

KDS 67 65 20 : 2018

해면간척 방조제 설계

2018년 04월 24일 제정

<http://www.kcsc.re.kr>



건설기준 코드 제·개정에 따른 경과 조치

이 코드는 발간 시점부터 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

건설기준 코드 제 · 개정 연혁

- 이 기준은 KDS 67 65 20 : 2018 으로 2018년 04월에 제정하였다.
- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준 간 중복 · 상충을 비교 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준의 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준 코드	주요사항	제 · 개정
농지개량사업 계획설계기준 해면간척편	• 농지개량사업 계획설계기준 해면간척편 제정	제정 (1972. 12)
농지개량사업 계획설계기준 방제공편	• 농지개량사업 계획설계기준 방제공편 제정	제정 (1987. 12)
농지개량사업 계획설계기준 해면간척편	• 농지개량사업 계획설계기준 해면간척편 개정	개정 (1991. 12)
농업생산기반정비사업 계획설계기준 해면간척편	• 농업생산기반정비사업 계획설계기준 해면간척편 개정	개정 (1997. 12)
KDS 67 65 20 : 2018	• 국토교통부 고시 제2013-640호의 “건설공사기준 코드체계” 전환에 따른 건설기준을 코드로 정비 (농업생산기반정비사업 계획설계기준 해면간척편 및 방제공편 합본) • 건설기술진흥법 제44조 및 제44조의 2에 의거하여 중앙건설심의위원회 심의·의결	제정 (2018. 04)

제 정 : 2018년 04월 24일
 심 의 : 중앙건설기술심의위원회
 소관부서 : 농림축산식품부 농업기반과
 관련단체(작성기관) : 한국농어촌공사(한국농공학회)

개 정 : 년 월 일
 자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회

목 차

1. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용 범위	1
1.3 참고기준	1
1.4 용어의 정의	1
1.5 기호의 정의	1
2. 조사 및 계획	1
3. 재료	1
4. 설계	1
4.1 방조제의 노선과 형식	1
4.2 방조제의 설계	4
4.3 안정성검토	33
4.4 끝막이공의 기본	51



해면간척 방조제 설계

1. 일반사항

1.1 목적

· 내용 없음

1.2 적용 범위

· 내용 없음

1.3 참고기준

· 농업생산기반정비사업계획 설계기준, 1991 : 해면간척편.

1.4 용어의 정의

· 내용 없음

1.5 기호의 정의

· 내용 없음

2. 조사 및 계획

· 내용 없음

3. 재료

· 내용 없음

4. 설계

4.1 방조제의 노선과 형식

4.1.1 설계의 기본방침

해면간척 방조제 설계

- (1) 방조제의 설계는 설계의 대상이 되는 시설의 기능과 목적을 충분히 이해하고 설계에 영향을 끼치는 여러 조건을 고려하여 가장 적합한 시설이 경제적으로 건설되도록 해야 한다.

4.1.1.1 일반사항

- (1) 모든 시설의 설계는 그 목적과 설계에 관한 여러 조건을 충분히 파악함과 동시에 방조제시설이 지역사회에 대한 역할, 다른 시설 계획과의 연관성, 외곽으로서의 기능 향상 등 종합적 관점에서 신중하게 검토하고 목적에 맞는 시설을 설계해야 한다.

4.1.1.2 설계에 영향을 끼치는 요소

- (1) 방조제 시설물의 기능

각 시설은 방조제를 구성하는 요소의 하나임을 인식하고 방조제 전체의 기능이 최대가 되도록 각 시설을 설계해야 한다.

- (2) 시설물의 기능

어떠한 기능을 가진 시설을 만드느냐 하는 것은 그 시설의 목적을 이해하고 이용자의 편의와 경제성을 충분히 고려해서 결정해야 한다.

- (3) 시설물의 중요도

내용연수, 자연조건 하중 및 안전율 등을 결정하는 경우에는 시설의 중요도를 염두에 두어야 한다.

- (4) 내용연수

시설물을 설계할 때에는 그 내용연수를 검토하여 설계해야 한다. 그러나 내용연수라는 개념 중에는 경제적, 기능적, 물리적 요건이 포함되어야 한다. 앞의 두 가지는 주로 계획단계에서 고려하고 설계단계에서는 물리적인 면을 중점적으로 고려해야 한다.

- (5) 안전율

안전율은 안전성을 나타내는 것이기도 하지만 현재로서는 오히려 설계에 있어서 여러 가지 불명확한 점을 보장하는 계수로서의 의미가 더 강하다.

이 기준에서는 표준적인 조건하에서 충분히 안전하다고 판단되는 값을 취하도록 한다. 다만 조건에 따라서는 이들 안전율의 값을 낮출 수도 있으나 이러한 경우는 충분한 이유가 있을 때에 한하며 신중한 판단으로 결정해야 한다.

- (6) 방조제의 안전율 결정시에는 자연조건 축조재료의 입수여건, 끝막이 시기, 시공 장비, 시공성의 난이 등도 고려되어야 한다.

4.1.2 방조제 노선 선정시의 고려사항

- (1) 방조제 노선은 기상, 해상, 지형, 지질 등에 의해서 현지상황에 적합함은 물론 간척의 규모, 기존시설, 토지 및 수면의 이용 상황과 장래계획을 신중히 고려하여 가장 적합한 노선계획을 수립해야 한다.

- (2) 방조제 노선결정시에 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 가급적 파랑이 집중되는 위치는 피해야 한다.
- ② 지진이 불량한 곳은, 가급적 피하고, 또 끝막이를 포함한 일반물막이가 쉬운 위치이어야 한다.
- ③ 갯(岬)이나 섬 등을 가능한 이용하는 것이 좋으며 또한 시공하기 쉬운 위치이어야 한다.
- ④ 방조제 설치후의 인접구역에 미치는 영향에 대하여 충분히 고려해야 한다.
- ⑤ 장래의 발전을 저해하지 않는 위치여야 한다.
- ⑥ 배수시설을 포함한 부대시설 설치조건이 양호해야 한다.
- ⑦ 임해 산업시설로 활용할 경우 선박의 접안, 하역, 정박등에 지장을 초래하지 않는 충분한 수역을 확보할 수 있어야 한다.

4.1.3 방조제의 분류와 형식의 선정

- (1) 방조제 형식을 선정할 때는 방조제 특성을 고려하여 배치조건, 자연조건, 이용조건, 시공조건, 축제 재료조건, 중요도, 유지보수의 난이, 공기, 공사비 및 보상비 등을 합리적으로 비교 검토한 후 결정해야 한다.

4.1.3.1 방조제의 형식과 분류

- (1) 방조제 형식은 바깥쪽 비탈의 기울기, 구조, 축제재료 등에 따라 분류할 수도 있으나 경사형과 직립형은 바깥쪽 비탈의 기울기에 따라 구분한다. 두 형식은 수리, 구조, 축제재료 등에서 차이가 있다. 혼합형은 장소와 목적에 따라서 양형식의 장점을 살릴 수 있도록 절충한 것이다.

4.1.3.2 형식의 선정

- (1) 방조제 형식의 선정은 대단히 어려우며 일방적인 측면에만 치우쳐서는 안 된다.
- (2) 기상, 해상 및 토질 조건은 이론 또는 실험 치로써 그 결과를 추정할 수가 있지만 이에 여러 가지의 불확실성이 내포되어있어 풍부한 체험과 실증적인 면을 유효적절하게 활용하여 방조제의 형식을 선정해야 한다.
- (3) 일반적으로 간사지의 기초 지반은 이토인 경우가 많고 심해로 갈수록 제고가 높아지므로 지반에 대한 안전이 문제가 된다. 제고가 높아짐에 따라 기초지반파괴와 함께 제체 활동 및 침하 등이 수반되게 마련이다.
- (4) 이러한 요소를 정확히 검토해야하며 만약 지반의 지지력이 부족시 부지 폭이 넓은 환경사형을 취하는 것과 기초지반개량 또는 압사석(압성토 포함)등을 검토하여 결정해야 한다. 그러나 지반이 견고하고 지반고가 높거나 간석지 규모가 비교적 작을 때와 방조제의 부지가 제한되어 있을 때는 직립형이 유리하나 일반적으로 연약한 지반에서는 경사형이 지반지지력상 유리하다.
- (5) 한편, 수리 조건으로 볼 때 조위자체가 형식 선정을 크게 좌우하는 요소는 아니지만 제방전면의 상고사석, 압사석 및 콘크리트 블록 등으로 인해 충분한 감세 역할을 못하면 직립제 전면에 완전한 중복파가 발생치 않고 파랑은 쇄파되어 최악의 조건인 파력이 발생하게 된다. 그러므

해면간척 방조제 설계

로 쇄파수심이내에서의 수심에서는 직립형을 택해서는 안 된다.

- (6) 일반적으로 쇄파가 일어날 가능성이 있는 수심 범위에서 파력을 분산시키고 충격압을 완화하기 위하여 환경사형을 택하는 것이 안전하다. 이외에도 끝막이의 계획 단면과의 연관성 등 복합적으로 고려되어 적합한 형식을 취해 야하고 새로운 형식을 채용할 때는 반드시 수리모형 실험을 통하여 제체전체에 미치는 영향 등 충분한 검증을 해야 한다.

4.2 방조제의 설계

4.2.1 기상 및 해상

- (1) 우리나라는 선진국에 비해 기상 및 해상자료가 미약하고 더욱이 사업지역에 대한 실측자료는 거의 없기 때문에 되도록 각종자료를 사전에 실측할 것이며 특히 해상풍(海上風) 및 각 요인에 의한 조위편차의 추정이나 설계파의 결정 등은 여러 가지 방법으로 비교하고 인근 기설지구의 현황 등을 고려하여 신중하게 결정해야 한다.

4.2.1.1 바람

방조제의 독마루 결정을 위해서는 파압, 파고, 설계고조위의 추산인자(推算因子)인 해상풍의 풍향, 풍속의 정확한 결정이 필요하다. 해상풍의 풍속추정방법은 일기도를 이용하는 방법과 연안관측소의 풍속자료에 의한 방법이 일반적으로 사용되고 있다.

- (1) 풍향과 풍속 추정자료

해상의 바람을 추정하는 일반적인 방법은 일기도에 의한다. 그러나 대안거리가 100km이하의 해안에서는 측후소 또는 관측소의 수치를 보정한 후에 사용할 수 있다.

상당히 큰 수역에서도 선박이나 육상의 측후소 사이의 동시 관측자료 또는 장기관측 자료를 비교하는 등으로 해상풍과 해안풍(海岸風)과의 사이에 상관관계가 있음이 확인되어 있는 경우에는 해안풍에서 해상풍을 추정할 수 있다.

따라서, 해상풍의 추정은 일기도에 의한 방법만으로 한정할 것이 아니라 자료의 정리가 간편한 육상측후소의 자료를 채택하여도 무방하다.

- (2) 풍향 결정방법

풍향은 방조제의 위치와 방향을 정하는데 중요한 요소가 된다. 방조제노선의 방향과 위치는 특히 최다 풍향 및 최대 풍속 등을 고려하여 결정해야 한다.

또한 해상풍의 풍향과 해안풍의 풍향은 $\Delta\alpha$ 만큼의 차가 있으므로 설계시 풍향 결정에 유의해야 한다.

- ① 해상풍의 풍향

일기도(日氣圖)에서 해상풍의 풍향 결정은 해당 이론 및 경험법칙에 따른다.

- ② 해안풍의 풍향

해안풍의 풍향은 해상풍의 풍향과 육상 측후소의 풍향에서 추정한다.

- ③ 풍향의 보정

이들의 풍향은 어느 것이나 실측 풍향에 의해 보정하여 사용한다.

(3) 해상풍의 풍속 결정방법

① 일반사항

가. 해상풍의 직접 관측은 가장 이상적인 방법이나 우리나라는 해양기상 관측 체계가 정립되지 않아 연근해의 해상풍 관측 자료가 전무한 상태이다. 만약 선박으로 부터 관측한 풍속자료가 있을 시는 관측시의 편차를 제거하고 관측된 고도에서의 해상풍으로 다음식에 의해 환산한다.

$$U = 2.50 U_s^{\frac{7}{9}}$$

여기서, U , U_s 의 단위는 m/s U = 해상풍(m/s), U_s = 관측된 풍속(m/s)

해상풍 추정 방법은 일기도를 이용하는 방법과 연안관측소의 풍속자료로부터 일반적으로 추정하고 있다.

② 일기도를 이용하여 추정하는 방법

가. 등압선이 거의 평행한 직선의 경우

풍속은 지층풍과 같은 것으로 하고 다음식에 의해 산출한다.

$$V = K \times \frac{2 \cdot \Delta b}{b} \times \frac{(273 + t)}{L \cdot \sin \varphi} \times 10^8$$

여기서, V : 해상풍속 (m/s), L : 등압선 간격 (cm), φ : 위도 (도), b : 등압선의 기압 (mb)
 Δb : 등압선간의 기압차 (mb), t : 온도 (°C), K : 보정계수

나. 등압선이 곡선인 경우

이론 풍속은 경도풍과 같다고 보고 다음식에 의해 산출한다.

$$V = K \left\{ \sqrt{\frac{R}{\rho} G + (WR \sin \varphi)^2} - WR \sin \varphi \right\} \times 10^{-2}$$

여기서, V : 해상풍속 (m/s), ρ : 공기의 밀도 $\frac{1.293}{103} \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{b}{1,013} (g/cm^3)$

b : 등압선의 기압 (mb), R : 등압선의 곡률 반경 (cm),

G : 기압경도 = $\frac{1,000 \Delta b}{L} (g/cm^2 \cdot S^2)$

W : 지구자전의 각속도 = 7.3×10^{-5} , φ : 위도 (도), Δb : 등압선간의 기압차 (mb)

L : 등압선 간격 (cm), t : 온도 (°C), K : 보정계수

③ 연안관측소의 풍속자료로부터 추정하는 방법

연안관측소의 관측된 자료를 월별 년별 풍향별로 최대풍속을 추출하여 통계적 외삽법으로 설계 재현기간을 갖는 설계풍속을 정한다. 해상풍속은 연안관측소의 위치에 따라 육상의 표면조도, 지형, 온도차를 고려하여 해상풍(海上風)으로 보정하여 추정한다.

지상풍으로부터의 보정방법은 다음의 순서에 의한다.

해면간척 방조제 설계

가. 지상관측소가 국지적 변화를 일으키는 곳인가 검토한다.

나. 고도보정을 한다.

다. 해안상에 풍속계가 설치되어 있는 경우

R_L (지상풍에 대한 해상풍의 비)은 보정하지 않는다.

라. R_L 보정은 그림에 의하고 대안거리가 16km 이내이면 $R_L = 1.2$ 를 사용하고 $U_L > 18.5\text{m/s}$ 일 때는 $R_L = 0.9$ 를 사용한다.

마. R_T (해수와 대기의 온도차를 고려한 보정)를 수정한다.

바. 지속시간에 따른 보정을 한다.

사. 다음 식으로 풍력변수를 보정한다.

$$U_A = 0.71 U^{1.23} (\text{m/s})$$

(4) 취송(吹送)거리와 시간

① 취송거리는 일기도에서 다음과 같이 구한다. 단, 바람의 방향으로 측정한 대안거리가 불어 오는 거리에 비해서 작을 경우에는 그 방향의 대안거리를 취하여 취송거리로 한다.

가. 등압선이 퍼져있지 않을 경우

바람이 불어오는 구역의 가장자리는 소요지점을 중심으로 하여 직선자를 회전시켜 이것이 저기압(태풍)의 전면에 있어서 각각의 등압선과 $10^\circ \sim 15^\circ$ 에서 만나는 교점을 이은 곡면이 된다. 마찬가지로 후면의 가장자리는 저기압의 후면에 있어서의 각각의 등압선과 $45^\circ \sim 65^\circ$ 에서 만나는 경우의 곡면이다.

이 경우에 불어오는 거리는 풍향의 방향으로 측정한 두 곡면간의 거리이다.

나. 등압선이 퍼져있는 경우

등압선이 저기압지역의 전면 또는 후면에 분포되어 있을 경우에는 취송 영역의 전선 및 후선은 그 퍼지는 지점에 해당한다.

② 취송(吹送)시간

취송시간은 육상측후소의 바람에 관한 자료로부터 산정한다.

단, 자세한 일기도를 얻을 수 있을 때에는 일기도에서 추정한다. 파랑의 예보 또는 추산을 할 경우에 불어오는 시간은 풍향의 변화가 $\pm 22^\circ 30'$ 의 범위 내에 있는 시간을 사용한다.

③ 10분 평균풍속에 대한 취송시간 평균풍속의 비

우리나라 서남해안측후소에서의 최대 10분 평균풍속에 대한 취송시간의 평균풍속의 비는 구해진 그림을 이용한다.

4.2.1.2 조위

(1) 설계고조위

① 설계조위의 결정방법

설계조위는 구조물이 가장 위험할 때에 조위로 하는 것이 원칙이다. 방조제시설과 같이 배후지를 고조나 파랑에 대한 방호시설은 악조건의 설계조위를 선택할 필요가 있다.

방조제, 방파제, 호안 등의 설계에서 파력을 계산할 때에는 구조물 전면에서 파랑이 부서져

최대의 파괴력이 생길 수 있는 조위를 검토하여 구조물이 안전하고 또한 소기의 기능을 발휘할 수 있도록 한다.

② 설계고조위의 추정

고조대책 시설에 대한 설계고조위의 결정방법에는 다음과 같은 방법이 있으므로 최적방법을 채택하도록 한다.

가. 기왕최고조위 또는 이것에 약간의 여유를 더한 조위

나. 대조평균 조위에 기왕의 최대고조위차 또는 모델고조의 조위 편차를 더한 조위

다. 기왕의 이상조위의 발생확률곡선을 구하고, 외삽법으로 어떤 回歸年數, (예 100~1,000년 등)기간에 이보다 높은 조위의 발생회수빈도가 1인 조위

③ 실측값이 없는 경우

실측값이 없는 경우에는 다음의 방법에 따른다.

가. 1년 이상의 조위관측기록에서 평균하면 대조평균만(간)조면, 평균만(간)조면 또는 소조평균만(간)조면을 구하고 단기조화분해로 조화상수를 구한다. 소요지점에서의 조위관측기록을 얻을 수 없거나 또는 조위관측소가 없는 경우에는 국토교통부 수로국의 조석표를 이용하여 인접지역 중에서 조건이 유사한 표준항의 값을 수정하여 사용한다.

나. 기왕의 3년 이상에 걸친 조위관측 기록에서 이상조위의 편차를 구하고 편차가 생긴 일시에 있어서의 각각 풍속, 풍향, 취송시간, 기압, 지형 등을 고려하여 기상에 의한 조위편차를 구하고 이것과 장시간의 기록이 있는 지점과의 상관관계에 대해 검토를 하고 설계에 사용하는 기상종목에 따라 조정한다.

④ 고조 해일 부진동의 동시발생

고조(이상조위) 해일은 드물게 일어나는 현상이므로, 동시에 발생하지 않는 것으로 본다.

(2) 고조 (이상조위)

설계에 사용하는 고조의 제원은 최고조위, 조위편차 및 지속시간이며 여기에 고조조위 곡선과 고조위 발생확률에 대해서도 검토하는 것이 이 제원은 30년 이상의 실측자료로부터 구하는 것을 원칙으로 한다.

① 관측기간

고조의 기록은 될수 있는 대로 장기간에 걸쳐 검토하는 것이 요망되며 30개년은 최소한 관측기간으로 본다. 단, 30개년 정도의 검토기록을 얻을 수 있는 간척 계획지는 거의 없으므로 인접항의 관측치와 기상조건으로 부터 추산하고 또한 기왕의 재해기록의 조사와 현지주민으로부터 기왕의 재해 상황을 청취하는 방법 등을 병용해서 되도록 장기간의 고조에 관해서 검토해야한다.

② 기상조건으로부터의 추산

기압 및 태풍에 수반되는 고조의 추산은 전산처리 함을 원칙으로 한다. 기상고조는 대체로 강한 풍속과 그 취송시간 및 일정한 풍향과 그 계속시간 취송거리 그리고 발달된 저기압내에서 발생하는 너울 등에 의하여 그 규모가 결정된다. 조위편차 추산은 여러 가지 방법이 있으나 방법의 적용은 그 지역의 특성에 따라 다르므로 기존 방조제의 설계내용을 준공 후 재해가 발생하였는지를 검토한 후 적절한 방법을 채택해야한다.

해면간척 방조제 설계

(3) 기상에 의한 조위편차

기상에 의한 조위편차를 분석하기 위해서는 이에 관련된 장기간의 관측기록을 (30개년이상) 수집하여 실제 기록조위와 천문조위를 비교함으로써 이상조위 편차를 구한다.

4.2.1.3 쓰나미(해일)에 의한 편차

설계에 적용되는 해일의 제원은 최고 및 최저수위, 파랑의 상승(쳐오름) 높이 및 주기이다. 이 제원은 될 수 있는 대로 장기간에 걸쳐 실측치 기타자료를 기본으로 한다.

(1) 쓰나미(해일) 제원의 산정

해일은 주로 해저지진에 의하여 異狀파랑이 발생하는 현상을 말하며 지진자체가 매우 우발적인 현상일 뿐만 아니라 지진에 의한 해일의 발생지역도 충분히 해명되어 있지 않으므로 해양상의 해일 제원을 결정하는 것은 매우 어렵다.

또한 해일은 만내에 침입한 뒤부터 그 변화가 현저하여지므로 설계에 적용되는 해일의 제원은 그 지점의 기왕의 해온 기록으로부터 결정하는 것이 이상적이다.

우리나라 연안의 해일 현상은 별로 없으며 대부분의 경우 기상고조현상이가 할 수 있다.

$$\text{해일의 파장 } L = T \cdot \sqrt{gh}$$

$$\text{해일의 전파속도 } C = \sqrt{gh}$$

$$\text{해일의 파고변형: } \frac{H}{H_o} = \left(\frac{b_o}{b}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{h_o}{h}\right)^{1/4} - \text{Green 법칙}$$

여기서, L : 해일의 파장 (m), T : 해일의 주기 (s), g : 중력가속도 (9.8m/s^2), h : 수심 (m)

C : 해일의 전파속도 (m/s), H : 소요지점의 해일의 높이 (m)

H_o : 수심 h_o 만의 나비가 b_o 인 점에서의 파고(m), b : 소요지점의 만폭 (m),

H_o : 파고측정지점의 수심 (m), h : 소요지점의 수심 (m)

(2) 해일의 런업 (Runup) 높이

해안경사가 1 : 30인 경우

$$\frac{R}{H} = 0.381 \left(\frac{H}{L}\right)^{-0.316}$$

해안경사가 1 : 60인 경우

$$\frac{R}{H} = 0.206 \left(\frac{H}{L}\right)^{-0.316}$$

여기서, R : 정수면으로부터 측정한 해일의 런업 한계 높이(m)

H : 임의점의 압력 (m), L : 파고측정점에서의 파장 (m)

(3) 해일의 수평압력

$$P = \frac{W}{2} \cdot H$$

여기서, P : 해일가 구조물에 작용하는 수평압력 (tf/m²)

W : 해수단위중량 (tf/m³), H : 구조물 전면의 파고(m)

(4) 부진동(副振動)에 의한 편차

부진동을 일으키기 쉬운 만구(灣口)나 항에서는 설계조위의 결정이나 정온도(靜穩度)를 검토할 때에는 부진동을 고려해야한다.

설계에 사용하는 부진동의 제원은 탁월주기와 진폭이다.

(5) 파랑에 의한 수면상승

① 물결과랑에 의한 수면상승은 수면이 평형상태에 도달하는 데 충분한 기간동안의 많은 파동의 운동을 포함하고 있으며 평형을 이루는데 필요한 시간은 알려지지 않았지만 최소한 1시간정도라고 한다.

② 또한 스펙트럼상에서 매우 파고가 큰 것은 빈번하게 발생되지 않으므로 수면상승에 현저한 영향을 미치지 못하는 유의파고(H_s)를 설계에 적용하여도 무방하다.

③ 해안상에 파랑의 런업에 의해서 도달되는 최고높이를 구하려면 파랑에 의한 수면상승(H_{m0}) 및 기타 영향인자(천문조 바람에 의한 수면상승 등)에 의해 발생하는 런업의 높이를 추정해야 한다.

가. 단색파에 의한 수면상승

나. 임의파에 의한 수면상승

4.2.1.4 파랑

(1) 일반사항

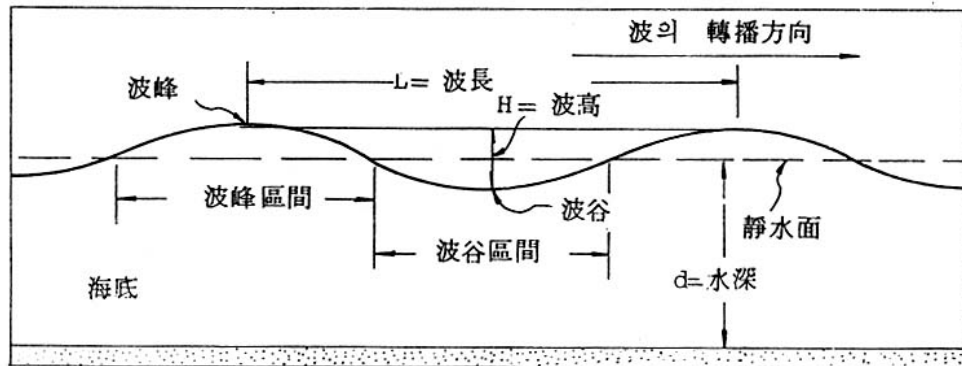
설계과 결정을 위해서는 파랑의 제원, 중력파의 성질, 파형의 성질, 파랑의 통계적 성질 등을 명확히 파악해야 한다.

① 파랑의 제원

파랑에 관한 제원가운데 설계에 필요한 항목 및 기호는 다음과 같은 것으로 한다.

파고 H (m), 수심 d (m), 제방선에 대한 파향(θ), 파장 L (m), 주기 $T(S)$, 파속 C (m/s), 파력 P (tf/m²), 런업 (Run up), 높이 R (m), 월파량 Q (m³), 전에너지(1파장당) E (tfm), 단위시간에 단위나비(폭)를 수송할 수 있는 평균에너지 W (tfm), 해수단위중량 w (1.03tfm³), 중력가속도 g (m/s²), 원주 π , 심해파 제원은 기호의 아래에 첨자 _o를 붙이고 쇄파제원은 첨자를 붙이지 않는다.

해면간척 방조제 설계



〈그림 4.2-1〉 파장, 파고, 파속의 관련도

여기서, 파고 (H) : 파봉으로부터 파곡까지의 높이 (m)
 파장 (L) : 파봉으로부터 파봉까지의 수평거리 (m)
 주기 (T) : 파봉과 파봉사이의 시간간격 (s)
 파속 (C) : 파형의 전파속도 (m/s)
 수심 (d) : 해저로부터 정수면까지의 깊이 (m)
 파형경사 (H/L) : 파고와 파장과의 비

② 중력파의 성질

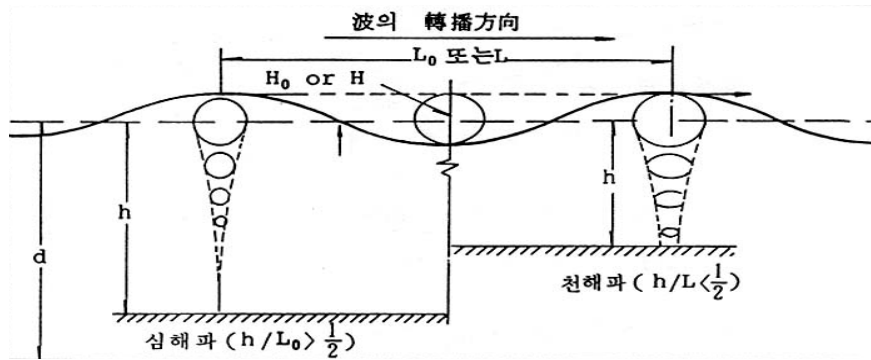
중력파는 심해파와 천해파로 아래와 같이 구분하여 추정한다.

가. 중력파의 주기는 1~30s이며 해안 공학적으로 중요한 범위의 주기는 그 중 5~15s이다.

나. 수심과 파장과의 관계로부터 천해파와 심해파로 구분할 수 있다.

〈표 4.2-1〉 수심과 파장과의 관계

구 분	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh(2\pi d/L)$
심해파	$> \frac{1}{2}$	$> \pi$	≈ 1
천이파	$1/25 \sim \frac{1}{2}$	$1/4 \sim \pi$	$\tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$
천해파	$< \frac{1}{25}$	$< \frac{1}{4}$	$\approx \frac{2\pi d}{L}$



〈그림 4.2-2〉 심해파, 천해파의 구분도

③ 파형 및 파랑의 성질

가. 심해파 (\$h > L/2\$)

$$C_0 = \sqrt{\frac{gL_0}{2\pi}} = \frac{gT}{2\pi} = 1.56T$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1.56T^2$$

$$E_0 = \frac{1}{8} WH_0^2 L_0$$

$$W_0 = \frac{1}{16} WH_0^2 C_0$$

나. 천해파 (\$h < L/2\$)

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh h \frac{2\pi h}{L}}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh h \frac{2\pi h}{L}$$

$$C = \frac{Wh^2}{16} \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh h \frac{2\pi h}{L}} \left(1 + \frac{4\pi h/L}{\sin \frac{4\pi h}{L}}\right)$$

여기서, \$C_0, C\$: 천해파의 속도 (m/s), \$L_0, L\$: 심해파, 천해파의 파장 (m)

\$E_0, E\$: 심해파, 천해파의 전에너지 (1 파장당) (tf·m)

\$W_0, W\$: 심천해파의 단위시간에 단위 폭을 수송할 수 있는 평균에너지 (tf·m)

④ 파랑의 통계적 성질

가. 단기간의 통계적 성질

유의파에서 1/10 최대파와 평균파를 구할 때는 다음 식을 사용한다.

해면간척 방조제 설계

$$(가) P(H > \hat{H}) = \exp\left\{-\left(\frac{\hat{H}}{H_s}\right)^2\right\}$$

$$\text{여기서, } H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N H_j^2}$$

H_j : j번째의 파고(m), N : 전파의 수

$P(H > \hat{H})$: $\hat{H}$ 보다 큰 파랑의 수(n)며 n/N 으로 나타낸다.

(나) 유기파고(Significant height : h_s) $\frac{1}{10}$ 최대파고(H_{10})

1/100 최대파고(H_{100}), 최대파고(H_{max}), 평균파고($\bar{H}$) 간의 관계

$$H_s = \sqrt{2} H_{\bar{s}}$$

$$H_{10} = 1.27 H_s \quad H_5 = 1.37 H_s$$

$$H_1 = 1.67 H_s$$

$$H_{max} = H_s \sqrt{\frac{e_n N}{2}} \quad \bar{H} = 0.886 H_s$$

나. 파랑의 변형을 연속적으로 기록하면 불규칙적이다. 이와 같은 불규칙파의 한 대표치로 1/3 최대파, 1/10 최대파, 평균파 등을 사용한다.

(가) 최고파 H_{max} , T_{max} : 파군(波群) 중에서 최대의 파고를 나타내는 파랑.

(나) 1/10 최대파 $H_{1/10}$, $T_{1/10}$: 파군 중에서 파고의 큰 쪽으로 부터 셈해서 1/10 수의 파랑까지 파고와 주기를 평균한 것으로 ⑦과 ④의 평균파와 평균주기를 가진 것과 같은 파랑이다.

(다) 1/3 최대파 $H_{1/3}$, $T_{1/3}$: 파군 중에서 파고의 큰 쪽으로 1/3 수의 파랑까지 파고와 주기를 평균한 것. 1/3 최대파는 유의파(Significant wave)라고 불리는 때가 많다.

(라) 평균파 $\bar{H}$, $\bar{T}$: 모든 파랑의 파고와 주기를 평균한 수치와 동등한 파고와 주기를 가진 것과 같은 파랑이다.

다. 가.항의 불규칙파에서 파고 또는 주기를 구할 때는 파봉에서, 파봉법과 제로교점(Zero up Cross) 법이 있다.

라. 파고의 출현정도가 레일리(Rayleigh) 분포에 따르는 경우는 이들의 관계를 이론적으로 구할 수도 있다.

마. 20분간 연속관측한 파형기록에서 구한 최대파(H_{max})와 $H_{1/3}$ 와의 관계도 대략 일정하다. 그러나 관측시간이 길수록 H_{max} 도 크게 되어 $H_{1/3}$ 와의 비도 달라진다. H_{max} 에 대한 $H_{1/3}$ 의 비는 파수에 따라 다르며 롱게-히긴(Longuet-Higgin)은 다음 식을 제안하였다.

$$H_{\max}/H_{1/3} = 0.707 \sqrt{\log_e N}$$

여기서, N은 파수이다.

바. 방조제와 같이 내파구조물을 설계할 때는 원칙적으로 유의파를 대상으로 하지만 방조제의 규모가 크고 내수면 및 배후지의 활용도를 고려하여 최대파의 1/10으로 검토하는 경우도 있다.

(2) 설계파 결정방법

설계파의 제원은 기왕의 최대 유의파 및 장기간에 걸친 유의파의 통계적 성질을 참고로 결정해야 한다.

① 설계파의 결정인자

가. 기상자료 인용방법

설계파의 결정에는 장기간에 걸친 믿을만한 실측자료가 있으면 좋으나 현 단계에서는 불가능하므로 30년 이상의 기상자료를 토대로 하여 추산치를 구한 다음 어느 정도의 실측치가 있다면 참작하여 이를 보정하도록 한다.

나. 추산치 보정

기상자료로 부터 구한 추산치를 보정할 경우 이에 필요한 실측자료는 최소 3개년치 이상이 필요하며 각종 기상자료(태풍 경로 등을 포함)를 검토해서 그 관측기간에 매우 작은 파랑만이 생기는 특별한 경우가 아닌가를 확인해야 한다.

다. 인접지 실측자료 보정

현지에서 실측자료를 전혀 얻을 수 없으며 아울러 경비나 시간적으로 실측자료를 얻기 어려울 때에는 자연조건이 유사한 인접지의 실측자료를 보정 활용하여도 무방하다.

라. 설계파의 제원

설계파의 제원으로서 기왕의 최대파를 쓰느냐 또는 재현기간이 얼마인 파랑을 적용하느냐 또는 구조물의 내용기간에서 발생확률이 몇 퍼센트인 파랑을 적용할 것인가는 구조물의 기능, 구조, 중요도, 내용연수, 투자효과 등에 지배되며, 그 원칙을 일반적으로 세울 수 없으므로 그때그때 책임기술자의 판단에 따라 정해야 한다.

마. 설계파 적용범위

설계대상 구조물에 인접한 기존 구조물의 외력과 재해에 대한 과거의 실태를 참고하여 설계파를 정한다.

바. 설계파 추정을 위한 자료

기상자료에 의한 추정기간 이외(예: 그 이전 년대의 시기에도 특히 이상한 기록이 있다면 참고)

사. 위치별 설계파

구조물이 받는 파의 작용형태는 구조물의 위치, 조위, 시각에 따라 변화하므로 구조물 각 부위 및 조위면에 대해서 검토한다.

아. 구조물의 종류별 설계파

천해에서 파가 쇄파되지 않은 때는 통계분석곡에 의해서 파고를 결정하며 구조물의 종

해면간척 방조제 설계

류에 따라 다음 값을 채택한다.

(가) 강체(剛體) : H_1

(나) 준강체 : $H_1 \sim H_{10}$

(다) 소성체 : $H_5 \sim H_s$

사석재는 소성체로 간주하고 H_5 또는 H_s 의 선택은 다음 사항을 고려하여 결정한다.

(라) 구조물의 중요도 및 유지관리, 배후지의 경제가치의 대소

(마) 구조물의 기능 및 목적

(바) 구조물의 형식 및 모양

(사) 설계의 대상 (안정계산, 강도계산, 피복공, 독 마루높이)

(아) 파랑을 추정하는 데 활용된 신뢰도

(자) 방조제 내에 생활권의 형성유무

자. 설계파의 채택원칙

설계파는 원칙적으로 심해파로 하고 방조제에 있어서 1~3방향의 설계파를 정한다. 단, 내수면이나 만구와 같이 수심이 낮은 경우는 천해파를 설계파로 해도 좋다.

② 파랑의 파향과 취송거리

실제의 파랑의 방향은 주방향의 주위로 다소의 변동이 있으므로, 구조물에 대한 입사각은 주방향의 $\pm 15^\circ$ 의 범위로 하며 위험한 측으로 편향된 것을 취함을 원칙으로 한다. 단, 지형조건에 따라 방향변동이 아주 적은 경우와 장기간에 걸친 파향의 실측치가 있는 경우에는 이 각도를 다소 가감할 수 있다.

(3) 파향과 파장과의 관계

파향과 벽면이 이루는 각도의 관계에서 반드시 파고, 주기가 최대인 것이 최대파압이나 파력을 발생한다고 할 수 없으므로 이 파향 등을 참작해서 발생될 것으로 예상되는 파장중 최대파력을 설계에 사용하는 파랑의 재원으로 정한다.

(4) 취송거리(Fetch)

① 취송거리는 풍향 및 풍속이 일정한 지역으로 정한다.

② 풍향이 15° 를 초과하면 추정 정도에 영향을 끼치기 시작하며 45° 를 초과하면 현저한 차이가 발생하므로 일반적으로 $\pm 22.5^\circ$ 채택한다.

③ 풍속은 평균풍속과 2.5 m/s 이상의 차이가 발생하면 정도에 영향을 끼치므로 그 이하의 변화는 일정한 것으로 간주한다.

④ 육수역(陸水域 만, 하구, 호수, 저수지 등)의 경우 취송거리는 수체(水體)주위의 지형에 의해 결정된다.

(5) 심해파의 추정

해저 깊은 곳에서의 발생하는 파의 추정은 S.M.B법, 일기도로부터 풍역과 풍속을 결정하는 법, 윌슨(Wilson)의 추정법, 태풍에 의한 파랑추정법에 의한다.

(6) 천해파의 추정

바다의 얕은 부분에서의 발생파의 추정은 부레느슈나이더 (Brets cnneider)법, 사까모도-이지

마 (진본 정도)법, 모리터(Moliter)법, 사까모도-이시마법 등에 의하여 종합적으로 추정한다.

(7) 파랑의 변형

설계의 대상이 되는 심해파에서의 파랑은 수심이 파장의 1/2이하의 얇은 부분에 진행하면 변형한다. 따라서 설계구조물이 얇은 부분에 있고 실측에 따르지 않을 경우는 파랑의 변형을 추산하여 설계파형을 결정한다.

① 수심에 의한 파고의 변화

파랑이 굴절 및 회절을 받지 않고 경사가 완만한 해안에 진입할 때의 파고변화는 다음 식을 따른다.

$$K_s = H/H_0 = \sqrt{\frac{1}{2n} \cdot \frac{C_0}{C}}$$

$$\text{여기서, } n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh \frac{4\pi h}{L}} \right), \quad C_0 = \frac{gt}{2\pi}$$

$$C = \sqrt{\frac{g\ell}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}}$$

여기서, K_s : 천수계수, H : 소요위치에 대한 파고 (m)

H_0 : 심해에서의 파고 (m), C_0 : 심해파랑의 속도 (m/s),

C : 소요위치의 파랑의 속도 (m/s)

② 굴절에 의한 파향(波向) 변화

일반적으로 수심이 진행과정의 1/2이하가 되면 해저의 영향을 받아 파봉은 굴절하여 물가선형과 평행하게 되고 파고가 변화한다. 굴절에 따른 파고의 변화는 굴절계수 K_r 로 표시하며 굴절도에서 구한다. 단, 해저 지형이 복잡하고 등심선 간격이 현저하게 분산되어 있으며 해저기울기가 1/10보다 급할 경우, 쇄파대의 경우에는 작도에 의하지 않고 모형실험에 의하여 굴절도를 작성한다.

가. 입사각이 $\alpha < 80^\circ$ 인 경우

나. 입사각이 $\alpha > 80^\circ$ 인 경우로 구분하여 작성한다.

③ 굴절에 의한 파고변화

굴절에 의한 파고의 변화는 다음과 같이 산정한다.

가. 소요지점을 포함한 두개의 파향선에 있어서 심해부에서의 파향선 간격과 소요지점부 근 전면에서의 파향선 간격 b 와 비에 대한 제곱근 즉 굴절계수(K_r)를 산정한다.

$$K_r = \sqrt{b_0/b}$$

나. 굴절과 수심변화를 고려한 경우의 파고변화는

$$H/H_0 = K_s K_r = \sqrt{\frac{1}{2n} \frac{c_0 b}{c} \frac{b_0}{b}}$$

④ 회절에 의한 변화

파랑이 산모통이 방파제등과 같은 구조물에 의하여 차단될 때에는 그 선단부에서 회절현상

해면간척 방조제 설계

이 일어난다. 이 회절효과는 회절도에 의해 산정한다.

가. 반무한 제방단(半無限堤防端)에서의 회절

반 무한제방단에서의 회절계수는 입사파의 진행방향과 반 무한 제방이 이루는 각이 $45^\circ \sim 135^\circ$ 범위에서 사용한다.

나. 개구부에서의 회절

(가) 개구부에서의 법선과 입사파와의 이루는 각도가 90° 의 경우의 회절계수는 그림을 이용하여 구한다. 이들의 구간나비가 1/2L, L, 1.41L, 1.64L, 1.78L, 2L, 2.5L, 2.95L, 3.82L, 5L의 것이 있으나 개구부의 나비가 다를 경우에는 내삽법으로 구한다.

(나) 개구부 구간의 법선과 입사파와의 이루는 각도가 90° 이외의 경우 열린구간 나비의 입사파향에 직각인 선상에 투영한 나비를 가지고 가상나비로 한다.

⑤ 굴절과 회절의 합성

방파제 도제 등의 바다 쪽 및 육지 쪽이 모두 평탄하지 않을 경우에는 회절과 굴절이 일어난다. 이러한 경우 다음과 같은 방법으로 파향 파고를 추정한다.

가. 제방선까지의 굴절도를 그린다.

나. 여기에서 해안 쪽으로 3~4 파장만큼 굴절을 고려하지 않고 회절도를 작성한다.

다. 작성한 회절도에서 구한 굴절도의 물가선에 가장 가까운 파봉선으로 표시되는 파향을 사용하여 소요지점 또는 파봉선까지 굴절도를 그린다.

라. 물가선에 가장 가까운 파봉선의 파고와 새로운 굴절도에서 소요지점 또는 쇄파선에서의 파고를 추정한다.

⑥ 쇄파대 및 해안선 쪽의 변화

쇄파는 매우 복잡하므로 모든 해안에 적용하거나 또한 정확한 결과를 줄 수 있는 것은 아니다. 따라서 쇄파높이 쇄파길이 쇄파후의 파고변화 등을 정확히 알기 위해서는 실측을 해야 한다.

⑦ 방향분산

해안에서의 파랑은 전부 동일한 방향은 아니므로 이중 어느범위 내의 파랑 중 가장 위험성이 있는 방향을 취하여 설계파향으로 할 수 있다.

(8) 파랑의 반사

파랑의 반사는 해안구조물의 설계에 필요한 인자이며 반사율은 입사파고와 반사파고의 비로서 나타낼 수 있다.

경사면, 해안, 방조제등에서의 반사는 경사, 조도, 투수성 등에 따라 좌우된다. 또한 파형경사, 파랑의 접근방향 등과 관계가 있다.

① 입사파와 반사파

가. 반사율 ($x = H_r/H_i$)

H_r : 반사파고 (m), H_i : 입사파고 (m)

나. 불투수성 수직벽은 대부분의 입사파고를 반사시킨다. ($x \approx 1.0$)

$$\text{즉 } H_i \approx H_r$$

다. 이때 중복파의 파고는 로 나타낼 수 있다.

η : 중복파의 파형식, η_i : 입사파의 파형식, η_r : 반사파고의 파형식

$$\eta = H_i \cos(2\pi x/L) \cos(2\pi t/T)$$

여기서, L: 파장, T: 입사파의 주기

라. 복에서의 중복파고는 입사파고의 2배이며 결절점 (node)에서의 파고는 0이다.

② 파형경사와 파의 접근방향과의 관계

가. 직각으로 입사할 때 반사량을 판단하는 기준으로써 베티에스 (Battjes)가 제시한 입사파 유의성 파라미터 (Surf Similarity Parameter)는 다음과 같다.

$$\zeta = \frac{L_0}{\cot\theta \sqrt{H_i/L_i}}$$

여기서, θ : 구조물의 경사각, H_i : 입사파고 (m), L_0 : 심해파의 파장 (m)

나. $X = H_r/H_i$

다. 입사파 유의성 파라미터에 대한 반사율은 그림을 이용하여 추정할 수 있다.

라. 사면이 피복석등으로 축조되어 있을 때는 α_1 및 α_2 의 계수를 곱하여 이용한다.

(9) 쇄파

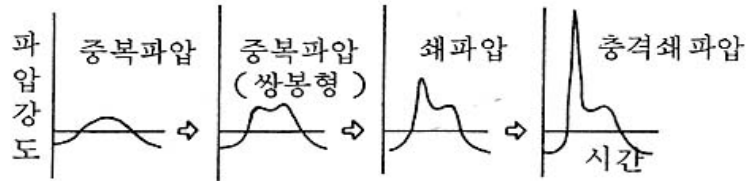
진행파는 다음과 같은 경우에 쇄파가 되는 것으로 본다. 쇄파고와 쇄파수심은 설계쇄파고의 계산에 의해 추정한다.

(10) 파력

방조제에 작용하는 파력은 중복파, 쇄파의 파압, 쇄파후의 파압 등을 검토하여 결정한다. 이때 파랑의 입사각 보정, 양압력등도 검토해야 한다.

① 파압의 판정

파랑이 구조물에 접근할 때 구조물의 전면이 수직벽면인 경우 수심이 파고의 2배 이상일 때 ($h > 2H$) 중복파가 생겨 중복파압이 발생하고 수심이 파고의 2배 이하일 때 ($h < 2H$) 중복파의 한계를 넘어 쇄파되며 쇄파압이 작용하게 된다. 쇄파압이 작용할 경우 해저경사가 급하거나 혼성제의 사수부위가 높고 경사가 완만한 경우에 파랑의 조건에 따라 강한 파압이 발생하며 이것을 충격 쇄파압이라 한다. 파압의 판정은 <그림 4.2-3>과 같다.



〈그림 4.2-3〉 중복파압에서 충격 쇄파압으로의 이행

② 수직벽면에 작용하는 중복파의 파력

수직벽면에 작용하는 중복파의 파압을 일반적으로 상프르(Sainflow)의 간략공식으로 구한다.

③ 쇄파의 파압 (breaking wave force)

파랑이 진행하면서 해안에 접근하면 해저의 마찰, 인파와의 충돌에 의해 쇄파되어 파랑은 부서지면서 구조물에 대해서는 흐름, 충돌, 흡출 등이 작용하게 되며 구조물 직전에서 쇄파할 때 최대파압이 작용한다. 이와 같은 조건에서는 히로이(광정), 미니킨(Minikin) 공식으로 구한다.

④ 쇄파 후 파압

파랑이 구조물에 도달하기 전에 쇄파되어 쇄파후의 파랑이동이 구조물에 작용하는 파력은 모형실험에 의하여 결정해야하나, 구조물이 정수기와 쇄파점 사이에 위치한 경우와 구조물이 정수면 밖에 위치한 경우로 구분하여 개략적인 파력을 구할 수 있다.

⑤ 파랑의 입사각 보정

파랑이 구조물에 비스듬히 입사할 때 파력의 동압력성분은 구조물전면에 직각으로 입사할 때 보다 작아지므로 입사각에 의한 보정과 구조물 전면의 형태에 의한 파력의 동압력성분을 보정해야 한다.

⑥ 양압력

구조물이 기초가 투수성이고 압력이 전달된다고 인정되는 경우 기초에서 상향의 압력이 작용하며 이를 양압력이라 하여 정수압과 합한 압력을 받는다.

가. 중복파 양압력

(가) 구조물에 월파가 일어나지 않는 경우 구조물에 작용하는 양압력은 구조물 전체하단에서 압력강도가 $P_u = wH/\cosh \cdot \frac{2\pi h}{L}(t/m^2)$ 이고 구조물 후면하단의 압력이 0인 삼각형 압력분포로 작용하며 양압력 이외에 정수면 이하에 작용하는 부력도 가산해야 한다.

(나) 구조물을 완전월파하는 경우 구조물 전체에 부력이 작용한다고 본다.

나. 쇄파의 양압력

구조물에 쇄파가 작용하고 그 기초가 투수성인 경우에는 다음의 방법으로 양압력을 구한다.

(가) 구조물에 월류가 일어나지 않는 경우 구조물 저면에 작용하는 양압력은 구조물 전면하단에서 압력강도가 이고 구조물 후면하단의 압력이 0인 삼각형 압력분포

로 작용한다.

(나) 구조물을 완전윤회하는 경우 구조물 전제에 부력이 작용한다고 본다.

⑦ 경사형

가. 경사형 구조에 작용하는 파력은 입사파랑이 사면피복공 위에서 부서지는 동시에 그 에너지가 소멸되므로 경사면 피복공 규모를 파랑에 대해서 안전을 유지할 수 있는 사석 및 콘크리트 블록의 개당 중량으로 계획 한다.

나. 경사면에서의 사석 및 콘크리트 블록의 안정중량

(가) 허드슨 (Hudson) 공식

$$W = \frac{w_s H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

여기서, W : 피복층의 개당중량 (tf), W_s : 피복공의 공기중 단위중량 (tf/m³)

S_r : 피복공의 해수에 대한 비중 (W_r / W_w), θ : 구조물 경사각,

H : 설계파고 (m), K_D : 안정계수

(11) 런업 (Run up) 높이

해안제방의 독마루 높이를 결정에 필요한 런업 높이의 추정은 단면형태, 파형에 따라 적절한 방법으로 결정하여야 한다.

① 고려사항

런업의 높이는 구조물의 모양, 조도, 구조물의 비탈끝에서의 수심, 구조물 전면의 해저경사 및 입사파의 특성에 좌우된다. 런업은 많은 변수가 내포되어 있기 때문에 모든 가능한 범주의 기하학적 변수와 파의 상태를 고려하여 런업 상태를 완전히 분석하기는 복잡하므로 중요한 방조제에 대해서는 모형시험을 하여 확인하는 것이 좋다.

② 런업 높이의 추정방법

가. 단일 단면의 런업 높이는 2가지 조건으로 구분하여 추정한다.

(가) 사면 전면에서 파랑이 쇄파되지 않는 경우

(나) 사면전면에서의 파랑이 쇄파되는 경우

나. 복합단면의 런업 높이는 2가지 조건으로 구분하여 계산한다.

(가) 델프트 (Delft) 수리실험소 수정식

(나) 사빌 (Saville)의 가상 경사법의 계산방법

다. 런업의 추정

라. 감세법

감사면 기울기를 갖는 구조물의 유효 런업높이 (R)는 다음 식으로 추정한다.

$$R = R_n \cdot r_R \cdot r_B \cdot r_\beta$$

여기서, R_n : 평활한 사면상의 런업의 높이 정수면상의 수직높이로 규정

r_R : 사면의 조도 및 투수성에 의한 감세계수 reduction, r_B : 소단에 의한 감세계수

해면간척 방조제 설계

r_β : 사기랑 (oblique waves)의 내습에 의한 감세계수, ξ : 쇄파지수 (breaker index)

③ 불규칙파의 런업 높이

각종 사면상에 작용하는 불규칙파의 런업을 예측하기 위한 모델시험 결과는 아직까지 제한되어 있지만 아렌스(Ahrens)의 결과를 제시하였다. 여기서 런업높이는 파고의 레일레이(Rayleigh) 분포를 따른다고 가정한다.

4.2.1.5 조류

(1) 해안구조물의 설계에 사용하는 조류는

- ① 파랑류, 연안류, 이안류(離岸流)
- ② 조석류(潮汐流)
- ③ 취송류(吹送流)
- ④ 하구류(河口流)

로 하며 그 탁월류(卓越流)는 유향, 유속은 장기간에 걸친 실측치에 의하여 결정함을 원칙으로 한다.

(2) 실측에 의하지 않고 추정하는 방법은 다음에 의한다.

① 파랑류의 추정

해안에 직각방향의 파랑류(난안류)는 추산할 수 없다.

$$V = \left[\left(\frac{1}{4x^2} + y \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2x} \right]^2 x = \frac{646 H_b \cdot i \cos \alpha_b}{T}$$

$$y = C \cdot \sin \alpha_b$$

$$C = \sqrt{2.28 g H_b}$$

여기서, V : 해안에 연한 파랑류의 유속 (m/s), H_b : 쇄파의 파고 (m)

i : 쇄파선에서 물가선(정선)까지의 평균해저 기울기 ($\tan \alpha$)

α_b : 쇄파선에서의 파봉과 물가선과 이루는 각 ($^\circ$)

T : 파랑의 주기 (s), g : 9.8 m/s², α_b 값은 원칙적으로 굴절도에서 구한다.

② 취송류의 추정

$$V = U \frac{0.0127}{\sqrt{\sin \varphi}}$$

여기서, V : 취송류의 유속 (m/s), U : 풍속 (m/s), φ : 위도 ($^\circ$)

취송류의 유향은 마찰심도의 1/10이하의 수심인 곳에서는 풍향과 일치하는 것으로 생각해도 좋다.

$$D = \frac{7.6}{\sqrt{\sin \varphi}} U$$

여기서, D : 마찰심도 (m), φ : 그 점의 위도 (°), U : 풍속 (m/s)

③ 조석류의 추정

가. 아주 길고 등심인 물길(수도)에서의 조석류

자유조랑이 물길내로 진행되는 경우 유속은 석조 및 간조시 최대가 되며 평균 수면의 유속은 0이 되고 낭향(浪向)은 반전한다. 최대유속은

$$V = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{g}{h}}$$

여기서, V : 조석류의 최대유속 (m/s), g : 중력가속도 (m/s²), R : 조권(潮卷) (m)

h : 수로의 평균수심 (m)

나. 조석류가 담고 위상차가 있는 경우

$$V = C\sqrt{2g(\xi - \xi')}$$

여기서, V : 조석류의 유속 (m/s), g : 중력가속도 (m/s²),

ξ : 평균수면에서 측정한 높은쪽의 해면상승량 (m),

ξ' : 평균 수면에서 측정한 낮은쪽의 해면상승량 (m)

(단 해면이 평균 수면이하의 경우에는 부호를 취함),

C : 계수 해협이 길고 큰 경우 $C < 1.0$ 해협이 좁고 짧을때 $C \approx 1.0$

④ 하구밀도류

가. 하구부의 어느 단면에서 해수층을 완전히 배제하고 하상에 하수를 접촉시키는데 필요한 하천류의 유속은 다음 식에 의한다.

$$V_c = \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} gh}$$

여기서, V_c : 해수층을 배제하기 위해 필요한 하천류의 한계유속 (m/s), ρ_1 : 하수의 밀도 (kgf/m³),

ρ_2 : 해수의 밀도 (kgf/m³), g : 중력 가속도 (m/s²), h : 소요단면에서의 전수심 (m)

나. 하수의 유속이 한계유속에 달하고 염수 썰기가 정지하는 한계조건에 있을 때는 염수의 썰기의 길이는 다음 식에 의한다.

$$L = \frac{C_i^2 h}{g} \left[\frac{1}{5} \frac{\varepsilon gh}{V_0^2} - 2 + \sqrt[3]{\frac{V_0^2}{\varepsilon gh}} - \frac{6}{5} \left(\sqrt[3]{\frac{V_0^2}{\varepsilon gh}} \right)^2 \right]$$

여기서, ε : $\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2}$, L : 한계조건에 있는 염수썰기의 길이 (m),

ρ_1 : 하수의 밀도 (kgf/m³), ρ_2 : 해수의 밀도 (kgf/m³), g : 중력 가속도 (m/s²)

h : 소요단면에서의 전수심 (m), V_0 : 무감조구역의 하수유속 (m/s)

해면간척 방조제 설계

C_i : 저항계수, $C_i^2 = 300,000 \sim 1,000,000$

⑤ 주의사항

가. 해안의 흐름

나. 탁월류의 유향 유속

다. 하구밀도류

이들에 의한 하상의 매몰을 방지하기 위하여 한계유속 이상으로 하천유속을 증대하거나 도류제의 설치 하천단면의 적정유지 등으로 제어한다.

4.2.2 방조제의 기본형

- (1) 방조제의 형식에서 가장 중요한 바깥 및 안비탈의 기울기는 피복공의 종류, 제체의 재료 기초지반의 토질, 전면의 수심과 해상 및 시공법 등을 검토하여 결정하되 되도록 환경사로 함이 바람직하다. 독마루 표고 바깥비탈의 기울기 및 피복공의 구조 소단의 나비 등은 상호연관이 되므로 여러 가지 방안을 비교하고 현지여건을 검토하여 가장 안전하고 경제적인 형식으로 결정해야 한다.

4.2.2.1 독마루 표고결정

- (1) 방조제의 독마루 표고(펫트, 흙벽 등이 있는 경우는 독마루 높이)는 설계고조위 (파랑에 의한 수면상승고 포함)에 파랑의 런업 높이와 여유고를 더한 값으로 하고 기초지반 또는 제체의 침하가 장기간에 걸쳐 계속되는 곳에서는 이들의 영년 변화량을 가산한다.
- (2) 파라핏공 등을 설치하는 경우의 흙쌓기 표고는 적어도 설계고조위에 반파고를 더한 값으로 한다.
 - ① 파고가 쇄파하는 경우 파고 $\times 1.0 \sim 1.3$
 - ② 파랑이 런업하는 경우 파고 $\times 1.0 \sim 2.5$
- (3) 설계 빈도
 - ① 방조제 건설의 목적에 따라 정도의 차이는 있겠으나 제방이 결괴되면 그 피해는 매우 심각한 만큼 조위, 홍수, 기상, 지진, 해일 등 발생빈도를 높여 충분히 분석된 자료를 이용하여 독마루 표고를 결정하여야한다. 그러므로 설계빈도는 100년을 기준으로 하고 중요한 목적을 갖는 방조제는 100년 이상 10,000년 빈도의 자료를 사용하되 충분한 검토가 요망된다. 파랑의 월파로 인하여 내부피해가 없는 경우도 독마루부를 포함한 시설물자체가 피해가 없도록 견고하게 피복을 해야 하며 배수처리 계획이 수립되어야 한다.
 - ② 독마루표고 결정의 지배적인 요소는 천문조위 (대조평균위조위)와 기압변화 및 바람 등에 의한 조위상승고, 파랑에 의한 런업높이 기초지반 및 제체의 침하를 고려한 여유고 및 기타를 합하여 추정한다.
- (4) 설계 고조위
설계 고조위는 원칙적으로 기왕의 최고조위로 하든가 대조평균만조위에 기왕의 최대 조위 (또는 모델 고조위, 조위차)편차를 더한 조위 및 기타 방법에 의하여 구한다.

설계 고조위의 추정방법은 다음 4가지가 있으며 일반적으로 제 2방법을 사용하나 특수목적을 갖는 경우 또는 대규모 방조제의 경우는 제 3, 4 방법을 비교 검토하여 실측기간, 발생도수, 간척의 규모, 고조대책시설비 및 사고시의 피해정도 등을 고려하여 결정한다.

(5) 쇄파고 및 런업의 높이

파랑의 쇄파고 및 런업의 높이는 2.1.4 항에 따라 구하며 상하 한계는 파고의 1.0~1.3배의 범위 내에서 취한다.

① 파랑이 쇄파하는 경우: $\text{파고} \times 1.0 \sim 1.3$

② 파랑이 런업하는 경우: $\text{파고} \times 1.0 \sim 2.5$

즉 계산상 파고의 1.0이하인 경우는 모두 1.0 으로 하고 1.3~2.5배 이상인 경우는 상부구조가 취약하므로 방조제의 바깥쪽 비탈 피복공에 소단을 설치하는 등 비탈의 모양 구조의 변화를 주어서 쇄파고 또는 런업의 높이를 억제하든가 독마루 및 피복공의 구조를 강화해야한다.

(6) 설계파고

파랑의 쇄파고 및 런업의 높이 산정할 때 사용하는 파고의 추정방법은 2.1 4 항에 의한다.

① 파랑의 쇄파고 및 런업의 높이를 산정할 때 사용되는 파고는 방조제 예정선 전체에서의 파고와 파장이다.

계산할 때는 우선 설계에 쓰이는 심해파로 부터 굴절, 회절, 수심변화, 쇄파 기타시설물 등의 영향을 고려하여 방조제 예정선 전면의 파고에 대한제원을 구하여 그 제원 또는 그것에 상당하는 심해파(H_o')의 제원으로부터 쇄파고와 런업의 높이를 구한다.

② 방조제의 제향표고 결정을 위한 런업높이 추정과 피복공의 규모 및 규격결정에 쓰이는 파고는 일반적으로 유의파 (H_s)를 채택하여도 무방하나 2.1.4항에서 언급한 바와 같이 방조제의 규모가 크거나 간척지의 중요도에 따라 $H_s \sim H_5$ 범위 내에서 채택할 수 있다. 방조내에 공업단지, 도시개발 등 중요한 시설이 계획된 경우에는 모형실험을 통하여 설계파를 결정하여야한다.

(7) 여유고 및 장기침하

방조제의 독마루 표고는 2.1.4항에서 합리적으로 결정된 표고라 하여도 절대적으로 신뢰할 수 있다고 말할 수는 없다. 따라서 개괄적인 여유고 높이를 가산하게 되나 이것은 지반 또는 제체의 장기침하량과 기타 인접한 구조물과의 관계 또는 배후지를 포함한 간척지의 규모와 이용도 등을 고려하여 1m내외로 적절히 결정한다. 장기간에 걸쳐서 지반 또는 제체에 침하가 예상되는 경우에는 원칙적으로 이들의 값을 가산한 것을 독마루 높이로 한다. 그러나 이들의 변화가 장기간에 걸쳐서 일어나는 것이므로 건설공사에서는 공사완료 시점부터 3년까지를 기준으로 하여 가산하고 그 이후에 대해서는 정도에 따라 더 돌기를 고려한다.

① 여유고

방조제의 여유고의 결정은 사업의 성격 구조물의 중요도 유지관리, 배후지의 이용계획, 구조물의 설치지점의 지질과 축조재료, 구조물의 기능, 축조구조물의 형식 및 형태, 피복공의 구조 등에 따라 결정되나 특별한 경우를 제외하고는 1.0m 전후로 여유고를 두고 영년변화량이 클 때에는 근원적인 기초지반 개량을 통해 대책을 강구한다.

② 장기침하

해면간척 방조제 설계

방조제 침하의 주요 원인은 성토제 및 기초지반의 압밀 등에 의해 발생하는 것으로 침하량이 과다할 때에는 지반을 개량해야 하며 피치 못할 침하에 대해서는 제방구조의 목적에 따라 악영향이 미치지 않도록 대책을 강구한다.

4.2.2.2 독마루 나비

(1) 독마루나비의 결정기준은 다음에 의한다.

① 경사형이고 파라밋이 있는 경우

파라밋공을 제외한 독마루 나비는 3m 이상으로 한다.

② 경사형이고 파라밋이 없는 경우

월파가 허용되는 경우 독마루 나비는 4 m 이상으로 한다.

③ 직립형인 경우

단괴식, 부벽식 등의 방조제에서는 마루나비는 0.5m 이상으로 한다. 또한 배면에 토사를 사용하는 경우에는 콘크리트형을 제외한 마루나비는 3.0m 이상으로 한다.

(2) 독마루 나비의 결정은 방조제의 설치 목적과 규모 독마루의 시공재료 등에 따라 다르겠으나 월파의 침식등을 고려하면 독마루나비가 넓은 것이 유리하나 경제성도 고려하여 경사형은 독마루 부근에 작용하는 파력이 작으므로 3m 이상 직립형에서는 도수(도수) 푸는 연파의 낙하점을 가능한 독마루에 있게 하는 것이 유리하다.

(3) 그러나 이밖에도 양안의 연결도로와의 관계, 보수시의 노폭, 누수와와의 관계, 장래의 이용계획, 미관 등을 고려하여 결정해야 한다.

4.2.2.3 비탈의 기울기

(1) 바깥쪽비탈의 기울기

① 바깥쪽 비탈의 기울기는 제체의 안정, 기초지반의 토질, 피복공의 재료와 구조, 방조제 전면에서의 수심과 파고, 시공의 난이, 배후지의 이용 및 해안의 이용 등을 고려하여 결정해야 한다.

② 바깥쪽비탈 기울기는 원칙적으로 표2.2-1에 따른다.

③ 바깥쪽비탈 기울기가 1:1.5 ~ 1:2.0 정도인 것은 파랑의 런업 높이가 가장 크므로 주의해야 하며 풍파가 큰 해안에서는 바깥쪽비탈에 나비가 넓은 소단을 만들어 파랑의 에너지를 감소하든가 파력에 따라 기울기를 바꾸는 것이 좋다. 이때 기울기의 변환점에 파력이 집중하는 경향이 있으므로 각 면으로 연결하든가 그 부분의 구조를 강화하는 등 고려한다.

〈표 4.2-2〉 바깥비탈 기울기

형 식	비탈기울기
점토피복식	> 3.0 할
아스팔트 피복식	> 3.0
사석식	> 2.0
돌붙임식	> 1.0
콘크리트블록 붙임식	> 1.0
콘크리트 피복식	> 1.0
돌쌓기식	0.3 ~ 1.0
반중력식	0.5 정도
부벽식	0.5 정도
이형블록식	> 1.5

(2) 안비탈의 기울기

- ① 안비탈의 기울기는 제체 토질 기초지반 피복공의 종류 각종 담수호의 이용 등을 고려하여 결정한다.
- ② 일반적으로 피복공 재료별 안비탈 기울기는 표 4.2-2으로 하는 것이 좋다.
- ③ 제고가 5m이상인 경우 또는 필요한 경우는 5m이하라도 나비 1.5m 이상의 소단을 만드는 것이 좋다.
연약지반의 경우는 하중을 분산시키기 위해서 저폭이 넓어지도록 소단을 설치하는 것이 좋다.
방조제 기초에 바닥다짐용(사석 및 돌망태 등)을 설치할 경우 피이핑 및 누수의 우려가 있으므로 침투로장을 확대시키기 위하여 기울기를 완만하게 할 필요가 있으며 소단 폭은 도로이용 목적 등을 고려한다.

〈표 4.2-3〉 안비탈 기울기

형 식	비탈기울기
점토 피복식	1:2 ~ 1:3
아스팔트 피복식	1:2 ~ 1:3
돌붙임식(사석식)	1:2 ~ 1:6
콘크리트블록 붙임식	1:1 ~ 1:3
콘크리트 피복식	1:1 ~ 1:3
돌쌓기식	0:3 ~ 1:0

4.2.2.4 안쪽 및 바깥쪽 소단

- (1) 안쪽 및 바깥쪽 소단은 비탈의 기울기, 제체의 안정, 기초지반의 토질, 축조재료, 피복공의 구조, 제고 및 도로이용계획 등을 고려하여 결정한다.
 - ① 하부 의 소단나비와 표고는 해상과 시공조건들을 고려하여 결정한다.

해면간척 방조제 설계

- ② 바깥쪽 상부소단은 시공중의 운반로의 역할과 단면완성 후 파랑을 효율적으로 감세할 수 있도록 충분한 나비를 (나비의 범위는 또는 4H, L : 파장, H : 파고) 부여하여야 하며 경제성과 안전성에 대하여 검토해야 한다.

4.2.2.5 접속도로

- (1) 도로표고 나비 및 구조는 건설중의 운반로 역할과 제방구조로서 결함이 없으며 도로 구조형에 부합되도록 계획하여야 한다.
- (2) 도로의 위치
방조제의 도로는 파랑이 직접 내습하는 위치는 피해야한다. 단, 설계빈도이상의 기상여건에서 월파를 허용되는 방조제는 아스팔트 및 콘크리트 포장을 원칙으로 하고 측구를 설치한다.
- (3) 도로표고
도로표고는 고조위나 홍수위에 침수되지 않고 침윤선이 선택층이 하여야 하고 그 지역의 동결심도를 고려하여야 하며 제체침하에 따른 상기조건외의 영향을 받지 않도록 하기 위하여 지반이 충분히 안정된 후에 여유고를 고려해서 도로를 완성해야 한다.

4.2.3 방조제의 구조

- (1) 방조제 구조는 외해의 수심과 해상조건, 기초지반의 토질, 구득이 용이한 축제재료, 축제공법 방조제 제체의 이용계획 및 간척지내부의 이용계획 등을 종합적으로 검토하여 결정한다. 각 구조 간에 연대성이 양호하고 상호균등한 안전율을 부여하며 유지관리 및 보수가 용이하며 외부에 노출되는 구조에 대하여는 외관도 고려하여 안전하고 경제적인 구조로 결정한다.

4.2.3.1 성토공

- (1) 성토 재료의 선정은 제방의 규모, 육상 및 수중의 시공조건, 토취장의 토취조건, 유속조건, 운반장비, 공기, 지수(止水) 효과 등 흙의 공학적 성질과 경제성을 고려하여 결정 하여야한다.
- (2) 성토층은 해수침입을 방지하는 제체의 본체로서 그 공법은 소규모방조제 또는 시공초기에는 직접 축제가 가능하지만 수심이 깊고 조석량이 많은 대규모 방조제에서는 축제로 인한 침수 단면의 축소로 조류속이 증대되어 유실량이 많아져 물막이가 곤란하므로 빠른 유속에 견딜 수 있는 재료로 우선 가물막이 (1차 물막이)한 후 성토층을 축조하는 것이 상례이다.
- (3) 성토공의 단면은 독마루 나비 도로 폭 및 성토재료의 안식각 등을 고려하고 또한 지반의 침하, 활동, 파이프 작용 등이 발생치 않도록 만족한 단면이어야 하며 기초공 필터공 피복공과 일체가 되어야 한다.
- (4) 성토 단면의 결정은 성토재료의 공학적 성질에 따른 침투로 길이와 비탈기울기를 검토하고 제체의 안전도가 고려되어야 하며 침윤선이 내제 비탈면에 벗어나지 않도록 필터공을 설치한다.

4.2.3.2 바깥쪽 비탈의 피복공

- (1) 바깥비탈면의 피복공은 파랑에 의하여 침식, 마모와 피복공 이면의 토사의 유출을 방지하며 토압, 파압 등의 마력에 대하여 안전한 구조이어야 한다.
- (2) 비탈면에 작용하는 파압은 거의 모형시험에 의한 결과이므로 각점의 파압분포의 상대적인 관계는 대체로 알 수 있으나 그것으로 곧 각 점의 피복공의 강도가 정해지는 것이 아니므로 피복공의 설계는 경험적이어야 한다. 실제의 방조제에 대한 파압을 알 수 없다.
- (3) 피복공의 강도 또는 그 재료의 크기는 작용하는 파랑의 성질 비탈면의 모양과 구조 재료 등에 의해 시공 장소 마다 다음에 기술하는 구조를 표준으로 하여 결정한다.
- (4) 활동은 돌붙임이나 부록붙임인 경우는 돌빠짐 콘크리트 부침의 경우의 균열 파손 등으로 피복공 전체 또는 일부가 내려앉는 수가 있다.
- (5) 피복공을 지지하고 있는 것은 지반의 토사 조약돌과 비탈끝의 바닥다짐공의 일부이므로 비탈 기울기가 1:2와 같은 급한 비탈에서는 양 압력을 받은 피복재가 쉽게 이탈되므로 이러한 곳에 대해서는 비탈면에 소단을 설치하는 것이 효과적이다.
- (6) 튼튼한 피복공도 영구적으로 견디는 것이 아니며 그 기능을 다하면서 외력에 의해 점점 약해져가므로 늘 보수를 하여야 한다. 이 때문에 마모에 강하고 어느 정도 요성(요성)을 가지며 부분적인 보수를 할 수 있는 구조가 좋다.
- (7) 피복공의 재료 선택은 재료의 특성을 고려하여 내구성과 경제적인 면을 고려하여 채택해야 한다.

4.2.3.3 기초공

- (1) 기초공은 상부 구조물을 안전하게 지지하고 파랑에 의한 세굴에 견디는 구조로 한다.
- (2) 물막이 기간 중 유속에 의한 세굴과 유실이 되지 않는 구조로 한다.
- (3) 기초공은 방조제의 축조 후에 상부 구조물을 안전하게 지지하여야 하고, 파랑에 의한 제체 하부의 세굴방지와 방조제 끝막이 과정에서 발생하는 조류 속에 의한 기초지반의 세굴을 방지해야 되므로 기초공의 변조는 방조제의 규모, 하중, 수심, 기초지반의 토질조건, 발생유속, 시공성, 공기 등을 충분히 고려하여 결정한다.

① 받침대 기초

받침대 기초는 돌쌓기고 돌붙임공의 기초로서 사용하고 파랑에 의한 침식으로 노출되지 않도록 충분한 깊이로 넣는다. 지반이 연약할 경우는 말뚝박기 기초공을 함께 사용하여 멈춤 말뚝(지항)이 붙은 사다리꼴 받침대로서 사용하면 효과적이다.

받침대는 콘크리트 제품을 사용하는 것이 목재는 항상 물에 잠겨있거나 해수 중에 있어 피해가 적을 때에만 사용한다.

② 말뚝박기 기초

이 공법은 파일 기초공이라고도 할 수 있으며 널말뚝식을 포함한 넓은 의미의 말뚝박기 기초이다.

말뚝은 원칙적으로 콘크리트 또는 철근 콘크리트제품을 사용하고 그 치수 간격은 목적에 따라 토질조사 및 재하시험을 하여 결정하나 말뚝을 타압함으로써 토질 구조를 파괴하는 일이 없도록 주의한다.

해면간척 방조제 설계

③ 현장타설 콘크리트 기초

기초공과 상부 구조는 일체가 되어야 하므로 줄눈은 동일개소에 두고 줄눈께는 물막이(지수)판 줄눈재를 사용하여 성토재의 흡출에 대비한다. 이 공법은 양호한 지반에서는 일반적으로 안전하고 확실한 공법이기는 하나 수중시공에는 적합하지 않으므로 빠른 시공이 요구되는 수중공사에서는 타당한 공법이라고는 볼 수 없다. 이 점을 개량한 것으로 프리팩트 콘크리트가 있으며 방조제에서는 이를 사용한 것이 많다.

④ 콘크리트 블록기초

이 공법은 수심이 비교적 깊은 경우에 사용하나 각 블록이 일체가 되어 블록의 접촉부에서의 흡출작용을 방지하도록 블록의 몰림에 유의함과 동시에 블록의 상층에 적어도 두께가 40cm 이상의 현장타설 콘크리트를 시공한다.

블록 1개의 중량은 안정상으로 보아서는 클수록 좋으나 시공 중의 안전 및 운반을 고려하면 2~3tf 정도가 좋다.

⑤ 셀룰라 블록기초

셀룰라 (Cellular) 블록기초공법은 수심이 비교적 깊은 경우 사용하고 설치한 후 속채움을 하여 일체화 한다. 속채움에 깻돌, 자갈 등을 사용할 경우에는 잘 채워서 표면을 콘크리트로 덮을 필요가 있다.

⑥ 사석기초

가. 모래질 지반

사석은 수중시공에 용이하다는 점이 있으나 제체 흙의 흡출방지가 곤란하므로 이 점에 대한 대책이 필요하다.

최근에는 널말뚝 또는 매트리스 등에 의한 여러가지 차단층이 고안되어 사용되고 있으나 이들은 시공방법에 유의해야 한다.

표층 사석중량은 허드슨공식 또는 이리바렌 (Iribarren)의 수정공식에 따라 결정하나 소요중량의 둘을 얻을 수 없는 경우에는 샌드마스틱 아스팔트 공법이나 콘크리트 블록으로 한다.

기타 파랑의 영향을 받지 않는 부분의 분재는 채취 및 시공상 가장 경제적이 되도록 한다.

나. 연약지반

방조제의 급격한 침하를 방지하기 위해 기초면적을 넓혀서 하중을 지반에 넓게 분포시켜 단위 지지력의 경감시켜 주로 수중시공이 편리하고 또한 바닥다짐의 유적을 겸하는 것이다. 차단층을 두어 흙의 유실을 방지하도록 유의해야 한다.

또 사석을 현저하게 두껍게 할 경우는 연약지반이 치환된 상태가 된다.

따라서 하중을 장기에 걸쳐 서서히 가하는 것이므로 사석부분이 제체에 비하여 비교적 큰 경우에 적합하다.

이 공법은 우리나라에서는 오래전부터 사용하고 있는 것으로 석재 노동력을 손쉽게 구할 수 있어 가장 유리하다.

그러나 빠른 시공이 요망되는 최근에는 시공기계의 발달과 더불어 원거리에서 모래를

경제적으로 운반함이 가능하므로 모래를 주체로 한 기초공을 채용하는 경우가 많아졌다.

⑦ 간모래 기초

제체 하중에 따라 충분히 두꺼운 모래를 깔아 시공하면 뜬기초가 되므로 제체 전체로서의 압밀침하는 면치 못하더라도 파괴 침하를 방지할 수 있다.

이 경우 간모래 (Sandman)의 충분한 두께라는 것은 단위하중이 불량지반의 허용지지력 이하가 되도록 넓게 균등하게 분포시키는데 필요한 충분한 두께를 말한다.

이때 불량지반에 작용하는 하중은 간모래의 양만큼 증가하나 간모래 내부의 마찰저항의 증가가 지반의 지지력을 강화함과 동시에 제체외의 간모래가 카운터웨이트 (Counter Weights) 역할을 한다.

뜬기초를 형성하는데 필요한 간모래의 두께는 50cm 정도라고 하나 기초지반 표층이 극히 연약한 곳에서는 시공관리의 면에서 2m 정도의 치환을 하는 수도 있다.

⑧ 매트리스 기초

매트리스 기초는 그 하부에 간모래 상부에 사석 등을 병용하는 것이 보통이다.

매트리스의 넓이는 되도록 넓게 하며 방조제 바닥 전체에 걸쳐서 특히 기단방향으로 튼튼하게 넓게 연결시킨다. 매트리스 소요인장 강도는 테르자기의 극한지지력 공식으로 구한다.

⑨ 치환기초

이 공법의 가장 완전한 형태는 연약층을 완전히 제거하고 모래자갈 기타의 안정도가 높은 재료로 치환하는 것이다.

치환재료로서 가장 적당한 재료는 잔모래이다.

⑩ 샌드드레인 기초

이 공법은 연약토층의 탈수를 촉진시켜 지반의 지지력을 강화시키기 위해서 연약층안에 모래말뚝 상태의 투수부를 설치하여 이것을 제체 밖으로 이끌어내고 다시 하중을 실어 공극수를 배제하는 것이다. 이때의 말뚝의 깊이 지름 간격 재하속도는 정밀한 토질조사와 계산에 따라 결정한다.

모래말뚝의 깊이는 치환공법과 같이 밀층의 지반에 도달하는 것이 좋으나 실제로는 공사비 및 시공면에서 20m 정도를 한계로 한다. 따라서 연약층이 두꺼운 경우에는 말뚝 아래쪽의 압밀 유동 등의 변화와 함께 말뚝군 내부의 압밀에 따라 생기는 제체의 침하는 고려해야한다.

⑪ 역청재 부설기초

이는 필요한 크기의 석재를 얻을 수 없고 유속에 의한 모기지반 세굴을 방지하면 어느 정도의 수밀성이 요구될 때 사용한다. 역청재 부설을 위하여 보조기층으로서 호박돌 또는 이와 유사한 돌을 잘 깔아놓고 샌드마스틱 (Sand mastic) 아스팔트 또는 역청재공법을 써서 일체화되도록 한다.

4.2.3.4 사석공

해면간척 방조제 설계

- (1) 방조제 축조재료로 사석은 끝막이터와 피복석용, 필터를 포함한 깬돌로 구분하여 용도에 따라 적절한 규격, 단위중량, 비중 등 시공성, 내구성, 경제성 등을 고려하여 결정해야 한다.
- (2) 석재는 방조제의 물막이용 사석을 비롯하여 활석, 방괴석, 호박돌, 조골재 등 다량으로 소요되고 있다. 특히 방조제 끝물막이용 사석은 개당 중량이 가급적 커야하고 축조 후 파손되는 것은 유실의 우려가 있으므로 양질의 석재가 요구된다.
- (3) 일반적으로 석재원의 조건은 다음과 같다.
 - ① 재료조건
 - 가. 흡수율이 적고 내구성이 있는 암석
 - 나. 발파시 적정규격으로 생산 가능한 암석 (절리상태가 적어야 한다.)
 - 다. 비중이 큰 암석(흐름유속에 안정)으로서 보통암 이상으로 한다.
 - ② 경시적 조건
 - 가. 운반거리가 가까운 곳
 - 나. 운반도로가 양호한 곳
 - 다. 암석채취 공간과량이 충분한 곳.
 - 라. 활용도가 다양한 것
 - ③ 주위환경조건
 - 가. 토심이 얇고 자연경관 훼손이 적은 곳
 - 나. 개발 후 절개지가 적고 복구가 용이할 것
 - 다. 인근에 학교 등 발파 시 인원이 최소화 될 수 있는 위치
 - 라. 채취허가의 결합이 없는 위치

4.2.3.5 필터공

- (1) 방조식의 단면에서 조석 또는 강우 등으로 피복공 또는 사석층과 성토층 사이에는 토입자가 흡출되므로 반드시 필터공을 설치해야 한다.
- (2) 방조제 축조에 있어 많이 사용되고 있는 사석, 콘크리트블록, 돌망태 등은 공극이 커 연속되는 파력이 공극을 통하여 성토부까지 그 영향을 끼치어 토립자가 흡출되므로 토립자가 빠져 나가지 않도록 양층 사이에 2~3개 층으로 화학섬유, 모래, 자갈 조약돌순 등으로 필터공을 설치한다.
- (3) 필터재의 입도곡선
이상적인 필터재의 입도는 흙, 모래, 조약돌 사석층 순으로 각층의 입도곡선이 서로 평행하는 것이 좋다.
- (4) 필터재가 갖추어야 할 조건
성토층의 안정성과 내구성을 조장하고 있는 필터공은 아래와 같은 2개의 주요 필수 조건을 갖추어야 한다.
조건 I: 필터층을 통하여 수분은 통과하지만 토립자가 통과하지 않는 구조이어야 한다.
조건 II: 필터재의 투수성은 성토재의 투수성보다 큰 것이 원칙이나 적어도 같아야 한다. 이것은 조위와 파동에 의해 변화되는 수압이 필터공내로 잘 침투되면서 소멸하기 위한 것이며 또

한 필터층이 과압을 받지 않도록 하기 위해서이다.

(5) 토목섬유 필터

- ① 토목섬유 필터는 방조제의 경우 모래 필터층으로 대신하거나 돌붙임공 뒷면의 토입자 흡출을 방지하기 위해 설치하는데 널리 활용 되고 있다. 토목섬유의 필터는 운반 및 부설이 용이한 반면 외부에 노출되면 재질의 변질이 촉진되고 석재의 돌출부위 등에 의해 재료의 손상과 시공 후 재질의 압밀과 세립자 층의 차단 등 필터역할이 저해될 여건이 많으므로 채택에 신중을 기하도록 한다.
- ② 피복돌붙임공 뒷면에 설치되는 필터공은 필터를 보호할 수 있는 충분한 보호용 자갈층과 울석층등 점진적인 변화층을 두어야 한다.
- ③ 투수유속이 크게 발생하는 구간에서는 시공성을 고려하여 결정해야 한다.

4.2.3.6 바닥다짐공

- (1) 바닥다짐공은 바깥쪽비탈 피복공의 비탈끝 또는 기초공의 앞면에 접속하여 설치하는 것으로서 방조제본체와는 독립하여 침하 또는 가요성 구조로 한다.
- (2) 바닥다짐공은 보통 바깥쪽 비탈피복공 또는 기초공의 전면에 설치되며 파력을 감쇄하는 효과 및 파랑에 의한 세굴을 방지하여 피복공, 기초공을 보호하는 역할을 한다. 따라서 지반이 양호하여 비탈기슭의 세굴염려가 없는 경우에는 바닥다짐공이 필요치 않다. 그러나 방조제를 축조하면 해안의 평형이 깨져 앞면이 세굴되는 등 해안선에 예기치 않은 변화가 일어나므로 원칙으로 바닥다짐공을 하도록 한다.
- (3) 바닥다짐공은 바깥쪽 비탈 피복공의 비탈기슭 기초공의 앞면에 접속하는 위치에 설치하며 이때 가요성이 있어야 하며 단독으로 침하될 수 있도록 피복공이나 기초공과 띄어 놓는 것이 좋다. 이밖에 바닥다짐공 자체가 세굴에 의하여 기울어져 기초공 또는 피복공과의 사이에 틈이 생기거나 바닥다짐블록 사이의 지반이 파랑에 노출되지 않도록 잘 시공해야한다. 세굴에 의한 바닥다짐공의 호트러짐을 방지하기 위하여 작은 깐돌, 쇠다발 아스팔트, 매트 등을 부설하는 경우도 있다. 또한 연약지반인 경우는 모래기초공, 쇠다발기초공 등의 위에 돌을 깔기도 하고 그 위에 바닥다짐을 한다. 직립형의 바깥쪽 비탈피복공인 경우는 바닥다짐 나비를 넓게 하는 것이 좋다.
- (4) 바닥다짐공의 규모결정에 활용되는 공식은 특수한 조건에서의 실험식이기 때문에 바닥다짐공 연장결정에 일치되는 것이 아니므로 세굴심도와 세굴범위를 추정하여 공사 기간중 안정성이 유지할 수 있는 범위와 상공공이 유실되었을 때의 끝막이 공사에 미치는 경제적, 기술적 제반여건을 검토하여 결정되어야 한다.
 - ① 바닥다짐 연장계산은 Bligh식을 이용한다.
 - ② 세굴심도 계산은 바닥다짐이 있는 경우 Spaagaren 실험식을 이용한다.
 - ③ 사석바닥 다짐공
이 공법은 일반적으로 널리 사용되지만 최근에는 큰돌을 구하기 어려워져 비교적 파랑이 작은 곳에 채용된다. 사석의 두께는 1m 이상 두마루 폭은 2~5m 비탈기울기는 1:1.5 ~ 1:3 정도가 표준이다.

해면간척 방조제 설계

④ 콘크리트 블록공

이 공법은 사석대신 최근에 널리 채용되고 있으며 여러 가지 형상의 콘크리트 블록이 사용되고 있다. 그러나 콘크리트 블록공은 공극이 매우 크므로 사석, 쇠다발 등을 병용하는 것이 좋다.

각 블록은 충분한 크기의 것을 사용하여 흠어지지 않도록 배려해야 한다. 특히 제일 선단에 있는 것은 이동하기 쉬우므로 그 부분만 중량을 크게 하는 것도 한 방법이다. 블록은 일반적으로 2단 쌓기로 하며 바닥나비는 사석인 경우와 같은 정도이다.

4.2.3.7 파라핏공

(1) 파라핏공은 제체와 일체가 되도록 견고하게 연결해야하며 원칙적으로 철근콘크리트 구조로 하고 신축이음은, 바깥비탈피복공의 신축이음과 일치되도록 한다.

① 파라핏 (Parapet)공은 피복공에 충돌한 파랑을 바다 쪽으로 돌려보내는 기능을 갖는 것으로 제체의 마루에서 돌출시켜 설치한 구조물을 말한다. $H=1.65\sim4.7\text{m}$ 의 파랑을 대상으로 한 모형실험으로 부터 얻은 2m정도 높이의 파라핏공의 표준형이다. 파라핏에는 상당히 강한 파력이 작용하므로 제체와 일체인 구조로 할 필요가 있다. 그러므로 철근콘크리트 구조를 원칙으로 한다.

② 바깥비탈 피복공은 보통 직선형이므로 파라핏공이 그 위에 설치되면 절선이 된다. 이런 경우 접촉부는 약한 부분이 되기 쉽기 때문에 접속부를 매끈하게 시공할 필요가 있다.

③ 바깥비탈 피복공이 콘크리트 피복공인 경우에는 파라핏공의 철근 1m 이상 바깥비탈 피복공 속에 묻어 바깥비탈 피복공과 일체가 되도록 한다.

4.2.3.8 소파공(消波工)

(1) 소파공에 의하여 독마루 높이를 낮출 때는 소파공의 독마루 폭은 이형블록 2개의 폭 이상 소파공의 독마루 높이는 표 4.2-4에 나타난 높이로 해야 한다. 여기서 h_c 는 설계조위 위의 제방 독마루 높이이다, 또한 이형블록의 개수는 제일 위 층의 블록에 대한 것으로 한다.

〈표 4.2-4〉 소파공의 소요 독마루 높이

소파공의 독마루 폭(B)	소파공의 소요마루 높이(h_m)
블록 2개를 놓을 때	$0.8h_c$ 이상
블록 3개를 놓을 때	$0.7h_c$ 이상
블록 4개 이상을 놓을 때	$0.5h_c$ 이상

(2) 소파공은 다음과 같은 경우에 사용된다.

- ① 기초지반이 연약하여 필요한 높이의 제방을 축조할 수 없는 경우
- ② 배후지의 용도가 중요하여 많은 양의 율파를 허용치 않을 경우
- ③ 파랑이 커서 아주 높은 제방이 필요하지만 소요높이로 할 수 없는 경우

- (3) 소파공은 충분한 독마루 높이와 독마루 나비가 없으면 큰 소파효과를 기대하기 어려운 경우 등이다. 만일 소파공의 독마루 높이가 부족하여 설계고조위시에 수몰 또는 수면에 약간 돌출하는 경우에는 오히려 월파를 더 심하게 할 위험이 있으므로 이러한 단면은 피해야 한다.
- (4) 소파공의 내부는 흡출되지 않을 만한 크기의 줄 또는 블록을 채우고 표면 부근에는 소요중량의 블록 등을 설치하는 것이 공사비도 저렴하고 또 유실에 대하여도 효과적이다.
- (5) 소파공은 방조제 비탈기슭의 세굴, 제체 위로 흡출되는 것을 방지하는 효과가 있으나 이를 설치했다고 하여 비탈피복공의 기초공사를 극단으로 간단하게 해서는 안 된다.

4.2.3.9 기슭 보호공 (根止工)

- (1) 제체의 안쪽 및 바깥쪽 비탈끝에는, 원칙적으로 기슭 보호공을 설치한다.
- (2) 안쪽비탈 기슭 보호공
 - ① 기슭보호공은 안쪽비탈 보호공의 이동, 침하를 방지하며 비탈기슭을 보호하기 위해 근입깊이는 충분하게 할 필요가 있다.
 - ② 기슭보호공의 독마루를 너무 높게 하는 것은 토압이 증대하여 좋지 않다. 또한 기슭보호공을 배수로의 한쪽 벽과 병용할 수 있다.
 - ③ 기슭보호공체는 일반적으로 현장타설 콘크리트가 사용되며 근입깊이는 0.5~1.0m 정도이다. 때로는 널말뚝, 콘크리트 채움말뚝, 콘크리트 관, 울타리공 등이 사용된다. 또한 연약지반일 때에는 필요에 따라 말뚝기초로 한다.
- (3) 바깥쪽 비탈기슭 보호공
 - ① 바깥쪽 비탈기슭보호공은 파랑에 의한 바깥쪽 비탈보호공의 이동 유실 침하를 방지하여 비탈기슭을 보호하므로 그 구조는 피복공의 중량, 기초지반의 지지력 및 앞면의 수리조건 등에 따라 결정한다. 지반이 좋은 경우에는 콘크리트 기초, 콘크리트 블록 기초 등이 사용된다. 기초지반이 연약하여 단순한 기초로는 충분한 지지력을 기대할 수 없는 경우는 2종류 이상의 기초공을 병용하는 경우도 많다.
 - ② 매우 연약한 지반의 경우에는 모래기초공, 사분 또는 사블록기초공, 쉰다발 기초공 또는 연약지반 처리공법에 의한 처리를 한다.

4.3 안정성검토

4.3.1 개설

- (1) 방조제 안정을 위해서는 제체 자체의 안정성과 기초의 안정검토가 중요한 사항이며 부득이한 경우 안정성을 높이기 위해서는 지반을 개량해야 한다. 또 방조제의 중요도에 따라 내진설계를 해야 한다.
- (2) 방조제의 안정도 검토는 이를 축조할 기초지반에 대한 안전검토와 방조제 자체의 안정검토로 나누어서 생각할 수 있다.
- (3) 연약 기초지반 위에서는 아무리 완벽한 단면을 갖는 방조제를 축조하더라도 기초지반위에 작용하는 하중에 의하여 지반이 침하하거나 활동이 일어나기 쉽다. 이러한 방조제의 침하량은

해면간척 방조제 설계

연약층 두께가 클수록 크게 되고 또 활동은 이것이 일어나는 위치에 따라 달라지므로 기초지반의 안정도는 세심한 검토를 해야 한다.

- (4) 방조제는 일반적으로 암반이나 견고한 지반위에 축조하는 일은 거의 없고 대부분 연약한 지반위에 축조하게 된다. 또 간척규모가 커짐에 따라 방조제의 규모도 대형화되고 있으며 따라서 기초지반상에 작용하는 제체의 단위하중도 증가하게 되어 이에 대한 기술적 검토의 필요성이 더욱 요구되고 있다.
- (5) 이와 같이 연약지반상에 축조하는 방조제의 안정성을 높이기 위해서는 연약한 기초지반을 개량하여 지지력을 증가시키고 침하량을 작게 하는 방법과 제방의 형태를 개선함으로써 기초지반에 작용하는 하중을 작게 하는 방법으로 대별할 수 있다.
- (6) 연약지반의 개량공법에는 제방을 지지하기 위한 여러 가지 기초공법이 채택되고 있으며 또한, 지반자체를 개량하는 방법도 많이 연구되고 있으나 공사비가 많이 소요되는 결점이 있다.
- (7) 제방의 형태를 개선하는 방법은 기초의 나비를 넓혀 제체하중을 분산시켜 단위하중을 작게 하여 제방의 안정도를 높이는 것이다.
- (8) 연약지반상에 방파제를 설계할 때는 기초지반에 대한 충분한 현장조사와 시료를 채취해서 실내시험 결과를 토대로 하여 지지력과 침하에 대한 안정검토를 해야 한다.
- (9) 또한, 제체의 성토재료로는 공사현장 부근의 토사, 해사 또는 이토 등이 있으나 현장여건에 따라 양질의 재료를 얻지 못하는 경우가 많으므로 현장여건에 적합한 실내토질시험을 하여 재료선정에 따른 안정도를 검토해야 한다. 특히 방조제의 안정검토를 위해서는 안전율을 구하는데 사용하는 토질정수의 정확한 값을 구하도록 노력해야 한다.
- (10) 제체에 작용하는 외력으로는 정수압, 파력, 양압력, 토압 등이 있으며 이로 인해 발생하는 제체의 활동, 전도 침하 등에 대한 안정검토를 해야 한다.
- (11) 간척지의 방조제는 외수위의 승강에 따라 내외수위차가 생겨서 제체내의 수류는 바깥쪽에서 안쪽으로 또는 안쪽에서 바깥쪽으로 이동 방향이 바뀌면서 흐르게 된다. 이때에 바깥쪽에서 안쪽으로 침투하는 유량은 허용범위 내에 들어야하며 파이핑이 일어나지 않도록 침투로의 길이를 충분히 길게 취해야 한다. 또한 외수위가 강하하였을 때 방조제 바깥쪽에서 작용하는 양압력의 변화에 대해서도 안전할 뿐만 아니라 침윤선 이하 부분의 성토재료가 포화되어 공극수압의 증가에 따른 전단력이 감소하는 경우에도 제체는 안전해야 한다.
- (12) 간척지에 축조되는 방조제의 안전율은 조위의 변동이나 간척공사완료후의 안정조건의 변화 등에 따라 달라지므로 이들 각각의 조건에 대한 안전율 중에서 가장 위험한 상태에 대하여 검토해야 한다.
- (13) 실제의 문제로서 안정성을 검토하는 방법의 적합성을 검토하는 것도 중요하겠으나 안정해석에 채택되는 흙의 강도정수에 대한 검토가 더욱 중요하다.

4.3.2 제체의 안정

- (1) 제체의 안정검토는 파괴면을 가정하고 파괴이상에 작용하는 역학적 조건들을 고려하여 안전율을 산출한다. 본질적으로 불정정적인 문제의 해석을 위해 여러 가지 해석방법이 제시되고 있으나 평형조건의 만족을 위한 가정조건들이 각각 다르기 때문에 산출된 안전율도 다르게

나타난다. 단괴제 및 토압의 문제도 같은 범주에 속하며 이를 모든 해석방법에 적용하는 기본 개념은 한계평형방법이다.

4.3.2.1 안정해석의 접근방법

- (1) 방조제와 같이 흙으로 구성된 제체 및 기초의 안정해석은 가정된 단면에 미치는 수압, 파력, 토압, 상재하중 등 외력에 대한 지반 및 제체가 갖는 저항력을 고려하여 안전율을 구하고 이 안전율로서 제체의 안정성을 평가한다.
- (2) 기존의 역학적인 평형조건해석에 의한 안전율 산출방법과 더불어 근래에는 확률적 개념에 의해 안정성을 검토할 수도 있으나 불확실조건에 대한 개념과 그 영향력 규명의 어려움 하나의 기준으로 적용된 안전율과의 연계성 부족, 토질분야에서의 확률적 개념 미정착 등으로 국내의 경우 기존의 한계 평균개념에 의한 안전율을 설계의 기준으로 적용하는 것을 원칙으로 하고 있다.

4.3.2.2 제체의 안정해석

(1) 안정해석의 원리

- ① 간편하게 사용할 수 있는 펠레니우스 (Fellenius) 방법과 작도법을 주로 적용한다. 또한 별도의 계산과정이 필요 없이 투표에 의해 안정계수를 적용하여 수로제방과 같이 비교적 간단하게 제체에 적용할 수 있는 방법을 택하여 실무에 적용하여 왔다. 그러나 이러한 안정해석 방법은 힘과 모멘트의 평형조건 모두를 만족시키지 못하는 이론상의 결함을 가지고 있다.
- ② 이러한 방법 외에 복잡한 계산을 요구하고 이론적으로 보다 진보된 Bishop, Janbu, Spencer, Morgenstern과 Price 방법 등이 컴퓨터의 보급으로 실용화가 가능하게 되었으며 이들 방법을 적용함으로써 이론적 완벽성 이외에 최소안전율을 나타내는 임계권의 추출 계산상의 오차 등 반복적인 계산의 정확성을 기할 수 있으므로 고급해석방법을 적용한 전산 프로그램을 사용하여 안정해석을 하는 것을 원칙으로 해야 한다.

(2) 한계평형방법과 안전율

한계평형방법에서는 흙의 변형을 무관하며 일반적으로 모어 - 쿨롬(Mohr- Coulomb)의 파괴 기준을 적용한다.

한계평형방법은 안정해석 뿐만 아니라 지지력 및 토압문제에도 적용되며 실제적인 면에서 한계평형방법에 의한 안전율은 그 값이 1.0인 경우에만 이론과 부합되며 기타의 조정에서의 안전율의 크기에 대한 개념은 그 값이 커지거나 작아짐에 따라 안전성이 비례적으로 증가하거나 취약해짐을 뜻하는 것은 아니다. 즉 안전율이 1.0인 경우 한계적인 평형을 나타내며 파괴와 안정의 갈림점이 되는 것으로서 안전율 0.9와 0.8의 차이는 숫자상의 차이는 있으나 이미 파괴가 발생되었다는 점에서는 공통적으로 같다. 그 이유는 안전율이 가상된 파괴면에 대해 한계평형개념에 의해 산출되기 때문이다.

(3) 안전율

설계에 적용하는 최소안전율은 " 1)" 항에서 언급한 바와 같이 절대적인 값으로 정할 수 없으

해면간척 방조제 설계

며 원칙적으로는 설계자가 안정계산에 적용된 토질정수의 대표성 안정해석방법 및 계산회수, 시공과 설계의 일치가능성여부, 외적 하중조건의 변화, 지진, 파이프, 세굴 및 각종 조사 자료의 신빙성 등을 고려하여 결정해야 한다. 설계기준 안전율은 지구별, 노선별, 형태별로 다를 수 있고 또 설계자에 따라 다를 수 있으나 특별한 경우를 제외하고는 방조제 완성후의 단면은 1.2이상을 1차 단면은 1.0이상을 기준으로 한다.

이밖에 항복점에서의 전단강도 적용시의 안전율 1.5를 1기준으로 하나 일반적으로는 1.2~1.4를 적용한다. (영국 캐나다 및 미국)

결론적으로 설계기준 안전율은 제반여건을 고려하여 설계자가 안정성을 충분히 확보할 수 있는 범위에서 정해야 하며 확신을 얻지 못할 경우는 유사한 조건의 타 제체의 설계 및 현 상태의 안정여부 등을 참고하여 결정하고 자료가 빈곤하거나 기본설계 시에는 종래의 적용기준을 사용하여도 무방하다.

(4) 안정해석방법에 따른 안전율 비교

동일한 조건하에서 여러 가지 방법을 적용하여 계산된 결과를 비교하면 Spencer Morgenstern 과 Price 방법은 거의 유사한 결과를 나타내며 Fellenius 방법은 안전율이 다른 방법에 비해 작은 값으로 산출된다. 비숍(Bishop)의 간편법은 차이는 작으나 전반적으로 큰 값을 나타내는 경향이 있다.

4.3.2.3 토질정수의 선정

(1) 제체 및 지반의 안정계산 시에는 무엇보다도 토질정수의 선정이 중요하다. 일반적으로 지반 파괴면에 작용하는 전단응력은 그 응력을 발생시키는 외력을 고려하여 토질정수를 결정한 후 안정해석을 한다. 사체의 경우, 가정 파괴면에 작용하는 실제의 전단응력이 만일 전단강도보다 작다면 안전율이 1.0이상이 되며 이때는 파괴가 발생하지 않는 것으로 생각한다.

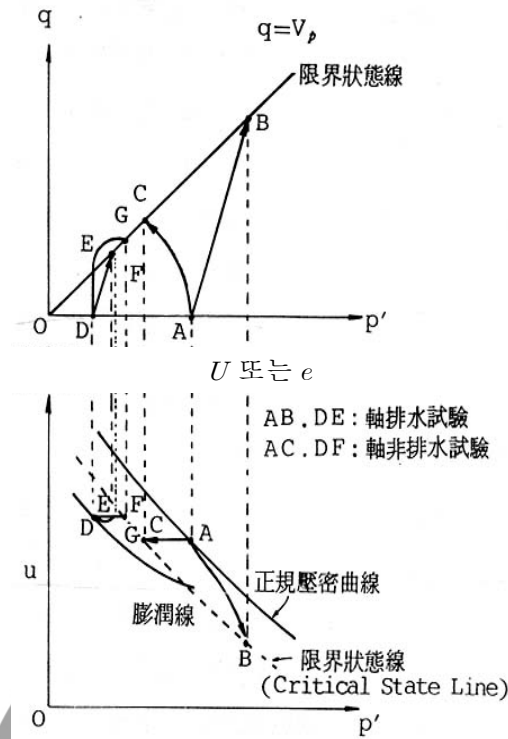
(2) 이와 관련하여 비숍(Bishop)과 비에름(Bjerrum)은 포화연약지반의 안정문제를 단기와 장기로 구분하여 해석해야 한다고 지적하고 있다.

① 전응력 설계법

투수성이 매우 적은 포화점토지반상에 비교적 단기간에 제체를 축조할 경우 제체 하중으로 발생하는 과잉간극수압이 시공 중에 대개 완전히 소산되지 않으며 결국 비배수상태가 된다. Cam-Clay 모델에 의하면 재하에 의한 지반내의 응력변화가 삼축압축 상태에 있다고 가정하고 그림 4.3-1의 응력경로와 같이 정규압축점토에서는 비배수상태의 강도가 C점에 나타나 배수상태의 B점보다 매우 작게 된다. 이러한 경우 외력에 대해 비배수상태가 되며 비배수전단강도계수 C_u, ϕ_u 를 적용하여 안정해석을 한다.

② 유효응력설계법

과압밀된 점토의 경우 비배수상태의 강도인 F점은 배수상태에서는 E점으로 된다. 따라서 과압밀점토의 경우는 정규압밀점토와는 달리 배수상태가 비배수상태보다 더 위험하게 되므로 유효응력에 의한 정수 C', ϕ' 를 적용한다.



〈그림 4.3-1〉 삼축압축시험의 응력경로

③ 다짐과 전단강도

방조제의 초기의 성토는 수중에서 진행되므로 다짐이 현실적으로 어렵게 된다. 따라서 성토재료의 전단강도를 적당한 다짐에 의해 규정할 필요가 있다. 수중성토부분에 대한 자연 다짐은 전성토의 하중 및 시공완료 후 경과기간수위 및 지반조건의 영향을 받으나 일반적인 방법으로 최적함수비 상태에서의 최대진조밀도의 약90%를 취하고 이때의 밀도에 대한 전단강도를 적용하도록 되어있다. 그러나 수중성토부분의 단위중량 추정이 어려우므로 토질 및 제 여건을 관련하여 안전치로 택해야 하며 시공 중에 확인검토가 필요하다.

④ 간극수압의 산정

방조제 한쪽은 정상침투류로 간주할 수 있는 반면 외측은 비정상류로 해석해야 한다. 정상류는 일반적 침투해석방법인 유선망을 사용하여 제체 및 지반의 간극수압을 구할 수 있다.

(3.3 침투해석 참조)

그러나 내측의 수위급강하시 또는 외측 조위의 변화에 따른 영향에 대하여 보다 정확한 해석을 하기 위해서는 Laplace 방정식을 이용하여 비포화 흐름을 고려한 방법으로 해석하고 그 결과에서 얻은 간극수압을 안정해석에 적용해야 한다. 수위급강하 또는 수위 급상승의 경우는 조위와 같이 일정한 주기로 수위가 변화하는 경우에 비해 간극수압의 변화가 크며 외측의 조위의 영향은 고정된 이력(Hysteresis)으로 나타나므로 투수층의 표면부분에 변화가 생기고 하류 쪽은 거의 고정된 간극수압을 나타낸다.

안정해석을 위한 간극수압의 산출은 일반화된 유한요소법을 사용한 여러 가지 전산프로그램으로 쉽게 적용할 수 있고 작도법 또는 경험식으로 구한 값보다 정확한 값을 얻을 수 있다.

해면간척 방조제 설계

수위변화에 따른 비정상류의 침투해석시 간극수압은 가장 위험한 상태의 수위조건에서의 정상류로 가정하여 안정해석을 할 수 있다.

4.3.2.4 안정해석과 전산처리

- (1) 제체의 활동에 대한 안정검토는 각 방법별로 전산프로그램이 개발되어 임의로 선택하여 사용할 수 있으나 해석방법 및 프로그램의 정밀도와 신뢰도를 파악하여 적용하여야 한다.

4.3.2.5 단괴제에 대한 안정검토

- (1) 제체가 사석 콘크리트 등 흙이 아닌 구조물로서 기초지반과 일체로 작용하지 않는 경우에 대해서는 지지력, 활동 및 전도에 대한 안정검토가 필요하다. 단괴제(單塊堤)에서의 활동은 대개 제체와 지반의 경계면 즉 이질층의 경계면에 따른 활동을 의미한다. 이와 함께 취약층을 따라 파괴되는 현상과 구조물의 하중으로 인한 지반의 원호활동도 검토되어야 한다.
- (2) 활동에 대한 안정검토
기본적인 개념은 제체의 안정해석 개념과 동일하다. 단괴제에 대한 안정검토를 위한 일반적인 방법으로서의 안전율은 Deere의 식을 적용할 수 있다.
- (3) 전도에 대한 안정검토
단괴제의 경우 전도에 대한 안정검토가 필요하다. 안정검토방법은 옹벽의 경우와 같으며 일반적인 전도에 대한 안전율로 구한다. 최소안전율은 1.5를 적용하되 지반이 점질토이거나 수동토압을 고려할 경우에는 2.0을 적용한다.

4.3.2.6 내진에 대한 안정성 검토

- (1) 제체에 대한 내진설계
제체의 안정성에 영향을 미치는 동하중으로는 지진력 차교하중, 파력 등이 있다. 지진에 의한 제체 및 기초지반의 안정은 지진에 대한 기록치와 현장의 지반 및 토질상태 또한, 진앙지(震央地)에 관한 자료와 흙의 동적시험자료 등 여러 가지 자료에 의해 별도의 안정성 검토가 필요하다.
우리나라는 아직 내진설계를 위한 자료가 충분치 않고 또한 강도 및 발생빈도가 적어 제체 또는 지진 지반의 동적해석은 생략하거나 간략법에 의한 여유확보라는 의미로 안정성을 고려하고 있으나 특히 하이드로릭필공법으로 축조한 규모가 큰 방조제의 경우는 보다 정확한 내진설계를 필요로 한다. 제체 또는 지반의 내진설계는 국내의 경우 일반적으로 진도법에 의한다. 근래에는 설계 진도를 높여서 적용하는 사례가 많다. 원자력발전소의 경우에는 0.2이상의 값을 택한 예가 있다. 지진에 대한 영향이 심할 것으로 판단되는 경우 계측자료 또는 모의자료를 통해 별도의 동적 해석을 할 수 있으며 여기에 적용되는 대표적인 해석 프로그램으로 SHAKE (SEED 및 Schnabel, 1972)가 있다.
- (2) 액상화 판정
흙 구조물(제체) 혹은 기초지반을 구성하는 흙이 지진력에 의한 간극수압의 발생에 따라 토립

자 사이의 전단강도를 상실하는 현상을 액상화라 한다.

사질지반에 축조되는 방조제는 액상화에 의해 제체의 안정성이 급격히 저하하는 경우가 있으므로 축조지점의 액상화에 대해 충분한 검토를 해야 한다. 사질지반의 액상화 조사법은 다음 2가지 방법이 있으며 일반적으로 사용에 간편한 간이법과 상세한 조사가 필요할 때 하는 엄밀법의 2가지 방법이 있다.

① 간이법

모래지반의 액상화 가능성은 과거 액상화 사례나 이에 대한 각종 검토결과를 참고하여 판정하는 것이 바람직하다.

이 방법은 주로 N치에 의해 판정하며 그 상세한 설법은 구조물기초설계기준(건설부 1986)을 참고하여 조사결과 액상화 가능성이 있으면 이에 대한 대책을 강구해야 한다.

가. 액상화 간이에측법 (케이스I)

원지반면에서 깊이 10m이내의 포화각질토층은 표준관입시험의 N치가 10m이하 균등계수(V_c)가 6이하 입도분포곡선의 D_{20} 이 0.04~0.5mm 범위에 있을 때 액상화가 용이하며 내진계산상 지지력을 무시하는 토층으로 취급한다.

단, D_{20} 이 상기의 범위에외라도 0.004~1.2mm 범위의 입경은 액상화가능성이 있으므로 주의를 요한다.

나. 액상화 간이에측법 (케이스II)

「액상화의 위험성과 N치」는 상대밀도를 표준관입시험의 N치로 표시하여 지하수위가 대략 지표면에서 2~3 m의 깊이에 있을 때 진도 0.2g 정도의 지진시 액상화를 일으키는 한계 N치를 Seed와 Idriss의 연구결과를 토대로 그린 것이다. 그림에서 N치가 A의 범위에 있으면 액상화 가능성은 적고 C의 범위에 있으면 그 위험성은 매우 높고 또 B의 범위에 있으면 지반이나 지진동과 특성에 좌우되므로 판정을 내리기가 곤란하다. 따라서 이와 같은 지반은 액상화 방지대책을 수립하거나 보다 상세한 검토를 해야 한다.

다. 액상화 간이에측법 (케이스III)

입도분포 및 N치에 의한 방법으로 액상화를 예측하는 경우 한계 N치 이하일 때는 액상화 발생의 우려가 있다.

구조물의 건설대상지반은 다양하므로 각 조건을 적용할 때 이들이 유도된 과정을 잘 이해하여 적절하게 적용하도록 유의해야 한다.

방조제는 진도법에 의해 내진설계를 하는 경우가 많은데 이 경우 제체의 내진설계에 고려하는 지진동과 액상화에 대한 지반의 안정검토시에 고려하는 지진동을 대략 같은 것이 되도록 하려면 설계진도와 지진동의 최대가속도의 대응함수가 필요하게 된다.

라. 액상화 간이에측법 (케이스 IV)

액상화 저항계수(F)를 산정하여 $F \leq 1$ 인 경우는 액상화가 발생하며 $F \geq 1$ 인 경우는 액상화가 발생하지 않는다고 판정하는 방법이다.

② 엄밀 판정법

방조제의 액상화 가능성에 대하여 보다 상세한 조사가 필요하다고 판단될 때는 현지에서 채취한 교란되지 않은 시료를 이용하여 토질시험을 하거나 현지의 지반조사를 실시하여 동

해면간척 방조제 설계

적해석에 의해 액상화 발생여부를 판정하는 것이 더욱 정확하다.

다만, 동적실내시험을 실시하기 곤란한 경우는 같은 종류의 지반에서의 상위조사결과를 이용하여 액상화 발생여부를 판정하는 경우도 있다.

4.3.3 침투

- (1) 방조제는 담수위와 조위를 고려하여 침윤선, 침투유량 파이핑 등을 검토하여 안정성이 있는 구조물이 되도록 설계해야 한다.

4.3.3.1 침투해석

- (1) 방조제는 시간에 따라 주기적으로 변화하는 외수위와 접하므로 제체내의 침투류는 비정상류가 되므로 침투류의 정확한 해석은 곤란하다. 방조제의 침투해석은 포화 및 비포화 흐름을 함께 고려하는 최근의 방법에서부터 경험적인 요소가 고려된 작도법에 이르기까지 다양하다. 수계산이 가능한 통상의 방법으로 제체를 통하는 침투량을 구할 경우 대조평균만조위(HWOSTL)를 외수위로 취하고 사수위(DWL)까지 매 1.0m마다 경과시간에 관련시켜 구하되 모두가 허용범위 내이어야 한다.

(2) 침투선

- ① 제체가 투수성 재료로 축조되었을 때 제체속 최상부의 자유수면도 하나의 유선으로 취급하며 이를 침윤선(phreatic line) 이라고 한다. 이때에 상류측의 비탈면은 등퍼텐셜선의 하나로 되고 침윤선은 이에 직교한다.
- ② 제체내의 침윤선은 길보이 (Gilboy) 카사그랜드 (Cassagrande) 등 여러 가지 방법으로 구할 수 있다. 침윤선이 제체 외측비탈면으로 침출되지 않도록 제체의 단면을 조정하거나 드레인(drain)을 설치해서 침윤선을 저하시키고 이곳으로 유입되는 물을 모아 배제하는 방법이 많이 사용된다.

(3) 방조제의 침윤선

- ① 일반적으로 적용되고 있는 저수지의 침윤선 결정 방법에서는 침투류가 한 방향으로만 흐르고 있으며 투수계수의 영향이 전혀 고려되지 않고 있다. 그러나 방조제의 침윤선은 조위승강에 따라서 침투류의 방향이 반대방향으로 규칙적으로 변하며 침투압도 변하고 있으므로 조위의 승강에 의하여 침윤선이 영향을 받는 범위를 우선 결정해야 한다.
- ② 이러한 범위는 조위만화의 크기 및 경과시간과 방조제 성토재료의 투수성 등과 밀접한 관계를 가지고 있다. 성토재료의 투수계수가 큰 경우는 방조제외수위의 변동 즉 간만조차에 따라 침윤선의 변화는 제체 전단면에 걸쳐서 발생하나 성토재료의 투수계수가 작은 경우 외수위변화의 영향은 외해에 접한 쪽에 한정되고 방조제내측에서는 조위변동의 영향이 없다. 또한 담수호에서는 내수위가 거의 일정하나 내제 측 조류권의 수위는 만조시는 상승하고 간조시는 하강한다.
- ③ 이와 같이 내수위의 변동에 의한 침윤선의 영향은 성토재료의 투수계수에 크게 좌우된다.
- ④ 투수계수에 관계되는 외수위의 영향권 내에서 만조 때는 침윤선의 경사가 급해지고 간조 때는 그 경사가 완만해지며 내수위쪽에서는 수위가 일정한 저수지보다는 내수위가 상승함

에 따라 침윤선의 경사가 완만하게 되어 침투압이 감소되고 안정성이 높아질 것이다.

- ⑤ 카사그랜드 이론을 수위변동이 심한 방조제의 침윤선 해석에 그대로 적용하는 것은 불합리하다. 따라서 방조제의 침윤선 해석을 위해서는 성토재료별로 모형시험 등을 실시하고 장기적인 관측자료에 의하여 수위변동에 의한 영향권의 범위 침출도의 위치 유선망 및 포화한계선 등을 결정해야 하며 설계단계에서의 침투해석은 외수위의 시간적 변화를 고려할 수 있도록 포화 및 비포화 흐름을 함께 취급할 수 있는 방법을 적용하여 분석하는 것이 좋다.
- ⑥ 침투에 의한 안쪽비탈면의 붕괴 : 침투선이 제체의 안쪽비탈면에 침출하게 되면 이 부분에는 침투수에 의한 비탈면의 침식이 발생하고 점차 확대되어 제체붕괴를 유발할 가능성이 커지게 된다. 앞에서 설명한 방법으로 대조평균 고조위를 외수위로 해서 침윤선을 그려서 이 침윤선이 안쪽비탈면에 나타나는 경우에는 독마루 폭을 넓혀 방조제의 단면을 크게 하거나 안쪽비탈면의 기울기를 완만하게 하기 위하여 소단을 설치 또는 비탈끝에 침투수를 배제하기 위한 적당한 입도의 필터를 설치하여 침윤선이 비탈면에 침출되지 않도록 저하시켜서 위험을 방지할 필요가 있다.

4.3.3.2 침투수량

- (1) 제체 또는 기초지반을 통해서 침투하는 수량은 제체의 안정도에 영향을 줄뿐만 아니라 담수호에서는 해수의 침투로 인해서 염해를 유발하게 된다. 이와 같은 제체의 침투수량은 제체의 성토재료와 기초지반의 투수성에 따라 다르게 된다.
- (2) 제체의 침투수량을 추정하는 방법은 포물선 침투류에 의한 방법과 유선망에 의한 방법으로 구분된다.
 - ① 포물선 침투류에 의한 방법
이 방법은 제체단면이 균질 기초지반이 불투수성일 경우와 투수성일 경우로 구분해서 침투수량을 구한다.
 - ② 타원(橢圓) 침투류에 의한 방법
제체와 불투수성이고 기초가 투수성일 경우는 유선의 형상을 타원으로 가정하여 기초지반을 통하는 침투수량을 구한다.
 - ③ 유선망에 의한 방법
도식해법 기타의 방법에 의한 계산 또는 모형 실험 등으로 유선망을 그리고 유선 간의 간극과 등포텐셜선(equipotential line)의 간극을 같게 취하면 단위시간당의 침투수량을 구한다.
 - ④ 비등방성 지반에서의 침투수량
위에서의 설명은 모두가 등방성의 경우에 대한 것이나 퇴적토는 대부분이 수평방향의 투수계수가 수직방향의 투수계수보다 훨씬 큰 경우가 많다. 이와 같은 비등방성 토층의 침투현상은 외수위를 일정한 정상류로 가정할 경우를 적용하여 해석할 수 있다.

4.3.3.3 파이핑

- (1) 지반속에서 양압력이 발생하고 동수경사가 한계동수경사(icr)와 같게 되면 파이핑(piping) 현상이 일어난다.

해면간척 방조제 설계

- (2) 파이핑 발생의 판단기준이 되는 한계동수경사는 다음과 같이 표시된다.

$$i_{cr} = r_{sub} / r_w$$

$$r_{sub} = r_{sat} - r_w = \frac{G_s - 1}{1 + e} r_w$$

$$\therefore i_{cr} = \frac{r_{sub}}{r_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

여기서, r_{sub} : 수중단위중량 (tf/m³), r_{sat} : 포화단위중량 (tf/m³)

식에서 G_s 와 e 의 값을 대입해서 계산되는 i_{cr} 값은 대략 0.85~1.10 사이에서 변화한다.

- (3) 널말뚝에서 파이핑에 의한 파괴는 널말뚝으로부터 $D/2$ 이내에서 일어나므로 이와 같은 구조

물의 안정은 하류측의 단위두께와 단면 $D \times \frac{D}{2}$ 의 토주를 사용해서 결정한다.

- (4) 양압력은 유선망을 사용하여 다음 식과 같이 결정한다.

$$U = \frac{1}{2} \cdot r_w \cdot D \cdot h_a$$

여기서 h_a 는 토주저면에서의 평균수두이다. 하류측에서 연직으로 작용하는 토주의 수중중량은 다음 식으로 구한다.

$$W' = \frac{1}{2} r_{sub} D^2$$

- (5) 파이핑에 대한 안전율은 다음 식으로 구할 수 있고 이 값은 대략 4이상이면 안전하다고 한다.

$$F_s = \frac{W'}{U} = \frac{\frac{1}{2} r_{sub} D^2}{\frac{1}{2} r_w D h_a} = \frac{D r_{sub}}{h_a r_w}$$

방조제와 같은 제체의 유효폭을 결정할 때는 파이핑에 대한 안정성을 고려하여 정한다.

- (6) 파이핑 검토를 위한 실험적 기준으로서 크리프비 (creep ratio : C_r)를 적용한다.

$$c_r = \frac{l}{h_{cr}}$$

여기서, C_r : 크리프비 (Creep ratio), h_{cr} : 최대수두차 (m), l : 침투로의 길이 (m)

4.3.4 지반의 지지력과 침하

- (1) 방조제는 기초지반의 지지력에 대한 안정조건과 압밀에 의한 침하에 대하여 검토하고 대책을 세워서 설계해야 한다.

4.3.4.1 일반사항

- (1) 방조제의 기초지반은 충분히 견고하여 방조제 축조에 충분한 지지력을 가지며 압밀침하가 없는 곳이 좋다. 그러나 대부분이 방조제의 기초지반은 이토질의 연약한 간석지이므로 연약지반에 대한 토질조사와 시료채취 및 토질시험을 실시하여 토질정수를 구하고 이를 토대로 하여 지반의 지지력과 압밀침하에 대한 안정도를 검토해야 한다.
- (2) 방조제의 기초지반이 연약할 경우에는 연약지반처리에 특별한 주의를 해야 한다. 특히 콘크리트 구조물을 축조할 때에는 연약지반을 개량하여 직접기초로 설계할 것인지 또는 연약지반처리를 하지 않고 간접기초로 설계할 것인지를 검토하여 안전하고 경제적인 구조물이 되도록 설계해야 한다. 그리고 연약지반위에 제방을 축조할 때는 지반의 지지력 부족으로 인하여 기초지반의 파괴가 일어나므로 이에 대한 안정도를 검토해야 한다.
- (3) 침하에 대한 검토는 지반의 변형에 따른 간접적인 제방의 침하에 대한 것으로서 압밀침하로 인한 제방의 붕괴가 일어나서는 안 되며 공사완료후의 압밀침하에 대하여도 대책을 강구해야 한다.
- (4) 기초지반의 지지력과 압밀침하는 별개의 문제로서 세립토의 기초지반에서는 구조물 시공시에 지지력에 대한 안정처리를 했어도 공사완료 후에도 압밀침하는 계속되므로 연약지반위에 제방을 설계할 때에는 지지력과 침하문제를 각각 별도로 검토해야 한다.

4.3.4.2 지반의 지지력

- (1) 지반의 지지력은 방조제의 직접적인 안정과 깊은 관계가 있다. 방조제·성토하중에 의한 유효지중응력과 지반의 상재하중에 대하여 지지력이 부족시에는 지반파괴가 일어나며 따라서 성토단면도 변형된다. 그러므로 방조제의 사면 안정 검토시에는 기초지반을 포함한 저부 활동에 대하여 원호 활동면법으로 검토하는 것이 일반적이다. 그리고 방조제 성토에 의한 기초지반의 치환심도를 결정할 경우나 기초지반위에 콘크리트와 같은 강성기초로 된 구조물을 축조시에는 지반의 지지력은 제방의 직접적인 안정과 깊은 관계가 있으므로 지반의 허용지지력에 대하여 검토해야 한다.
- (2) 지반의 허용지지력은 일반적으로 테르자기(Terzaghi)의 공식으로 계산한 극한지지력을 안전율 ($SF=2\sim3$)로 나누어서 구한다.
 - ① 방조제 기초지반의 지지력

지반의 지지력은 방조제를 대상기초로 보고 이에 대한 국부전단 파괴시의 지지력 공식을 사용하여 구한다.

방조제는 해수와 접하고 있어 조위에 따라 성토재료의 포화중량이 달라지므로 지반의 안정은 가장 위험한 조위와 시기에 대한 지지력을 검토해야 한다. 특히 연약지반에서는 기초지반 파괴에 대하여 안전해야 하며 이는 원호활동면법으로 검토하는 것이 일반적이다.
 - ② 편심하중을 받지 않는 구조물의 지지력

연약한 기초지반위에 축조되는 콘크리트 구조물의 지지력 검토는 일반적으로 테르자기의 수정지지력 공식을 많이 사용하며 지반의 허용지지력 (q_a)이 구조물의 최대 접지압 즉 지반의 최대응력 (q_{max})보다 커야한다.

지반의 허용지지력은 극한지지력을 안전율 ($SF \approx 3$)로 나누어서 테르자기의 수정극한지지력 공식으로 구한다.

③ 편심하중을 받을 때의 지지력

구조물의 접지압 (q)은 구조물의 총하중 (P)이 푸팅 중심에 작용할 때는 $q = P/A$ 로 되나 편심하중이 작용할 때는 편심거리가 멀어질수록 최대접지압 (q_{max})은 더욱 커진다. 그러므로 구조물을 설계할 때에는 가급적 편심거리를 짧게 해야 한다.

4.3.4.3 기초의 침하

- (1) 콘크리트 구조물은 부등침하를 방지하기 위하여 지지력이 큰 지반에 축조해야 하며 만약 연약지반위에 축조할 때는 가급적 연약지반을 개량하거나 지지층까지 연결되는 간접기초로 시공해야 한다.
- (2) 연약층의 두께가 커서 압밀침하가 불가피한 경우에는 침하로 인한 구조물의 기능장애 및 각 부재의 변위발생 등에 대하여 면밀히 검토해야 한다. 연약지반에 방조제를 축조할 때는 연약층의 토질상태와 성토의 시공조건에 따라서 표층부의 연약층이 옆으로 유동되면서 연약층의 일부분이 성토재로 치환되는 경우가 많으며 이때에는 치환된 심도만큼은 압밀층의 두께가 줄어들게 된다.
- (3) 치환심도를 정확하게 산정하는 일은 대단히 중요하며 이 값은 같은 연약층이라도 성토재료의 종류와 두께 시공장비 시공속도 등에 따라 달라진다.

① 압밀침하량

침하량은 즉시 침하와 압밀침하로 구분할 수 있으나 즉시침하는 주로 오래 지반에서 발생되므로 대개는 시공 중에 거의 완료된다. 그러므로 침하량은 공사완료 후에도 장기간에 걸쳐 발생하는 점질토 기초지반의 압밀침하에 대하여 검토해야 한다.

가. 치환두께

기초지반의 치환은 수직 및 평균방향에 대해서 각각 성토하중과 기초지반의 극한지지력을 대비하여 구한다. 이 중에서 기초지반의 표면에 가장 먼저 시공되는 성토에 의하여 연약한 지반토가 측방으로 유동되면서 성토로 치환되는 양이 제일 중요하며 이 후로도 성토고가 높아짐에 따라 치환량은 증가될 수도 있다.

치환심도는 성토하중과 지반의 극한지지력이 평형을 이루는 심도까지로 판단하는 것이 일반적인 방법이다.

성토하중을 계산할 때 성토재료의 하중은 시공장비의 하중을 고려해야 한다. 장비하중은 성토재료의 등분포하중으로 환산하는 경우가 많으며 성토두께가 두꺼울수록 장비하중의 영향은 작다.

또한, 기초지반은 단위중량이 작은 점질토이므로 단위중량이 큰 사석재나 산토재로 치환될 때 지반토의 하중도 증가된다. 따라서 성토하중에 의하여 치환되는 부분의 지중응력은 성토고 (H)가 높고 치환심도가 깊을수록 증가된다.

지반의 지지력계산은 성토를 할 때의 기초지반의 변형상태를 고려하여 국부전단파괴시의 극한지지력으로 계산하는 것이 일반적이다.

한편 치환폭은 일반적으로 상재하중이 30°로 분포되는 폭 이상으로 하며 굴착경사는 굴착심도와 당초 지반의 전단강도에 따라 결정되는데 1:1.5~2.0 정도로 한다.

나. 지반내의 지중응력

연약지반위의 축조되는 콘크리트 구조물에 의해 생기는 기초지반내의 수중응력은 일반적으로 근사해법으로 구한다.

다. 압밀침하량

기초지반의 치환이 선행된 다음에 장기적으로 일어나는 압밀침하량은 연약지반이 정규압밀상태인지 또는 과압밀 상태인지에 따라 달리 산정한다.

4.3.5 연약지반처리공법

- (1) 방조제를 비롯한 간척사업지구내의 각종 구조물은 연약지반에 축조되는 경우가 많다. 이와 같은 때에는 활동 또는 부등침하에 의한 파괴를 일으키지 않도록 지반을 처리해야 한다. 연약지반처리공법은 시공성이 좋고 경제적이며 시공 후 안정성이 있는 공법을 택해야 한다.

4.3.5.1 처리공법의 선정

- (1) 말뚝기초 케이슨 기초 등은 가장 전형적인 연약지반용 기초이다. 그러나 이들 기초는 공사비가 많이 소요되므로 연약지반자체를 개량 이용하는 것이 경제적인 경우가 많다. 여기서 연약지반이라 함은 연약점성토 지반은 물론이고 공극비가 크고 포화되어 있는 느슨한 사질토 또는 유기질토와 이탄토도 포함된다.
- (2) 연약지반개량공법은 개량목적과 현지여건에 따라 구분할 수 있으며 지역특성에 따라서는 특수공법을 적용해야 하는 경우도 있다.
- (3) 개량원리적인 면에서 지반의 지지력 부족으로 과대한 침하에 의한 구조물의 파괴가 우려될 때에는 지중전단응력이 작게 작용하도록 경량자재를 이용하거나 구조물 기초저면적을 확대하여 하중을 분산 또는 압성토를 이용하여 활동파괴를 방지하는 방법도 검토대상이 될 수 있다.
- (4) 치환공법은 연약점토지반을 단기간에 확실한 개량을 기대할 수 있는 공법이다.
- (5) 샌드드레인과 같은 배수공법은 점토층이 두터워서 자연압밀공법으로는 공기 내에 완료하기 어려울 때 이용된다. 다짐공법은 사질지반을 대상으로 진동을 가하는 등으로 지반을 개량하는 공법이다.
- (6) 고결공법에는 주입방법 열처리방법 동결방법이 있으며 시공시에 석회, 점토 약액 등을 흙의 문극에 주입하여 지반을 고결시키는 공법이다. 지수 또는 말뚝용 고압분사주입방법도 여기에 속한다.
- (7) 이상과 같이 지반개량공법은 그 목적 대상 토질(모래지반, 점토지반 등) 기대되는 개량효과: 공기, 공비, 기능, 규모 등은 물론 필요한 재료, 기계의 확보, 시공성, 환경의 영향 등의 제요소를 바탕으로 종합적으로 비교 평가하여 가장 적합한 공법으로 설계해야 한다. 경우에 따라서는 두 가지 이상의 공법을 같이 사용하여 개량의 효과를 높일 수 있다.

해면간척 방조제 설계

〈표 4.3-1〉 연약지반의 원리와 개량공법

범례 : ○ 적합한 공법, △ 가능한 공법

분류	개량원리	주요공법	적용지반			효 과					유 사 공 법
			점성토	사질토	호(互)층	축진침하	저감침하	억제활동의	동방지측방유	차수수	
하중조절	경량화	경량자재	○				○	○			부초(blanking)공법 네트(net)공법
	하중평형	압성토공법	○					○			
	하중분산	쉬트공법	○					○	△		
		샌드매트공법	○					○			
		표층혼합처리공법	○					○	△		
지반개량	치환	굴착치환공법	○					○	○		파머(폭파)치환공법
		강제치환공법	○		○			○	○		
	배수 및 탈수	선행하중(preloading)공법	○		○	○		○			자연압밀(완속압밀)공법 서차지(여성토)공법
		샌드드레인공법	○		○	○		○			Nick drain 공법 Pack drain 공법
		보드계(페이퍼)드레인공법	○		○	○		○			진동치환(stone column)공법
		웰포인트공법		○	○			○			전기침투공법
		대기압재하공법	○		○	○		○	○		침투압공법, 자연배수공법 깊은우물(deep well)공법
		생석회말뚝공법(화학적탈수)	○					○			강력진공배수공법 소결공법
		샌드콤팩션파일공법	○	○	○	○	○	○	○		폭파다짐공법
	다짐	바이브러플로테이션공법		○			○				진동물다짐공법
		바이브러컴포우저공법		○			○				로드(rod)다짐공법
		동압밀공법		○	○		○				전기충격공법
				○	○		○				맘모스바이브로템퍼공법
	고결	석회계 심층혼합처리공법	○		○		○	○	○		전기화학적고결공법 표층(심층)교반(혼합)공법 분사혼합공법
		시멘트계심층혼합처리공법	○		○		○	○	○	△	
		분사교란공법	○		○		○	○	○	△	
		동결공법	○	○	○				○	○	
	지수	약액주입공법		○	○				○	○	지하연속벽공법
		분사주입공법	○	○	○				○	○	다이하프램웰공법
		지수시트웰공법		○	○				○	○	그라우팅공법
지중구조물	골격형성	체질성토공법	○	○	○			○		○	지지말뚝공법, 말뚝슬래브공법, 말뚝꺽공법

(8) 다음은 간척사업에서 활용빈도가 높거나 금후 활용이 기대되는 연약지반 개량공법에 대한 계

획설계 방법을 요약한 것이다.



〈그림 4.3-2〉 안정처리 방법에 대한 적용 입도 범위

4.3.5.2 압성토 공법

- (1) 기초지반의 활동파괴의 위험이 예상되는 경우 축조물의 측방에 압성토를 시공하여 원호활동에 저항하는 모멘트를 증가시킴으로써 안정성을 높이는 공법이다. 이 때 압성토 부분은 본체성토를 시공한 후에도 그대로 남겨두거나 시공 중 또는 시공 후에 일부 또는 전부를 제거하는 경우가 있다. 이 공법은 원리가 단순하며 설계대로 시공이 가능하고 시공효과가 확실한 점 등 모든 면에서 신뢰성이 높으므로 안정대책으로서 매우 효과적인 대책공법으로 알려져 있다.
- (2) 또한, 공사 중에는 압성토 부분을 공사용 도로로서 활용하거나 공사완료 후에는 주변지역의 측도로 제공하는 등의 장점이 있다. 다만 이 공법은 구조물의 압밀침하에 대한 고려가 되어있지 않으므로 구조물 시공후의 침하량을 계산하여 이에 대한 별도의 조치를 취해야 한다.
- (3) 압성토 공법의 설계는 형상(폭, 높이)과 지반개량조건(개량범위, 간격 등)에 따라 여러 가지 설계계산조건을 가정할 수 있으며 이 중에서 안정성과 경제성을 고려한 최적단면을 결정해야 한다.
- (4) 압성토 높이가 결정되면 압성토 폭(L)과 본체성토높이(H) 및 본체성토 부지폭(B)의 관계를 결정한다. 압성토를 공사용도로나 측도로 이용하고자 하면 각성토의 폭은 4~20 m 범위가 좋다.

해면간척 방조제 설계

- (5) 압성토 공법은 후술하는 샌드드레인 페이퍼드레인등 탈수공법과 같이 사용하여 그 효과를 높이는 경우도 있다.

4.3.5.3 시트(Sheet) 및 네트(Net)법

- (1) 연약지반에 시공기계를 진입시킬 때나 성토를 국부적으로 할 때는 함몰 또는 파괴가 일어나는데 이러한 곳에 인장강도가 큰 시트(sheet)를 깔아 지지력을 증가시키는 공법이다. 설계상 가장 중요한 것은 시트의 인장강도와 개량토의 휨 인장강도이다.
- (2) 시트를 깔 지반의 극한지지력(qult)은 연약지반 자체의 얇은 기초로서의 지지력 쉬트 인장력의 연직 성분으로서의 지지력 쉬트의 인장력에 의한 토피압의 지지력의 합으로서 설계할 수 있다.
- (3) 여기서 사용되는 시트는 일반적으로 P.P. 매트로 알려져 있으나 여기서는 보강기능을 가진 토목섬유 (Geothyn the tic)일체 (Geotextile, Geomembrane, Geogrid, Geocomposite 등)를 말하려 네트(net)도 Winkler이론과 케이블 이론을 도입하여 시트와 같은 목적으로 설계할 수 있다.

4.3.5.4 치환공법

- (1) 구조물의 안정 또는 침하에 대하여 연약층(점성토)의 일부 또는 전부를 여러 가지 방법으로 배제하여 양질토(조립토)로 치환하는 공법이다. 이는 지반개량공법 중에서 가장 단순 정확한 공법이며 굴착치환공법, 강제치환공법, 폭파치환공법이 있다.

① 굴착치환공법

지반을 굴착하여 양질토로 치환하는 공법으로서 배제된 연약층의 처리가 용이하고 치환재료의 취득이 쉬울 때 가장 경제적인 공법이다. 설계조건은 치환재료의 시공완료시 기대되는 강도정수에 지배된다.

② 강제치환 공법

강제(활동)치환은 지지력이 부족한 재제지반을 양질의 감토 하중으로 파괴시키면서 측방 및 전방으로 압출시켜 부풀게 한 후 이를 안정시키는 방법이며 연약토층의 두께가 변은 경우 혹은 매우 연약한 지반에 효과적이다. 유사한 공법으로 대구경 말뚝을 조밀하게 타설하여 강제배토로 다짐사질토 지반을 조성하는 강제치환공법도 이용되고 있다.

③ 폭파치환공법

폭파치환공법은 충격파 발생가스의 팽창들에 의하여 연약층을 제거함과 동시에 양질토로 치환하는 공법이며 지반조건에 따라 토피도 블라스팅 (topedo blasting) 언더필 (under fill) 등의 공법이 이용되고 있다.

폭파치환공법에 적합한 토질은 실트 20 %와 이하 점토 50 %이하의 사질토이다.

4.3.5.5 탈수공법

- (1) 선행제하중 공법

- ① 재하중공법은 성토의 시공속도를 지연시키는 완속압밀공법(자연압밀공법)을 비롯하여 압밀기간을 단축시켜 공사가 완료되기 전에 침하를 가능한 한 많이 진행시키는 방법을 선행재하중(Preloading)공법이다. 시공시 계획고 이상으로 성토를 하여 계획단면의 하중에 의해 예상이상의 침하가 강제로 이루어지게 하여 압밀침하를 촉진시키는 서차지(여성토)공법 등이 이용되고 있다. 선행재하에 의하여 압밀배수를 주목적으로 하는 공법은 지반의 허용지지력내의 하중에서 지반의 침하를 촉진(압밀시간의 단축)시키고 그 압밀에 따라 점성토의 강도를 증가(고밀도화)시키는 등의 양면효과를 얻도록 계획하는 경우가 많다.

재하수단은 재하중의 크기와 재료취득의 용이성 재하후 처리조건 등의 면에서 성토재하가 많이 이용되며 이 성토재 자체를 구조물이나 지반으로 이용하면 더욱 경제적이다.

선행재하공법의 설계시는 선행재하하중의 초기재하기간, 침하량, 재하시기 등에 대하여 검토해야 한다. 이상의 재하중을 이용한 배수공법은 토입자 구조의 재배열 크리프 거동 등에 의한 2차 압밀침하량을 조기에 촉진시키는 것으로 침하량에 민감한 영향을 받는 구조물의 경우에는 더욱 효과적인 공법이다.

(2) 연직배수 (vertical drain) 공법

- ① 연직배수공법의 대표적인 것으로는 샌드드레인(모래말뚝)과 페이퍼드레인(보드계 드레인)공법 등이 있다.
- ② 샌드드레인 공법은 전술한 재하중에 의한 탈수공법에 비해 점성토층이 두껍고 공기가 시공할 경우 압밀촉진수단으로 모래말뚝과 간 모래(Sand mat)를 동시에 시공하면서 지반을 개량하는 공법이다. 지반개량에 필요한 성토고와 성토 폭은 다음 식을 기초로 하여 목표 강도 증가 및 허용장래 침하량을 고려하여 결정한다.
- ③ 페이퍼드레인 (paper drain)공법은 모래말뚝 대신 바론 (Baryon)의 이론에 맞는 드레인보드(drain board)를 연약지반에 압입하여 압밀을 촉진시키는 공법으로 액성지수가 1이상인 지반에서 이 공법이 유리하다. 드레인 보드 폭은 대략 100mm 두께는 3mm 정도이며 이는 $\phi=5\text{cm}$ 의 샌드드레인과 거의 같은 배수효과가 있다. 따라서 $dw=5\text{cm}$ 의 엔주형 샌드드레인으로 환산하여 압밀도(V), 압밀시간(t) 침하량 등을 결정한다. 페이퍼드레인의 간격은 1.0~1.8m 정도가 일반적으로 채택되며 그 깊이는 최대 20m 정도이다.

4.3.5.6 지하수위 저하공법

- (1) 지하수위의 저하공법은 대상지반의 수리학적 성질 저하의 목적, 공사내용, 장소, 공기 등에 따라 적절한 방법을 선정해야 한다.
- (2) 깊은 우물 (Deep well) 공법은 깊은 우물을 대수층 중에 굴착하여 지하수를 양수함으로써 지하수면이나 지하수압의 저하를 도모하는 것이다.
- (3) 웰포인트(Well point)공법은 일종의 탈수공법으로서 선단에 부착한 집수관을 1.0~2.0 m 간격으로 지중에 설치하고 진공펌프와 원심펌프의 조합에 의하여 지하수위를 강제로 양수 저하시키는 탈수공법이다. 토질은 투수계수(k)가 $1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-4}$ (cm/sec) 정도의 중력배수가 곤란한 실트질 모래에 적합하다.
- (4) 이 공법은 용수에 의한 비탈면의 붕괴, 굴착저면의 보일링현상등을 방지하는 장점이 있다. 그

해면간척 방조제 설계

러나 넓은 지역의 지하수위를 저하시켜 주위의 지반을 침하시킬 우려도 있으므로 주변에 기존시설물이 있는 경우에는 이에 대한 대책이 필요하다.

- (5) 이론적으로 수위저하최대깊이는 10.3m 까지 이나 실용상 저하시킬 수 있는 최대수위는 5.5~6.1m 가 경제적이다. 이 보다 깊을 때에는 다단식이나 고양정 웰포인트공법, 강력진공펌프 등을 이용해야 한다.
- (6) 여과모래의 입경과 스트레이너의 망눈의 크기는 소정의 규정에 맞아야 한다. 웰포인트 우물의 반경은 머스켈(Muscat)의 이론에 의해 구한다.
- (7) 배수량 계산을 Thiem식을 사용하는 것이 좋으며 영향원의 반경을 구하는 방법은 여러 가지가 있으나 수위저하시간은 비평형식으로 계산할 수 있다.

4.3.5.7 다짐 공법

(1) 샌드컴팩션파일공법

- ① 샌프컴팩션파일공법의 개량대상지반은 사질토와 점성토 모두에 적용된다. 사질토 또는 이와 유사한 지반의 경우는 다짐에 효과적인 수단(진동 충격에 대한 물다짐 수위저하)을 이용하여 파일재료와 재래지반을 다져 파일재료의 압입효과를 이용하여 밀도를 증가시켜서 지지력의 증강, 압축침하의 감소 수평저항의 증가 지반의 균일화를 도모하는 공법이다.
- ② 모래말뚝의 간격은 1.5~3.0m 정도가 적합하며 깊이는 25m 정도까지 시공한 예가 있다.
- ③ 점성토에 대해서는 점성토와 샌드파일로 된 복합지반으로서의 효과를 나타내는 이론으로 해석한다.
- ④ 축조된 복합지반상에 하중이 재하된 경우 점성토와 압축된 샌드파일과는 분담하는 하중이 다르고 파일 쪽으로 응력이 집중되므로 지지력 증대 침하감소 효과가 나타난다. 설계에 앞서 개량대상지반은 시공 전후의 N치 또는 점착력 단위중량 등을 조사 측정해야 하며 파일 시공시 진동에 의한 점토지반의 강도저하(강도회복에 소요되는 시간은 1~2개월이 걸림)에 유의해야 한다.

(2) 바이브로플로테이션공법(vibro-floatation method)

매립지 등의 느슨한 사질지반에 대한 물다짐 거동다짐의 효과를 이용하는 공법으로 수평방향으로 진동하는 바이브로플로트로 사수와 진동을 동시에 일으켜서 생긴 빈틈에 모래나 자갈을 채워서 느슨한 모래지반을 개량하는 공법이다.

(3) 동압밀공법(動壓密)

본 공법은 당초에는 모래, 자갈, 사석 등의 다짐을 목적으로 하였으나 최근에는 점성토의 개량에 적용하면서 부터 동압밀공법이라고도 한다.

이 공법의 시공은 15~40 m의 높이에서 저면적 2~4㎡, 10~20t의 하중을 지표면에 반복 낙하시켜 그 낙하력과 진동에 의하여 지반을 압밀강화하는 공법이다. 개량효과를 나타내는 깊이는 10~40 m로서 1회의 타격에너지를 증가시킬수록 개량심도가 높아지므로 지반의 성질에 따라 해머의 중량 및 낙하고를 조절하여 사용한다.

4.3.5.8 약액주입 및 혼합공법

(1) 약액의 종류와 주입방법

약액을 지중에 주입하거나 혼합하여 국부적인 지반을 고결 또는 경화시켜 지반강화하고 차수 효과를 얻기 위한 지반개량공법으로 토압의 경감, 히빙 (Heaving)과 파이핑방지효과도 얻을 수 있다.

주입재를 지반내에 주입하는 형태에 따라 침투주입, 割裂주입 (fracturing grouting), 압축주입 (Compression grouting) 및 충전주입 (voidfilling) 교반주입 등의 주입공법이 있다.

그라우트 주입시에 지반파괴를 일으키는 한계주입압은 수압할렬현상의 개념을 이용하여 산출할 수 있으나 실제와는 차이가 있으므로 충분한 지반조사를 실시하고 그 결과와 비교하여 선정해야 한다.

(2) 심층혼합처리공법

석회 시멘트계를 주로 하는 괴상분수상 혹은 현탁액상의 화학적 안정재를 원위치의 지반에 첨가, 혼합하여 안정처리상을 지반 중에 형성하는 공법을 총칭하여 심층혼합처리공법이라 한다.

심층혼합처리방법의 일종으로 JSP공법은 초고압 분류방법을 이용하여 지하심층에 약액을 주입고결하여 기둥을 연속적으로 형성케 하는 공법이다.

4.3.5.9 기타공법

- (1) 이밖에도 최신공법이 많이 개발되어 있으므로 지반특성에 적합한 공법 설정 이용함으로써 경제적이고 내구적인 간척구조물을 설계 시공할 수 있을 것이다.

4.4 끝막이공의 기본

4.4.1 계획

- (1) 끝막이 계획의 기본은 기상, 해상, 식형, 토질, 축제재료 운반 장비 등의 여러 여건을 검토하고 끝막이공사의 방식, 공법, 기간 등 여러 안을 신중하게 비교분석하여 결정해야 하며, 끝막이공사 전 일반물막이공사의 안전과 끝막이공사 전후의 내수위에 의한 배후지의 배수영향 등을 검토해야 한다.

4.4.1.1 끝막이공의 개념

- (1) 방조제의 표준단면과 공법은 해상, 지반고, 토질, 축제재료 등에 따라 달라지며 이러한 일반조건들이 비슷하다 하더라도 공사 진행에 따라 통수단면의 축소로 수리조건이 악화되므로 점차적으로 보강된 재료, 단면, 공법으로 변경되어야 한다. 이 공사과정을 축제공사의 초기단계 중기인 일반단계 및 최종단계로 구분할 때 초기단계는 물론이고 일반단계에서도 그리 어렵지 않게 조속(潮速) 및 수리조건에 견디는 축제재료나 공법을 배상할 수 있다. 그러나 최종단계에서는 통수단면의 축소로 내외수위차 및 조류속이 증가되어 일반기계에서의 축제재료나 공법으로는 축제가 불가능하여 특수한 재료와 공법이 요구되며 공사기간도 위험기간을 최소로 단축하기 위하여 최대의 능력으로 단시일 내에 축제해야 한다. 이 특수한 재료와 공법으로 최

해면간척 방조제 설계

대의 능력을 발휘하여 시공해야 하는 구간 및 공사를 끝막이구간 및 끝막이공사라 한다.

- (2) 이러한 특수 재료나 공법에 따라 끝막이방법을 분류하면 공사방식에 의하여 점고식, 점축식, 점고점축양자병행식으로 분류되고 시공재료에 따라서 소규모이고 간척조건이 좋았던 과거에 시행된 바 있는 흙가마 쌓기, 빈지공법 등이 있고 현재 우리나라의 대규모 간척공사를 가능하게 한 사석 및 돌망태공법, 화란에서 발전시켜온 케이슨공법과 케이블에 의한 콘크리트블럭공법, 일본에서 시공한鐵프레임공법 등으로 분류할 수 있다.
- (3) 공사기간에 따라 소규모에서와 같이 끝막이공사를 소조로 넘기지 않고 시행하는 단기 끝막이와 공사수량이 많아서 대조를 넘기면서 시공하는 끝막이를 장기끝막이라 한다.
- (4) 끝막이 공법은 지구여건에 따라 선정해야 하나 나라마다 기상, 해상, 축제재료, 시공장비, 토질조건 등에 따라 독자적인 기술개발이 이루어져 왔다. 우리나라의 사석 및 돌망태에 의한 점축식공법이나 화란에서의 케이슨공법 등이 그것이다.
- (5) 끝막이 공사는 우리나라의 경우 사석 및 돌망태에 의한 사각제의 1차물막이와 계속 시공되는 차수층의 성토물막이가 있으나 사석 및 돌망태에 의한 1차물막이가 극히 어려운 공사이므로 보통 끝막이공사라 함은 사석 및 돌망태에 의한 1차물막이를 말한다.

4.4.1.2 끝막이 계획 기법

- (1) 끝막이공의 계획은 자연적조건, 축제재료, 운반조반, 시기, 공사기간, 경제성 등을 고려하여 결정하며 일반적인 검토시서는 다음과 같다.
 - ① 공법 : 과거의 경험지구의 여건 등을 고려하여 끝막이방법과 공법을 선정한다.
 - ② 위치 : 축제재료의 운반, 지형 및 조류수리조건, 지반의 토질조건 등을 검토하여 끝막이구간의 위치를 선정한다.
 - ③ 바닥다짐표고 : 수리조건 및 공사량과 시공여건 등을 검토하여 바닥다짐 표고를 결정한다.
 - ④ 구간연장 : 수리조건, 공사량, 공사기간 등을 검토하여 끝막이구간의 연장을 결정한다.
 - ⑤ 끝막이시기 : 기상 및 해상조건과 타공종과의 관련을 검토하여 끝막이 시기를 결정한다.
 - ⑥ 끝막이공의 구조 (예 : 케이슨 또는 사석제 등), 기초지반 보호공 및 바닥다짐은 해상, 수리조건 및 시공여건에 부합되도록 설계(구상)한다.
 - ⑦ 해상 및 조류속 등을 고려한 공정계획수립 (예 : 케이슨공법; 케이슨의 현지운반, 임시대기정위치에 고정 침강정치(沈強定置) 개문(開門) 등 사석제, 육상 및 해상 운반능력검토, 일별 작업계획, 기간별 작업계획 등)
 - ⑧ 끝막이기간중 조위와 끝막이공사전 및 공사기간의 조류속, 내외수위차를 계산한다.
 - ⑨ 계산된 수리조건이 시공재료와 제시설계획이 안전하고 최선의 것인지를 판단하고 끝막이공사착수전 일반물막이구간의 안전여부와 계획내수위가 배후지에 미치는 영향 등 제요소별로 재검토하고 시산하여 가장 안전하고 효율적인 계획을 수립한다.
- (2) 끝막이공은 반드시 몇 가지의 안을 비교, 검토, 분석한 후 택일하도록 신중을 기해야 한다.

4.4.2 끝막이 구간

- (1) 끝막이구간은 방조제 노선 중에서 해수가 가장 자연스럽게 유출입하고 지형, 기초지반, 공사

용재료 등을 고려하여 공사조건에 부합되고 경제적이며 시공이 용이한 위치를 선정해야 한다.

- (2) 방조제 공사의 끝막이공법은 여러 가지가 있으나 안전하고 확실한 공법을 채택해야 한다. 가장 적절한 공법도 끝막이공사 진행에 따라 발생한 내외수위차로 큰 유속이 생긴다. 사석제인 경우 축제재료의 크기, 끝막이구간의 세굴방지공, 끝막이직후의 파이프에 의한 세굴유실과 수압에 의한 전도 등의 대책을 수립해야 한다.
- (3) 끝막이구간에 대한 계획 설계 또는 공사를 위한 일반적 검토사항은 끝막이 계획 기법에 따른다.

4.4.2.1 위치선정

- (1) 방조제 노선에서 끝막이구간은

- ① 기초지반에 암반이 노출되었거나, 암반선이 표면으로부터 깊지 않은 위치 또는 조류속도에 의하여 세굴되지 않을 경토층이 있는 곳
- ② 자연적으로 형성된 갯고랑구간을 선정하되 수리학적, 토질공학적 적부를 판단하여 결정하고,
- ③ 연약지반이나 모래지반의 경우 세굴 및 파이프 작용을 방지할 수 있는 보호공을 고려해야 하며,
- ④ 축제재료의 경제적생산 및 투입을 할 수 있는 육상 또는 해상운반투하가 용이한 곳,
- ⑤ 끝막이 구간을 유출입하는 조류속은 4.0m/sec 이상을 고려하여 기초지반의 세굴을 방지할 수 있는 구간을 선정해야 한다.

- (2) 일반적으로 방조제의 축제구간은 연약지반이므로 우선 바닥보호공 또는 바닥다짐을 사석으로 계획하고 시공하는 것이 원칙이며 끝막이구간은 바닥보호공이나 바닥다짐고를 사전에 시행해야 한다. 침하유기가 예상되는 연약지반은 모래치환 등 지반을 개량할 필요가 있다. 끝막이구간은 조류속이 크게 발생하며 지반세파 및 침식이 많으므로 견고한 지반을 택하여 바닥다짐공과 바닥보근공의 비용을 절감하는 것이 바람직하다.

- (3) 끝막이구간 위치결정에 있어서 지형여건과 조류수리상황측면의 검토는 가급적 지반이 낮고 평원한 곳이 유리한 점이 많다. 지반이 낮으면 연장에 비하여 통수단면이 크기 때문에 조류부담을 경감시켜 공사용 재료와 시공이 용이하고 끝막이구간이 짧기 때문에 바닥 보호공이나 바닥다짐공 시공구간이 단축되어 공사비절감을 할 수 있다.

- (4) 끝막이구간은 축조재료의 확보 및 저장 공사계획 및 작업조건을 고려한 위치가 선정되어야 한다.

- (5) 지역에 따라서는 채석장 또는 취토장과 해상운반시설조건이 어느 한쪽에만 있을 수 있으므로 끝막이 공사에 장비 및 노무의 가동에 공백을 주는 등의 저해 요인이 없도록 유의해야 한다.

- (6) 수리학적 검토

끝막이구간의 수리현상은 ①축제재료의 유실, ②지반의 세굴 및 침식, ③해상작업의 장애 등의 영향을 끼치게 된다. 축제재료의 충실에 대해서는 유속에 저항할 수 있는 개당 중량물을 투하해야 하고 지반의 세굴 및 침식에 대해서는 이에 저항할 수 있는 지반보호공 또는 바닥다짐

해면간척 방조제 설계

공을 시행해야 하기 때문에 수리학적 검토는 대단히 중요하다. 끝막이공사가 진행됨에 따라 조류가 출입하는 통수단면은 축소되며 내측의 수위변동은 점차 작아지고 내외수위차는 증가하게 된다. 통수단면이 작아질수록 조류출입이 원활하지 못하여 외수위와 같이 일정한 수위변화를 지속할 수 없게 되며 내외수위의 간만조시간이 각각 상이하게 되어 수위차가 생기기 때문이다. 따라서 유속도 $\sqrt{h}$ (h : 내외수위차)에 비례하여 커지며 수위차와 유속발생지속시간도 증가하게 되고 끝막이구간이 작아질수록 최대유속이 발생하는 시간은 외수위가 만조위와 간조위로 되는 시간으로 접근한다.

일반적으로 끝막이 구간에서의 조류의 유출입은 사다리꼴단면의 일류언으로 보아 수리계산을 한다. 끝막이구간의 조류현상은 조위승강작용에 따라 완전월류와 불완전월류가 교차하면서 반복되기 때문에 시산으로 계산 한다.

(7) 시공조건의 검토

끝막이구간의 위치선정에 있어서 시공조건의 검토는 우선 끝막이공법의 선정에 따라 달라져야하나 축제재료의 육상운반 및 해상운반조건이 최고조건이어야 하며 일반적 검토사항은 ① 각종 축제재료의 생산이 계획된 일별소요량을 초과할 수 있는가의 여부, ②소요중장비(육상 또는 해상)의 능력과 대수의 판단, ③물량운반 및 투하를 위한 진입로, 야적장 및 선착장의 규모판단, ④끝막이기간 내의 주야간작업을 위한 조명, 통신시설의 확보, ⑤전담기술자와 각종 기능공의 확보 (주·야간교대), ⑥각종안전사고에 대한 대비 등이다.

4.4.2.2 통수단면의 결정

(1) 가장 효율적인 통수단면 (끝막이구간)의 설정은,

- ① 일반 물막이공사는 공내기간 중 발생하는 조류수리조건에 지장 없는 일반단면에 의하여 안전하게 시공(통수단면크기의 만족조건)할 수 있고,
- ② 끝막이공사기간 중 발생하는 조류수리조건에 대해 구득이 용이한 축제재료로 계획기간 중에 시공이 가능한 공법이어야 한다.

(2) 끝막이 위치와 공법이 결정되면 지반고 및 조류수리조건 등에 의해 가장 효율적인 바닥다짐 표고를 결정하고 위의 조건을 만족시키는 통수단면은 끝막이구간의 연장으로 조정한다.

(3) 그러나, 우리나라 서해안과 같이 간만의 조차가 크거나 간척계획면적이 넓거나 또는 하구둑과 같이 유출입 조석량에 비해 방조제연장이 짧을 때에는 위의 두 가지 조건을 만족할 수 없는 경우가 많다. 이때에는 준끝막이 구간을 설치하여 일반물막이극면이 아닌 끝막이단면에 가까운 구조로 계획하는 경우가 많다.

(4) 바닥다짐표고의 결정

① 바닥다짐표고와 수리조건

끝막이 구간에서의 발생하는 최대유속의 변화요인은 조석조건, 지구내의 표고별 담수용량 조건, 끝막이구간의 바닥다짐표고 및 연장 등이며 끝막이 기간 중에는 시공능력에 따라 1회 소조기 또는 수회소조기에 가능한지의 여부에 따라 즉, 최후의 대조를 어떠한 상태로 넘기느냐에 따라 달라지므로 시공능력이 추가된다.

이중 끝막이구간에서 바닥다짐표고와 조류속의 관계는 끝막이연장이 일정할 때 바닥다짐

고의 바닥표고가 상승함에 따라 조류속은 점차 증가하다가 어느 표고이상이면 유출입 조석량도 줄고 유속도 감소된다. 따라서 끝막이구간의 바닥다짐표고는 반드시 최대유속발생표고로 연장별로 검토하여 그 이하표고에서 선정해야 한다. 강력한 조류속에 견디는 재료나 공법만 있다면 되도록 바닥다짐고의 표고를 낮추어 수리학적으로 유리한 단면으로 유출입 조석량을 증대시켜 내외수위차를 감소시키는 것이 여타구간에 끼치는 영향이 유리하다.

② 바닥 다짐표고의 결정범위

바닥다짐표고는 조석, 지구내 담수용량 조건 및 규모 등 여러 가지 인자들이 관련되어 있어 일률적으로 규정할 수 없으나 대략 다음 범위 내에서 선정할 수 있다. 다만 지반이 높거나 아주 소규모일 때는 예외이다.

바닥다짐 표고 결정범위

가. 최대유속발생표고보다 최소 1m 이하

나. 대조평균간조위 이하

다. 수심이 깊을 때에는 지반보호공의 기능만 유지되면 낮을수록 수리학적으로 유리하나 동일 통수단면시에 공사물량이 많게 된다. 그러나 끝막이사석제는 육상작업이고 바닥다짐공은 해상작업조건이므로 수리 및 공사조건, 경제성 등을 종합적으로 검토하여 결정한다.

(5) 끝막이구간의 연장

끝막이구간의 연장은 바닥다짐 표고와 관련된다. 지형 및 수리학적인 조건으로 유연한 바닥다짐표고가 결정되면 다음 요인들을 검토하여 연장을 결정한다.

대규모 간척공사에서의 끝막이구간은 일반물막이공사의 진행에 따라 통수단면적이 축소되어 유출입조류속이 증가되므로 끝막이 계획은 특별한 구조와 공법으로 시공되어야 하며 끝막이 구간의 전연장과 끝막이 기간 중 최악의 수리조건인 마지막 대조를 넘기는 연장 등의 검토가 필요하다. 전자는 수리조건과 일반 및 끝막이제의 구조와 공법에 따라 결정되며 후자는 대조를 지나고 다음 대조까지의 끝막이 작업가능일수 약 9일간의 시공능력에 따라 결정한다.

(6) 최대시공능력의 검토

방조제공사 중 최악의 수리조건은 끝막이 공사기간 중에 발생되며 간척규모가 커서 수회의 소조기에 걸쳐 시행하는 장기끝막이의 경우에는 끝막이기간 중의 마지막대조기간이다. 이 기간 중의 수리조건은 통수단면적(끝막이 바닥다짐표고와 연장)이 클수록 안전하며 작을수록 위험하다. 끝막이 공사를 안전하게 수행하기 위하여 시대능력의 극대화과 큰 통수단면적으로 마지막대조를 넘기는데 있으며 다음 사항의 검토를 해야 한다.

- ① 육상운반 : 운반조건은 거리, 방법, 도로상태 투입방법, 차량규모, 대당소요시간, 투입 개소수, 일작업 시간, 일작업량, 기간중 작업일수, 기간중 작업량 등
- ② 해상운반 : 예인선 및 태섬의 화재량과 작업수심(투하수설)적재소요시간, 운반거리 및 소요시간, 적재 및 투하 개소수, 개소당 가동선박(태선)수, 일작업 가능회수, 일작업 물량, 기간중 작업가능일수, 기간 중 작업물량 등

(7) 끝막이기간의 검토

해면간척 방조제 설계

끝막이연장이 결정되면 끝막이 계획을 검토하고 끝막이 기간을 결정한다.

- ① 최후단계 : 육상 및 해상운반(주 운반 및 보조운반수단)능력을 총동원하여 시공 가능한 최대연장을 결정한다.
- ② 선행설계 : 잔여연장은 최종단계에 준하여 시행할 수도 있으나 보통은 최종단계에 최대능력을 발휘할 수 있도록 하기 위하여 최종단계의 시공계획을 준비점검하고 연습하는 정도로 하여 1회 소조기간에 가능한지 2회 소조기간에 시행할 것인지 또는 일반물막이 최종부분부터 일부구간을 준 끝막이 구간으로 할 것인지를 검토한다.

(8) 조류속 및 시공재료의 검토

끝막이구간의 바닥다짐표고 연장 및 끝막이 계획이 수립되면 예상되는 시기의 조석에 의하여 유출입 조류속을 계산하고 끝막이 기간 중 발생하는 조류속에 대하여 끝막이 독의 재료, 단면 및 공법이 안전한지를 검토해야 한다.

(9) 일반적인 개념

일반적으로 끝막이 통수단면을 결정하는데 중요한 사항은 최대유속을 제한하는 것이나 이는 각국의 조석 및 시공재료와 공법이 다르므로 일률적으로 규정지을 수 없으며 경험적으로는 방조제 노선의 3/4까지 방조제를 축조할 때 까지는 통수단면적이 수리조건에 큰 변화가 없다가 이 부근을 넘어서부터 급격하게 증가되어 간다. 따라서 이 범위내에서 부터 검토하는 것을 원칙으로 한다.

- (10) 앞으로의 대규모 간척사업 등에서는 장기끝막이가 불가피하고 또 1차 소조기에서도 최종단계의 소조기와 같이 최대의 능력으로 시공함은 물론 3회 소조기에 걸친 끝막이 기간도 구상해야 할 것이다.

4.4.2.3 바닥다짐공 (상고공)

- (1) 끝막이구간에서 기초지반이 암반이나 조류속에 유실되지 않는 지반에는 아무런 문제가 없으나 사질토 또는 이토질의 지반인 경우에는 물막이공사시에 조석류에 의한 유실, 세굴, 침하, 파이프현상이 발생되므로 안전한 구조로 보호해야 한다. 구조상 바닥보호공은 기초공, 피복공, 지수공으로 구분되며 끝막이규모와 시공능력, 조류수리상황 등에 따라 달라진다.

(2) 기초공

끝막이구간의 기초는 일반구간에 비해서 끝막이공사시 급속재하를 받게 되어 보다 큰 지지력이 필요하므로 이에 대응해야 한다. 끝막이구간에 사용되는 기초공의 시공방법은 매트리스부설(나무썰 토목섬류의 직포)한 후 사석 또는 돌망태로 정치한다.

(3) 바닥피복공

바닥기초공을 한 후, 끝막이기간 동안에 조류속도에 충분히 견딜 수 있는 재료로서 자초지반을 보호해야 한다. 유실, 세굴 및 양압력에 안전하도록 하는 방법으로는 ①강점토와 혼합된 사력갈기로써 간조시 노출되는 유속이 아주 작은 소규모 끝막이구간의 바닥보호공으로 이용되며, ②사석, 콘크리트블럭, 돌망태 등을 투하하여 유속에 유실되지 않도록 해야 한다. 이때 지반위에는 매트리스를 깔아서 필터 역할을 하게 함으로써 지반의 혼입자가 유실되지 않도록 해야 한다. ③아스팔트 페이빙공법으로서 지반에 쇄석 등을 포설한 다음 아스팔트를 충전하

거나 시멘트모르터를 주입하여 지반을 보호하는 방법이다.

(4) 지수공

끝막이가 완료되면 끝막이 독으로 부터 누수 외에 바닥다짐한 밑으로 부터 삼투현상이 일어난다. 이 경우 수위차를 비교하여 삼투로장이 짧으면 파이핑 또는 히빙(heaving)으로 인하여 기초의 파괴가 일어난다. 이런 경우 물막이벽(지수벽)을 넣는 등 삼투연장을 충분히 길게 하든가 파이핑의 방지를 위하여 필터공법 등 대책이 필요하다.

(5) 끝막이공의 부대시설

바닥다짐고을 한 후 조류속에 의한 세굴현상을 막기 위하여 내외측에 대형사석으로 보호하는 한편 월류현상에 의하여 깊이 파진 부분은 끝막이후에 원지반까지 되메움을 한다. 끝막이 부분으로부터 흐름이 제방선에 따라 유출입할 경우는 성토된 부위 및 모각지반에 세파로 인하여 시공이 어려우므로 도류제나 돌출제 등의 수제공을 설치한다. 구조는 끝막이가 끝날 때까지 일시적인 것이므로 흙가마니둑이나 사석제 등으로 적절히 보호하는 것이다.

(6) 축조재료의 검토

최종끝막이 공사에서 축조재료가 유속에 의해 유실되면 아무리 많은 물량을 투하해도 실패하게 된다. 그러므로 기초지반과 바닥다짐공의 재료입경, 조류속과 바닥다짐공 재료의 크기, 조류속과 끝막이 재료의 중량 등으로 구분하여 적절한 재료의 크기를 결정해야 한다.

4.4.3 끝막이 시기

(1) 끝막이공사의 시기는 해상, 기상조건 및 타공종 계획 등을 연관해서 결정해야 하고 고려할 사항은 다음과 같다.

- ① 작업능률의 극대화를 위하여 우기 및 강풍기를 피해야 한다.
- ② 연중 조위가 낮은 시기로서 수리조건이 유리해야 한다.
- ③ 상류의 유출조절과 내외수위차 및 조류속 저하를 위하여 배수갑문이 완공된 이후
- ④ 끝막이공사가 완료되면 내외수위차가 급증하게 되어 지반의 파이핑 작용, 제체의 전도의 위험성이 있으므로 성토 물막이를 할 수 있는 기간을 충분히 고려해야 한다.

(2) 끝막이 공사계획은 지역별로 다르나 자연적 현상인 해상 및 기상조건의 유리한 시기를 활용할 수 있도록 충분히 검토하여 계획공종대로 물막이공사를 완료할 수 있도록 하는 것이 최선의 방법이다. 검토 불충분으로 사태 발생시에는 피해가 크므로 방조제공사를 계획할 때 끝막이시기를 항상 염두에 두어야 한다.

4.4.3.1 해상조건

- (1) 우리나라 해안의 조석은 일조불등으로 서해안의 조차가 커서 고조 부등현상을 볼 수 있으며 간만차는 세계적으로 특이하여 그 변화도 매우 크다.
- (2) 평균해면은 연중 2월이 최저이고 8월에 최고로 되며 그 차는 0.5 m에 달한다. 수심 0.5m의 유출입조석량은 방조제내부면적에 따라 다르지만 평균수심이 5.0m일 때 1/10의 조석량의 증감을 고려할 때 끝막이시기는 특수한 사항을 제외하고는 물막이 유속과 조석량이 적은 2~4월에 공사를 시행하는 것이 안전하고 경제적이다.

4.4.3.2 기상조건

- (1) 2~4월에 끝막이공사를 시행하면 다음과 같은 장점이 있다.
 - ① 주간의 시간이 길어서 작업능률이 향상된다.
 - ② 이 기간은 우리나라 기후조건상 온화하고 우천일수가 적다.
 - ③ 우리나라서남해안의 계절풍(11월~1월)을 피할 수 있다.
 - ④ 물막이 직후에 성토제 및 피복공 시행 등 우기와 단풍시기이전에 마무리작업을 할 수 있다.
- (2) 특히, 6~10월간의 하추절(夏秋節)은 피해야 하며 이 시기는 장마철과 태풍이 많고 음력7월의 백중사리를 전후해서 연중 최대조고가 발생하므로 해일피해가 예상되므로 끝막이시기로서는 부적당하다.

4.4.3.3 다른 공정과의 관계

- (1) 끝막이공사의 계획은 일반물막이 착수이전에 확정하고 공종계획에 반영하여 추진되어야 한다.
- (2) 방조제 공사는 일반적으로 방조제축조와 배수문공사의 공정으로 구분해서 추진하고 있으나 배수문의 기초 굴착암을 방조제에 유용할 때는 배수문공사의 지연으로 방조제공사를 진행할 수 없게 될 경우가 많다.
- (3) 그러므로 배수문공정과 대조해서 일선물막이 진행속도를 조절해가는 끝막이시기의 변경은 불가피할 때가 있다.
- (4) 끝막이시기는 대략 일년전이며 제 공정을 고려하여 추정할 수 있으므로 이때 물막이계획을 재검토하고 수정하되 전술한 「가, 나」 항의 조건을 고려하여 최종계획을 수립해야한다. 한편 물막이 3개월전이면 확실하게 전모가 들어나므로 세부계획을 수립하여 추진하고 세부계획수립은 다음사항을 고려해야 한다.
 - ① 일반물막이 공정계획수립
 - ② 배수갑문공사의 통수시까지의 세부공정계획검토
 - ③ 해상조건과 기상조건을 고려한 끝막이 공정 계획
 - ④ 장비, 공사용 자재확보를 고려한 끝막이 준비 계획
 - ⑤ 끝막이구간의 지형측량, 조류속 검토 및 조위관측 및 분석계획특히 방조제물막이의 점축 시공에 따른 조류속 측정과 내외수위관측을 계속적으로 시행하고 적기별로 지형측량을 시행하여 끝막이구간의 바닥다짐공의 보강에 주력해야 한다.

4.4.4 끝막이 공법

- (1) 끝막이 공법은 해상조건인 조석, 조위, 유속과 지역조건인 지질 등을 고려하여 검토 채택되어야 한다. 끝막이 공법은 다음과 같이 분류할 수 있다.
- (2) 끝막이 공법은 다음과 같이 분류할 수 있다.
 - ① 끝막이 기간에 따른 공법

- 가. 단기 끝막이 방법 (Short Term Period Method)
- 나. 장기 끝막이 방법 (Long Term period Method)
- ② 조류수리에 의한 공법
 - 가. 점고식 방법 (High Sill Method)
 - 나. 점착식 방법 (Deep Sill Method)
 - 다. 병행식 방법 (Combined High & Deep Sill Method)
- ③ 공사용 재료 및 구조에 의한 공법
 - 가. 흙가마니 쌓기방법
 - 나. 빈지 (각락식) 설치 방법 (철시판 포함)
 - 다. 부석제 쌓기 방법 (돌망태 방법 포함)
 - 라. 부채 Cassion 설치 방법
- (3) 끝막이공사의 위치, 구간 및 시기가 결정되면 소요물량과 능력 그리고 운반수단 등을 고려하여 끝막이 소요기간을 계획한다. 끝막이소요기간이 결정되면 적절한 공법과 조류수리현상에 따른 끝막이 방법을 결정하고 끝막이 재료와 구조방법을 세부적으로 계획하여 완벽한 끝막이가 성공되도록 해야 한다.

4.4.4.1 방식 및 공법선정

(1) 끝막이 기간에 따른 공법

끝막이 공사는 대조를 피하고 소조시 끝막이를 하는 것이 단기끝막이 방법이며 장기끝막이 방법에서는 끝막이도중 대조를 맞이하게 된다. 따라서 장기끝막이 방법에서는 대조가 지난다음부터 끝막이를 개시하여 다음 대조전까지 끝막이를 완료하는 것이 조류 수리상 유리하다. 그러나 끝막이 완료 후 닥쳐오는 조위는 대조이므로 많은 내외수위차가 생기며 파이핑 작용, 침투류 속에 의한 지반세화에 유의해야 한다.

① 단기 끝막이 방법

조석량이 적고 기초지반이 높은 소규모방조제의 경우 3~4일 또는 소조기간동안에 끝막이 공사를 완료하는 것으로, 최대유속을 감소시킴으로써 끝막이공사용재료를 절감할 수 있어 경제적이다.

② 장기 끝막이 방법

연석량이 많고 규모가 큰 끝막이구간은 소요물량이 과대하므로 1회 소조기간에 끝막이가 어려울 때 2회 이상의 소조기간이 소요되는 방법이며 2~3개월간이 소요되는 경우도 있다. 이러한 장기 끝막이에서도 공사도중 대조기에 유속은 최대가 되어 기존의 축조물량유실 지반세굴, 파이핑 작용 등으로 많은 피해를 가져오는 예가 있으므로 철저한 끝막이 준비를 해야 한다.

(2) 조류수리에 의한 공법

방조제 공사의 끝막이를 성공적으로 완성하기 위하여 가장 중요한 것은 조류수리상 유리하고 확실한 대법이 채택되어야 한다. 일반적으로 공법은 점고식, 점착식 그리고 병행식의 3가지로 구분할 수 있고 이들은 각기 다른 수리현상특성을 가지고 있으며 채택되는 공법에 따라 사용

해면간척 방조제 설계

장비도 달라진다.

(3) 재료 및 구조에 의한 분류

이는 현장 여건, 규모, 장비, 재료, 기술 등을 고려하여 여러 가지 공법이 있겠으나 재료 및 구조에 의한 공법에 대해 현재까지 알려진 것을 소개하면 다음과 같다.

- ① 흙가마니쌓기 공법
- ② 빈지 (각락) 공법
- ③ 사석제 공법
- ④ 돌망태 (Gabion) 공법
- ⑤ 콘크리트블럭 공법
- ⑥ 부채 케이슨 공법
- ⑦ 대형 철푸레임 사석채우기 공법

4.4.4.2 끝막이둑의 결정(사석제공법)

- (1) 우리나라에 풍부한 자연축제재료인 석재와 돌망태에 의해 마찰력을 증대시켜 강력한 조류속에 대항할 수 있고 시하이 간편하여 작업능률을 극대화할 수 있는 조차가 큰 우리나라여건에 가장 효율적인 공법이다.
- (2) 이 끝막이둑은 1차적인 물막이둑인 동시에 앞으로 시공할 끝막이둑의 운반로로 이용되어야 하므로 둑마루 표고가 높고 나이가 넓으면 시공이 안전하고 시공능률은 오르나 경제성을 고려하여 지구여건에 맞도록 검토해야 한다.

4.4.4.3 장비의 운용

(1) 기계화시공의 필요성

- ① 인력시공에 비해 시공범위의 확대
- ② 공사비절감
- ③ 공기단축
- ④ 질의 향상 및 균일화
- ⑤ 시공의 안전성
- ⑥ 시공관리의 합리화를 들 수 있다.

(2) 장비의 관리

공사의 종류, 규모, 현장조건, 공정 등을 검토한 후 사용기계의 종류와 수량을 결정한다. 현장 공사관리는 장비의 관리가 주체이며 이의 양부는 공사의 성패에 크게 좌우한다. 따라서 공사의 목적을 달성하기 위해 다음과 같은 장비의 관리가 필요하다.

- ① 장비의 선정과 조합
- ② 대정에 맞는 도입과 사용계획
- ③ 운전자의 관리 및 시공지도
- ④ 안전관리
- ⑤ 소음, 진동, 수질오염 등 공해발생방지와 제어

이들은 장비의 교체등도 포함하여 유효적절한 운용을 해야 한다.

(3) 장비의 선정

각 공사의 작업내용, 현장조건(공기, 조석, 바람, 파랑, 강우, 기온, 지형지질, 수심, 시공에 따른 장애물의 유무, 노면상태 소음, 진동규제, 수질오염방지 등) 안전성 재료구득의 난이 등을 고려한 후 선정한다.

장비의 선정은 소정의 품질과 공기를 만족시키고 안전이고 경제적으로 공사를 수행할 수 있으며 필요시 추가투입 가능한 보유 장비의 상황 등을 고려하여 결정한다.



집필위원	분야	성명	소속	직급
	관개배수	김선주	한국농공학회	교수
	농업환경	박종화	한국농공학회	교수
	토질공학	유 찬	한국농공학회	교수
	구조재료	박찬기	한국농공학회	교수
	수자원정보	권형중	한국농공학회	책임연구원



자문위원	분야	성명	소속
	농촌계획	손재권	전북대학교
	수자원공학	윤광식	전남대학교
	지역계획	김기성	강원대학교
	수자원공학	노재경	충남대학교
	농지공학	최경숙	경북대학교
	관개배수	최진용	서울대학교

건설기준위원회	분야	성명	소속
	총괄	한준희	농림축산식품부
	농업용담	오수훈	한국농어촌공사
	농지관개	박재수	농림축산식품부
	농지배수	송창섭	충북대학교
	용배수로	정민철	한국농어촌공사
	농도	조재홍	한국농어촌공사 본사
	개간	백원진	전남대학교
	농지관개	이현우	경북대학교
	농지배수	남상운	충남대학교
	취입보	김선주	건국대학교
	양배수장	정상옥	경북대학교
	경지정리	유 찬	경상대학교
	농업용관수로	박대선	한국농어촌공사 본사
	농업용담	손재권	전북대학교
	농지배수	김정호	다산건설턴트
	농지보전	박중화	충북대학교
	농업용담	김성준	건국대학교
	해면간척	박찬기	공주대학교
	농업수질및환경	이희억	한국농어촌공사 본사
	취입보	박진현	한국농어촌공사 본사

중앙건설기술심의위원회	성명	소속
	이태욱	평화엔지니어링
	성배경	건설교통기술협회
	김영환	한국시설안전공단
	김영근	건화
	조의섭	동부엔지니어링
	김영숙	국민대학교
	이상덕	아주대학교

농림축산식품부	성명	소속	직책
	한준희	농업기반과	과장
	박재수	농업기반과	서기관

설계기준
KDS 67 65 20 : 2018

해면간척 방조제 설계

2018년 04월 24일 발행

농림축산식품부

관련단체 한국농어촌공사

58217 전라남도 나주시 그린로 20(빛가람동 358) 한국농어촌공사

☎ 061-338-5114 E-mail : webmaster@ekr.or.kr

<http://www.ekr.or.kr>

(작성기관) 한국농공학회

06130 서울시 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동 365-4) 과학기술회관 본관 205호

☎ 02-562-3627 E-mail : j6348h@hanmail.net

<http://www.ksae.re.kr>

국가건설기준센터

10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)

☎ 031-910-0444 E-mail : kcsc@kict.re.kr

<http://www.kcsc.re.kr>

※ 이 책의 내용을 무단전재하거나 복제할 경우 저작권법의 규제를 받게 됩니다.