주기적으로 변화하여 그 주기와 부재의 고유진동주기가 가까워질 때 공진상태가 되기 때문이다. 와류 발생주기(T=1/f)는 부재의 직경(D)과 유속(V), 그리고 스트로할수(Sr : Strouhal number)로부터 구할 수 있다(해설 식 (4.5-1)).

$$Sr = f\,D/V = 0.198\,(1 - \frac{19.7}{Re}) \qquad \text{해설 식 (4.5-1)}$$

이 식은 레이놀즈수(Re)가 250 < Re < 2×10^5의 범위에서 성립하며, 이 때 발생하는 와류를 카만 와류(Karman vortex)라고 부른다(von Karman, 1963). 부재의 길이가 길고 고유진동주기가 긴 경우에는 방진대책이 필요하다.

[참고문헌]

1) von Karman, T.(1963), “Aerodynamics”, McGraw-Hill.
2) 谷本勝利, 木村克俊, 宮崎啓司(1988), “津波防波堤開口部潛堤ヒの 安定性に 關する 實驗的 硏究”, 港灣技術硏究所 報告, 27(4), pp.93-102.
3) 岩崎敏夫, 眞野明, 中村武弘, 堀越伸彰(1984), “潛堤の マウンド材および プレパックド堤に 作用する 定常流 流體力に 關する 實驗的 硏究”, 第31回 海岸工學講演會論文集, pp.527-531.

4.6 하구 수리

4.6.1 설계일반

하천이 해역과 합류하는 하구역에서 하천의 고수시와 저수시의 유황, 소류 및 부유토사, 조석의 변화 및 밀도류, 파랑과 하천의 공존 등의 하구수리 현상을 검토하여야 한다.

[해 설]

하구역에서는 하천수 유출과 유사 작용에 외해로부터의 조석, 조류, 파랑, 해빈류, 표사 등의 작용이 더해진다. 이 때문에 수위, 유속의 주기적 변화, 밀도류의 발생, 토사의 응집·침전·퇴적 등의 복잡한 수리현상이 발생한다. 이러한 제 현상은 하구역의 유황과 물질 수송에 큰 영향을 준다. 따라서 하구수리를 접근함에 있어서 하천·해역 양자에 대한 고찰이 필요하며 각각의 특성을 분석·검토하여야 한다.

(1) 하구 조석

해양의 조석은 하구역에 진동을 일으킨다. 해양 조석의 영향을 받는 하천을 감조(感潮)하천이라 부른다. 한강에서는 조위가 EL(+)2.7 m 이상일 때 창조류가 신곡수중보를 월류하여 약 30 km 상류의 잠실수중보까지 조석 현상을 일으키고 있으며, 금강에서는 하구둑 체절 전에 상류 약 60 km 지점인 규암까지 조석 영향을 받았다.

하구에 진입한 조석파는 수심이 얕아지고 마찰이 증가하기 때문에, 그리고 하천류 때문에 점차 변형된다. 하구 조석은 해양 조석과 같이 대칭형이나, 상류로 올라감에 따라 비대칭형으로 된다. 즉, 저조부터 수면은 갑자기 고조가 되고 고조부터 수면은 서서히 저조로 된다. 이 때문에 창조시간이 짧고 창조유속은 강하며, 낙조시간이 길고 낙조유속은 약하다.

감조하천의 또 하나의 특징은 하천 상류로 가면서 고조면의 높이는 거의 변하지 않거나 약간 높을 정도로 되지만 저조면은 점차 높아지고 조차는 점차 작아진다. 또 일반적으로 하류에서 대조기 저조면은 소조기 저조면보다 낮으나 상류로 올라감에 따라 대조기 저조면이 소조기보다 높아진다. 이것은 하천조석과 해양조석간의 본질적인 차이를 말해준다.

조석파가 하천을 거슬러 올라가면 점차 변형하여 마침내는 조석파 전면의 급경사가 마치 직립벽과 같이 하천을 돌진하는 현상이 드물게 일어난다. 이것을 조석 해일(Tidal bore)이라 한다.

(2) 하구류

하구역의 수리현상 중 가장 큰 특징은 조석에 의한 영향이다. 일반적으로 수위와 유속의 주기적 변동이 나타나며, 조차가 큰 하구에서는 창조시 수면이 역경사가 되어 하천수가 역류하는 경우가 많다. 그리고 조차가 작은 하구에서는 하천수의 역류가 발생하지 않지만, 저층에는 해수가 쐐기상태로 침입하며, 하천류는 표층에서 엷은 층으로 가속되어 유출한다. 이때의 연직유속분포는 표층에서는 설상(舌狀)을 나타내며 저층에서는 역류를 나타낸다. 소위 이층류의 밀도류를 형성하는 경우가 많다.

그리고 하구에 침입한 조류는 하상 경사, 하천류 등 때문에 일반적으로 창조시간은 짧고, 낙조시간은 길어지는 경향이 있다. 유속·유량의 극대·극소는 조석의 고·저조시보다 늦게 발생한다.

이러한 제 현상이 하구의 위치, 형상, 하천 및 외해의 수리량에 따라 시간적, 공간적으로 변화하는 것은 당연하지만, 하구류의 특성을 다음과 같이 요약할 수 있다.

① 유출 시에는 하천류가 강하여 하천 본래의 경사류가 탁월한 등류로 볼 수 있다.

② 평수 시에는 경사류성, 조석에 의한 조류성, 여기에 해수와 담수의 밀도차에 기인하는 밀도류성이 더해져 흐름 특성이 복합해진다.

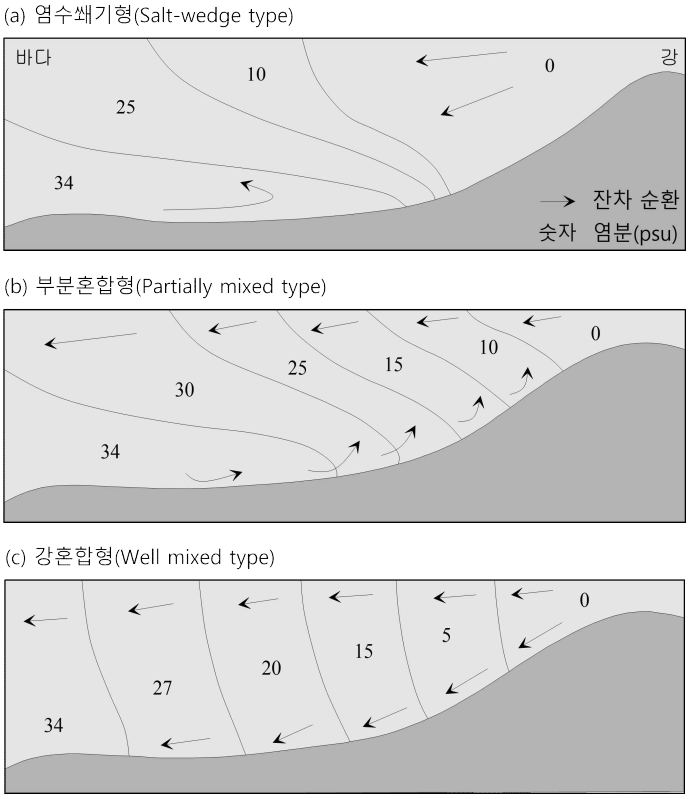
③ 갈수기에는 조류성이 지배적이다. 그러나 동해안과 같이 조차가 작은 하구역에서는 갈수기에도 조류성은 그다지 강하게 나타나지 않고 오히려 밀도류성이 강해진다.

④ 남·서해안과 같이 조차가 큰 하구역에서는 조류성이 탁월하게 나타난다.

(3) 하구 밀도류

하구역에서는 담수와 해수의 밀도차 때문에 해수는 하천수의 저층으로 침입하고 역학적 평형을 이루기 위한 유동이 나타난다. 이 흐름을 하구 밀도류라 부르며, 유속, 수온, 염분의 현지관측 또는 해양과 하천을 포함하는 3차원 수치모형실험을 통하여 그 공간적 분포 형태를 파악할 수 있다.

밀도류의 형식은 하구역에서의 담수와 해수의 혼합 상태에 따라 해설 그림 (4.6-1)과 같이 3가지 형태로 대별된다(이, 2010). 그림에서 염분의 단위인 psu(실용 염분단위, Practical Salinity Unit)는 해수 1 kg에 녹아있는 염류의 g 질량으로, 이전에 사용하던 천분율(ppt, ‰, Permil)과 같다.



해설 그림 (4.6-1) 하구 밀도류의 형식

① 염수쐐기형(Salt-wedge type)

일반적으로 하천 유량에 비하여 조차가 작은 하구에서 볼 수 있다. 표층의 하천수와 저층의 해수 사이에 혼합이 거의 일어나지 않고, 담수와 해수의 경계면(밀도 불연속면)이 명백하게 나타난다. 이 형식을 특히 성층 밀도류 또는 이층류라 부른다.

② 부분혼합형(Partially mixed type)

조차가 하천 유량에 비해 ①의 경우보다 약간 커지면 나타난다. 이 형식에서는 하수와 해수의 혼합이 비교적 잘 이루어진다. 염분의 수직적, 수평적 변화가 모두 나타나서, 표층에서 저층으로 갈수록 그리고 하천쪽에서 바다쪽으로 갈수록 염분이 증가한다.

③ 강혼합형(Well mixed type)

이 형식은 하천 유량에 비해 조차가 큰 하구역에서 발생한다. 조석의 난류혼합에 의하여 수층 전체가 잘 섞여져 수직적인 염분의 변화가 거의 나타나지 않고, 염분의 변화는 수평적으로 하천 쪽에서 바다 쪽으로 가면서 증가하는 양상으로 나타난다.

(4) 하구 진입파

하구역에 진입해 온 파랑은 흐름과의 상호작용에 의해 변형이 나타난다. 수심에 따른 굴절과 흐름의 상대적 방향에 따른 굴절이 나타나서 파고가 낮아진다. 그러나 파향이 유향과 정반대인 경우에는 파고가 커진다. 진입파는 하구를 거슬러 올라가는 과정에서 마찰 저항과 난류 등의 영향으로 파고가 감소한다.

4.6.2 하구의 매몰

하구역에서는 하천으로부터의 소류사(掃流砂) 및 부유사(浮遊砂)의 형태로 유송된 토사나 연안 표사에 의한 매몰 현상을 적절히 검토하여야 한다.

[해 설]

하구역에서 토사의 퇴적·침식량은 하천-조류모델에서 얻은 유속장을 입력하여 운영하는 퇴적 수치모형실험으로 추산한다.

(1) 실테이션 - 이점토(泥粘土) 퇴적현상

① 실테이션(Siltation)

내만이나 하구역에서 점토와 실트 크기의 세립퇴적물(이하 이토)의 농도가 증가하여 과도하게 집적되는 현상을 실테이션이라 부른다.

실테이션을 현상 측면에서 보면 흐름에 의한 해저 이토의 재부유와 이송, 파랑과 해저 이토층의 상호간섭, 침강, 퇴적, 압밀 등으로 나눌 수 있다. 하구역에서는 파랑이 흐름과 동시에 존재하며 염수와 담수의 혼합역에서는 응집(Flocculation)이 촉진되는 특징이 있다.

실테이션과 표사의 큰 차이점은 실테이션을 일으키는 이토는 응집성이 있어 하천과 해역의 접합부인 하구역(Estuary)에서 해수와의 혼합에 의한 응집에 수반되어 침강 특성이 크게 변화하는 것이다. 해저에 침강된 이토는 탈수를 거쳐 저질을 형성하고, 저질은 다시 압밀에 의해 강도가 큰 저질로 오랜 시간을 거쳐 변화해 가는 성질을 갖고 있다. 따라서 파랑이나 흐름에 의한 재부유 특성은 엄밀하게는 이토의 특성(침강후의 압밀 정도, 입도 조성, 함수비, 유기물 함유량 등의 시간 변화)에 따라 변화한다. 이것이 일반적으로 모래 개개의 입자로 취급하는 표사와 실테이션의 큰 차이점이다.

실테이션이 현저한 곳에서는 항로 수심이 계속 변화하기 때문에 항시 수심측정에 의한 감시가 필요하며 선박 안전을 위한 항로 준설이 필요하다. 실테이션이 문제가 되는 항구의 진입항로 해저는 밀도가 1,050~1,300 kg/㎥인 액상 이토층(Fluid mud layer)이 존재한다고 보고된다. 현재 실테이션에 의한 항로 매몰 문제가 많은 유럽에서는 선박의 「안전한 항해 수심」을 저질 밀도가 1,200 kg/㎥ 이하의 수심으로 정의하고 있다. 현업에서는 음향측심기의 두 주파수로 액상 이토층을 검출하는 방법이 행해지고 있다. 예를 들면 액상 이토층 표면에서 반사하는 210 kHz와 액상 이토층을 통과하고 모래층 또는 밀도가 큰 이토층에서 반사하는 33 kHz의 두 종류의 주파수를 사용하는 방법이 있다. 그러나 이러한 기기로는 항해 가능수심을 결정하는데 충분하다고 할 수 없다.

② 액상 이토층의 형성

액상 이토층은 하구역이나 대륙붕의 연안 가까이에서 많이 볼 수 있으며 매우 높은 농도의 이토를 포함하는 유동하기 쉬운 층이다. 이토의 농도는 10~300 kg/㎥ 정도이다.

③ 실테이션 수치실험

실테이션을 모의하기 위해서는 흐름과 파랑장을 계산하고 이토의 응집, 침강, 재부유, 액상 이토층의 형성과 거동을 재현할 수 있는 수치모델을 적용하여야 한다.

(2) 토사의 매몰

① 토사의 이동량 추정

하구역에서 토사의 이동은 토사의 입경, 유속 및 염분에 따라 부유사 및 소류사의 형태로 이동한다. 소류사량은 유속의 3~5승에 비례한다. 부유사의 침전은 담수와 염수가 만나는 곳에서 응집현상이 일어나 증가하며, 부유사량은 부유물의 농도와 유속에 좌우된다. 소류사 및 부유사 이동량은 조류 수치실험의 유속장을 이용하여 퇴적 수치실험으로 모의한다.

② 하구역의 매몰 현상

하구역의 매몰 현상은 주로 대홍수시 또는 대조시의 강한 유속에 의해 유송된 토사에 의해 일어나며, 퇴적된 토사의 일부는 홍수시 또는 낙조시에 하구 밖으로 유출되어 부근 해안의 연안 표사와 함께 사주를 형성하는 경우가 있다.

③ 하구역의 연중 토사 순환

하구역은 일반적으로 창조 유속이 강해 많은 부유사를 상류측으로 운반하고, 유속이 약한 정조시 및 낙조시에 침강·퇴적되는 현상이 일어나는 곳이 있다. 특히 겨울철에 이렇게 퇴적된 세립 토사는 여름철 홍수시 외해로 유출되는 연중 토사 순환을 나타내는 곳도 있다.

④ 조류의 사류(射流)작용

하구역의 협수로에서는 조류의 사류(射流)작용에 의해 통수단면적이 조량과 일정한 관계를 갖고 평형상태를 유지하고 있는 것으로 보고된 바 있다(O'Brien, 1969).

한국 서해안의 인천항, 군장항, 가로림만 수로에서 평균해면하 최소 단면적(A, m^2)은 평균대조기 조량(P, m^3)과 다음과 같은 평형관계에 있음이 제시되었다(Lee, 1975).

$$A = 1.81 \times 10^{-4} P^{0.9424}$$ 해설 식 (4.6-1)

통수단면상의 단면평균 최대유속은 평균대조기에 평형값인 1.05~1.15 m/s를, 그리고 단면평균유속은 약 0.7 m/s를 유지하는 것으로 보고하였다.

[참고문헌]

1) 이창복(2010), "해양환경의 이해", 서울대학교출판문화원, pp.163.
2) Lee, S.W.(1975), "Tidal flushing at entrance of tidal bay in Korea," Proc., the 3rd Ocean Development Conf., Ⅳ. Coastal Environment, pp.157-167.
3) O'Brien, M.P.(1969), "Equilibrium flow areas of inlets on sandy coasts," Journal of the Waterways and harbors Division, ASCE, WWI, pp.43-52.

4.7 표사

4.7.1 표사 설계일반

(1) 표사의 영향을 받을 경우에는 저질 입경, 이동한계수심, 연안 표사량, 연안 표사의 탁월 방향 등의 표사의 특성을 고려하여야 한다.
(2) 표사의 탁월방향과 이동량은 바람, 파랑, 흐름, 지형 및 퇴적물 자료에 기초하여 일련의 표사계에서 발생하는 퇴적물 이동의 연속성을 고려하여 산정하여야 한다.
(3) 연안시설 설계에서 평면형상을 규정하는 해안선방향과 단면형상을 규정하는 후빈의 폭과 높이, 전빈경사, 외빈의 폭과 경사, 원빈의 경사 등의 해빈형상 제원 중에서 필요한 제원을 정한다.
(4) 호안이나 제방과 같이 바다를 매립하여 육지를 보호하기 위해 축조하는 구조물 및 방파제, 방사제, 돌제, 도류제, 소파제, 이안제 등과 같은 해안·항만 구조물의 건설, 그리고 바다모래 채취 등과 같은 준설량이 과다하여 인근 해역의 지형을 변화시킬 우려가 있는 경우에는 해빈의 균형 변화에 유의하여 예상되는 지형 변화를 검토하여야 한다.
(5) 건설 중 및 건설 완료 후에도 해빈의 지형변형 상황에 주의하여 해안의 침식이나 퇴적에 의한 재해를 방지하거나 완화하기 위한 적절한 대책을 세워야 한다.
(6) 연안의 이용과 보전을 위한 시설과 연계하는 용어나 특징 등에 대한 내용은 KDS 64 50 00 연안보전시설을 참조한다.

[해 설]

(1) 표사의 발생

① 해안을 구성하는 저질이 파랑이나 흐름 등의 작용에 의해 이동하는 현상 또는 이동하는 모래 자체를 표사(漂砂)라 하고 바람에 의한 모래의 이동 및 모래 자체를 비사(飛砂)라 하며 광의로는 해빈(海濱)에서의 비사를 표사에 포함하기도 한다.

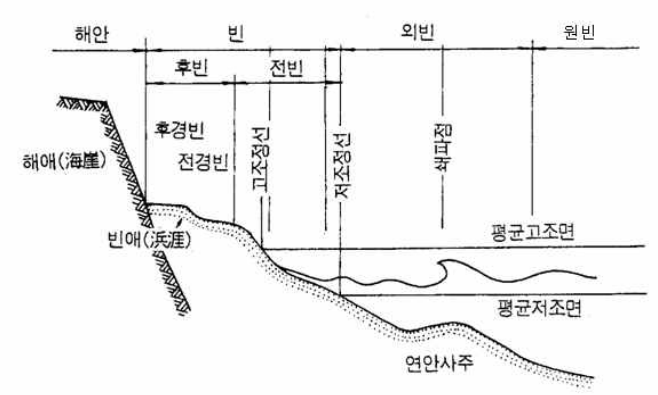
② 해빈을 구성하는 저질은 부근의 하천과 인접 해안으로부터 공급되며, 공급 과정 중 또는 해빈에 퇴적된 후에 파랑이나 흐름의 작용을 받는다. 이 때문에 저질은 파랑이나 흐름 등의 외력 특성을 반영한 특성을 나타내며, 이를 외력에 의한 저질의 입경 분류(Sorting) 작용이라 한다.

(2) 해안의 지형

① 해안단면 각부의 명칭

모래 해안의 전형적인 단면의 각부 명칭은 해설그림(4.7-1)과 같다. 원빈은 심해 측의 통상 파랑이 쇄파하지 않는 부분이며, 해저경사가 비교적 완만한 곳이 많다. 외빈은 원빈의 안쪽(육측) 저조 해안선까지로 이곳에서는 파가 깨져 연안사주(Bar)나 단(Step)이 발생한다. 전빈은 저조 해안선으로부터 파가 처오르는 곳까지의 범위를

말하며 후빈은 전빈의 안쪽 식생대 시작점이나 사구 혹은 해안절벽 등 지형학적 변화 시작점까지의 범위로 조위상승과 함께 악천후가 겹칠 시 파가 처오르는 부분까지 이다.



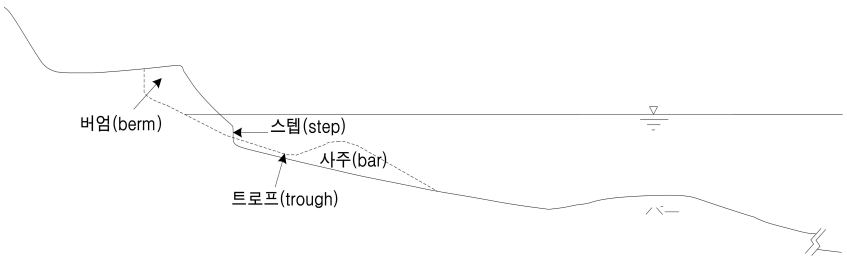
해설 그림 (4.7-1) 해안의 일반적 단면과 명칭(本間・堀川, 1985)

② 단면변형에 따른 명칭

가. 모래 해안의 단면변화로 발생하는 특징적인 해빈지형으로는 해설 그림 (4.7-2)에 나타낸 사주(Bar), 트로프(Trough), 단(Step), 버엄(Berm) 등이 있다.
사주와 트로프는 해안선에 평행하게 수중에 형성된 요철(凹凸)지형으로 볼록한 부분을 사주, 사주의 육지쪽 오목한 부분을 트로프라고 한다. 통상 사주가 발달하여 물 밖으로 들어나면서 육지에 연해 육지화되는 사주와 구별하여 해안선 밖(해측)에서 수중에 형성되는 것을 연안사주라 칭하는 경우가 많다.

나. 연안사주가 있는 부위에서는 수심이 얕으므로 쇄파가 발생하며 사빈 소파기능의 중요한 요소이다. 또한 사주는 해안선 부근의 모래가 침식되어 형성되는 지형으로서 사주가 소멸된 해안에서는 파랑의 처오름 증대가 두드러진다. 따라서 연안사주가 있는 지형에서는 해빈에서 진행되는 침식을 주의 깊게 살펴 볼 필요가 있다. 따라서 사주가 침식 등으로 유실된 곳에서 연안사주를 복원하기 위해서는 다량의 모래가 필요하므로 평소 연안사주 상황을 파악해 둘 필요가 있다.

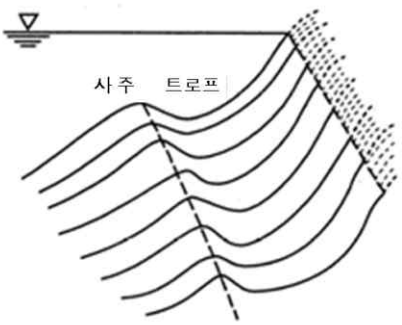
다. 버엄은 정온기의 퇴적과정에서 파랑의 처오름 높이에 따라 형성되는 전빈부의 지형이 높아진 현상이며 단은 반대로 고파랑기의 침식과정에서 후빈과 전빈 사이에 형성되는 불연속적인 지형이다. 버엄은 양빈 시 후빈 높이를 너무 높게 조성할 경우에도 형성된다.



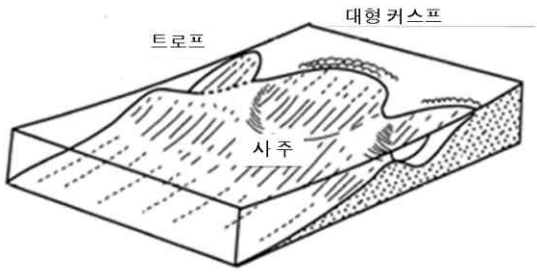
해설 그림 (4.7-2) 해빈의 일반적 단면과 명칭

③ 연안사주를 중심으로 한 모래해빈 해안의 지형

가. 연안사주는 모래 해안에서 가장 중요한 특징적인 지형이며, 이곳을 중심으로 모래 해빈의 각부는 상호 관계하면서 형성된다. 연안사주의 형성상황을 평면적으로 보면 ⅰ)해안선과 거의 평형하게 직선형으로 길게 형성된 것[해설 그림(4.7-3)(a) 참조]과 ⅱ)호형(弧形)의 주기적으로 연속해서 형성된 것[해설 그림(4.7-3)(b) 참조]로 나눌 수 있다. 특별히 후자를 호형사주(弧形砂州)라 부른다.

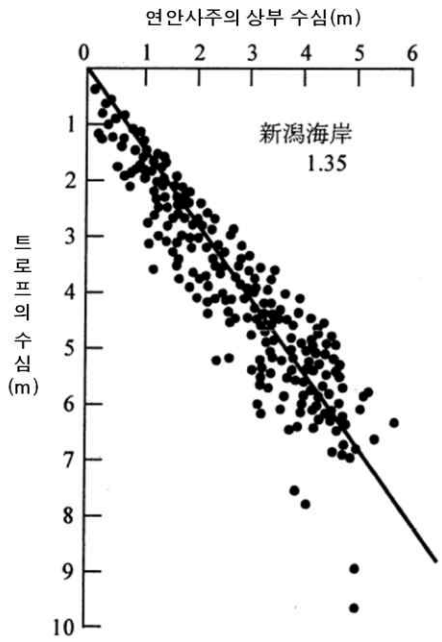


해설 그림 (4.7-3)(a) 해안선과 평행한 연안사주



해설 그림 (4.7-3)(b) 호형사주(茂木, 1971)

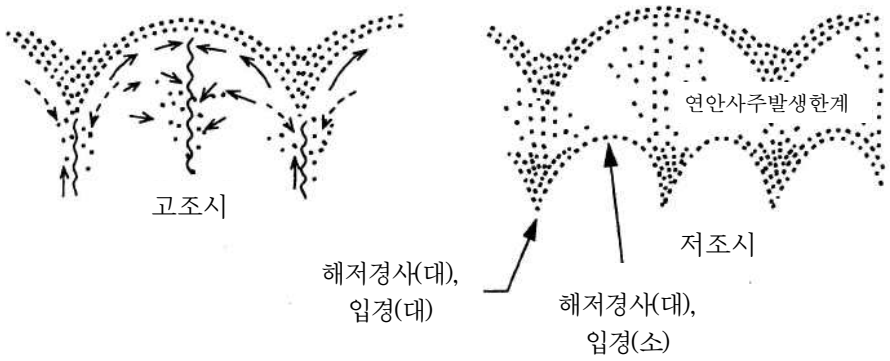
나. 연안사주는 횡단방향(On-offshore)으로 복수 열의 다단형식으로 형성된 경우가 많으며 이 경우에는 외해 측의 연안사주일수록 사주의 규모가 크게 형성되는 특징이 있다. 해설 그림 (4.7-4)은 연안사주 상부의 수심과 트로프의 수심과의 관계를 나타내는 사례로 두 수심의 비는 1.3～1.5 정도이다.



해설 그림 (4.7-4) 연안사주의 상단 수심과 트로프의 수심과의 관계(茂木, 1971)

다. 호형의 연안사주가 형성된 곳에서는 해설 그림 (4.7-3)(b)과 같이 해안선도 연안사주와 위상을 맞추어 파(波) 형상의 요철이 형성된 곳이 많다. 이를 커스프(Cusp) 또는 파형해안선이라 칭한다. 이 커스프의 호(弧)는 해측에서 가장자리에서 육측 만곡부 안쪽까지의 거리(해안선에 직각 방향)가 평균 15m정도이고 최대 약 50m에 달하는 경우도 있다. 해안선 부근의 커스프는 호의 크기가 수m~수십m 정도의 지형도 있다.

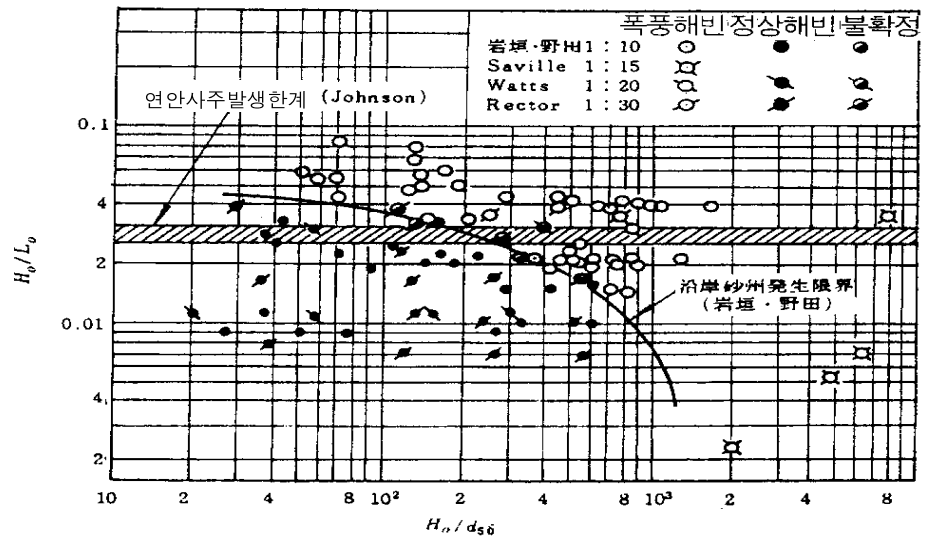
라. 커스프는 해설 그림 (4.7-5)과 같이 파랑에 의한 수류(水流)가 해빈을 타고 올라갔다 해측으로 내려가는 과정을 반복하면서 형성되는 지형으로 앞의 연안사주에 대응하여 해안선이 파 형상으로 연속되는 궁형(弓形)의 요철을 형성한다. 모래해안의 해안선 부근에서 종종 볼 수 있는 궁형의 파 형상 지형이 커스프이다.



해설 그림 (4.7-5) 커스프의 형상(茂木, 1971)

④ 연안사주 발생한계

해설 그림 (4.7-6)은 연안 사주의 발생 한계를 나타낸 것이다(岩垣·野田, 1961). 그러나 연안사주 발생한계는 해역조건 등에 따라 결과의 편차가 크기 때문에 우리나라 해역의 특성에 맞는 연구와 그 성과활용을 통해 편차 줄이기를 위한 노력이 필요하다.



해설 그림 (4.7-6) 연안 사주의 발생 한계 (岩垣・野田, 1961)

⑤ 해빈형상은 파랑의 처오름이나 월파 유량산정의 기초이며, 연안시설의 기초지반 높이 설정에 있어서의 중요한 제원이다. 해빈형상 제원 모두를 결정할 필요는 없으며 설계상 필요한 제원을 결정하도록 한다. 또한 형상 자체가 중요한 경우에는 그 제원을 설정한다. 한편 형상이 변해도 비슷한 성능을 발휘할 경우에는 형상을 규정하는 것이 아니라 그 성능을 규정하는 요소(예를 들어 단면적이나 해빈면적)를 설정한다.

⑥ 전빈과 후빈의 육지 쪽 영역은 고파랑에 의해 침식·후퇴하며 정온기에 퇴적·복원된다. 비교적 안정적인 후빈의 배후에는 식생대가 형성되어 바다에서 육지로 이어지는 중요한 생태적 천이영역이다. 후빈에는 호안이 설치된 경우가 많은데 후빈은 침식을 받는 잠재력이 있으며 중요한 생태계 공간이라는 점에 유의할 필요가 있다. 후빈 높이는 거의 파도의 처오름 한계에 버금간다. 전빈의 기울기는 저질의 입경과 파랑의 크기로 규정된다. 일반적으로 입경이 작을수록 또한 고파랑일수록 경사가 완만해진다.

(3) 표사의 이동

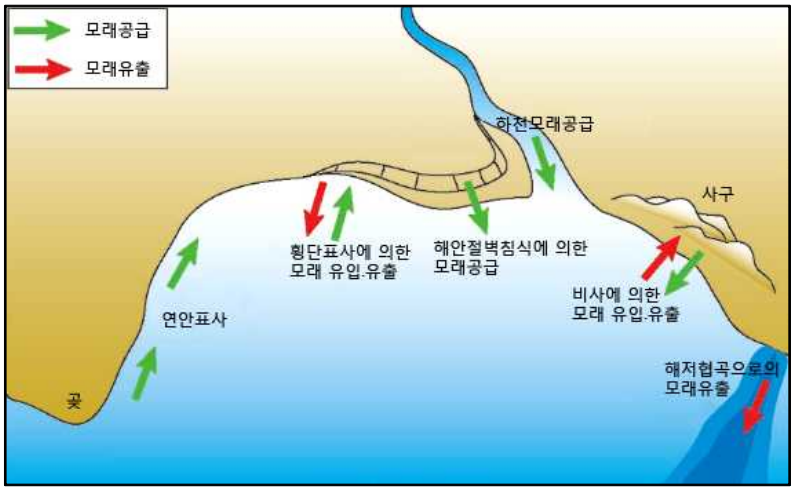
① 자연 해빈은 큰 파랑의 내습에 따라 세굴되고 파랑이 잔잔해지면 퇴적되는 과정을 반복하면서 장기적으로는 비교적 평형된 지형으로 균형을 유지한다. 그러나 하천 개수(改修)에 의한 공급 토사의 감소나 임해 구조물의 건설에 따른 토사 공급 상황의 변화 및 파랑이나 흐름 외력의 변화가 생기면 균형상태가 깨어져 해빈은 새로운 평형상태를 향해 해빈 변형이 일어난다.

② 파랑이 외해로부터 해안으로 접근해 올 때 수심이 충분히 깊은 곳에서는 파랑의 해저면 가까운 부분의 물입자의 운동은 저질을 이동시킬 힘이 없다. 사또(佐藤, 1962)는 저질의 이동 형태를 표층 이동과 완전 이동의 두 상태를 정의하였는데 전자(前者)는 해저면 표층의 모래가 파 진행방향으로 집단적으로 소류되는 경우이고, 후자는 저질의 이동으로 인하여 수심 변화가 명확하게 나타날 정도로 뚜렷한 저질의 이동을 나타내는 경우이다.

(4) 표사계와 표사의 연속성

① 모래의 공급과 이동은 해설 그림 (4.7-7)과 같이 돌출 정도가 큰 곶이나 해저협곡은 연안표사가 끝나는 지점이므로 표사계(Littoral cell 또는 Sand transport cell)로 설정할 수 있다. 바다 쪽 경계는 수심변화한계수심(Closure depth) 개념을 도입하여 정할 수 있다. 수심변화한계수심은 표사이동은 발생하지만 장기적으로 유의한 수심의 변화가 나타나지 않는 해측의 수심을 말하며, 통상 표사이동의 한계수심보다는 얕은 곳에서 형성된다. 그러나 항 건설, 호안 설치, 준설 등에 의해 연안 혹은 횡단 방향으로의 표사이동의 균형이 깨진 곳에서는 수심변화한계수심이 변하기 때문에 보다 체계적인 해안표사 관리를 위해서는 평소 수심변화에 대한 데이터 축적이 중요하다.

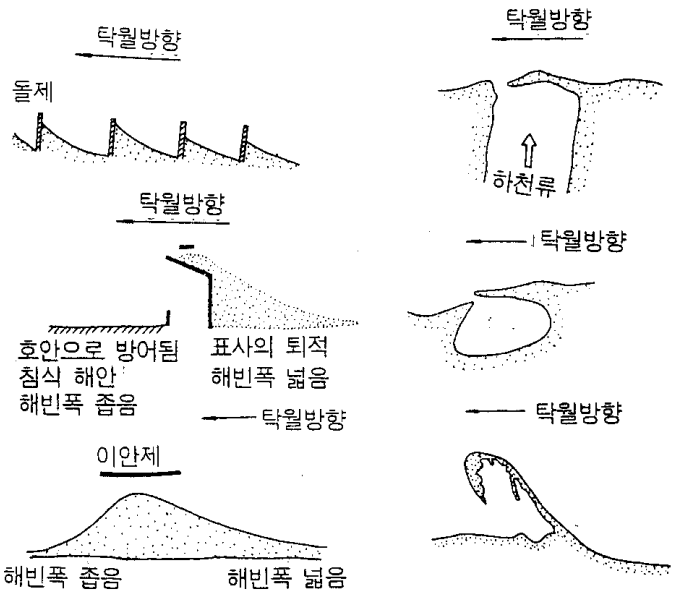
② 하천이나 해식애에서 해안으로 공급된 토사는 표사현상으로 연안방향으로 운반되며 표사와 지형변화의 균형을 유지하면서 해빈을 유지, 형성하고 있다. 표사현상은 퇴적물 공급에서부터 표사계 밖으로 빠져나가는 손실(심해저로의 유출이나 준설, 비사에 의한 육지로의 퇴적 등)까지 연속하여 이어지므로 연안시설을 설치할 때에는 이 일련의 표사계통 안에서 그 시설이 미칠 영향까지도 파악해야 한다.



해설 그림 (4.7-7) 표사계 개념도(국토해양부, 2010)

(5) 연안표사에 의한 지형변화

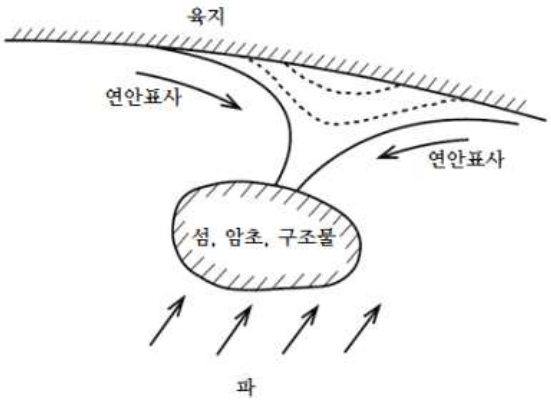
① 해안선(汀線)에 평행한 표사를 연안 표사라 한다. 연안표사는 해안선의 전진·후퇴에 영향을 미치며 장기간에 걸쳐 침식·퇴적을 수반하는 경우가 많다. 따라서 항만·해안 구조물을 축조할 경우에는 해당 해안의 연안표사의 탁월 방향[해설 그림(4.7-8)]과 연안표사량을 파악하여 축조할 구조물 주변 해안의 해빈 변형의 정도를 예측할 필요가 있다.



해설 그림 (4.7-8) 연안표사의 탁월방향을 나타내는 해안지형(日本港灣協會, 1999)

② 특별히 외해 측에 있는 섬이나 암초 그리고 섬과 같이 파랑을 차폐하는 이안제 등의 구조물 배후에서는 파랑의 차폐로 상대적으로 정온한 구간이 형성된다. 파랑이 차폐되지 않는 구간으로부터 차폐된 구간으로 향하는 흐름이 형성되고 이 흐름에 의해

운반된 모래가 차폐 구간에 퇴적되어 해설 그림 (4.7-9)와 같이 해안선이 외해 측으로 전진하여 혀 모양의 지형이 형성된다. 이 혀 모양의 지형이 섬 등에 접속되어 톰볼로(Tombolo, 육계사주)가 형성된다. 톰볼로가 형성되면 연안표사의 일부 혹은 전부가 이곳에서 차단된다.



해설 그림 (4.7-9) 연안표사에 의한 톰볼로(Tombolo) 형성(日本港灣協會, 1999)

③ 연안표사량이란 해안에 비슷이 입사해 오는 파랑에 의해 생겨나는 해안에 평행한 표사의 양을 말한다. 연안표사는 내습파(來襲波)의 파향에 따라 해안을 따라 양방향(兩方向)으로 이동한다. 양방향 중 연중 이동량이 많은 방향을 탁월 방향이라 한다.

(6) 표사의 이동형태 및 발생범위

① 표사의 이동형태는 크게 부유사(浮遊沙)와 소류사(掃流砂)로 나뉜다.

② 소류사란 퇴적물이 해저면과 접촉하면서 이동하는 형태로서 해저면에 규칙적인 요철지형인 연흔(漣痕, Ripple)이 형성된다. 소류력이 커지는 고파랑 시에는 연흔이 소멸되어 해저면뿐 아니라 퇴적물이 층상으로 이동하는 판류(Sheet flow)가 발달한다. 부유사는 와류에 의해 연흔을 구성하는 퇴적물이 부상·이동하는 형태 및 쇄파 시의 대규모 와류로 해저질이 부상하여 흐름에 의해 이동하는 형태로 나타난다.

③ 표사는 외빈(外濱)에서는 파의 입사 방향으로 소류 형식으로, 외해 방향으로는 부유 형식으로 일어나며, 쇄파대에서는 쇄파에 의한 와류 흐름에 따라 해안 또는 외해로 향하거나 해안선을 따라 부유 표사가 뚜렷하게 나타나고, 전빈(前濱)에서는 소류 표사가 탁월하며 해빈류를 따라서 해안선과 평행하게 이동한다.

④ 해빈 퇴적물은 파랑이나 흐름에 의한 해저면 수립자 운동에 의해 항상 이동하고 있기 때문에 표사 문제를 공학적으로 다룰 경우에는 유의수준의 표사가 발생하는 범위를 파악할 필요가 있다. 여기에는 파랑에 의해 모래이동이 일어나는 한계수심을 심해파 파고와 파장 및 퇴적물 입경으로 산정하는 日本土木學會(2000), USACE(2002) 등의 식을 참고할 수 있다.

⑤ 표사의 이동한계상태는 해저표면에 돌출된 모래입자가 움직이는 초기이동, 대부분의 표층모래가 움직이는 전면이동, 모래가 파랑 진행방향으로 집단적으로 소류되는 표층이동, 수심변화가 명료하게 나타나는 완전이동으로 구분할 수 있다. 표사 발생

범위를 구할 때에는 표층이동한계수심을 파랑 작용에 의한 표사의 시작수심으로 하고 표층이동한계수심과 파랑의 처오름 높이 사이로 결정하는 경우가 많다. 또한 수회 측정결과를 이용해 단면지형 변동 폭을 구하여 표사발생범위를 구하는 것도 가능하다.

[참고]

(1) 표사이동한계수심 산정

① 주어진 파고에 대하여 해저모래(海底砂)가 움직이기 시작하는 이동한계 수심을 추정하는 여러 공식이 제안되어 있는데 대부분의 식들은 참고 식 (4.7-1)의 형태를 가지며 공식에 따라 계수 n과 α의 값이 다르다.

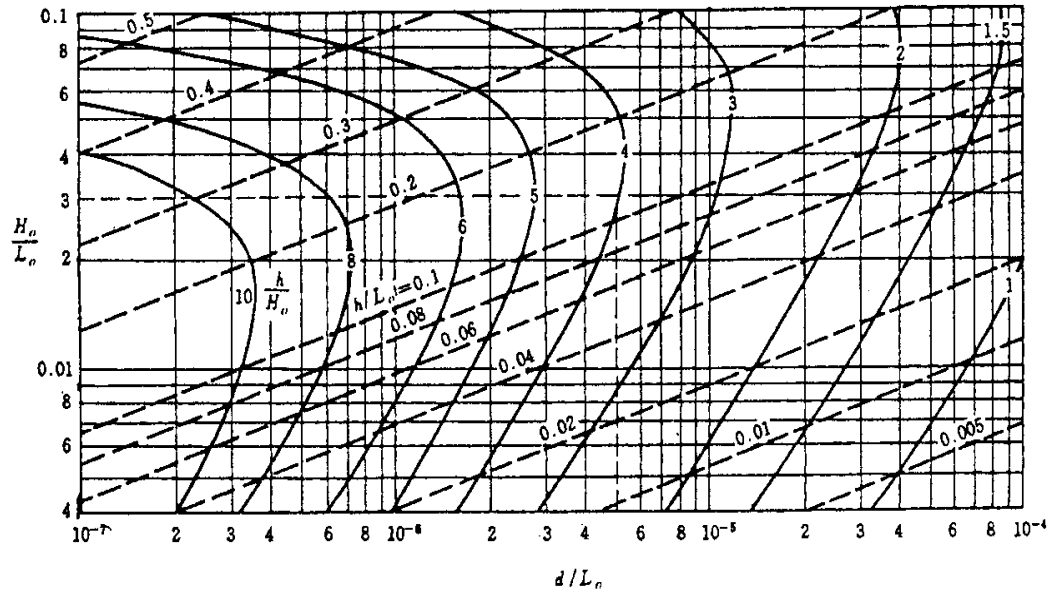
$$\frac{H_o}{L_o} = \alpha \left(\frac{d_s}{L_o}\right)^n \left(\sinh\frac{2\pi h_i}{L}\right) \frac{H_o}{H} \qquad \text{참고 식 (4.7-1)}$$

여기서, H_o : 환산 심해파고(m)
L_o : 심해파장(m)
α : 계수
d_s : 저질의 평균 또는 중앙입경(m)
h_i : 이동한계 수심(m)
L : 수심 h_i 에서의 파장(m)
H : 수심 h_i 에서의 파고(m)

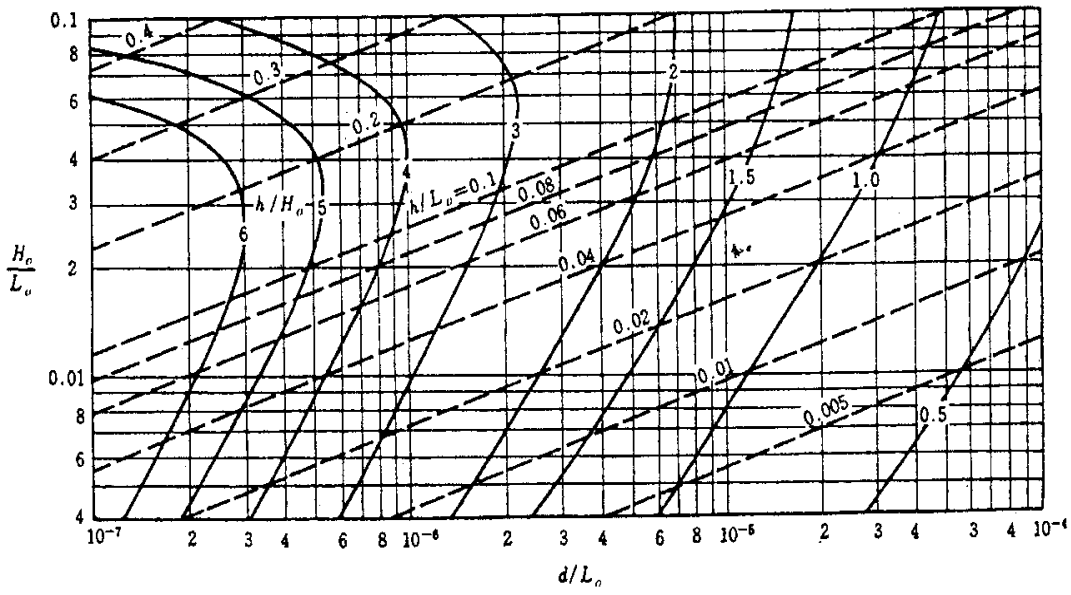
② 이동한계수심 공식에서 계수 n과 α의 값은 연구자에 따라 차이가 크게 나타나며, 佐藤.田中(1962)에 의하면 참고 표 (4.7-1)과 같다. 참고 그림 (4.7-1)는 표층 및 완전 이동한계수심의 계산도표이다.

참고 표 (4.7-1) 이동한계 수심 공식의 계수 n 및 α값

n	1/3	
α 이동 형식	1.35 표층 이동	2.40 완전 이동



참고 그림 (4.7-1)(a) 표층이동한계수심의 계산도표(佐藤·田中, 1962)



참고 그림 (4.7-1)(b) 완전이동한계수심의 계산도표(佐藤·田中, 1962)

4.7.2 해빈형상 변화

해빈형상의 변화는 장기적인 변화와 단기적인 변화를 구분하여 고려하여야 한다. 일반적으로 장기변화는 광역적인 모래수지로부터 변동량을 추정하고 단기변화는 실측에 기초하거나 재현신뢰도가 높은 수치계산을 통해 추정한다.

[해설]

(1) 일반사항

① 해빈은 자연외력의 변화나 인위적인 영향에 의해 복잡하게 변한다. 해빈형상 변화는 크게 연안표사가 탁월한 수개월 이상의 장기간 변화와 횡단표사 영향을 무시할 수 없는 수개월 미만의 단기적 변화로 나눌 수 있다.

② 단기적 변화는 세굴 등에 의한 구조물의 안전성에 대한 영향이나 파랑의 처오름을 평가함에 있어 중요한 요소이며 장기적 변화는 해안침식 유무 판단에 중요한 요소가 되므로 이 모두를 파악하는 것이 중요하다.

(2) 장기적 변화

① 해빈형상의 장기적 변화로는 수 천 년부터 수만 년 이상의 초장기적 시간규모의 변화도 있으나 공학적인 시간규모로는 수십 년 규모를 대상으로 한다. 또한 이 시간규모를 대상으로 하기 위해서는 공간규모도 표사 공급원인 하천의 유역까지도 포함하는 유사계(流砂系) 전체를 대상으로 할 필요가 있다.

② 이 시간규모의 해빈형상 변화는 연안표사의 불균형을 초래하는 다양한 인위적 원인에 의해 발생하는 경우가 많다. 침식의 원인을 규명하기 위해서는 해빈이 안정적인 시기 이후의 유역이나 연안역의 퇴적물 이동양상 변화를 항공사진 등의 자료를 통해 파악할 필요가 있다.

③ 해빈지형의 장기적 변화는 향후의 퇴적물 이동양상에 기초해 시공간규모 측면에서 재현성이 확인된 수치계산 또는 수리모형실험을 통해 추정한다.

(3) 단기적 변화

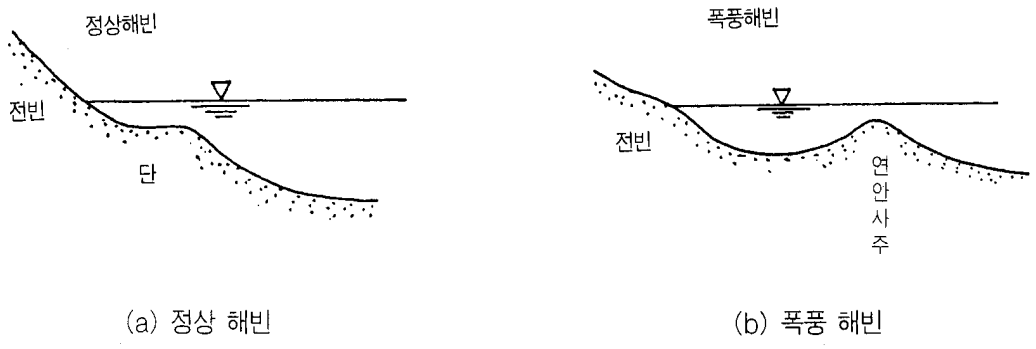
① 해빈지형의 단기적 변화로서는 계절변화나 일시적 변화가 있다. 표사는 단기적으로 고파랑기에 침식, 정온기에 퇴적되는 가역적인 변화를 보이는데 현저한 고파랑이나 구조물 신설로 표사의 균형이 깨진 경우에는 비가역적인 변화(외해로의 유출, 세굴)가 일어나기도 한다. 또한 단기적 변화는 장주기파나 조위 등 단기적인 해상 변동의 영향도 받는다.

② 현재의 기술수준으로 수치계산의 정밀도를 높게 기대하기는 어려우나 버엄이나 해안절벽의 형성 등 자연해빈의 단기적인 변화와 구조물 건설에 의한 단기 지형변화를 예측하는 것은 어느 정도 가능한 단계에는 이르렀으므로 해빈지형의 단기적 변화는 수치계산으로 예측해도 좋다.

③ 어떤 경우에도 기본적으로는 현지의 파랑특성 등 외력이나 지형특성 등 표사환경이 유사한 해안의 해빈지형 실측결과에 기초해 평가한다. 단 재현성이 확인된 모형실험 또는 수치계산 결과를 이용해도 좋다.

(4) 정상해빈과 폭풍해빈의 평형 단면

해빈단면은 파랑 및 저질에 따라 폭풍해빈과 정상해빈으로 구분된다. 폭풍해빈은 연안사주가 존재하고 전빈 경사가 완만한 특징이 있으며, 정상해빈에는 연안 사주가 존재하지 않고 단(Step)이 형성되며 전빈 경사가 급하다[해설 그림 (4.7-10)].



해설 그림 (4.7-10) 정상해빈과 폭풍해빈

(5) 저질의 특성과 분포

① 저질 특성은 중경입경(d_{50}), 평균입경(d_m), 체분리 계수(분계수, S_o) 및 편왜도(편왜도, S_k)로 나타낸다.

중앙입경(d_{50}) : 입경 누적곡선 중 50%에 해당하는 입경

평균입경(d_m) : $d_m = \sum_{P=0}^{100} d\,\Delta p \,/ \sum_{P=0}^{100} \Delta p$

체분리 계수(S_o) : $S_o = d_{75} \,/\, d_{25}$

편왜도(S_k) : $S_k = d_{75} \times d_{25} \,/\, {d_{50}}^2$

여기서, p : 누가백분율 (%)

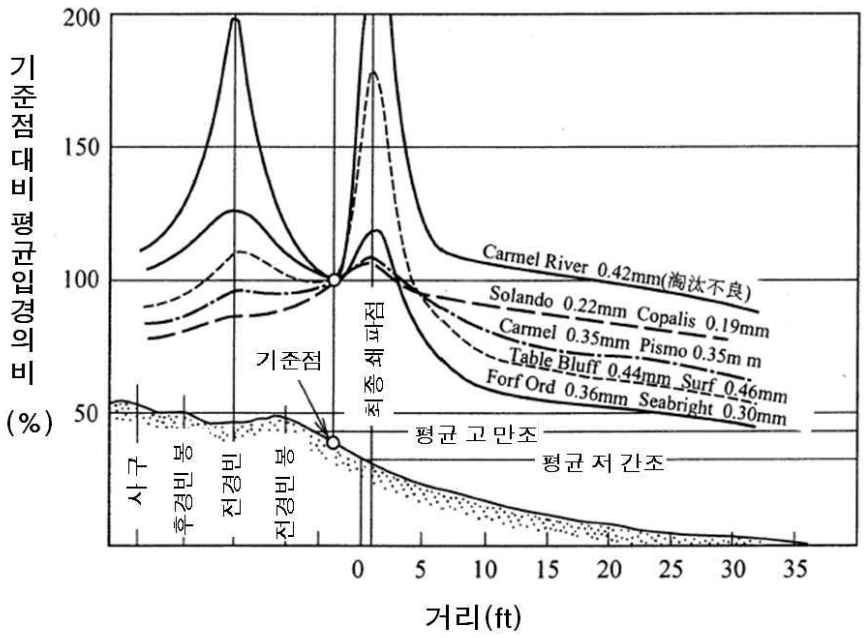
$\triangle p$: 누가백분율의 증가

d_{25} : 누가백분율이 25%에 상당하는 입경

d_{75} : 누가백분율이 75%에 상당하는 입경

② 해안선과 직각방향 단면 저질의 입경분포

해설 그림 (4.7-11)은 Bascom(1951)이 미국의 태평양 해안에서 해안선에 직각방향 단면의 저질입경의 분포를 조사한 결과로 해안단면 상 부위별 저질의 입경분포 현황이다.



해설 그림 (4.7-11) 해안선과 직각방향 단면 상의 평균입경의 분포(Bascom, 1951)

(6) 표사의 탁월 방향

① 기상 또는 해상조건에 따라 파랑과 흐름이 변하고, 수심 차이에 의해서도 표사형태가 달라지므로 퇴적물은 매우 복잡한 이동을 하지만 일정기간 동안 평균적으로 보면 장소에 따라 특징적인 표사방향과 이동량이 나타난다. 예를 들어 1년 혹은 그 이상의 장기간 동안의 평균적인 표사현상을 보면 특정한 연안표사가 탁월한 경우가 많다. 이러한 연안표사 탁월방향과 표사량 자료는 장기적인 해안지형변화 예측에 이용된다.

② 조사방법

가. 파랑 또는 바람통계로 추정하는 방법

표사는 주로 파랑에 의해 발생하므로 파랑에너지플럭스의 연안방향 성분으로 표사의 탁월방향을 구한다. 가장 확실하게 이 방법을 적용하기 위해서는 장기간에 걸친 파랑 통계자료, 특히 파향 자료가 필요하다. 또한 파랑 통계자료가 없는 경우에는 바람의 통계를 이용한 파랑 추산도 가능하지만 연안 바람만으로 내습파를 추정하는 것은 불가능하므로 기상도 등을 이용하여야 한다.

나. 지형특성에 의한 방법

곶이나 암초, 해안구조물 등 연안표사를 방해하는 지형이 있으면 표사 상류 해안선은 전진(먼 바다로 이동)하고 하류 해안선은 후퇴한다. 갑(岬)이나 하구 부근에 도류제가 없으면 하구는 표사 방향으로 기우는 경향이 있고, 갑 부근에서는 위쪽 사빈(砂濱)의 폭이 넓고, 아래쪽이 좁아지는 경향이 있다. 또한 섬이나 이안제에 의한 연육사주(Tombolo) 형상으로도 연안표사의 탁월방향을 알 수 있다.

다. 해저퇴적물 입경조성에 의한 방법

퇴적물은 파랑과 흐름에 의해 분류되고 해안에 따라 그 입경이 달라져 파랑 에너지나 유속이 큰 경우에는 입경이 큰 입자가 남고 세립질은 멀리 이동한다. 그 결과 일반적으로 연안표사는 탁월방향을 따라 입경이 점차 줄어든다. 또한 표사 공급원의 광물조성과 해안의 위치별 광물조성과의 비교를 통해 연안표사 탁월방향을 결정하는 방법이 있다.

(7) 표사량 산정식

① 표사의 탁월방향과 마찬가지로 일정기간 동안의 평균적인 표사현상에는 장소에 따라 특징적인 이동량이 나타난다. 그러나 파랑과 흐름에 의한 이동량을 구하기에는 아직 해명되지 않은 문제가 남아 있기 때문에 발표자별로 다양한 표사량 산정식이 존재하며 각 산정식은 한정된 조건에서의 현지관측결과 또는 실험결과에 의해 얻어진 것으로서 적용에는 한계가 있다. 또한 특정 산정식을 이용할 시에는 표사 현상에 대한 고찰과 현지의 지형변화결과에 의한 검증을 충분히 실시해야 한다.

② 표사량 산정식은 수치계산의 목적과 적용범위에 따라 다음의 3가지로 나뉜다.

가. 연안표사량 산정식

해안선에 직각방향인 특정 횡단면을 통과하여 해안선과 평행한 방향으로 이동하는 연안표사량은 수심에 따라 다르며, 쇄파대와 해안선 부근에서 연안표사량이 큰 분포를 보인다.

연안표사량은 파랑과 흐름조건, 해빈형상, 퇴적물 조건, 구조물 주변의 토사(土砂)량 변화, 과거의 준설량, 주변 해안의 표사량 변화 등에 따라 복잡하게 변하며 아직 충분히 규명되어 있지 않다. 연안표사량 산정식은 횡단면을 통과하는 연안표사의 총량(총연안표사량)과 파랑에너지플럭스(Wave energy flux)를 관련지은 것으로, 현장 관측결과 또는 수리실험결과를 이용한 경험상수가 부여된다.

보통 단면형상이 변하지 않는다는 가정 하에 해안선 등 등심선 이동에 의해 지형변화를 계산하는 해안선변화모델에서 이용되기 때문에 결과 해석 시 주의가 필요하다.

나. 횡단표사량 산정식

해안선 직각방향인 횡단면형상 변화를 예측하기 위해 파랑에 의한 횡단 방향 모래이동(국소 표사량)과 그 장소에서의 유체운동 혹은 에너지 확산을 관련지은 것으로서 많은 실험결과에 의해 매개변수 값이 얻어지고 있다. 해안의 침식·퇴적에 의한 단면형상 변화를 예측하는 횡단지형변화모델에서 이용된다.

다. 파랑·흐름 공존장에서의 표사량 산정식

국소 표사량 산정의 개념을 평면적인 파랑장 및 해빈류장으로 확장한 것으로서 파랑과 해빈류에 의한 모래이동을 고려할 수 있다. 구조물 주변의 지형변화 등 평면적인 지형변화를 예측하는 3차원 해빈변형모델에 이용된다.

[참고]

(1) 연안표사량 산정식은 다양한 접근 방식이 있다.

① 일반적인 형태

연안표사량은 파랑, 저질, 구조물 주변의 토사(土砂)량 변화, 과거의 준설량, 주변 해안의 표사량 등에 관한 자료를 충분히 검토하여 추정할 필요가 있다. 파랑에 의한 연안 표사량 개략 값의 추정 공식은 일반적으로 참고 식 (4.7-2)로 나타내며 공식에 따라 계수 α와 n의 값은 다르다.

$$Q_X = a E_X \qquad \text{참고 식 (4.7-2)}$$

$$E_X = \sum k_r^{\,2} \left(\frac{n_A w_o H_A^{\,2} L_A}{8 T}\right) \sin\alpha_b \cos\alpha_b$$

여기서, Q_X : 연안 표사량

E_X : 파 수송에너지의 연안 방향의 성분 (kN·m/m/s)

k_r : 파랑 관측점(A)과 쇄파점 사이의 굴절계수

n_A : 파랑 관측점(A)에서의 군속도(郡速度)와 파속(波速)의 비

w_o : 해수의 단위체적 중량(t/㎥) = ρog

H_A : 파랑 관측점(A)에서의 파고(m)

L_A : 파랑 관측점(A)에서의 파장(m)

T : 파의 주기(sec)

α_b : 쇄파점(b)에서의 파의 입사각(°)

연안 표사량 공식에서 계수 a, n의 값과 Q_X, E_X의 단위는 참고 표 (4.7-2)와 같다.

참고 표 (4.7-2) 연안 표사량 공식의 계수a, n의 값과 Q_X, E_X의 단위

공 식	a	n	Q_X의 단위	E_X의 단위
Savage (1962)	0.022	1.0	㎥/일	t·m/m/일
Sato and Tanaka(1966)	0.03	1.0	㎥/일	t·m/m/일
U.S. Army Coastal Engineering Research Center(1977)	0.04	1.0	㎥	t·m/m

② 미 육군 공병단의 CERC식(U.S. Army Coastal Engineering Research Center)

가. Komar·Inman(1970)이 제안한 CERC식이 가장 많이 사용되고 있으며, 연안표사량은 쇄파점에서의 파랑에너지플럭스의 연안방향 성분을 이용하여 다음과 같이 산정한다.

$$Q = K \frac{1}{(\rho_s/\rho - 1)(1-\lambda)} \frac{H_b^2 C_{gb}}{8} \sin\alpha_b \cos\alpha_b \qquad \text{참고 식 (4.7-3)}$$

여기서, Q : 단위시간당 표사체적(m^3/s)
H_b : 쇄파파고
C_{gb} : 쇄파점에서의 파군속도
α_b : 쇄파점에서 해안선에 대한 파랑 입사각
ρ_s, ρ : 퇴적물과 해수밀도
λ : 해저퇴적물 공극률
K : 해안특성에 의해 변하는 무차원 경험상수

나. CERC 산정식이 범용적으로 사용은 되고 있으나 적용신뢰도를 높이기 위해서는 현장 실측자료를 이용하여 경험상수 K를 적절히 산정하여야 한다. CERC식이 고려하지 않는 입경, 해빈경사, 파형경사, 쇄파형태 등을 고려하는 산정식도 있으며 이에 대해서는 국토해양부(2010)의 연안정비사업 설계 가이드북을 참고할 수 있다.

③ 특히 국토해양부(2010)는 CERC식의 적용상 한계에 대해 자세히 정리하고 있는데, CERC식을 이요할 경우 주의사항으로 참고할 수 있으며, 주요 내용은 다음과 같다.

가. CERC식의 한계가 지속적으로 보고되고 있으며, 현장실험을 통해 환경에 따른 K값의 변동 폭이 1.0 ~ 10-5에 달함에 따라 CERC 식 자체가 유용하지 않다고 주장하는 연구성과도 있다.

나. CERC에서도 멕시코만과 대서양 남부 29개 해안에서의 현장실험에서 CERC식이 표사량을 실제보다 3-38배 과대하게 산정하는 경우도 있는 등 K값 변동 폭이 크다는 점을 지적하고 있다.

다. CERC식에 대한 신뢰성이 지속적으로 의심받고 새로운 산정식이 계속 발표됨에 따라 CERC는 대표적인 4개의 산정식에 대한 신뢰도를 이동상 수리모형실험을 통해 비교하였고, 일부 조건에서 CERC식이 실험치보다 7배 이상 높게 산정한 반면 Kamphuis(1991) 식이 비교적 신뢰도 높게 산정되었다.

④ 한편 구조물 주변에서의 쇄파파고 연안방향의 변화를 고려할 수 있도록 CERC식을 수정한 Ozasa·Brampton 식(Ozasa·Brampton, 1980)이 있다.

⑤ 우리나라와 같이 해안선이 복잡하고 해안구조물군의 영향을 크게 받는 해안에서는 해안선변화 모델의 적용성에 대한 다양한 검토가 필요하다.

4.7.3 구조물 주변의 세굴

(1) 호안, 제방, 방파제, 방사제, 돌제 및 도류제 등의 구조물 주변의 세굴에 의해 구조물이 영향을 받을 염려가 있는 경우에는 세굴에 대해 고려하여야 한다.
(2) 해빈에 대한 구조물의 설치 위치에 따라 파랑 작용이 다르기 때문에 세굴 특성과 규모도 달라지므로 세굴 방지대책 선정 시 주의해야 한다.

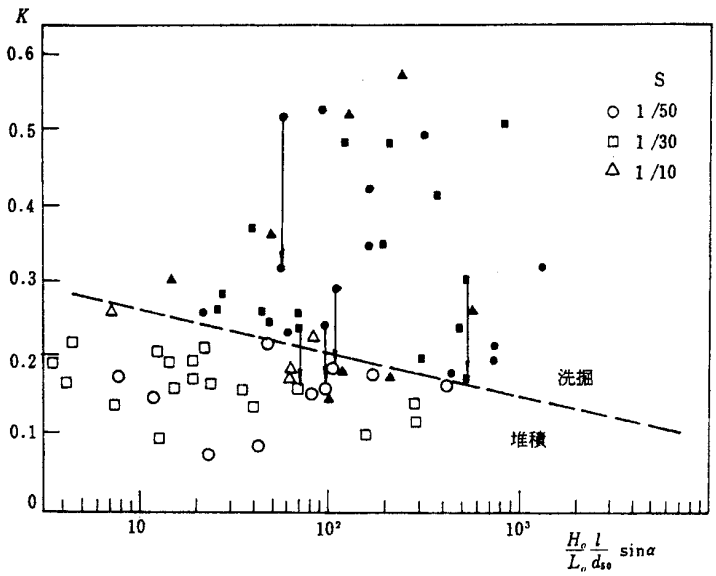
[해 설]

(1) 자연 해빈에 작용하는 파랑의 특성은 장기적으로는 각 해안마다 거의 일정한 것으로 생각할 수 있어 이에 대해 해빈 형상도 거의 안정한 것으로 되어 있다.
(2) 세굴은 구조물이 설치되어 외력과 지형의 균형이 국소적 또는 광역에서 깨어지기 때문에 발생한다. 세굴의 특성과 발생 정도는 구조물의 종류, 설치 방향 및 위치 등에 따라 달라지므로 세굴발생 평가 및 대책에 주의해야 한다.

[참 고]

(1) 호안 전면의 세굴

호안 전면 세굴은 파의 반사율과 밀접한 관계가 있음이 알려지고 있다. 예를 들면 참고 그림 (4.7-2)은 佐伯 등(1985)이 제안한 것으로서 호안의 반사율 K와 파형경사 H_o/L_o, 저질의 중앙입경 d_{50}, 호안 경사 $\alpha(\alpha=90°$인 경우 직립제), 평형 단면시의 파의 처오름 위치로부터 호안 설치 위치까지의 거리 ℓ로 표시되는 파라미터 $(H_o/L_o)(\ell/d_{50})\sin\alpha$에 의해 전면의 세굴·퇴적을 판정하기 위해 제안된 것이다. 이 그림에서 보듯이 다른 조건이 같다면 제체가 경사된 경우가 전면 세굴에 대해 유리한 것을 알 수 있다.



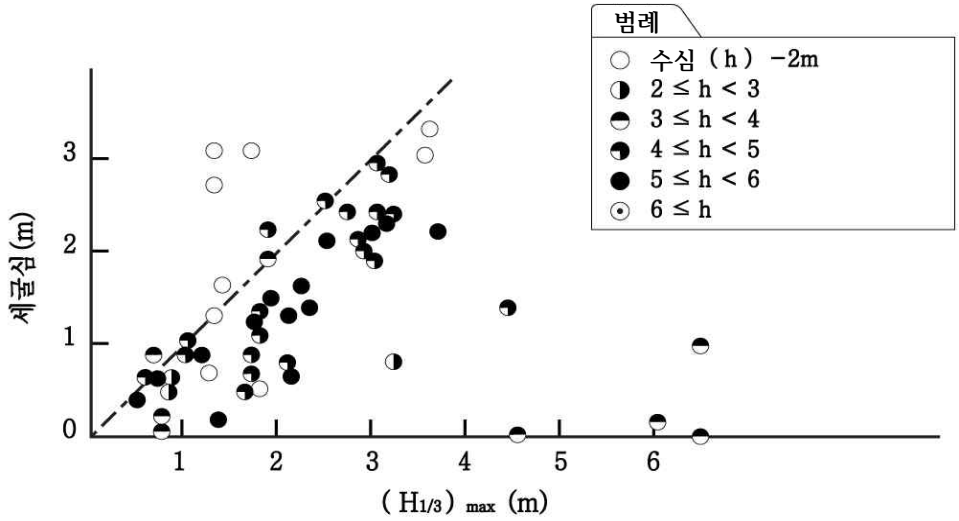
참고 그림 (4.7-2) 호안 제각부의 세굴 · 퇴적의 판정 조건(佐伯 등, 1985)

(2) 방파제 주변의 국소(局所) 세굴

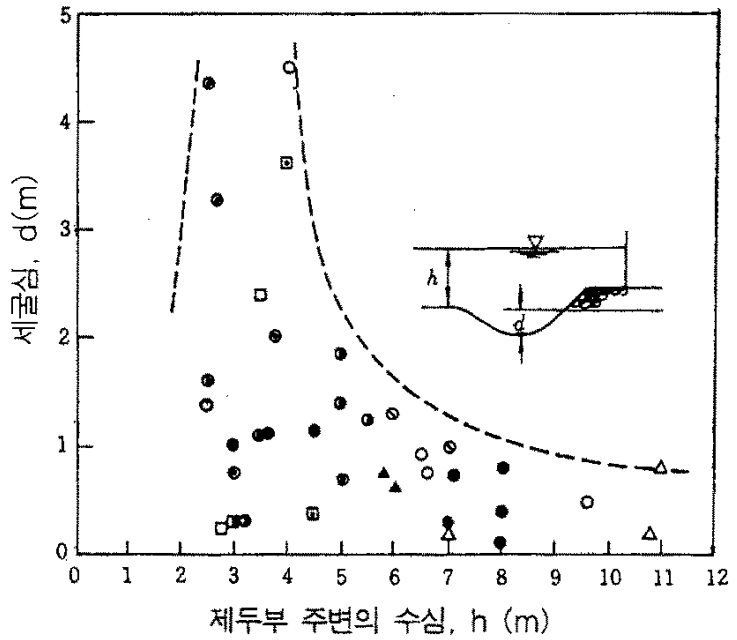
① 주로 쇄파 영역에서 생기는 세굴

가. 방파제 두부(頭部)의 국소 세굴

참고 그림 (4.7-3)는 다나까(田中)의 방파제 두부(頭部) 주변의 세굴심(洗堀深)의 최댓값과 세굴심(洗堀深) 측정 시로부터 15일전까지의 유의파고의 최댓값 $(H_{1/3})$max와의 관계를 나타내는 그림이다. 참고 그림 (4.7-4)는 방파제 두부(頭部) 주변의 수심과 세굴심(洗堀深)과의 관계를 나타낸다. 세굴심이 최대가 되는 것은 수심 3 ~ 5m 부근(쇄파대)에 두부가 존재할 때이다.



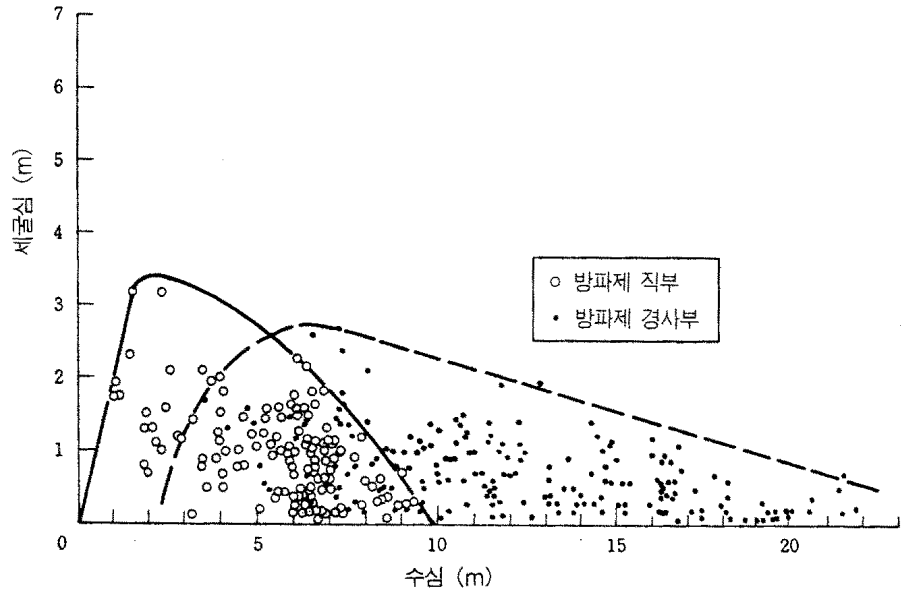
참고 그림 (4.7-3) 방파제 두부의 세굴심과 15일전까지의 최대 유의파고와의 관계(田中, 1974)



참고 그림 (4.7-4) 방파제 두부에서의 세굴심과 수심과의 관계(田中, 1974)

나. 방파제 전면(前面)의 세굴

참고 그림 (4.7-5)은 방파제 전면의 세굴심(洗堀深)과 수심과의 관계를 나타낸다. 그림에서 검은 원(•)은 방파제 경사부(傾斜部) 주변의 세굴 상황을 나타내는데 수심 7m 지점의 방파제 굴곡부에서 세굴이 최대이고 외해로 향해 세굴심이 점차 감소하고 있음을 알 수 있다. 한편, 빈 원(◦)은 방파제 직부(直部) 전면(前面)의 세굴심(洗堀深)으로서 수심 2m 정도에서 최댓값을 나타내고 이 보다 얕아지거나 깊어지면 세굴심(洗堀深)이 감소하는데 세굴심(洗堀深)이 최대인 곳은 연안 사주가 존재하는 곳에 해당된다.



참고 그림 (4.7-5) 방파제 전면 세굴심과 수심과의 관계(田中, 1974)

다. 방파제 외측의 국소 세굴

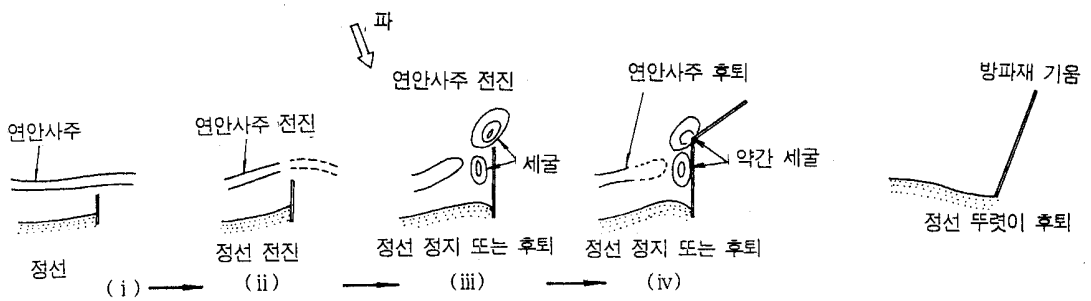
참고 그림 (4.7-6)은 방파제 연장 공사에 따라 생기는 현저한 국소 세굴의 예이다.

(가) 방파제 두부(頭部) (특히 두부(頭部)가 쇄파대에 있는 경우 현저함)

(나) 방파제 직부 주변 (특히 방파제가 연안 사주를 횡단하는 지점 부근에서 현저함)

(다) 잠제의 주변 (특히 항 내측에서 현저함)

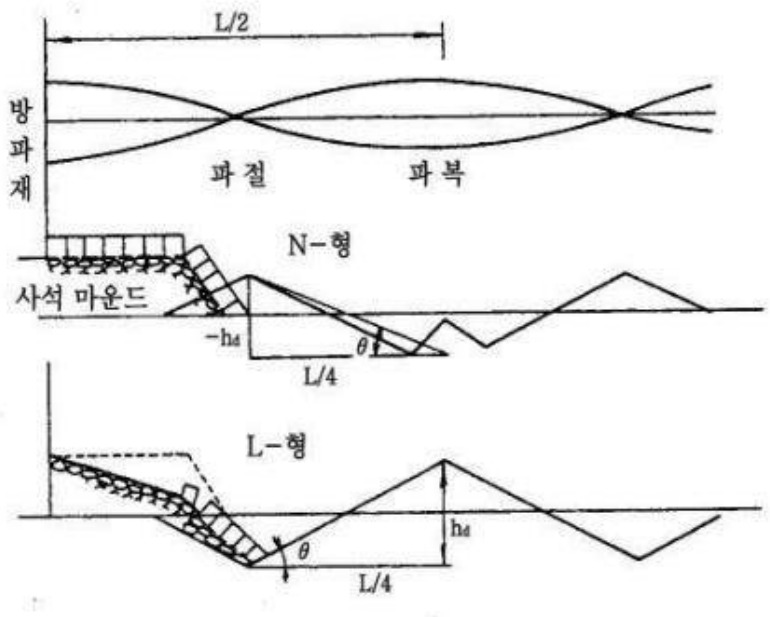
(라) 방파제의 굴곡부이다.



참고 그림 (4.7-6) 방파제 외측에서의 국소 세굴(Sato · Irie, 1970)

② 중복파 영역에서의 전면 세굴

직립벽 전면의 세굴은 그 설치 수심이 증가하여 중복파 영역으로 이동함에 따라 감소하는 경향을 나타낸다. 해저에서 입사파의 최대유속 U_b와 해저질의 침강속도 w와의 비 U_b/w가 기본지표인데, U_b/w<10 인 경우는 반대로 중복파의 파절에서 퇴적, 파복에서 세굴(N형 세굴)이 일어나고, U_b/w>10 인 경우는 중복파의 파절(波節, node)에서 세굴, 파복(波腹, antinode)에서 퇴적(L형 세굴)이 일어나는 것을 보여준다[참고 그림 (4.7-7)].



참고 그림 (4.7-7) 중복파에 의한 세굴의 제원(入江 등, 1984)

4.7.4 해빈변형 예측

해빈변형 예측은 예측결과 및 현지의 과거 해빈변형 상황 등을 고려하여 종합적으로 검토하여야 한다.

[해 설]

(1) 해빈의 변형을 예측하는 방법으로는 경험공학적 예측, 수리모형실험(특히 이동상 모형실험)에 의한 예측, 수치모형실험에 의한 예측이 있다.

(2) 해빈의 변형 상황은 해당 지역의 특성에 크게 지배되는 측면이 매우 강하므로 한 가지 예측방법에 의존하는 것은 적절하지 못하며, 두 개 이상의 예측방법을 조합하고 현지의 가능한 한 많은 정보를 종합적으로 검토하여 해빈변형을 예측하도록 노력해야 한다.

(3) 또한 수리모형실험이나 수치모델링을 통해 해빈변형을 예측하는 데는 많은 제약과 한계가 있음에 유의해야 한다.

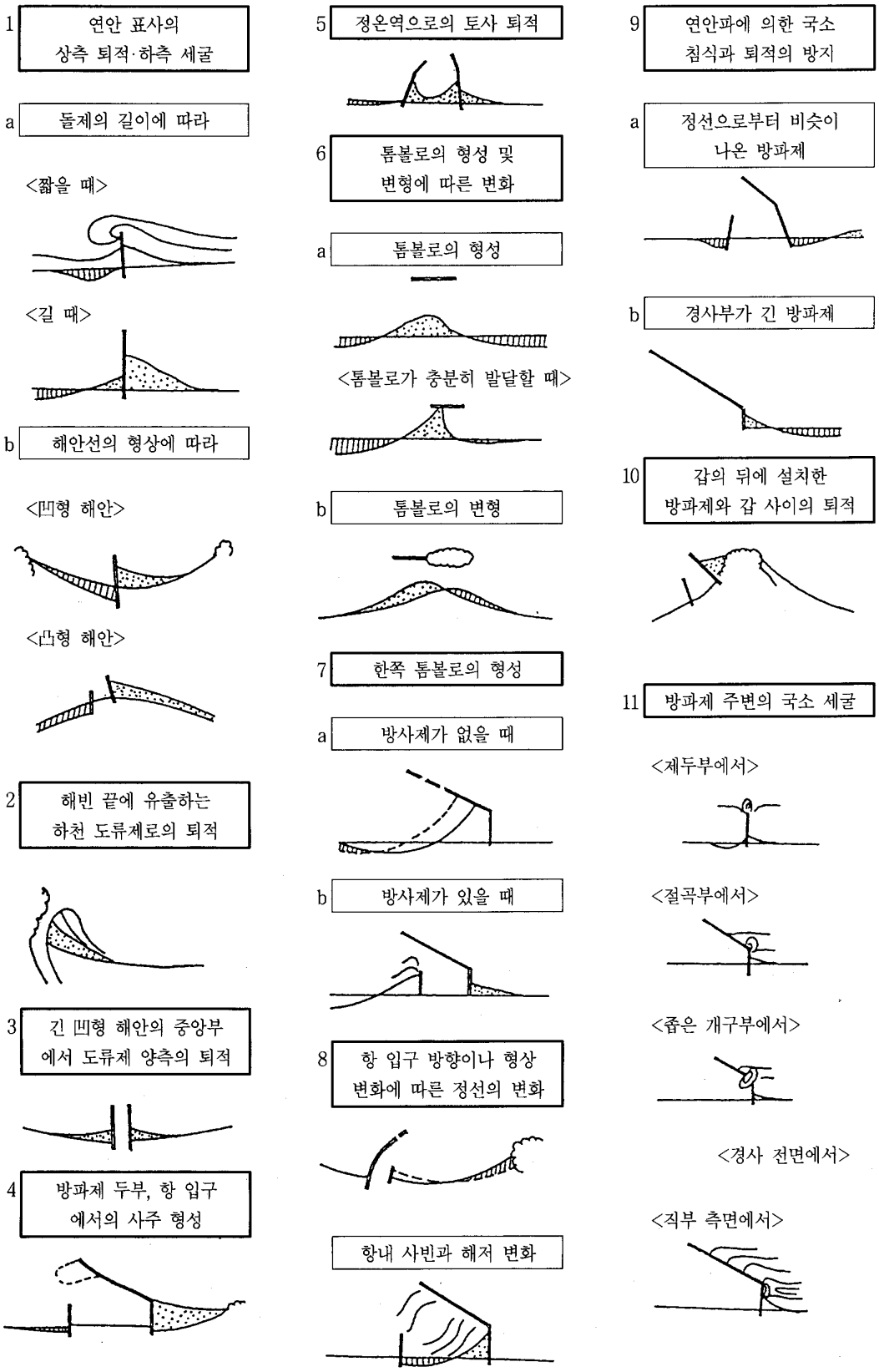
[참 고]

(1) 경험공학적 예측

경험공학적 예측 방법은 과거에 일어난 해빈 변형의 사례를 수집하고 이를 정리·해석함과 동시에 대상 해안의 특성 및 그 곳에 축조되는 구조물의 배치 형상이나 구조적 특징을 과거 사례와 대조하여 그 유사성으로부터 그 구조물을 축조함으로써 발생할 수 있는 해빈변형을 유추하는 방법이다.

구조물 설치에 따른 복잡한 해안지형 변형을 다수의 해안에서의 실제 발생사례를 이용하여 보다 일반적인 지형변화 양상으로 유형을 분류하는 연구가 있었다. 실제 항만 주변의 지형변화는 전형적인 몇 가지의 패턴으로 분류할 수 있다.

참고 그림 (4.7-8)는 전형적인 몇 가지 유형을 정리한 것이며, 이를 이용하면 정성적인 해빈변형이 가능하다.



참고 그림 (4.7-8) 구조물에 의한 지형 변화의 유형(日本港灣協會, 1999)

(2) 수리모형실험 (특히 이동상 모형실험)

수리모형실험 특히 이동상 모형실험에 의한 해빈변형 예측은 상사칙(相似則)의 문제가 아직 해결되어 있지는 않지만, 구체적인 지형 변화가 수조 내에서 재현되어 예측하여야 할 형상을 시각적으로 이해할 수 있는 장점이 있다.

상사칙의 문제가 남아있기 때문에 실제 실험에서는 모형을 왜곡하거나 어느 특정부분만 주목하는 등의 방법을 구사하며, 다양하게 제안되어 있는 상사에 관한 경험식으로 시산한 결과를 고려하면서 신뢰도가 가장 높은 것으로 판단되는 모형을 제작한다. 이후에도 향후의 해빈변형을 예측하기 전에 실험 대상해역에서 과거에 발생한 지형 변화를 모형 내에서 재현하고 모형의 운동학적 상사성의 타당성을 확인해야 한다. 운동학적 상사성의 정도는 재현정도로부터 판단한다.

따라서 실제의 해빈변형의 재현성을 검토하는 예비실험이 충분히 주의 깊게 행하여지고 또 그 신뢰성이 인정된다면 공학적으로 충분히 유효한 예측이 가능하며 특히 다음과 같은 문제에 대처할 수 있다.

① 해빈에 해안 구조물이 설치되었을 때 지형 변화의 정성적 영향 범위
② 돌제, 이안제 등의 해안 침식방지 효과에 관한 대체안의 상대 비교
③ 대규모 해양 구조물 배후의 해안선 변화에 대한 정성적 평가
④ 그러나 다음과 같은 경우의 해빈변형 예측은 곤란한 것으로 알려져 있다.
   가. 파랑이 큰 외해에 면한 대규모 인공 해빈의 안정 단면형상의 예측
   나. 파랑이 큰 외해에 면한 해빈의 대규모 해양 구조물에 의한 변형 문제
   다. 항로·항내 매몰량의 예측과 그 대책의 효과
   라. 마리나 등 소규모 항만의 정량적 매몰·유지 대책
   마. 투과식 이안제, 잠제 등의 효과에 관한 실험

신뢰성 있는 이동상 모형실험을 위해서는 구조물에 대한 실험뿐만 아니라 실험을 수행하는 전문가의 다양한 시도를 통해 쌓은 경험과 관련되는 깊은 식견이 요구된다는 점을 간과해서는 안 된다.

(3) 수치모형실험에 의한 예측

① 수치모형실험의 경우 쇄파에 의한 해빈류와 같이 아직 충분히 해명되지 않은 현상이나 이에 수반되어 일어나는 해안 침식, 항내 매몰에 대하여는 지배적 현상에 주목하여 여러 가정을 도입하고 모델화할 필요가 있다. 따라서 수리실험과 같이 장래 예측을 실시하기 전에 대상 해안에서 과거에 나타난 지형 변화를 재현하기 위한 계산을 실시하여 모델의 타당성을 검증이 필요하다.

② 현재 수치모형실험은 크게 둘로 구분된다. 해안선(汀線) 변화를 예측하는 것(해안선 변화 예측모델, 해안선 변화 예측모델 또는 해안선이라는 하나의 선의 변화를 예측하는 1-Line theory)과 3차원적인 수심변화 즉, 해빈 지형변화를 예측하는 것(영역모델, 3차원 모델, 해안 지형변화 예측모델)이 있다.

③ 해안선 변화 예측모델은 횡단방향(On-offshore)의 표사를 무시하고 연안 표사량만을 고려하여 해안선의 장기적 변화를 예측 하는 것이다. 이 모델에서는 에너지 플럭스(Flux)의 연안방향 성분에 의해 생기는 연안 표사량의 수지(收支)에 따라 해안선이 이동하여 최종적으로 파가 해안선에 대해 직각으로 입사하도록 해안선 방향이 변한다. 이 모델은 비교적 자주 사용되고 있으며 예측결과도 많이 실용화되고 있다. 그러나 예측정도를 높이려면 충분히 장기적인 해안선 변화에 관한 자료의 축적이 전제되고 이 자료에 의한 재현 계산이 필요하다.

④ 해안선 변화 모델에서는 쇄파대의 제 현상을 Black box로 취급하고 있는데 반해, 영역 모델(3차원 모델) 에서는 쇄파대의 제 현상 특히 다음의 현상을 적정하게 정식화할 필요가 있다.

가. 파랑의 천수변형을 고려한 굴절, 회절, 쇄파, 쇄파후의 파랑 변형
나. 쇄파에 수반되는 파랑 에너지의 감쇄, 해저면의 조도계수
다. 해빈류의 평면 및 수직 분포
라. 소류사, 부유사 등의 기구

그러나 아직 미해명 부분이 많고 여러 가정 하에 계산을 수행하고 있는 현실이다. 따라서 결과를 얻을 때까지의 여러 가정을 이해하지 않으면 잘못된 결과를 이용할 염려가 있으므로 이에 유의하여야 한다.

⑤ 파라에 의한 표사현상에 대한 수치모형실험에 의한 재현성이 다른 분야에 비하면 아직 충분한 수준의 정확도로 재현하지 못하며 국토해양부(2010)의 연안정비사업 설계 가이드북에서 수치모형실험에 의한 예측방법에 대한 기술현황 및 주의사항에 대해 자세히 연급하고 있으며 특히 다음과 같은 주의사항에 참고할 필요가 있다.

가. 해안수리현상에 관한 다양한 수치모형 중 퇴적물이동 및 지형변화모형의 신뢰도가 가장 낮다. 이는 포텐셜 흐름의 가정이 붕괴되는 쇄파역에서의 흐름 등 외력에 대한 현상이해와 수치모의가 불완전하며 입경과 분급도, 해빈경사, 수심, 지하수위 등 다양한 인자가 퇴적물 이동에 영향을 미침과 아울러 퇴적물 이동에 따른 지형변화는 다시 수리조건에 영향을 미치는 등 관련현상이 매우 복잡하기 때문이다.
나. 현존하는 지형변화에 대한 수치모형은 연안표사 또는 횡단표사 영향만을 고려하여 해안선 또는 횡단면 변화만을 예측하는 모형과 파랑-해빈류-표사-지형변화를 피드백시키는 소위 영역모형(Coastal area model)으로 구분된다.
다. 영역모형의 경우 대부분이 해안선을 고정경계로 처리하는 한계가 있지만 저명 국외 상용모형 개발회사가 직접 용역을 수행하는 경우에는 가능한 방법을 동원하여 해안선변동을 모의하기도 한다. 예를 들면 경험식을 도입하여 해안선을 이동경계로 처리하는 방법도 시도하고 있다. 그러나 우리는 아직 그렇지 못하여 침식방지사업의 효과를 예측하는 것임에도 모형은 해안선 변화를 모의하지 못하며 모형결과가 후보안 비교에 만족하고 있는 실정이다.

라. 해안선 변화모형은 연안표사량 경사로 인한 해안선 장기변화를 예측하는 모형으로서 공학적 활용도가 높은 편이나 모형의 특성으로 인하여 계획 안의 상대비교나 최종안 선정 시에는 큰 역할을 하지 못하여 왔다. 이 모형을 이용하여 폭풍파 내습시나 횡단표사에 기인한 해안선 후퇴를 재현하려는 시도도 있어 왔다.

⑥ 기존의 영역모형이 해안선을 고정경계로 취급함으로서 해안선의 이동을 모의하지 못한 문제점을 해결을 시도한 연구도 있다. 예를 들면 Kim et al. (2015)은 해안선 전진후퇴모의 기법을 개발한 바 있으며, 해역에 따라 충분한 검증을 거친다면 해당 해역에서의 사용도 가능할 것이다.

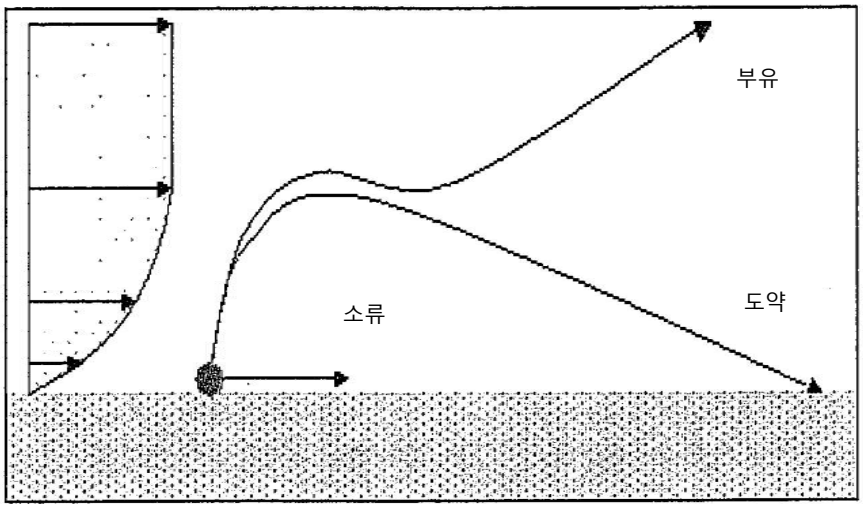
4.7.5 비사

(1) 해안지형에 미치는 비사의 영향이 크고 연안시설에 의한 비사량 변화가 예상될 경우에는 이를 검토하여야 한다.
(2) 비사량은 실측하여 구하거나 또는 현지의 바람 및 저질의 특성 등을 고려하여 비사량 산정식을 이용하여 구한다.

[해설]

(1) 비사도 표사와 같이 부유이동이나 소류이동으로 구분되며, 공기와 모래의 밀도차로 인해 모래가 공중에서 높게 날 수 없으며 또한 낙하속도가 크므로 모래가 표면을 접촉하면서 이동하는 도약이동에 의한 이동량이 비사량의 대부분을 차지한다[해설 그림 (4.7-12)]. 비사량은 바람과 퇴적물 특성, 습윤상태에 의해 좌우된다.

(2) 설계에 필요한 비사량은 일정기간 예를 들어 계절풍이 탁월한 수개월이나 1년간의 비사량이다. 맑은 날과 흐린 날이 반복적으로 발생하며 또한 조석이나 파랑 처오름에 의해 습윤상태가 끊임없이 변하는 해빈에서 비사량을 정밀도 높게 산정하는 것은 매우 어렵다.



해설그림 (4.7-12) 모래입자의 비사 개념도

(3) 비사량 산정지점에서 풍속이 관측되고 있지 않아 인접한 기상관측소의 바람 자료를 이용할 경우, 두 지점의 풍황 차이를 명확히 파악하기 위해 현지 관측 혹은 계산 등을 통한 비교검토를 해야 한다. 또한 현장 저질특성은 연안방향을 따라 달라지므로 산정범위의 현지 모래 입경분포를 구해 둔다. 더욱이 산정식은 한정된 바람과 저질 특성, 습윤상태에서 얻어진 현장관측결과 및 실험결과를 통한 경험상수가 포함되어 있으므로 적절한 계수를 정하기 위해 현장실험을 통한 비교검증을 실시하는 것이 바람직하다.

[참고문헌]

1) 국토해양부(2010), 연안정비사업 설계 가이드북
2) Bascom, W. N.(1951), The relationship between sand size and beach －face slope , Transactions of AGU , Vol.32, No.6 , pp.866 ~ 874.
3) Kamphuis, J.W.(1991), Alongshore sediment transport rate. J. Waterways, Port, Coastal and Ocean Eng. 117(6): 624-641.
4) Kim, H., Lee, K.P., Lee,S.H., Jin, J.-Y. and Jang, C. (2015). Modelling shoreline movement using two extreme beachface slopes. Vibroengineering Procedia, Vol. 6, pp.272-277.
5) Komar, P.D. and Inman, D.L.(1970), Longshore sand transport on beaches. J. Geophys. Res. 75(30): 5914-5927.
6) Ozasa, H. and Brampton, A.H.(1980), Mathematical modelling of beaches backed by seawalls. coastal eng., 4: pp. 47～63.
7) Sato, S. and Irie, I.(1970), Variation of topography of sea-bed caused by the construction of breakwaters , Coastal Engineering in Japan , Vol.13 , pp.141 ~ 152.
8) Sato, S. and Tanaka, N.(1966), Field investigation on sand drift at Port Kashima facing the Pacific Ocean, Proc. 10th Conf. on Coastal Eng. , pp.595-614.
9) Savage, R. P.(1962), Laboratory determination of littoral-transport rate , Proc. of ASCE. , Vol.88 , WW2.
10) USACE(2002), Coastal engineering manual. part 3-2 longshore sediment transport.
11) U.S. Army Coastal Engineering Research Center(1977), Shore protection manual , Vol.1 , Department of the Army Corps of Engineers.
12) 入江 功 , 灘岡和夫 , 近藤隆道 , 寺崎賢次(1984), 重複波による防波堤前面での二次元的海底洗掘 , 港湾技術研究所報告 Vol.23 No.1 , pp.3 ~ 52.
13) 岩垣雄一 , 野田英明(1961), 海岸変形の実験における縮尺効果の研究, 第8回 海岸工学講演会講演集 , pp.139-143.
14) 田中則男(1974), 砂浜港周辺における海底および海浜の変化 , 昭和49 年度港湾技術研究所講演会講演集 , pp.1 ~ 46.
15) 佐伯 浩 , 佐藤俊哉 , 小野敏行 , 浜中健一郎(1985), 海岸護岸堤脚部の洗掘に関する実験的研究 , 第32 回海岸工学講演会論文集 , pp.440 ~ 444.
16) 佐藤昭二(1962), 港湾建設に関連した漂砂の研究 , 港湾技術研究所資料 No.5.
17) 佐藤昭二 , 田中則男(1962), 水平床上における波の移動 , 第9回 海岸工学講演会講演集 , pp.95-100.
18) 本間 仁 , 堀川清司(1985), 海岸環境工学 , 東京大学出版会.
19) 日本港灣協會(2007), 港灣の 施設の 技術上の 基準.同解說.
20) 日本土木學會(2000), 海岸施設設計便覽, pp. 105～116.
21) 茂木昭夫(1971), 海洋科学基礎講座7 浅海地質学汀線と砕波帯 , 東海大学出版会 , pp.109 ~ 252.

4.8 상재하중

4.8.1 상재하중 일반사항

(1) 항만시설물의 설계에서 고려하는 상재하중은 대상으로 하는 구조물에 어떤 종류의 상재하중이 어떤 상태에서 작용되는 지를 고려하여 결정한다.
(2) 항만시설물의 설계에서는 상재하중을 자중과 재하하중으로 나누어 취급한다.

[해 설]

상재하중은 안벽의 원호활동에 대한 안정계산이나 잔교의 빔이나 슬래브 등의 설계 등에 큰 영향을 미치므로 상재하중의 종류나 크기를 결정할 때에는 주의를 요한다.

[참 고]

(1) 자중 : 구조물 자체의 하중
(2) 재하하중 : 재하하중은 적재하중과 활하중으로 나눈다.
① 적재하중
에이프런(Apron), 헛간, 창고 등에 적재하는 잡화물, 산화물의 하중, 적설을 고려하는 지역에서는 에이프런 위에 쌓이는 눈도 적재하중이 된다.
② 활하중
자동차, 하역기계 등의 동적인 하중으로 항만시설물의 설계에서는 다음의 하중을 고려한다.
가. 열차하중
나. 자동차하중
다. 하역기계하중
라. 군중하중
(3) 어항에서 일반적으로 적용하는 상재하중은 구조물의 이용목적에 따라 다르고 실제로 재하되는 하중의 종류 및 양을 고려하여 사용해야 하지만 일반적으로 참고 표 (4.8-1)의 값을 표준으로 한다.

참고 표 (4.8-1) 상재하중(어항시설)

구 분	하중(kN/㎡)	구 분	하중(kN/㎡)
양 육 안 벽	10	물 양 장	10
출어준비안벽	10	호 안 , 제 방	10
휴 게 안 벽	10		

(4) 항만에서의 에이프런(Apron) 구간의 상재하중은 하역장비 등을 고려할 때 일반적으로 참고 표 (4.8-2)의 값을 표준으로 한다.

참고 표 (4.8-2) 에이프런 구간 상재하중(항만시설)

구 분	하중(kN/㎡)	구 분	하중(kN/㎡)
컨테이너부두 (하역지역)	20	일반부두 (하역지역)	10-30

(5) 하역장비 운영이 부분적으로 제한되는 경우 이에 대해 고려하여야 한다.

4.8.2 자중 및 재하하중

(1) 항만시설에서의 자중계산에 사용하는 단위체적중량은 중력식 구조물인 경우와 부재의 중량으로 작용하는 경우를 고려하여 적용하여야 한다. 자중계산에서 자중이 구조물의 부재에 중량으로 작용하는 경우 단위체적중량은 KDS 24 12 20 교량 설계하중(일반설계법)을 적용한다. 다만, 사전 조사 등에 의한 단위체적중량을 특별히 정한 경우에서는 이에 따르지 않는다.

(2) 항만시설에서의 재하하중은 취급 화물의 종류 및 수량이 정하여 취급하는 상황 등의 항만시설의 이용 형태를 감안하여 정하는 것으로 한다. 이 경우에 있어서 재하하중의 종류는 적재하중, 적설하중, 열차하중, 자동차하중, 하역기계하중, 군중하중 그 외의 항만시설의 구조에 영향을 주는 하중을 기준으로 한다.

[해 설]

해설 표 (4.8-1)은 중력식 구조물의 경우를 고려한 재료의 단위체적중량이다. 일반적으로 강재나 알루미늄 등의 금속 이외 재료의 단위체적중량은 개개의 경우가 다르며, 특히 석재, 모래, 자갈, 깬돌 등은 석질에 따라 변화하기 때문에 재료의 단위체적중량은 신중하게 결정하여야 한다.

해설 표 (4.8-1) 재료의 단위체적중량

재 료	단위체적중량(kN/㎡)
강재 및 주강	77.0
주철	71.0
알루미늄	27.5
철근콘크리트	24.0
무근콘크리트	22.6
목재	7.8
아스팔트콘크리트	22.6
석재(화강암)	26.0
석재(사암)	25.0
모래, 자갈, 깬돌(건조상태)	16.0
모래, 자갈, 깬돌(습윤상태)	18.0
모래, 자갈, 깬돌(포화상태)	20.0

4.8.3 적재하중

4.8.3.1 평상시의 적재하중

상시의 적재하중은 취급 화물의 종류, 화물 형태, 수량, 취급방법, 적재기간 등을 고려하여 결정한다.

[참 고]

(1) 구조물 전체의 안정계산에는 에이프런(Apron), 헛간, 창고 등의 한 구획에 대한 평균값을 사용한다. 또 부재계산에는 직접 적재하중으로 하는 경우가 많다. 에이프런의 경우 한 구획의 평균 적재하중의 크기는 그 접안시설의 규모와 취급화물의 종류에 따라 주로 결정되므로 과거의 설계 예 등을 참조하는 것이 바람직하다. 일반잡화부두의 경우 에이프런 위의 적재하중으로 10~30kN/㎡정도의 값을 이용하는 경우가 많다. 컨테이너나 강재 등 중량이 큰 화물을 취급하는 에이프런에서는 이용 상태를 조사하여 적재하중의 크기를 결정한다.

(2) 에이프런에 있어서 적재하중은 접안시설의 안정계산에 크게 영향을 미치므로 헛간, 창고 등에 대한 적재하중과는 구별하여 생각하여야 한다. 특히 취급화물의 종류, 화물 형태, 수량, 취급방법, 적재기간 등을 충분히 고려하여 결정하여야한다.

(3) 기왕의 실태조사에 의한 산화물의 단위체적중량은 참고 표 (4.8-3)과 같다.

참고 표 (4.8-3) 산화물의 단위체적중량

(단위 : kN/㎥)

품 종	단위체적중량
코 크 스	4.9
석 탄 (덩 어 리)	8.8~9.8
석 탄 (가 루)	9.8~11.0
철 광 석	20.0~29.0
시 멘 트	15.0
모 래 , 자 갈 , 깬 돌	19.0

4.8.3.2 지진시의 적재하중

지진시의 적재하중은 설계조건에서 고려한 지진이 장래 발생할 시점에서의 적재하중이 존재하느냐 않느냐의 상태를 예측하여 결정한다.

[해 설]

적재하중이 존재하느냐 않느냐의 상태는 헛간, 창고, 야적장, 에이프런(Apron) 등의 시설에 따라 다르고 설계조건에서 고려한 지진시 적재하중의 크기는 확률적인 개념에 지배된다고 보고 규정한 것이다.

[참 고]

지진시 적재하중이 존재하느냐 않느냐의 상태는 헛간, 창고, 야적장, 에이프런(Apron) 등 적재하중이 존재하는 시설에 따라 구분된다. 헛간, 창고, 야적장 등은 이용 상태에 따라 적재하중으로 하는 것이 좋다. 한편 에이프런과 같이 하역시설로서 화물이 가치만 되는 시설인 경우는 선박이 접안하여 하역을 하는 경우와 하지 않는 경우에 따라 적재하중의 크기나 상태가 크게 변동한다. 이 때문에 일반적으로 안벽의 설계에서는 에이프런 위에서의 지진시 적재하중은 상시 적재하중의 1/2을 취하는 경우가 많다.

4.8.3.3 부등분포의 적재하중

구조물 전체의 안정계산을 할 때 에이프런, 헛간 및 창고 등의 한 구획에 있어서 부등분포하중을 등분포하중으로 환산하여 계산할 수가 있다. 다만, 큰 집중하중이 작용하는 경우에는 집중하중으로 검토한다.

[해 설]

일반적으로 화물 등이 한 구획 전체에 균일하게 재하될 수는 없지만 통상 부등분포하중을 등분포하중으로 환산하여 계산하여도 좋다. 따라서 예를 들어 강재를 놓는 경우 아래에 목재와 같은 바닥재를 포설하면 강재의 중량은 선하중으로 작용된다고 생각할 수 있고 이 경우 집중하중(선하중 또는 점하중)으로 검토한 것이 된다.

[참 고]

(1) 어느 한 구획인 경우 평균적으로는 환산한 등분포하중의 값 이내인 경우라도 그것이 집중하중으로서 작용할 때는 주의가 필요하다. 예를 들면 널말뚝안벽 등의 경우는 안벽 배후에 큰 집중하중이 작용하면 위험할 때가 있다. 또 잔교식 안벽 등에 있어서도 빔의 뻗쳐 나온 부분(Cantilever부분)이나 빔, 바닥판의 중앙부에 집중하중이 작용하면 파괴로 이어지는 경우도 있으므로 이런 가능성을 고려하여 설계하여야 한다.

(2) 등분포하중으로 산정한 화물별 하중은 참고 표 (4.8-4)를 참조한다.

참고 표 (4.8-4) 화물별 등분포하중

(단위 : kN/㎡)

화 물 별	하 중
승용차와 경차량	5
모든 종류의 자동차	10
일 반 화 물	20
목 재 가 공 품	25～55
철 재 가 공 품	40～100
석 탄, 모 래	100～200
광 석	100～300
포 대 시 멘 트	15～20
비 료	15
포 대 곡 물 류	15～30

4.8.3.4 적설하중

적설을 고려하여야 할 지역에서는 KDS 41 10 15 건축구조기준 설계하중을 적용하여야 한다. 다만 KDS 41 10 15와 이 기준이 상충될 경우 이 기준을 따른다.

[해 설]

적설을 고려하여야 할 지역에서는 강설량에 따라 에이프런 위에 쌓인 눈이 그대로 또는 자동차 등에 의해 전압되면 단단해져서 적재하중이 되므로 실제 상황을 고려하여 적설하중을 정하여야 한다.

[참 고]

(1) 제설작업을 하여야 하는 접안시설에서의 설하중으로는 하룻밤의 강설량을 고려하면 충분한 경우가 많다. 이 경우 과거의 적설기록, 강설시 기상상황의 일반적 경향, 눈의 질, 제설상황 등을 충분히 고려하여 적설하중을 결정한다.

(2) 일반적으로 적설하중은 1.5kN/㎡을 사용하는 경우가 많다. 이는 건조한 가루 같은 눈으로 대략 100~150㎝의 적설량에 해당된다.

(3) 철도구조물 등에서는 눈의 일반적인 상태와 단위체적중량과의 관계는 참고 표 (4.8-5)에 나타낸 바와 같다.

참고 표 (4.8-5) 눈의 일반적인 상태와 단위중량

(단위 : kN/㎥)

눈의 일반적인 상태	단위중량
건조한 가루 같은 눈이 자중으로 눌려진 경우	1.2
건조한 가루 같은 눈이 풍압을 받은 경우	1.7
약간의 수분을 함유하고 자중으로 눌려진 경우	4.5
많은 수분을 함유하고 자중으로 눌려진 경우	8.5

4.8.4 활하중

4.8.4.1 열차하중

(1) 열차하중을 고려할 경우 KDS 47 10 45 교량 일반사항에 따른다.

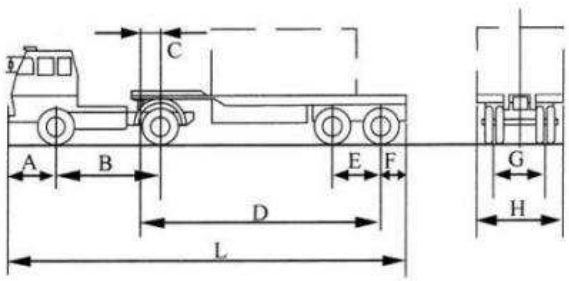
(2) 열차하중은 당해 선로에 사용하는 열차 또는 차량의 실중량, 적재중량, 축배치 등을 고려하고 구조물 또는 부재에 최대의 영향이 생기도록 재하하는 것을 표준으로 한다. 다만, 하중을 도중에 2개소 이상으로 분산시켜 적재하는 것은 하지 않는다.

4.8.4.2 자동차 하중

자동차 하중은 KDS 24 12 00 교량 설계하중에 따른다.

[참 고]

(1) 트랙터와 트레일러의 조합에서의 예를 참고 그림 (4.8-1) 및 참고 표 (4.8-6)로 나타낸다.



참고 그림 (4.8-1) 트랙터와 트레일러 연결도

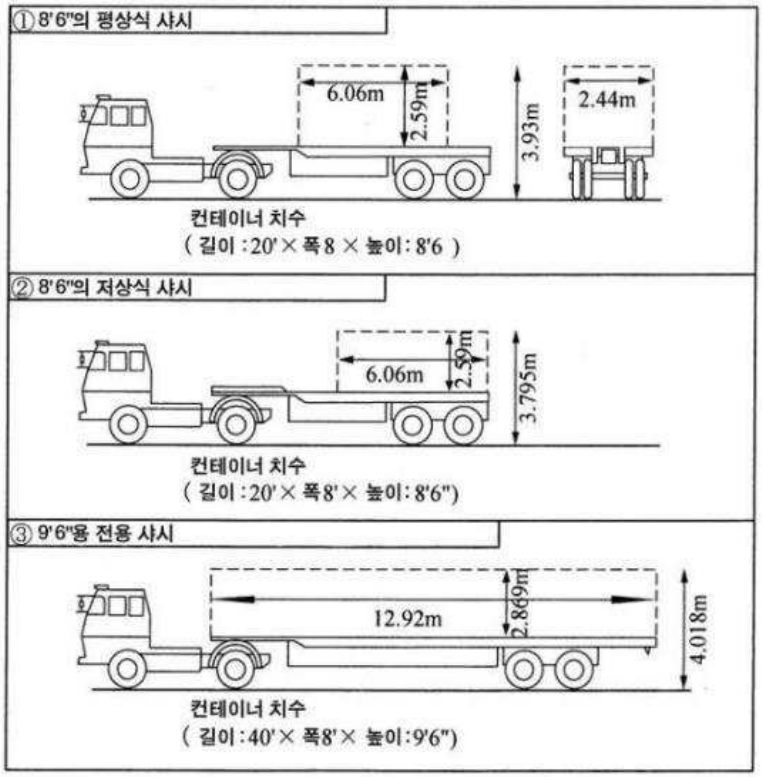
참고 표 (4.8-6) 트랙터와 트레일러

항목 / 용도	제원									최대적재중량 t_f	차량총중량 t_f	공차축중량	
	프론트오버행거 (A) m	트랙터호일베이스 (B) m	오프세트 (C) m	트레일러호일베이스 (D) m	탄댐축거리 (E) m	리어오버행거 (F) m	트래트 (G) m	전체폭 (H) m	연결전체길이 (L) m			제5륜 kN	후륜 kN
20ft (기준 내)	1.4	3.18	0.54	9.95	1.55	0.82	1.85	2.49	14.87	24.0	27.9	87.6	186.0
20ft (ISO풀적재)	1.4	3.18	0.54	9.91	1.32×2	0.74	1.85	2.49	14.32	30.48	35.17	107.8	237.1
40ft (기준 내)	1.4	3.18	0.54	9.66	1.55	2.29	1.85	2.49	16.03	24.0	27.47	87.1	182.3
40ft (ISO풀적재)	1.4	3.18	0.54	9.52	1.32×2	1.99	1.85	2.49	15.60	30.48	35.12	107.5	236.9
20,40ft겸용 (기준 내)	1.4	3.18	0.54	9.53	1.55	2.44	1.85	2.49	16.01	23.6	27.8	87.6	185.1
20,40ft겸용 (ISO풀적재)	1.4	4.37	0.18	9.51	1.32×2	1.96	1.85	2.49	16.45	30.48	35.57	111.7	237.1

(2) 해상수송에서 사용되는 컨테이너의 외형치수와 최대총질량에 관한 규격은 국제표준화기구(ISO)에서는 참고 표 (4.8-7)와 같다.

참고 표 (4.8-7) 컨테이너 표준규격

명칭	길 이 (L)				폭 (W)				높 이 (H)				최대총중량	
	mm	공차 mm	ft in	공차 in	mm	공차 mm	ft	공차 in	mm	공차S mm	ft in	공차S in	kg	lb
1AAA	12,192	0 -10	40	0 -3/8	2,438	0 -5	8	0 -3/16	2,896″	0 -5	9 6″	0 -3/16	30,480 ″	67,200 ″
1AA									2,591″	0 -5	8 6″	0 -3/16		
1A									2,438	0 -5	8	0 -3/16		
1AX									<2,438		<8			
1BBB	9,125	0 -10	29 11 1/4	0 -3/16	2,438	0 -5	8	0 -3/16	2,896″	0 -5	9 6″	0 -3/16	25,400 ″	56,000 ″
1BB									2,591″	0 -5	8 6″	0 -3/16		
1B									2,438	0 -5	8	0 -3/16		
1BX									<2,438		<8			
1CC	6,058	0 -6	19 10 1/2	0 -1/4	2,438	0 -5	8	0 -3/16	2,591″	0 -5	8 6″	0 -3/16	24,000 ″	52,900 ″
1C									2,438	0 -5	8	0 -3/16		
1CX									<2,438		<8			
1D	2,991	0 -5	99 3/4	0 -3/16	2,438	0 -5	8	0 -3/16	2,438	0 -5	8	0 -3/16	10,160 ″	22,400 ″
1DX									<2,438		<8			



참고 그림 (4.8-2) 컨테이너 적재시의 차량

4.8.4.3 하역기계 하중

하역기계하중에는 이동식 하역기계하중, 궤도주행식 하역기계하중과 고정식 하역기계하중이 있고 하중을 결정하는 방법은 다음과 같다.

(1) 이동식 하역기계 하중은 사용이 예상되는 하역기계의 전체중량, 최대 윤하중, 아웃트리거 최대 하중 또는 크롤러의 최대 접지압으로 한다.
(2) 궤도주행식 하역기계하중은 전체 중량 또는 차륜 간격과 바퀴수를 고려한 최대 윤하중으로 한다.
(3) 고정식 하역기계하중은 최대 하중으로 한다.

[해 설]

(1) 이동식 하역기계에는 자주크레인(호일크레인, 트럭크레인, 크롤러크레인의 총칭임), 컨테이너하역기계(스트레틀캐리어, 트랜스퍼크레인, 프런트 포크리프트, 사이드롤러 등의 총칭임), 포크리프트, 록로더 등이 있다.
아웃트리거를 사용하는 타이어크레인, 트럭크레인 등은 대체로 큰 집중하중이 작용하기 때문에 설계에서는 가장 위험한 재하상태를 고려하여야 한다.

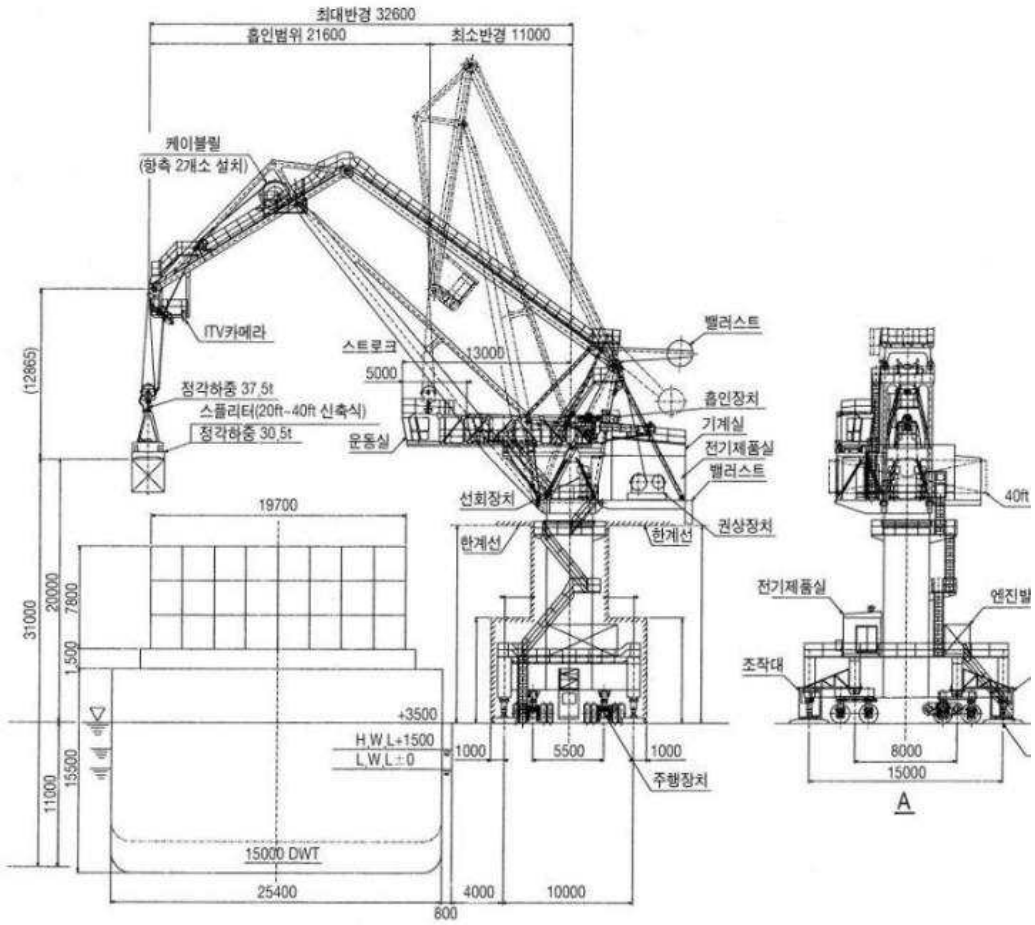
(2) 궤도주행식 하역기계에는 컨테이너 크레인, 뉴메틱 언로더, 더블링식 인입크레인, 더블링식 언로더 등이 있다.
문형 크레인, 광석전용 언로더 등 대형 하역기계의 하중은 지진시의 하중, 풍하중이나 하역시의 충격하중 등을 고려하여 안전한 설계가 되도록 한다.

(3) 고정식 하역기계에는 고정식 집크레인(Jib crane), 고정식 뉴머틱언로더(Pneumatic unloader) 등이 있다.

(4) 하역기계는 대형화하고 있어 대상이 되는 시설에 어느 정도의 하역기계가 사용되는가를 충분히 조사하여 설계조건을 결정하여야 한다.\

[참 고]

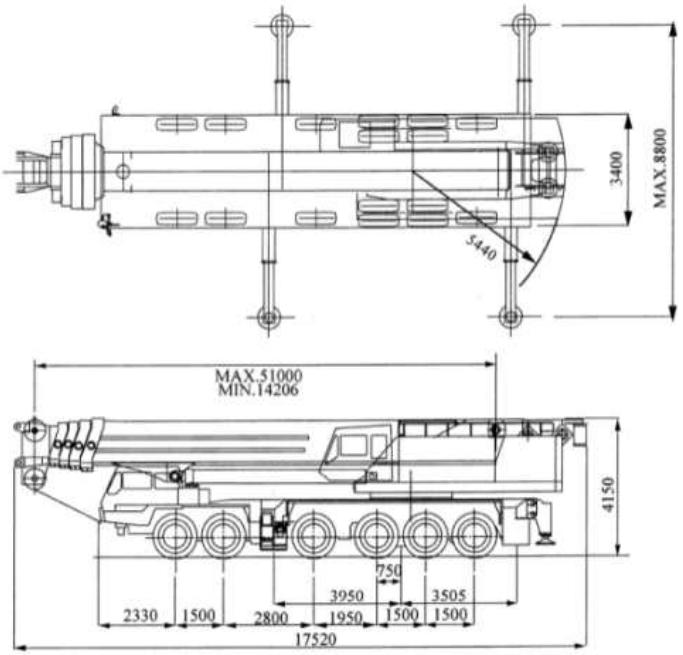
(1) 일반적인 이동식 하역기계의 상세한 제원은 참고 그림 (4.8-3)～(4.8-7)과 참고 표 (4.8-8)～(4.8-12)와 같다.



참고 그림 (4.8-3) 타이어 크레인

참고 표 (4.8-8) 타이어 크레인

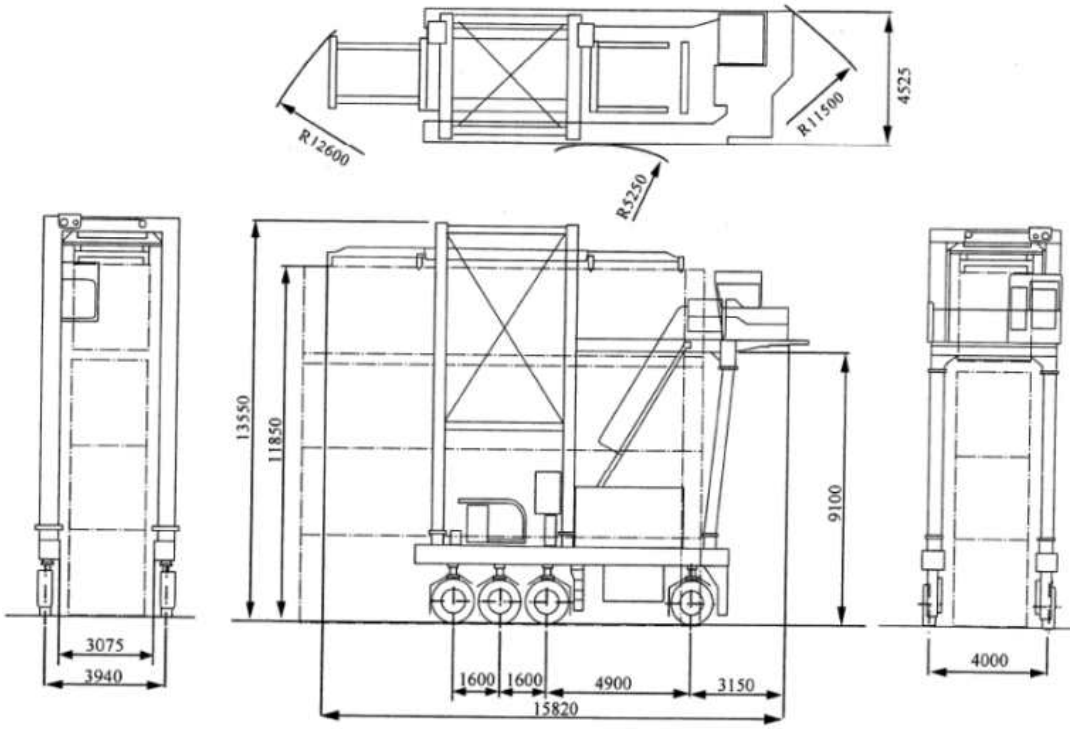
기계명	최대 들어 올리는 중량(t)	전체 장비 중량(t)	본체 주요치수(m)					최대축중량 (kN)	최대접지압 (kN/㎡)
			작업반경	전체폭	휠베이스	축거리	전체높이		
지브크레인	34.0	289	24.0	8.8	8.0	4.0	37.5	217	527
	34.1	395	30.0	11.0	25.2	3.5	48.0	255	174
	38.0	349	32.0	11.5	8.5	3.4	51.4	147	882
	40.0	370	34.0	12.0	9.7	4.3	59.5	320	280
데블링크식 인입크레인	34.0	406	30.0	13.0	15.0	5.0	24.5	142	358
	34.1	402	30.0	12.8	15.0	5.0	45.0	139	301
	34.5	425	28.0	11.7	10.0	4.5	39.0	294	314
	37.5	417	32.6	12.0	8.0	5.5	52.0	139	293



참고 그림 (4.8-4) 트럭크레인

참고 표 (4.8-9) 트럭크레인

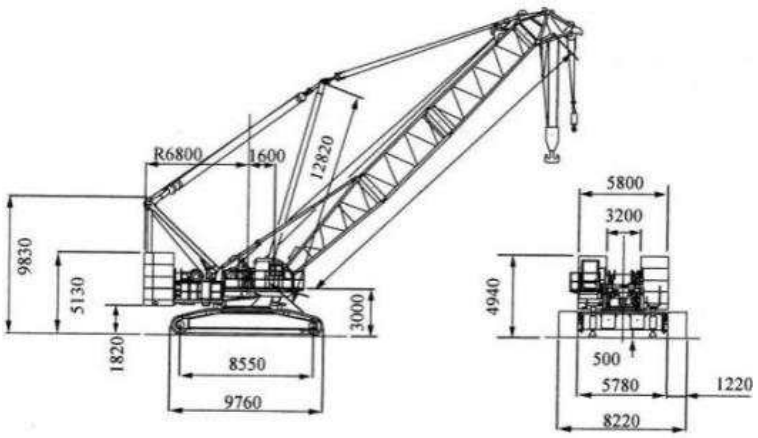
기계명	최대 들어 올리는 중량(t)	전체장비 중량(t)	본체 주요치수(m)					최대축중량 (kN)
			전체길이	전체폭	전체높이	최대축거리	축거리	
라후테레인 크레인	16	19.7	8.23	2.20	3.14	3.20	1.82	97.5
	25	26.5	11.21	2.62	3.45	3.65	2.17	131.2
	35	32.6	11.57	2.75	3.55	3.90	2.24	163.9
	50	37.8	11.85	2.96	3.71	4.85	2.38	185.3
	60	39.6	12.29	3.00	3.74	5.30	2.42	194.4
올테레인 크레인	100	60.0	13.53	2.78	3.95	6.00	2.32	147.1
	160	87.5	16.58	3.00	3.98	8.80	2.56	171.6
	360	90.0	17.62	3.00	4.00	10.24	2.55	154.9
	400	126.0	18.29	3.00	4.10	11.30	2.56	179.5
	550	132.0	18.00	3.00	4.25	11.30	2.56	198.1
트럭크레인	120	94.7	15.38	3.40	4.00	7.38	2.76/2.52	392.8
	160	131.4	16.72	3.40	4.05	7.30	2.83/2.54	543.8
	360	114.0	17.52	3.40	4.34	9.25	2.83/2.54	297.7



참고 그림 (4.8-5) 스트레틀 캐리어

참고 표 (4.8-10) 스트레틀 케리어

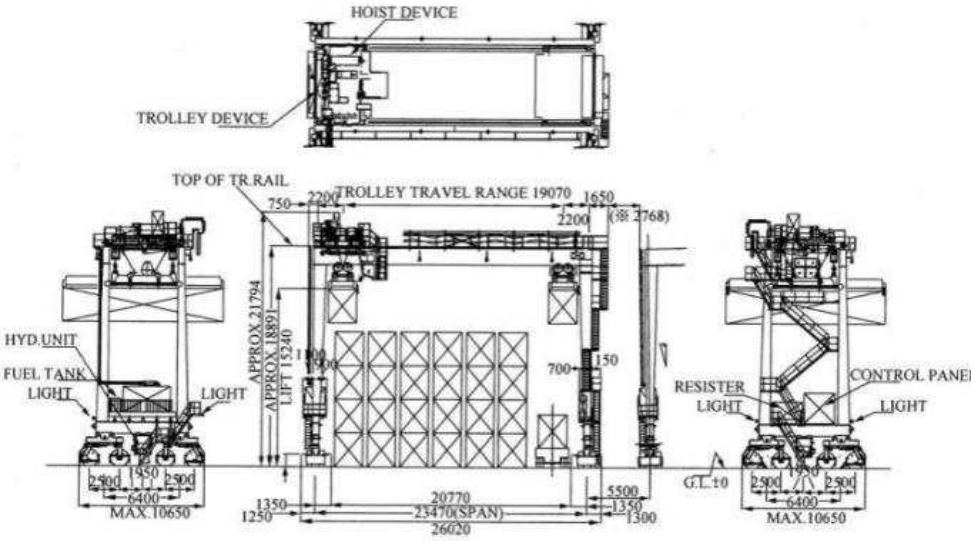
기 계 명	취급 컨테이너 (ft)	정격 중량 (t)	전체장비 중량 (t)	본체 주요치수(m)				작업시 최대차륜하중 (kN)
				전체 길이	전체폭	전체 높이	축거리	
A	20, 40	35	60	15.8	4.5	13.6	8.1	117
B	20, 40	40	59	12.2	5.3	12.6	7.4	122
C	20, 40, 45	35	59	17.4	4.5	13.7	8.0	124



참고 그림 (4.8-6) 크롤러 크레인

참고 표 (4.8-11) 크롤러 크레인

크레인 능력(tf)	전체장비 중량(t)	본체 주요치수(m)				크롤러최대 접지압(kPa)
		전체높이	크롤러 전체폭	크롤러 전체길이	크롤러 슈 폭	
30	33	4.72	4.49	3.30	0.76	54
45	45	5.12	5.40	4.30	0.76	60
50	49	5.25	5.57	4.35	0.76	61
70	71	6.18	5.99	4.83	0.80	80
80	85	6.56	6.32	4.90	0.90	86
90	89	6.64	6.40	4.90	0.85	91
100	122	7.92	7.88	6.17	0.92	90
150	161	8.49	8.49	7.07	1.07	89
200	193	8.49	9.18	7.07	1.07	103
300	284	9.83	9.76	8.22	1.22	127
350	294	7.82	10.14	8.79	1.29	120
450	390	10.12	11.51	9.50	1.50	122
800	1,190	-	14.68	12.80	2.00	127

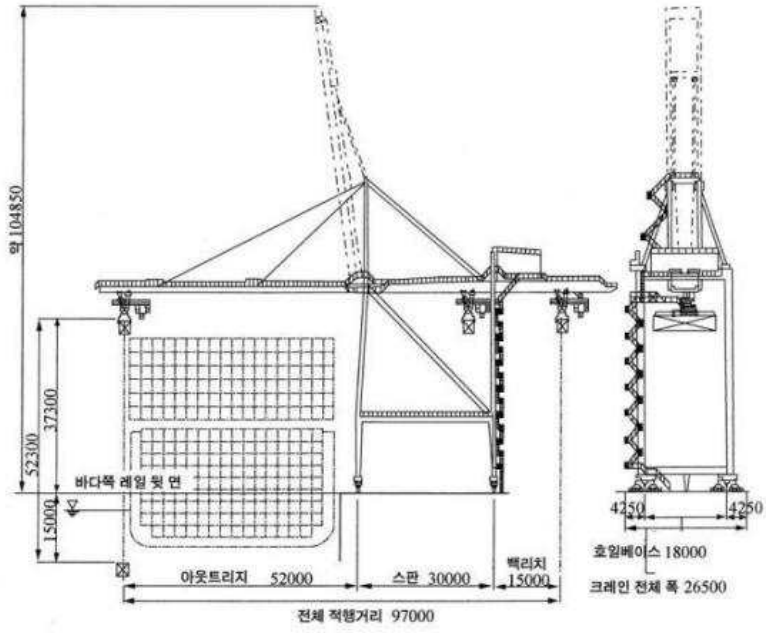


참고 그림 (4.8-7) 트렌스퍼 크레인

참고 표 (4.8-12) 트렌스퍼 크레인

기계명	취급 컨테이너 (ft)	정격 중량 (tf)	전체 장비 중량 (t)	본체 주요치수(m)				작업시최대 차륜하중 (kN/륜)	차륜수 (륜/구석)
				전체 길이	전체폭	전체 높이	축거리		
A	20, 40	36.0	133	26.1	12.0	21.5	6.4	281	2
B	20, 40, 45	40.6	119	26.0	11.3	21.1	6.4	275	2
C	20, 40, 45	40.6	129	26.3	12.2	21.8	6.4	293	2
D	20, 40, 45	40.6	140	25.8	11.7	24.4	6.4	295	2
E	20, 40, 45	51.0	150	25.8	12.7	28.3	8.0	327	2
F	20, 40, 45	40.6	129	26.0	11.3	21.1	6.4	142	4
G	20, 40, 45	50.0	150	26.0	10.7	21.8	6.4	167	4

(2) 일반적인 궤도주행식 하역기계의 상세한 제원은 그림 (4.8-8)과 참고 표 (4.8-13)과 같다.



참고 그림 (4.8-8) 컨테이너 크레인

참고 표 (4.8-13) 컨테이너 크레인

기계명	취급 (ft)	정격 하중 (tf)	전장비 중량 (t)	본체주요치수(m)						작업시최대 차륜하중 (kN/륜)	차륜수 (륜/구석)
				아웃 리치	스팬	백리치	전폭	전고	휠베 이스		
A	20,40	30.5	580	31.0	16.0	10.0	27.0	68.0	18.0	406	8
B	20,40	30.5	627	31.0	16.0	9.0	28.0	72.0	18.0	314	8
C	20,40	30.5	668	31.0	16.0	9.5	27.0	46.0	18.0	314	8
D	20,40	30.5	635	40.0	16.0	11.0	27.0	80.5	18.0	343	8
E	20,40	40.6	1,127	50.0	30.0	15.0	27.0	73.1	18.0	577	8
F	20,40,45	40.5	890	47.1	30.0	15.0	28.0	100.0	18.0	558	8
G	20,40,45	40.6	965	50.0	30.5	15.0	28.0	102.3	18.0	394	10
H	20,40,45	40.6	1,030	50.5	30.0	14.0	26.5	65.0	18.0	720	8
I	20,40,45	50.0	993	52.0	30.0	15.0	26.5	105.0	18.0	744	8
J	20,40,45	65.0	1,360	63.0	30.0	16.0	26.5	127.2	16.5	711	8

※ 이 표는 일본항만의 치수임.

4.8.5 군중하중

군중하중은 5kN/㎡을 적용한다. 다만, 구조물 별로 시설의 이용 상황을 고려하여 KDS 24 12 20 교량 설계하중(일반설계법)을 적용한다.

4.9 마찰계수

구조물의 활동에 대한 마찰저항력의 계산에 사용되는 재료의 마찰계수는 정지마찰계수로 하는 것을 기준으로 한다. 이 경우에 있어서 재료의 마찰계수는 대상으로 하는 구조물의 특성, 재료의 특성 등을 감안하여 설정한다.

[참 고]

(1) 안정계산에 사용하는 일반적인 정지마찰계수는 참고 표 (4.9-1)과 같다. 마찰은 동일 조건을 바탕으로 반복마찰계수를 실측하는 경우 일반적으로 흐트러짐이 많은 것에 주의하여야 한다. 참고 표 (4.9-1)에서 나타낸 값은 이전부터 경험적으로 사용한 것이지만 여기에서 명기하지 않은 것은 실험을 하여 정하는 것이 바람직하다. 참고 표 (4.9-1)의 값은 구조물 전체에서의 활동(Sliding)에 대한 안정계산에서 사용하는 값이고 말뚝의 지지력 계산 값은 말뚝주변과 흙과의 마찰계수, 경사제의 안정계산에서의 마찰계수, 경사로에 의한 케이슨의 진수계산에서의 마찰계수, 토압계산에서의 벽면마찰각 등과 같이 구조물의 부분적인 설계계산에서의 마찰계수로는 적용하지 않는다.
즉, 참고 표 (4.9-1)에서 나타낸 값은 구조물에 상시의 외력이 작용할 때의 정지마찰계수이지만 지진시와 같이 진동상태에서는 적절한 자료가 없기 때문에 본 표의 값을 사용하고 있다.

참고 표 (4.9-1) 정지마찰계수

콘크리트와 콘크리트	0.5
콘크리트와 암반	0.5
수중콘크리트(프리팩트콘크리트)와 암반	0.7~0.8
콘크리트와 사석	0.6
사석과 사석	0.8
목재와 목재	0.2(습)~0.5(건)
마찰증대용 매트와 사석	0.75

주) ① 수중콘크리트와 암반의 경우 표준조건으로는 0.8이다. 단, 기반암에 균열이 많은 경우 기반암을 덮고 있는 모래의 이동이 심할 경우 등을 그 조건에 따라 0.7정도까지 내린다.
② 셀룰러 블록의 안정계산을 할 경우 제8편 3-3-6 셀룰러 블록의 안정계산을 참조한다.

(2) 마찰증대용 매트의 마찰계수
일반적으로 마찰증대용 매트를 사용하는 경우 재료의 내구성, 구조물의 중요도, 해상조건 및 경제성 등을 충분히 고려하여 재료를 선정하고 마찰계수에 관한 실험결과를 충분히 검토하는 것이 중요하다. 마찰증대용 매트로 아스팔트재료, 고무재료 등을 사용하는 경우 마찰계수는 0.75로 적용할 수 있다.

(3) 현장치기 콘크리트의 마찰계수

참고 표 (4.9-1)의 정지마찰계수의 값 중 콘크리트 관련에 대하여는 프리캐스트 콘크리트냐 현장치기 콘크리트냐에 따라 그 값이 변화한다고 생각할 수 있지만 실제로는 현장치기 콘크리트의 경우도 상기표를 사용하고 있는 예가 많다.

(4) 암반과 프리팩트콘크리트의 활동저항

해저의 암반에 프리팩트콘크리트를 쳐서 방파제나 접안시설을 축조하는 공법이 채택되기도 한다. 이와 같이 매시브한 구조물의 활동에 대한 저항력은 암반과 프리팩트콘크리트의 부착력 양자 간의 마찰저항, 암반의 요철에 의한 암반 및 프리팩트콘크리트의 전단저항 등 복잡한 내용으로 구성된다. 한편, 이와 같은 구조물의 활동에 대한 저항력은 시공지점의 기반암 재질, 그것을 덮고 있는 저질, 주입 모르타르의 품질, 시공의 정도, 시공시의 해상조건 등에 따라 좌우된다. 기존구조물의 실적 등을 감안하고 여러 관점에서 고찰한 결과 편의적으로는 마찰에 의한 활동의 저항이라고 보고 암반과 프리팩트 콘크리트사이의 마찰계수는 참고 표 (4.9-1)과 같은 값을 사용할 수 있으며 프리팩트콘크리트 이외의 수중콘크리트에서도 동일하게 적용할 수 있다.

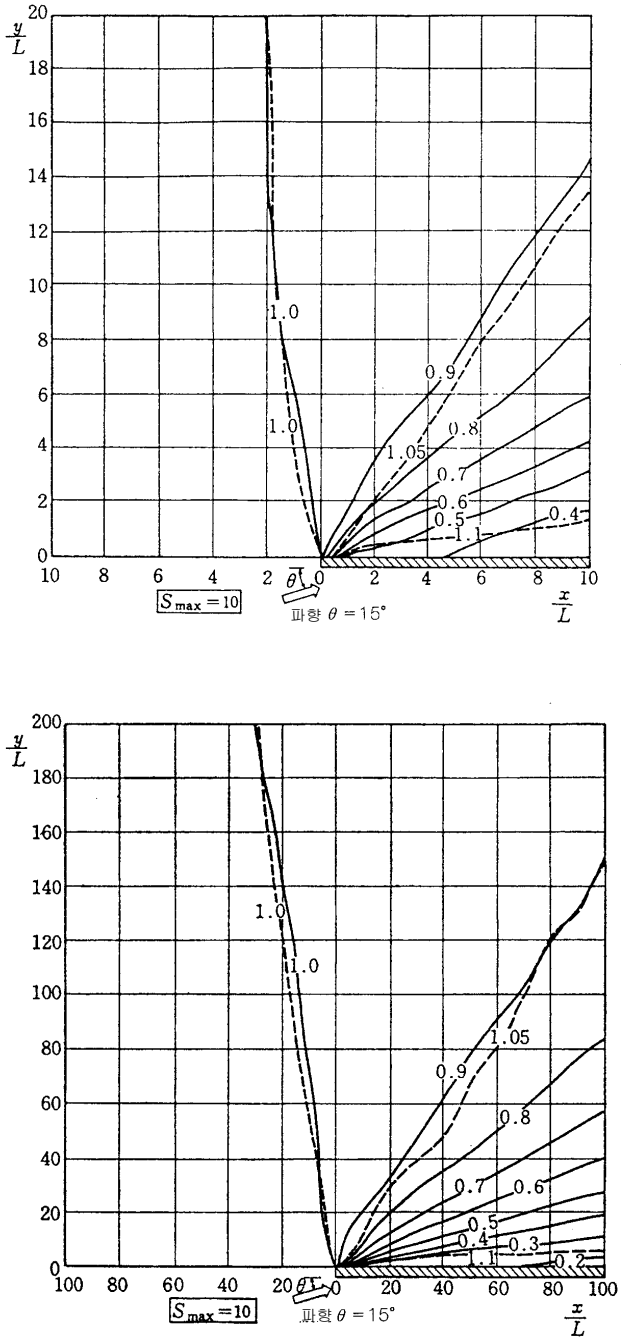
(5) 그 외의 마찰계수

돌과 금속 : 0.3～0.4	나무와 돌 : 0.4
나무와 금속 : 0.6(건), 0.2(습)	고무와 고무 : 0.5
모래와 철 : 0.4～0.7	모래와 콘크리트 : 0.5～0.6

부 록

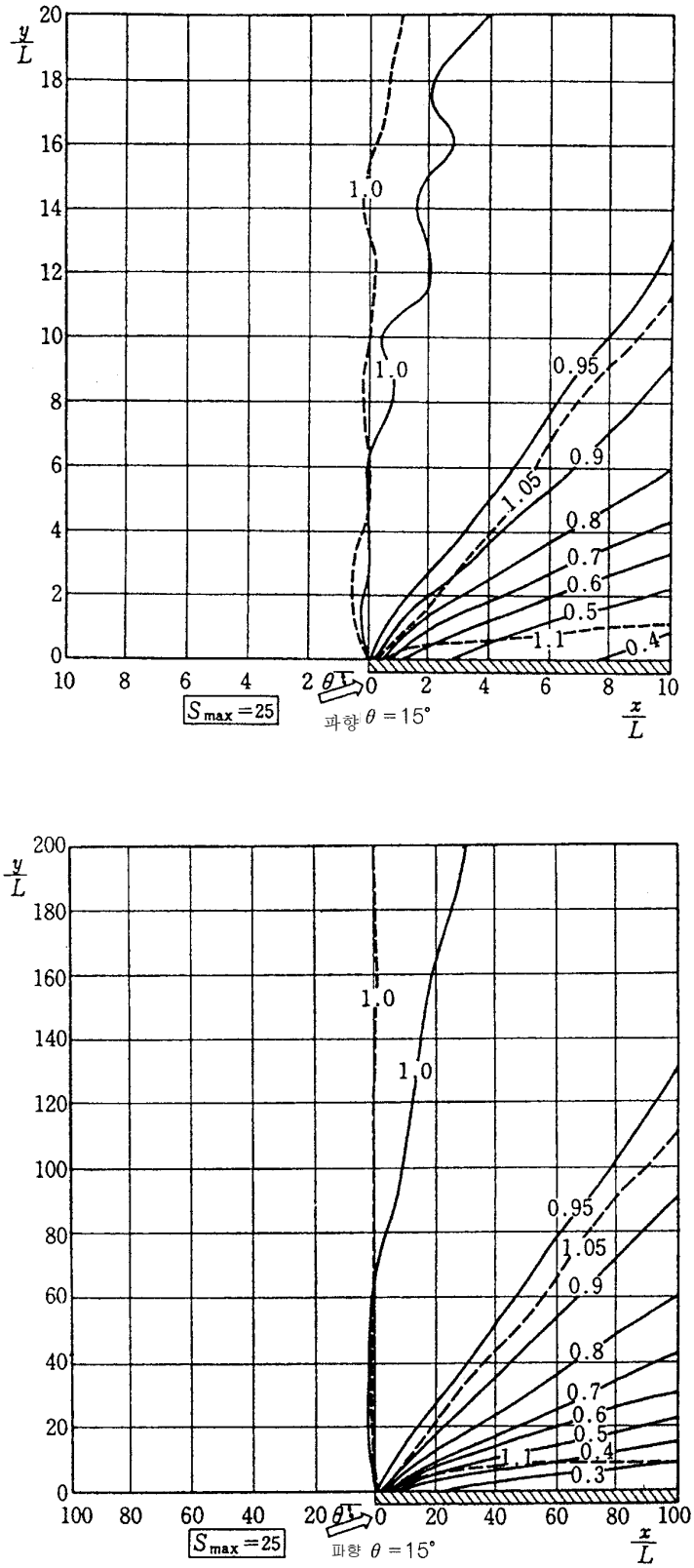
1. 반무한제에 의한 회절그림(θ=15°)

(1) $S_{max} = 10$



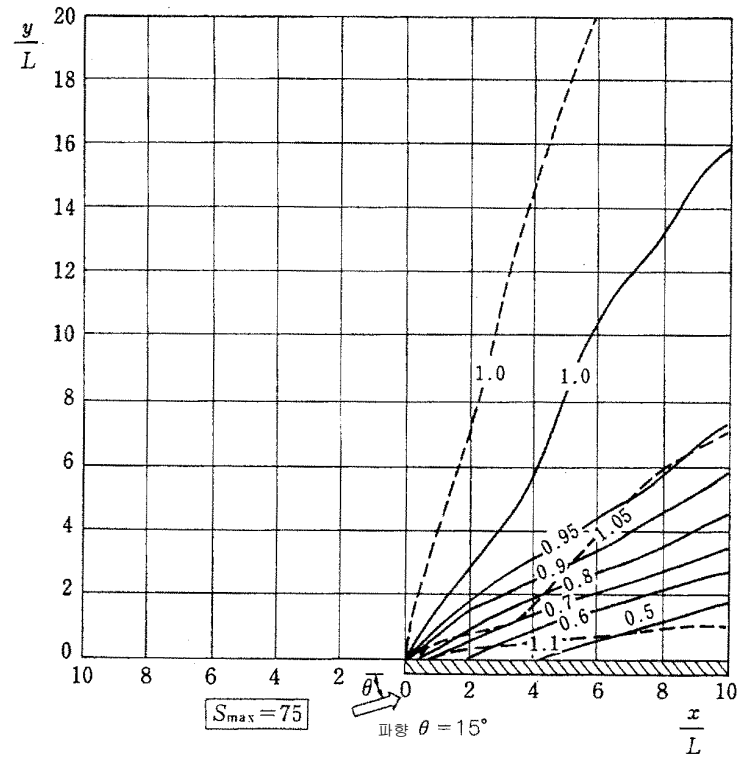
부록 그림 (1-1) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=15° , $S_{max} = 10$)

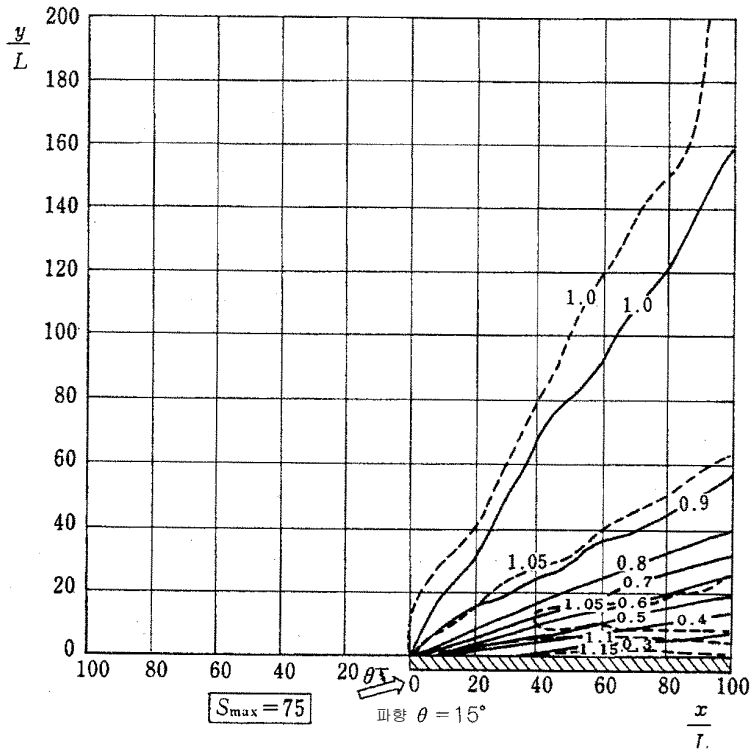
(2) $S_{max} = 25$



부록 그림 (1-2) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=15° , $S_{max} = 25$)

(3) $S_{max} = 75$

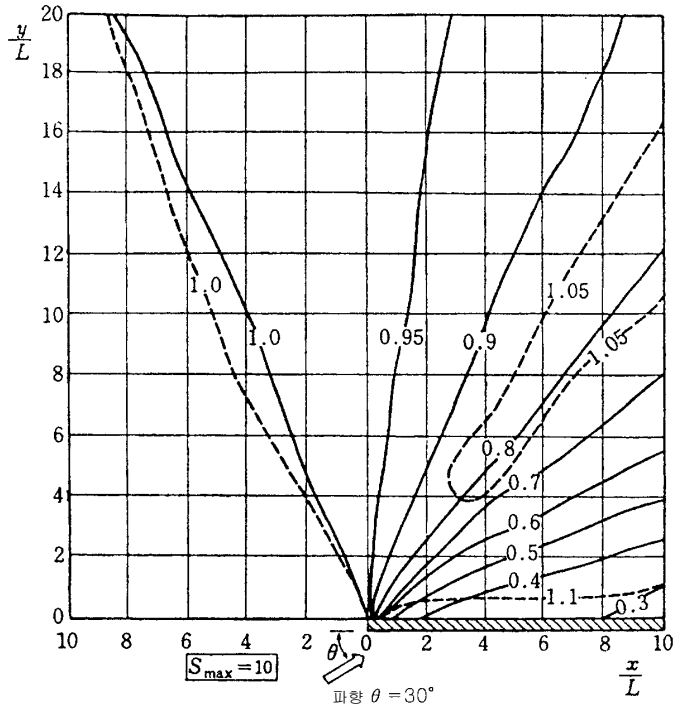


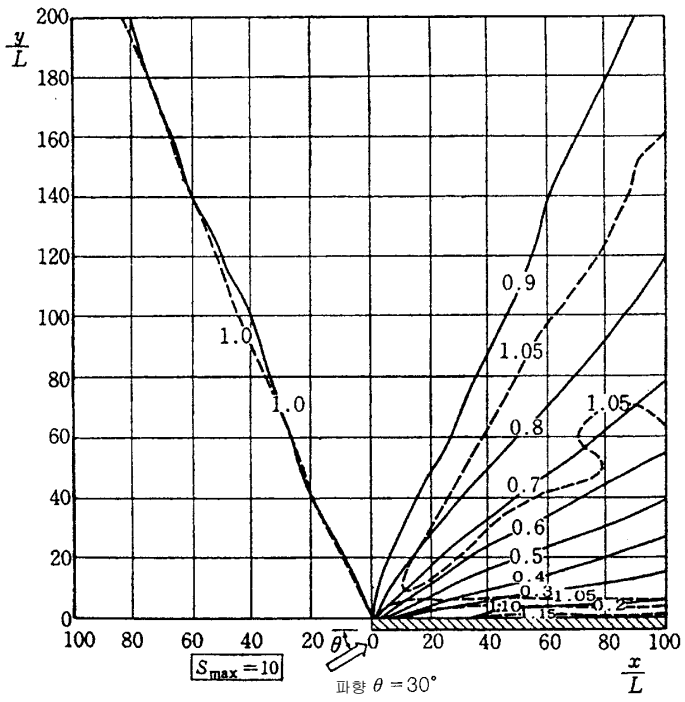


부록 그림 (1-3) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=15° , $S_{max} = 75$)

2. 반무한제에 의한 회절그림(θ=30°)

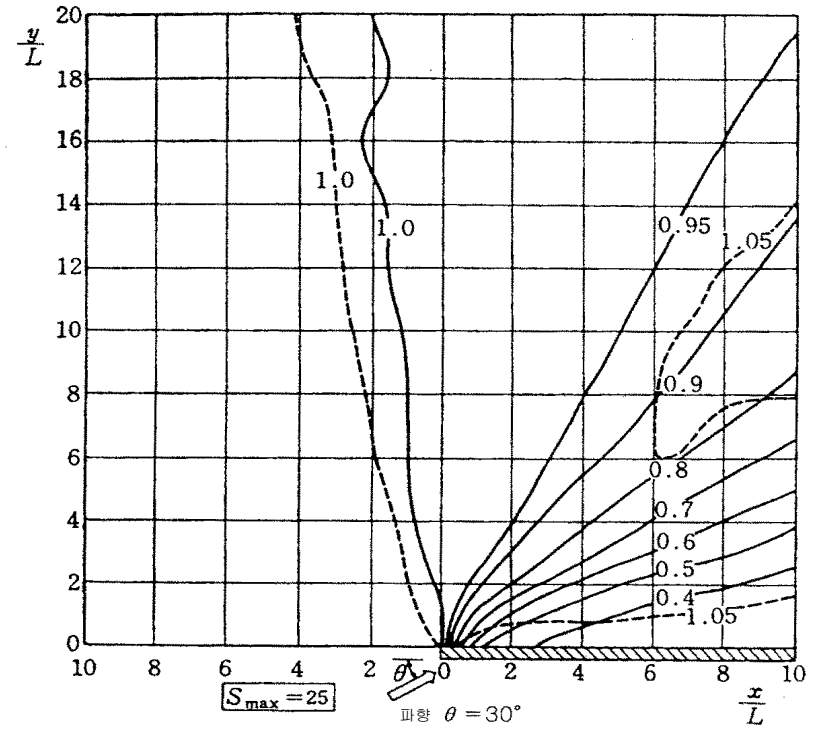
(1) $S_{max} = 10$

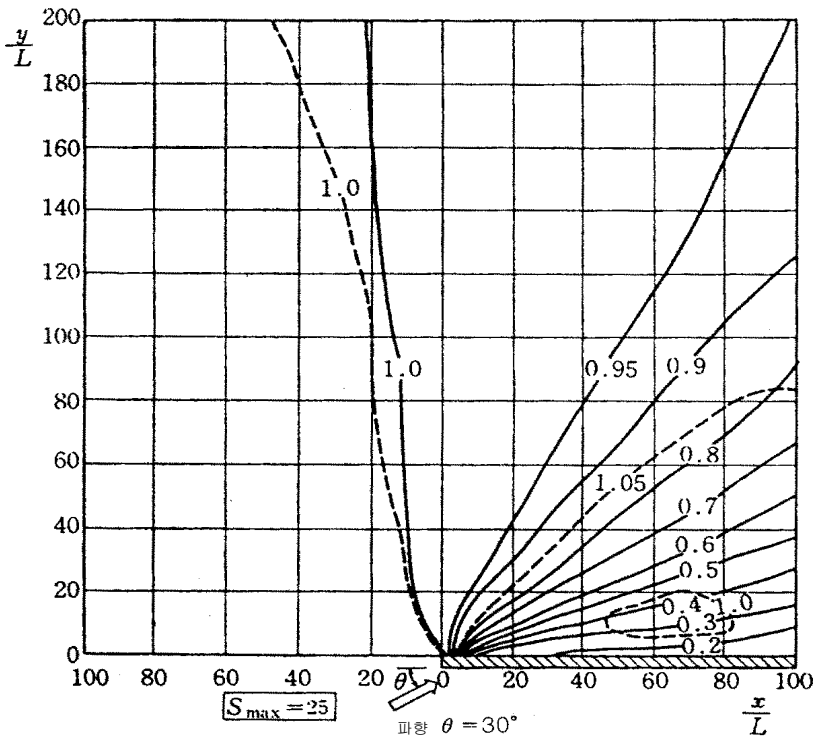




부록 그림 (2-1) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=30° , $S_{max} = 10$)

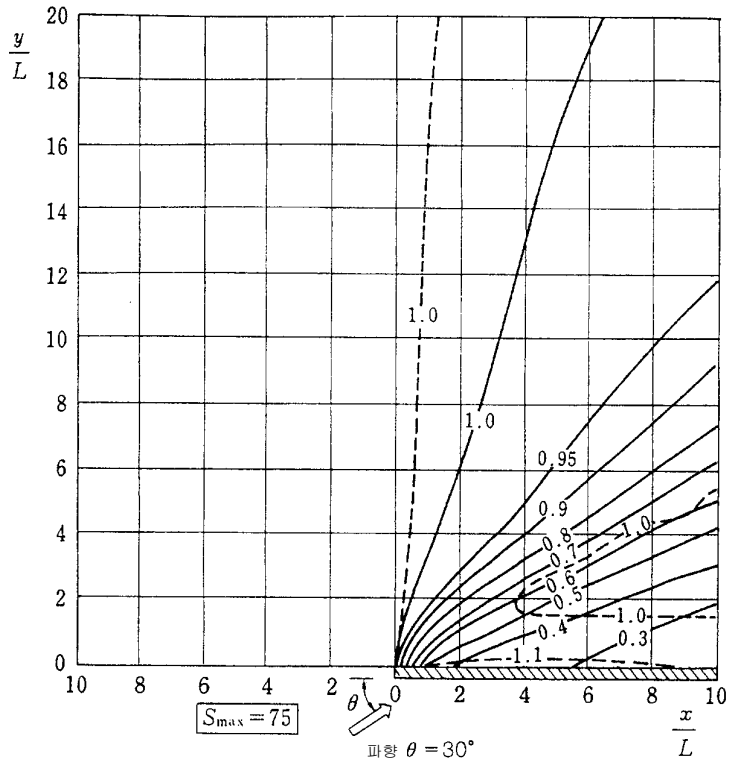
(2) $S_{max} = 25$

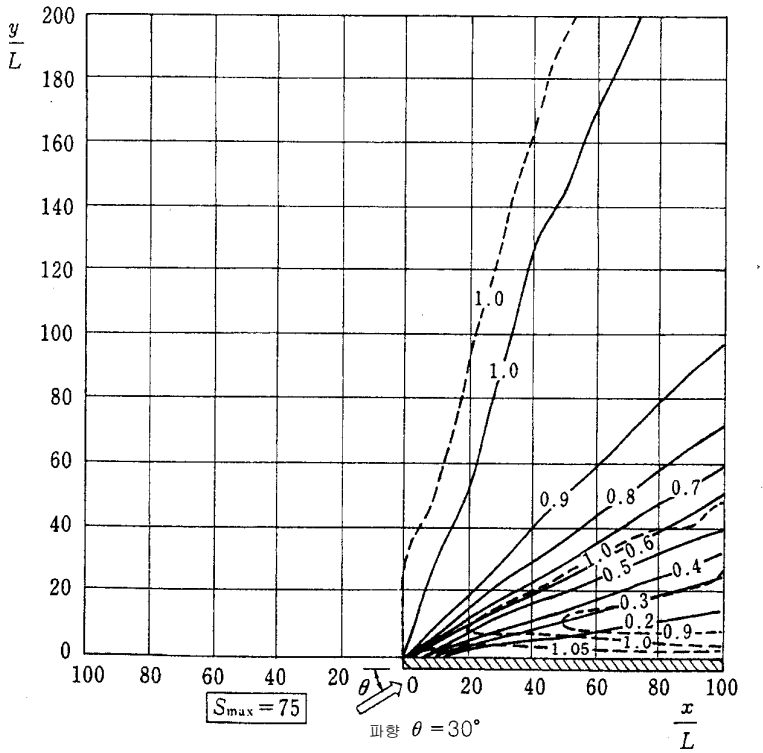




부록 그림 (2-2) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=30° , $S_{max} = 25$)

(3) $S_{max} = 75$

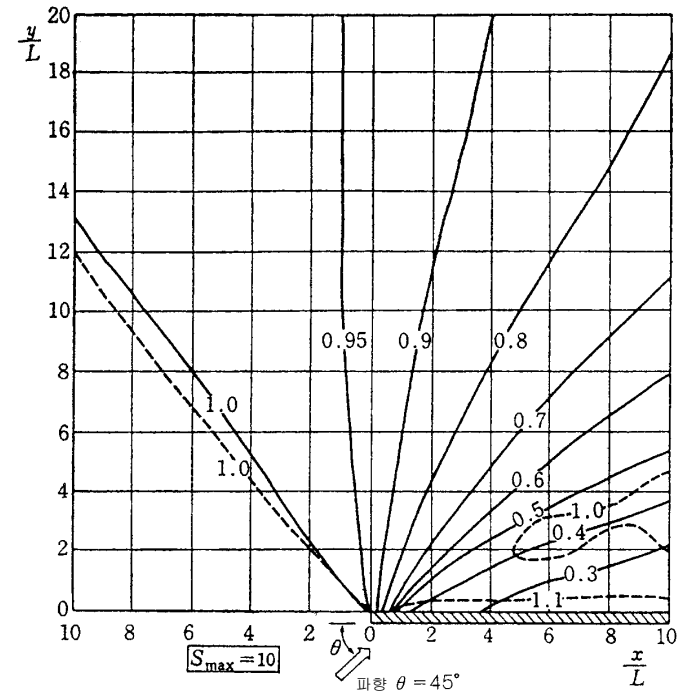


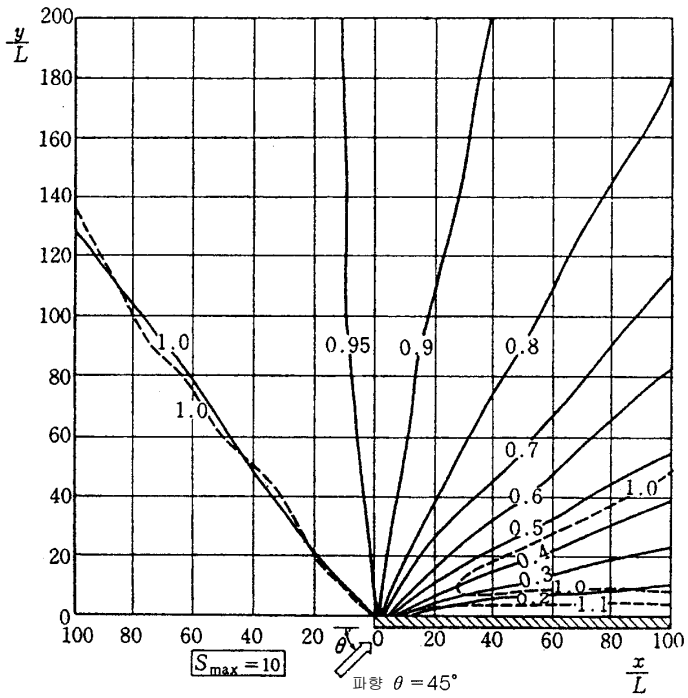


부록 그림 (2-3) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=30°, $S_{max} = 75$)

3. 반무한제에 의한 회절그림(θ=45°)

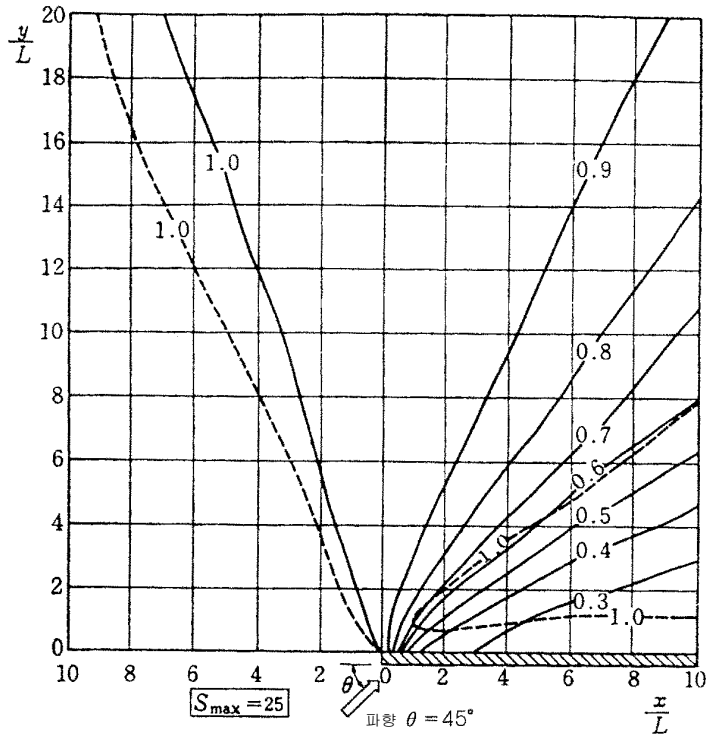
(1) $S_{max} = 10$

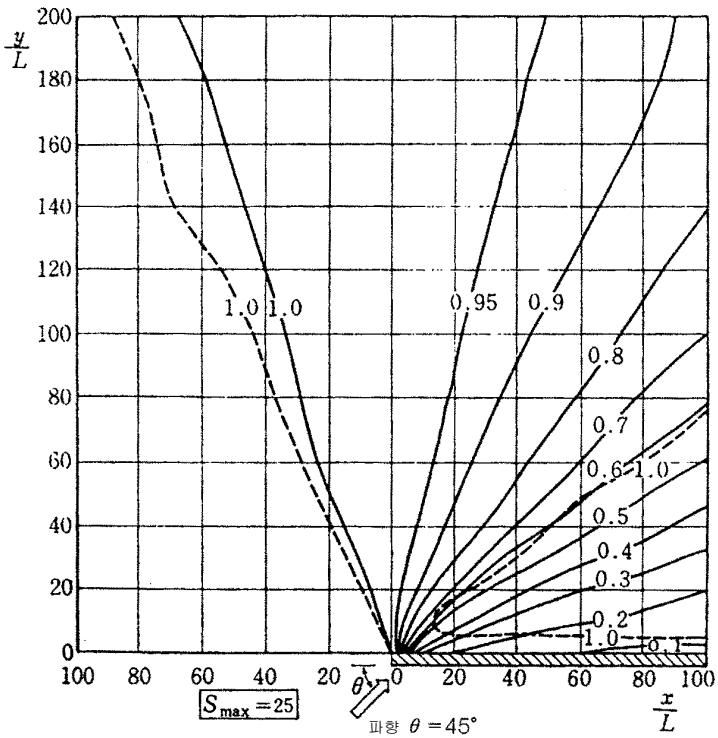




부록 그림 (3-1) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=45° , $S_{max} = 10$)

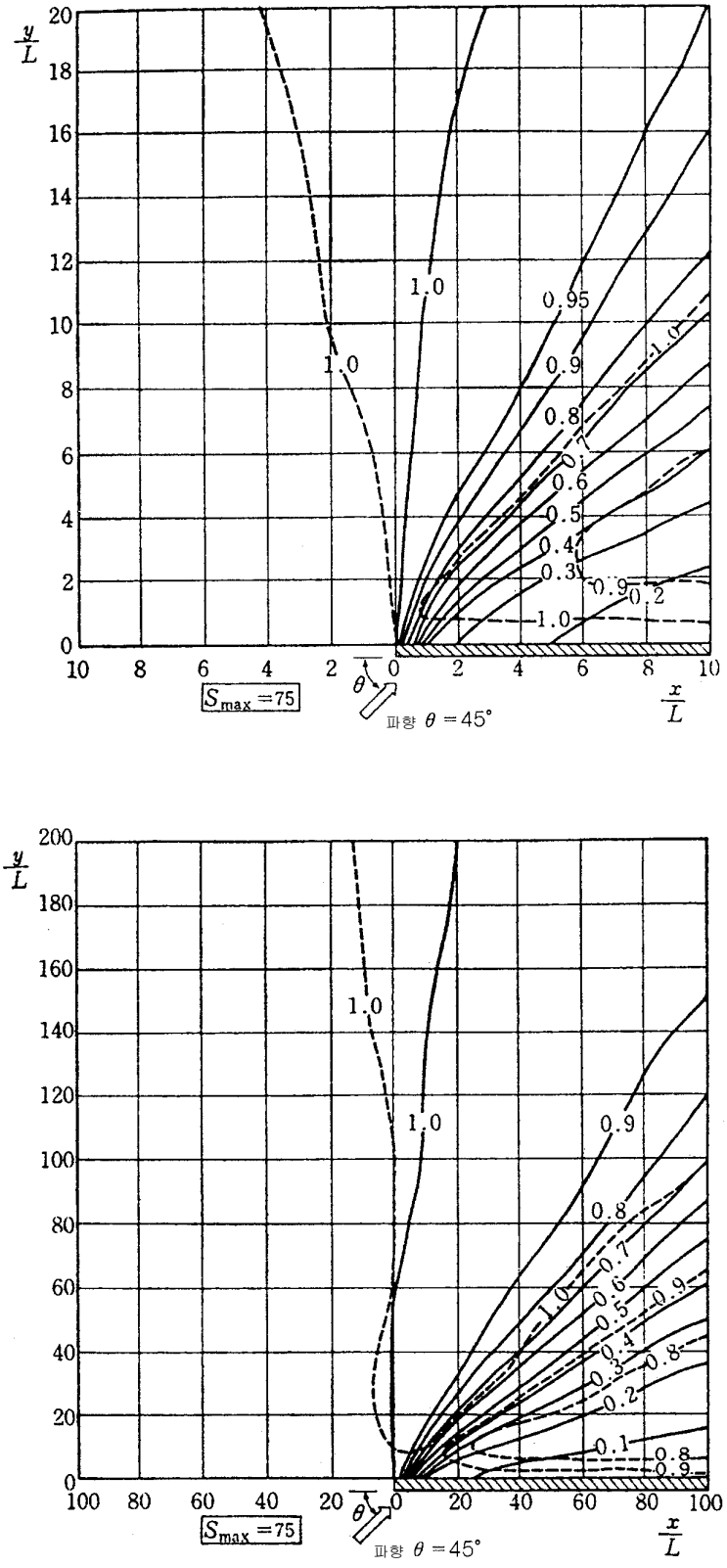
(2) $S_{max} = 25$





부록 그림 (3-2) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=45°, $S_{max} = 25$)

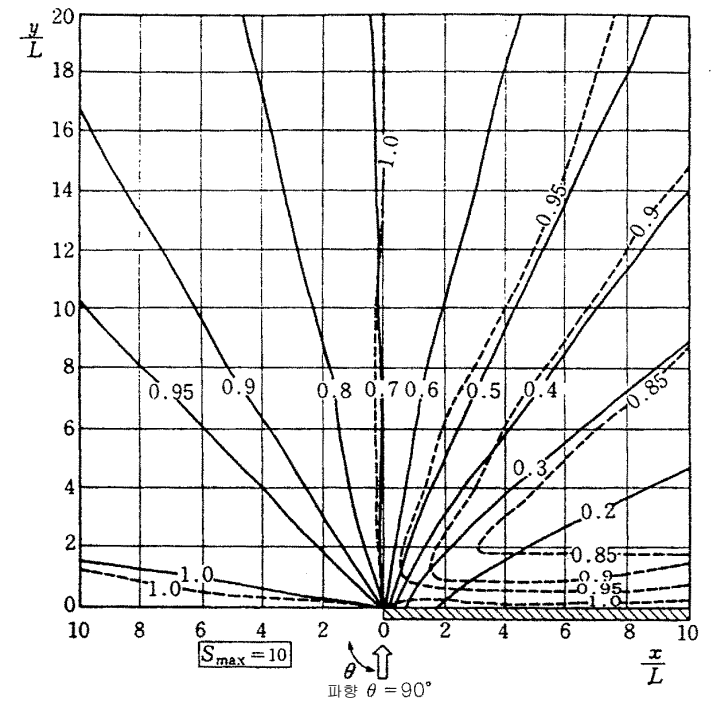
(3) $S_{max} = 75$

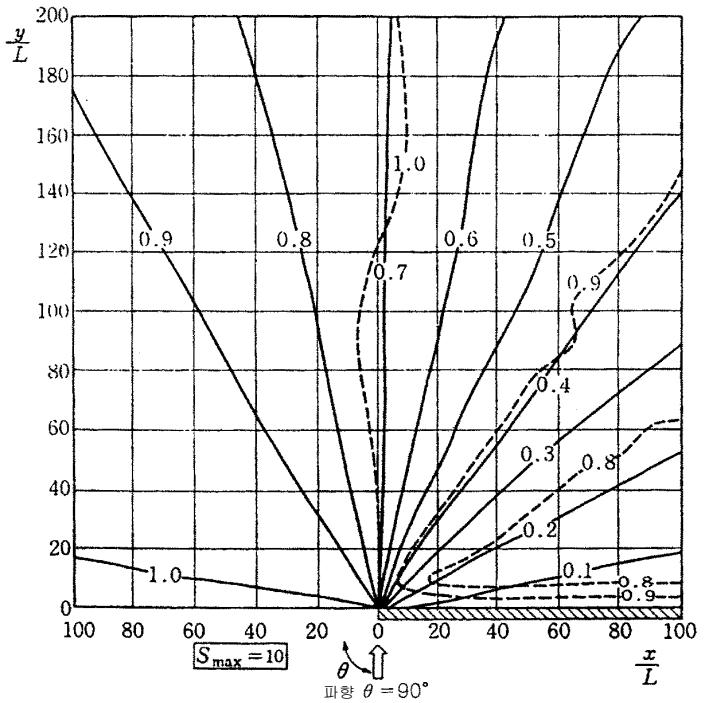


부록 그림 (3-3) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=45° , $S_{max} = 75$)

4. 반무한제에 의한 회절그림(θ=90°)

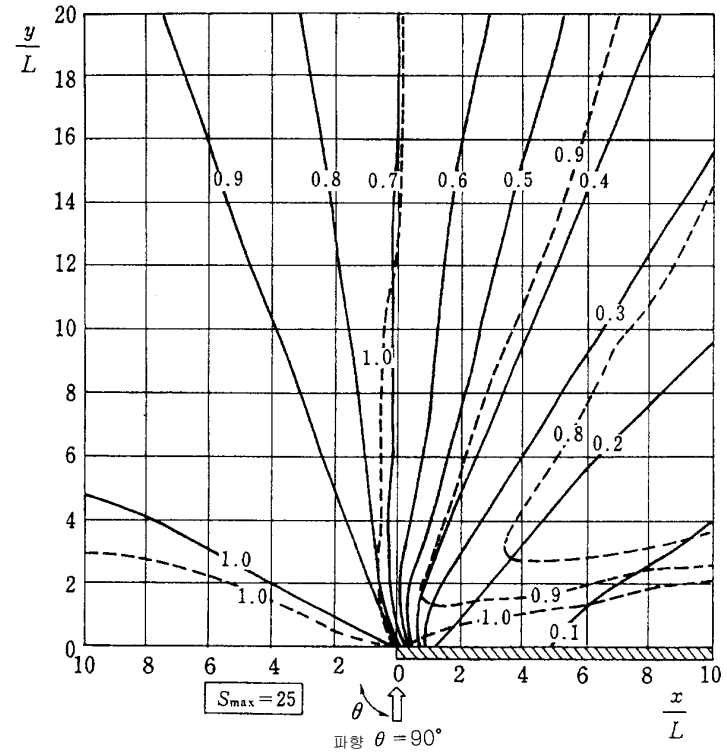
(1) $S_{max} = 10$

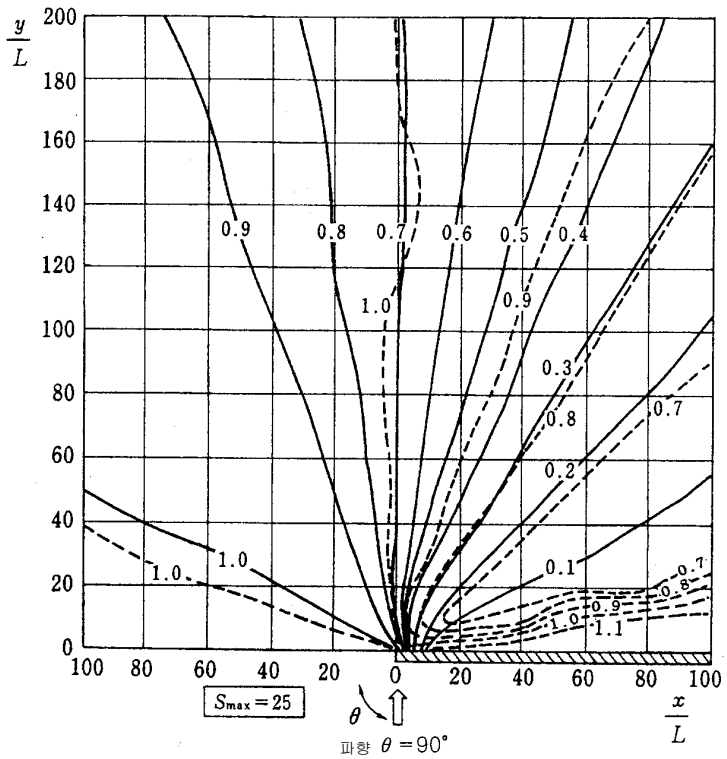




부록 그림 (4-1) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=90°, $S_{max} = 10$)

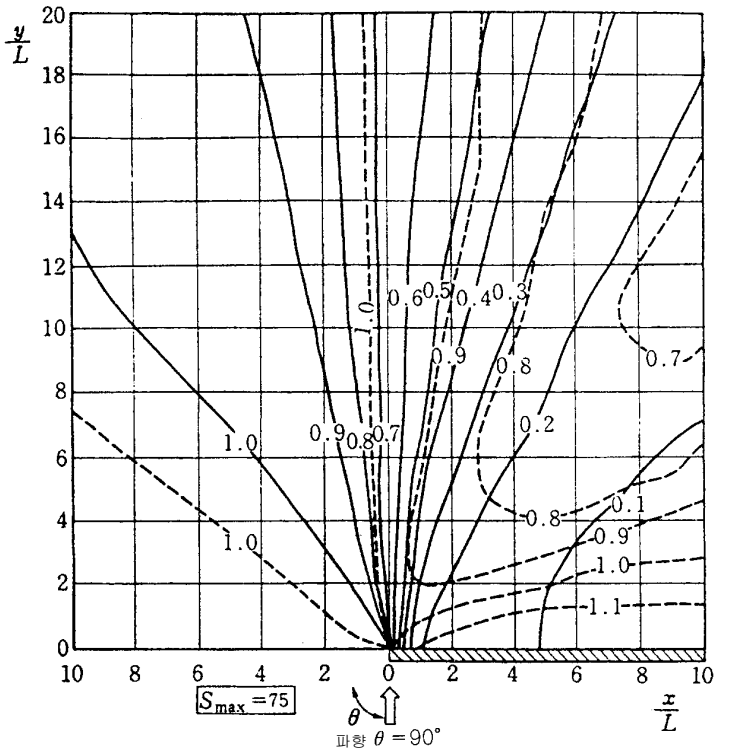
(2) $S_{max} = 25$

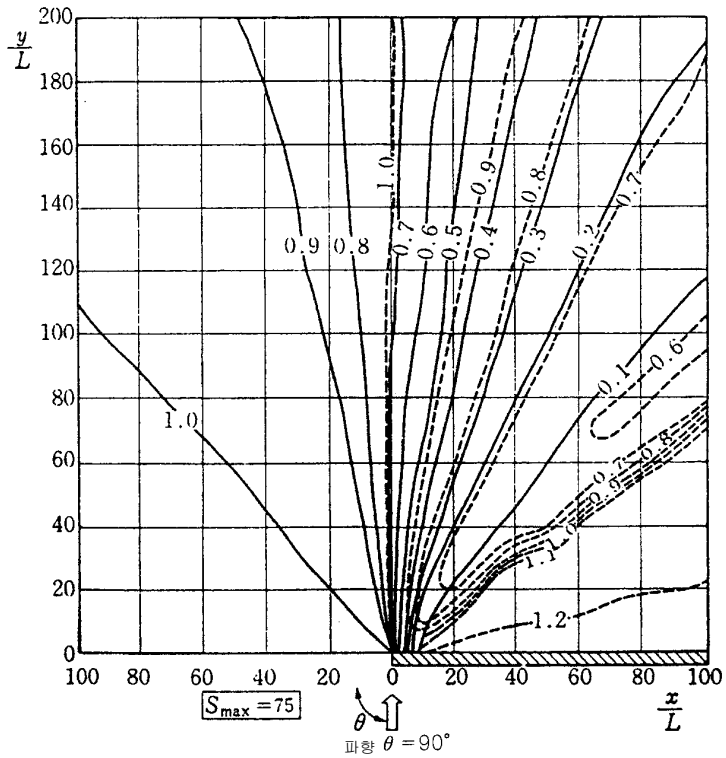




부록 그림 (4-2) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=90°, $S_{max} = 25$)

(3) $S_{max} = 75$

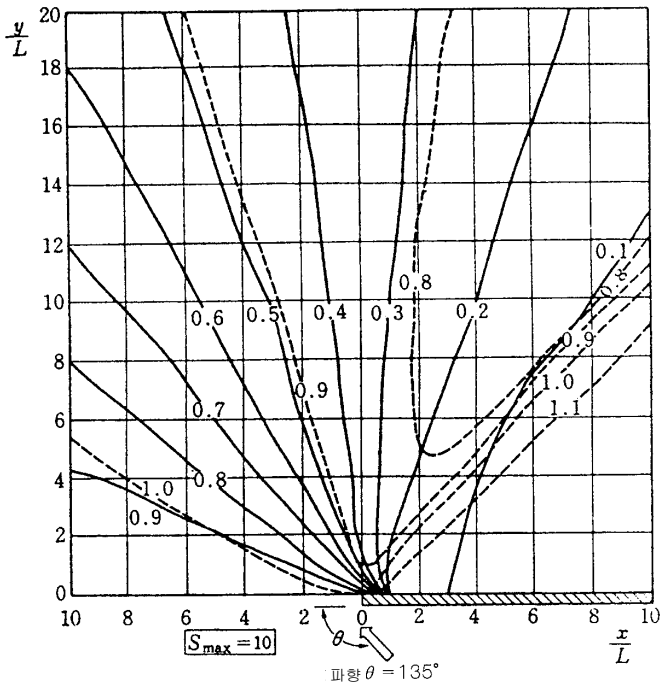


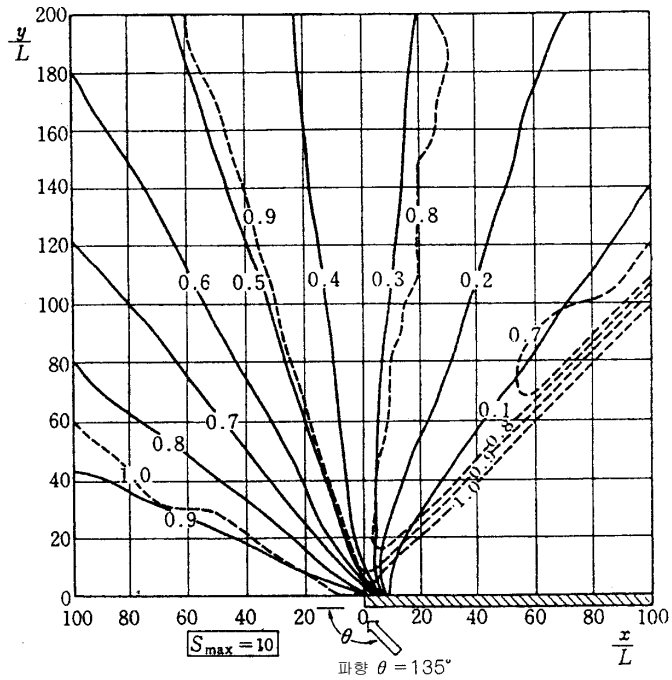


부록 그림 (4-3) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=90°, $S_{max} = 75$)

5. 반무한제에 의한 회절그림(θ=135°)

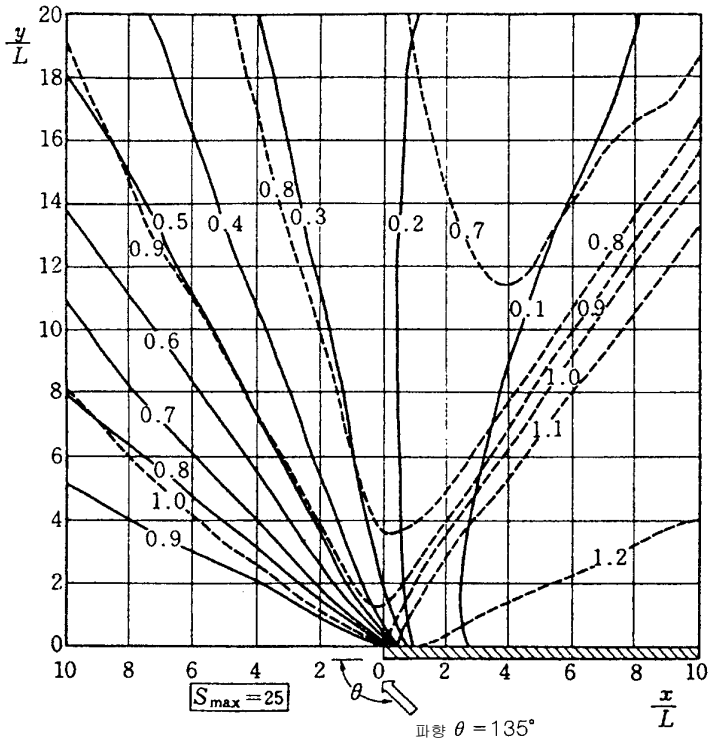
(1) $S_{\max} = 10$

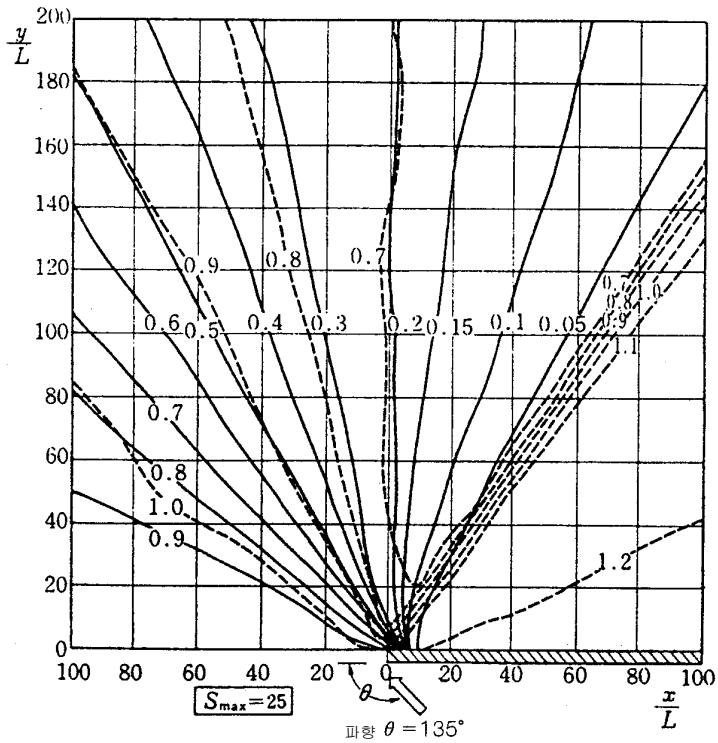




부록 그림 (5-1) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=135° , $S_{\max} = 10$)

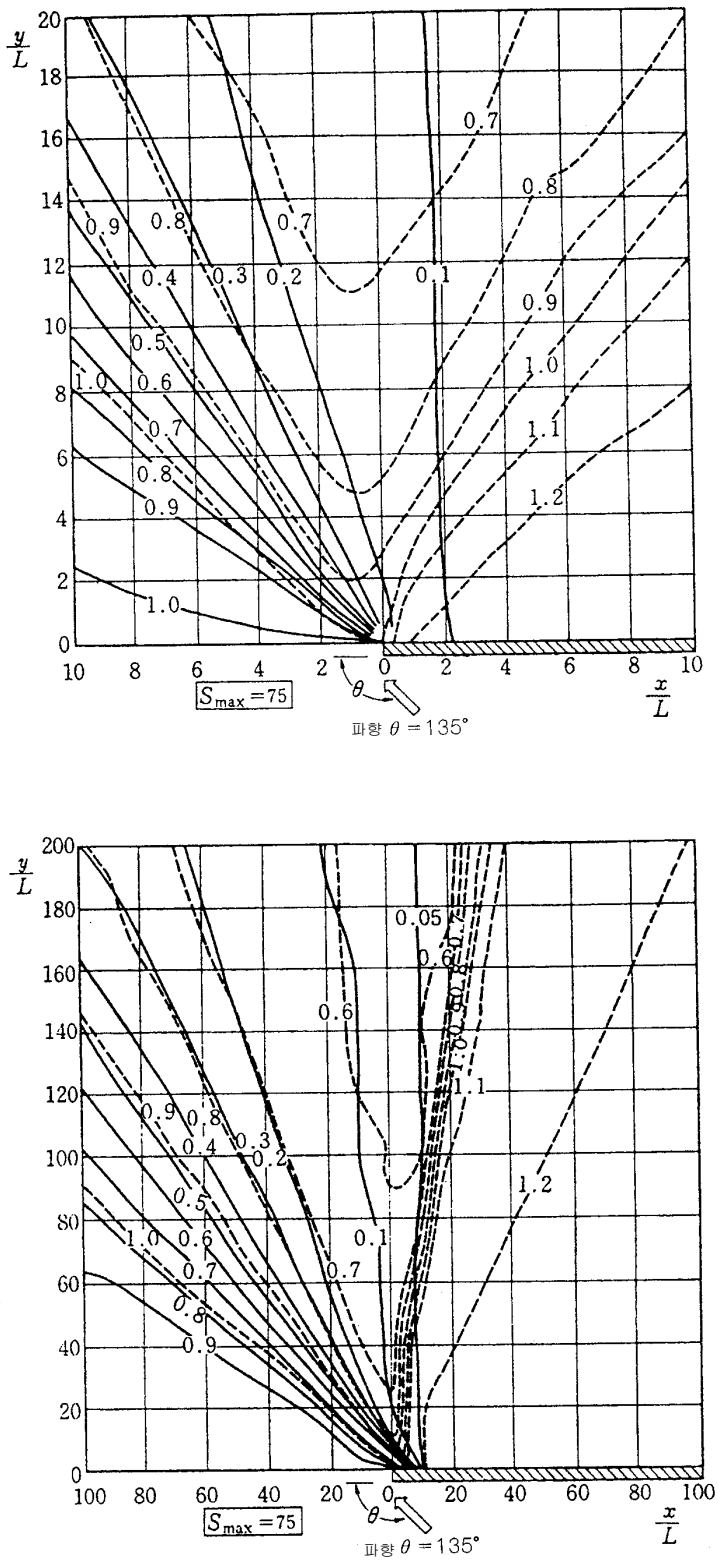
(2) $S_{max} = 25$





부록 그림 (5-2) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=135° , $S_{max} = 25$)

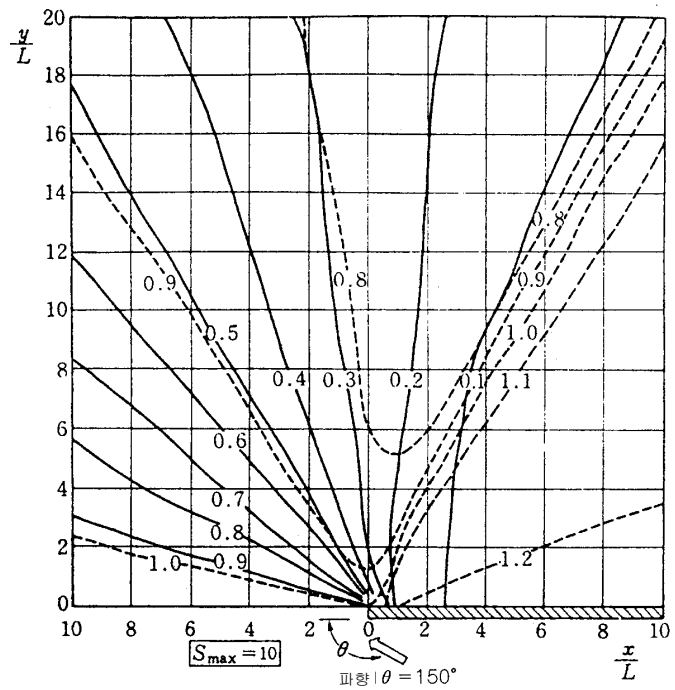
(3) $S_{max} = 75$

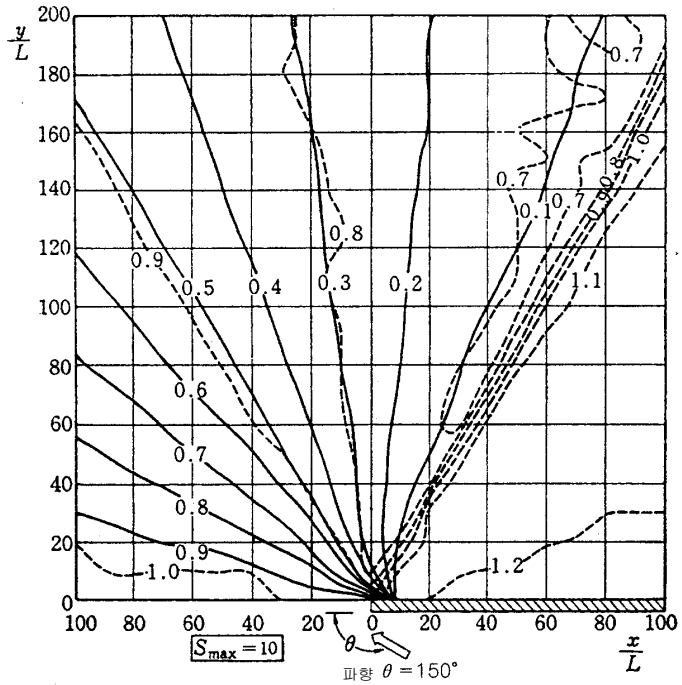


부록 그림 (5-3) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=135° , $S_{max} = 75$)

6. 반무한제에 의한 회절그림(θ=150°)

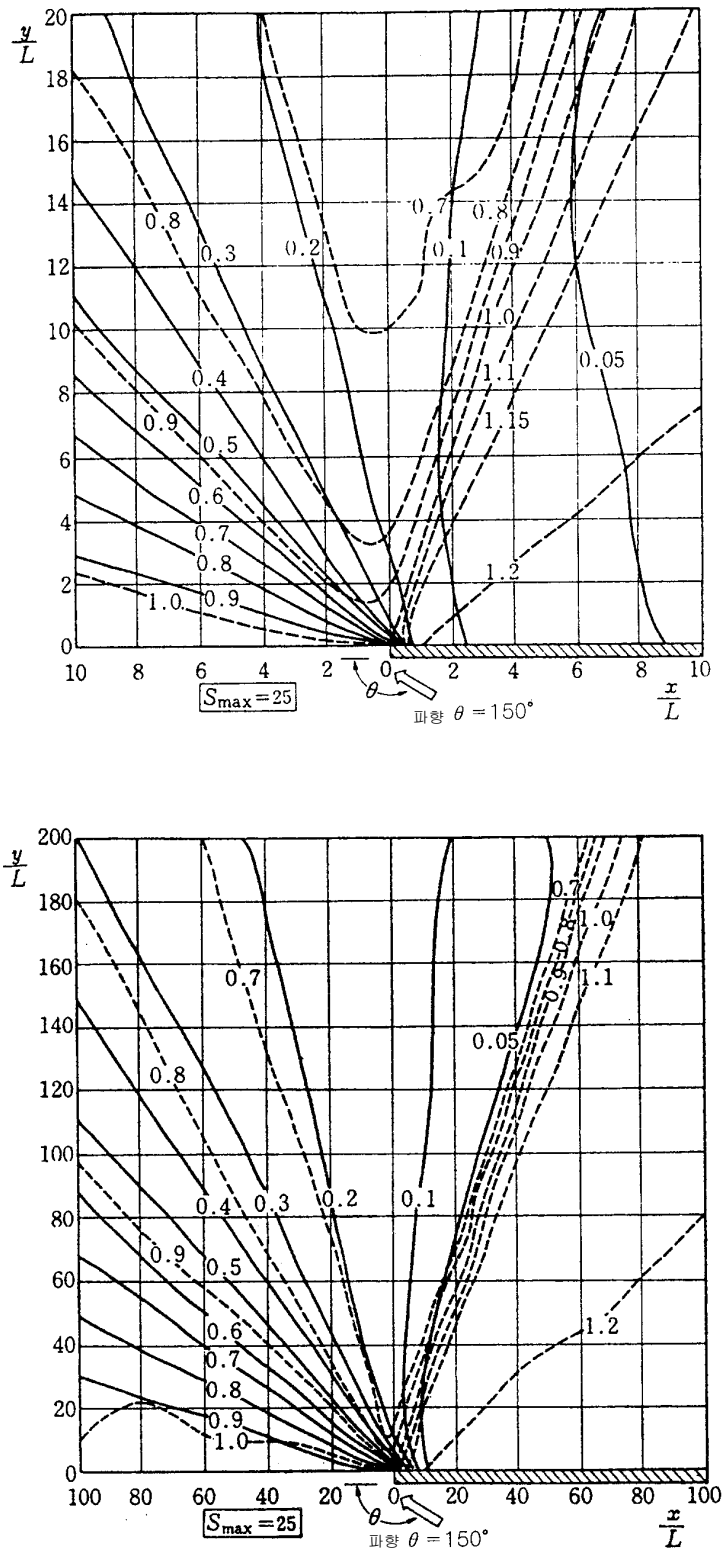
(1) $S_{max} = 10$





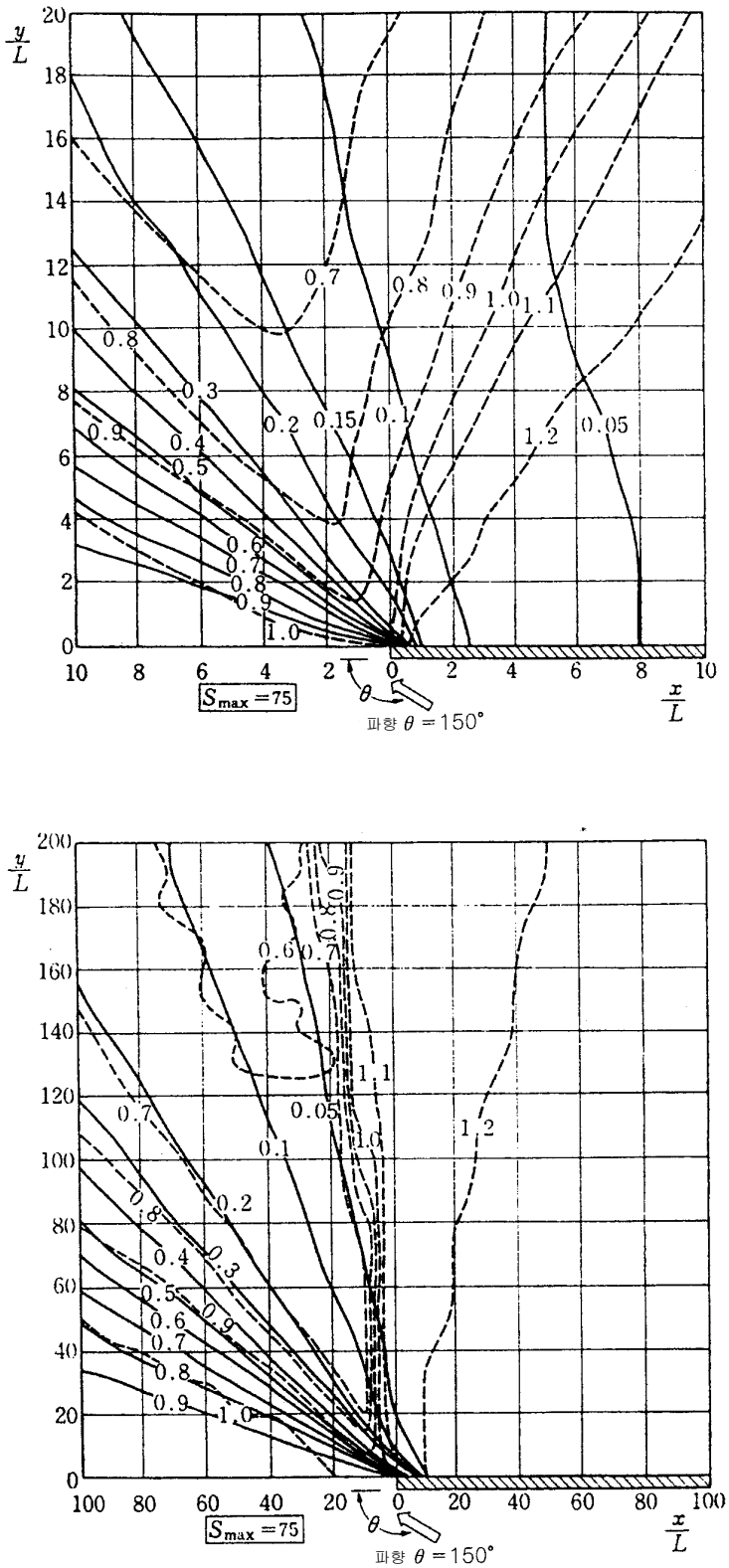
부록 그림 (6-1) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=150° , $S_{max} = 10$)

(2) $S_{max} = 25$



부록 그림 (6-2) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=150° , $S_{max} = 25$)

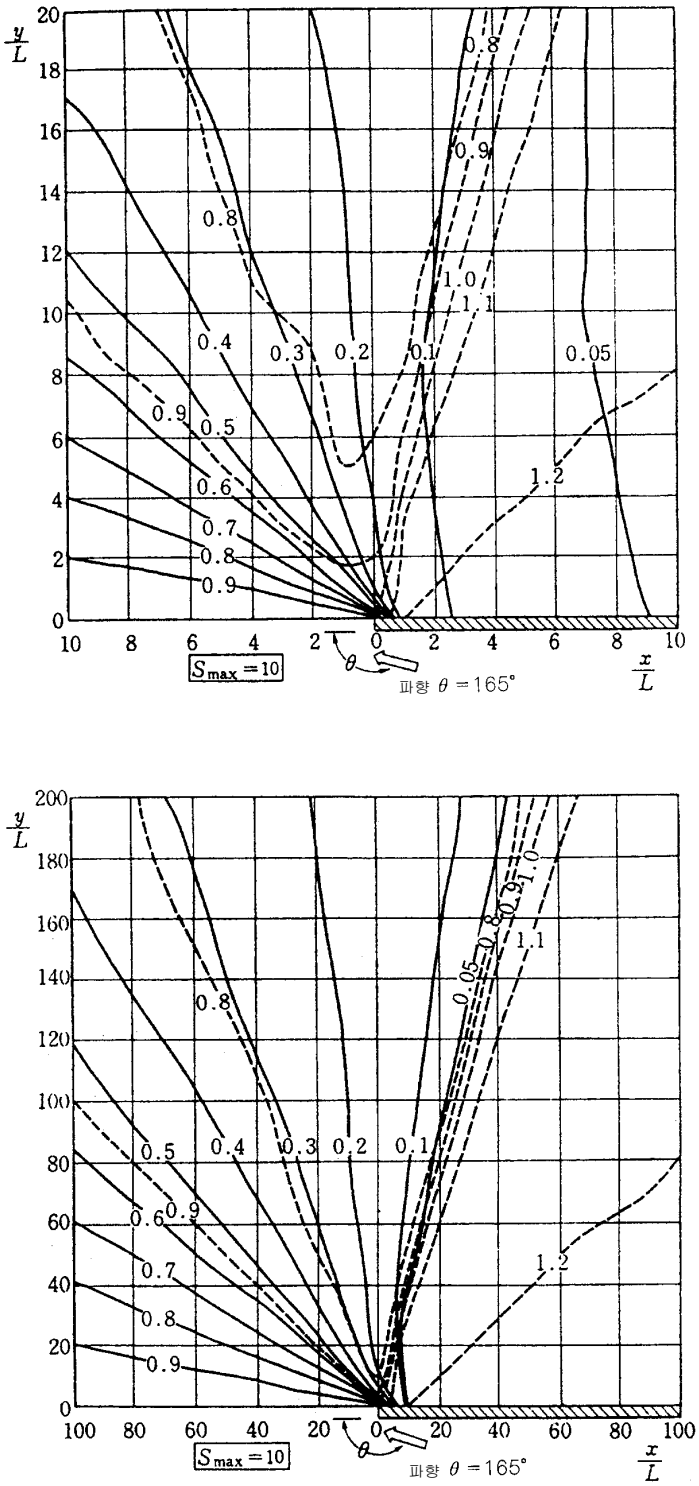
(3) $S_{max} = 75$



부록 그림 (6-3) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=150° , $S_{max} = 75$)

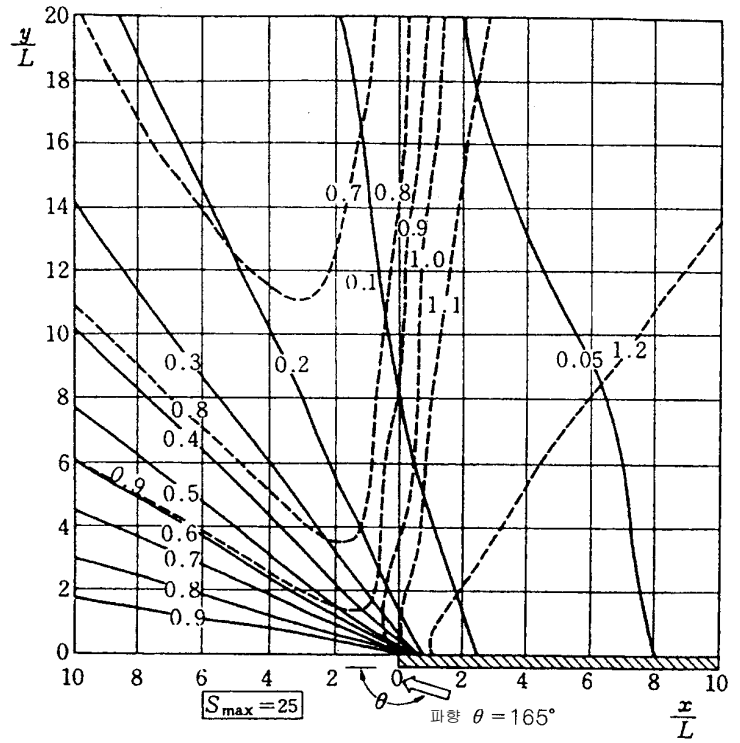
7. 반무한제에 의한 회절그림(θ=165°)

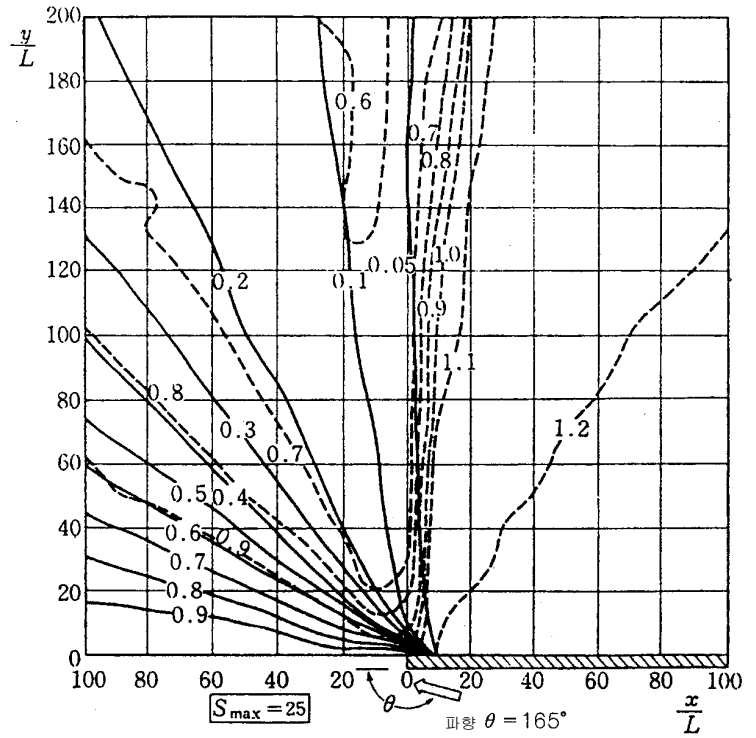
(1) $S_{\max} = 10$



부록 그림 (7-1) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=165° , $S_{\max} = 10$)

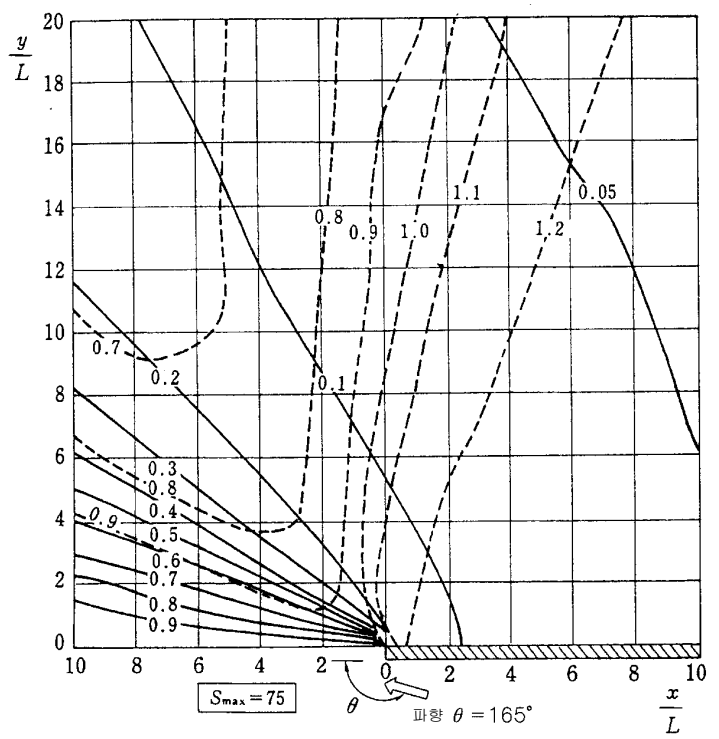
(2) $S_{max} = 25$

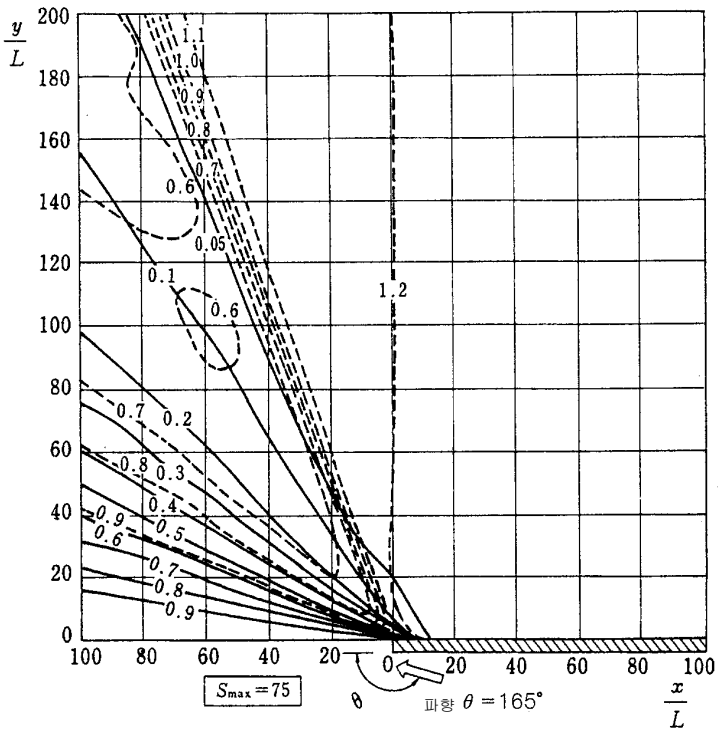




부록 그림 (7-2) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=165° , $S_{max} = 25$)

(3) $S_{max} = 75$

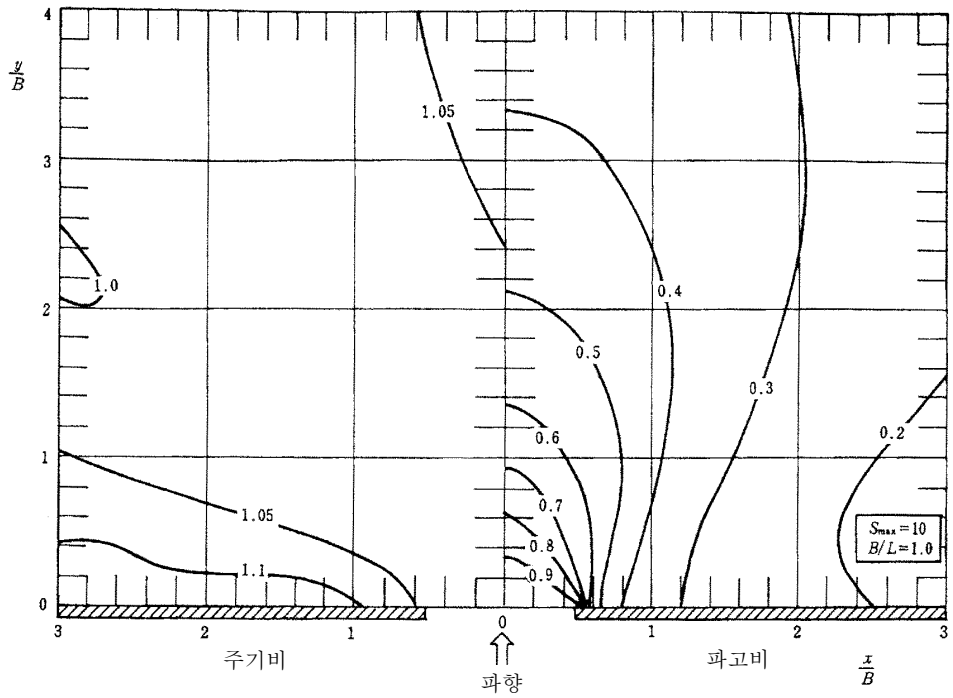


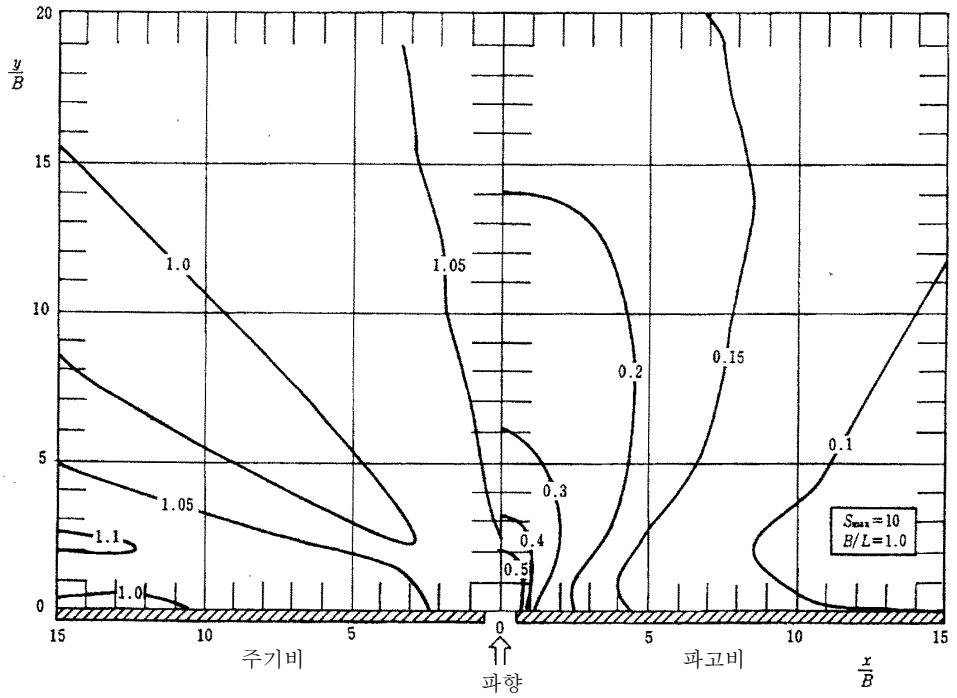


부록 그림 (7-3) 반무한제에 의한 회절그림 (θ=165° , $S_{max} = 75$)

8. 개구방파제에 의한 회절그림(B/L=1.0)

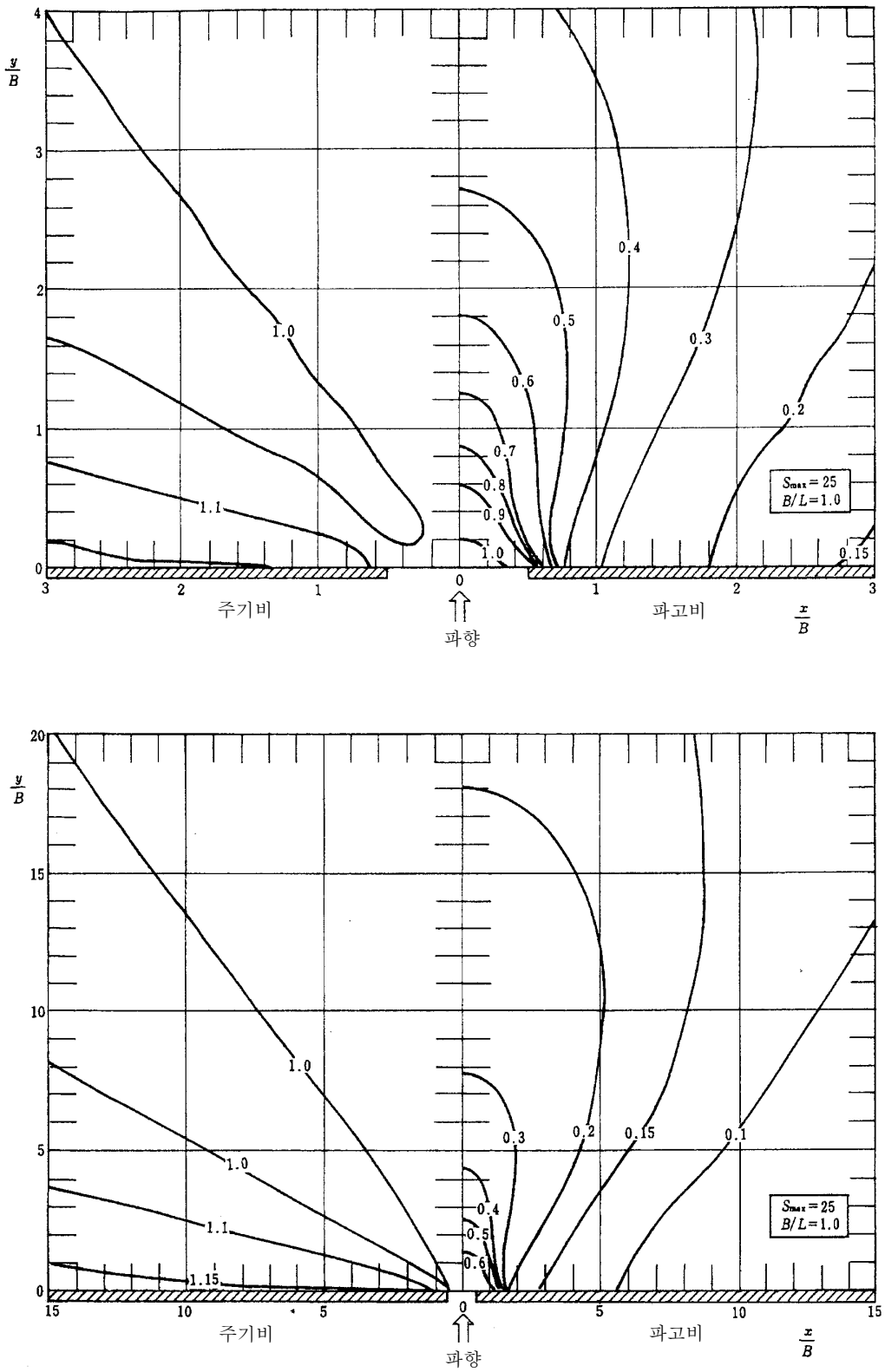
(1) $S_{max} = 10$





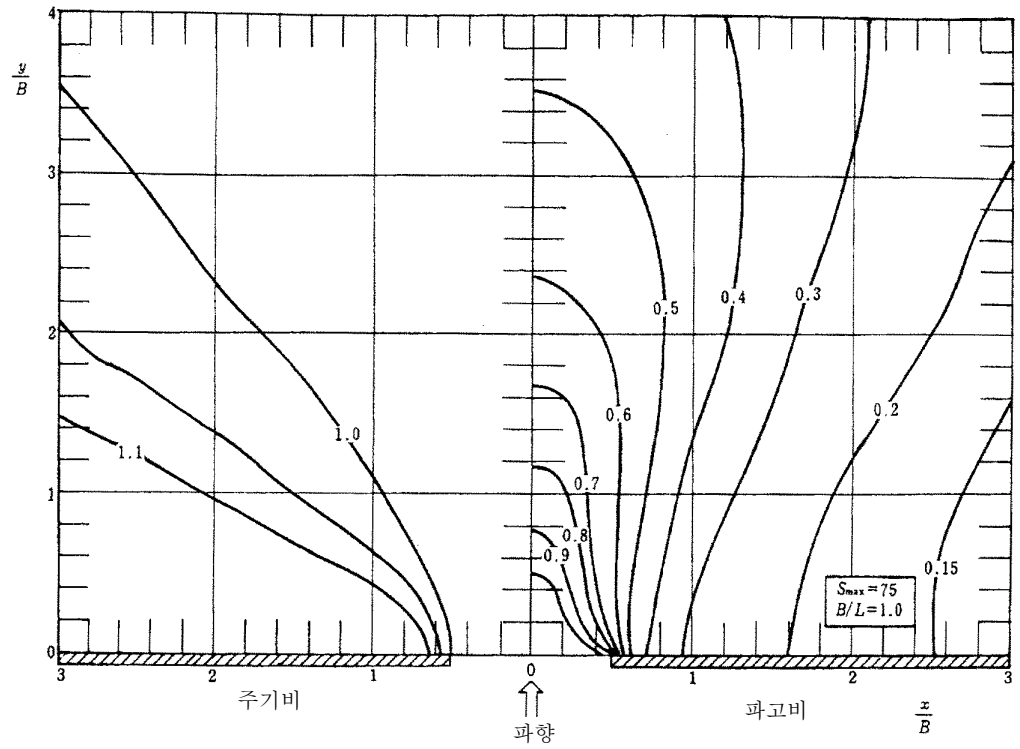
부록 그림 (8-1) 개구방파제에 의한 회절그림 (B/L=1.0, S_{max}=10)

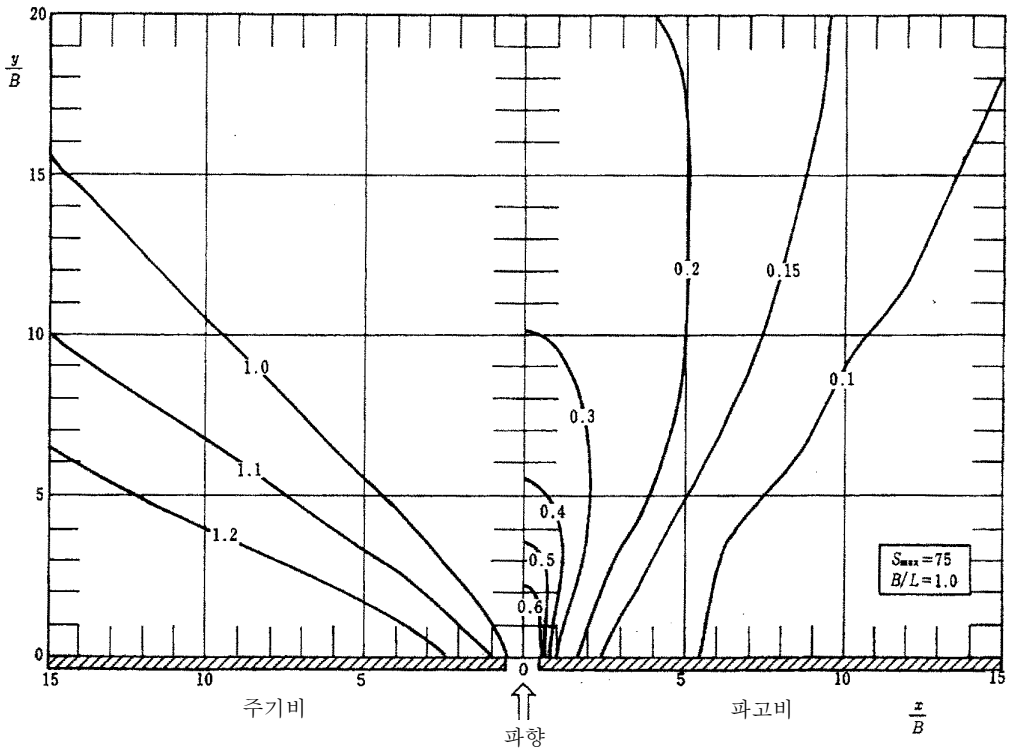
(2) $S_{max} = 25$



부록 그림 (8-2) 개구방파제에 의한 회절그림 (B/L=1.0, S_{max}=25)

(3) $S_{max} = 75$

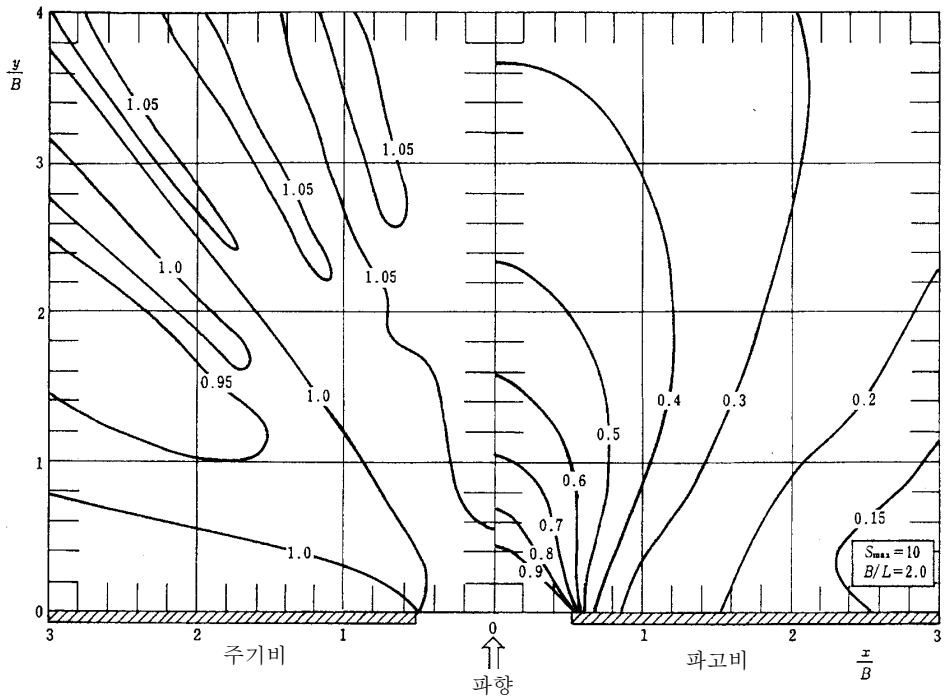


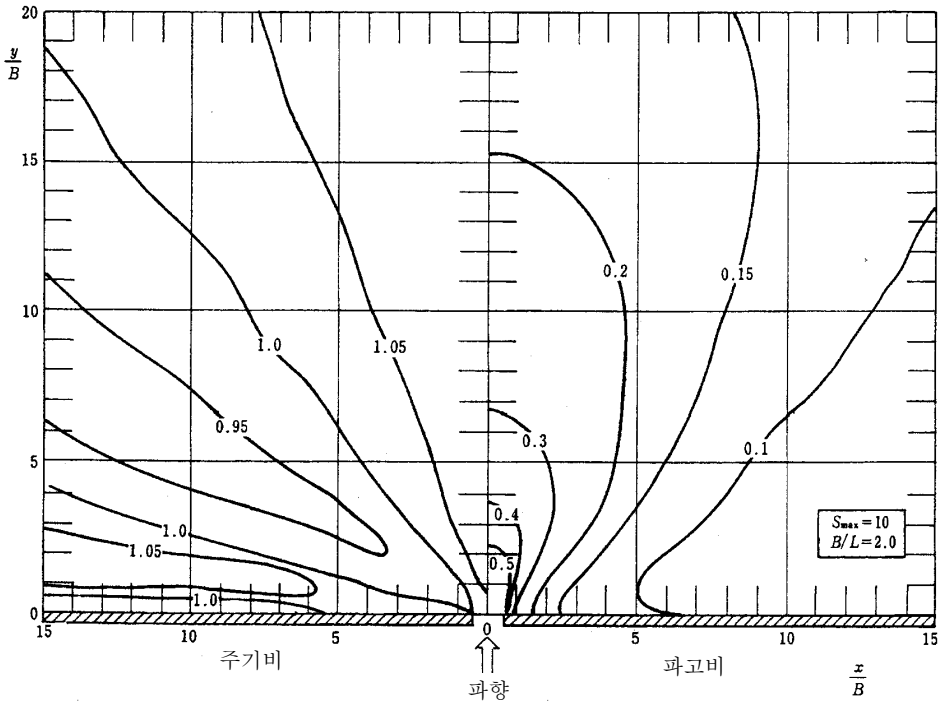


부록 그림 (8-3) 개구방파제에 의한 회절그림 (B/L=1.0, S_{max}=75)

9. 개구방파제에 의한 회절그림(B/L=2.0)

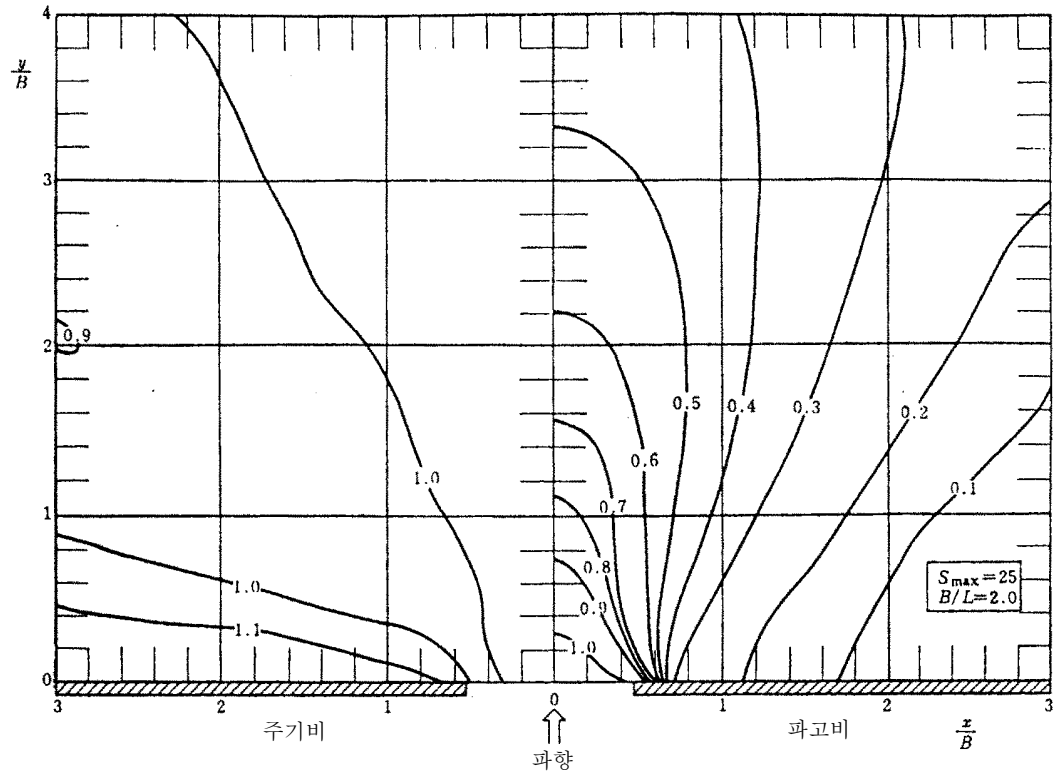
(1) $S_{\max} = 10$

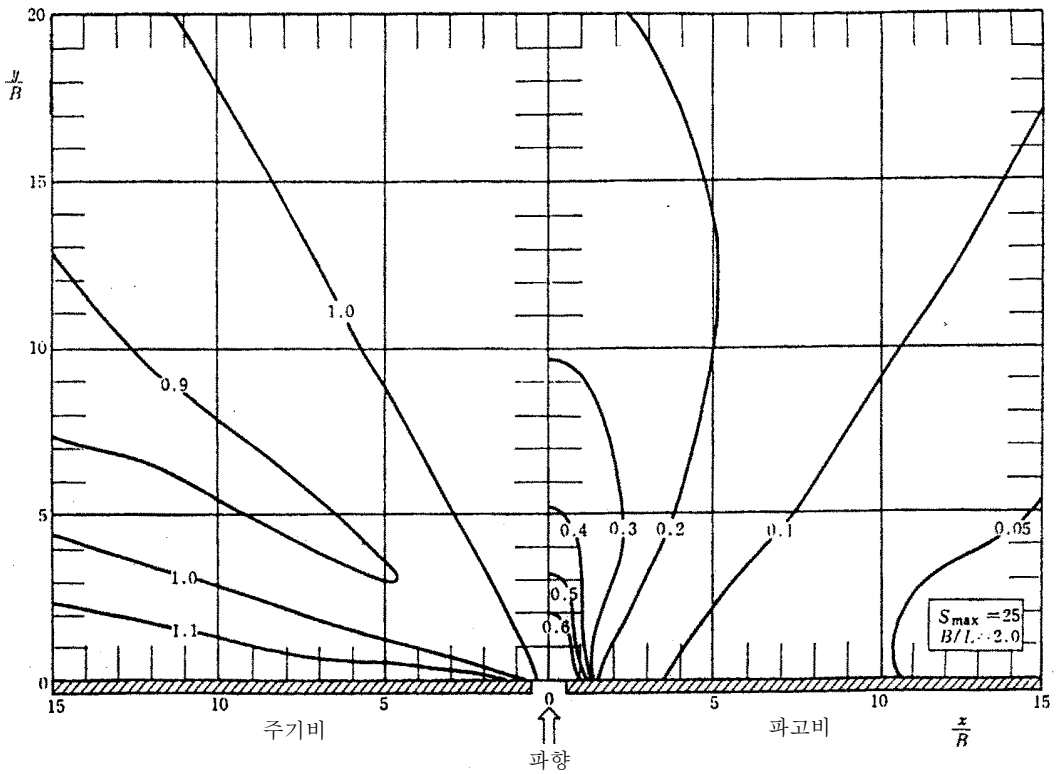




부록 그림 (9-1) 개구방파제에 의한 회절그림 (B/L=2.0, $S_{\max}$=10)

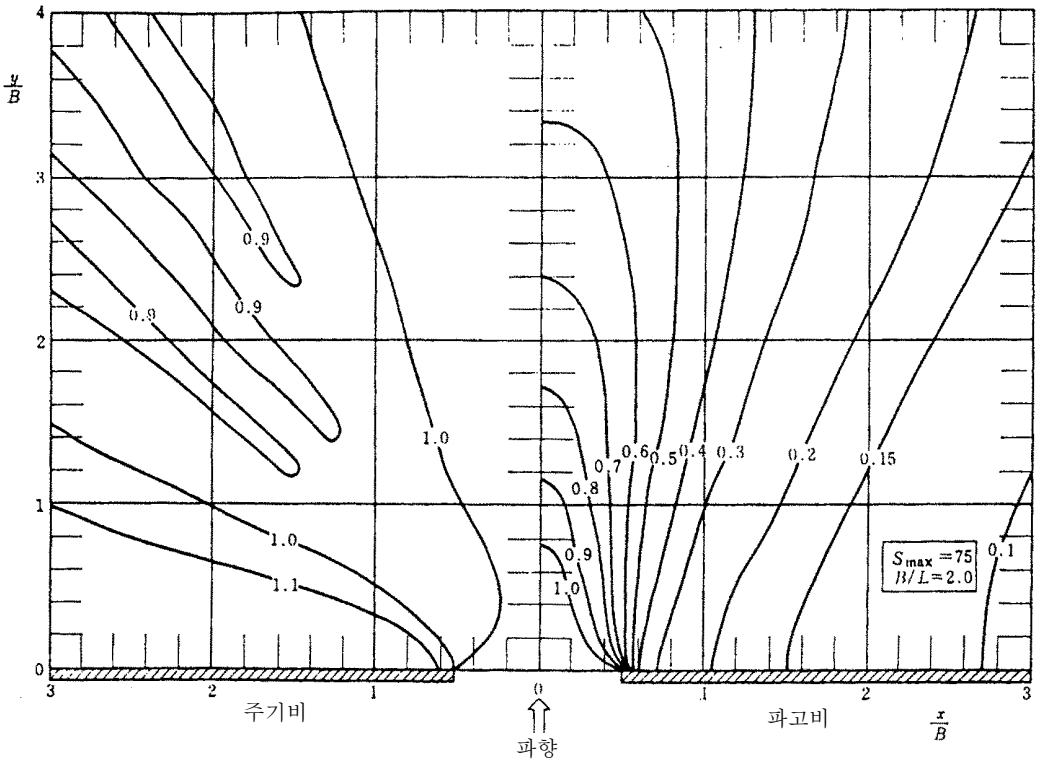
(2) $S_{max} = 25$

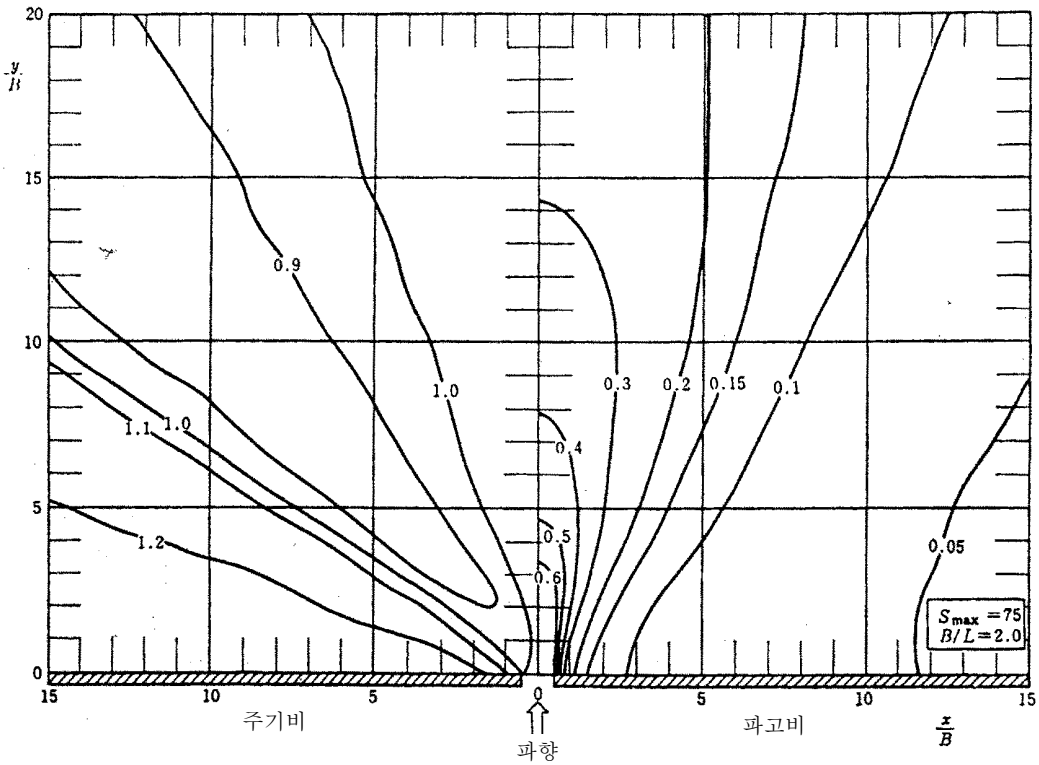




부록 그림 (9-2) 개구방파제에 의한 회절그림 (B/L=2.0, S_{max}=25)

(3) $S_{max} = 75$

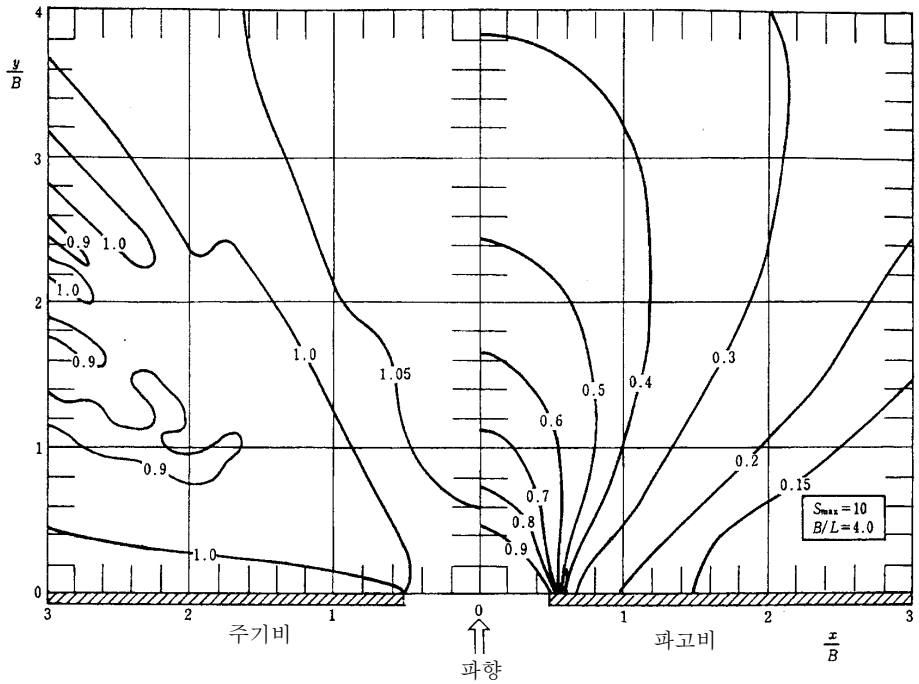


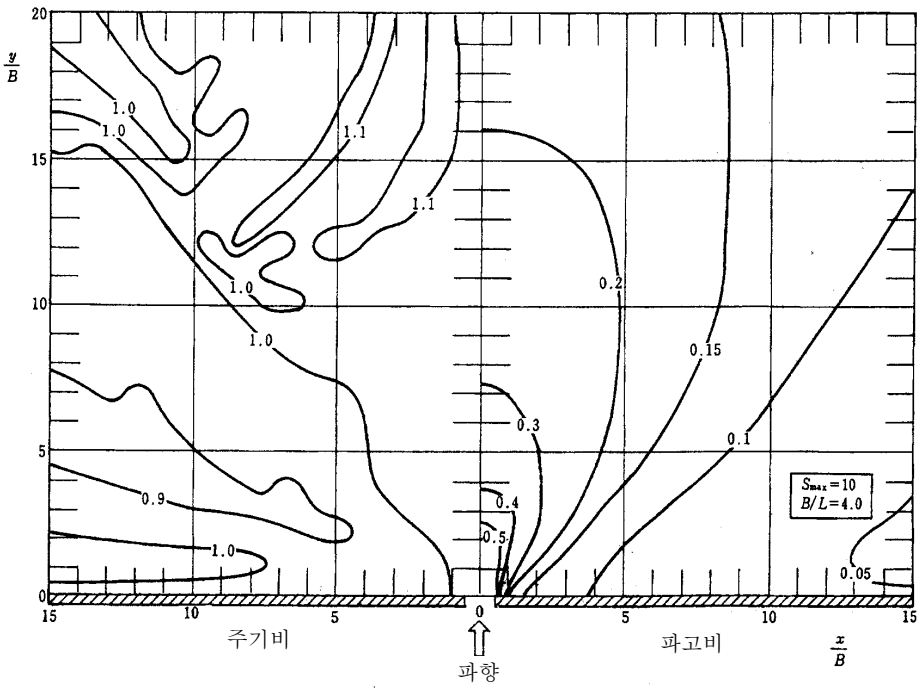


부록 그림 (9-3) 개구방파제에 의한 회절그림 (B/L=2.0, S_{max}=75)

10. 개구방파제에 의한 회절그림(B/L=4.0)

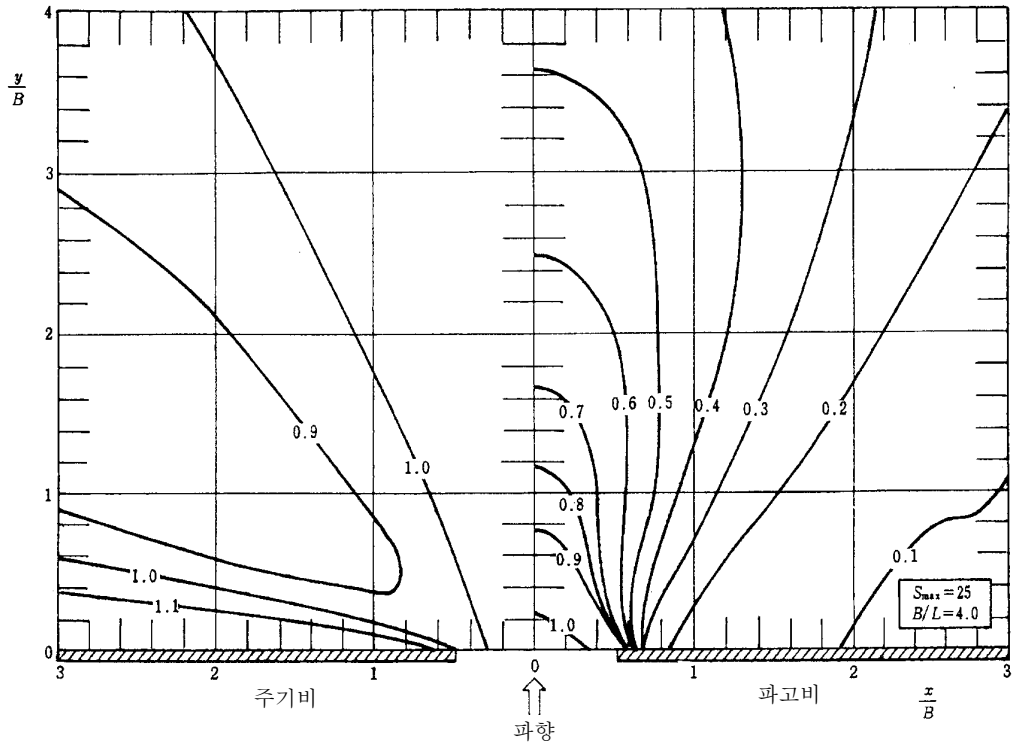
(1) $S_{\max} = 10$

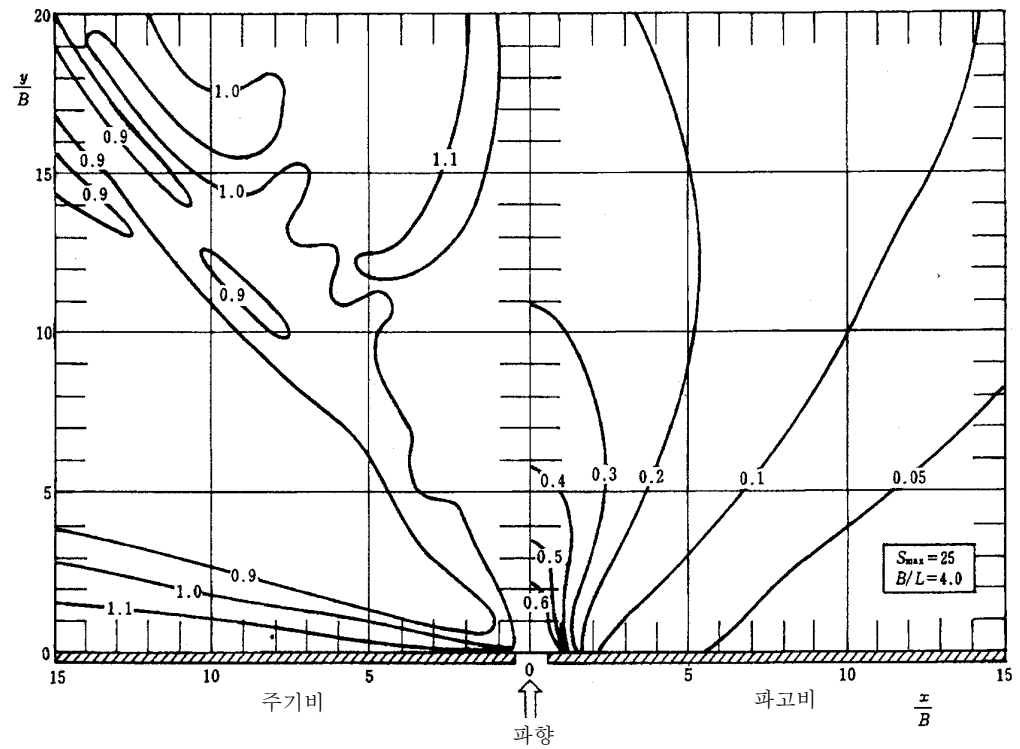




부록 그림 (10-1) 개구방파제에 의한 회절그림 (B/L=4.0, S_{max}=10)

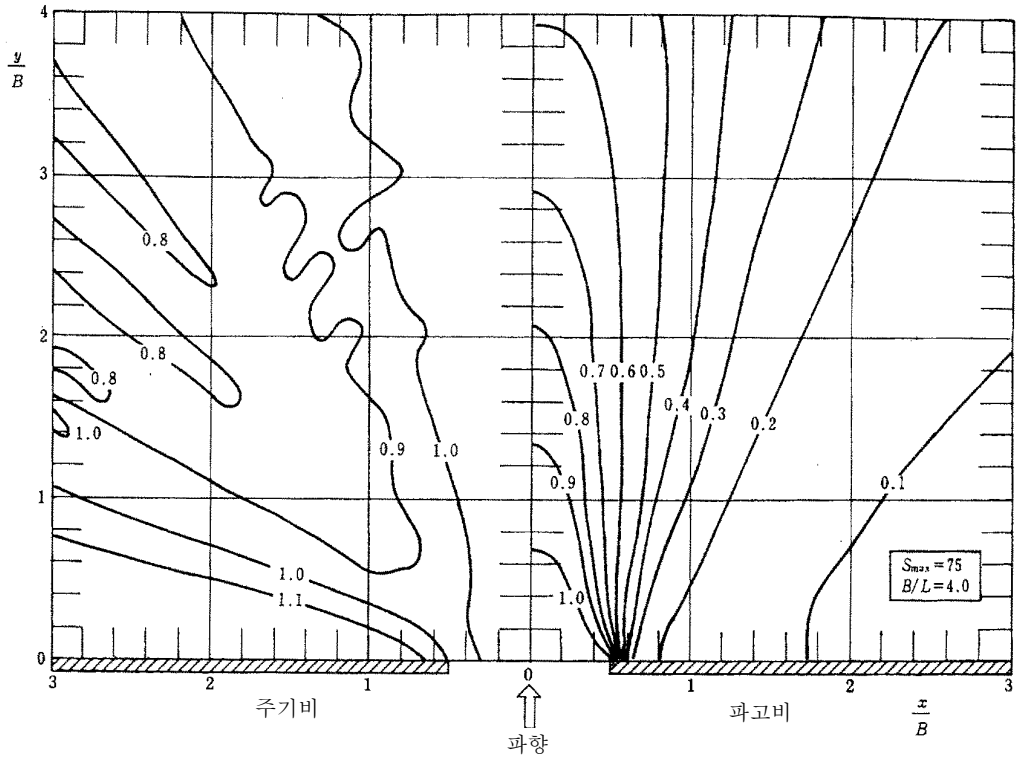
(2) $S_{\max} = 25$

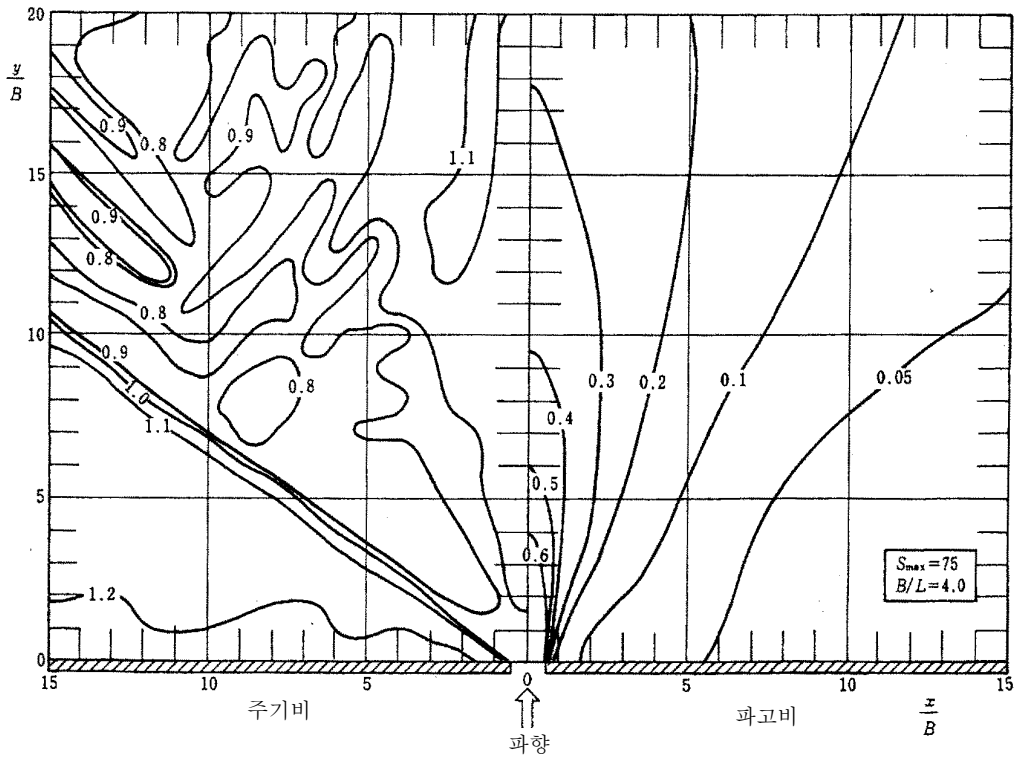




부록 그림 (10-2) 개구방파제에 의한 회절그림 (B/L=4.0, S_{max}=25)

(3) $S_{max} = 75$

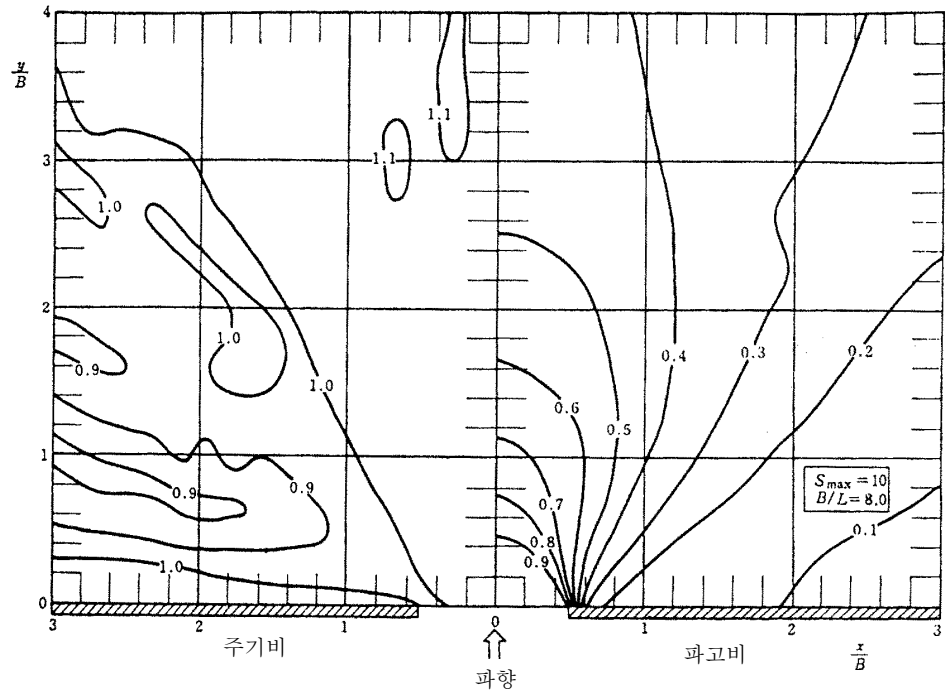


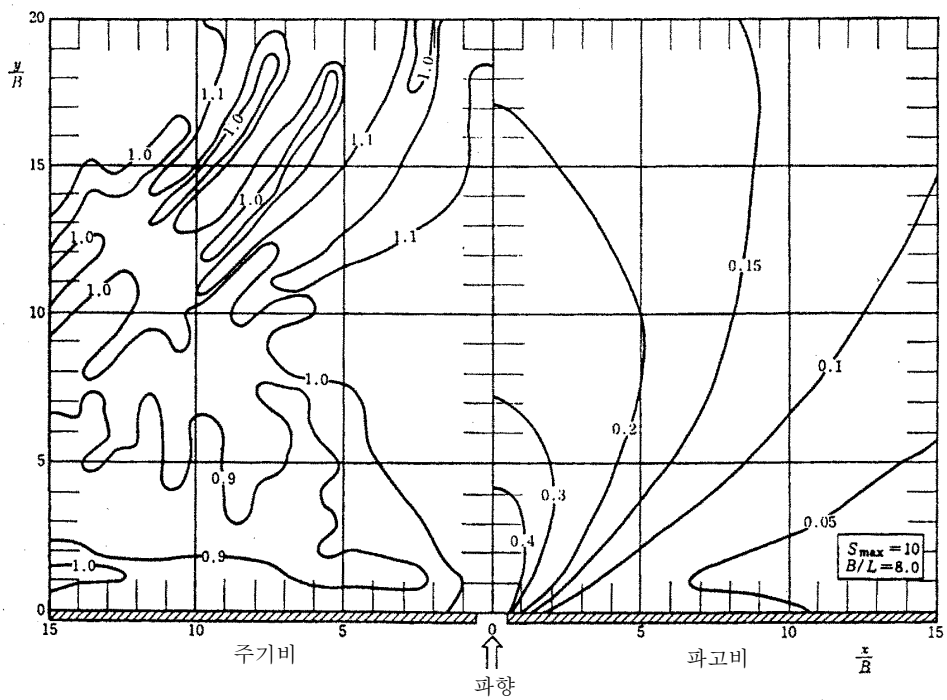


부록 그림 (10-3) 개구방파제에 의한 회절그림 (B/L=4.0, S_{max}=75)

11. 개구방파제에 의한 회절그림(B/L=8.0)

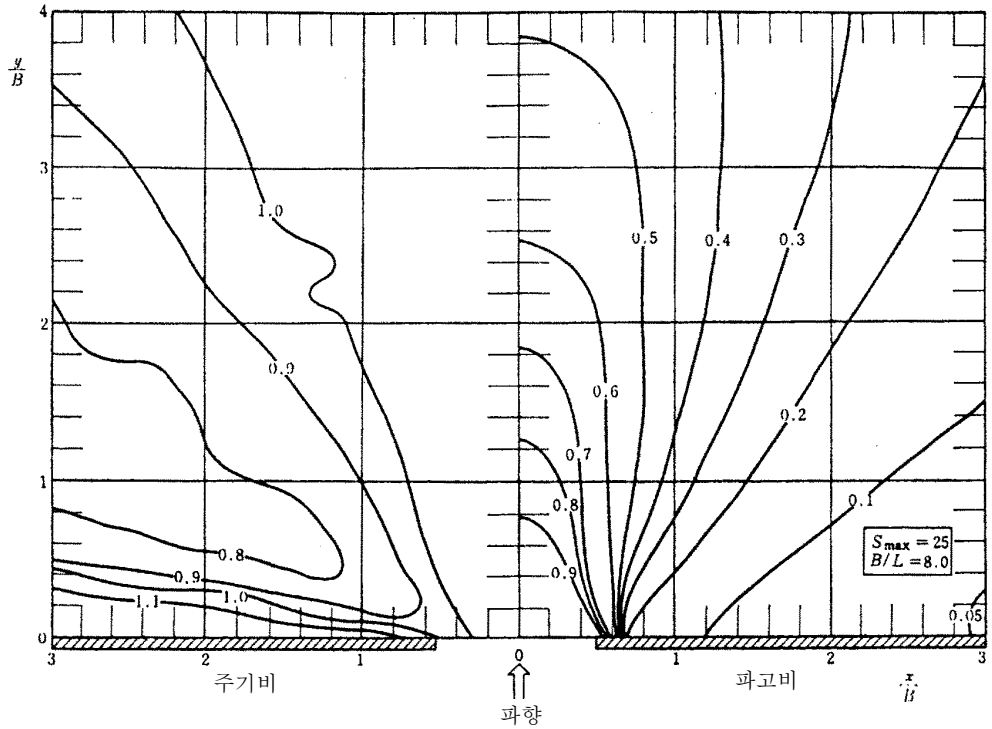
(1) $S_{\max} = 10$

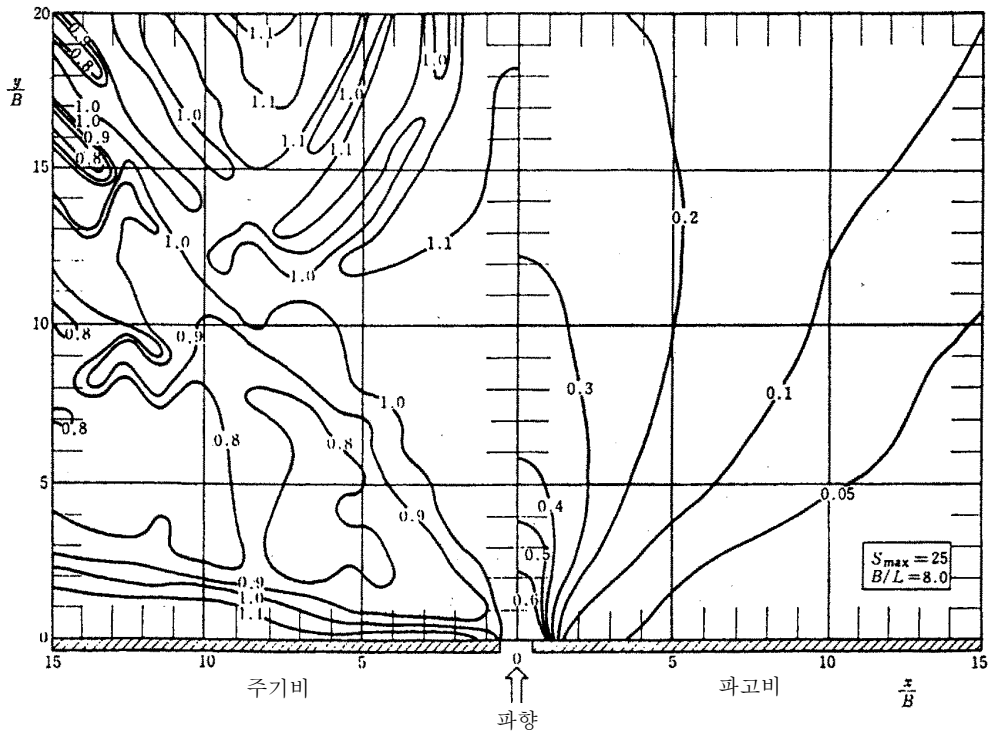




부록 그림 (11-1) 개구방파제에 의한 회절그림 (B/L=8.0, $S_{\max}$=10)

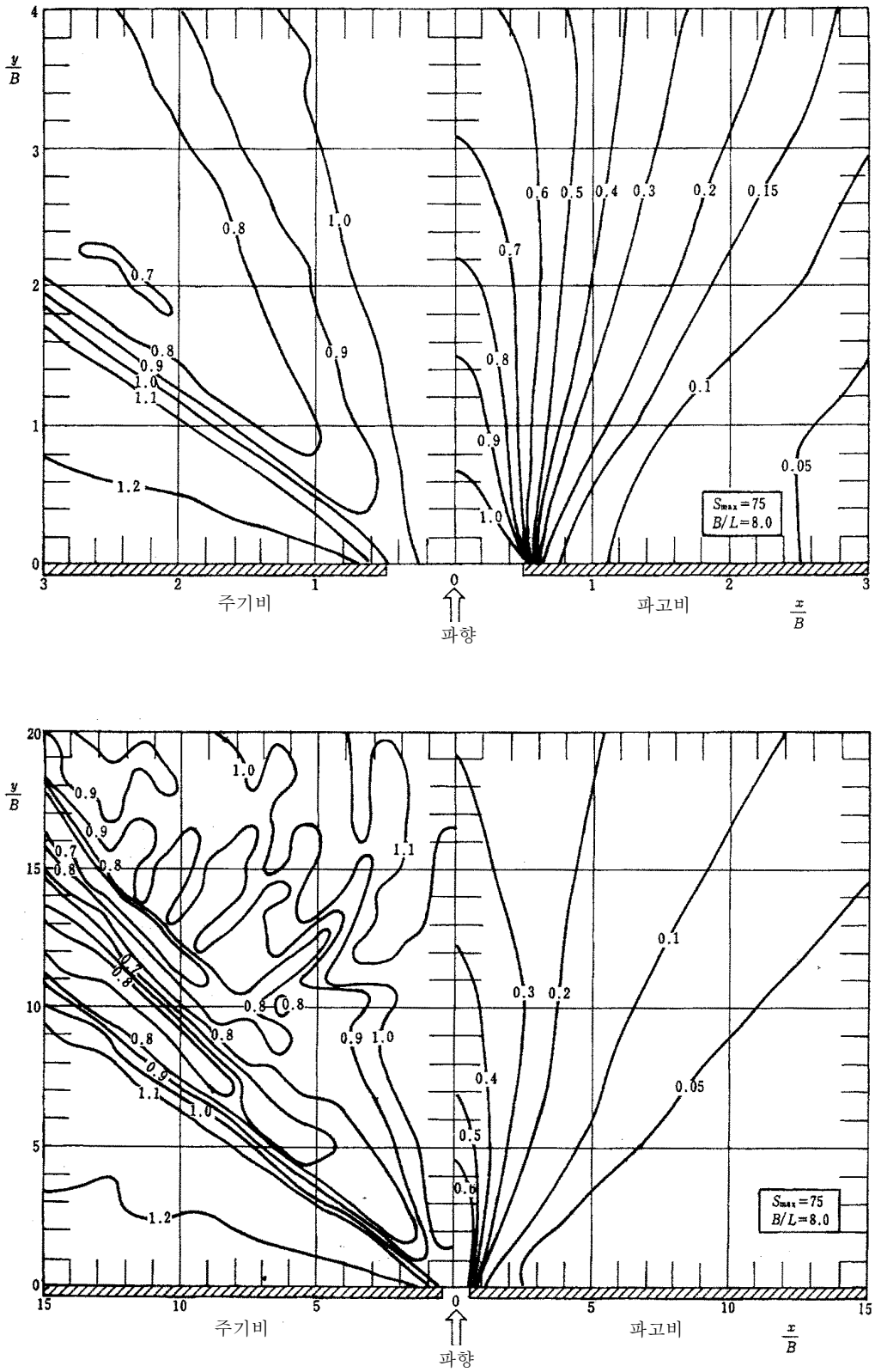
(2) $S_{\max} = 25$





부록 그림 (11-2) 개구방파제에 의한 회절그림 (B/L=8.0, S_{max}=25)

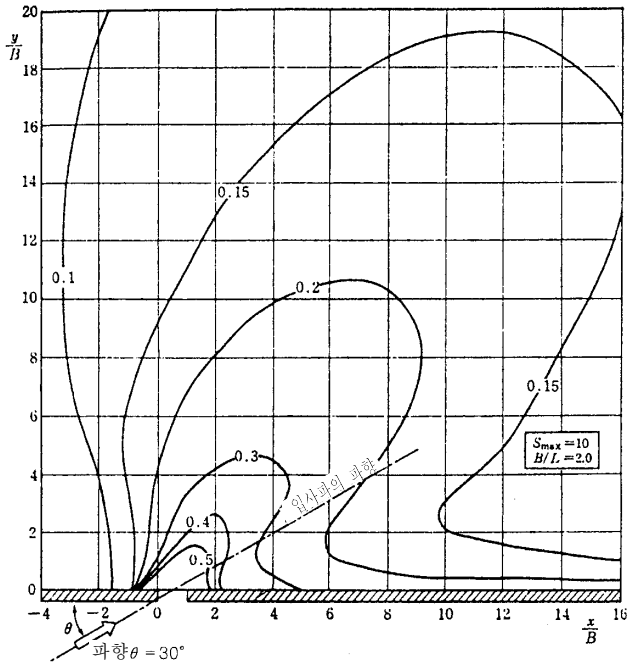
(3) $S_{max} = 75$



부록 그림 (11-3) 개구방파제에 의한 회절그림 (B/L=8.0, S_{max}=75)

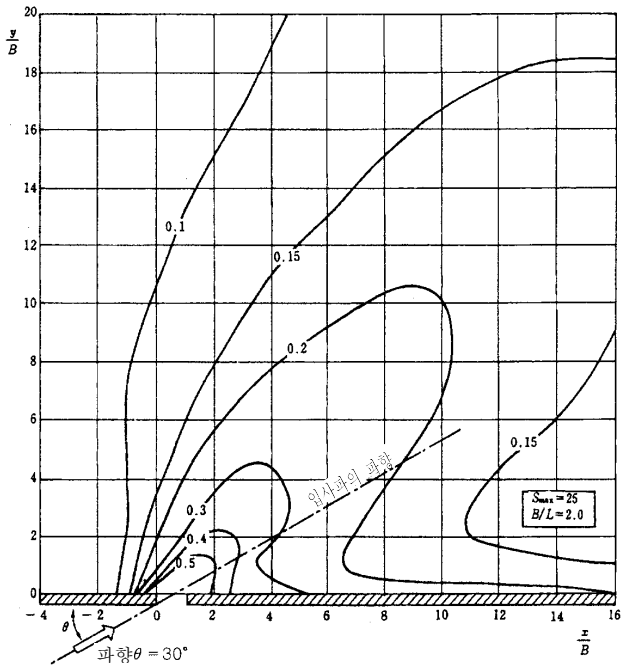
12. 경사진 입사파의 회절그림(B/L=2.0, θ=30°)

(1) $S_{\max} = 10$



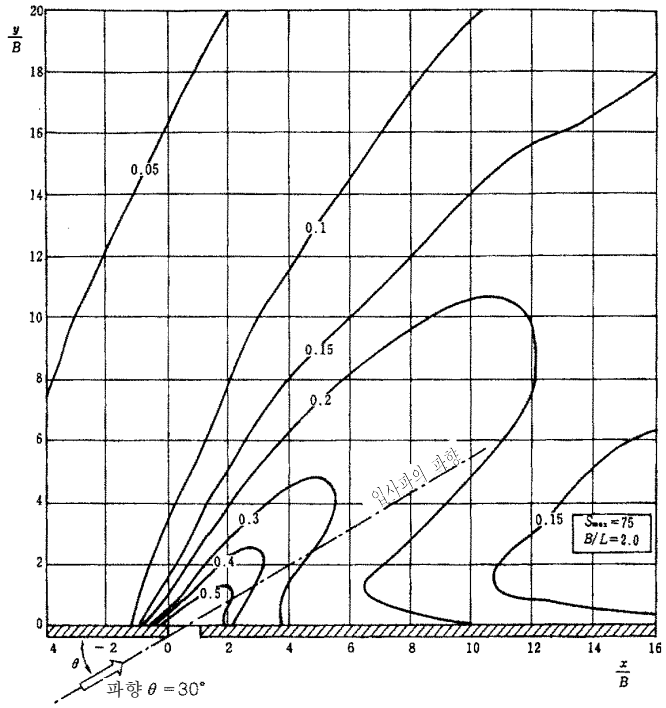
부록 그림 (12-1) 경사진 입사파의 회절그림 (B/L=2.0, θ=30° , $S_{\max}$=10)

(2) $S_{\max} = 25$



부록 그림 (12-2) 경사진 입사파의 회절그림 (B/L=2.0, θ=30° , $S_{\max}$=25)

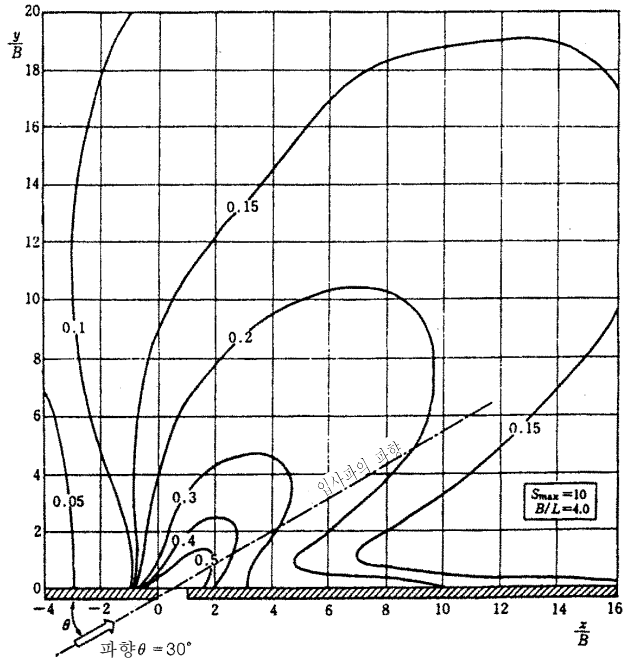
(3) $S_{\max} = 75$



부록 그림 (12-3) 경사진 입사파의 회절그림 (B/L=2.0, θ=30° , $S_{\max}$=75)

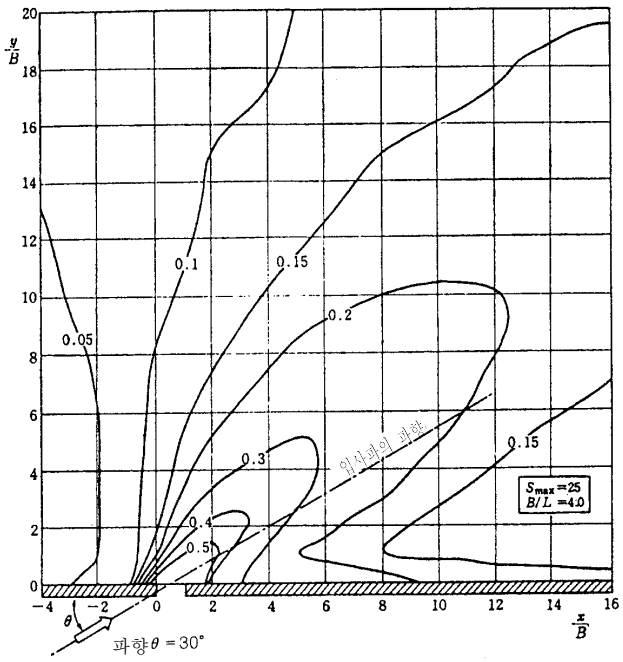
13. 경사진 입사파의 회절그림(B/L=4.0, θ=30°)

(1) $S_{\max} = 10$



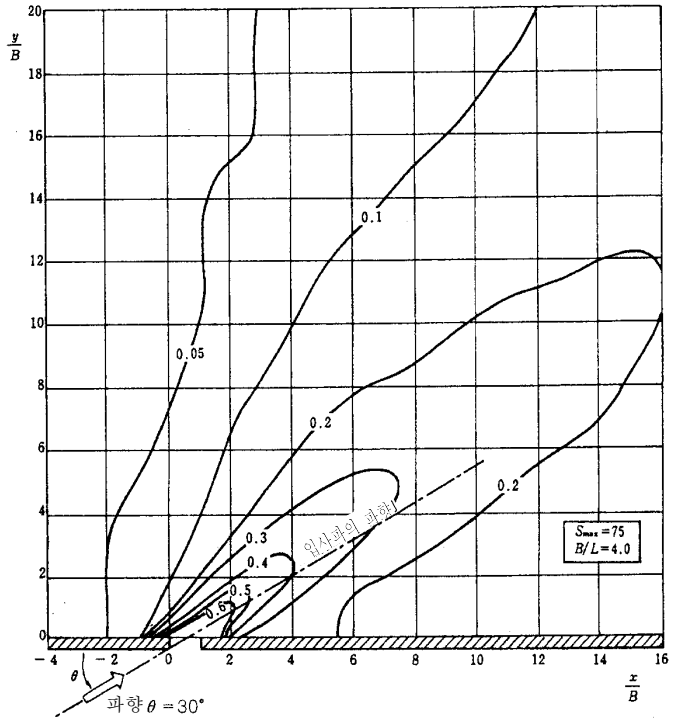
부록 그림 (13-1) 경사진 입사파의 회절그림 (B/L=4.0, θ=30° , $S_{\max}$=10)

(2) $S_{\max} = 25$



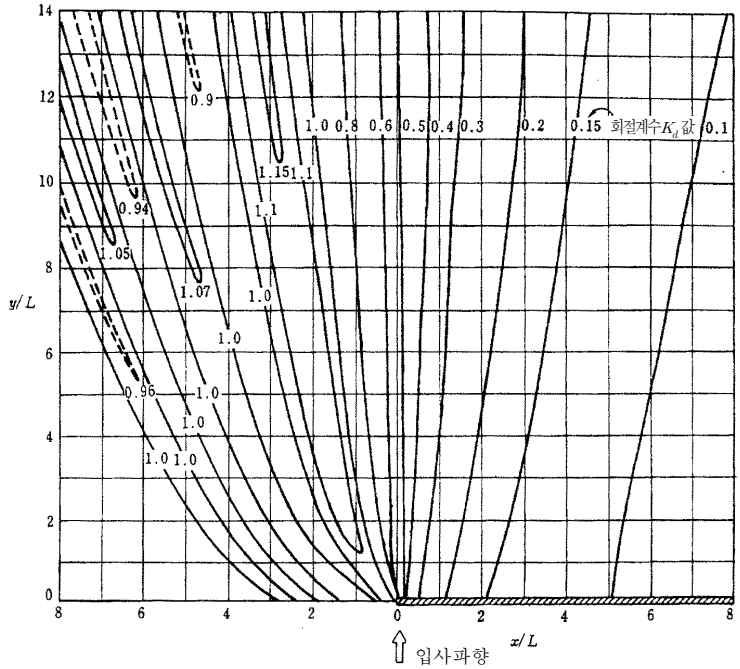
부록 그림 (13-2) 경사진 입사파의 회절그림 (B/L=4.0, θ=30° , $S_{\max}$=25)

(3) $S_{max} = 75$

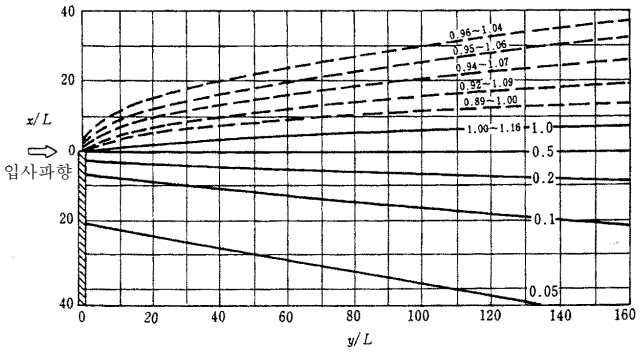


부록 그림 (13-3) 경사진 입사파의 회절그림 (B/L=4.0, θ=30° , S_{max}=75)

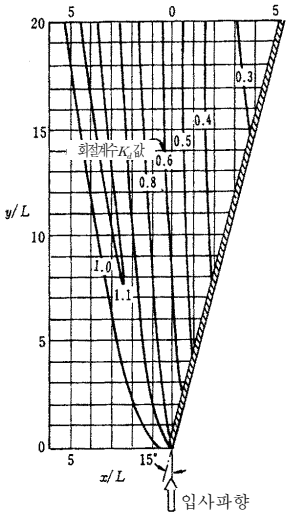
14. 반무한제에 의한 규칙파의 회절도



(a) $\theta_o = 90^\circ$

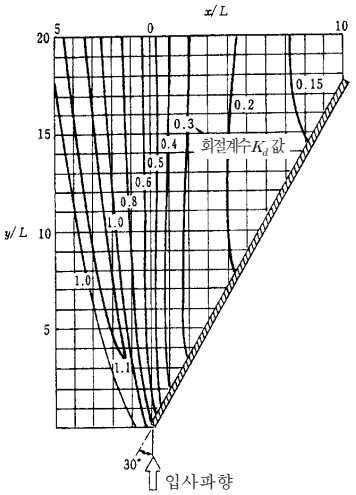


(b) $\theta_o = 90^\circ$

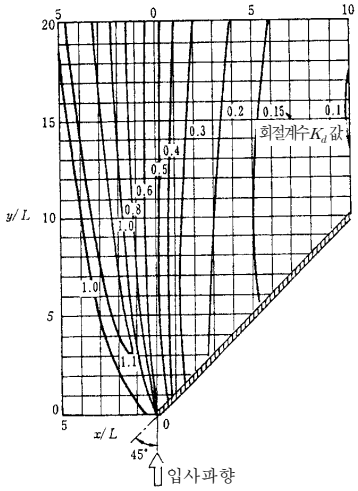


(c) $\theta_o = 15^\circ$

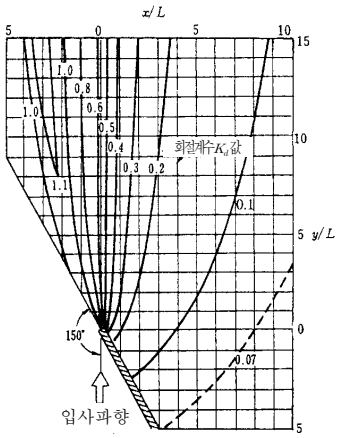
부록 그림 (14-1) 반무한제에 의한 규칙파의 회절도



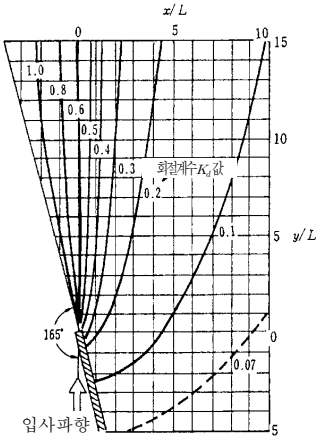
(d) $\theta_o = 30^\circ$



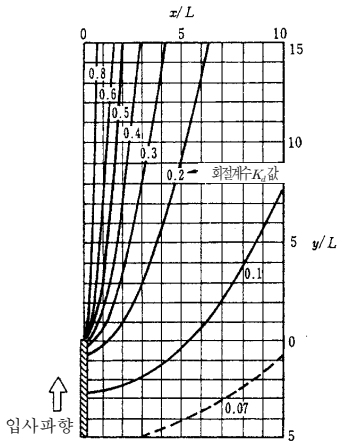
(e) $\theta_o = 45^\circ$



(f) $\theta_o = 150^\circ$



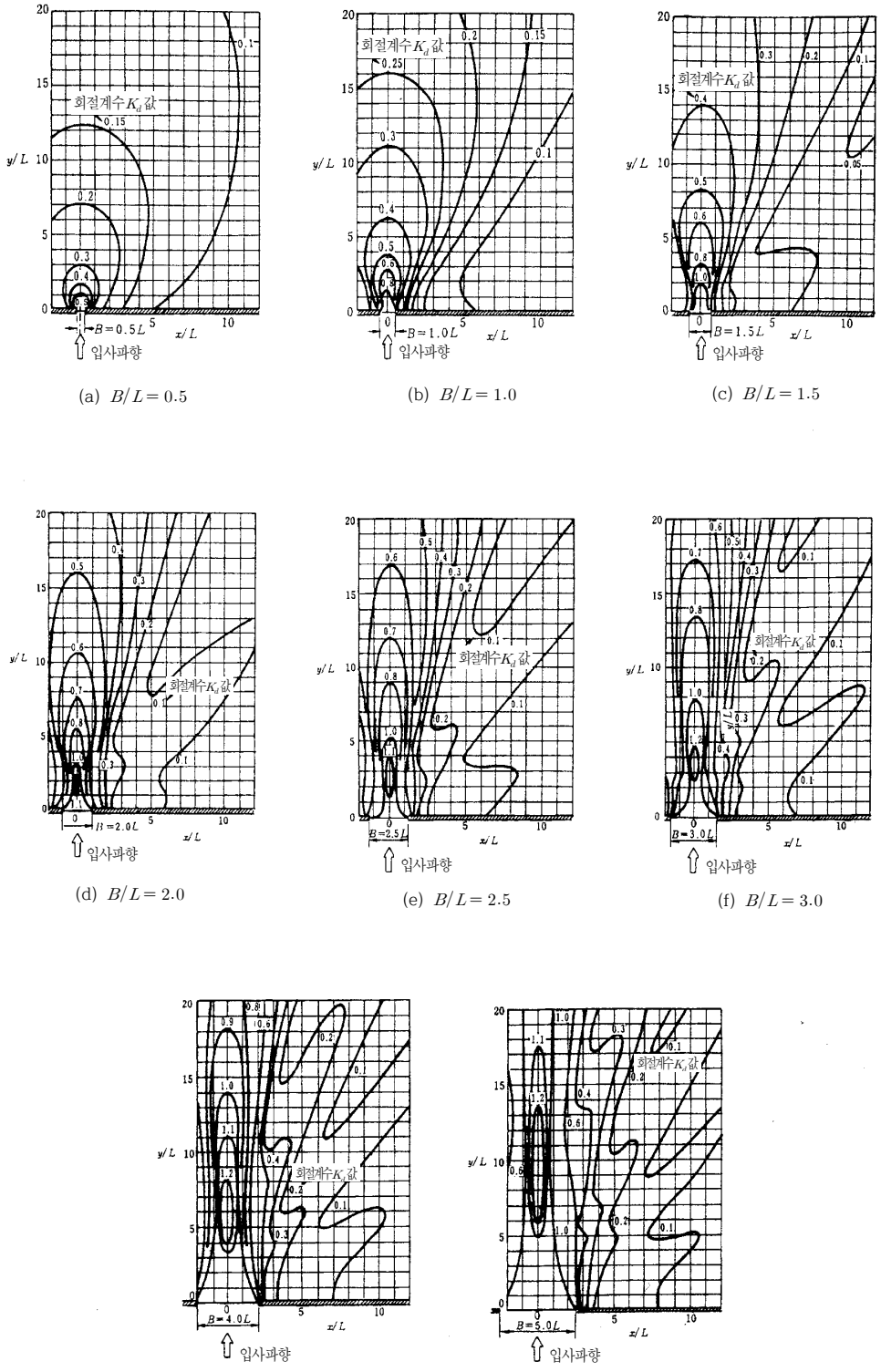
(g) $\theta_o = 165^\circ$



(h) $\theta_o = 180^\circ$

부록 그림 (14-1) 반무한제에 의한 규칙파의 회절도(계속)

15. 개구부를 갖는 방파제에 의한 규칙파의 회절도



(a) $B/L = 0.5$ (b) $B/L = 1.0$ (c) $B/L = 1.5$

(d) $B/L = 2.0$ (e) $B/L = 2.5$ (f) $B/L = 3.0$

(g) $B/L = 4.0$ (h) $B/L = 5.0$

부록 그림 (15-1) 개구부를 갖는 방파제에 의한 규칙파의 회절도

집필위원	분야	성명	소속	직급
(2017년)	총괄	류혁근	㈜삼영기술	부회장
	총괄	안익성	㈜항도엔지니어링	사장
	파랑및파력	이종인	전남대학교	교수
	조석	김태인	㈜지오시스템리서치	부사장
	수역시설	이홍훈	목포해양대학교	교수
	준설및매립	박남홍	㈜도화엔지니어링	전무
	지반	유남재	강원대학교	교수
	지반	이충호	㈜알지오이엔씨	대표이사
	콘크리트	이재훈	영남대학교	교수
	콘크리트	최정욱	한국콘크리트학회	책임연구원
	방식	배일용	한국화학융합시험연구원	책임연구원
	도장	이창근	도로교통연구원	책임연구원
	외곽시설	고덕형	㈜한국항만기술단	부사장
	표사, 연안보전시설	강윤구	㈜세광종합기술단	기술연구소장
	연안보전시설	박원경	㈜대영엔지니어링	상무
	재료프리캐스트콘크리트부재	김광태	㈜항도엔지니어링	부사장
	계류시설	구본수	㈜건화	전무
	계류시설	이욱한	㈜건일	부사장
	부두포장	문성호	서울과학기술대학교	교수
	내진	최재순	서경대학교	교수
	전문및기타부두	이화수	㈜한국항만기술단	전무
	어항	강석형	㈜세일종합기술공사	부사장
	마리나	정현	㈜오션스페이스	대표이사
	항로표지시설	김민철	㈜아이플러스원	연구소장
	항만하역시설	심영석	코리아테크인스펙션㈜	부사장
	항만전기설비	김홍인	㈜한양케엔이	대표이사

설계조건

집필위원	분야	성명	소속	직급
(2020년 일부개정)	총괄	고덕형	㈜유신	부사장
	항만및해안	오세범	전남대학교	책임연구원
	항만및해안	윤성범	한양대학교	교수
	해양	정원무	한국해양수산과학기술원	책임연구원
	해양	안익장	㈜혜인이엔씨	대표이사
	해양	박원경	㈜대영엔지니어링	전무
	해양	오병철	㈜해강기술	대표이사
	해양	최혁진	㈜해안해양기술	대표이사

집필위원	분야	성명	소속	직급
(2021년 일부개정)	총괄	오세범	전남대학교	책임연구원
	항만및해안	유병화	㈜대영엔지니어링	대표이사
	항만및해안	고덕형	㈜유신	부사장
	항만및해안	이선용	㈜세광종합기술단	대표이사
	항만및해안	김홍석	㈜수성엔지니어링	부사장
	항만및해안	이욱한	㈜건일	부사장
	항만및해안	이화수	㈜한국항만기술단	부사장
	항만및해안	김봉주	한국항만협회	팀장
	해양	안익장	㈜혜인이엔씨	대표이사
	해양	박원경	㈜대영엔지니어링	전무

집필위원	분야	성명	소속	직급
(2023년 일부개정)	항만및해안	이욱한	연안항만엔지니어링	사장
	항만및해안	이화수	한국항만기술단	부사장
	선박	조익순	한국해양대학교	교수
	항만기술기준 전문기관	강윤구	한국항만협회	팀장
	항만기술기준 전문기관	조명환	한국항만협회	대리

집필위원	분야	성명	소속	직급
(2024년 일부개정)	총괄	강윤구	한국항만협회	팀장
	항만및해안	지창환	한국항만협회	부장
	항만및해안	김용희	한국항만협회	차장
	항만및해안	조명환	한국항만협회	대리
	항만및해안	김진호	㈜TMG종합엔지니어링	사장
	항만및해안	박인호	㈜세일종합기술공사	부사장
	항만및해안	안익장	㈜혜인이앤씨	대표이사

심의위원	분야	성명	소속	직급
(2 0 1 7 년)	총괄	주 재 욱	㈜평화엔지니어링	고문
	파랑및파력	오 세 범	㈜세광종합기술단	부회장
	조석	강 석 구	한국해양과학기술원	책임연구원
	수역시설·준설및매립	이 윤 한	㈜도화엔지니어링	부회장
	지반	임 종 철	부 산 대 학 교	교수
	콘크리트	김 우	전 남 대 학 교	교수
	방식·도장	라 윤 강	㈜한국국토안전연구원	원장
	외곽시설	전 인 식	건 국 대 학 교	교수
	표사,연안보전시설	김 효 섭	국 민 대 학 교	교수
	표사,연안보전시설	전 인 식	건 국 대 학 교	교수
	재료·계류시설	이 진 용	㈜세광종합기술단	사장
	재료·계류시설	정 대 연	㈜대영엔지니어링	대표이사
	부두포장	정 진 훈	인 하 대 학 교	교수
	내진	박 두 희	한 양 대 학 교	교수
	전문및기타부두	오 세 범	㈜세광종합기술단	부회장
	어항	이 상 기	㈜ 건 일	부사장
	마리나	지 삼 업	부 경 대 학 교	교수
	항로표지시설	이 승 재	대 기 해 양 ㈜	상임고문
	항만하역시설	함 성 진	㈜인천항시설관리센터	소장
	항만전기설비	김 세 동	두 원 공 과 대 학 교	교수

심의위원	분야	성명	소속	직급
(2023년 일부개정)	공통	김 남 욱	호 남 대 학 교	교수
	공통	이 우 동	경 상 국 립 대 학 교	교수
	공통	조 충 현	인 천 항 만 공 사	실장
	공통	허 정 석	여 수 광 양 항 만 공 사	부장
	선박제원	김 남 민	티엠지종합엔지니어링㈜	전무
	재료	김 형 열	한국건설기술연구원	선임연구위원
	항만전기설비	유 병 철	한국과학기술연구원	전문원
	어항	차 종 호	한 국 어 촌 어 항 공 단	부장
	조사	김 일 섭 (해 양)	㈜세광종합기술단	전무
	조사	오 종 민 (측 량)	공간정보산업진흥원	처장

심의위원	분야	성명	소속	직급
(2024년 일부개정)	항만및해안	윤재선	한국농어촌공사	책임연구원
	항만및해안	윤현덕	명지대학교	교수
	토목시공	김성호	대보건설	대표이사
	토목시공	윤성민	영남대학교	교수
	토질및기초	추연욱	공주대학교	교수

기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
(2017년)	총론	송인철	㈜혜인이엔씨	부사장
	파랑·조석	김규한	가톨릭관동대학교	교수
	파랑·조석	이달수	㈜혜인이엔씨	기술고문
	수역시설·준설및매립	한명식	㈜유신	부사장
	지반·내진	권오순	한국해양과학기술원	책임연구원
	내진	김동수	한국과학기술원	교수
	콘크리트·부두포장	김제인	㈜건일	부사장
	외곽시설	홍근	㈜삼영기술	사장
	표사,연안보전시설	김인호	강원대학교	교수
	계류시설	유병화	㈜대영엔지니어링	부사장
	계류시설	소준영	㈜세일종합기술공사	부사장
	전문및기타부두	김태유	㈜아산이엔지	부사장
	전문및기타부두	김홍석	㈜수성엔지니어링	부사장
	방식·도장	송종현	㈜고려안전연구원	회장
	항로표지시설	이승영	인천지방해양수산청	항로표지과장
	항만하역시설	최광학	인천지방해양수산청	항만개발과장
	항만전기설비	이충환	㈜세종기술단	전무

기술자문위원회	분야	성명	소속	직급
(2020년 일부개정)	항만및해안	김영복	경남대학교	교수
	항만및해안	손상영	고려대학교	교수
	항만및해안	유병화	㈜대영엔지니어링	사장
	항만및해안	이선용	㈜세광종합기술단	부사장
	항만및해안	이욱한	㈜건일	부사장
	해양	김인호	강원대학교	교수
	해양	김태림	군산대학교	교수

중앙항만정책심의회	분야	성명	소속	직급
(2020년 일부개정)	항만개발	오경은	피아건축종합사무소	소장
(2021년 일부개정)	항만개발	이종인	전남대학교	교수
	항만개발	김건우	목포해양대학교	교수
	항만시설기술기준	김규한	관동대학교	교수
	항만시설기술기준	조미라	인덕대학교	교수
	항만시설기술기준	조계춘	한국과학기술원	교수
	항만시설기술기준	송정화	부산항만공사	실장
	항만시설기술기준	윤현덕	명지대학교	교수

중앙항만정책심의회	분야	성명	소속	직급
(2023년 일부개정)	항만개발	이종인	전남대학교	교수
	항만개발	우수한	중앙대학교	교수
	항만시설기술기준	김영택	한국건설기술연구원	연구위원
	항만시설기술기준	김인호	강원대학교	교수
	항만시설기술기준	송정화	부산항만공사	부장
	항만시설기술기준	정민영	㈜유신	부사장
	항만시설기술기준	조미라	인덕대학교	교수

중앙항만정책심의회	분야	성명	소속	직급
(2024년 일부개정)	의장	남재헌	해양수산부	국장
	항만개발	박영현	한국해양과학기술원	책임연구원
	항만개발	우수한	중앙대학교	교수
	항만시설기술기준	김성진	인천항만공사	처장
	항만시설기술기준	김영택	한국건설기술연구원	선임연구위원
	항만시설기술기준	안익성	㈜항도엔지니어링	사장
	항만시설기술기준	오정은	한국해양과학기숭원	연수연구원
	항만시설기술기준	조미라	인덕대학교	교수

해양수산부	성명	소속	직책
	남재헌	항만국	국장
	전충남	항만기술안전과	과장
	전형준	항만기술안전과	사무관
	이지수	항만기술안전과	주무관

설계기준
KDS 64 10 10 : 2024

설계조건

2017년 08월 16일 제정
2018년 09월 27일 개정
2019년 09월 02일 개정
2020년 09월 28일 개정
2021년 11월 02일 개정
2023년 12월 26일 개정
2024년 12월 24일 개정

(관련단체)
한국항만협회
07271 서울시 영등포구 양산로 53(양평동 3가)
월드메르디앙 비즈센터 707호
☎ 02-2165-0090 E-mail : kpha@koreaports.or.kr
http://www.koreaports.or.kr

항만기술기준본부
07271 서울시 영등포구 양산로 53, 705호
(양평동 3가, 월드메르디앙비즈센터)
☎ 02-2165-0103~6 E-mail : kpcs@koreaports.or.kr
https://kpcs.portcals.go.kr

해양수산부
30110 세종특별자치시 다솜2로 94 (어진동)
정부세종청사 5동 항만기술안전과
☎ 044-200-5951, 5952
https://www.mof.go.kr