

## 제 6 장 실시 설계

---

- 6.1 관련 설계 기준 및 법규
- 6.2 제 방 법 선
- 6.3 제 방 설 계
- 6.4 제방 및 구조물기초 안정성검토
- 6.5 호 안
- 6.6 구 조 물 계 획
- 6.7 교 량 계 획
- 6.8 교 량 접 속 도 로 계 획



# 제 6 장 실 시 설 계

## 6.1 관련 설계기준 및 법규

일반적인 하천공사 및 도로공사에 대한 설계기준은 다음과 같은 제 시방서 및 관련규정, 설계지침 등에 의거하여 설계기준을 정하였다.

### 6.1.1 관련규정

- 1) 하천공사 표준시방서(1999. 한국수자원학회)
- 2) 하천설계기준(2009. 한국수자원학회)
- 3) 토목공사 일반 표준시방서
- 4) 콘크리트 표준시방서
- 5) 구조물 기초설계 기준
- 6) 하천 구조물 표준도
- 7) 하남시 소하천정비종합계획
- 8) 도로공사 표준시방서
- 9) 도로포장 설계 및 시공지침
- 10) 기타 설계와 관련된 분헌(표준도 등)
- 11) 표준품셈, 물가지 (물가지료→물가정보순)
- 12) 건설공사 관련 법령 및 규정(하천법, 건설기술관리법, 도로법, 도시계획법 등)
- 13) 한국산업규격
- 14) 건설공사 품질 및 규격관리 실무편람
- 15) 산업안전보건법
- 16) 건설기술개발 및 관리 등에 관한 운영규정
- 17) 기타 건설공사의 안전, 환경 등에 관한 법령 및 규정
- 18) 농어촌 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙
- 19) 도로의 구조시설기준에 관한규칙
- 20) 하천공사 설계 실무요령(2009. 국토해양부)

## 6.2 제방법선

### 6.2.1 기본방향

하천개수공사는 현 하천의 지형형성 상태, 토지이용 형태, 용지취득의 어려움, 치수

경제성 등을 감안하여 현 하도를 중심으로 실시된다. 그러나 사행이나 굴곡이 심한 하천 또는 주변에 대규모 생활단지가 형성되어 치수상 문제점이 발생하는 하천에서는 종합치수대책을 수립하여 방수로나 첩수로 등과 같은 신설하천을 건설하여 홍수소통능력을 확대하는 방안을 검토하여 결정한다.

수충부 위치는 현 상태의 하도, 배후지의 지형 및 지질의 상황, 토지이용 상태 등을 고려하여 정하도 가능하면 수충부가 생기지 않도록 하여야 한다. 이 수충부는 주택밀집구역과 구하천을 절개한 장소는 가능한 피하는 것이 좋다.

곡선부에서는 만곡 내측의 법선을 후퇴시켜 하폭을 넓게 하여 수충을 완화하는 것이 바람직하다.

하도 법선형은 만곡이 적고 될 수 있는 한 원만한 곡선으로 하고 하도는 될 수 있는 한 인구밀집지역에서 멀리 떨어지게 한다.

자연스럽게 제방의 역할을 할 수 있는 구간에서는 될 수 있는 한 그 상태를 유지한다.

### 6.2.2 구간별 법선계획

구 간	연장 (m)	기본계획 선형	실시설계 선형	비고
하 류 (하구~ 왜골제1교)	515	현하도를 중심으로 좌안으로 계획하폭 15m로 확폭	현하도를 중심으로 좌안으로 계획하폭 15m로 확폭	
중 류 (왜골제1교~ 왜골제4교)	445	현하도를 중심으로 좌·우안 으로 계획하폭 10m로 확폭	현하도를 중심으로 좌·우안 으로 계획하폭 10m로 확폭	
상 류 (왜골제4교~ 과업시점)	540	현하도를 중심으로 좌·우안 으로 계획하폭 10m로 확폭	현하도를 중심으로 좌·우안 으로 계획하폭 10m로 확폭	

### 6.3 제방 설계

제방설계는 하도와 재내지 상황, 사회 경제적 여건, 하천환경, 축제재료 및 원지반 상태 등을 종합적으로 고려하여 제방단면을 결정한 후 결정된 단면에 대해 안정계산을 실시하여 필요한 안전율을 확보할 수 있도록 최종단면을 결정하여야 한다. 하상재료 사용과 같이 안정성이 확보되지 못할 경우에는 그 대책을 마련하거나 제방 단면의 제원을 수정하여 필요한 안정성이 확보될 수 있도록 해야 한다. 이때 제방의 설계는 일반 구조물과 같이 수리학적 혹은 토질공학적인 안정성 검토를 통하여 제방의 침식, 제체의 침투 및 활동에 대한 제방강화 형태 및 구간 등을 선정한다.

### 6.3.1 제방의 여유고

제방고는 계획홍수위에 여유고를 더한 높이 이상으로 한다. 단, 굴입하도 등과 같이 계획홍수위가 제내 지반고보다 낮고, 산지부 등과 같이 지형상황으로 보아 치수상 지장이 없다고 판단되는 구간에서는 예외로 한다.

독마루에는 유지관리를 위한 잡석 부설 등을 시행하며, 이로 인해 생긴 높이는 제방고에서 제외하고, 필요에 의해 잡석부설 상단에 포장(콘크리트 또는 아스팔트 등)을 시행하는 경우, 현장 여건 등을 고려하여 포장 상단을 제방고로 결정할 수 있다.

여유고는 계획홍수량에 상응하는 계획홍수위에 소하천에서 발생할 수 있는 여러 가지 불확실한 요소들에 대한 안전값으로 주어지는 여분의 제방높이를 지칭하며, 일반적으로 계획홍수량을 기준으로 최소로 확보해야 하는 여유고는 다음 <표 6.3-1>과 같다.

제방 여유고는 계획홍수위에 해당하는 홍수, 즉 계획홍수량을 월류시키지 않기 위한 여유로서 홍수시의 풍랑, 여파, 도수 등에 의한 일시적인 수위상승이나 하천구조물의 축조로 인한 영향 등에 대한 여유 및 유수 등의 유과물에 대한 교량의 여유고, 홍수시의 순시나 수방작업을 실시할 경우, 위 안전확보등 여러 가지 요소를 고려하여 계획하였다.

<표 6.3-1> 계획홍수량에 따른 여유고

계획홍수량(m <sup>3</sup> /sec)	여유고(m)	비 고
200미만	0.6이상	금회 적용 (계획홍수량 34~68m <sup>3</sup> /sec)
200~500	0.8이상	

주) 소하천 설계기준(2012. 3, 소방방재청)

### 6.3.2 독마루폭

독마루폭은 침투수에 대한 안전의 확보, 홍수시의 방재활동, 친수 및 여가공간 마련 등의 목적을 달성할 수 있도록 결정하며, 계획홍수량을 기준으로 최소로 확보해야 하는 독마루폭은 다음과 같다.

<표 6.3-2> 계획홍수량에 따른 독마루폭

계획홍수량(m <sup>3</sup> /sec)	독마루폭(m)	비 고
100미만	2.5 이상	금회 적용 (계획홍수량 34~68m <sup>3</sup> /sec)
100~200	3.0 이상	
200~500	4.0 이상	

주) 소하천 설계기준(2012. 3, 소방방재청)

<표 6.3-2>의 독마루폭은 제방고 상단을 기준으로 한 값으로, 독마루에 잡석부설만 시행한 경우는 잡석부설 하단이 기준이며, 포장을 시행하여 포장 상단고를 제방고로 결정한 경우는 포장 상단의 폭을 기준으로 하여야 한다.

계획홍수량별 독마루폭은 관리용 도로 등을 고려하여 규정한 최소치로서 실제 독마루폭은 소하천과 제방의 중요도, 제내지 상황, 사회경제적 여건, 독마루의 이용성 등을 고려하여 결정하였다.

독마루표면은 계획제방고 위에 약 20cm 두께의 잡석 등을 부설하여 차량 및 농기계의 이동으로 인한 요철이 발생하지 않도록 하되 독마루를 자전거도로, 산책로 등으로 조성하는 경우, 이용목적에 적합한 공법으로 포장계획을 수립토록 한다. 또한, 다짐층은 횡단경사를 2%를 두어 원활한 배수가 이루어질 수 있도록 하였다.

소하천의 규모가 크고 자산이 밀집되어 별도의 관리용 도로가 필요한 곳을 제외한 관리용 도로는 제방의 독마루 이용을 원칙으로 한다.

본 과업에서는 현 기성제의 독마루폭 및 『소하천 설계기준(2012. 3., 소방방재청)』에서 제시하는 계획 홍수량별 독마루폭을 고려하여 결정하였다.

현재 제방의 독마루는 마을의 주진입도로 겸용으로 사용되고 있고 대형 차량이 통행하여 도로설계기준을 적용하였으며, “도로설계기준(2012)”에서는 시속40km/h 이하인 차로폭은 2.75m이상으로 규정하고 있으며, 대형 차량의 통행 및 회전반경을 고려하여 제방도로의 폭은 3.0~4.0m(길어깨 포함), 아스팔트 콘크리트계획으로 설계하였다. 또한, 하천횡단하는 횡단도로는 유지관리가 비교적 좋은 콘크리트포장으로 계획하였다.

### 6.3.3 비탈경사

소하천으로의 접근성을 보장하고 제내지와 둔치 또는 하도 사이의 생물 이동이 차단되지 않도록 제방 경사는 가능한 완경사로 조성한다.

둔치의 폭이 충분히 넓어 공간적으로 여유가 있는 경우에는 완경사로 제방을 설계하는 것이 원칙이나, 하폭이 충분하지 않은 경우 무리하게 완경사로 조성하는 것은 소하천의 자유로운 사행을 제약하게 되므로 바람직하지 않다.

통상 하천에서의 제방은 유수의 침투에 대해 안정한 비탈면을 가져야 한다. 이를 위해 제방고와 제내지반고의 차이가 0.6m 미만인 굴입하도 구간을 제외하고는 1 : 3.0 또는 이보다 완만하게 설치함을 원칙으로 한다. 그러나 소하천의 경우 현장조건 및 하천 특성상 비탈경사 1 : 3.0을 확보하기에 어려움이 많으므로, 1 : 2.0 또는 이보다 급한 경사 설치가 가능하나 하폭이 충분히 확보된 구간에서는 제방의 안정성 확보 및 친

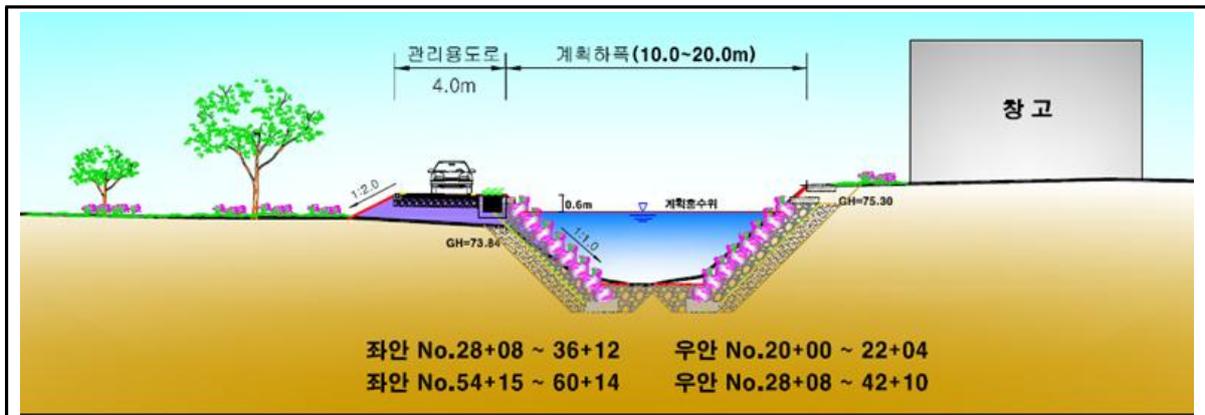
수성 증가를 위해 비탈경사 1 : 3.0 이상의 완경사 제방을 검토한다.

지형조건, 기존제방과 연결 등 부득이 하게 비탈경사를 1 : 3.0 보다 급하게 결정해야 하는 경우 제방 또는 지반의 토질조건, 홍수지속시간 등을 고려하여 제방의 안전성을 검토한 후 비탈경사를 결정해야 한다. 단, 지형조건 등에 따라 불가피하게 설치된 흙벽의 경우 예외로 한다.

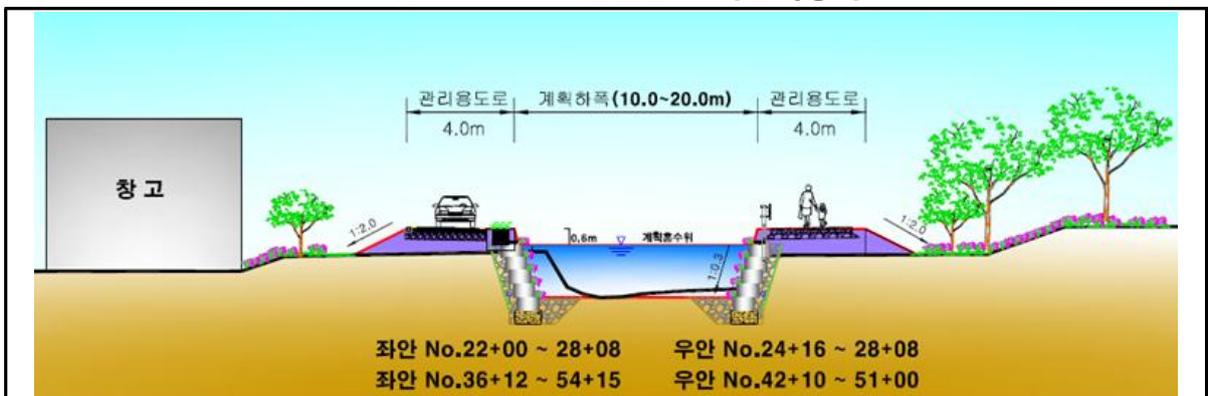
본 과업의 비탈경사는 소하천정비종합계획(2017년)를 반영하여 제내지 1:2.0, 제외지 1:0.3~1:1.0로 계획하였다.

〈표 6.3-3〉 구간별 제방 비탈경사

구 간	연장 (m)	제내지	제외지	비고
하 류 (하구~왜골제1교)	515	1:2.0	1:0.3 (식생옹벽블럭) 1:1.0(자연석쌓기)	
중 류 (왜골제1교~왜골제4교)	445	1:2.0	1:0.3 (식생옹벽블럭) 1:1.0(자연석쌓기)	
상 류 (왜골제4교~과업시점)	540	1:2.0	1:0.3 (식생옹벽블럭) 1:1.0(자연석쌓기)	



〈그림 6.3-1〉 표준단면도(자연석쌓기)



〈그림 6.3-1 계속〉 표준단면도(식생옹벽블럭)

## 6.4 제방 및 구조물기초 안정성검토

### 6.4.1 제방 안정성 검토

#### 가. 침투 안정검토

##### (1) 개요

제방의 역학적인 안정성 평가는 외력과 저항력의 균형, 한계상태의 파괴조건에 근거하여 평가된다. 그러나 제방의 파괴는 월류, 세굴, 누수 등에 의해 발생할 수 있으며, 이러한 현상들은 역학적으로 서로 다른 특성을 지니고 있다.

하천제방의 안정조건은 <표 6.4-1>과 같으며, 본 검토를 통하여 제외측의 수위조건 변화에 따른 비탈면의 안정성, 누수 및 파이핑에 대한 안정성 등을 확보하고자 한다.

**<표 6.4-1> 하천제방의 안정조건**

구 분	내 용
안정조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 홍수시 물이 제방을 월류해서는 안됨</li> <li>• 유속에 의해 제체가 세굴되지 않아야 함</li> <li>• 하천수위가 급강하할 때 비탈면의 활동에 대해 안전</li> <li>• 연약지반에 축재할 경우에 파괴와 침하에 대해 안전</li> <li>• 제체 및 기초지반이 투수성일 경우에 누수 및 파이핑에 대해 안전</li> <li>• 강우가 제방표면에 침투하여 제체의 함수비가 상승했을 경우에 비탈면 붕괴에 대해 안전</li> </ul>

##### (2) 침투 안정성 분석방법

##### (가) 제방누수에 대한 안정

제방의 누수는 외수위가 상승하여 제체 또는 지반을 통해 제내측으로 침투수가 유출하는 현상을 말하고 제체를 침투해 오는 제체누수와 지반을 침투해 오는 지반누수가 있다.

제체누수는 제방 비탈끝 부근에서 침투수가 유출하는 것을 말하며 이것은 하천의 외수위가 상승하여 제체내로 유수가 침투하여 발생하는 것이다. 즉 침윤선이 제내지 비탈면에 도달하면 누수가 시작되고 그 양이 많으면 파이핑(piping) 현상에 의해 붕괴위험을 내포하게 된다.

제체누수는 제체의 침윤선이 결정적인 요인이 되므로 침윤선을 낮추어 제체하부에 위치하도록 해야 하며, 지반누수가 있을 경우에는 적절한 대책공법을 강구해야한다.

본 검토는 수치해석 기법을 이용한 침투류해석을 수행하여 침투수에 의한 제방의 파이핑(piping) 발생여부와 안정성을 판단하고자 한다.

## ① 침투류 해석 이론

흙 속의 물은 유속이 작아 층류의 흐름을 보이며 다음식의 Darcy법칙에 지배된다.

$$Q = k \cdot i \cdot A = V \cdot A \quad , \quad V_s = V / n$$

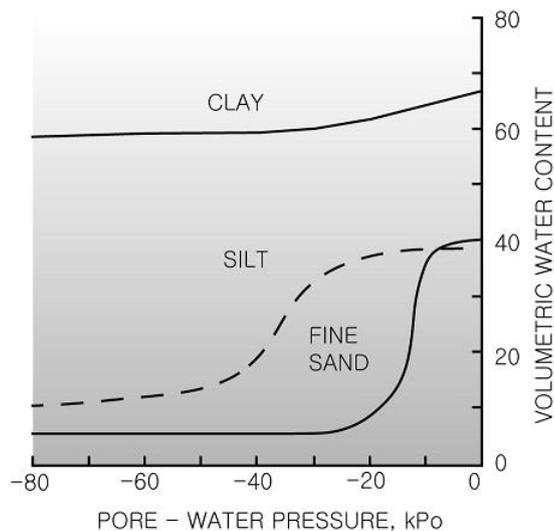
여기서, Q : 단위면적당 유량    k : 투수계수    i : 동수경사  
V : 유출속도                    V<sub>s</sub>: 침투속도    n : 공극률

Darcy의 법칙은 본래 포화토에 적용하도록 유도된 것이나, 연구결과 불포화토에 대해서도 적용할 수 있다는 것이 밝혀졌다.(Richards, Childs and Collis-George)

다만, 적용시 유일한 차이는 불포화토에 있어서의 투수계수는 일정한 값이 아니고 함수비 변화에 따라 달라진다는 것이다.

주어진 흙에 대한 함수비의 변화는 간극수압의 변화와 관련이 있다. H.O.(1979)가 몇 가지 흙에 대해 불포화영역에 대하여 실험한 간극수압-체적함수비 곡선인 <그림 6.4-1>에 보인 것처럼 포화영역에서는 간극수압의 증가에 따라 체적함수비(전체 흙의 용적에 대한 물의 용적비)는 선형으로 증가하나 불포화영역에서는 간극수압의 감소에 따라 비선형으로 갑작스레 감소한다. 이 곡선의 경사는 포화영역에서는 체적변화계수  $m_v$ 와 같고 일정하나 불포화영역에서는 일반적으로 값이 크고 간극수압의 크기에 따라 변화한다.

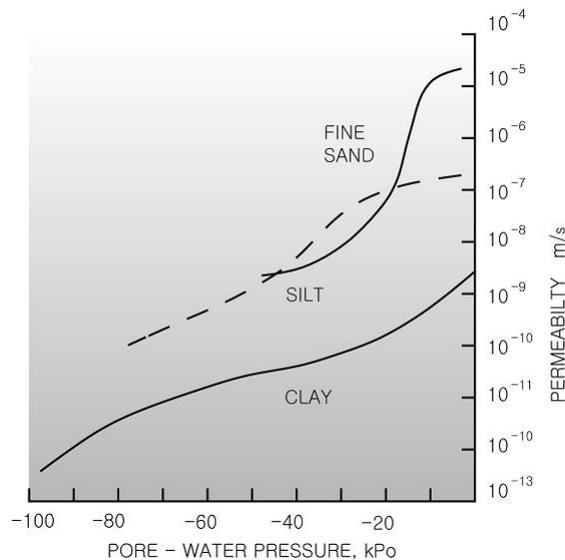
H.O의 간극수압-체적함수비 곡선에서 보면 점토는 체적함수비가 크고 불포화영역에서도 거의 직선에 가까우나 가는 모래는 불포화상태가 되면 체적함수비는 갑작스레 감소하며 실트는 점토와 모래의 중간인 특성곡선을 그린다.



<그림 6.4-1> U-W관계(H.O, 1979)

불포화토의 투수계수는 부간극수압과 밀접한 관련이 있으며 일반적으로 부간극수압이 작을수록 투수계수는 감소한다.

불포화 영역에서의 투수계수를 실제로 측정하는 것은 매우 어렵다. 그러나 흙의 종류에 따른 간극수압-체적함수비 변화곡선은 쉽게 얻을 수 있으며 불포화영역에서의 체적함수비와 투수계수는 함수관계에 있다는 것에 착안하여 Green and Corey(1971)는 간극수압-체적함수비 곡선으로부터 부간극수압과 투수계수 관계를 <그림 6.4-2>와 같이 추정하였다.



<그림 6.4-2> 부의 간극수압과 투수계수의 관계

**(나) 침투에 의한 안정성 검토방법**

지반의 투수성이 높은 경우에는 하천수위가 상승함으로써 침투수압이 증가하여 제 내지측 지반에 침투수가 용출하는 파이핑(piping) 현상이 발생한다. 이러한 파이핑의 원인은 대상재료의 불균일성이나 지질조건의 사소한 변화, 시공상 부주의 등에 의한 경우가 많으므로 이론적인 취급은 곤란하지만 보통은 Justin의 침투유속의 한계치(한계유속)을 구하여 토립자의 이동가능성을 검토하는 방법과 한계동수경사를 구하여 분사현상(quick sand)의 발생가능성을 검토하여 안전여부를 판정한다.

**① 한계동수경사에 의한 검토**

상한계동수경사에 대한 제한치를 설정하여 piping의 기준을 정하거나 filter의 기준을 역으로 적용 할 수도 있다. 그러나 이러한 방법은 일반적이고 경험적인 것이므로 정상 침투조건에 대한 안전율 설정에도 임의적인 요소가 많고 결과의 해석 범위가 커서 중요 구조물에 현지 제조건의 정밀한 검토 없이 적용 할 경우 그 결과

의 불명확성이 커지게 되는 경향이 있다.

수리 구조물에서 상향으로 침투가 발생할 때 유효응력은 정수압인 경우에 비하여  $\Delta h \cdot \gamma_w$ 만큼 감소하므로  $\sigma' = Z \cdot \gamma' - \Delta h \cdot \gamma_w$ 이다. 만일 침투압이 점점 커져서 유효응력이 0이 된다면 상기 식으로부터

$$Z \cdot \gamma' = \Delta h \cdot \gamma_w \quad \text{즉,} \quad \frac{\Delta h}{Z} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = i_{cr} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad \text{이 된다.}$$

이때의 동수경사  $i_{cr}$ 를 한계동수경사라 하며, 동수경사가 한계동수경사에 이르면 흙의 유효응력은 영이 되므로 점착력이 없는 흙은 전단강도를 가질 수 없게 되며, 이때 Piping이 발생하게 된다. Harza의 연구결과 수리 구조물의 Piping에 대한 안전율  $F_s$ 는 다음 식과 같이 정의된다.

$$F_s = \frac{i_{cr}}{i_{exit}}$$

여기서,  $i_{exit}$  : 최대 출구부 동수 경사  
 $i_{cr}$  : 한계 동수 경사  
 $F_s$  : 허용 안전율

## ② 한계유속에 의한 검토

한계유속을 고려하는 방법은 현재까지 알려진 실용적인 Piping 해석방법 중 기타 방법에 비해 이론적인 배경과 함께 경험적으로 입증된 방법이다.

한계유속을 이용하는 방법은 Justin(1923)이 최초로 제안하였으며 그 후 여러 학자들에 의해 연구한 결과 Justin의 식은 과대평가 된다고 한다. Sughii et al.은 토립자의 소유력(또는 토립자의 침강속도)을 바탕으로 하여 한계유속을 제안하였다.

### - Justin(1923)에 의한 방법

체체 및 기초의 토립자가 소유력에 의하여 입자가 밀려나가는 한계 침투유속을 다음의 식으로 구하고 입자는 그 한계치를 넘으면 파이핑이 발생한다고 본다.

$$V = \sqrt{\frac{W \cdot g}{A \cdot \gamma_w}} = \sqrt{\frac{2}{3}(G_s - 1)d \cdot g} \quad (\text{cm/s})$$

여기서,  $W$  : 토립자의 수중중량(g)  
 $A$  : 물의 흐름을 받는 토립자의 면적( $\text{cm}^2$ )  
 $\gamma_w$  : 물의 단위체적중량( $\text{gf/cm}^3$ )  
 $g$  : 중력가속도( $\text{cm/s}^2$ )

실제의 토립자에는 여러 크기의 것이 혼합되어 있어 입경의 기준을 정하기 어려우므로 침투류 해석에서 얻어지는 침투류의 실유속이 <표 6.4-2>의 입경에 대한 한계유속의 1/100이하가 되도록 해야한다.

<표 6.4-2> 한계유속

재료번호	입경(mm)	한계유속(cm/s)	재료번호	입경(mm)	한계유속(cm/s)
1	4.00~4.80	20.0	6	0.25~0.50	4.2
2	2.80~2.40	17.0	7	0.11~0.25	3.5
3	1.00~1.20	10.0	8	0.075~0.11	2.5
4	0.70~0.85	8.5	9	0.044~0.075	2.0
5	0.50~0.70	7.0	-	-	-

\* 하천설계기준해설, 한국수자원학회, 2009)

③ Schmieder(1975)에 의한 검토

흙의 대표적 단위중량을 고려하여 한계유속과 유효입경, 투수계수와 의 관계를 유도하였으며 다음의 식과 같다.

$$V_{cr} = C_n \left[ \frac{(\gamma_s - \gamma_w) D_{10}}{\gamma_w} \right]^{1/2} \approx 2(D_{10})^{1/2} = 0.2(k)^{1/4}$$

여기서,  $V_{cr}$  : 한계유속                       $C_n$  : 계수  
 $\gamma_s$  : 흙의 단위중량                       $\gamma_w$  : 물의 단위중량  
 $D_{10}$  : 유효입경                               $k$  : 투수계수 (m/s)

Schmieder는 위의 한계유속을 근거로 허용유속에 관한 실용기준을 만들었으며 이는 아래의 과 같다.

$$V_{lim} = 5 \times 10^{-2} (k)^{1/4}$$

여기서,  $V_{lim}$  : 허용유속                       $k$  : 투수계수 (m/s)

(3) 침투 안정 해석

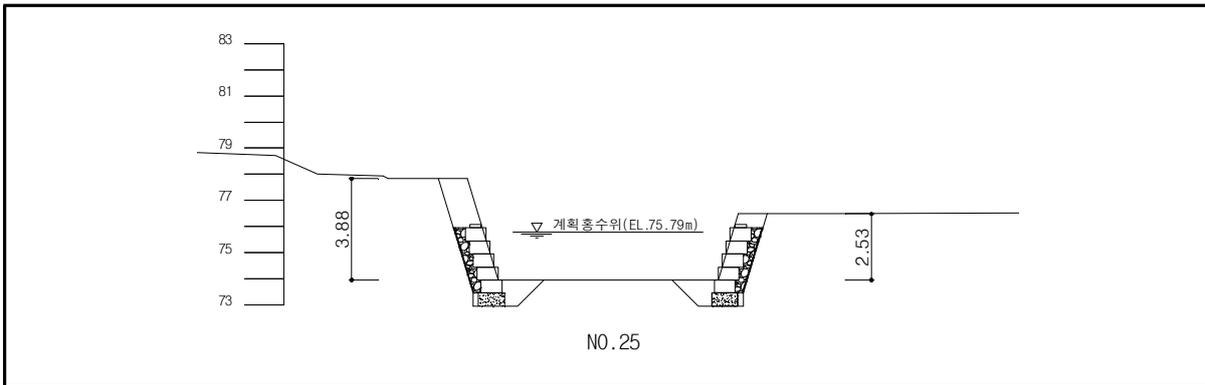
침투압 발생으로 인한 안정성을 검토하기 위해서는 제방성토 단면 및 구성, 기초지반의 투수특성, 구성지층 재료의 토질특성, 홍수위 변화 및 내수위 변화 등이 요구되며 제방 요건 중 가장 취약할 것으로 예상되는 조건을 선정한 후 이를 대상으로 분석하였다.

제방의 해석단면은 지반조사 위치를 참조하여 성토고가 높거나 제체내로 침투우려가 예상되는 단면을 대표단면으로 선정하여 해석하고, 최대홍수위(H.W.L) 및 수위급강하 시 시간에 따른 수위변화를 고려하는 침투해석으로 실시하였다.

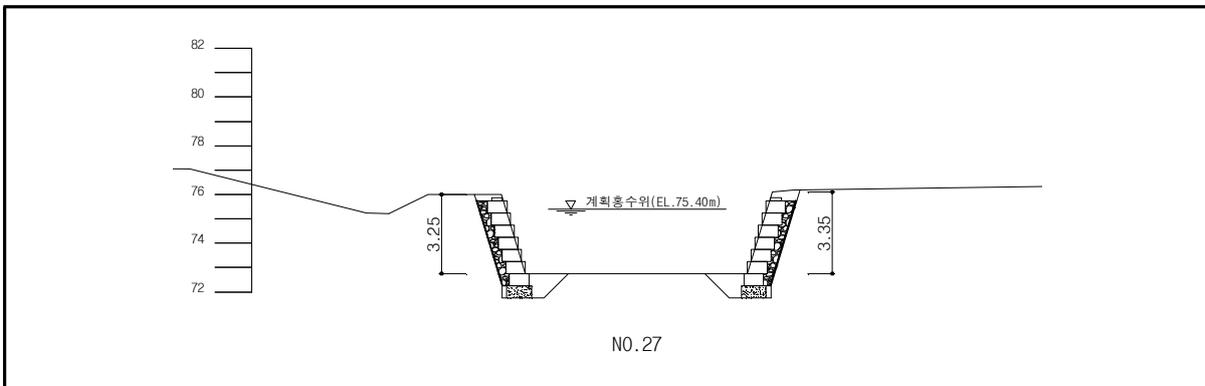
〈표 6.4-3〉 검토단면

구 분	대표단면	제방고 (m)	적용시추공	비 고
No.25	좌안	3.88	BH-2	굴입하도
	우안	2.53		굴입하도
No.27	좌안	3.25	BH-2	-
	우안	3.35		굴입하도
No.30	좌안	3.29	BH-2	-

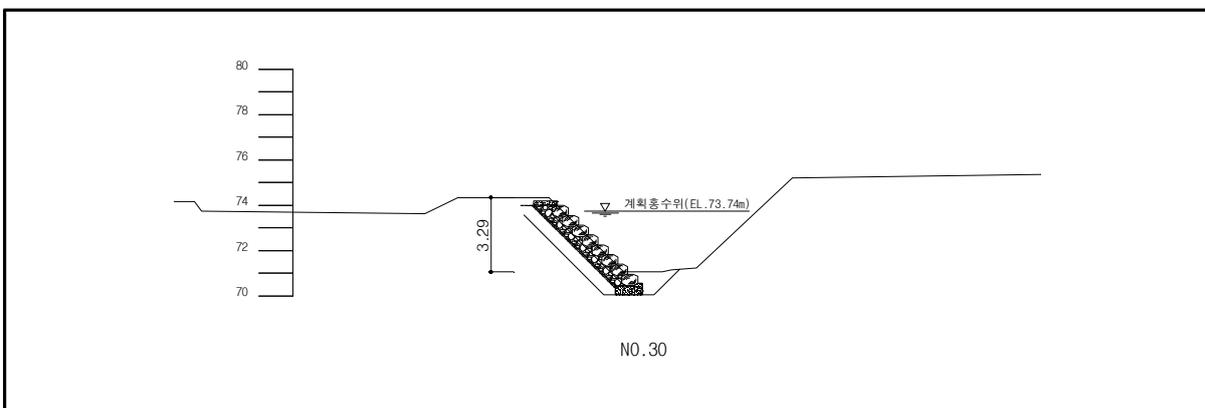
## ① No. 25



## ② No. 27



## ③ No. 30



**(가) 수위 변동 시간**

비정상류 해석을 위해 하천 수위의 변동을 고려했으며, 이때 적용한 시간은 다음과 같다.

**<표 6.4-4> 수위변동시간**

구 분	홍수위 도달시간	홍수위 지체시간	평수위 도달시간	비 고
시 간	90min	60min	133min	-

**(나) 침투 해석 설계정수 산정**

본 과업의 투수계수는 현장시험 결과를 적용하였으며, 시험결과가 없는 토층에 대해서는 기타 문헌 값을 참조하여 적용하였다.

**<표 6.4-5> 각종 흙의 대표적 투수계수(지반공학-이론과 실제, 천병식, pp.98)**

흙 의 종 류	투수계수(cm/s)
깨끗한 자갈	1 이상
깨끗한 모래, 깨끗한 모래와 자갈이 섞인 흙	$10^{-3} \sim 1$
극 미립토사, 실트, 모래, 실트와 점토가 섞인 흙, 성층이 있는 점토	$10^{-7} \sim 10^{-3}$
불투수층	$10^{-7}$ 미만

**<표 6.4-6> 여러재료에 대한 전형적인 투수계수 값(종류) (지반공학핸드북)**

구 분	입자크기 (mm)		유효입경, D10 (mm)	투수계수, k (cm/s)
	Dmax	Dmin		
균등한 조립모래	2	0.5	0.6	0.4
균등한 중간모래	0.5	0.25	0.3	0.1
깨끗하고 입도가 양호한 실트질 모래와 자갈	10	0.05	0.1	0.01
균등한 세립모래	0.25	0.05	0.06	$40 \times 10^{-4}$
입도가 양호한 실트질 모래 및 자갈	5	0.01	0.02	$4.0 \times 10^{-4}$
실트질 모래	2	0.005	0.01	$1.0 \times 10^{-4}$
균등한 실트	0.05	0.005	0.006	$0.5 \times 10^{-4}$
모래질 점토	1.0	0.001	0.002	$0.05 \times 10^{-4}$
실트질 점토	0.05	0.001	0.0015	$0.01 \times 10^{-4}$
점 토 (점토입자가 30~50%)	0.05	0.0005	0.0008	$0.001 \times 10^{-4}$
콜로이드 점토 (점토입자가 $-2 \mu \leq 50\%$ )	0.01	10Å	40Å	$1.0 \times 10^{-9}$

〈표 6.4-7〉 Creager에 의한 D<sub>20</sub>과 투수계수(k)의 상관관계

D20 (mm)	k (cm/s)	토질분류	D20 (mm)	k (cm/s)	토질분류
0.005	$2.00 \times 10^{-6}$	점 토	0.18	$6.85 \times 10^{-3}$	세립모래
0.01	$1.05 \times 10^{-5}$	세립실트	0.20	$8.90 \times 10^{-3}$	
			0.25	$1.40 \times 10^{-2}$	
0.02	$4.00 \times 10^{-5}$	조립실트	0.30	$2.20 \times 10^{-2}$	중립모래
0.03	$8.50 \times 10^{-5}$		0.35	$3.20 \times 10^{-2}$	
0.04	$1.75 \times 10^{-4}$		0.40	$4.50 \times 10^{-2}$	
0.05	$2.80 \times 10^{-4}$		0.45	$5.80 \times 10^{-2}$	
			0.50	$7.50 \times 10^{-2}$	
0.06	$4.60 \times 10^{-4}$	매 우 세립모래	0.60	$1.10 \times 10^{-1}$	조립모래
0.07	$6.50 \times 10^{-4}$		0.70	$1.60 \times 10^{-1}$	
0.08	$9.00 \times 10^{-4}$		0.80	$2.15 \times 10^{-1}$	
0.09	$1.40 \times 10^{-3}$		0.90	$2.80 \times 10^{-1}$	
0.10	$1.75 \times 10^{-3}$		1.00	$4.80 \times 10^{-1}$	
0.12	$4.80 \times 10^{-3}$	세립모래	2.00	1.80	잔자갈
0.14	$2.80 \times 10^{-3}$				
0.16	$5.10 \times 10^{-3}$				

〈표 6.4-8〉 현장투수시험 결과 (변수위법)

공 번	토 층	시 험 구 간		USCS	투수계수 k(cm/sec)
		GL(-), m	EL(+), m		
BH-1	풍화토층	4.5~5.5	60.67~61.67	SM	$4.19 \times 10^{-4}$
BH-2	퇴적층	1.5~2.0	73.70~74.20	GM	$8.77 \times 10^{-3}$
BH-3	매립층	1.0~2.0	65.46~66.46	SM	$3.45 \times 10^{-3}$

〈표 6.4-9〉 투수계수(cm/s)

구 분 \ 지 층	문헌자료	현장투수시험	적용값
신설제체	$1.0 \times 10^{-3}$	-	$1.0 \times 10^{-3}$
매립층(모래)	$1.4 \times 10^{-3} \sim 4.0 \times 10^{-4}$	$3.45 \times 10^{-3}$	$3.5 \times 10^{-3}$
퇴적층(자갈)	$1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3}$	$8.77 \times 10^{-3}$	$9.0 \times 10^{-3}$
풍화토	$1.4 \times 10^{-3} \sim 4.0 \times 10^{-4}$	$4.19 \times 10^{-4}$	$4.2 \times 10^{-4}$
풍화암	$1.0 \times 10^{-6}$	-	$1.0 \times 10^{-6}$

(다) 기준 안전율

이론적으로는 동수경사에 대한 한계동수 경사의 비가 “1.0” 을 초과할 경우 안정하다 할 수 있으나 적용정수의 신뢰도와 지반조건 설정시 가정 조건 등을 고려하여 설계시 다음과 같은 Piping에 대한 안전율(Fs)이 일반적인 기준으로 사용되어진다.

문헌상의 파이핑에 대한 기준안전율은 다음 표와 같고, ‘하천설계기준해설(2009, 한국수자원학회)’ 및 ‘하천공사설계실무 요령(2009, 국토해양부)’에서는 침투류해석에 의하여 산출한 동수경사가 한계동수경사의 1/2이하가 되도록 해야 한다고 제시하고 있다. 따라서, 본 과업구간에서 한계동수경사에 의한 파이핑에 대한 허용안전율은 “2.0” 을 적용하였으며, 한계유속에 의한 파이핑에 대한 안정성 여부는 실유속(Vs)이 한계유속(Vcr)의 1/100이하 조건으로 안정성 여부를 검토하였다.

$$i_{cr} = \frac{G_s - 1}{1 + e} = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

여기서,  $i_{cr}$  = 한계동수경사     $e$  = 간극비     $G_s$  = 비 중  
 $\gamma'$  = 수중단위중량(t/m<sup>3</sup>)  
 $\gamma_w$  = 물의 단위중량(t/m<sup>3</sup>)

〈표 6.4-10〉 Piping에 대한 기준안전율(Fs)

제 안		기준안전율	비 고
한계 동수 경사	•하천설계기준해설(2009, 한국수자원학회) •하천공사설계실무 요령 (2009, 국토해양부) •NAVFAC DM-7.1	2.0 이상	◎ (적용)
	•Roy E. Hunt	3.0 이상	
	•댐 설계 기준	2.0	
한계 유속	•하천설계기준해설(2009, 한국수자원학회)	실유속이 한계유속의 1/100이하	◎ (적용)

① 한계유속 (하천설계기준·해설, 2009)

재료번호	입경(mm)	한계유속(m/sec)	비 고
1	4.0 ~ 4.8	0.200	
2	2.8 ~ 3.4	0.170	
3	1.0 ~ 1.2	0.100	
4	0.7 ~ 0.85	0.085	
5	0.4 ~ 0.7	0.070	자갈
6	0.25 ~ 0.5	0.042	
7	0.11 ~ 0.25	0.035	모래
8	0.075 ~ 0.11	0.025	
9	0.044 ~ 0.075	0.020	점토, 실트

② 한계 동수경사 산정

구 분	한계동수경사		비 고
풍화토	$G_s = 2.65, e = 0.50$	1.10	비중, 간극비 문헌값 적용

(라) 해석 Program

최근의 침투해석은 수위의 변화에 따라 제체 내에 형성되는 불포화영역이 침투거동에 큰 영향을 주는 것으로 판단하고, 이에 대한 체적함수비와 간극수압의 관계, 간극수압과 투수계수의 관계 등을 고려한 수치해석을 수행하고 있다.

본 보고서는 MIDAS사에서 제작한 “SoilWorks 4.6”을 사용하여 수행하였으며, 이 프로그램은 시간에 따른 수위변화, 투수특성의 변화 등을 고려할 수 있다. SoilWorks 4.6으로 모델링 및 해석될 수 있는 전형적인 문제는 다음과 같다.

- Zone 형의 흙댐을 통과하는 흐름
- 초기저류 이후의 댐을 통과하는 상류면의 이동
- 자연적인 지하수흐름 체계의 Simulation
- 석호나 테일링 연못 같은 저류 구조물 하부의 지하수 유출입

(마) 침투 해석 결과

구간별 대표단면에 대하여 침투해석을 수행하였다. No. 30의 우안구간은 기존 식생블럭 보존구간으로 본 과업 대상에서 제외되었으며 No. 25의 좌·우안과 No. 27의 우안은 굴입하도 형상 구간으로 홍수위시 제내지의 안정검토를 생략하였다. 검토 결과 전 구간의 안전율이 기준안전율 이상으로 침투에 대하여 안정한 것으로 검토되었으며, 검토결과는 아래와 같다.

① 한계동수경사에 의한 검토

구 분		침투류해석 (i)	한계동수경사 (ic)	산정안전율 $F_s = (ic/i)$	기준안전율 (Fs)	판 정	
No.25	좌안 수위급강하시	0.345	1.10	3.191	2.0	안 정	
	우안 수위급강하시	0.341	1.10	3.225	2.0	안 정	
No.27	좌안	홍수위시	0.131	1.10	8.413	2.0	안 정
		수위급강하시	0.469	1.10	2.343	2.0	안 정
	우안 수위급강하시	0.500	1.10	2.201	2.0	안 정	
No.30	좌안	홍수위시	0.040	1.10	27.187	2.0	안 정
		수위급강하시	0.104	1.10	10.581	2.0	안 정

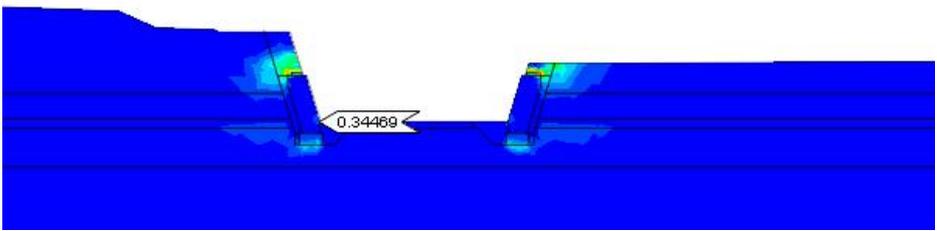
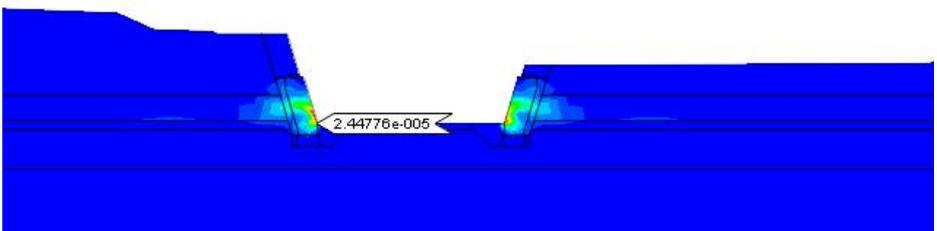
② 한계유속에 의한 검토

구 분		최대침투속도 V (m/sec)	침투유속 V' (m/sec)	한계유속 Vs (m/sec)	산 정 안전율	기 준 안전율	판 정
No.25	좌안 수위급강하시	$2.45 \times 10^{-5}$	$7.34 \times 10^{-5}$	0.035	477	100	안 정
	우안 수위급강하시	$2.60 \times 10^{-5}$	$7.80 \times 10^{-5}$	0.035	448	100	안 정
No.27	좌안 홍수위시	$3.46 \times 10^{-6}$	$1.04 \times 10^{-5}$	0.035	337	100	안 정
	좌안 수위급강하시	$3.56 \times 10^{-5}$	$1.07 \times 10^{-4}$	0.035	327	100	안 정
	우안 수위급강하시	$3.79 \times 10^{-5}$	$1.14 \times 10^{-4}$	0.035	307	100	안 정
No.30	좌안 홍수위시	$1.06 \times 10^{-6}$	$3.17 \times 10^{-6}$	0.035	11,028	100	안 정
	좌안 수위급강하시	$8.33 \times 10^{-6}$	$2.50 \times 10^{-5}$	0.035	1,400	100	안 정

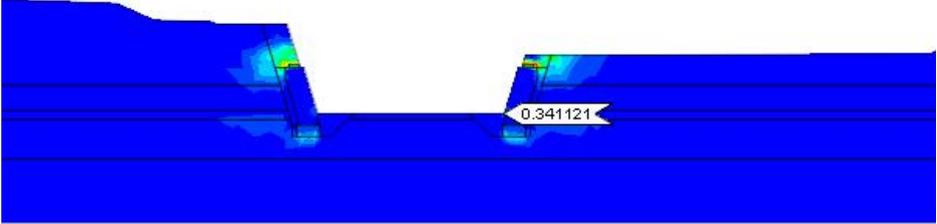
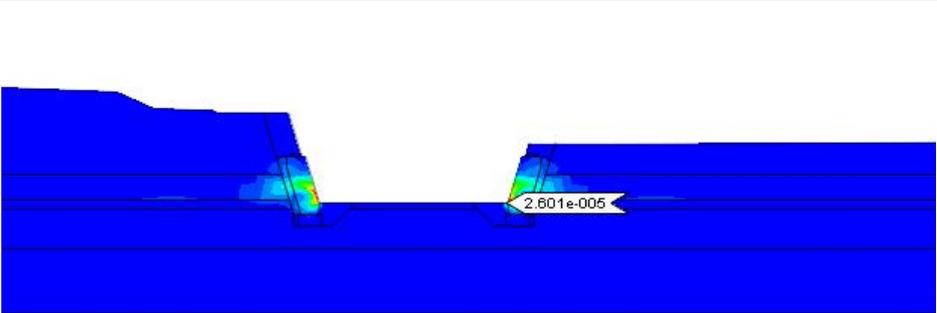
※ 침투유속(V')은 흙속의 간극을 흐르는 실제의 유속이며, 수치해석에서 구한 유출유속(V)과 다음 관계가 성립한다.  $V'=V/n$ ,  $n=e/(1+e)$

③ No. 25

㉠ 좌안

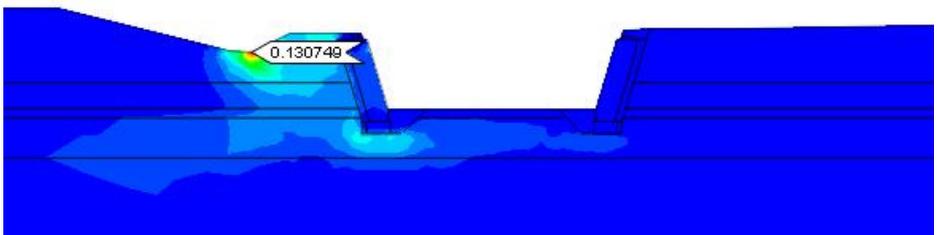
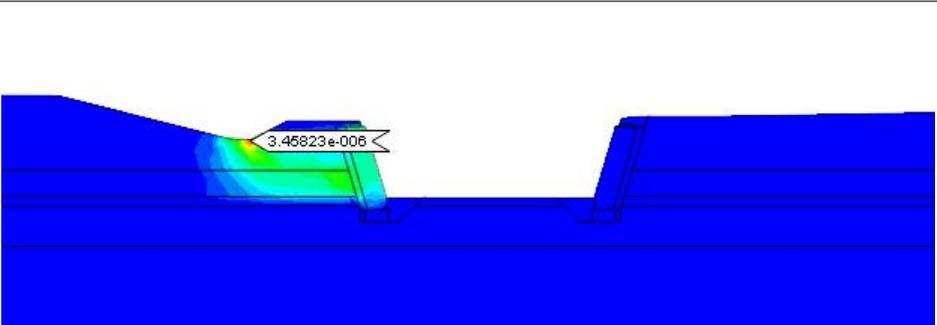
구 분	검 토 결 과	
수위급강하	동수 경사	 <p>최대동수경사(i) = 0.345</p>
	유출 속도	 <p>최대유출속도(Vd) = <math>2.45 \times 10^{-5}</math>(m/sec)</p>

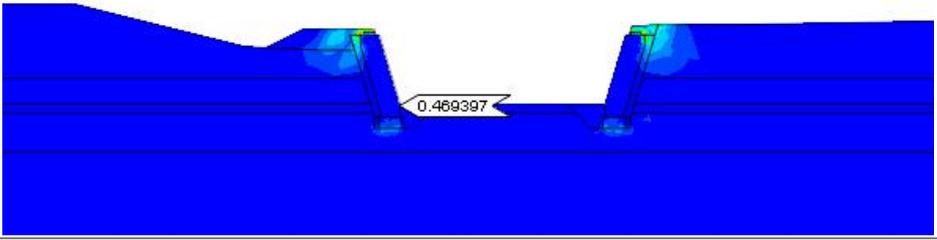
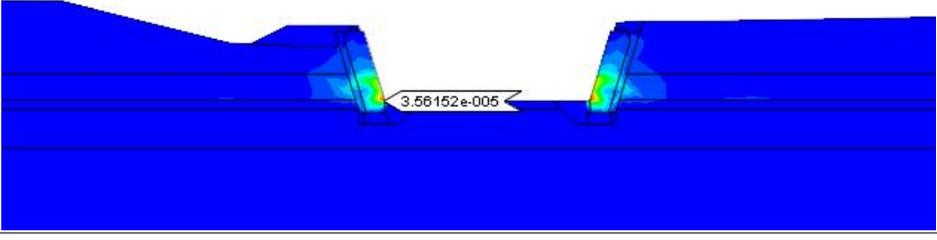
㉞ 우안

구 분		검 토 결 과
수위급강하	동수 경사	 <p>최대동수경사(i) = 0.341</p>
	유출 속도	 <p>최대유출속도(Vd) = <math>2.60 \times 10^{-5}</math> (m/sec)</p>

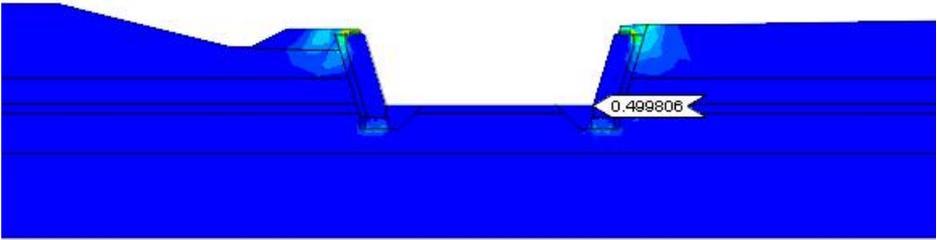
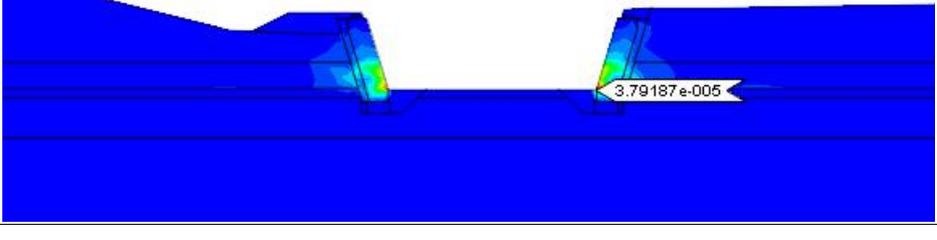
④ No. 27

㉞ 좌안

구 분		검 토 결 과
홍수위	동수 경사	 <p>최대동수경사(i) = 0.131</p>
	유출 속도	 <p>최대유출속도(Vd) = <math>3.46 \times 10^{-6}</math> (m/sec)</p>

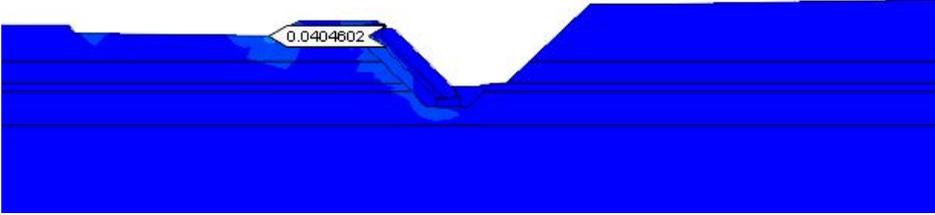
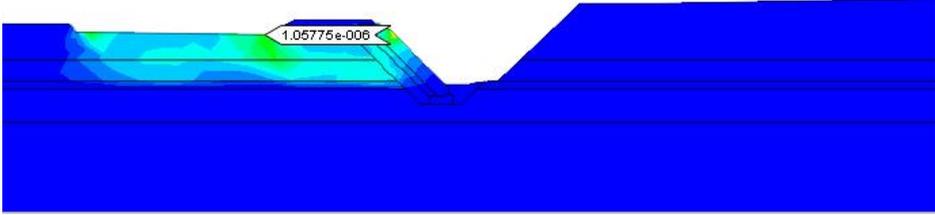
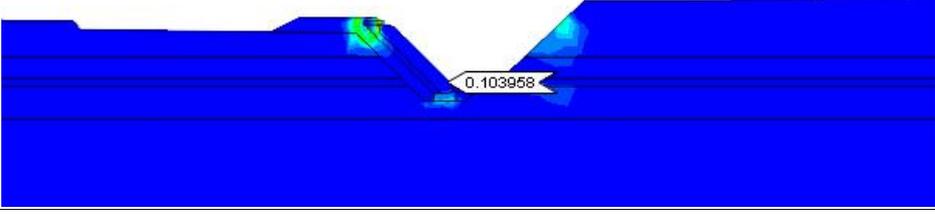
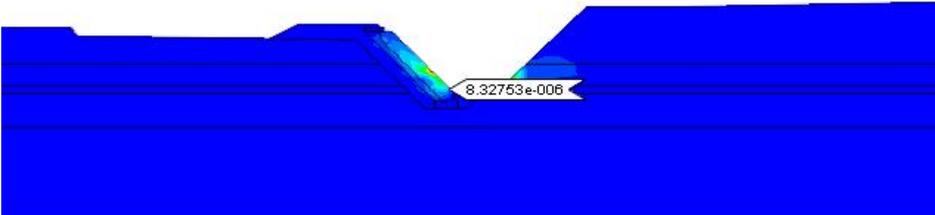
구 분		검 토 결 과
수위급강하	동수 경사	 <p>최대동수경사(i) = 0.469</p>
	유출 속도	 <p>최대유출속도(Vd) = <math>3.56 \times 10^{-5}</math> (m/sec)</p>

㉠ 우안

구 분		검 토 결 과
수위급강하	동수 경사	 <p>최대동수경사(i) = 0.500</p>
	유출 속도	 <p>최대유출속도(Vd) = <math>3.79 \times 10^{-5}</math> (m/sec)</p>

## ⑤ No. 30

## ㉠ 좌안

구 분		검 토 결 과
홍수위	동수경사	
		최대동수경사(i) = 0.040
홍수위	유출속도	
		최대유출속도(Vd) = $1.06 \times 10^{-6}$ (m/sec)
구 분		검 토 결 과
수위급강하	동수경사	
		최대동수경사(i) = 0.104
수위급강하	유출속도	
		최대유출속도(Vd) = $8.33 \times 10^{-6}$ (m/sec)

**나. 비탈면 안정검토**

**(1) 개요**

체체 비탈면의 전단저항력이 활동력 보다 큰 경우 안정성 확보가 가능하게 되나, 응력균형상태가 유지되지 못하는 경우 비탈면은 제방형태 및 수위변화조건에 따라 다양한 형태의 붕괴가 발생된다. 이러한 비탈면붕괴는 제방유실 및 체체누수, 인접구조물 등에 피해를 일으킬 뿐만 아니라 경우에 따라서는 큰 인명손실을 가져오기도 하므로, 주의 깊은 검토가 필요하다.

비탈면 불안정 요인을 내적요인과 외적요인으로 구분하면 다음과 같다.

내적요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>•지형의 기하학적 변화 (인위적인 비탈면, 유수에 의한 침식 등)</li> <li>•토피하중의 제거 (침식이나 인위적인 깎기 및 준설)</li> <li>•하중의 증가 (추가 상재하중, 비탈면 높이의 증가, 수위상승에 의한 흙무게의 증가)</li> <li>•충격과 진동</li> <li>•인접한 호수 또는 저수지의 수위강하</li> <li>•강우</li> </ul>
외적요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>•진행성 파괴</li> <li>•풍화작용 (동결융해, 건조수축 등)</li> <li>•물의 침투로 인한 용해 (용해에 의한 침식, 파이핑 현상 등)</li> </ul>

**(2) 비탈면 안정성 분석방법 및 설계기준**

비탈면안정 해석법은 강도정수의 적용에 따라 전응력 해석법과 유효응력 해석법으로 대별할 수 있고 또한 적용이론에 따라 여러 가지 해석법으로 분류할 수 있다. 적용되는 기본이론은 한계평형, 소성, 변형이론 등이 있으나 현재 이용되는 해석이론은 한계평형이론을 기초로 하고 있는 것이 많다. 한계평형상태란 비탈이 활동면을 따라 활동하게 되기 직전에 활동하려는 힘과 활동에 저항하려는 힘이 평형을 이루는 상태라고 한다. 한계 평형법은 부정정 이므로 비탈면안정해석은 절편의 측면에 작용하는 힘에 대한 가정이 필요한데, 이에 따라 여러 가지 방법이 개발되었다. 결국 각 방법은 상이한 측면력을 가정함으로써 서로 다른 전단강도와 전단응력을 산정하여 결과적으로 안전율의 값을 다르게 산정한다.

**(가) Bishop법**

이 방법은 절편 간 전단력이 동일한 것으로 가정한다. 전체 수직력은 각 절편 바닥의 중앙에 작용하는 것으로 보며, 각 절편에 수직으로 작용하는 힘을 계산하여 결정한다. 이 수직력을 구하면 다음 식과 같다.

$$F_s = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha \cdot M_{(a)}} \cdot \sum (c' \cdot b + (W - ub) \tan \phi')$$

$$M(a) = \cos \alpha \left( 1 + \frac{\tan \phi' \times \tan \alpha}{F_s} \right)$$

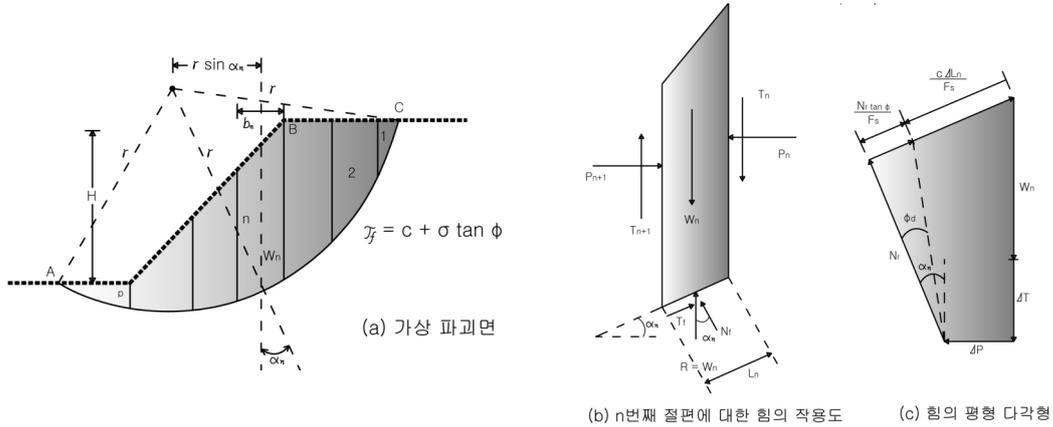
여기서, W : 절편 흙의 전체중량 (=r<sub>t</sub> · b · h) (t/m)

α : 경사각 (°)

c' : 흙의 점착력 (t/m<sup>2</sup>)

b : 절편폭 (m)

φ : 흙의 내부마찰각(°)



<그림 6.4-3> Bishop의 간편법에 의한 비탈면해석의 기본원리

(나) 비탈면 설계기준(하천설계기준해설, 2009)

<표 6.4-11> 제체상태에 따른 안전율

제 체 상 태	간 극 수 압 상 태	안 전 율	비 고
연직붕괴(Crack) 불고려시	간극수압을 고려하지 않는 경우	2.0 이상	
	간극수압을 고려하는 경우	1.4 이상	◎ (적용)
연직붕괴(Crack) 고려시	간극수압을 고려하지 않는 경우	1.8 이상	
	간극수압을 고려하는 경우	1.3 이상	

활동파괴에 대한 안정성 검토에 제방의 주 사용용도, 현장여건 등에 따른 교통(상재)하중은 다음표과 같이 적용하였다.

<표 6.4-12> 교통(상재) 하중 기준

주 사용용도	상재하중 (kN/m <sup>2</sup> )	비 고
일반 제방	10.0	
도로겸용 제방	13.0	◎ (적용)

(3) 비탈면 안정 해석

일반적으로 제내측 비탈면의 경우는 홍수위 지체시 체체내 침윤선 분포가 비탈면의 안정성에 가장 큰 영향을 미치고, 제외측 비탈면의 경우는 홍수위로부터 수위급강하로 인해 평수위를 회복할 때의 침윤선 분포가 비탈면 안정해석시 가장 불안정한 것으로 나타난다. 따라서 수위급강하시와 홍수위시 조건에 대하여 안정성 검토를 실시하였다.

〈표 6.4-13〉 검토단면

구 분	대표단면	제방고(m)	적용시추공	비 고
No. 25	좌안	3.88	BH-2	-
	우안	2.53		-
No. 27	좌안	3.25	BH-2	-
	우안	3.35		-
No. 30	좌안	3.29	BH-2	-

(가) 비탈면 해석 설계정수 산정

비탈면안정 해석에 있어 대상비탈면의 원지반에 대한 강도특성을 나타낼 수 있는 토질정수(단위중량, 점착력, 내부마찰각 등)의 선정은 해석결과의 신뢰도에 직접 영향을 미치는 것으로 매우 중요하다. 대부분 사질토로 구성되어 있으며, 현장에서 채취된 시료에 대한 일반문헌과 경험식 등을 참고하여 설계정수를 산정하였다.

〈표 6.4-14〉 전형적인 흙 분류 특성 (NAVFAC DM 7.1)

입 경 의 크 기 와 분 포				습윤중량 (kN/m³)		수중중량 (kN/m³)	
종 류		D <sub>10</sub> (mm)	Cu	느슨	조밀	느슨	조밀
균등한 조립질 모래	양질의 균등한 모래 (세립 또는 중간)	-	1.2~2.0	13.4	21.8	8.3	11.7
	균등, 무기질 실트	0.012	1.2~2.0	12.9	21.8	8.2	11.7
입도분포가 좋은 재료	실트질 모래	0.02	5~10	14.1	22.7	8.6	12.6
	양질의 세립조립자가 포함된 모래	0.09	4~6	13.8	23.6	8.5	13.8
	운모질 모래	-	-	12.3	22.1	7.7	12.2
	실트질 모래와 자갈	0.02	12~300	14.4	24.8	9.0	14.7
혼합토	모래질 또는 실트질 점토	0.003	10~30	16.0	23.5	6.1	13.6
	암편이나 돌이 포함된 실트질 점토	-	-	18.4	24.2	8.5	14.2
	양입도의 자갈, 모래, 실트 및 점토혼합물	0.002	25~1000	20.0	25.0	9.9	15.0

<표 6.4-15> 사질토의 특성(Hunt, 1984)

재료	다짐	DR, %	N*	$\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> )	간극비 e	강도 $\phi$
GW:입도가 양호한 자갈	조밀	75	90	22.1	0.22	40
	중간조밀	50	55	20.8	0.28	36
	느슨	25	<28	19.7	0.36	32
GP:입도가 불량한 자갈	조밀	75	70	20.4	0.33	38
	중간조밀	50	50	19.2	0.39	35
	느슨	25	<20	18.3	0.47	32
SW:입도가 양호한 모래	조밀	75	65	18.9	0.43	37
	중간조밀	50	35	17.9	0.49	34
	느슨	25	<15	17.0	0.57	30
SP:입도가 불량한 모래	조밀	75	50	17.6	0.52	36
	중간조밀	50	30	16.7	0.60	33
	느슨	25	<10	15.9	0.65	29
SM:실트질 모래	조밀	75	45	16.5	0.62	35
	중간조밀	50	25	15.5	0.74	32
	느슨	25	<8	14.9	0.80	29
ML:무기질 실트, 매우 세립모래	조밀	75	35	14.9	0.80	33
	중간조밀	50	20	14.1	0.90	31
	느슨	25	<4	13.5	1.00	27

<표 6.4-16> 토공재료의 개략적인 토질정수 (도로설계요령, 2009)

종류	재료의 상태	단위중량 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	내부마찰각 $\phi$ (°)	점착력 c (kN/m <sup>2</sup> )	통일분류		
흙 쌓기	자갈및자갈 섞인 모래	다진 것	20.0	40	0	GW,GP	
	모래	다진 것	입도가 좋은것	20.0	35	0	SW,SP
			입도가 나쁜것	19.0	30	0	
	사질토	다진 것	19.0	25	30이하	SM,SC	
점성토	다진 것	18.0	15	50이하	ML, CL, MH, CH		
자연 지반	자갈	밀실한 것, 입도가 좋은것	20.0	40	0	GW,GP	
		밀실하지 않은 것, 입도가 나쁜것	18.0	35	0		
	자갈 섞인 모래	밀실한 것	21.0	40	0	GW,GP	
		밀실하지 않은것	19.0	35	0		
	모래	밀실한 것	20.0	35	0	SW,SP	
		밀실하지 않은것	18.0	30	0		
	사질토	밀실한 것	19.0	30	≤30	SM,SC	
		밀실하지 않은 것	17.0	25	0		
	점성토	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감)	18.0	25	≤50	ML,CL	
		약간 무른 것(손가락 중간 정도의 힘으로 들어감)	17.0	20	≤30		
무른 것(손가락으로 쉽게 들어감)		17.0	20	≤15			
점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 세게 눌러 조금 들어감)	17.0	20	50이하	CH, MH, ML		
	약간 무른 것(손가락 중간 정도의 힘으로 들어감)	16.0	15	30이하			
	무른 것(손가락으로 쉽게 들어감)	14.0	10	≤15			

〈표 6.4-17〉 흙의 간극율, 간극비 및 단위중량 (토질역학, 김상규)

흙의 종류	흙의 상태	함수비 (%)	간극비 (e)	단 위 중 량 (kN/m <sup>3</sup> )		
				건 조	전 체	포 화
모래질 자갈	느 슨	38~42	0.61~0.72	14.0~17.0	18.0~20.0	19.0~21.0
	츄 츄	18~25	0.22~0.33	19.0~21.0	20.0~23.0	21.0~24.0
거친 모래 중간 모래	느 슨	40~45	0.67~0.82	13.0~15.0	16.0~19.0	18.0~19.0
	츄 츄	25~32	0.33~0.47	17.0~18.0	18.0~21.0	20.0~21.0
균등한 가는 모래	느 슨	45~48	0.82~0.82	14.0~15.0	15.0~19.0	18.0~19.0
	츄 츄	33~36	0.49~0.56	17.0~18.0	18.0~21.0	20.0~21.0
거친 실트	느 슨	45~55	0.82~1.22	13.0~15.0	15.0~19.0	18.0~19.0
	츄 츄	35~40	0.54~0.67	16.0~17.0	17.0~21.0	20.0~21.0
실 트	연 약	45~50	0.82~1.00	13.0~15.0	16.0~20.0	18.0~20.0
	중 간	35~40	0.54~0.67	16.0~17.0	17.0~21.0	20.0~21.0
	견 고	30~35	0.43~0.49	18.0~19.0	18.0~19.0	18.0~22.0
소성이 작은 점토	연 약	50~55	1.00~1.22	13.0~14.0	15.0~18.0	18.0~20.0
	중 간	35~45	0.54~0.82	15.0~18.0	17.0~21.0	19.0~21.0
	견 고	30~35	0.43~0.54	18.0~19.0	18.0~22.0	21.0~22.0
소성이 큰 점토	연 약	60~70	1.50~2.30	9.0~15.0	12.0~18.0	14.0~18.0
	중 간	40~55	0.67~1.22	15.0~18.0	15.0~20.0	17.0~21.0
	견 고	30~40	0.43~0.67	18.0~20.0	17.0~22.0	19.0~23.0

〈표 6.4-18〉 N치를 이용한 내부마찰각 산정

구 분	내부마찰각 $\phi$ (°)	비 고
Dunham	$\phi = \sqrt{12N} + (15 \sim 25)$	- Dunham의 정수항 · 둥근입자로 일정한 입경의 것 : 15 · 둥근입자로 입도분포 양호 : 20 · 모난 입자로 일정한 입경의 것 : 20 · 모난 입자로 입도분포가 양호 : 25
Peck	$\phi = 0.3 \cdot N + 27$	
오자끼	$\phi = \sqrt{(20 \cdot N)} + 15$	
일본도로교 시방서	$\phi = \sqrt{(15N)} + 15 \leq 45^\circ$	

〈표 6.4-19〉 적용 지반정수

지층	N치	단위중량 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	점착력 c (kN/m <sup>2</sup> )	내부마찰각 $\varphi$ (Deg)	비 고
성토층	-	19.0	10.0	25	문헌값
매립층 (SM)	-	18.0	5.0	25	문헌값 및 기존 적용사례
퇴적층 (GM)	-	19.0	0.0	30	
풍화토 (SM)	-	19.0	15.0	30	
풍화암	-	20.0	30.0	33	
연암	-	23.0	50.0	35.0	

## (나) 기준 안전율

검토의 기준이 되는 최소안전율 기준은 대상 시설물에 따라, 시설물 관리 주체에 따라, 중요도에 따라, 국가마다 다소의 차이를 보이고 있다. 각종 최소안전율 적용기준은 다음과 같다.

〈표 6.4-20〉 최소안전율 적용기준

구 분		최소안전율	
한국도로공사	도로설계요령	축조기간중	$F_s \geq 1.1$
		공용하중 개시후	$F_s \geq 1.3$
	도로설계 실무편람	축조기간중	$F_s \geq 1.2$
		공용하중 개시후	$F_s \geq 1.3$
일본건설성	표준적인 안전율	$F_s \geq 1.1 \sim 1.3$	
건설교통부	구조물 기초 설계기준	$F_s \geq 1.3$	
일본도로 실무강좌 5	도로토공, 연약지반 대책공 지침	$F_s \geq 1.2 \sim 1.3$	
일본 토질공학회 (연약지반의 조사설계 시공법)	가설구조물, 건설중의 사면안정 등의 일시적인 안정에 적용	$F_s \geq 1.0 \sim 1.2$	
	일반적인 구조물인 경우	$F_s \geq 1.3$	
	중요 구조물인 경우	$F_s \geq 1.5$	

〈표 6.4-21〉 제체 상태에 따른 안전율

구 분		최소안전율	
하천설계기준·해설 (2009, 한국수자원학 회)	인장균열(crack) 불고려시	간극수압을 고려하지 않는 경우	$F_s \geq 2.0$
		간극수압을 고려하는 경우	$F_s \geq 1.4$
	인장균열(crack) 고려시	간극수압을 고려하지 않는 경우	$F_s \geq 1.8$
		간극수압을 고려하는 경우	$F_s \geq 1.3$

본 검토에서는 상기의 여러 기준들을 참고로 하여 최소안전율 기준을  $F_s = 1.4$ 으로 결정하여 사면의 안정여부를 판단하였다.

〈표 6.4-22〉 제체내 수위조건

해석 조건	적 용
제내지 해석시	홍수위시
제외지 해석시	수위 급강하후 평수위 회복시

**(다) 해석 Program**

본 보고서에서 비탈면안정 해석시 사용된 프로그램은 MIDAS사에서 제작한 "SoilWorks 4.6"으로 프로그램의 특징은 다음과 같다.

- 원호 형상의 파괴면, 활동 Block특성의 가상파괴면, 그리고 불규칙 형상의 임의 파괴면을 생성가능
- 복잡한 토층, 비등방성 토질특성, 전단으로 인한 과잉간극수압, 지하수위 및 지표수, 가상의 정적 지진하중 및 재하하중, 앵커, Soil Nailing 보강효과 등을 고려한 해석 가능
- 일반적인 한계상태해석(Ultimate State Limit)이 가능하며 설계자의 실질적인 경험을 고려할 수 있음
- 지반조건에 따른 여러 이론들(Janbu, Simplified Bishop, Ordinary, Spencer 등)에 의한 안전율이 산출이 가능(본 과업은 Bishop의 간편법에 의한 안전율을 산출하였음)

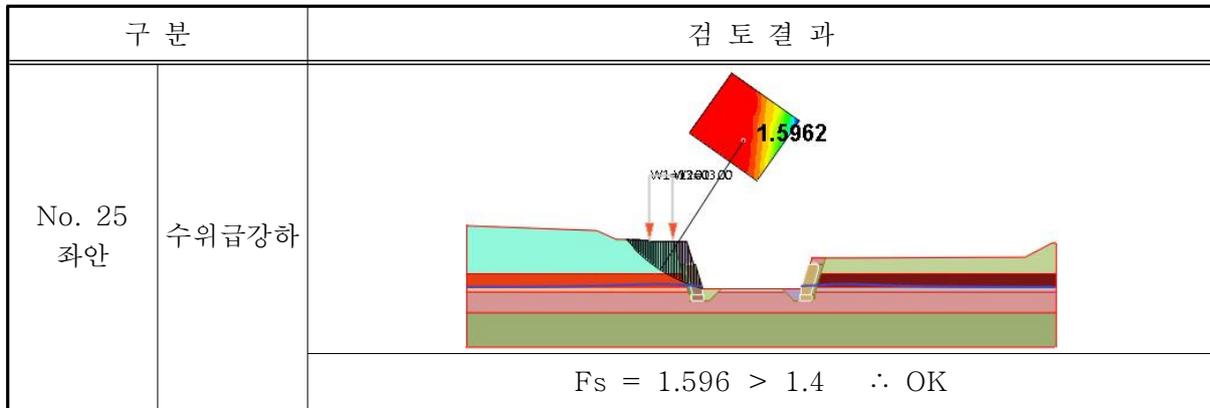
**(라) 비탈면 해석 결과**

구간별 대표단면에 대하여 비탈면 안정검토를 수행하였다. No. 30의 우안구간은 기존 식생블럭 보존구간으로 본 과업 대상에서 제외되었으며, No. 25의 좌·우안과 No. 27의 우안은 굴입하도 형상 구간으로 홍수위시 안정검토를 생략하였다. 전 구간의 안전율이 기준안전율 상회하여 안정한 것으로 검토되었으며, 검토결과는 다음과 같다.

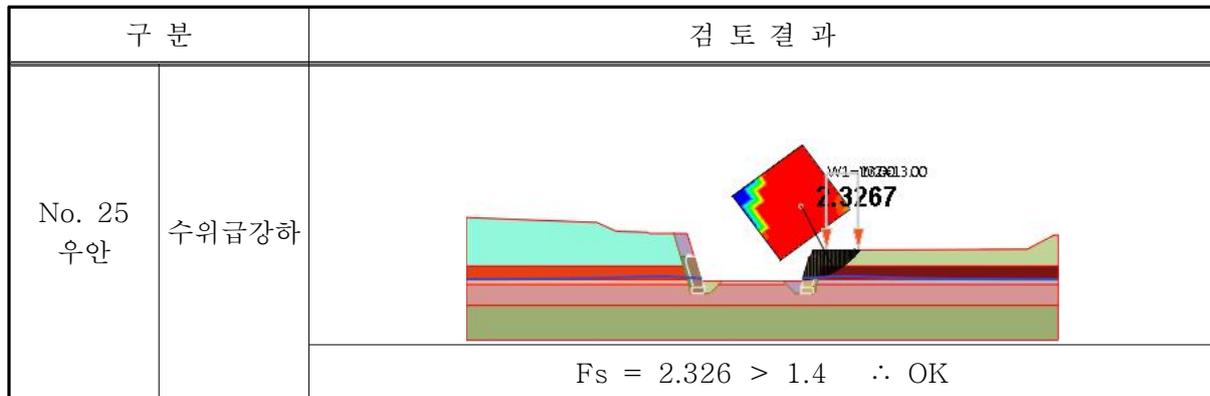
구 분		홍수위	수위급강하	허용안전율	판 정
No. 25	좌안	-	1.596	1.4	O.K
	우안	-	2.326	1.4	O.K
No. 27	좌안	2.542	1.878	1.4	O.K
	우안	-	1.617	1.4	O.K
No. 30	좌안	2.526	1.964	1.4	O.K

① No. 25

㉠ 좌안

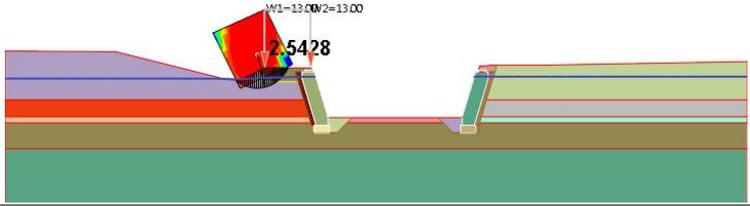
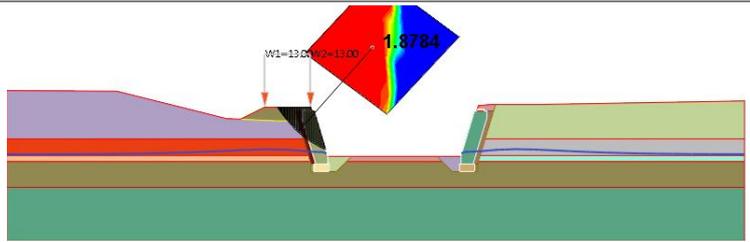


㉡ 우안

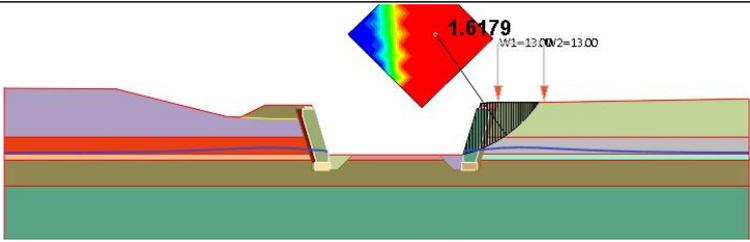


② No. 27

㉠ 좌안

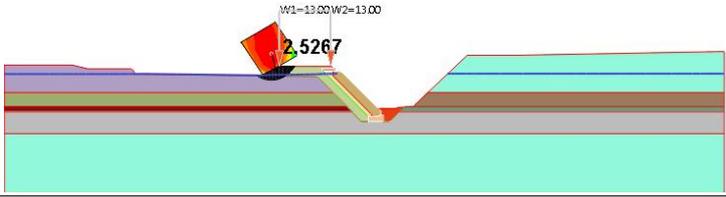
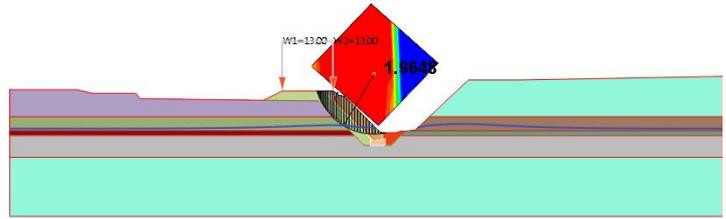
구 분		검 토 결 과
No. 27 좌안	홍수위	 <p style="text-align: center;"><math>F_s = 2.542 &gt; 1.4 \quad \therefore \text{OK}</math></p>
	수위급강하	 <p style="text-align: center;"><math>F_s = 1.878 &gt; 1.4 \quad \therefore \text{OK}</math></p>

㉡ 우안

구 분		검 토 결 과
No. 27 우안	수위급강하	 <p style="text-align: center;"><math>F_s = 1.617 &gt; 1.4 \quad \therefore \text{OK}</math></p>

③ No. 30

㉠ 좌안

구 분		검 토 결 과
No. 30 좌안	홍수위	 <p style="text-align: center;"><math>F_s = 2.526 &gt; 1.4 \quad \therefore \text{OK}</math></p>
	수위급강하	 <p style="text-align: center;"><math>F_s = 1.964 &gt; 1.4 \quad \therefore \text{OK}</math></p>

### 6.4.2 구조물 기초 안정성 검토

#### 가. 기초형식 선정

##### (1) 개요

기초는 상부구조물로부터 전달되는 하중을 안정하게 지지하는 구조체로서, 상부구조물의 규모, 형상, 형식, 강성 등을 고려하여 지반조건에 적합하고 확실히 시공될 수 있는 것이어야 한다. 기초의 형식은 아래의 사항을 고려하여 선정하였다.

- 지지층 심도 및 지지층의 특성
- 지지해야 할 상부하중의 종류 및 크기
- 수심, 작업공간 등의 시공조건
- 진동, 소음 및 인접구조물의 영향 및 환경조건

##### (2) 기초형식 분류

기초형식은 크게 얕은기초(직접기초)와 깊은기초로 구분되며 기초형식에 따른 하중 지지개념 및 적용기준은 다음과 같다.

〈표 6.4-23〉 기초형식의 분류

구분	직접기초	깊은기초	
		말뚝기초	우물통기초
하중 지지개념			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연직력                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지면 반력</li> </ul> </li> <li>• 수평력                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기초저면 전단저항 (마찰저항)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연직력                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 선단저항, 주면마찰저항</li> </ul> </li> <li>• 수평력                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 말뚝의 휨강성, 주변지반 수동 저항</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연직력                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지면 반력</li> </ul> </li> <li>• 수평력                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 측면반력 및 전단저항 (마찰저항)</li> </ul> </li> </ul>
공법종류	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 독립기초/복합기초</li> <li>• 줄기초/전면기초</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항타말뚝/매입말뚝</li> <li>• 현장타설말뚝</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오픈케이슨/뉴메틱케이슨</li> <li>• 특수케이슨</li> </ul>

(3) 기초형식 선정 흐름도

기초의 형식은 일반적으로 직접기초 및 말뚝기초 형식을 적용할 수 있으며, 토질조사 결과에 따라 다음과 같은 흐름도에 의거하여 결정하였다.

<표 6.4-24> 기초형식 선정 흐름도



<표 6.4-25> 기초형식 선정기준

기초형식	직접기초	말뚝기초
단 면 도		
장·단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지지층 확인가능</li> <li>• 양호한 품질 유지</li> <li>• 공사비 저렴</li> <li>• 넓은 부지 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 취급과 시공이 용이</li> <li>• 공사비 다소고가</li> <li>• 공장제품으로 품질 관리 용이</li> <li>• 이음이 용이하여 길이조절 가능</li> </ul>
적용지반	• 직접기초 적용시 지내력 확보가 가능한 지반	• 직접기초 적용시 지내력 확보가 불가능한 지반

#### (4) 기초지반의 지층분포 및 기초형식 선정결과

본 과업구간의 구조물 기초형식은 지반조건, 구조물 규모, 구조물 하중 등을 고려하여 선정하였으며, 검토결과는 다음과 같다.

〈표 6.4-26〉 기초형식 선정결과

구분	기초지반 지층분포	구조물 규모(m) B × L	구조물 하중 (접지압, kN/m <sup>2</sup> )	기 초 형 식	시추공
왜골제1교 (BOX교)	<ul style="list-style-type: none"> <li>기초하부 지층 : 풍화토, 풍화암, 연암층 순으로 분포</li> <li>풍화암층까지 잡석 치환</li> </ul>	7.5×11.4	66.151	직접 기초 (치환)	BH-1
왜골제2교 (BOX교)	<ul style="list-style-type: none"> <li>기초하부 지층 : 퇴적층, 풍화암, 연암층 순으로 분포</li> <li>풍화암층까지 잡석 치환</li> </ul>	11.0×12.5	64.639	직접 기초 (치환)	BH-3
왜골제4교 (BOX교)	<ul style="list-style-type: none"> <li>기초하부 지층 : 연암층 분포</li> </ul>	9.5×14.7	73.240	직접 기초	BH-2

※ 지지층 : 풍화암 이상

#### 나. 구조물기초 설계기준

##### (1) 허용침하량

구조물기초의 허용값은 구조상의 안정성과 사용상 기능유지로부터 결정된다. 구조상 안정성은 직접기초의 경우에는 건물의 침하, 경사로부터 판단되는 것이 많고 허용치로서는 과거의 균열상황과 침하 및 경사량의 조사결과를 참고로 하여 중요도를 고려하여 결정하는 방법도 있다.

구조물의 침하, 경사(또는 각 변위)등에 관한 허용값은 많은 지반공학자에 의하여 제안되었으며, 대표적인 자료를 제시하면 다음 표와 같다.

〈표 6.4-27〉 여러 가지 구조물의 최대허용 침하량(Sowers, 1962)

침 하 상 태	구조물의 종류	최대 허용침하량
전 체 침 하	• 배수시설	15.0 ~ 30.0 cm
	• 출입구	30.0 ~ 60.0 cm
	• 부등침하의 가능성 석적 및 조적 구조	2.5 ~ 5.0 cm
	• 뼈대구조	5.0 ~ 10.0 cm
	• 굴뚝, 사이로, 매트	7.5 ~ 30.0 cm
부 등 침 하	• 빌딩의 조적벽체	0.005 ~ 0.002 S
	• 철근 콘크리트 뼈대구조	0.003 S
	• 강 뼈대구조 (연속)	0.002 S
	• 강 뼈대구조 (단순)	0.005 S

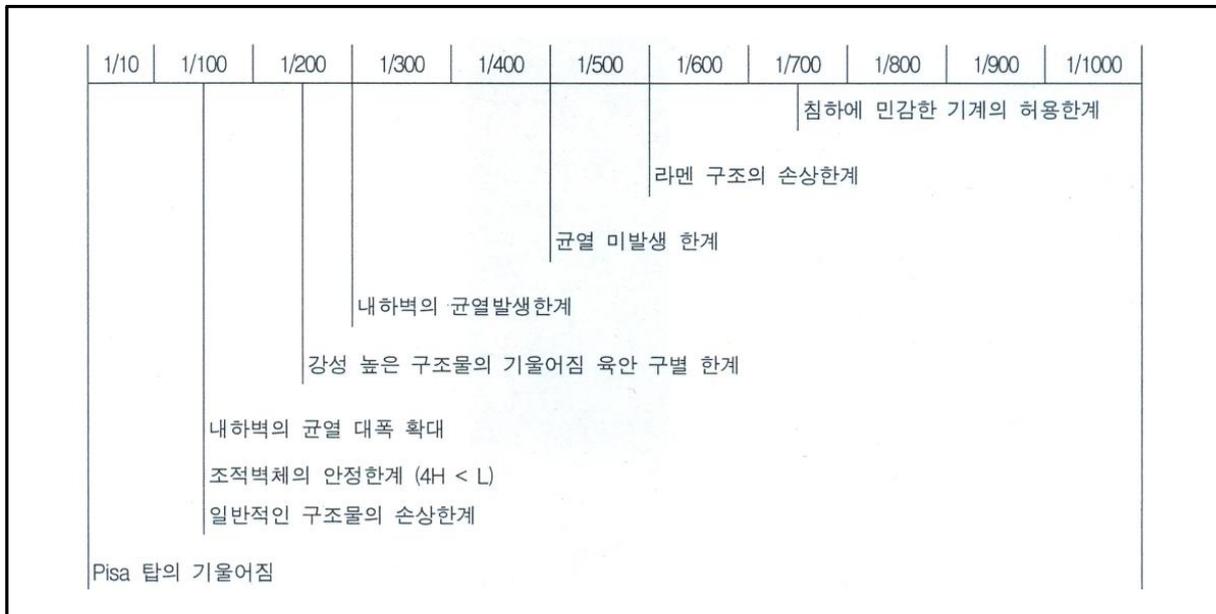
※ S : 기둥 사이의 간격 또는 임의 두점 사이의 거리

〈표 6.4-28〉 구조물의 손상한계(Skempton, 1955)

기 준		단 독 기 초	확 대 기 초
각 변 위 ( $\delta/\ell$ )		1/300(L:임의의 기둥간격, $\delta$ :부등침하량)	
전 도	점 토	44mm(38mm)	
	모 래	32mm(25mm)	
부 등 침 하	점 토	76mm(64mm)	76~127mm(64mm)
	모 래	51mm	51~76mm(38~64mm)

※ ( )내의 값은 추천되는 최대값임

〈표 6.4-29〉 여러 가지 구조물에 대한 각변위의 한계(After Bjerrum, 1963)



(2) 허용침하량 선정

본 과업구간 구조물은 교량 구조물로서 구조물의 침하는 유지기능상 큰 문제가 될 수 있으므로 다음과 같이 허용침하량 기준치는 일반 허용기준치보다 엄격한 기준을 적용하였다.

〈표 6.4-30〉 침하량 검토기준

기 준	허용침하량(mm)	허용부등침하량(mm)	비 고
Skempton(1955)	38.0	25.0	• 허용침하량: 전체침하량 • 허용부등침하각( $\theta$ ) : 1/300 (콘크리트구조물)
Sower(1962)	25.0~50.0	0.003S(S:지간거리)	
적 용	25.0mm	25.0mm 또는 부등침하각( $\theta=1/300$ 이하) 판정	

**다. 직접기초의 안정성 검토**

**(1) 검토개요**

직접기초는 지표면 가까운 곳에 적당한 지지층이 존재하고 그 아래 압축성이 큰 토층이 존재하지 않아서 침하량이 허용치를 초과할 가능성이 없을 때 사용한다. 지지층 아래에 압축성이 큰 토층이 있다면 심도가 깊을 경우 말뚝기초를 선택하여야 하나 얕은 경우 압축성토사를 치환하거나 지반개량을 한 후 직접기초를 설치하면 된다.

직접기초를 선택할 경우 다음과 같은 사항이 검토되어야 한다.

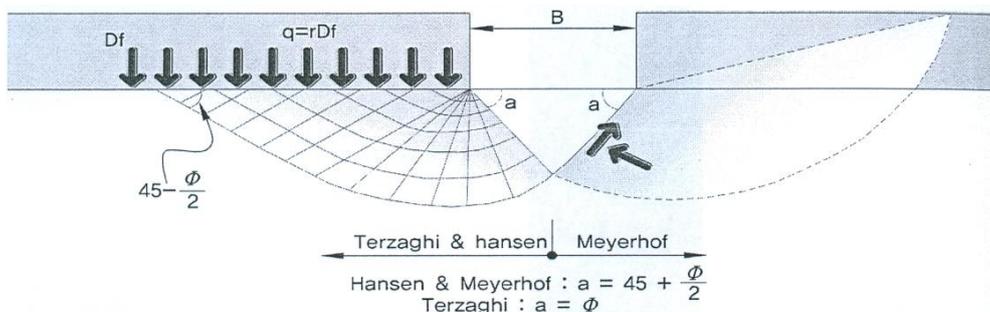
- 기초지반이 전단파괴에 대하여 안전해야 한다.
- 과도한 침하나 부등침하가 일어나지 않아야 한다.
- 부력, 동상, 인접구조물, 세굴 등을 고려하여야 한다.

**(2) 검토방법**

토사지반에 설치될 직접기초에 대한 기초의 지지력 및 침하량 산정방법은 표와 같다.

**<표 6.4-31> 지지력 및 침하량 산정방법**

기 준	해석방법	제안공식	
지지력	토사	Terzaghi의 제안식	$Q_u = \alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q$
		수정 Meyerhof의 제안식	$Q_{ult} = cN_c S_c d_c + \frac{1}{2} \gamma_1 B N_r S_r d_r + q' N_q S_q d_q$
	암반	Bell의 제안식	$Q_u = C_{f1} c N_c + q N_q + 0.5 C_{f2} \gamma B N_r$
		일축압축강도에 의한 방법	$Q_a = K_{sp} \times q_{u-core}$
		경험적 지지력	확대기초의 지지력 경험치 (U.S.Dept. of the Navy, 1982)
침하량	토사	Schmertmann & Hartman	$S_i = C_1 \cdot C_2 \cdot (q' - q) \sum I_z / E \cdot \Delta z$
	암반	탄성이론(Hooke의 법칙)에 의한 방법	$S_i = q \cdot B \cdot ((1 - \nu^2) / E) \cdot I_z$



**<그림 6.4-4> 지지력 산정 Mechanism**

(가) 지지력 산정방법

① Terzaghi의 방법(토사)

$$q_a = \frac{1}{F_S} (\alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q)$$

여기서,  $q_a$  : 허용지지력 (tf/m<sup>2</sup>)

$F_S$  : 안전율(정상시 3, 지진시 2)

$c$  : 기초저면하의 흙의 점착력 (tf/m<sup>2</sup>)

$\gamma_1$  : 기초저면하의 흙의 단위체적중량 (tf/m<sup>3</sup>)

(지하수위 이하의 경우는 수중 단위체적중량)

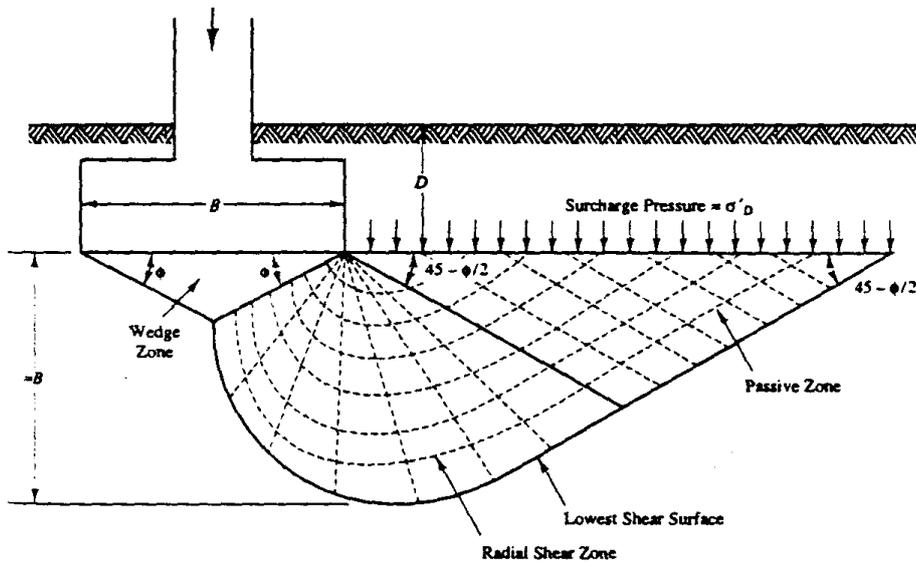
$\gamma_2$  : 근입깊이 흙의 단위체적중량 (tf/m<sup>3</sup>)

$\alpha, \beta$  : 기초의 형상계수

$N_c, N_r, N_q$  : 지지력계수 (국부전단파괴시  $N'_c, N'_r, N'_q$  적용)

$D_f$  : 기초의 근입심도 (m)

$B$  : 기초저면의 최소폭 (원형 기초의 경우는 직경) (m)



<그림 6.4-5> 강성기초하에서 지반의 파괴(Terzaghi,1943)

<표 6.4-32> Terzaghi 공식에 대한 지지력 계수

지지력계수 \ $\phi$	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$N_c$ ( $N'_c$ )	5.7 (5.7)	7.3 (6.7)	9.6 (8.0)	12.9 (9.7)	17.7 (11.8)	25.1 (14.8)	37.2 (19.0)	57.8 (25.2)	95.7 (34.9)
$N_q$ ( $N'_q$ )	1.0 (1.0)	1.6 (1.4)	2.7 (1.9)	4.4 (2.7)	7.4 (3.9)	12.7 (5.6)	22.5 (8.3)	41.4 (12.6)	81.3 (20.5)
$N_r$ ( $N'_r$ )	0.0 (0.0)	0.5 (0.2)	1.2 (0.5)	2.5 (0.9)	5.0 (1.7)	9.7 (3.2)	19.7 (5.7)	42.4 (10.1)	100.4 (18.8)

※  $N'_c, N'_q, N'_r$  : 국부전단파괴시 지지력계수

〈표 6.4-33〉 기초의 형상계수

기초하중면의 형상	연속	정방형	장방형	원형
$\alpha$	1.0	1.3	$1 + 0.3 \frac{B}{L}$	1.3
$\beta$	0.5	0.4	$0.5 - 0.1 \frac{B}{L}$	0.3

② Meyerhof의 방법(토사)

$$Q_{ult} = cN_c S_c d_{i_c} + \frac{1}{2} \gamma_1 B N_r S_r d_{i_r} + q' N_q S_q d_{i_q}$$

여기서,  $N_c, N_r, N_q$  : 지지력계수  
 $S_c, S_q, S_r$  : 형상계수  
 $d_c, d_q, d_r$  : 깊이계수

③ Bell의 제안식(암반)

$$Q_a = \frac{1}{F_s} (C_{f1} c N_c + q N_q + 0.5 C_{f2} \gamma B N_r)$$

여기서,  $q_a$  : 허용지지력 ( $kN/m^2$ )  
 $F_s$  : 안전율  
 $c$  : 기초저면하의 지반의 점착력 ( $kN/m^2$ )  
 $\gamma$  : 기초저면하의 지반의 단위체적중량 ( $kN/m^3$ )  
 (지하수위 이하의 경우는 수중단위체적중량)  
 $N_c, N_r, N_q$  : 지지력계수  
 $B$  : 기초저면의 최소폭 (m)  
 $C_{f1}, C_{f2}$  : 기초형상에 따른 수정계수

〈표 6.4-34〉 기초의 형상계수

기초형상		$C_{f1}$	$C_{f2}$
연속기초 ( $L/B > 6$ )		1.00	1.00
직사각형	$L/B = 2$	1.12	0.90
	$L/B = 5$	1.05	0.95
정방형기초		1.25	0.85
원형기초		1.20	0.70

$$N_\phi = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \text{ 일 때 } N_c = 2 N_\phi^{1/2} (N_\phi + 1)$$

$$N_r = 0.5 N_\phi^{1/2} (N_\phi^2 - 1), N_q = N_\phi^2$$

④ 일축압축강도 시험결과에 의한 방법(C.F.E.M 1992)

$$q_a = K_{sp} \times q_{u-core}$$

여기서,  $q_a$  : 허용지지력 (kN/m<sup>2</sup>)

$K_{sp}$  : 안전율 3을 포함한 경험적 계수

$q_{u-core}$  : 코어의 평균 일축압축강도

<표 6.4-35> 불연속면 간격에 따른 Ksp

불연속면 간격	Ksp	간격(m)	적 용
비교적 좁음	0.1	0.3 ~ 1	●
넓 음	0.25	1 ~ 3	
비교적 넓은	0.4	> 3	

③ 경험적 지지력 (구조물기초설계기준해설, 2009)

<표 6.4-36> 확대기초의 지지력 경험치(u.s Dept, of the Navy,1982)

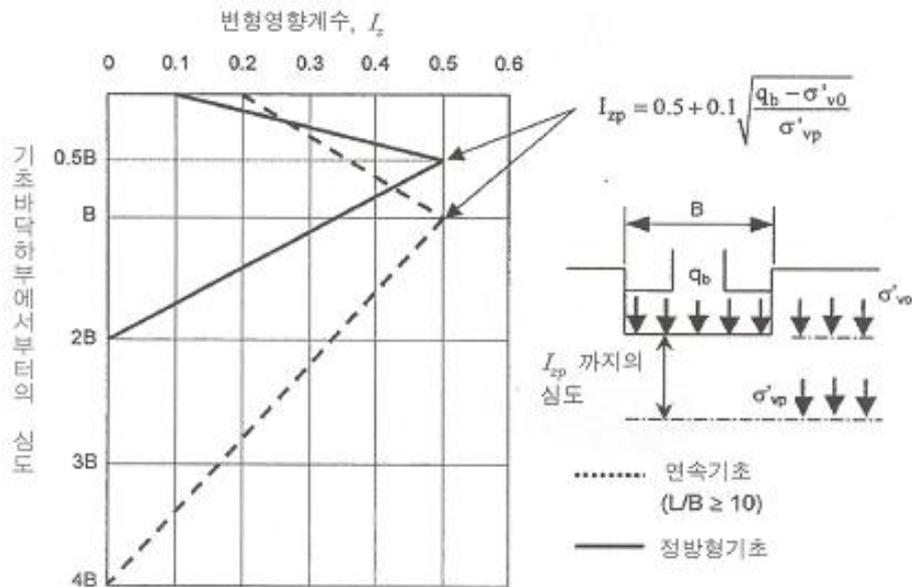
지지층	현장 연경도상태	허용지지력 (kN/m <sup>2</sup> )	
		범위	추천값
괴상의 결정질 화강암, 변성암 : 화강암, 섬록암, 현무암, 완전히 고결된 역암	경질의 신선한 암	6,000~10,000	8,000
엽리성의 변성암 : 슬레이트, 편암	중간 경질의 신선한 암	3,000~4,000	3,500
퇴적암 : 시멘트화된 경질의 셰일, 실트암, 사암, 동공이 없는 석회암	중간 경질의 신선한 암	1,500~2,500	2,000
풍화되거나 파쇄된 모암, 이질암 (셰일)이외의 모든 암, RQD<25	연 암	800~1,200	1,000
컴팩션 셰일(compaction shale)이나 신선한 이질암	연 암	800~1,200	1,000
입도분포가 양호한 세립토 모래자갈의 혼합물: 빙하 퇴적물, 하드판(hardpan), 점성토 섞인 자갈(GW-GC, GC, SC)	매우 조밀함	800~1,200	1,000
자갈, 자갈-모래 혼합물, 호박돌-자갈 혼합물(GW, GP, SW, SP)	매우 조밀함	600~1,000	700
	중간정도 조밀	400~700	500
	느슨함	200~600	300
입자가 굵거나 중간정도의 모래, 자갈이 약간 섞인 모래(SW, SP)	매우 조밀함	400~600	400
	중간정도 조밀	200~400	300
	느슨함	100~300	150
가는모래, 실트질이나 점토질 중간정도 입도나 굵은 모래(SW, SM, SC)	매우 조밀함	300~500	300
	중간정도 조밀	200~400	250
	느슨함	100~300	150
균질한 점토, 모래질이나 실트질 점토	굳음	300~600	400
	중간정도 굳음	100~300	200
	느슨함	50~100	50
균실트, 모래질 실트, 점토질 실트, 교호된(varved) 실트-점토-세사층	매우 굳음	200~400	300
	중간정도 굳음	100~300	150
	연함	50~100	50

(나) 침하량산정 방법

① Schmertmann & Hartman 방법(사질토)

Schmertman, Hartman(1978)은 사질토지반의 탄성침하를 위해 변형영향계수(Strain Influence Factor)를 제안하였다. 이것은 지반내의 연직응력 분포형태와 유사하게 변형분포를 경험적으로 근사화시킨 것이다.

다음은 연속기초(L/B ≥ 10)와 정방향(원형)기초에 대한 변형영향계수이다.  
 1 < L/B < 10 인 경우에는 보간법을 사용한다.



<그림 6.4-6> 변형영향계수

$$S_i = C_1 \cdot C_2 \cdot (q' - q) \sum \frac{I_z}{E} \cdot \Delta z$$

여기서,  $I_z$  : 변형영향계수

$C_1$  : 기초의 근입깊이에 대한 보정계수

$C_1$ :  $1 - 0.5[q/(q - q)]$  단,  $C_1 > 0.5$

$C_2$  : 모래의 크립(Creep)에 대한 보정계수

$C_2$ :  $1 + 0.2 \log[10 \times \text{시간(년)}]$

$q'$  : 기초저면의 접지압(tf/m<sup>2</sup>)

$q$  : 기초 근입깊이에서의 유효응력,  $\gamma' \times D_f$

$\Delta z$  : 각 토층의 두께

$E$  : 탄성계수

② 탄성이론 방법

$$S_i = qB \frac{1-\nu^2}{E_s} I_s$$

여기서,  $q$  : 기초저면에서의 하중강도(kN/m<sup>2</sup>)       $B$  : 기초폭  
 $\nu$  : 지반의 포아송비       $E_s$  : 지반의 탄성계수       $I_s$  : 침하영향계수

<표 6.4-37> 기초의 형상계수

구 분	강성기초	연성기초				비 고	
		중심점	외변중심	모서리점	평균		
원형기초	0.785	1	0.637	-	0.848	연 성 기 초 의 중심점의 영 향치는 모서 점의 영향치 의 2배임	
정방형 기초	0.88	1.12	0.76	0.56	0.95		
구 형 기 초	L/B=2	1.12	1.53	1.12	0.76		1.3
	L/B=5	1.6	2.1	1.68	1.05		1.82
	L/B=10	2.0	2.56	2.1	1.28	2.24	

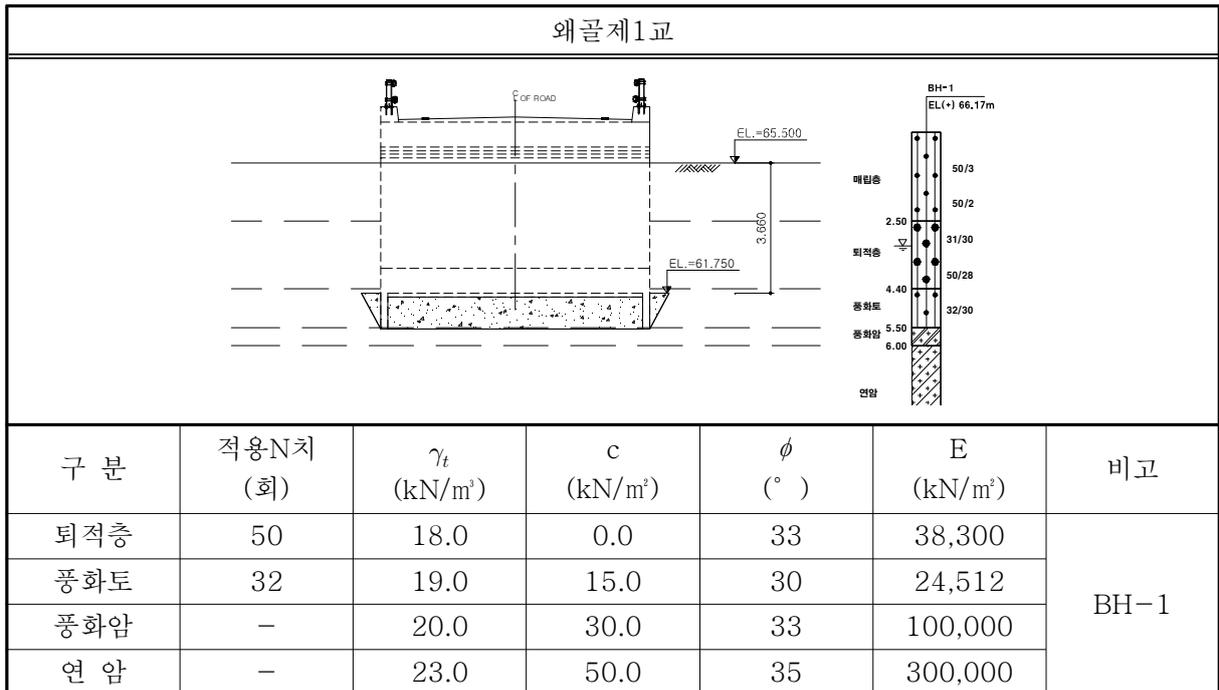
(3) 직접기초 안정검토

(가) 검토조건

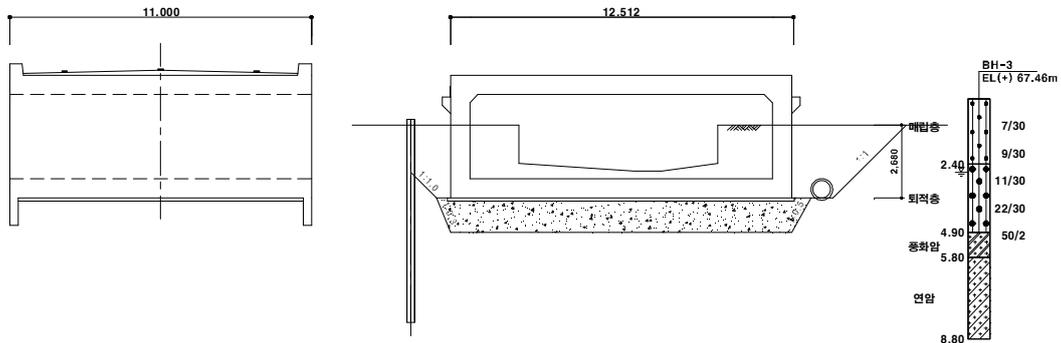
<표 6.4-38> 기초의 형상 및 설계하중

구 분	기초폭 B (m)	기초길이 L (m)	근입깊이 Df (m)	설계하중 $\bar{q}$ (kN/m <sup>2</sup> )	비 고
왜골제1교	7.50	11.40	3.50	66.15	
왜골제2교	11.00	12.51	2.68	64.64	
왜골제4교	9.50	14.70	3.13	73.24	

<표 6.4-39> 검토단면 및 지반정수

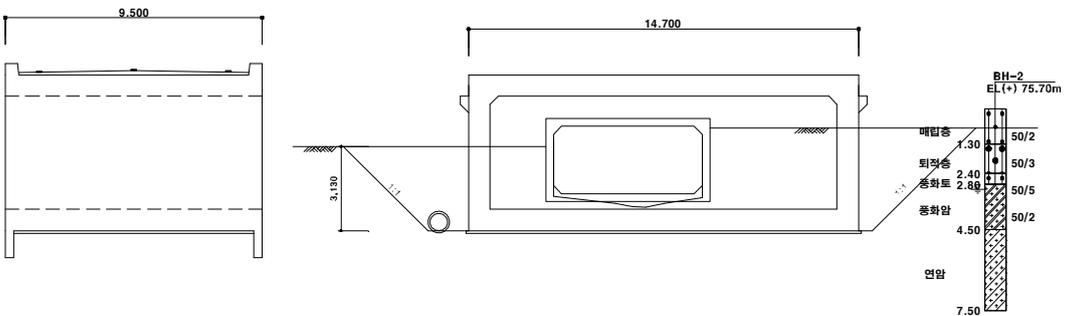


왜골제2교



구 분	적용N치 (회)	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	E (kN/m <sup>2</sup> )	비고
퇴적층	22	18.0	0.0	29	22,214	BH-3
풍화암	50	20.0	30.0	33	100,000	
연 암	-	23.0	50.0	35	300,000	

왜골제4교



구 분	적용N치 (회)	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	E (kN/m <sup>2</sup> )	비고
연 암	-	23.0	50.0	35	300,000	BH-2

※ 적용 N치 : 적용시주공 해당지층의 평균값 적용

※ 강도정수 및 탄성계수(c,  $\phi$ , E)

- 강도정수 : Dunham식( $\phi = \sqrt{12N} + 15$ ) 및 일반적인 지반정수를 참조하여 안전측 적용

- 탄성계수 : 산정식( $E = 766N$ (kN/m<sup>2</sup>))으로 산정

**(나) 지지력 검토결과**

본 검토에서는 지반조사자료, 참고문헌 등을 토대로 선정된 설계정수를 이용하여 교량기초 안정성 검토를 수행하였으며, 교량기초 지반이 토사인 경우 Terzaghi방법, 수정Meyerhof방법을 암반이 기초지반인 경우 Bell, 일축압축강도, 확대기초의 지지력 경험치를 이용하여 산정하였다. 검토결과는 다음과 같다.

**<표 6.4-40> 직접기초의 지지력 검토결과**

구 분	허용지지력 (kN/m <sup>2</sup> )			설계하중 (kN/m <sup>2</sup> )	판 정	
	Terzaghi방법	Meyerhof방법	적용			
왜골제1교	890.20	941.30	890.20	83.59	O.K	
왜골제2교	597.55	558.98	558.98	88.58	O.K	
구 분	허용지지력 (kN/m <sup>2</sup> )				설계하중 (kN/m <sup>2</sup> )	판 정
	Bell 제안식	일축압축강도	경험치	적용		
왜골제4교	820.01	2,450.00	1,000.00	820.01	73.24	O.K

※ 일축압축강도는 암중에 따른 대표적인 일축압축강도 범위(구조물기초설계기준, 2014), 편마암 적용

※ 왜골제1,2교(기초부 잡석치환 구조물) 설계하중 = 구조물 하중 + 잡석하중

**(다) 침하량 검토결과**

본 검토는 교량의 기초지반이 토사인 경우 Schmertmann방법을 암반인 경우 탄성이론방법, Schmertmann방법으로 침하량을 산정하였으며, 검토결과는 다음 표와 같다.

**<표 6.4-41> 직접기초의 침하량 검토결과**

구 분	침하량 (mm)			각변위		판 정
	Schmertmann 방법	탄성이론 방법	허용치	산정치	허용치	
왜골제1교	0.24	-	25.00	$\frac{1}{15,866}$	$\frac{1}{300}$	O.K
왜골제2교	0.64	-	25.00	$\frac{1}{9,773}$	$\frac{1}{300}$	O.K
왜골제4교	0.32	0.93	25.00	$\frac{1}{7,887}$	$\frac{1}{300}$	O.K

※ 각변위 =  $1/(l/\Delta s)$  여기서,  $l$  : 기초 길이의 1/2,  $\Delta s$  : 침하량

### 6.4.3 구조물 기초 터파기 공법 검토

#### 가. 검토개요

구조물기초 설치를 위한 터파기공사는 터파기 규모와 깊이, 작업부지, 굴착대상 지반의 역학적 특성은 물론 주변지반의 환경영향, 지하수위, 굴착에 따른 기존구조물(인접구조물, 지하매설물)에 미치는 영향의 유무 등이 중요한 요소로 작용한다. 따라서, 굴착공법을 선정할 때에는 상기의 각종 영향요소를 감안하고 공사기간, 공사비 및 실제현장의 시공여건 등을 고려하여 합리적이고 경제적인 터파기공법의 선정이 이루어져야 한다.

#### 나. 터파기공법의 선정

##### (1) 터파기공법 비교

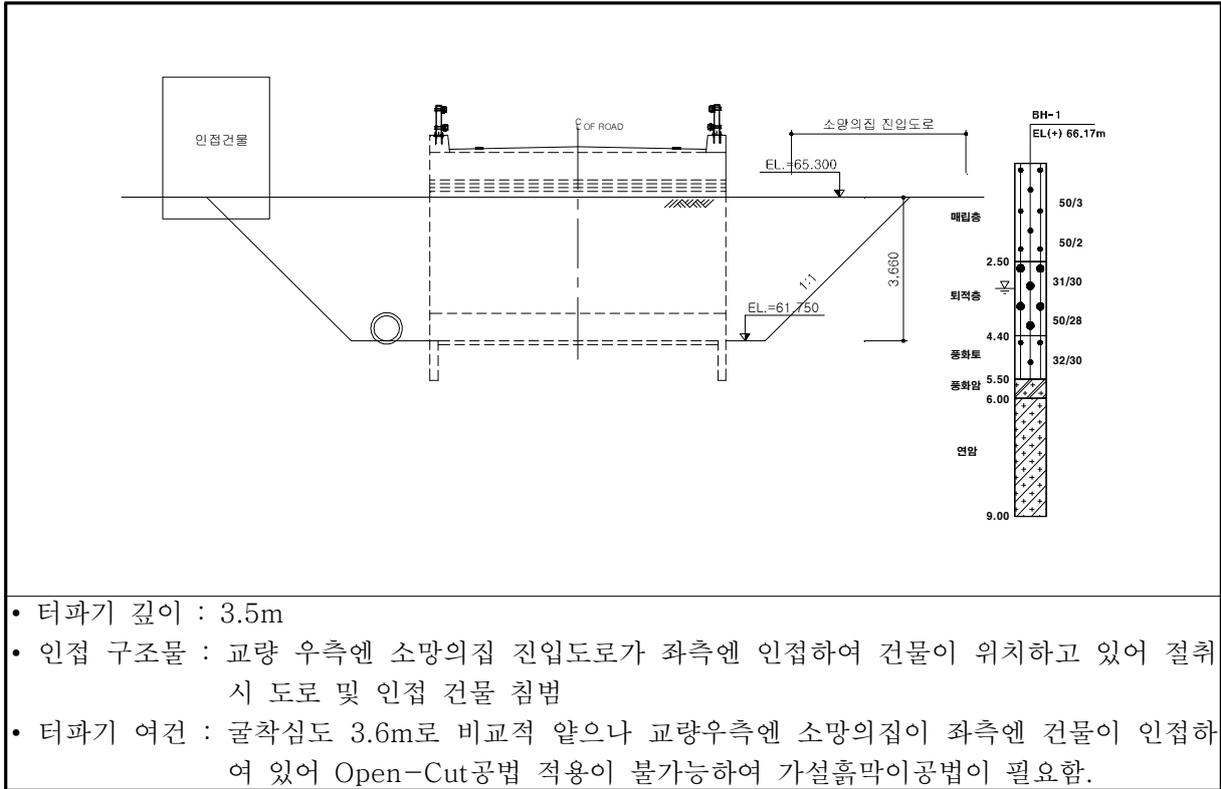
일반적으로 구조물기초 터파기공법은 크게 굴착비탈면을 이용한 전단면 터파기공법(Open-Cut)과 흙막이벽체를 이용한 가설흙막이 공법으로 구분된다. 전단면 터파기공법(Open-Cut)과 가설흙막이공법의 특징을 비교하면 다음의 표와 같다.

〈표 6.4-42〉 터파기공법별 특징비교

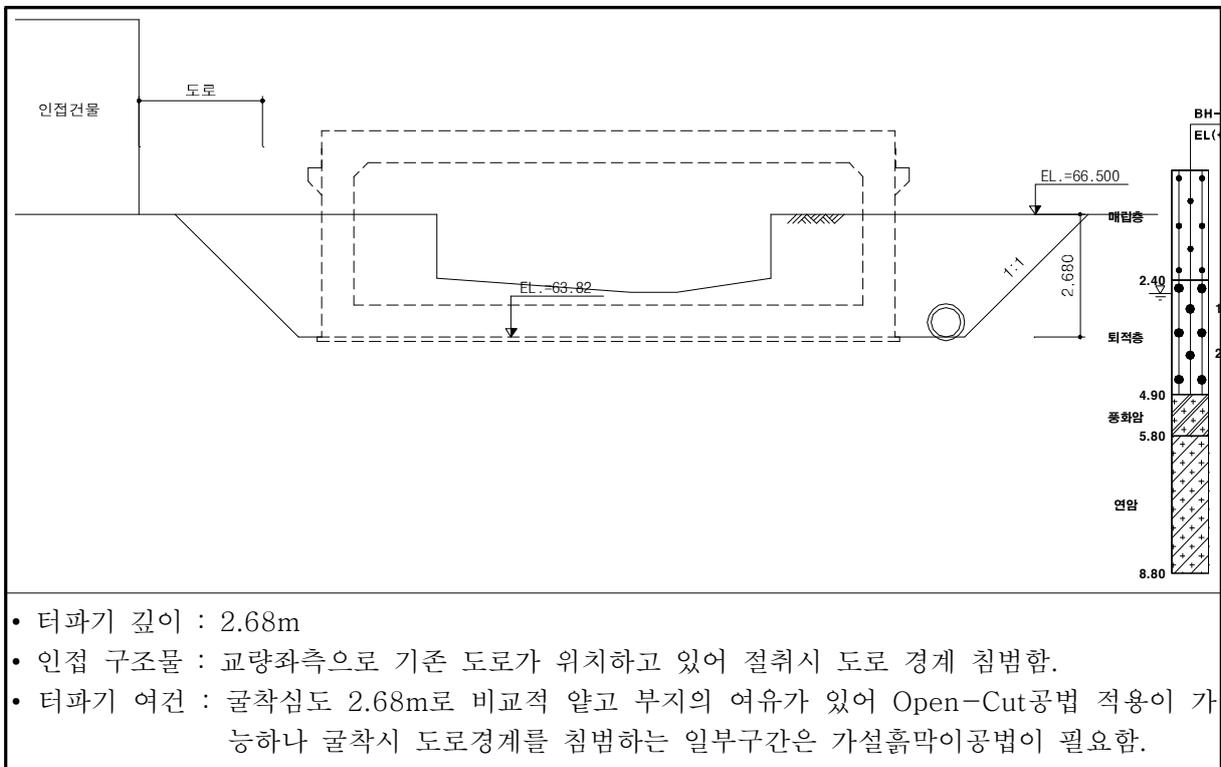
구 분	전단면 터파기공법(Open-Cut)	가설흙막이공법
장 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>•토류 지보공이 필요없으므로 경제적이며, 기계시공이 가능하므로 공기가 단축 된다.</li> <li>•대규모 굴착에 유리함.</li> <li>•공사비가 저렴하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•굴착부지의 전면적을 사용할 수 있다</li> <li>•연약지반에서도 시공이 가능하다</li> <li>•굴착폭과 면적을 최소화할 수 있다.</li> </ul>
단 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>•굴착부의 비탈면경사로 넓은 부지가 필요하다.</li> <li>•연약지반일 경우 과도한 비탈면경사로 깊은 굴착에 부적합하다.</li> <li>•굴착깊이가 깊을수록 토공이 많아져 공사비가 증대된다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•굴착비탈면 터파기공법에 비하여 공사비가 고가이다</li> <li>•굴착 및 본 구조물 시공시 지보공에 의한 공간의 제약을 많이 받는다.</li> </ul>
비 고	<ul style="list-style-type: none"> <li>•지하수가 높은 지반에서는 지하수위저하공법이 필요하다.</li> <li>•시공시 활용가능 부지가 넓고 터파기심도가 얕은 굴착에 가장 적합한 공법이다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•터파기규모 및 지반의 상태에 따라 적절한 공법을 적용할 경우 적용성이 양호한 공법이다.</li> </ul>

(2) 구조물계획 현황

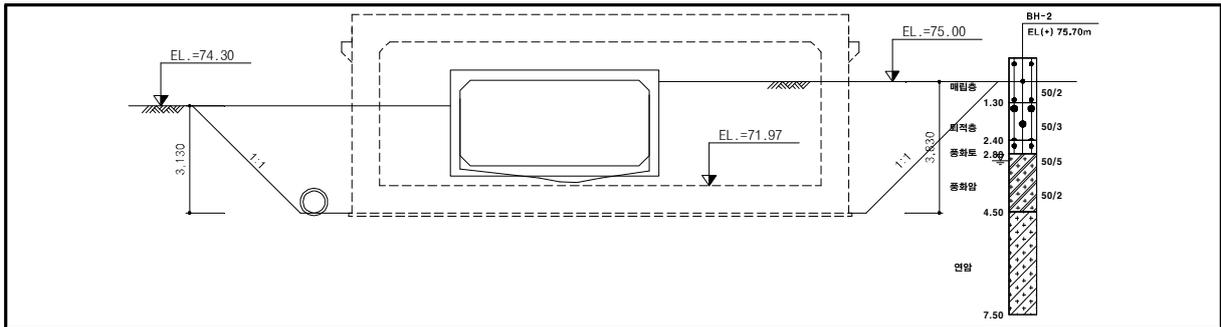
(가) 왜골제1교



(나) 왜골제2교



(다) 왜골제4교



- 터파기 깊이 : 3.83m
- 인접 구조물 : -
- 터파기 여건 : 굴착심도 3.83m로 비교적 얇아 Open-Cut공법 적용이 가능함.

(3) 터파기공법 선정결과

터파기공법 선정은 과업구간 구조물 및 주변 현황을 파악하고 지층조건, 굴착깊이, 경제성, 현장의 시공성 등을 고려하여 합리적인 터파기공법을 선정하였다.

<표 6.4-43> 굴착공법 선정

구분	OPEN CUT 공법	가설흙막이 공법	
		H-Pile+토류판 공법	Sheet Pile
공법개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>•굴착 구역의 주변에 경사면을 취하여 흙막이 벽이나 가설구조물 없이 굴착하는 공법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•천공하여 H-pile을 타입하고 단계별 굴착에 따라 토류판을 설치하는 공법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Sheet Pile(강널말뚝)공법은 강널말뚝을 설치하여 지수벽과 토류벽의 동시역할을 하는 공법이다.</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>•토류 지보공이 필요 없으므로 경제적이며, 기계시공이 가능하므로 공기가 단축됨</li> <li>•대규모 굴착에 유리함.</li> <li>•공사비가 저렴하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•일반 토사지반에서 가장 일반적이며</li> <li>•경제성 우수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•차수성 우수</li> <li>•강재 재사용 가능</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>•굴착부의 비탈면경사로 넓은 부지가 필요하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•지반 침하 및 벽체변형이 비교적 큼</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•타입시 및 인발시 맞물림현상 발생</li> <li>•풍화암 및 자갈층 시공시 Water jet공법 병행 필요</li> </ul>
공법선정	◎	◎	
선정사유	<ul style="list-style-type: none"> <li>•왜골제1교 구간은 굴착심도가 비교적 얇으나 배면에 도로 및 건물이 인접하여 위치하고 있어 Open Cut 공법을 적용이 불가능 하므로 H-Pile+토류판 공법을 적용함.</li> <li>•왜골제2교 구간은 굴착심도가 비교적 얇고 배면의 부지여유가 충분하여 Open Cut 공법을 적용 하였으며, 일부 도로와의 간섭이 발생하여 간섭구간에 한하여 H-Pile+토류판 공법을 적용함.</li> <li>•왜골제4교 구간은 굴착심도가 비교적 얇고 배면의 부지여유가 충분하여 OPEN CUT 공법을 적용함.</li> <li>•본 과업구간의 지하수위는 굴착배면에 위치하나 굴착심도가 깊지 않아 지하수 유입량이 크지 않을 것으로 판단되어 별도의 차수대책을 수립하지 않음. (Trench 굴착 및 양수작업에 의한 Dry Work 조건)</li> </ul>		

**다. 터파기 비탈면 안정검토**

**(1) 설계기준 검토**

**(가) 터파기 비탈면 최소안전율**

비탈면의 안전율은 재하조건시 피해의 정도와 경제성에 따라 선택된다. 본 교량 구조물기초 터파기 비탈면은 임시 비탈면으로 아래표에서 제시하는 적정 안전율을 고려하여 설계토록 하였다.

**<표 6.4-44> 터파기 비탈면 최소안전율**

구 분	참 고 문 헌	최 소 안 전 율
임시굴착비탈면	<ul style="list-style-type: none"> <li>•일본토질공학회</li> <li>•NAVFAC DM7.1</li> <li>•가설공사비탈면설계기준(국토해양부, 2011)</li> </ul>	$F_s > 1.1$

**(나) 비탈면 경사 선정기준**

국내에서 적용되고 있는 일반적인 터파기 비탈면 경사선정기준은 다음 표와 같다.

**<표 6.4-45> 공통공사 설계지침(한국수자원공사, 2012)**

구 분	원지반토질	깊 이	기울기	비고
원지반 터파기 시	토사, 리핑암	1 ~ 2m	1 : 0.3	
		2m 이상	1 : 0.5 ~ 1 : 0.7	
	발파암	-	1 : 0.3	
흙쌓기지반 터파기 시	토사, 리핑암, 발파암	1 ~ 2m	1 : 0.5	
		2m 이상	1 : 1.0	

**<표 6.4-46> 지하굴착공사 안전관리편람(국토해양부, 1996)**

구 분	지반의 종류	경 사
보 통 흙	습 지	1 : 1 ~ 1 : 1.5
	건 지	1 : 0.5 ~ 1 : 1
암 반	풍화암	1 : 0.8
	연 암	1 : 0.5
	경 암	1 : 0.3

**(다) 비탈면 표준경사 선정**

본 터파기 비탈면경사 선정기준은 ‘지하굴착공사 안전관리편람(1996)’의 기준을 적용하였고 표준경사는 과업부지 터파기 지반조건을 고려하여 표와 같이 선정하였다. 여기서, 표준경사는 비탈면 안정해석결과에 따라 변동될 수 있다.

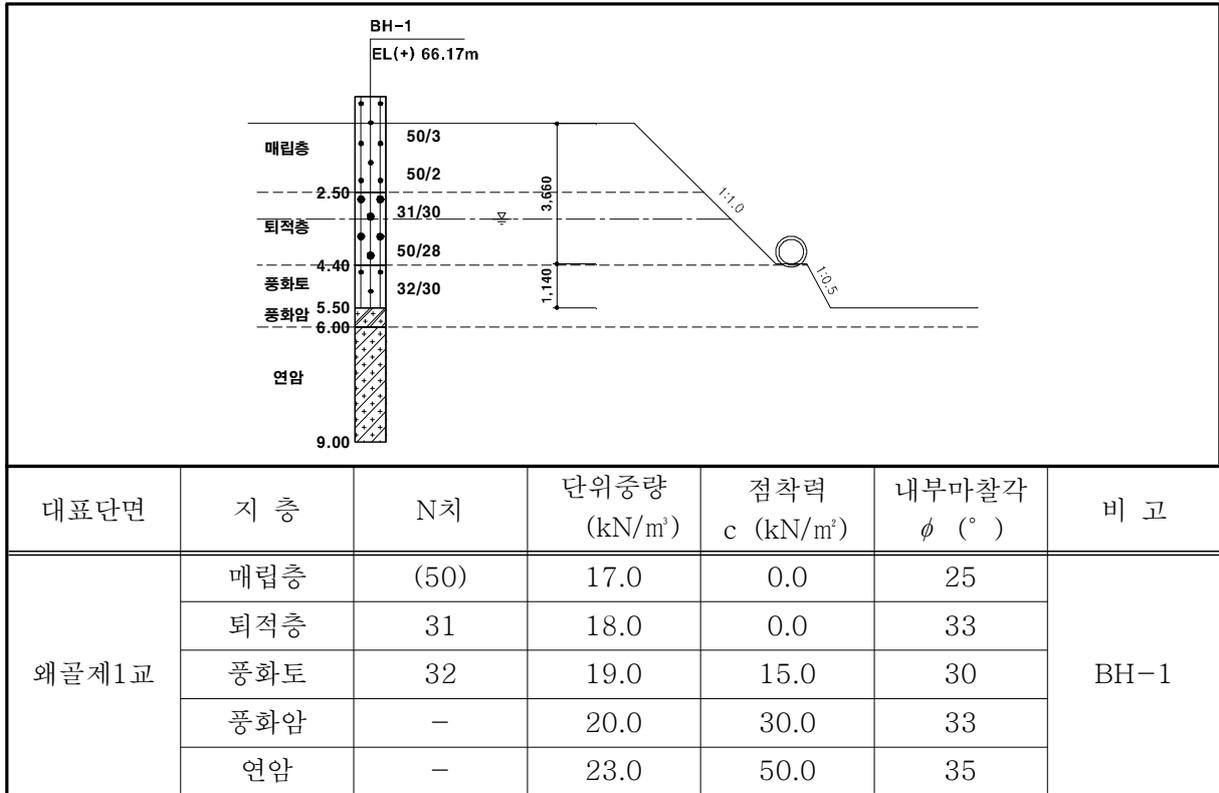
**<표 6.4-47> 터파기 비탈면 표준경사 선정**

구 분	지반의 종류	경 사
보 통 흙	습 지	1 : 1.0

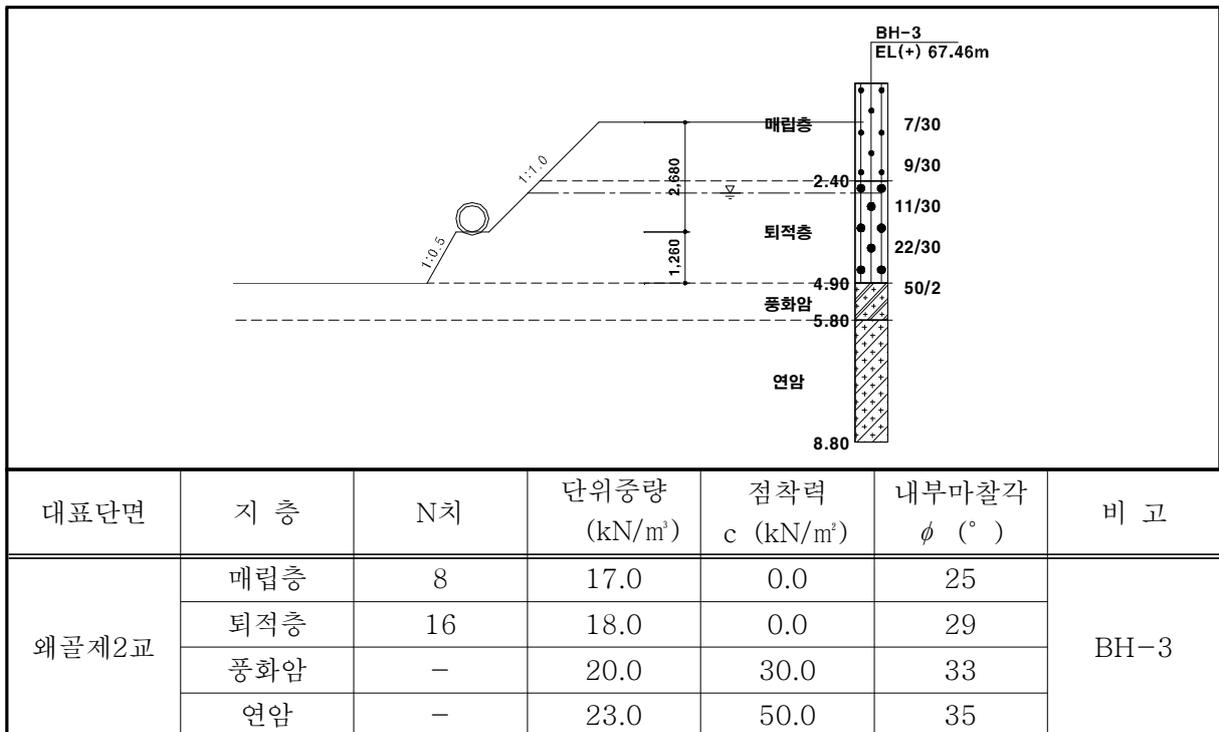
(2) 검토결과

(가) 검토단면 현황

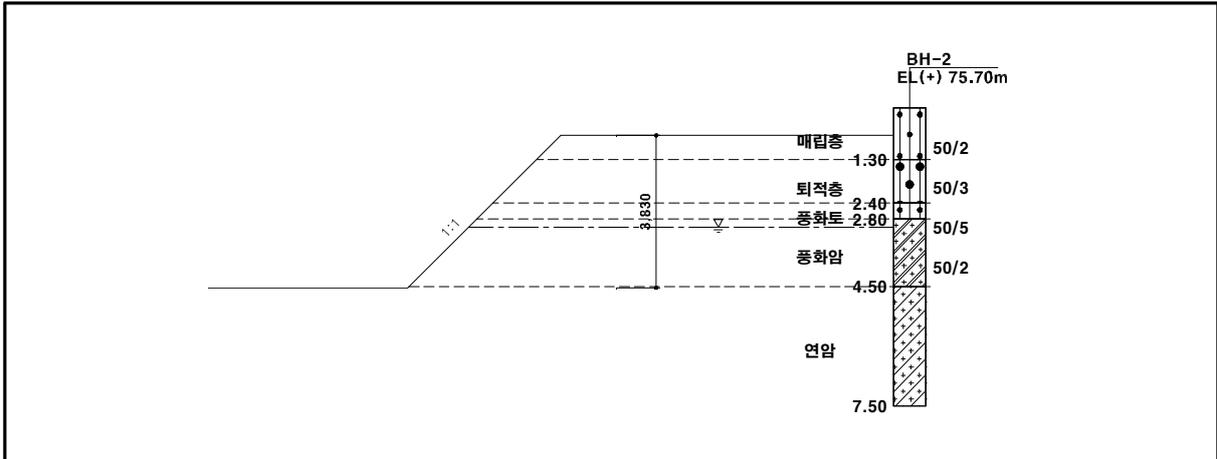
① 왜골제1교



② 왜골제2교



③ 왜골제4교



대표단면	지 층	N치	단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )	점착력 c (kN/m <sup>2</sup> )	내부마찰각 $\phi$ (°)	비 고
왜골제4교	매립층	(50)	17.0	0.0	25	BH-2
	퇴적층	(50)	18.0	0.0	33	
	풍화토	50	19.0	15.0	30.0	
	풍화암	-	20.0	30.0	33.0	
	연암	-	23.0	50.0	35.0	

※ 적용 N치 : 적용시추공 해당지층의 평균값 적용

※ 강도정수 및 탄성계수(c,  $\phi$ , E)

- 강도정수 : Dunham식( $\phi = \sqrt{12N} + 15$ ) 및 일반적인 지반정수를 참조하여 안전측 적용

- 탄성계수 : 산정식( $E = 766N$  (kN/m<sup>2</sup>))으로 산정

(나) 비탈면 안정해석 결과

교량별 구조물기초 터파기 계획에서 굴착고가 가장 높은 검토단면에 대하여 굴착 비탈면의 표준경사를 적용하고 임시굴착비탈면임을 고려한 비탈면안정해석을 수행하였다. 검토결과는 다음과 같다.

구 분	비탈면 안정해석결과		
왜골제1교 (비탈면구배 1 : 1.0)			
최소안전율			1.245 > 1.1
판 정			O.K

구분		비탈면 안정해석결과
왜곡제2교 (비탈면구배 1 : 1.0)		
최소안전율	1.184 > 1.1	
판정	O.K	
구분		비탈면 안정해석결과
왜곡제4교 (비탈면구배 1 : 1.0)		
최소안전율	1.147 > 1.1	
판정	O.K	

**라. 가설흙막이 안정성 검토**

**(1) 개요**

본 과업구간에 적용되는 자립식 가설흙막이(H-Pile+토류판)에 대한 안정성 검토를 실시하였다.

**(가) 탄소성 해석 및 적용 Program**

탄소성 해석프로그램인 SUNEX을 이용하여 가시설 벽체 및 지보재 안정성을 검토하였다.

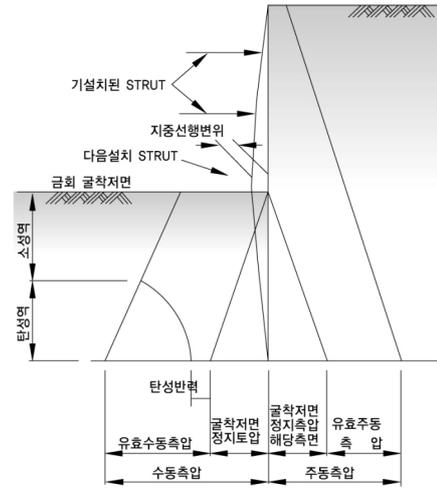
**(나) 프로그램 특징**

- 굴착 후 벽체 및 Slab의 타설, 지보공의 해체과정 계산
- 매단계 해석마다 계산결과 토압, 변위, 전단력 및 Moment가 화면에 그래픽으로 나타나므로 계산과정 검토 가능
- 흙막이벽에 대하여 최대저항 소성Moment를 입력하면 반복계산에 의하여 흙막이벽에 대하여 탄소성해석 수행

(다) 배경이론

$$EI \frac{d^4 x}{dy^4} + \frac{A \cdot E'}{L} \cdot x = P_i - K_s \cdot x$$

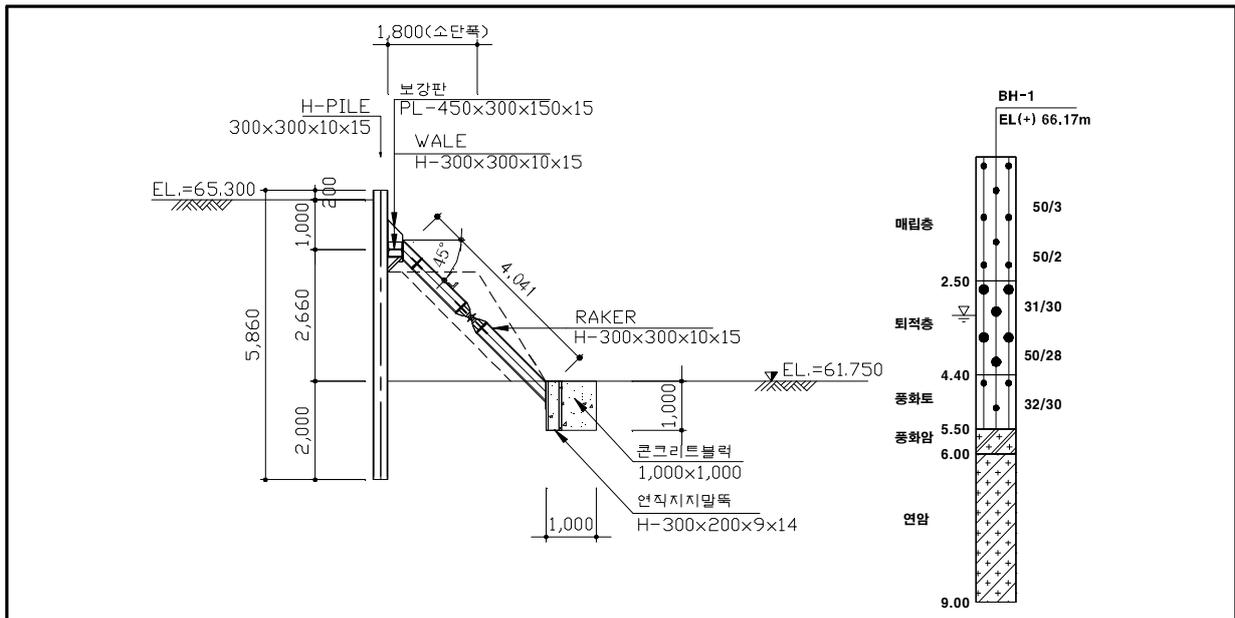
여기서, E : 흙막이 벽체의 탄성계수  
 I : 흙막이 벽체의 단면 2차 Moment  
 A : 지보공의 단면적  
 E' : 지보공의 탄성계수  
 L : 지보공의 길이  
 Pi : 초기토압 (주로 정지토압이 사용됨)  
 Ks : 지반의 수평방향 지반반력계수  
 x : 깊이 y 지점에서의 벽체의 x 방향변위 (수압 및 기타하중에 의한 변위 포함)



(2) 가설흙막이 안정검토

(가) 왜골제1교

① 검토단면 현황



구분	굴착 심도 (m)	H-Pile			STRUT		지보재설치위치 GL(-)m	비고
		간격 (m)	총 길이 (m)	근입 깊이 (m)	간격 (m)	길이 (m)		
왜골제1교	3.66	2.00	5.86	2.00	2.00	4.04	1.00	

\* 굴착공법 : H-PILE + Raker  
 \* 검토구간 사용 부재 - H-PILE : H-300\*300\*10\*15, Raker : H-300\*300\*10\*15  
 \* H-PILE 총길이 : 토사유실방지 높이(0.2m)+굴착깊이(m)+근입깊이(m)

② 설계지반정수

해석에 적용된 지반정수는 다음과 같다.

구분	적용 N치	단위중량 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	점착력 c (kN/m <sup>2</sup> )	내부마찰각 $\phi$ (°)	지반반력계수 (kN/m <sup>3</sup> )	비고
매립층	(50)	18.0	5.0	25.0	33,830	BH-1
퇴적층	31	19.0	0.0	30.0	30,900	
풍화토	32	19.0	15.0	30.0	33,830	
풍화암	-	20.0	30.0	33.0	45,000	
연 암	-	23.0	50.0	35.0	65,000	

- \* 적용 N치 : 적용시추공 해당지층의 평균값 적용
- \* 과재하중 13.0kN/m<sup>2</sup> 적용
- \* 지반반력계수(K) 사질토: Hukuoka 제안식 ( $K=6.910 \times N^{0.406}$ ) 사용

③ 검토결과

■ H-PILE

구분	부재 (규격)	최대 단면력		허용응력		작용응력		검토
		휨모멘트 (tf·m)	전단력 (tf)	휨응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	전단응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	휨응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	전단응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	
왜골제1교	H-Pile	3.64	5.93	1,748.52	1,080.00	267.65	219.72	O.K

■ Raker

구분	부재 (규격)	최대 단면력		허용응력		작용응력		검토
		축력 (tf)	휨모멘트 (tf·m)	축응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	휨응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	축응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	휨응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	
왜골제1교	H-Pile	39.15	1.02	1,506.59	1,599.37	226.63	75.00	O.K

■ 수평 변위검토

근입장 안전율이 다소 큰 값을 나타내나 시행착오법에 의해 수평변위가 허용범위 이내로 발생하는 근입장을 산정하여 적용하였다.

구분	굴착심도(m)	최대 수평변위 (cm)	허용변위 0.5%×H (cm)	검토
최종굴착	3.66	0.15	1.83	O,K

- \* 수평허용변위 : 굴착및흙막이공법 (지반공학회,2002)

■ 근입장 검토

구 분	근입장 (m)	모멘트 평형법		검토
		안전율	허용안전율	
왜골제1교	2.00	12.08	1.20	O.K

\* 토사지반 최소 근입장(2.0m) 적용

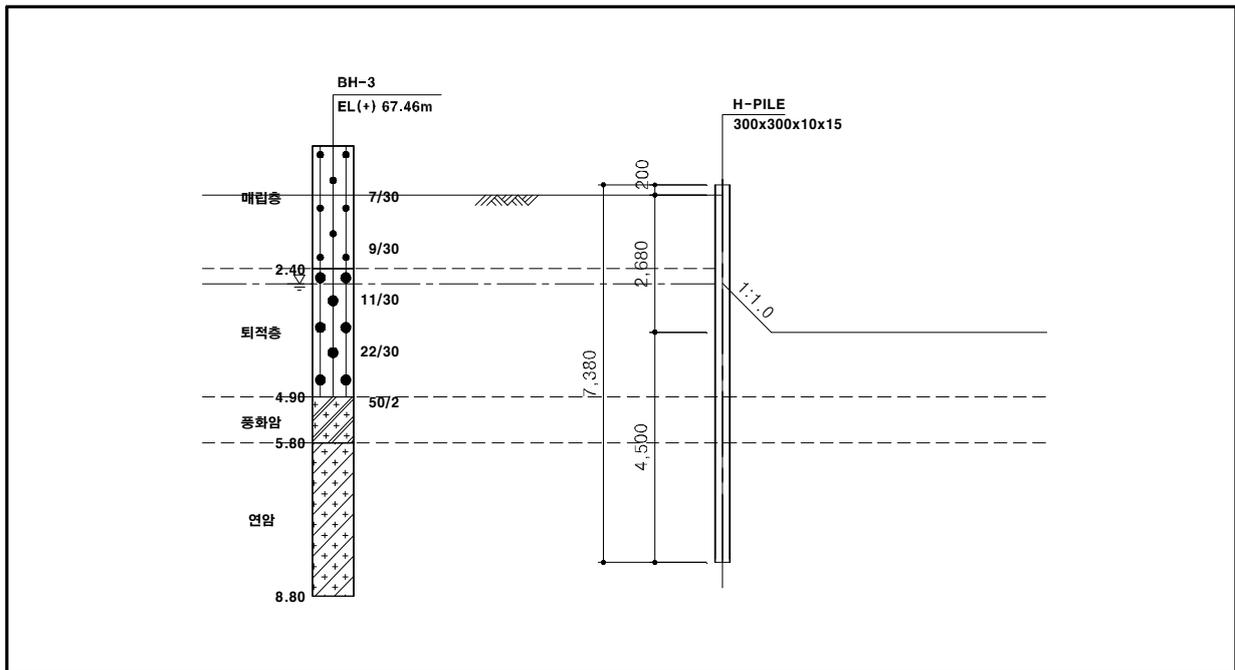
■ 토류관

검토단면	소요두께 (mm)	사용두께 (mm)	검토
왜골제1교	65	100	O.K

\* 현장의 자재수급의 용의성을 고려하여 가장 일반적인 규격인 100mm를 적용함.

(나) 왜골제2교

① 검토단면 현황



구분	굴착 심도 (m)	H-Pile			STRUT		지보재설치위치 GL(-)m	비고
		간격 (m)	총 길이 (m)	근입 깊이 (m)	간격 (m)	길이 (m)	1단	
왜골제2교	2.68	1.50	7.43	4.55	-	-	-	

\* 굴착공법 : H-PILE 자립식

\* 검토구간 사용 부재 - H-PILE : H-300\*300\*10\*15

\* H-PILE 총길이 : 토사유실방지 높이(0.2m)+굴착깊이(m)+근입깊이(m)

② 설계지반정수

해석에 적용된 지반정수는 다음과 같다.

구분	적용 N치	단위중량 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	점착력 c (kN/m <sup>2</sup> )	내부마찰각 $\phi$ (°)	지반반력계수 (kN/m <sup>3</sup> )	비고
매립층	8	17.0	0.0	25.0	1,0000	BH-3
퇴적층	16	18.0	0.0	29.0	2,7120	
풍화암	-	20.0	30.0	33.0	45,000	
연 암	-	23.0	50.0	35.0	65,000	

- \* 적용 N치 : 적용시추공 해당지층의 평균값 적용
- \* 과재하중 13.0kN/m<sup>2</sup>적용
- \* 지반반력계수(K) 사질토: Hukuoka 제안식 ( $K=6,910 \times N^{0.406}$ ) 사용

③ 검토결과

■ H-PILE

구분	부재 (규격)	최대 단면력		허용응력		작용응력		검토
		휨모멘트 (tf·m)	전단력 (tf)	휨응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	전단응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	휨응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	전단응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	
왜골제2교	H-Pile	6.97	8.32	1,749.60	1,080.00	512.50	308.27	O.K

■ 수평변위 검토

구분	굴착심도(m)	최대 수평변위 (cm)	허용변위 (cm)	검토
최종굴착	2.68	2.83	3.0	O,K

\* 수평허용변위 : 굴착및흙막이공법 (지반공학회,2002)

■ 근입장 검토

근입장 안전율이 다소 큰 값을 나타내나 시행착오법에 의해 수평변위가 허용범위 이내로 발생하는 근입장을 산정하여 적용하였다.

구분	근입장 (m)	모멘트 평형법		검토
		안전율	허용안전율	
왜골제2교	4.50	5.92	1.20	O.K

■ 토류관

검토단면	소요두께	사용두께(cm)	검토
왜골제2교	38	100	O.K

\* 현장의 자재수급의 용의성을 고려하여 가장 일반적인 규격인 100mm를 적용함.

### (3) 유의사항

- ① 본 설계는 제한된 수량의 지반조사결과를 사용하였으므로 시공시 구간별 시험터파기를 수행하여 설계조건과 상의할 경우 감독자와 협의하여 설계변경 하여야 한다.
- ② 공사중 배면지반 및 흙막이벽체의 과도한 변형조짐이 예상될 경우 즉시 공사를 중단하고 되메우기 또는 버팀대 보강 등의 응급조치를 취하고 지반분야전문가(토질 및 기초기술사, 지반공학박사)에 의한 보강대책을 수립하여야 한다.
- ③ 흙막이시설 공사전에 주변의 지중매설물 조사를 시행하고, 별도의 보강 대책이 필요하다고 판단될 경우 시방서 및 일반적인 관련 규정에 의해 조치를 강구하여야 한다. (지중매설물 조서는 필히 현장에서 관리해야 함).
- ④ 엄지말뚝은 설계 깊이까지 근입되도록 시공관리를 철저히 해야 한다.
- ⑤ 흙막이벽체 인발 후 즉시 공극채움을 하여야 한다.
- ⑥ 굴착공사 중에는 기 설치된 흙막이벽체 및 비탈면 구간에 충격이 가지 않도록 주의해서 굴착해야 한다. 또한, 굴착된 토사를 흙막이벽체에 피해가 가지 않도록 이격거리를 확보 후 적재를 하여야 한다.
- ⑦ 굴착공사시 흙막이벽체 배면에 우수처리 가배수로를 설치하여 굴착 공사중 지표수가 유입되지 않도록 해야 한다.
- ⑧ 굴착공사시 지하수 유출 및 흙막이벽체의 과도한 변형으로 인하여 배면지반의 침하가 예상되면 즉시 공사를 중단하고 보강대책(지반보강, 버팀부재 보강 등)을 강구 한다.
- ⑨ 흙막이시설 해체시 감독자의 승인하에 시행하여야 하며, 흙막이시설의 해체작업으로 인해 주변 시설물의 피해가 우려되는 부위는 사장시켜야 한다.
- ⑩ 흙막이공사 시행전 안전관리대책을 수립하여야 하며 필요시 안전난간 등을 설치하여 굴착에 따른 안전사고가 발생하지 않도록 하여야 한다.
- ⑪ 본 설계는 평시의 하천수위 및 지하수위 조건에 의한 검토 결과로서 우기 시 또는 집중호우로 인하여 하천 수위 및 지하수위가 상승하여 굴착면으로 유입되는 유입수의 양이 과다할 경우 별도의 차수 대책을 수립하여야 한다.

## 6.5 호 안

호안은 수리특성에 의한 수층·비수층의 역학적 성질 및 지역적 특성을 고려하여 계획하고, 기 설치된 제방, 호안, 천단도로 및 제내·외측 상황을 종합적으로 검토하여 계획하여야 한다. 일반적으로 호안공은 사업의 규모, 경제성, 당해 지구의 특성, 과거의 실패와 경험, 시공성, 내구성, 재료구득의 용이성 등을 고려하여 돌망태, 콘크리트 블록 블임, 석축 등을 주로 시공하였으나, 근년에 들어서 환경 및 생태계 보전측면에서의 호안에 대한 관심이 증대되고 있는 추세임을 감안하여 금회 자연석쌓기 및 식생옹벽블럭등을 적용하였다.

### 6.5.1 개요

#### 가. 호안개요

##### (1) 호안의 필요성

보호공이 없는 제방(하안)은 홍수시 유수에 의한 파괴와 침식이 발생하므로 제방(하안)을 유수에 의한 파괴 및 침식으로부터 보호하기 위해 제방(하안) 호안을 설치한다.

##### (2) 호안설치

이론적 계산에만 의하여 호안을 직접 설계하는 것은 현재의 기술수준으로는 어려우며, 현지여건과 조화되고 홍수시 유수의 흐름에 충분히 견딜 수 있는 공법을 선정하여 다음의 고려사항 등을 검토하여 호안의 형태, 시공방법을 결정한다.

※ 고려사항 ⇒ 재료 확보의 용이성, 공사비, 시공성(공기단축), 유수에 대한 조도, 세굴에 대한 굴요성, 내마모성, 내구성

##### (3) 호안 설치에 대한 설계기준

호안설치에 관한 제반규정은 『하천설계기준』(한국수자원학회), 『하천공사 표준시방서』(한국수자원학회), 『하천공사설계실무요령』(국토해양부), 설계용역 『특별과업지시서』, 『건설표준품셈』 등에 제시되어 있다.

#### 나. 문제점

- 설계기준에서 제시한 호안설치에 관한 기준이 모호
  - 다양한 호안재에 따른 소류력 제시가 미흡하다.
  - 설계자 주관에 따른 호안재 규모를 결정하고 있다.
- 최근 친환경적 하천설치에 따른 호안공법의 다양화는 바람직하지만 대부분이 "특허(실용신안, 신기술 등)" 호안 재료로써 해당 제품에 대한 독점성향이 많다.
- 특허품 호안재의 경우, 제품 단가가 비싸고 호안공사 발주후 재질 및 공법에 따라 업체간 분쟁의 소지가 있다.
- 소류력이 크게 발생하는 구간 등에 기존 자연재 호안의 경우(돌망태공, 돌쌓기공,

석축공 등)는 한정된 자원을 활용하므로 재료의 구득이 어렵고, 호안공법 적용시 특허(실용신안, 신기술)품의 공법을 제외하면 획일화된 호안설치가 발생하고 있다.

- 석재가 필요한 호안의 경우(이불형 돌망태공, 사각형 돌망태공, 돌쌓기공, 돌붙임공 등) 자재구입에 따른 단가가 비싸고 재료구득이 용이하지 않고 석산개발에 따른 생태환경파괴가 발생하고 있다.
- 시공성, 안정성, 경제성, 환경성 등을 고려하여 해당 현장의 호안공법은 필요시 부득이하게 특허와 관련된 제품을 적용하는 사례 많은 실정이다.
- 호안공사 재료원에 따라 설치단가는 견적가, 운반거리 등에 따라 차이가 발생할 수 있어 획일적인 단순비교는 곤란하다.
- 일반적으로 호안공법 선정은 해당구간 하천의 물리적 특성, 경제성, 시공성, 안정성, 자연환경, 지역 개발계획 등 특성에 따라 공법이 선정되므로 기타 하천에서 적용한 성공적 사례의 호안공법이 해당 하천과 하천의 물리적 특성이 비슷할 지라도 특정한 공법을 적용하기는 곤란하다.

#### 다. 개선방안

- 적용성이 많은 호안재, 최근 다양화된 호안재를 현장에 적절히 적용하기 위해서는 하천규모별, 제방규모별로 하천의 수리상태를 반영할 수 있는 설계기준이 제시되어야 한다.
- 호안공법의 다양화에 따라 적용성이 많은 “특허품 호안재”는 현장에서 구입시 제품 단가가 비싸고 업체간 분쟁의 소지가 있으므로 설치단가를 낮추고 분쟁의 소지가 없도록 해당 제품의 특허료를 지불하고 현장에서 직접 제작하여 설치하는 방안이 있다.
- 자연석(석재)를 이용한 돌망태 및 돌붙임에 대한 설치품 통일(부산청 설계기준 제시)
- 개정된 하천설계기준에 따라 제방 비탈경사를 완화(1:3.0)하고 호안공법의 적용을 강성이 적은 식생호안으로 유도하여 제방의 안정성, 하천경관 및 친수성 증대시켜야 한다.
- 자연석, 발파석 등 석재 호안공법은 내구성이 뛰어나고 경관측면에서 유리한 공법이나 재료원의 한계 및 경제성을 감안하여 특별히 친수측면이 강조되는 도시하천 인근의 시공이나 하천구조물의 접합부 등 수리적 안정성이 중요시되는 구간에 부분적으로 적용한다.
- 보호권 설정 여부를 막론하고 자연형 호안공법의 여러 가지 유형별 시험시공을

한시적으로 도입하여 현장 적용성 평가 과정이 필요하다.

- 현대의 치수사업은 환경정비사업 차원에서 이루어지고 있는 바, 정부 또는 지자체에서 시공된 자연형호안공법의 적용사례 및 홍수 후 검증(모니터링)자료를 의무적으로 구축하여 향후 공법적용의 자료로 제시할 필요성이 있다.

### 6.5.2 호안설치 기준

호안의 설치위치와 연장은 하도내의 수리현상, 세굴, 퇴적 등의 변화를 고려하여 결정하고 소류력 또는 유속에 따라 호안공법을 선정해야 하며 하도의 분류별 수리특성은 다음 표와 같다.

〈표 6.5-1〉 하도 분류별 수리적 특성

하도	수리특성			호안의 필요성	하상재료
	유속 (m/sec)	소류력(N/m <sup>2</sup> )	하상경사		
급류부	3.0이상	67 이상	1/200이상	전면설치	굵은 자갈이 대부분
준급류부	3.0~2.0	50~67	1/1,000~1/200	전면설치	모래자갈과 잔자갈이 소량 존재
중완류부	2.0~1.0	33~50	1/2,000~1/1,000	부분설치	자갈과 모래 혼합
완류부	1.0이하	33 미만	1/2,000이하	부분설치	주로 모래

주) 자료 : 하천공사설계실무요령 (2009, 국토해양부)

- 1) 수류와 접하는 제방비탈면은 어떠한 형태로든 비탈면을 보호하여야 한다. 따라서 본 기준에서의 비탈댐기 하한공법을 평떼 또는 초분류의 파종으로 한다.
- 2) 급류하천이나 준급류 하천에서는 전 구간에 걸쳐서 호안을 설치하며, 완류 하천에서는 수충부에 중점적으로 설치하고, 비수충 구간은 식물자생 등을 고려한 환경호안을 우선하여 계획한다.
- 3) 수충구간에 부분적인 호안의 설치 시 수충부가 하류로 이동할 수 있으므로 호안의 설치구간을 충분히 하고, 호안설치 구간과 설치하지 않는 접합부는 조도의 차이로 인한 세굴이 발생할 수 있으므로 호안의 시점 및 종점의 접합부는 순응성(굴요성)이 좋은 재료의 호안 또는 띠장을 설치하여야 한다.
- 4) 도시하천에서 비탈경사가 1:2.0보다 급할 때에는 수리특성에 관계없이 전 구간에 설치하되 가급적 콘크리트호안을 지양하고, 환경호안을 설치한다.
- 5) 교량, 보, 낙차공 등의 구조물 상·하류에는 수리특성이 급격히 변화하므로 호안을 설치하여야 하며 최소 하상보호공 이상으로 하고 설치구간은 다음과 같다.

① 대 하 천 : 상·하류 각각 20m이상

- ② 중소하천 : 상·하류 각각 10m이상
- 6) 고수부지의 포락이 예상되거나 진행되어 제방의 안전에 영향을 미칠 것으로 예상되는 구간에는 저수호안을 설치해야 하며 홍수시 저수호안의 침식 또는 유실을 방지하기 위하여 호안머리 보호공을 설치한다.
- 7) 유수의 충돌로 인해 파랑이 심하게 발생하는 합류부에 설치한다.
- 8) 기타 세굴 및 포락이 진행 중이거나 예상되는 지점에 설치한다.

### 6.5.3 비탈덮기

- 1) 호안의 설치높이는 비탈덮기의 종류, 설치장소의 수리조건, 지형 등을 고려하여 결정하며 기 제시된 소류력공식 등을 이용하여 설치구간의 소류력 검토 후 공법을 선정하여야 한다.
- 2) 고수호안의 높이는 계획홍수위 까지를 원칙으로 하되 다음과 같은 경우에는 제방둑 마루까지로 한다.
  - ① 특별히 중요한 제방
  - ② 파랑이 발생하는 장소
  - ③ 급류하천(수면경사 1/200이상)
  - ④ 제방높이 2.0m 미만의 산지부 계곡하천
  - ⑤ 고조의 영향을 받는 하구부
  - ⑥ 굴곡이 심한 만곡부 외안측
- 3) 저수호안에서는 호안의 마루높이를 고수부지의 높이와 같게 하고, 호안머리 보호공을 병행 설치함을 원칙으로 한다.
- 4) 비탈덮기의 경사는 비탈덮기 구조와 높이에 따라 다음의 값을 기준으로 하여 설계한다.

〈표 6.5-2〉 비탈덮기 구조와 높이에 따른 비탈경사

비탈덮기 구조		비탈덮기 연직높이 (m)	비탈경사	비 고
식 생 공		사면안정 규모	1 : 2.0 이상	
돌 쌓 기	찰 쌓 기	3 이상 ~ 5 미만	1 : 0.5 이상	
		3 미만	1 : 0.3 이상	
블록쌓기	메 쌓 기	3 미만	1 : 1.0 이상	
돌 붙 임	찰 쌓 기	-	1 : 1.5 이상	
	메 쌓 기	3 미만	1 : 2.0 이상	
블록붙임	메 쌓 기	3 미만	1 : 2.0 이상	
돌 망 태		3 이상	1 : 2.0 이상	
콘크리트 방틀		-	1 : 1.5 이상	

주) 자료 : 하천공사설계실무요령 (2009, 국토해양부)

#### 6.5.4 호안머리

호안머리는 비탈덧기의 종류에 따라 그 크기 및 규모, 재질이 결정되어야 하므로 다음의 규정에 의한다.

- 1) 호안머리의 재질은 잡석 또는 호박돌, 레미콘(25-18-8)으로 함을 원칙으로 한다.
- 2) 호안머리의 두께에 따라 굵은골재 최대치수를 감안하여 재질을 결정한다.
- 3) 콘크리트류의 호안머리는 굳기 전에 3~5m마다 흙손 또는 철선 등을 이용한 줄을 그어 이격 시켜야 한다.
- 4) 콘크리트류 호안머리의 폭은 제체에 충분히 근입하고 별도의 토공(터파기, 되메우기)을 계상한다.
- 5) 호안머리공은 현장부설 및 타설을 원칙으로 하며, 비탈면의 경사 및 비탈덧기 두께에 따라 수량을 계상하여 적용하고, 호안머리 두께는 10cm 이상이어야 한다.
- 6) 콘크리트 호안머리공의 근입깊이는 비탈경사 등을 고려하되 최소 10cm이상 근입시킨다.

#### 6.5.5 필터매트

호안의 파괴는 비탈덧기 및 밀다짐의 홍수후 잔류수 유출 및 홍수시 유수에 의한 배면 토사유출에 따른 공동발생에 기인하는바, 미·세립토의 유출을 방지하고, 잔류수를 원활히 배수시키기 위하여 비탈덧기와 밀다짐 배면에 배면매트의 설치를 원칙으로 하며 필요하다고 판단되는 경우 밀다짐 및 세굴방지용으로 설치되는 구조물(사석 등) 배면에도 설치할 수 있다.(단, 비탈사면의 환경사구간 및 퇴적구간, 환경을 고려한 식생대구간 등 제방·호안성격이나 현장조건에 따라서는 예외로 할 수 있다.)

#### 6.5.6 호안의 안전성 검토

##### 가. 소류력에 의한 방법

소류력에 의한 방법은 다음과 같이 소류력을 계산하여 허용소류력과 비교 검토하여 설계하는 방법이다. 실제로 식생매트는 그 힘이 과도하게 되면 매트 밑에 있는 흙 입자가 이동하게 된다.

##### ◎ Schoklitsch 공식(Chezy 유속계수 적용)

$$\tau = W R I = \frac{W}{C^2} V^2$$

- 여기서,  $\tau$  : 소류력 (kgf/m<sup>2</sup>)  
 $W$  : 물의 단위중량 (1,000kg/m<sup>3</sup>)  
 $R$  : 경심 (m)  
 $I$  : 수면경사 혹은 에너지경사  
 $V$  : 유속 (m/s).  
 $C$  : Chezy 유속계수( $V = C\sqrt{RI}$ )

◎ Manning 유속계수를 고려한 소류력 공식

$$\tau = \rho g \frac{V^2}{K_m^2 R^{\frac{1}{3}}}$$

- 여기서,  $\tau$  : 소류력 (kgf/m<sup>2</sup>)  
 $\rho$  : 물의 밀도(102.04kg·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)  
 $g$  : 중력가속도(9.81m/s<sup>2</sup>)  
 $V$  : 유속 (m/s)  
 $K_m$  : manning의 조도계수( $m^{\frac{1}{3}}/s$ ) =  $\frac{1}{n}$   
 $R$  : 동수반경(m)

나. 유속에 의한 방법

유속에 의한 호안설계방법은 하천에 대해 유속을 산정하고 호안별 허용유속과 비교하여 허용유속에 안전한 호안공법을 선정하여 설계하는 방법이다.

호안설계 유속은 하천의 평균유속이 아니고 호안부근에 작용하는 대표유속인 점에 유의하여야 하며 대표유속은 평균유속보다 크고, 평균유속의 1.6~2배 이내에 있다. 각종 연구자료에 의하면 식생호안 및 식생매트호안의 허용유속은 다양하게 나타나고 있으며 그 이유는 실험조건이 상이하야 나타난 것으로 보여 진다.

다. 허용소류력 및 허용유속의 결정

식생호안블럭 및 식생옹벽블럭 설계시 적용하는 허용유속은 현장실험 및 여러 연구서의 값으로 볼 때 실험조건 및 실험방법에 따라 많은 값 차이가 있으나 현장에서는 실험실과 같이 양호한 조건을 유지하기가 어려우므로 최저값을 적용하는 것이 타당할 것이므로 각 조건별 허용소류력 및 허용유속은 다음과 같이 결정하였다. 적용 허용유속은 홍수지속시간 및 비탈경사에 다른 보정과 식생 활착상태에 따른 안전율을 고려하여야 한다.

〈표 6.5-3〉 식생호안선정시 수리적 기준

구분	허용소류력 (kgf/m <sup>2</sup> )	허용유속 (m/s)	비고
식생옹벽블럭	60.0	7.0	
자연석 쌓기	16.0	5.0	

주) 하천공사 호안공법 개선방안 검토보고서(2008.6. 부산청),  
하천공사 설계심무요령(2009, 국토해양부)

### 6.5.7 금회 적용 호안공법

#### 가. 호안

호안공법의 적용에 있어서 기존 호안 및 하천 현황과 하천의 수리특성을 감안하여야 하며, 재료 구득의 용이성 및 경제성 등을 고려하여야 한다.

기본계획(소하천정비종합계획(2017, 하남시))에서 제시한 호안은 급경사(1:0.3) 구간은 식생옹벽블럭이며, 완만한 경사(1:1.0)는 식생호안블럭 및 자연석 쌓기를 제안하였다. 금회 환경성 검토 및 다른재질의 호안 비교 분석하여 적절한 호안을 계획하였고 시공시기는 안정성을 확보하고 건기에 시행하여야 한다.

금회 과업에서는 계획구간의 환경적 측면을 최대한 고려하되, 수리특성 및 치수적 측면에서 적용성이 우수하고 주변 환경과의 조화 및 친환경적 경관을 창출할 수 있는 호안을 적용하였으며, 1:0.3구간은 기존호안의 연속성을 고려하여 식생옹벽블럭으로 선정하였고 1:1.0구간은 기존호안이 유실 및 훼손되어 있는 자연석쌓기로 선정하였다. 축점별 계획호안공법, 계획제방고 및 여유고는 다음과 같다.

〈표 6.5-4〉 축점별 계획호안공법

지구명	연장 (m)	실시설계 축점(No.)	과업구간		호안공법
			평균유속 (m/s)	평균소류력 (kg/m <sup>2</sup> )	
좌안축제1지구	117	54+15 ~ 60+14	3.00	10.91	자연석쌓기
좌안축제2지구	365	36+12 ~ 54+15	3.70	15.34	식생옹벽블럭
좌안고호1지구	98	31+10 ~ 36+12	3.62	15.08	자연석쌓기
좌안축제3지구	56	28+08 ~ 31+10	3.59	15.73	자연석쌓기
좌안축제4지구	69	24+16 ~ 28+08	3.34	13.57	식생옹벽블럭
좌안고호2지구	47	22+00 ~ 24+10	3.61	15.92	식생옹벽블럭
우안축제1지구	167	42+10 ~ 51+00	3.87	16.55	식생옹벽블럭
우안고호1지구	281	28+08 ~ 42+10	3.59	15.73	자연석쌓기
우안축제2지구	63	24+16 ~ 28+08	3.34	13.57	식생옹벽블럭
우안고호2지구	38	20+00 ~ 22+04	3.61	15.92	자연석쌓기

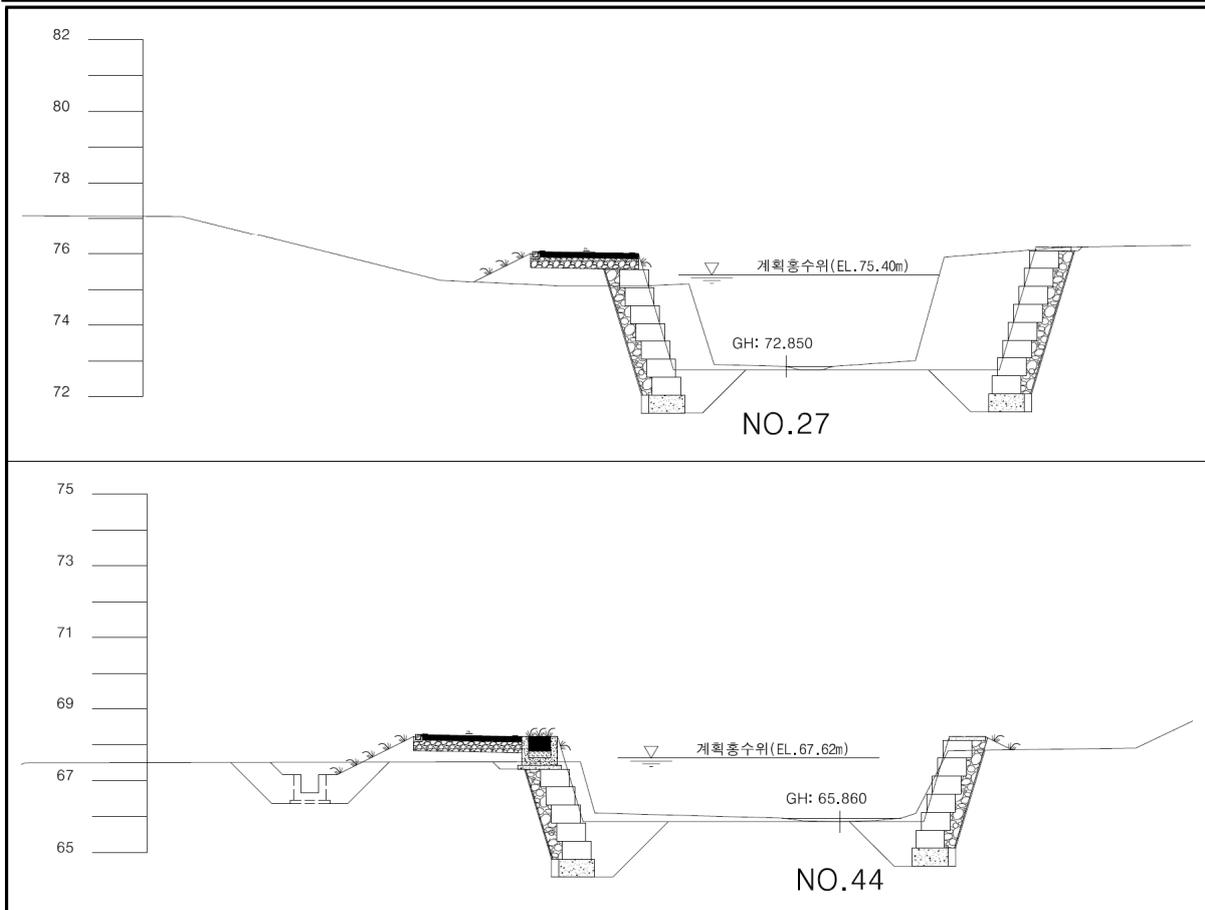
또한, “하천설계기준·해설(2009)”에서와 같이 비탈덧기공의 설치 높이는 설치공법, 설치장소의 수리조건에 따라 다르나 일반적으로 고수호안은 계획홍수위까지 설치한다. 특수한 경우에는 제방 독마루까지로 하며, 비탈덧기 높이를 제방 독마루까지 해야 하는 "특수한 경우"는 다음 사항을 의미한다.

- ① 특별히 중요한 제방                      ② 파랑이 발생하는 장소
- ③ 급류하천                                      ④ 고조의 영향을 받는 하구부 구간
- ⑤ 굴곡이 심한 만곡부의 외측안

왜골천은 소하천으로 유속 3.0~4.0m/s로 급류하천에 속하며, 굴곡이 심한 만곡부 구간에는 제방 독마루까지 고수호안을 설치계획하였다.

〈표 6.5-5〉 제방 독마루까지 설치한 고수호안

좌우안	연장 (m)	실시설계 측점(No.)	과업구간		호안공법
			평균유속 (m/s)	평균소류력 (kg/m <sup>2</sup> )	
좌안	72	24+16 ~ 28+08	3.34	13.57	식생옹벽블럭
좌안	82	24+06 ~ 28+08	3.34	13.57	식생옹벽블럭
우안	77	42+14 ~ 46+11	3.87	16.55	식생옹벽블럭



〈그림 6.5-1〉 대표 횡단면도

〈표 6.5-6〉 계획제방고 및 여유고

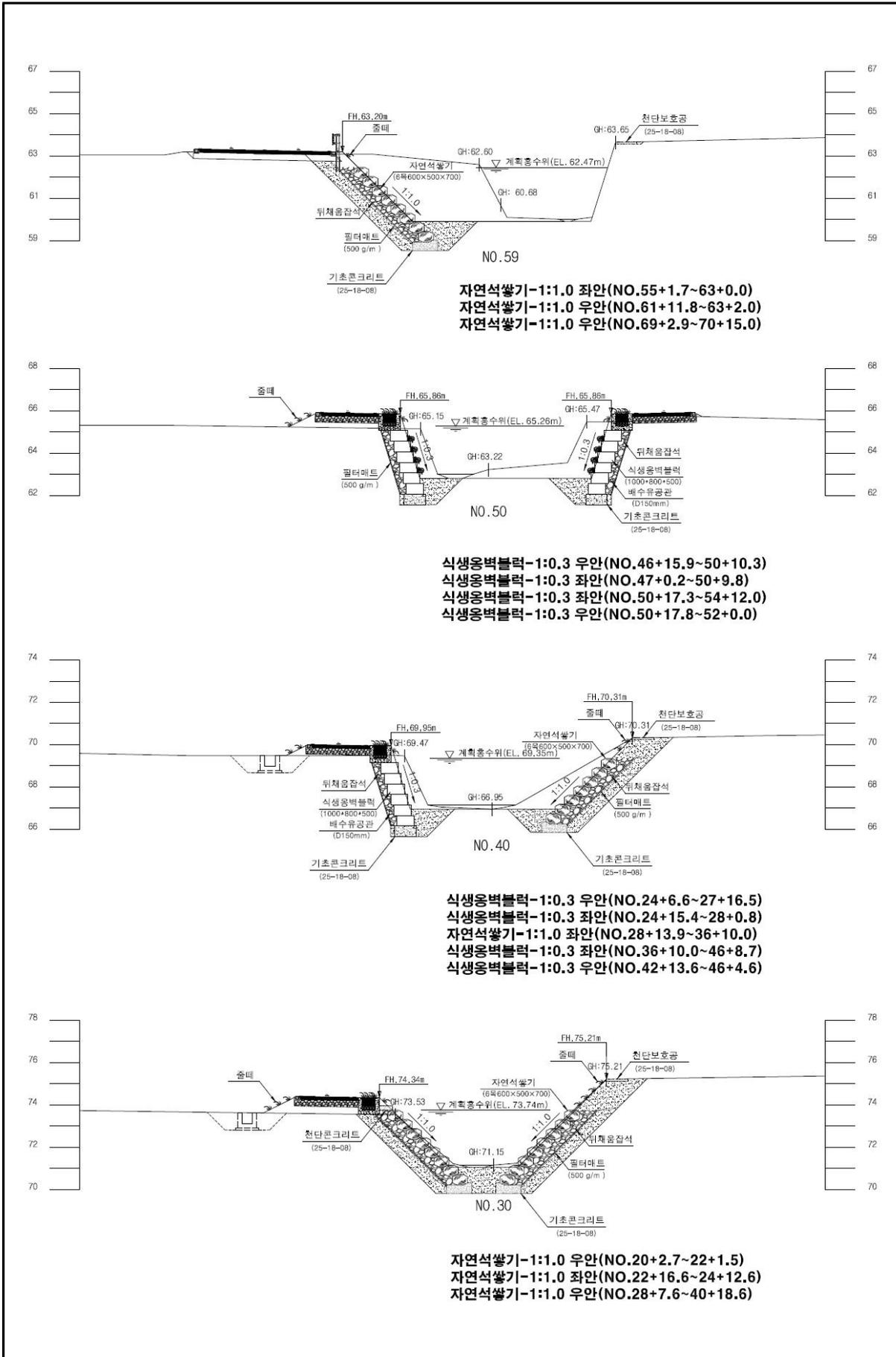
실시설계 측점 (No.)	누가 거리 (m)	계 획 홍수위 ① (EL.m)	기설제방고 (EL,m)		계 획제방고② (EL,m)		여유고(②-①) (m)		비고
			좌안	우안	좌안	우안	좌안	우안	
NO.0	0	99.40	106.05	102.77	106.05	102.77	6.65	3.37	
NO.1	20	97.90	100.97	101.51	100.97	101.51	3.07	3.61	
NO.2	40	96.40	96.49	96.40	96.27	100.11	-0.13	3.71	
NO.3	60	94.90	95.14	94.90	95.14	99.45	0.24	4.55	
NO.4	80	93.63	94.13	93.63	94.50	97.72	0.87	4.09	
NO.5	100	92.35	93.12	92.35	93.12	96.77	0.77	4.42	
NO.6	120	91.11	91.81	91.08	91.10	96.29	-0.01	5.18	
NO.7	140	89.87	90.49	89.80	90.49	95.86	0.62	5.99	
NO.8	160	89.19	90.77	90.80	89.85	95.22	0.66	6.03	
NO.9	180	88.50	91.05	91.80	89.00	89.00	0.50	0.50	왜골제7교
NO.10	200	87.41	89.03	89.38	89.10	88.32	1.69	0.91	
NO.11	220	86.31	87.01	86.95	87.01	86.95	0.70	0.64	
NO.12	240	85.74	86.47	86.27	86.31	86.15	0.57	0.41	
NO.12+10	250	85.46	86.20	85.93	85.73	85.73	0.27	0.27	왜골제6교
NO.13	260	84.28	86.74	85.79	86.74	85.79	2.46	1.51	
NO.14	280	83.73	84.96	84.65	86.79	84.53	3.06	0.80	
NO.15	300	83.17	83.17	83.51	90.08	83.51	6.91	0.34	
NO.16	320	82.27	82.27	82.94	91.78	82.81	9.51	0.54	
NO.17	340	81.36	81.36	82.37	86.04	82.37	4.68	1.01	
NO.18	360	80.86	80.44	81.49	81.05	81.72	0.19	0.86	
NO.19	380	80.36	79.51	80.61	79.51	80.61	-0.85	0.25	
NO.19+12	392	79.86	78.40	78.40	80.01	79.48	0.15	-0.38	왜골제5교
NO.20	400	79.43	78.38	78.58	84.10	79.72	4.67	0.29	
NO.21	420	78.34	78.34	79.03	84.20	79.03	5.86	0.69	
NO.22	440	77.66	77.83	78.53	83.71	78.77	6.05	1.11	
NO.23	460	76.98	77.31	78.02	77.58	78.02	0.60	1.04	
NO.24	480	76.39	77.56	77.25	76.99	77.04	0.60	0.65	
NO.25	500	75.79	77.80	76.48	77.84	76.48	2.04	0.69	
NO.26	520	75.60	76.48	76.19	76.80	76.31	1.20	0.71	
NO.27	540	75.40	75.15	75.90	76.00	76.11	0.60	0.71	
NO.28	560	75.24	74.71	75.01	75.84	75.84	0.60	0.60	
NO.28+8	568	75.17	74.51	74.61	75.77	75.77	0.60	0.60	왜골제4교

〈표 6.5-5〉 계획제방고 및 여유고(계속)

실시설계 측점 (No.)	누가 거리 (m)	계획 홍수위 ① (EL.m)	기설제방고 (EL,m)		계획제방고② (EL,m)		여유고(②-①) (m)		비고
			좌안	우안	좌안	우안	좌안	우안	
NO.29	580	74.37	73.84	75.30	74.97	75.30	0.60	0.93	
NO.30	600	73.74	73.54	75.30	74.34	75.21	0.60	1.47	
NO.31	620	73.11	73.24	75.30	73.71	75.30	0.60	2.19	
NO.32	640	72.70	73.28	75.25	73.28	75.33	0.58	2.63	
NO.33	660	72.29	73.31	75.20	73.31	75.20	1.02	2.91	
NO.34	680	71.81	73.01	73.66	72.77	74.07	0.96	2.26	
NO.35	700	71.33	72.70	72.12	72.70	72.12	1.37	0.79	
NO.36	720	70.97	71.86	71.45	72.49	71.57	1.52	0.60	
NO.36+12	732	70.75	71.35	71.04	71.40	71.35	0.65	0.60	왜골제3교
NO.37	740	70.60	70.85	71.04	71.40	71.04	0.80	0.44	
NO.38	760	70.16	70.35	70.80	70.76	70.96	0.60	0.80	
NO.39	780	69.72	69.85	70.55	70.32	70.55	0.60	0.83	
NO.40	800	69.35	69.50	70.43	69.95	70.31	0.60	0.96	
NO.41	820	68.98	69.15	70.30	69.58	70.30	0.60	1.32	
NO.42	840	68.57	68.53	69.03	69.17	70.28	0.60	1.71	
NO.43	860	68.15	67.90	67.76	68.75	68.75	0.60	0.60	
NO.44	880	67.62	67.55	67.81	68.22	68.22	0.60	0.60	
NO.45	900	67.08	67.19	67.85	67.68	67.85	0.60	0.77	
NO.46	920	66.78	67.22	67.45	67.38	67.38	0.60	0.60	
NO.46+11	931	66.62	67.23	67.23	67.22	67.22	0.60	0.60	왜골제2교
NO.47	940	66.38	66.30	66.18	66.98	66.98	0.60	0.60	
NO.48	960	66.02	65.88	65.69	66.62	66.62	0.60	0.60	
NO.49	980	65.66	65.45	65.20	66.26	66.26	0.60	0.60	
NO.50	1,000	65.26	65.38	65.25	65.86	65.86	0.60	0.60	
NO.51	1,020	64.86	65.30	65.30	65.46	65.46	0.60	0.60	왜골제1교
NO.52	1,040	64.44	65.30	65.30	65.04	65.16	0.60	0.72	
NO.53	1,060	64.01	64.52	65.20	64.70	65.10	0.69	1.09	
NO.54	1,080	63.77	63.74	65.10	64.37	64.38	0.60	0.61	
NO.55	1,100	63.53	63.64	64.67	64.13	64.24	0.60	0.71	
NO.56	1,120	63.07	63.53	64.24	63.82	64.30	0.75	1.23	
NO.57	1,140	62.60	63.65	64.17	63.66	64.10	1.06	1.50	
NO.58	1,160	62.54	63.77	64.10	63.60	63.91	1.06	1.37	

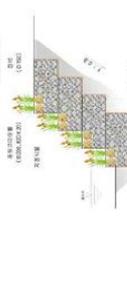
〈표 6.5-5〉 계획제방고 및 여유고(계속)

실시설계 측점 (No.)	누가 거리 (m)	계획 홍수위 ① (EL,m)	기설제방고 (EL,m)		계획제방고② (EL,m)		여유고(②-①) (m)		비고
			좌안	우안	좌안	우안	좌안	우안	
NO.59	1,180	62.47	63.43	63.88	63.20	63.65	0.73	1.18	
NO.60	1,200	62.10	63.09	63.65	63.24	63.23	1.14	1.13	
NO.61	1,220	61.73	62.89	63.45	62.90	63.24	1.17	1.51	
NO.61+10	1,230	61.34	62.68	63.24	62.76	62.29	1.42	0.95	
NO.62	1,240	60.94	62.43	62.61	62.70	62.31	1.76	1.37	
NO.63	1,260	60.14	62.18	61.97	62.18	61.97	2.04	1.83	
NO.64	1,280	59.74	61.71	61.10	60.91	60.26	1.17	0.52	
NO.65	1,300	59.33	61.23	60.22	61.23	60.22	1.90	0.89	
NO.66	1,320	58.98	60.56	59.84	60.95	60.09	1.97	1.11	
NO.67	1,340	58.63	59.88	59.45	60.25	59.45	1.62	0.82	
NO.68	1,360	58.42	59.50	59.40	60.04	59.41	1.62	0.99	
NO.69	1,380	58.20	59.12	59.35	59.12	59.35	0.92	1.15	
NO.70	1,400	57.88	58.70	58.73	58.70	59.10	0.82	1.22	
NO.71	1,420	57.55	58.28	58.11	58.28	58.11	0.73	0.56	
NO.72	1,440	57.39	57.94	58.06	57.78	58.15	0.39	0.76	
NO.73	1,460	57.23	57.60	58.00	57.60	58.00	0.37	0.77	
NO.74	1,480	57.21	57.33	57.96	57.93	57.90	0.72	0.69	
NO.74+4	1,484	57.20	57.27	57.95	57.27	57.95	0.07	0.75	과목교
NO.75	1,500	57.20	57.51	58.52	57.49	58.52	0.29	1.32	
NO.76	1,520	57.16	57.18	55.68	57.11	58.13	-0.05	0.97	
NO.76+8	1,528	57.14	57.05	54.55	57.05	58.98	-0.09	1.84	



<그림 6.5-4> 표준단면도

<표 6.5-7> 완경사(1:1.0) 호안공법 비교표

구분	스톤베트	식생호안블럭(대형)	식생계비온	자연석 쌓기
단면도				
규격	2,000×2,000×300	1,000×1,000×250	1,000×1,000×1,000	500×600×700
시공경사	1:1.0 이상	1:1.0 이상	1:1.0 이상	1:1.0 이상
사진				
공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 절망과 자연석이 결합된 제품으로 사면에 설치후 복토하고 식생 자생 유도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 불투수성 콘크리트형으로 식물성장을 촉진하는 자연 식 형태의 제품</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사각의 절망에 자갈과 풀을 채운 후 노출면에 배트와 겹하여 식생이 가능한토목 적용한 공법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자연석을 이용한 친환경경사된 토목</li> </ul>
소류력	30 kg/m <sup>2</sup>	30 kg/m <sup>2</sup>	36 kg/m <sup>2</sup>	60 kg/m <sup>2</sup>
유속	5 m/s	6 m/s	7 m/s	5.0 m/s
강점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자연석과 절망이 일체화되어 안정적임</li> <li>• 돌·공극사이의 동·식물의 식착제 제공</li> <li>• 절망의 유연성으로 시공이 수월함</li> <li>• 시공성이 우수하고 조경성이 뛰어나며 또한 환경 친화적임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 투수성이 양호하고 직면변형에 대한 적응성이 높</li> <li>• 수변환경과의 경관조화가 우수함</li> <li>• 식생공간이 넓어 식물생육에 유리하고 하천호안, 인공호수 등에 적합한 제품</li> <li>• 대형블럭으로 기계 시공되어 공기단축 및 비용절감효과</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일반 사면과 하천의 범면, 하상, 호안에 모두 사용 가능</li> <li>• 시공이 용이하고 경제적</li> <li>• 철거 보수가 용이함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자연석에 의한 하안부 및 하상부 보호기능</li> <li>• 자연석을 배합하여 틈이 많아 어류나 두생곤충의 풍부한 생식장 및 피난처 제공</li> <li>• 자연석 쌓기 틈새에 식생이 가능하여 자연경관 보전 창출 가능</li> <li>• 집진 및 친수성 양호</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 복토가 유수에 의해 유실될 경우 절망이 노출될 수 있음</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하천 적용시 홍수에 이물질이 퇴적될 경우 미관 이 나쁨</li> <li>• 유지보수 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 재료·구축·관란 및 토 다른 환경과의 품질 관리 및 공정관리등의 어려움</li> </ul>
단가	자재비: 113,800원/m <sup>2</sup> 설치비: 18,100원/m <sup>2</sup> 합 계: 131,900원/m <sup>2</sup>	자재비: 38,000원/m <sup>2</sup> 설치비: 25,000원/m <sup>2</sup> 합 계: 63,000원/m <sup>2</sup>	자재비: 55,700원/m <sup>2</sup> 설치비: 81,300원/m <sup>2</sup> 합 계: 137,000원/m <sup>2</sup>	자재비: 87,000원/m <sup>2</sup> 설치비: 52,000원/m <sup>2</sup> 합 계: 139,000원/m <sup>2</sup>
추천안				◎

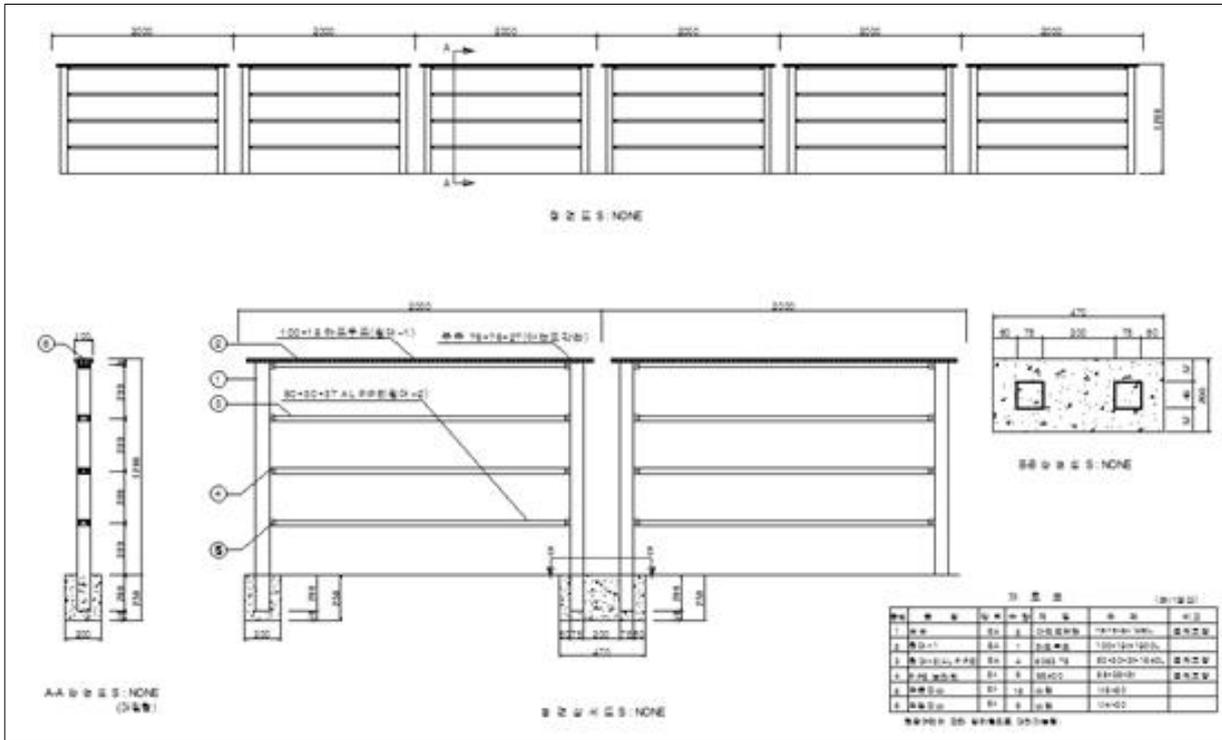
<표 6.5-8> 급경사(1:0.3) 호안공법 비교표

구분	식생 용비블럭	반딧불이블럭	랩스톤	재미은 용비
단면도				
규격	1,000×500×600 1:0.3 ~ 0.5	2,000×500×500 1:0.3 ~ 0.5	- 1:0.3~1.0	1,000×1,000×VAR 1:0.5
사진				
공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 각 블럭마다 연결봉에 의한 견고(우동도압에 안전)</li> <li>• 부지가 험소한 소하천 및 저수지 주변 용비 대응</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수로와 인접한 단단한 호안에 생물서식공간을 제공한다</li> <li>• 수로와 인접한 호안에 생물서식공간을 제공한다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기초콘크리트 설치</li> <li>• 시면정리후 부직포 설치</li> <li>• 랩스톤 설치</li> <li>• 전단콘크리트 설치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 절망상자안에 사석을 증진하고 돌맹태 상자를 계속 적지연결하는 공법</li> </ul>
소류력	60 kg/m <sup>2</sup>	-	-	60 kg/m <sup>2</sup>
유속	7.0 m/s	7 m/s	8.0 m/s	5.0 m/s
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 블럭과의 고정핀으로 자연환경에 맞게 경사 조절 가능</li> <li>• 친린 자연식 무늬 및 식생으로 식생경관 연출</li> <li>• 토사 축적으로 동식물 서식공간 제공</li> <li>• 기계화 시공이 용이하고 경제적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 침투과 고수부 폭이 좁은 상류역에 적합하며, 개방사면의 침식방지 효과가 뛰어나다</li> <li>• 블럭의 기단부는 어소멸함을 하고, 상부는 반딧불이 및 수서곤충의 서식공간으로 활용</li> <li>• 수로에 인접하여 식육 및 용비대용 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 탄알 및 유수의 저항에 안정성 확보</li> <li>• 구조적 안정성검토가능(내직,외직인정성확보)</li> <li>• 공적구조로 침식산화 효과</li> <li>• 표면이 돌덩구조로 미관이 우수</li> <li>• 수면이하의 공간은 어소기능을 결합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공법이 단순하여 시공성이 좋음</li> <li>• 중력식 설계로 토압에 효과적이어서 구조성이 뛰어나</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3m 이상 폭조시 별도의 보강이 요구됨.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 곡진부 시공시 정밀시공 요함</li> <li>• 유속이 강한 부분은 식물 유실 우려가 큼</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 중압감으로 인한 경관성 결여</li> <li>• 출망해손시 사석탈락으로 인한 문제발생</li> <li>• 절망에 오름이 절려 경관이 열악해짐</li> </ul>
단가	자재비: 81,000원/m <sup>2</sup> 설치비: 41,000원/m <sup>2</sup> 합 계: 122,000원/m <sup>2</sup>	자재비: 118,780원/m <sup>2</sup> 설치비: 42,300원/m <sup>2</sup> 합 계: 161,080원/m <sup>2</sup>	자재비: 138,000원/m <sup>2</sup> 설치비: 92,000원/m <sup>2</sup> 합 계: 230,000원/m <sup>2</sup>	자재비: 81,000원/m <sup>2</sup> 설치비: 79,000원/m <sup>2</sup> 합 계: 160,000원/m <sup>2</sup>
추천안	◎	◎		

### 6.5.8 디자인형 울타리 설치

금회 왜골천 우안에 유지관리를 위한 폭 1m 무근콘크리트를 설치하였고, 추락위험이 있는 지역(소망의 집 하류구간)에 디자인형 울타리를 설치계획하였다.

- 상세도



- 설치예시도



- 간결함을 앞세운 디자인으로 최소한의 형태를 지향
- 울타리 분체도장 선택시 다양한 채색이 가능하여 미관이 수려  
(위:연두색, 아래 : 회색 적용)
- 알루미늄을 사용함으로써 내구성을 높이고, 시각적으로 편안한 개방형 디자인

- 디자인형 울타리 비교표

구 분	알루미늄합금파이프, 하드우드	합성목재, 아연도금파이프	알루미늄합금파이프 (6063 T5), 철재
개 요 도			
규 격	W2000 X H1200mm	W1500 X H1200mm	W2000 X H1200mm
특 징	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 심플한 가로형 디자인에 상부에 천연하드우드 목재를 적용하여 자연친화적이면서 라인의 포인트를 준 제품임.</li> <li>▶ 분체도장을 통한 다양한 색상연출가능.</li> <li>▶ 직선형의 지주와 심플한 파이프형태의 헬스로 시각적 개방감을 최대한 확보한 디자인.</li> <li>▶ 볼트체결구조로 이루어져 현장응접이 없어 시공성 및 시공 품질이 우수함.</li> <li>▶ 경간으로 분리되어있어 충격이 타 경간에 전달되지 않아 파손이 최소화되며, 유지보수측면에서 유리함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 자연친화적 느낌을 주기위해 천연목재를 사용한 제품</li> <li>▶ 다양한 색상연출가능.</li> <li>▶ 직선형의 지주와 심플한 파이프형태의 헬스로 시각적 개방감을 최대한 확보한 디자인.</li> <li>▶ 합성목재를 사용하여 온도 변화에 의한 신축에 따른 내구성이 취약하여 뒤뜸림 및 결의 변형 발생 가능</li> <li>▶ 경간이 서로 연결된 구조로써 충격이 타 경간으로 발생이 용이하여 많은 경간이 충격에 파손 가능성이 큼. 따라서, 유지보수 측면에서 불리함.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 철재 지주와 알루미늄 파이프를 접목한 제품임.</li> <li>▶ 분체도장을 통한 다양한 색상연출가능.</li> <li>▶ 곡선형의 지주와 심플한 파이프형태의 헬스로 시각적 개방감을 최대한 확보한 디자인.</li> <li>▶ 곡선형태의 지주를 적용하여 어린이의 매달림 방지에 우수함.</li> <li>▶ 경간이 서로 연결된 구조로써 충격이 타 경간으로 발생이 용이하여 많은 경간이 충격에 파손 가능성이 큼. 따라서, 유지보수 측면에서 불리함.</li> </ul>
경제성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 조립형식으로 부분 보수 용이.</li> <li>▶ 내구성이 우수하여 추가유지,보수비용 거의 없음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 조립형식으로 부분 보수 용이.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 조립형식으로 부분 보수 용이.</li> <li>▶ 내구성이 우수하여 추가유지보수비용 거의 없음.</li> </ul>
시공성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 경량소재로 취급,시공 용이.</li> <li>▶ 용접 배제, 공기를 단축할 수 있는 조립형식.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 경량소재로 취급,시공 용이.</li> <li>▶ 지주 용접 제작, 공기를 단축가능한 조립형식.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 경량소재로 취급,시공 용이.</li> <li>▶ 지주 용접 제작, 공기를 단축할 수 있는 조립형식.</li> </ul>
검토결과	<p>· 자연친화적이면서 시공성이 우수하고, 유지보수측면에서 유리하며 경제성이 우수한 알루미늄합금파이프 + 하드우드가 적절한 것으로 판단됨</p>		
추 천 안	◎		

## 6.6 배수시설공

### 6.6.1 배수구조물

배수구역의 산정은 국토지리정보원에서 발간한 지형도(1/25,000, 1/5,000) 및 금회 항공측량으로 작성된 축척 1/2,500의 지형현황도를 이용하였으며, 미비한 지역은 현지 조사를 통해 보완하였다. 또한 유출률은 유출에 미치는 영향인자를 고려하여 농경지, 임야, 주거지 등의 유출계수를 각각 적용하여 평균 유출계수를 산정하였다.

내수배제계획 수립시 필연적으로 수리·수문자료 및 배수계획에 필요한 지형 평면도에 의하여 행하여야 하나, 본 과업에서는 상기와 같은 기존 자료가 없으므로 다음과 같은 일반적인 방법을 사용하여 검토하였다.

- 담수량을 고려하여 담수시간내에 배제하는 방법
- 최대유량을 대상으로 전량 배제하는 방법

이상 2개의 방식을 사용하여 각 배수지구별 소요단면을 결정한 후 현단면과 비교하여 과부족을 결정함으로써 그 단면의 능력을 검토하였으며, 배제시간은 즉시배제토록 하여 적용한 식은 다음과 같다.

$$Q = 0.2778 \cdot C \cdot I \cdot A$$

여기서,  $Q$  : 배제대상 유량( $m^3/s$ )

$I$  : 금회 산정한 강우강도식에 의한 강우량(서울관측소)

$C$  : 유출계수(=0.60~0.70)

$A$  : 집수면적( $km^2$ )

금회 단면이 부족하게 조사된 배수시설(암거, 통관)의 요증설 규모는 가급적 “하천 구조물 표준도”를 활용하되, 장래 사업시행을 고려하여 기존 시설물의 규모를 참조하여 결정하였다. 본 배수시설물 능력검토시 처리된 요증설 단면에 대하여 추후 사업 시행시는 해당 지역의 여건에 맞는 배제시간, 배제유속 등을 재검토하여 반영하여야 할 것이며, 홍수위보다 지반고가 낮은 지역의 배수시설물중 문비가 없는 시설물에 대해서는 문비를 보강하여 설치하여야 할 것이다.

또한, 기존의  $\varnothing 800$  mm미만의 배수시설에 대하여는 장래 교체시 유지관리에 용이한

Ø800 mm이상으로 설치하여야 할 것이다.

왜골천의 배수구조물 7개소의 통수능력을 검토한바 통수능력이 부족하지 않은 것으로 검토되었으며, 그중 축제구간 내 배수구조물(왜골제5배수통관, 왜골제1배수암거)을 하천공사설계실무요령(2009.12, 국토해양부)에 “유지관리 등을 고려하여 배수통관은 최소 직경은 800mm이상으로 한다.”는 기준에 따라 관경을 D1,200@1련 통관 및 2.0\*1.5@2련으로 계획하였다.

또한 제내지의 배수가 필요한 구간에 배수관 800mm 3개소 및 배수문 1.0\*1.0를 추가로 계획하였다.

〈표 6.6-10〉 배수시설물 능력검토 결과

배수시설명		측점 (No.)	안별	기존시설규모 (BxH,m), (D,mm)	집수 면적 (km <sup>2</sup> )	배제량 (m <sup>3</sup> /s)	소요 단면적 (m <sup>2</sup> )	통수 단면적 (m <sup>2</sup> )	단면 검토	계획단면 (BxH,m) (D,mm)	비고
기본계획	실시설계										
-	왜골제2 배수암거	26+11	좌	D300	-	-	0.07	1.00	충분	1.0x1.0	신설
-	왜골제7 배수통관	42+16	좌	D400	-	-	0.13	0.50	충분	D800	신설
-	왜골제8 배수통관	50+00	좌	-	-	-	-	0.50	충분	D800	신설
-	왜골제9 배수통관	50+02	우	-	-	-	-	0.50	충분	D800	신설
왜골제1 배수암거	왜골제1 배수암거	54+17	좌	3.0x1.5	0.436	17.15	3.05	4.50	충분	2.0x1.5 @2련	
왜골제5 배수통관	왜골제5 배수통관	56+19	좌	D600	0.010	0.37	0.23	1.13	충분	D1,200	

(주) 왜골제5배수통관은 배수능력결과 충분하나 유지관리를 위해 D1,200mm로 계획하였음.

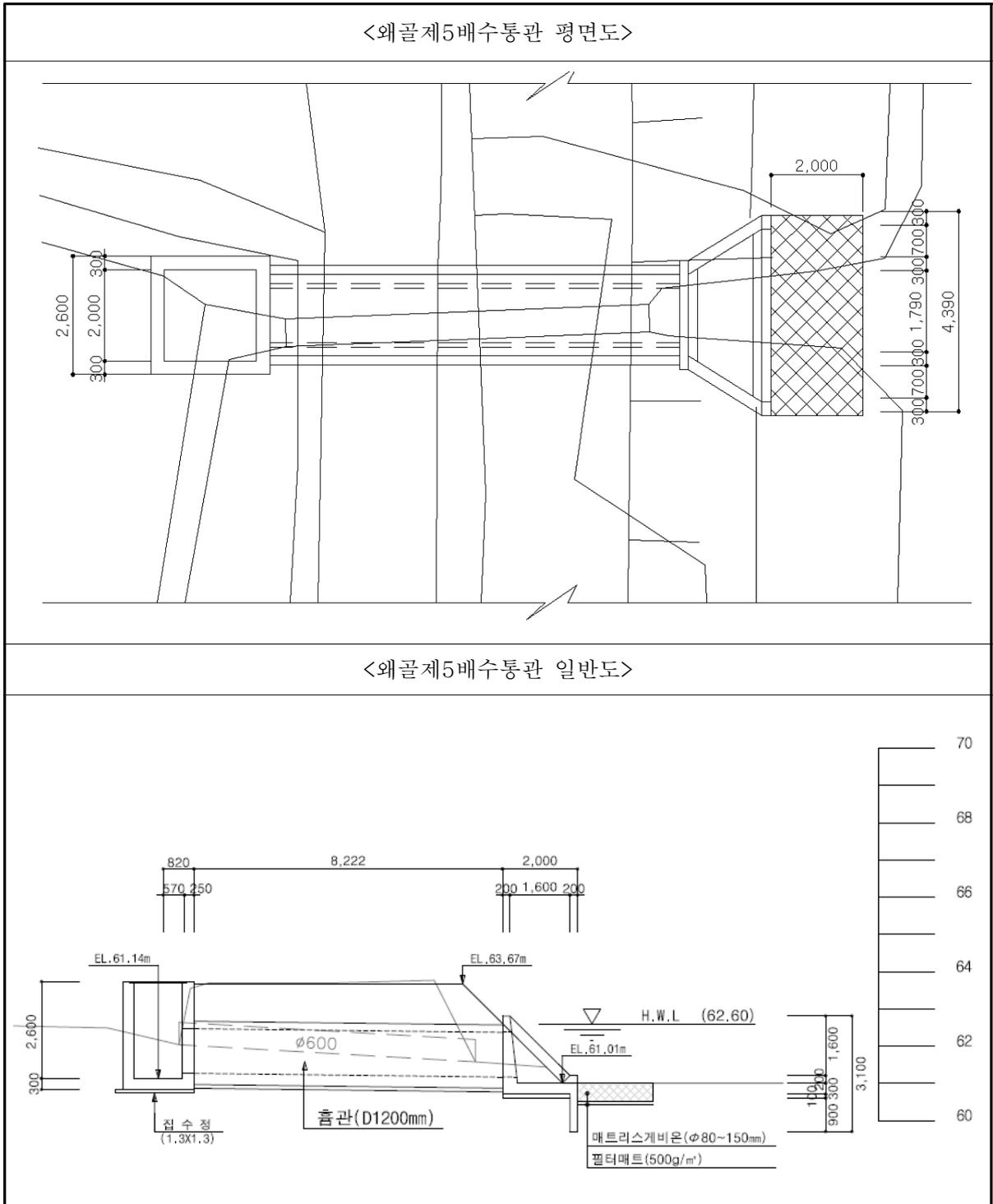
### 6.6.2 문 비

문비는 홍수시 내수배제를 주목적으로 설치되는 것으로 다음의 일반적 유의사항을 고려하여 선정하여야 한다.

- 예상된 하중에 안전하여야 한다.
- 개폐가 확실하여야 한다.
- 조작성이 용이하여야 한다.
- 수밀성이 있어야 한다.
- 내구성 및 경제성이 있어야 한다.
- 유지관리 및 정비가 용이하여야 한다.

본과업구간의 배수시설은 굴입하도에 위치하고 있으므로 본체만으로 내수에 대한 홍

수방어가 가능하여 별도의 문비를 설치하지 않았다.



<그림 6.5-12> 배수시설 평면도 및 일반도

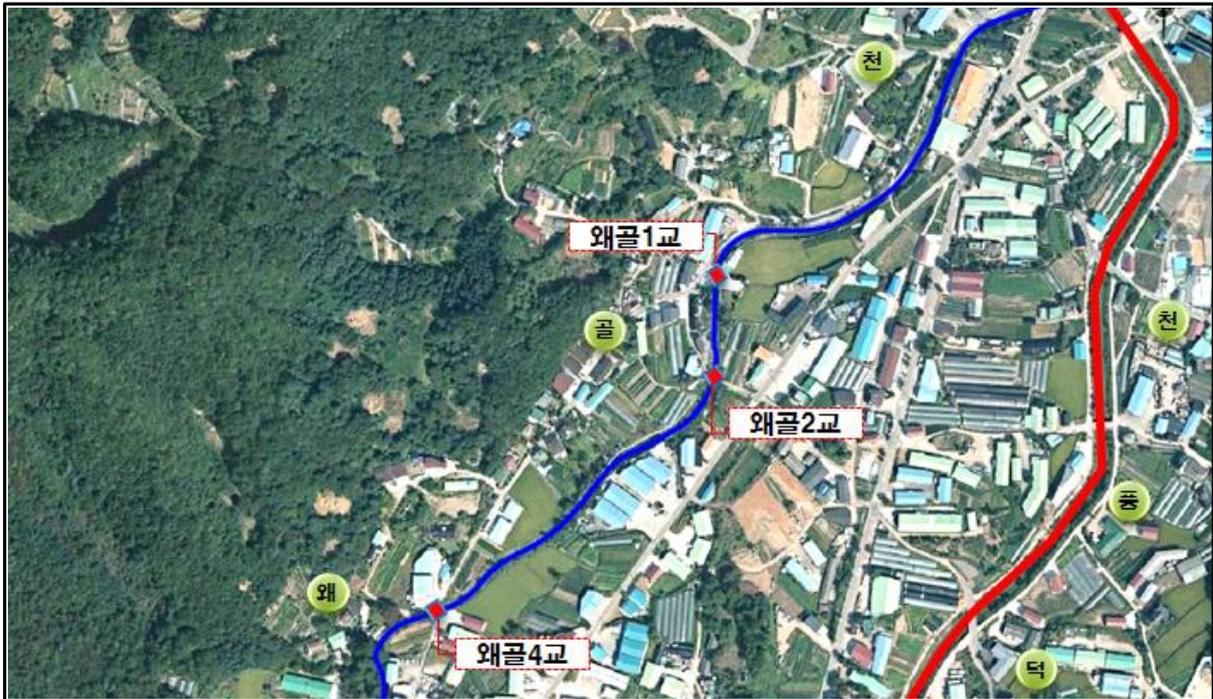
## 6.7 교량계획

### 6.7.1 개요

본 과업은 왜골천의 체계적인 개수계획에 따라 하천재해예방과 홍수로부터 하천연안의 농토를 보호하여 지역주민의 안정된 영농생활보장에 목적으로 실시설계 과업 범위 내의 교량 중 하천 기본계획 및 하천설계기준에 대한 적정성과 이용가능 여부의 판정에 따른 확장 및 재가설 계획으로, 교량의 형식선정은 교량 가설위치의 선형, 지형 및 지역조건, 지질상태, 형하조건 등 지리학적 여건과 경제성, 시공성, 미관 및 유지관리 등의 조건을 고려하여 비교안을 검토한 후, 발주처와 협의 후 최적안을 선정하였다.

### 6.7.2 교량현황 및 계획

#### 가. 교량현황



#### 나. 교량사진



다. 교량 계획

〈표 6.7-11〉 교량 능력 검토

교량명	측점 (No.)	연장검토		여유고검토			경간장검토		증설판단		실시설계 재설치 여부	비고
		기존 (m)	소요 (m)	계획 홍수위 (EL.m)	교량 저고 (EL.m)	여유 고 (m)	기존 (m)	소요 (m)	연장 (m)	증고 (m)		
과목교	1+16	16	16	57.20	56.57	0.6	10.7	16	-	1.23	존치	도로계획 시 재가설
왜골제1교	13+0	6	10	64.86	64.9	0.6	6	10	4	0.56	재가설	
왜골제2교	15+9	7	10	66.62	66.73	0.6	7	10	3	0.49	재가설	
왜골제3교	20+8	11	12	70.75	70.84	0.6	11	12	1	0.51	철거	
왜골제4교	24+11	5	11	75.17	74.01	0.6	5	11	6	1.76	재가설	
왜골제5교	28+28	8	8	79.86	77.40	0.6	1.4	8	-	3.06	존치	
왜골제6교	32+10	5	5	85.46	85.73	0.6	3.7	5	-	0.33	존치	
왜골제7교	34+0	5	6	88.50	89.00	0.6	2.7	6	1	0.10	존치	

〈표 6.7-12〉 교량 폭원검토

구분	단위	면도	리도	농도	비고	
설계 속도	km/hr	60	40	20		
차로 수	차로	2	1	1		
차선 폭	m	3.0	5.0(4.0)	3.0		
보도	m	2.0(1.5)	2.0(1.5)	-	( ) 최소폭원	
자전거 도로	m					
횡단 구성	차로	m	2@3.00=6.0	1@5.00=5.0(4.0)	1@3.00=3.0	( ) 최소폭원
	자전거	m				
	길어깨	m	2@1.0=2.0	2@0.75=1.5	2@0.5=1.0	
	연석	m	2@0.50=1.0	2@0.50=1.0	2@0.50=1.0	
총 폭원	m	9.0	7.5(6.0)	5.0	( ) 최소폭원	
적용			●			

(농어촌도로의 구조·시설기준에 관한 규칙)

〈표 6.7-13〉 신설교량 계획

하천	교량명	계획홍수량 (m³/s)	연장 (m)	폭원 (m)	등급	교량형식	비고
왜골천	왜골제1교	68	10.0	7.5m	2등교	RC 암거교	리도 (6.5m)
	왜골제2교	68	10.5	11.0m	2등교	RC 암거교	도시계획도로 (10m)
	왜골제4교	68	11.0	8.5m	2등교	RC 암거교	도시계획도로 (8.5m)

### 6.7.3 설계기준

#### 가. 일반사항

본 교량설계에서는 교량 전반에 대하여 여러 가지 조건에 내에서 통일성 및 동일한 구조물의 내하수준을 유지하고, 합리적이며 경제적인 설계를 도모하고자 적정기준을 설정하였다.

#### 나. 적용기준

- 도로교 설계기준 2010, 국토교통부
- 도로교 표준시방서 2005, 국토교통부
- 콘크리트 구조설계기준 2012, 국토교통부
- 콘크리트 표준시방서 2009, 국토교통부
- 도로설계편람(교량편) 2008, 국토교통부
- 도로설계요령 2009, 한국도로공사
- 도로설계기준 2012, 국토교통부
- 구조물 기초 설계기준 해설 2009, 한국지반공학회
- 하천설계기준·해설 2009, 한국수자원학회
- 하천공사 설계실무 요령 2009, 국토교통부
- 기타 국토해양부에서 제정한 관련시방서 등

본 설계요령에 규정하지 않은 사항은 상기의 시방서 혹은 지침에 의하되 그 인용근거를 명시하도록 한다.

#### 다. 설계방법 및 적용구조물

##### (1) 설계적용 방법

- 허용응력설계법 : 구조물을 탄성체로 가정하고 재료가 공칭항복강도에 도달했을 때 파괴가 발생한다는 가정하에 구조부재의 응력이 적합한 안전율을 고려한 재료의 허용응력을 초과하지 않도록 설계하는 방법
- 강도설계법 : 구조물이 극한상태에 도달했을 때 파괴가 발생하는 것으로 가정하고 강도감소계수를 고려하여 산정한 부재의 설계강도가 하중계수 고려하여 계산한 부재의 소요강도보다 크도록 설계하는 방법
- 합성형교 콘크리트 바닥판의 경우 도로교 설계기준의 강교편 및 콘크리트교편의 경험적 설계법 조건을 만족하는 경우 경험적 설계법을 적용하는 것을 원칙으로 한다.

## (2) 적용구조물

〈표 6.7-14〉 주요대상 구조물별 적용설계법

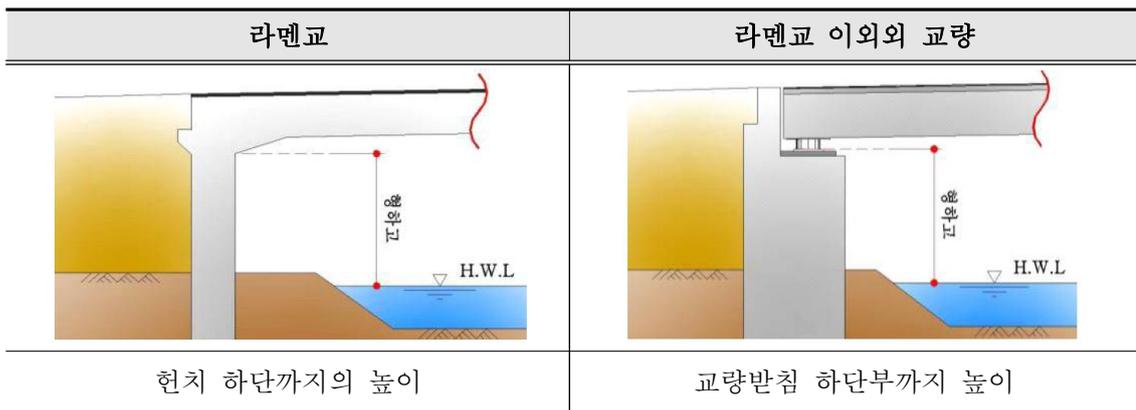
적용설계법	주요대상 구조물		비고
강도설계법	RC 구조물	1) 교량 상부공 •합성형교 콘크리트 바닥판 •라멘교 (문형, $\pi$ 형) •T-BEAM •슬래브교 및 속빈 슬래브교 2) 교량하부공 •교대, 교각 및 날개벽 3) 기타, 토공구조물 •옹벽, 암거, 접속슬래브 및 기타	• 사용하중 하에서 균열, 처짐 등 사용성 검토 • 합성형교 바닥판은 경험적 설계법 조건 만족 시 등방배근 적용
허용응력 설계법	PSC 구조물	1) 프리스트레스 콘크리트 거더 (P.S.C BEAM, P.S.C BOX) 2) 프리플렉스 합성형 거더 (PREFLEX BEAM)	• 강도설계법으로 안정성 검토
	강교 및 강재 가시설 구조물	1) 강플레이트 거더교 (STEEL PLATE GIRDER) 2) 강박스 거더교 (STEEL BOX GIRDER) 3) STEEL ARCH교 및 기타, 특수강교 4) 가교 및 기타 강재 가시설물	• 필요시 허용 피로 응력 검토

**라. 다리 밑 공간 확보(통과높이)**

**(1) 통과높이 및 여유고**

일반적으로 도로의 최소통과높이는 「도로교설계기준(건교부, 2010)」에서는 4.50m로 규정하고 있으며, 가급적 4.7m 이상으로 계획하도록 규정되어 있다. 하천에서는 「하천설계기준-해설(2009, 한국수자원학회)」에서 <표 6.7-5>와 같이 제시한 계획홍수량별 여유고를 적용한다. 교량구간의 여유고는 교량설치를 감안하여 산정한 홍수위로부터 교각이나 교대중 가장 낮은 교각(교대)에서 교량상부를 받치고 있는 교좌장치 하단부까지 높이를 뜻하며, 라멘교의 경우 슬라브의 현치 하단까지의 높이로한다. 금회 실시설계에서는 교량 설치 지점의 계획홍수량을 고려하여 교량 여유고를 0.6m 이상으로 결정하였다.

**<표 6.7-15> 계획홍수량별 여유고**



**<표 6.7-16> 계획홍수량별 여유고**

계획홍수량(m <sup>3</sup> /s)	여유고(m)	비 고
200 미만	0.6 이상	적용
200이상~500미만	0.8 이상	
500이상~2,000미만	1.0 이상	
2,000이상~5,000미만	1.2 이상	
5,000이상~10,000미만	1.5 이상	
10,000이상	2.0 이상	

## (2) 경간장

「하천설계기준해설(2009, 한국수자원학회)」에서 제시된 경간장 결정 기준은 다음과 같다.

○ 유량에 따른 경간장 검토

구 분			경간장 (m)	비 고
지형 및 하천관리	계획홍수량 (m <sup>3</sup> /sec)	하천폭 (m)		
① 치수상 지장이 없다고 인정되는 경우 제외			20+0.005Q	Q:계획홍수량(m <sup>3</sup> /sec) ①의 최대경간장이 70m 이상일 경우는 70m로 한다.
② 치수상 지장이 없다고 인정되는 경우	500 미만	30 미만	12.5 이상	
	500 미만	30 이상	15.0 이상	
	500 ~2000	-	20.0 이상	
	주운을 고려할 경우		주운에 필요한 최소 경간장	
③ 하천 상화 및 지형적 특성상 ①, ②의 확보가 어려운 경우 치수상 지장이 없는 경우			하천폭 감소율(설치된 교각 폭 합계/설계홍수위에 있어서의 수면의 폭) 5%이하	

### 마. 설계 등급[도로교설계기준(2010, 한국도로교통협회)]

#### (1) 1등교 (DB-24 또는 DL-24)

고속국도, 자동차 전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도 및 국방상 중요한 도로상의 교량, 교통량이 많고, 중차량의 통과가 불가피한 지방도, 장대교량

#### (2) 2등교 (DB-18 또는 DL-18)

일반국도, 특별시도와 지방도로상의 교통량이 적은 교량, 시도 및 군도중에서 중요한 도로상에 가설하는 교량

#### (3) 3등교 (DB-13.5 또는 DL-13.5)

산간벽지에 있는 지방도와 시도 및 군도 중에서 교통량이 극히 적은 곳에 가설하는 교량

본 과업의 교량은 하천을 횡단하는 교량으로 마을 진입 기능의 교량으로 설계등급 2등교 (DB-18 또는 DL-18)를 적용.

**바. 적용하중**

강도설계법에 의한 때는 극한하중을 적용하고 허용응력설계법에 의한 때는 사용하중을 적용해야 하며, 구조계산 하중은 고정하중, 활하중, 풍하중, 충격하중, 지진하중, 건조수축, 크리프, 온도변화 그리고 지지점의 부등침하 등의 영향은 물론 주변 환경이나 구조물 선형에 따라 원심하중, 수압, 부력, 토압 등을 고려한 하중중 가장 불리한 조합하중으로 설계하고 구조계산서에 상세히 기재한다.

**(1) 고정하중**

고정하중의 산출시 단위질량은 다음값을 기준으로 하되, 실하중이 명백한 것은 그 값을 사용한다.

**<표 6.7-18> 재료의 단위질량(단위 : kg/m³)**

재 료	단 위 질 량	재 료	단 위 질 량
강재, 주강, 단강	7,850	콘 크 리 트	2,350
주 철	7,250	시멘트모르터	2,150
알 미 늄	2,800	목 재	800
철근콘크리트	2,500	역청재 (방수용)	1,100
프리스트레스콘크리트	2,500	아스팔트포장	2,300

**<표 6.7-19> 흙의 단위질량(단위 : kg/m³)**

재 료	단 위 질 량	재 료	단 위 질 량
지 하 수 위 이 상	1,900	뒷채움 ( $\phi = 35^\circ$ )	2,000
지 하 수 위 이 하	1,000	뒷채움 ( $\phi = 30^\circ$ )	1,900

- 지하구조물(암거) 토피하중(  $P_v = \alpha \cdot \gamma \cdot D$  )

$P_v$  : 암거윗면에 작용하는 연직토압(kN/m²)

$\gamma$  : 암거상부의 흙의 단위체적중량(kN/m³)

$D$  : 암거의 토피두께(m)

$\alpha$  : 암거근입특성에 따른 계수 (  $1 + 0.2(D/B_o) \leq 1.15$  )

$B_o$  : 암거의 외측폭(m)

**(2) 활하중****(가) 지상 구조물**

자동차 하중, 즉 표준트럭하중(DB하중) 또는 차선하중(DL하중)을 고려하고, 목적물상 군사용 시설물로서 이용될 소지가 있는 경우 전차하중(TANK 하중)을 고려하여야 한다. (보도가 있는 경우 군중하중을 고려)

**(나) 지하구조물의 노면 활하중**

- 암거 상면의 토피 및 포장층 두께 (m)
- Bo : 암거폭(다륜 BOX인 경우 외측 1-BOX의 폭) (m)
- 노면활하중이 10 kN/m<sup>2</sup> 이하일 때는 10 kN/m<sup>2</sup>으로 한다

**<표 6.7-20> 노면활하중(D/Bo ≥ 0.5)**

토피두께 (D, m)	노면활하중 (PVI, kN/m <sup>2</sup> )	비 고
1.0	39	•토피의 중간 값은 노면활하중 상위의 값을 적용
1.5	25	
2.0	18	
2.5	14	
3.0	11	
3.5이상	10	

**<표 6.7-21> 노면활하중(D/Bo < 0.5)**

D/Bo	노면활하중 (PVI×D, kN/m <sup>2</sup> )	비 고
0.1	17	•D/Bo의 중간 값은 PVI×D의 상위 값을 적용
0.2	27	
0.3	33	
0.4이상	36	•노면활하중(PVI)은 표의 값을 D로 나누어 구함.

- 주) 1. 상기 노면 활하중 값의 기준은 DB-24이므로 DB-18 적용시는 별도로 검토하여 적용되어야 한다.  
 2. 출처 : 국토건설공사 설계실무 요령 (국토교통부 2013), 도로설계 요령 (한국도로공사, 제2권 암거편)  
 3. 토피고 1.0m이내인 경우 이동하중으로 재하하고 상부 슬래브는 바닥판 기준을 따라 설계한다.

**(3) 충격**

활하중은 충격을 일으키는 것으로 본다.

그러나, 보도 등에 재하하는 등분포 하중, 현수교의 주케이블 및 보강형에 작용하는 활하중에 대하여서는 충격을 고려하지 아니한다.

$$\text{충격계수} : i = \frac{15}{40+L} \leq 0.3$$

(4) 토 압

(가) 적용방법

토압은 벽면에 작용하는 분포하중으로 하여 Coulomb의 토압공식을 적용함을 원칙으로 하나, 교대, 역 T형 옹벽 또는 부벽식 옹벽과 같이 토압이 뒷굽에서부터 위로 연직하게 세운 가상면에 작용하는 안정계산과 같은경우 Rankine 토압을 사용한다.

토압강도

- 가동벽 (주동토압) : 교대, 옹벽

- 점성토 :  $P_a = K_a \cdot (q + r \cdot h) - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$

- 사질토 :  $P_a = K_a \cdot (q + r \cdot h)$

- 고정벽 (정지토압) : 우물통, 날개벽, 라멘, 암거 등에 적용

$P_s = K_s \cdot (q + r \cdot h)$

- 여기서,
- $P_a$  : 주동토압강도 (kN/m<sup>2</sup>)
  - $P_s$  : 정지토압강도 (kN/m<sup>2</sup>)
  - $q$  : 노면 활하중 (kN/m<sup>2</sup>)
  - $r$  : 흙의 단위중량 (kN/m<sup>3</sup>)
  - $h$  : 토압이 작용하는 깊이 (m)
  - $K_a$  : 주동토압 계수
  - $K_s$  : 정지토압 계수

- 주) 1. q(토압활하중) 적용하는 경우  
 2. 암거 및 지중 라멘인 경우 : q는 PVI를 적용  
 3. 옹벽 및 교대인 경우 : q는 과제하중 10 kN/m<sup>2</sup>를 적용

(나) 토압계수

- Coulomb 토압계수 : 단면설계시 적용

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \cdot \cos(\theta + \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \times \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2}$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \theta)}{\cos^2\theta \cdot \cos(\theta + \delta) \cdot \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \times \sin(\phi + \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \times \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2}$$

- Rankine 토압계수 : 안정검토시 적용

$$K_a = \cos\alpha \cdot \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}$$

$$K_p = \cos\alpha \cdot \frac{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}$$

- 여기서,  $K_a$  : 주동토압 계수.  $K_p$  : 수동토압 계수  
 $\phi$  : 흙의 전단 저항각

- α : 지표면과 수평면이 이루는 각
- θ : 벽배면과 연직면이 이루는 각
- δ : 벽배면과 흙사이의 벽면 마찰각 (ø/3)

• 정지토압계수 (Ks) :  $K_s = 1 - \sin\delta$

**사. 구조물 설계기준**

**(1) 허용응력 설계법**

**<표 6.7-22> 강교에서의 하중조합 및 증가계수**

하 중 조 합		강 교	콘크리트교
1	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중 + 온도변화의 영향	1.15	1.15
2	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중 + 풍하중	1.25	1.25
3	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중 + 온도변화의 영향 + 풍하중	1.35	1.35
4	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중 + 풍하중 + 제동하중	1.25	1.25
5	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중 + 충돌하중	1.70	1.50
6	풍하중만 고려할 때	1.20	1.20
7	제동하중만 고려할 때	1.20	-
8	활하중 및 충격 이외의 주하중 + 지진의 영향	1.50	1.33
9	가설시 하중	1.25	1.25

- 주) 1. 가설시 하중의 경우, 특히 가설기간이 길거나 신공법으로 가설되는 교량에 대해서는 허용응력을 증가시키지 않는다.  
 2. 콘크리트교에서 부하중 및 부하중에 해당하는 특수하중으로 고려하는 경우에 PS강재의 허용인장응력은 PS강재 항복점의 90%이하의 값으로 하며, 프리스트레싱 직후의 콘크리트 및 PS강재의 허용응력은 증가시키지 않는다.

**<표 6.7-23> 하부구조에서의 하중조합 및 증가계수**

하 중 조 합		증가계수
1	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중 + 온도변화의 영향	1.15
2	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중 + 풍하중	1.25
3	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중 + 온도변화의 영향 + 풍하중	1.35
4	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중 + 풍하중 + 제동하중	1.25
5	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중 + 충돌하중	1.70
	강구조에 대하여 철근 및 무근콘크리트에 대하여	1.50
6	활하중 및 충격 이외의 주하중 + 지진의 영향	1.50
	강구조에 대하여 철근 및 무근콘크리트에 대하여	1.33
7	가설시 하중의 조합	
	완성후의 응력이 현저히 저하되는 경우 완성후의 응력이 허용응력과 같은 정도로 되는 경우	1.50 1.25

**(2) 강도 설계법**

**(가) 주요 하중 조합의 하중계수**

$$U=1.3D+2.15(L+i)+1.3CF+1.7H+1.3Q \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

$$U=1.3D+1.7H+1.3Q+1.3W \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

$$U=1.3D+1.3(L+i)+1.3CF+1.7H+1.3Q+1.3(0.5W+WL+BK) \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

$$U=1.3D+1.3(L+i)+1.3CF+1.7H+1.3Q+1.3G \dots\dots\dots \textcircled{4}$$

$$U=1.25D+1.65H+1.25Q+1.25W+1.25G \dots\dots\dots \textcircled{5}$$

$$U=1.25D+1.25(L+i)+1.25CF+1.65H+1.25Q+1.25(0.5W+WL+BK) \\ +1.25G \dots\dots\dots \textcircled{6}$$

$$U=D+H+Q+E \dots\dots\dots \textcircled{7}$$

$$U=1.3D+1.3(L+i)+1.3CF+1.7H+1.3Q+1.3CO \dots\dots\dots \textcircled{8}$$

$$U=1.2D+1.55H+1.2Q+1.2W+1.2CO \dots\dots\dots \textcircled{9}$$

- 여기서, D = 고정하중 또는 이에 따른 단면력.  
 L = 활하중 또는 이에 따른 단면력  
 i = 충격 또는 이에 따른 단면력  
 H = 토압 또는 이에 따른 단면력  
 W = 풍하중 또는 이에 따른 단면력  
 WL = 차량활하중에 작용하는 풍하중 또는 이에 따른 단면력  
 BK = 제동하중 또는 이에 따른 단면력  
 E = 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력  
 CF = 원심하중 또는 이에 따른 단면력  
 CO = 충돌하중 또는 이에 따른 단면력  
 G = 부등침하, 크리프, 건조수축, 제작 또는 시공시 치수의 착오, 습도변화 또는 온도변화등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력  
 Q = 부력 또는 양압력, 수압, 과압 등이 하중 또는 이에 따른 단면력

**(나) 특수 하중조합의 하중계수**

- 2, 3등급의 설계에서 초과하중에 대하여 검토하는 경우

$$U=1.3D+2.85(L+i) \dots\dots\dots \textcircled{10}$$

- 특별 과하중(탱크, 특수 중차량 등)에 대하여 검토하는 경우

$$U=1.3D+1.3(L+i)+1.3CF+1.7H+1.3Q \dots\dots\dots \textcircled{11}$$

• 식 ①에서 충격을 고려한 차량활하중과 보도 등의 균중하중의 하중조합에 의해서 외측 주거터를 설계할 때는 활하중계수를 2.15대신 1.65로 하여 설계한다. 다만 이때의 설계강도는 활하중계수를 2.15로 한 차량 활하중만에 의한 값보다 작아서는 안 된다. 이 경우에 있어서 바닥판 슬래브를 설계할 때는 활하중계수를 2.15 대신 1.3으로 한다.

- ①항의 모든 하중조합에서 각 경우에 대한 고정하중계수와 토압하중 계수는 각각 다음 표에 제시한 값을 사용하여야 한다.

〈표 6.7-24〉 주요하중조합에서 고정하중계수와 토압하중계수를 바꾸어 설계하는 경우

구 분	고 정 하 중 계 수	토 압 하 중 계 수	
식	기둥설계시 최소 축하중 및 최대 모멘트 또는 최대 편심에 대하여 설계할 경우	라멘구조에서 횡토압에 의해 정모멘트를 검토하는 경우	연직토압의 경우
① ~ ④ ⑦ ~ ⑧ ⑩ ~ ⑪	1.00	0.65	1.50
⑤ ~ ⑥	0.95	0.65	1.45
⑨	0.90	0.80	1.40

기초를 설계할 경우 토압이나 말뚝하중 등에는 하중계수에 의한 하중증가를 시키지 않는다. 또한, 전도, 활동 등에 대한 안전율을 사용하며 구조물 기초의 안정성을 검토하는 경우에는 하중계수를 사용하지 않는다.

(3) 적용 설계법

설 계 법	설 계 방 법	적 용	비 고
허용응력설계법 (WSD)	구조재를 탄성체로 보고 재료의 항복강도에 적합한 안전율을 고려한 허용응력을 사용하여 설계하는 방법	PSC,PF, 강구조	
강도설계법 (USD)	실제 하중이 작용하여 구조물이 파괴될 때에 콘크리트 압축응력 분포를 알아내어 이에 맞도록 적합한 하중계수(Load Factor)를 갖고 설계하는 방법	RC 구조	적용
한계상태설계법 (LSD)	부재, 상세요소의 극한내력강도 또는 한계내력에 기초를 두고 극한/한계하중에 의한 부재력이 부재의 극한/한계 내력을 초과하지 않도록 하는 설계방법	도로법에서 규정하는 도로상의 교량 (균도이상)	

주) 2012년에 도입된 도로교설계기준(한계상태설계법)의 제정에 따라 “2015년 1월 1일부터 한계상태설계법 적용을시행하도록 하고 있으나, 현재 대형 국책 도로사업 및 고속도로 공사의 일부 교량에 전문가의 기술자문을 받아 적용되었고 교량의 환경, 위치, 구조물의 중요도, 교량의 등급 및 노출환경과 한계기준 등 연구용역이 필요한 다양한 변수에 대해 발주자의 검토, 선정 및 제시가 필요하며 또한 일부 기준의 미확정(매입말뚝 및 곡선교) 등으로 설계 실무적용의 어려움이 있어 본과업의 교량은 안전성이 검증된 기존 설계방법인 허용응력설계법과 강도설계법을 적용함.

**아. 주요 재료 사용기준**

**(1) 콘크리트**

- 배수공의 설계기준을 적용한다.
- 해풍, 해수, 황산염 및 기타 유해물질에 노출된 콘크리트는 설계기준 강도  $f_{ck} = 30\text{MPa}$  이상을 적용한다.

**<표 6.7-26> 콘크리트의 최저 설계기준 강도**

부재의 종류		최저 설계기준 강도(MPa)
무근 콘크리트 부재		18
철근 콘크리트 부재		21
프리스트레스트 콘크리트 부재	프리텐션 방식	35
	포스트텐션 방식	30

**(2) 철근**

KSD 3504에 적합한 재료를 기준으로 적용한다.

**<표 6.7-27> 철근 종류별 적용 구조물**

종류	항복강도	허용응력	적용 구조물
SD 40	$f_y=400\text{MPa}$	$f_{sa}=180\text{MPa}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ck} = 27 \text{ MPa}</math> 이상 구조물</li> <li>• 일반적 부재</li> </ul>
		$f_{sa}=160\text{MPa}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 바닥 및 지간이 10m이하인 슬래브교</li> <li>• 수중 혹은 지하수위 이하에 설치되는 구조물</li> </ul>
SD 35	$f_y=350\text{MPa}$	$f_{sa}=175\text{MPa}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ck} = 27 \text{ MPa}</math> 이상 구조물</li> <li>• 일반적 부재</li> </ul>
		$f_{sa}=160\text{MPa}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 바닥 및 지간이 10m이하인 슬래브교</li> <li>• 수중 혹은 지하수위 이하에 설치되는 구조물</li> </ul>
SD 30	$f_y=300\text{MPa}$	$f_{sa}=150\text{MPa}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ck} = 27 \text{ MPa}</math> 미만 구조물</li> </ul>

**(3) PC 강재**

KSD 7002에 적합한 재료를 기준으로 적용한다.

- SWPC 7B (2중) 항복점 강도  $f_{py} = 1,600 \text{ MPa}$   
인장 강도  $f_{pu} = 1,900 \text{ MPa}$
- 기타사항은 관련 시방기준에 따라 적용할 수 있다.

## (4) 일반강재

〈표 6.7-28〉 일반강재

허용응력	SM400	SM490	SM520	비고
허용 (휨)인장응력	140MPa	190MPa	215MPa	강재 판두께 : 40mm이하
허용 전단응력	80MPa	110MPa	125MPa	
허용 (휨)압축응력	도로교 설계기준(2010)의 강교편 참조			

## 자. 철근 구조 세목 적용 기준

## (1) 철근 피복 기준

철근피복은 도로교설계기준 및 콘크리트 구조설계기준에 근거하여 다음 표와 같이 적용한다.

〈표 6.7-29〉 철근피복기준

구분		시방규정 (mm)	사용피복 (mm)	비고	
슬래브 (바닥판)	상부	50	60	주철근 $\phi$ 19 이하	
			70	주철근 $\phi$ 22 이상	
	하부	30	40	주철근 $\phi$ 19 이하	
			50	주철근 $\phi$ 22 이상	
교대	구체	60 (80)	100	무너거푸집사용시도 동일 ( )는 지중,수중 콘크리트인 경우 커플러 사용시 피복 : 125	
교각	파라페트 날개벽	노출면	40	60 (80)	( )는 무너거푸집 사용시
		지중면	60	80	
라멘	슬래브	상부	60 (50)	80 (70)	( )는 지상 노출시
		하부	40	60	
	벽체		60	100	
	날개벽	노출면	40	60 (80)	( )는 무너거푸집 사용시
지중면		60	80		
옹벽	구체	노출면	40	80 (100)	( )는 무너거푸집 사용시
		지중면	60	80	
암 거	통로	노출면 (내측)	40	70 (90)	( )는 무너거푸집 사용시
		지중면 (외측)	60	90 (100)	( )는 주철근 $\phi$ 22 이상 사용시
수로	노출면 (내측)	노출면 (내측)	80	90 (100)	( )는 주철근 $\phi$ 22 이상 사용시
		지중면 (외측)	60	90 (100)	( )는 주철근 $\phi$ 22 이상 사용시
기초	직접기초		80	100	
	PILE 기초	상면·측면	80	100	
		하면	80	150	PILE 두부근입깊이(100) 고려

- 주) 1. 시방규정 : 철근의 표면과 콘크리트 표면과의 최단거리  
2. 사용피복 : 주철근 도심에서 콘크리트 표면까지의 거리

(2) 철근비 기준

<표 6.7-30> 최소철근비

항 목	내 용	비 고
① 건조수축 및 온도철근	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_y \leq 400</math> MPa, <math>P_{min} \geq 0.002</math></li> <li>• <math>f_y &gt; 400</math> MPa, <math>P_{min} \geq 0.002 \times \frac{400}{f_y}</math></li> </ul>	콘크리트 구조설계기준 P89
② 휨 부 재	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>P_{min} &gt; \text{MAX} \left( \frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y}, \frac{1.4}{f_y} \right)</math></li> </ul>	콘크리트 구조설계기준 P98
③ 플랜지가 인장상태인 정정 구조물	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>P_{min} &gt; \text{MAX} \left( \frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y}, \frac{1.4}{f_y} \right)</math></li> </ul>	콘크리트 구조설계기준 P98
④ 두께가 균일한 구조용 슬래브 및 기초판	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_y \leq 400</math> MPa, <math>0.0014 &lt; P_{min} &lt; 0.002</math></li> <li>• <math>f_y &gt; 400</math> MPa, <math>0.0014 &lt; P_{min} &lt; 0.002 \times \frac{400}{f_y}</math></li> </ul>	도로교설계기준(2005) P248 콘크리트 구조설계기준 P89
⑤ 압축부재 (기둥)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0.01 A \leq P_{min} \leq 0.08 A</math> A : 압축부재의 총단면적</li> </ul>	콘크리트 구조설계기준 P100
⑥ 벽 체	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수직철근 <math>P_{min} &gt; 0.0015</math></li> <li>• 수평철근 <math>P_{min} &gt; 0.0025</math></li> </ul>	콘크리트 구조설계기준 P187

주) 건조수축 및 온도철근 : 교대, 기초 등 교량 하부구조에 배치하여야 하는 온도·수축철근의 단면적은 0.0015hs 이상되어야 한다. 여기서 h는 부재의 두께이며 s는 온도·수축철근의 간격이다.

<표 6.7-31> 균형 철근비(Pb)와 최대 철근비(Pmax)

구 분	균 형 철 근 비 (Pb)	최대철근비 (Pmax)
인장철근만을 갖는 직사각형 단면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>P_b = 0.85\beta_1 \frac{f_{ck}}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)</math></li> </ul>	$P_{max} = 0.75 P_b$
압축철근만을 갖는 직사각형 단면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>P_b = \overline{P_b} + P' \frac{f'_s}{f_y}</math></li> <li>여기서 <math>f'_s =</math> 균형조건에서의 압축철근의 응력</li> <li><math>f'_s = 600 \left( 1 - \frac{d'}{d} \cdot \frac{600 + f_y}{600} \right) \leq f_y</math></li> </ul>	$P_{max} = 0.75 P_b$

계수전단력  $V_u$ 가 콘크리트에 의한 설계전단강도  $\phi V_c$ 의 1/2을 초과하는 모든 철근 콘크리트 휨부재에는 다음의 경우를 제외하고는 최소전단철근을 배치하여야 한다.

- 슬래브와 기초판
- 전체 깊이가 250mm이하이거나 I형보, T형보에서 그 높이가 플랜지 두께의 2.5배 또는 복부폭의 1/2 중 큰 값 이하인 보
- 교대 벽체 및 날개벽, 옹벽의 벽체, 암거등과 같이 휨이 주거동인 판 부재

(3) 철근의 정착길이

(가) 인장을 받는 이형철근의 정착길이

인장을 받는 이형철근의 정착길이  $l_d$  (mm)는 기본 정착길이( $l_{db}$ )에 보정계수를 곱하여 구하며, 이때  $l_d$ 는 항상 300mm 이상이어야 한다.

〈표 6.7-32〉 기본정착길이에 의한 산정

구	분	내 용	
기 본 정착길이	D35 이하의 철근	$l_{db} = \frac{0.6 d_b f_v}{\sqrt{f_{ck}}}$ 여기서, $d_b$ =철근의 지름	
보정계수	조건 / 철근지름	D19이하의 철근과 이형철선	D22이상의 철근
	정착되거나 이어지는 철근 순간격이 $d_b$ 이상이고 피복두께도 $d_b$ 이상이면서 $l_d$ 전 구간에 설계기준에 규정된 최소 철근량 이상의 스테럽 또는 띠철근을 배치한 경우 또는 정착되거나 이어지는 철근의 순간격이 $2d_b$ 이상이고 피복 두께가 $d_b$ 이상인 경우	0.8 $\alpha \beta \lambda$	$\alpha \beta \lambda$
	기 타	1.2 $\alpha \beta \lambda$	1.5 $\alpha \beta \lambda$
① $\alpha$ = 철근 배근 위치계수 (가) 상부철근(정착길이 또는 겹침이음부 아래 300mm를 초과되게 굳지 않은 콘크리트를 타설 한 수평 철근) ..... 1.3 (나) 기타 철근 ..... 1.0  ② $\beta$ = 에폭시 도막 계수 (가) 피복두께가 3db미만 또는 순간격이 6db미만인 에폭시 도막철근 또는 철선 ..... 1.5 (나) 기타 에폭시 도막철근 또는 철선 ..... 1.2 (다) 도막되지 않은 철근 ..... 1.0  ③ $\lambda$ = 경량 콘크리트 계수 (가) $f_{sp}$ 가 주어지지 않은 경량 콘크리트 ..... 1.3 (나) $f_{sp}$ 가 주어진 경량 콘크리트 ..... $\frac{\sqrt{f_{ck}}}{1.76f_{sp}} \geq 1.0$ (다) 일반 콘크리트 ..... 1.0  ④ 에폭시 도막철근이 상부 철근인 경우에 상부철근의 보정계수 $\alpha$ 와 에폭시 도막 계수 $\beta$ 의 곱 $\alpha \cdot \beta$ 가 1.7보다 클 필요는 없다.			

<표 6.7-33> 공식에 의한 정착길이 산정

구 분		내 용
기 본 정착길이	D35 이하의 철근	$\ell_d = \frac{0.90d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b}\right)}$ 위 식에서 $\frac{c+K_{tr}}{d_b}$ 은 2.5이하이어야 함
보정계수	① $\gamma$ = 철근 또는 철선의 크기계수 (가) D19이하의 철근과 이형철선 ..... 0.8 (나) D22 이상의 철근 ..... 1.0 ② $c$ = 철근간격 또는 피복두께에 관련된 치수 $c$ 는 철근 또는 철선의 중심으로부터 콘크리트 표면까지의 최단거리 또는 정착되는 철근 또는 철선의 중심간 거리의 1/2중 작은 값을 사용 하여 mm 단위로 나타낸다. ③ $K_{tr}$ = 횡방향 철근 치수 $= \frac{A_{tr} f_{yt}}{10.7 s_n}$ 횡방향 철근이 배치되어 있더라도 설계를 간편하게 하기 위해 $K_{tr} = 0$ 으로 사용할 수 있다.	

인장 이형철근 및 이형철선의 정착길이  $\ell_d$ 는 설계자의 적절한 판단하에 도로교 설계기준 4.3.11.2의 기본정착길이  $\ell_{db}$ 에 4.3.11.3의 보정계수를 고려하는 방법 혹은 식(4.3.8)에 의한 방법 중 선택적으로 적용하여야 한다. (도로교 설계기준 참조)

<표 6.7-34> 압축을 받는 이형철근의 정착길이

구 분		내 용
기 본 정 착 길 이		$\ell_{db} = \frac{0.25d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}}$ 단, $0.043d_b f_y$ 이상이라야 함.
보정계수	해석결과 요구되는 철근량을 초과하여 배치한 경우	$\frac{\text{소요}A_s}{\text{배근}A_s}$
	지름 6mm 이상이 나선 간격이 100mm이하인 나선철근 또는 중심간격 100mm이하로 콘크리트 구조설계기준 5.2.2(3)의 요구조건에 따라 배치된 D13 띠철근으로 둘러싸인 압축 이형철근	0.75

압축을 받는 이형철근의 정착길이

본 정착길이에 보정계수를 곱하여 구해야 하며, 이때  $\ell_d \geq 200 \text{ mm}$  이라야 한다.

## (4) 철근의 이음길이 기준

## (가) 인장 이형철근의 이음

〈표 6.7-35〉 겹침이음의 길이

구	분	이	음	길	이
A	급 이 음	1.0	$l_d$	이	상
B	급 이 음	1.3	$l_d$	이	상

300 mm 이상

주)  $l_d$  : 이형철근의 정착길이

〈표 6.7-36〉 겹침이음의 등급

구	분	이	음	길	이
A	급 이 음	• 배근된 철근량이 이음부 전 구간에서 해석결과 요구되는 소요 철근량의 2배 이상이고, 겹침이음 길이내 겹침이음된 철근량이 전체 철근량의 1/2 이하인 경우			
B	급 이 음	A급 이외의 이음			

〈표 6.7-37〉 용접이음 및 기계적 연결

구	분	조	건	소	요	강	도
용	접 이 음	•이음부에서 배근된 철근량이		1.25		$f_y$	이 상
기	계 적 연 결	해석결과 요구되는 소요철근량의		1.25		$f_y$	이 상
	(COUPLER)	2배 미만인 경우					

## (나) 압축 이형철근의 이음

## ① 겹침이음

- 압축철근의 겹침이음길이는  $f_y$ 가 400 MPa이하인 경우에는  $0.072 f_y d_b$  이상이고  $f_y$ 가 400 MPa를 초과할 경우에는  $(0.13 f_y - 24) d_b$  이상이라야 하고, 어느 경우에도 300mm 이상이어야 한다. 이때 콘크리트의 설계기준 압축강도가 21 MPa 미만인 경우에는 겹침 이음길이를  $\frac{1}{3}$  증가시켜야 한다.

- 서로 다른 치수의 철근을 압축부에서 겹침이음 하는 경우, 이음길이는 치수가 큰 철근의 정착길이와 치수가 작은 철근의 겹침이음길이 중 큰 값 이상이어야 한다. 이때 D41과 D51 철근은 D35이하 철근과 겹침이음이 허용된다.

## ② 용접이음 또는 기계적 연결

- 압축부에서 사용한 용접이음과 기계적 연결은  $f_y$ 의 125% 이상을 발휘할 수 있는 완전용접 및 기계적 연결이어야 한다.

③ 단지압 이음

- 철근이 압축력만을 받을 경우에는 수직절단된 철근의 양 끝을 적절한 장치에 의해 중심이 잘 맞도록 접촉시킴으로써 압축응력을 직접지압에 의해 전달할 수 있다.
- 철근의 양 단부는 철근 축방향의 직각되는 면에 1.5° 이내의 오차를 갖는 평탄한 면이 되어야 하고 조립후 지압면의 오차는 3° 이내이어야 한다.
- 단부지압이음은 폐쇄 띠철근, 폐쇄 스티럽 또는 나선철근을 갖는 압축 부재에만 사용하여야 한다.

④ 설계시 적용 이음장

- 이음장은 B급 이음장을 적용한다.
- 인장철근과 압축철근의 구분에 혼선이 있으므로 인장철근 이음장을 적용한다.
- 철근 밑에서 300mm이상의 콘크리트 두께를 갖는 수평철근은 상부 철근 이음장을 적용한다.

**차. 교대의 기초 설계**

- 연약지반 위에 만들어지는 교대의 기초 설계 시에는 축방향 이동의 유무를 검토하여야 한다.
- 말뚝 시공 후 지반의 이완 또는 말뚝의 돌출을 고려하여 교대 앞면을 기초폭 이상의 여유를 확보한다.
- 말뚝머리의 수평변위량을 계산할 때 돌출말뚝으로 계산한다.

**카. 내진 설계기준**

**(1) 내진설계 기준의 기본 개념**

설계기준은 다음의 기본 개념에 기초를 두고 있다.

- 인명피해를 최소화 한다.
- 지진시 교량 부재들의 부분적인 피해는 허용하나 전체적으로 붕괴는 방지한다.
- 지진시 가능한 한 교량의 기본 기능은 발휘할 수 있게 한다.
- 교량의 정상수명 기간내에 설계지진력이 발생할 가능성은 희박하다.
- 설계기준은 국내 전역에 적용한다.

- 본 규정을 따르지 않더라도 창의력을 발휘하여 보다 발전된 설계를 할 경우에는 이를 인정한다.

## (2) 내진 구조 계획

내진구조계획의 목표는 지진시 발생하는 구조물의 변형과 부재력에 적절히 대응할수 있도록 구조적 안정성과 경제성의 양 측면을 동시에 만족하는 교량 설계를 도모 하는 데 있다. 초기 계획 단계에서의 내진 구조계획은 교량의 기하학적 형상, 상하부구조형식, 사용재료 특성, 부재간 연결상태 등을 종합적으로 고려하여 지진하중에 대한 효율성을 제고토록 하여야 하는바, 조건이 허락하는 한도 내에서 다음 기본 조건을 만족하도록 한다.

### (가) 단순성

지진하중에 의한 상부 관성력을 직접적이고도 명확한 하중경로를 통하여 하부구조 및 지반으로 전달할 수 있는 구조물이 되도록 하여야 한다.

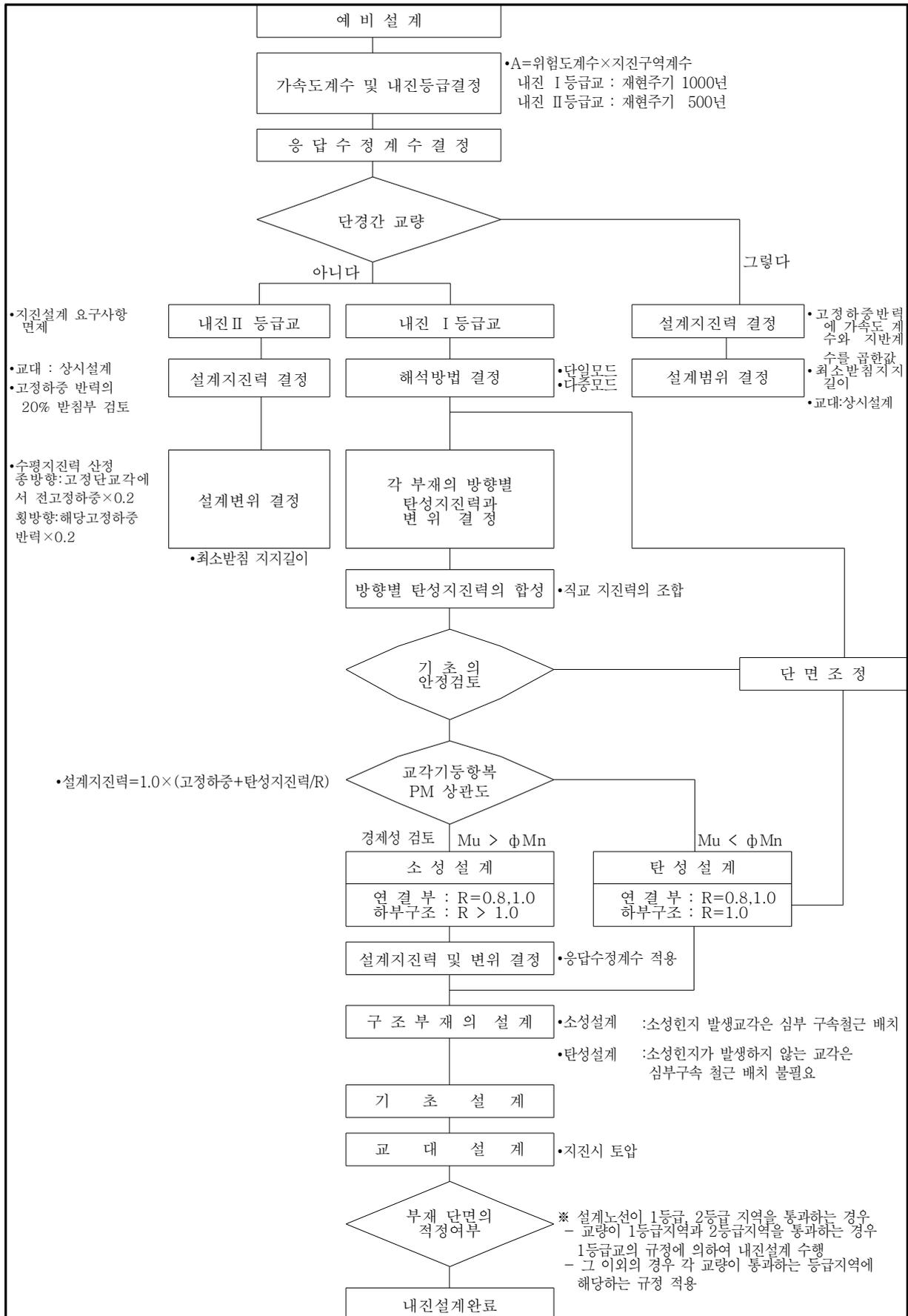
### (나) 대칭성

지진시 구조부재의 수직축에 대한 비틀림을 최소화 할수 있도록 교량의 기하학적 대칭성 및 경계조건 대칭성, 질량중심과 강성중심의 일치성을 확보토록 한다.

### (다) 완전성 및 연속성

지진하중의 효율적 분산을 위하여 부재 강성의 연속성 및 연결부의 강성을 고려한 구조계획, 낙교방지계획(연단거리 확보) 및 하부구조의 연성도(Ductility)의 확보가 필요하다.

(3) 내진설계 흐름도



**(4) 가속도 계수 결정**

지진가속도 계수 A = 위험도 계수 × 지진구역 계수

**<표 6.7-38> 지진구역 구분**

지진구역	행정 구역		비고
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	금회적용
	도	경기도, 강원도 남부(1), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)	
II	도	강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도	

- 주) 1. 강원도 남부 (군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시  
 2. 전라남도 북동부 (군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 화순, 광양시, 나주시, 여수시, 순천시  
 3. 강원도 북부 (군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시  
 4. 전라남도 남서부 (군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시  
 5. 행정구역의 경계를 통과하는 교량의 경우에는 구역계수가 큰 값을 적용한다.

**<표 6.7-39> 지진구역 계수 (재현주기 1000년에 해당)**

지진구역	I	II	비고
구역 계수	0.11	0.07	

**<표 6.7-40> 위험도 계수**

재현주기 (년)	500	1000	비고
위험도 계수, I	1	1.4	

**<표 6.7-41> 도로교의 내진등급과 설계지진**

내진등급	교량	설계지진의 평균재현주기
내진 I 등급교	<ul style="list-style-type: none"> <li>고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도 또는 일반국도상의 교량</li> <li>지방도, 시도 및 군도 중 지역의 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량, 해당도로의 일일 계획교통량을 기준으로 판단했을 때 중요한 교량</li> <li>내진 I 등급교가 건설되는 도로위를 넘어가는 고가교량</li> </ul>	1000년
내진 II 등급교	<ul style="list-style-type: none"> <li>내진 I 등급교에 속하지 않는 교량</li> </ul>	500년

**(5) 지반계수**

지반의 영향은 교량의 지진하중을 결정하는데 고려되어야 한다.

표에 명시된 지반계수 S는 지반의 분류에 정의된 지반종류에 근거를 두었다.

**<표 6.7-42> 지반계수**

지반 계수	지 반 종 류				비고
	I	II	III	IV	
S	1.0	1.2	1.5	2.0	

**<표 6.7-43> 지반의 분류**

지반 종류	지반 계수	지반종류의 호칭	지표면 아래 30m 토층에 대한 평균값		
			전단파 속도 ( m/s )	표준관입시험 ( N치(1) )	비 배 수 전단강도( kPa )
I	1.0	경암지반 보통암지반	760 이상	-	-
II	1.2	매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360에서 760	> 50	> 100
III	1.5	단단한 토사지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
IV	2.0	연약한 토사지반	180 미만	< 15	< 50
V	-	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반			

주)1. 비점착성 토층만을 고려한 평균 N치

6.7.4 교량형식 선정

가. 교량형식 비교(안)

<표 6.7-44> 교량형식 비교(안)

구 분	1안 - RC BOX교	2안 - RC 라멘교	3안 - 합성형 라멘교
개요도			
공법 개요	철근 콘크리트를 폐합식 구조로 하여 외부하중을 구조물 강성으로 저항하며, 하부슬래브 전체면으로 상부 하중을 지지함	철근 콘크리트를 라멘 구조로 하여 외부하중을 구조물 강성 및 측면토사로 저항하며, 기초면적 상부 하중을 지지함	강재 또는 PC강선 과 철근 콘크리트를 합성한 라멘 구조로 하여 외부하중을 구조물 강성 및 측면토사로 저항하며, 기초면적 상부 하중을 지지함
경간장 (m)	15m 이하	20m 미만	20m ~ 45m
장·단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 구조적 안전성 양호 : 교량 실적 많음</li> <li>· 시공성 양호 : 기초 터파기 양이 적으며, 양질의 토사지므로 기초 보강공사가 불필요함</li> <li>· 유지관리 양호 : 교좌 및 신축장치 미설치 하천교량</li> <li>· 경관 보통 : 단면두께가 다소 높으나, 측면부 곡선처리 가능</li> <li>· 공사비 및 유지관리비 고려시 경제성 양호</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 구조적 안전성 양호 : 교량 실적 많음</li> <li>· 시공성 불량 : 기초 터파기 양이 증가하며, 지반이 연약할 경우 파일 기초 공사가 필요함</li> <li>· 유지관리 양호 : 교좌 및 신축장치 미설치 하천교량</li> <li>· 경관 보통 : 단면두께가 다소 높으나, 측면부 곡선처리 가능</li> <li>· 공사비 및 유지관리비 고려시 경제성 보통</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 구조적 안전성 양호 : 교량 실적 많음</li> <li>· 시공성 보통 : 기초 터파기 양이 증가하며, 지반이 연약할 경우 파일 기초 공사가 필요하나 동바리 불필요</li> <li>· 유지관리 양호 : 교좌 및 신축장치 미설치 하천교량</li> <li>· 경관 양호 : 단면두께가 낮아 슬림함</li> <li>· 공사비 및 유지관리비 고려시 경제성 불리</li> </ul>
계략 공사비	180만원/m <sup>2</sup> (총공사비)	200만원/m <sup>2</sup> (총공사비)	230만원/m <sup>2</sup> (총공사비)
추천안	◎		

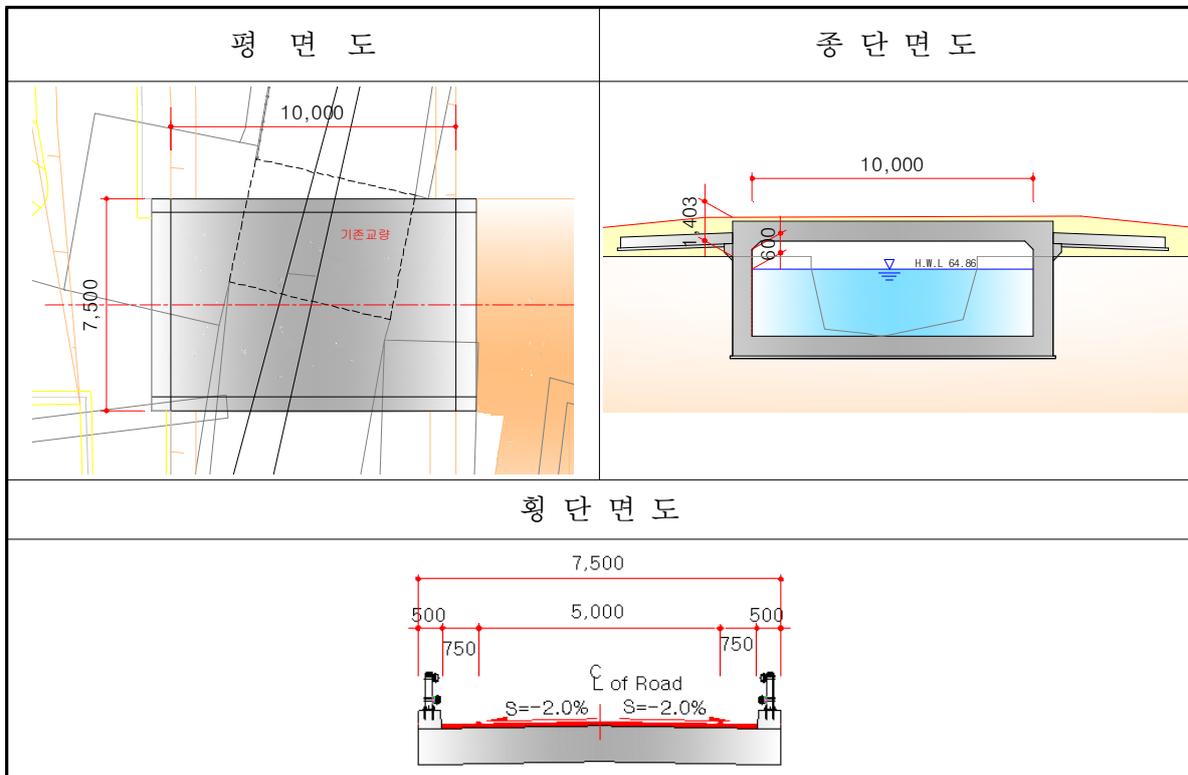
나. 왜골제1교

본 교량은 왜골천을 횡단하여 소망의 집에 입구에 설치된 교량으로 소하천정비종합 계획에 따라 좌우 축제구간에 맞춰 확장 재가설되어야 하고, 계획홍수위 EL.64.86m 에 0.6m여유고를 감안하여 0.56m 증고하여야 함.

<표 6.7-45> 설계 기초자료

구 분		내 용	현 장 사 진
위 치		NO.50+19	
하천제원	계획하폭(m)	10.0	
	계획홍수량	68m <sup>3</sup> /s	
선형제원	평면선형 R	∞	
	종단선형 S	0.3%	
	평면사각	0°	
교량규모	길이 L(m)	10.0	
	폭원 B(m)	7.5	

(1) 종평면도



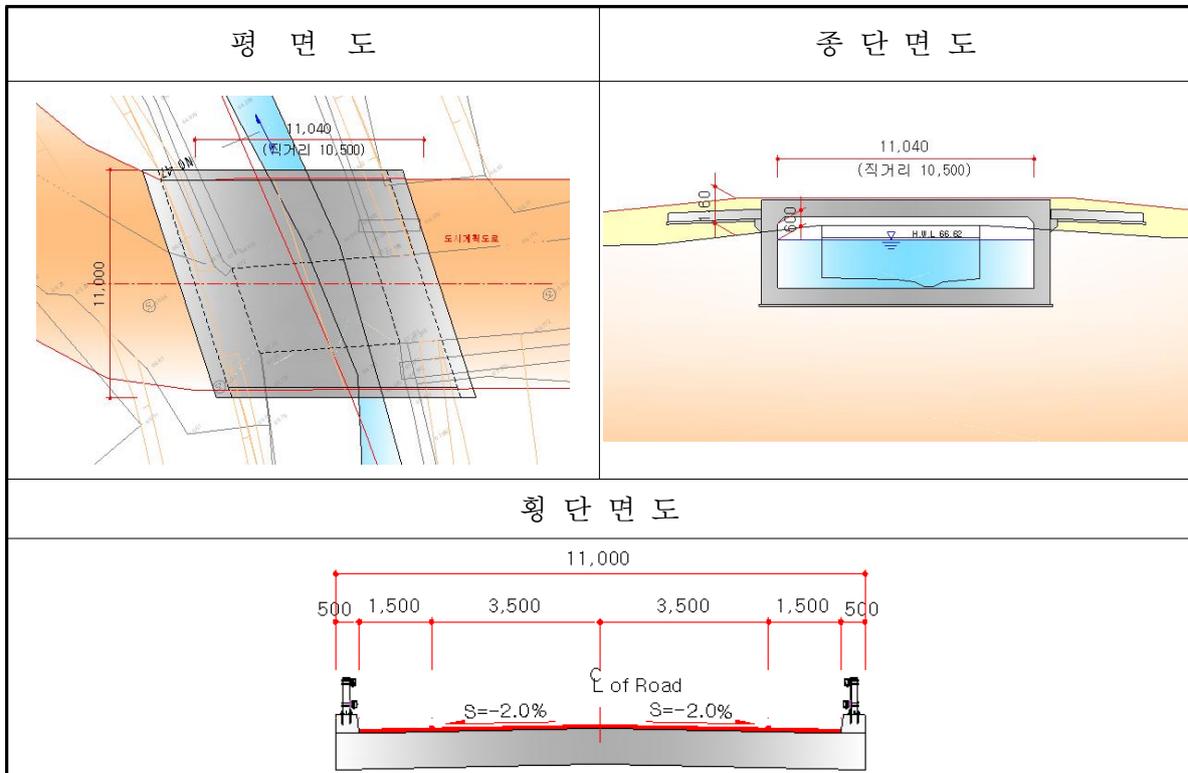
**다. 왜골제2교**

본 교량은 왜골천을 횡단하는 도시계획시설(교통시설) 도로폭 10m로 계획되어 있는 구간으로 계획홍수위 EL.66.62m이며, 좌우측 제방을 축제 계획함에 따라 재가설하여야 함.

**<표 6.7-46> 설계 기초자료**

구 분		내 용	현 장 사 진
위 치		NO.46+12	
하천제원	계획하폭(m)	10.0	
	계획홍수량	68m <sup>3</sup> /s	
선형제원	평면선형 R	∞	
	종단선형 S	0.3%	
	평면사각	72°	
교량규모	길이 L(m)	10.5	
	폭원 B(m)	11.0	

**(1) 종평면도**



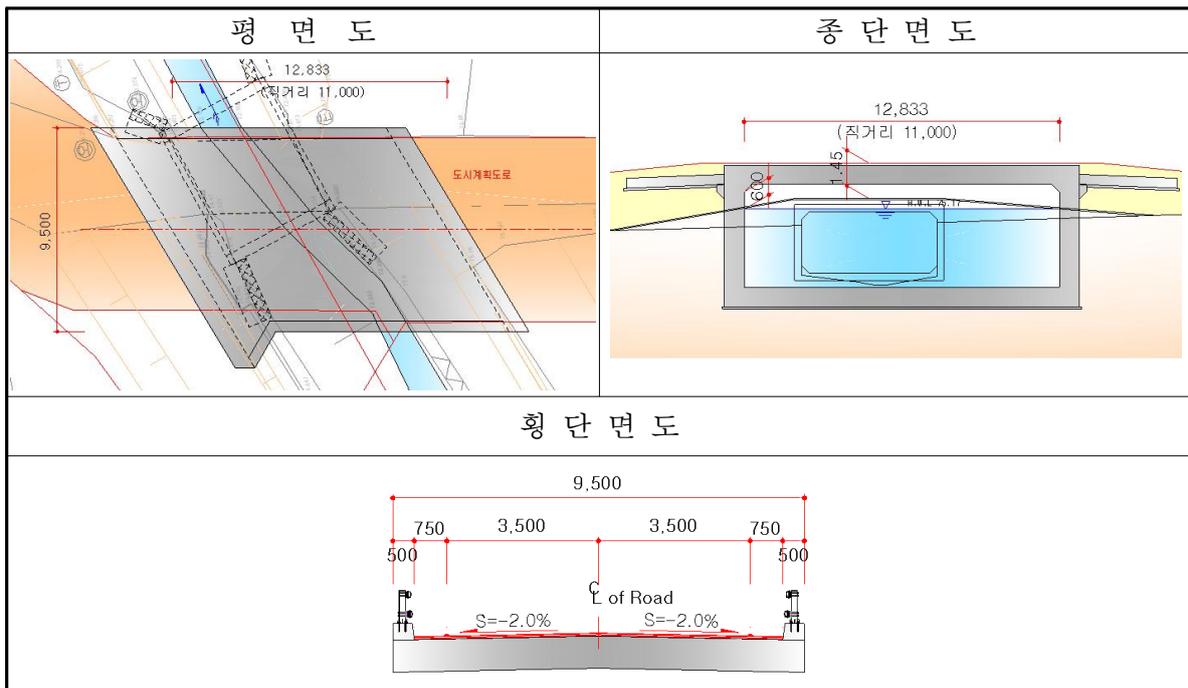
**라. 왜골제4교**

본 교량은 왜골천 중류부에 위치하고 계획홍수위 EL.75.17m이며, 하폭이 협소하여 범람하는 구간으로 최근 교량이 붕괴됨에 따라 2016년에 재가설 되었으나, 기본계획 좌우안측 축제계획에 맞춰 11.0m로 확장하고, 도시계획시설(교통시설) 도로폭 8.5m로 계획되어 있는 구간으로 확폭이 필요하며, 시공기준 교량저고(현처하단)는 74.75m로 하였으므로, 계획홍수위가 EL.75.17m보다 1.02m(여유고 0.6m) 부족하므로 재가설이 필요함.

**<표 6.7-47> 설계 기초자료**

구 분		내 용	현 장 사 진
위 치		NO.28+6	
하천제원	계획하폭(m)	11.0	
	계획홍수량	68m <sup>3</sup> /s	
선형제원	평면선형 R	∞	
	종단선형 S	0.3%	
	평면사각	59°	
교량규모	길이 L(m)	11.0	
	폭원 B(m)	9.5	

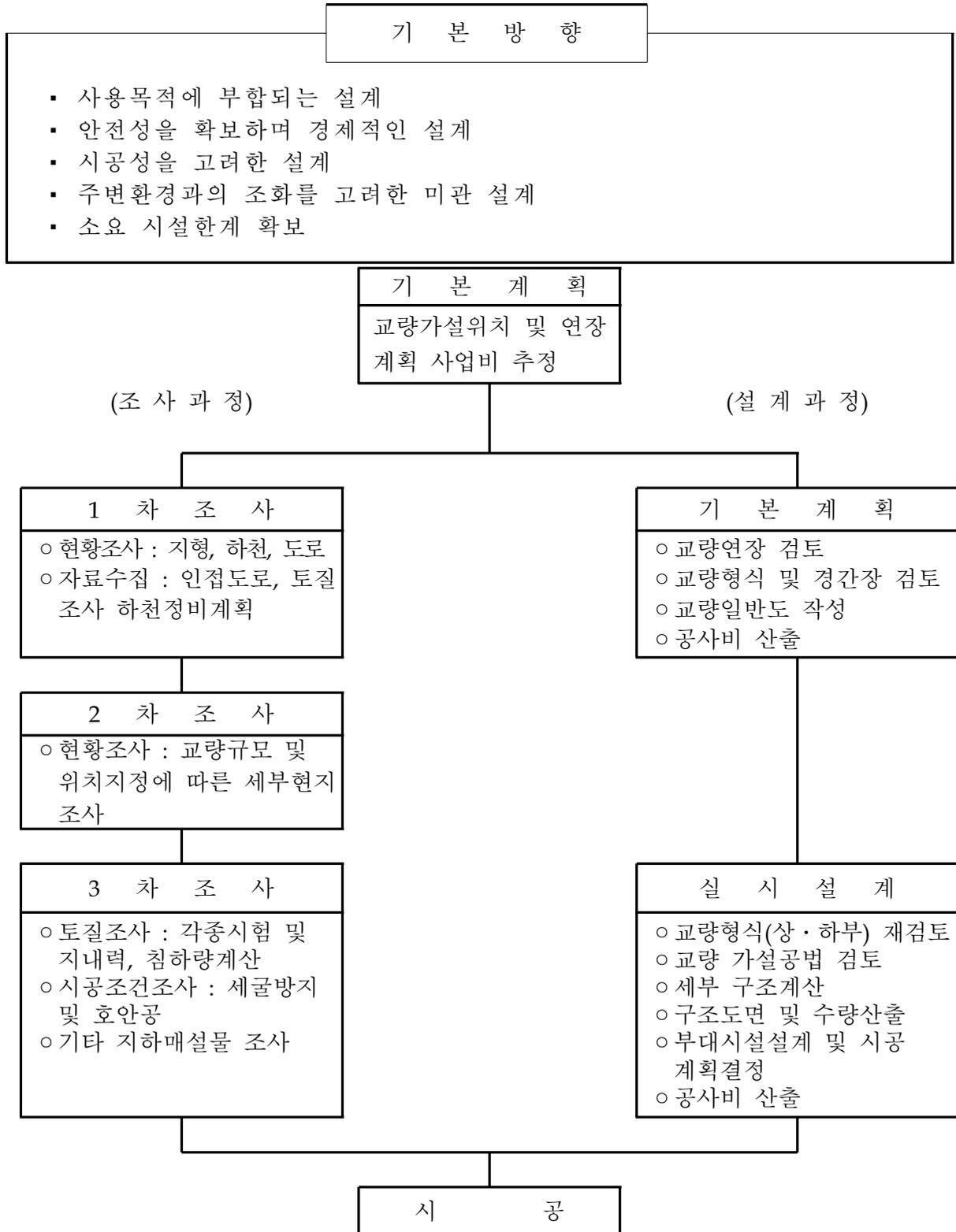
**(1) 종평면도**



### 6.7.5 교량 구조 설계

#### 가. 교량별 구조 설계

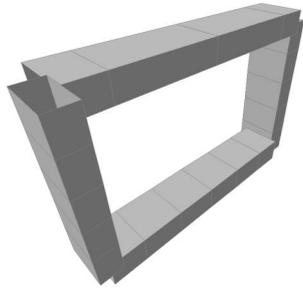
본 과업의 교량계획을 위한 검토방향은 다음과 같다.



〈그림 6.7-30〉 교량계획조사 설계흐름도

1) 왜골제 1교 단면검토

가) 설계조건

설계조건		모델링
제원	폭원 : 7.5m, 연장 : 10.0m	
사용재료	콘크리트압축강도 : 27MPa	
	철근항복강도 : 400MPa	
교량등급	2등급(DB18, DL18)	
내진등급	I 등급(지진구역 I)	

나) 단면검토

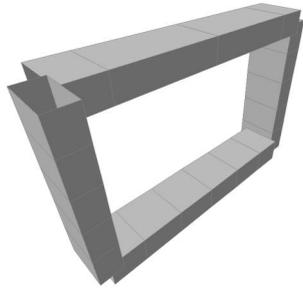
구분	단면 두께 (mm)	검토 위치	모멘트 (kN · m)		사용철근	전단력 (kN)		사용철근	검토 결과
			Mu	Φ Mn		Vu	Φ Vn		
상부 슬래브	700	단부	510.09	708.62	D22@125	337.6	415.69	필요없음	O.K
		중양	490.30	603.33	D22@125	-	-	필요없음	O.K
외측벽체	700	상단	510.09	708.62	D22@125	62.6	537.32	필요없음	O.K
		중양	51.36	102.63	D13@250	-	-	필요없음	O.K
		하단	567.42	778.25	D25@125	147.1	537.32	필요없음	O.K
하부 슬래브	700	단부	567.42	778.25	D25@125	374.8	415.69	필요없음	O.K
		중양	471.72	603.33	D22@125	-	-	필요없음	O.K

다) 균열검토

구분	단면 두께 (mm)	피복 두께 (mm)	검토 위치	최대철근간격 (mm)		검토 결과
				Smax	적용간격	
상부 슬래브	700	100	단부	269	125	O.K
		100	중양	157	125	O.K
외측벽체	700	100	상단	269	125	O.K
		100	중양	-	250	O.K
		100	하단	198	125	O.K
하부 슬래브	700	100	단부	198	125	O.K
		100	중양	208	125	O.K

2) 왜골제 2교 단면검토

가) 설계조건

설계조건		모델링
제원	폭원 : 11.0m, 연장 : 10.5m	
사용재료	콘크리트압축강도 : 27MPa	
	철근항복강도 : 400MPa	
교량등급	2등급(DB18, DL18)	
내진등급	I 등급(지진구역 I)	

나) 단면검토

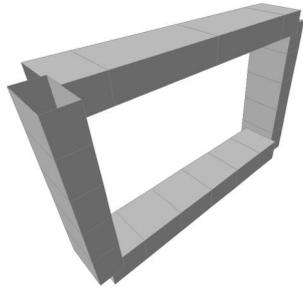
구분	단면두께 (mm)	검토위치	모멘트 (kN · m)		사용철근	전단력 (kN)		사용철근	검토결과
			Mu	Φ Mn		Vu	Φ Vn		
상부슬래브	700	단부	550.68	729.68	D22@125	346.6	429.55	필요없음	O.K
		중앙	514.40	624.39	D22@125	-	-	필요없음	O.K
외측벽체	700	상단	550.68	729.68	D22@125	60.4	429.55	필요없음	O.K
		중앙	22.92	106.07	D13@250	-	-	필요없음	O.K
		하단	587.18	805.81	D25@125	138.0	429.55	필요없음	O.K
하부슬래브	700	단부	587.18	805.81	D25@125	383.0	429.55	필요없음	O.K
		중앙	472.17	624.39	D22@125	-	-	필요없음	O.K

다) 균열검토

구분	단면두께 (mm)	피복두께 (mm)	검토위치	최대철근간격 (mm)		검토결과
				Smax	적용간격	
상부슬래브	700	100	단부	293	125	O.K
			중앙	199	125	O.K
외측벽체	700	100	상단	293	125	O.K
			중앙	-	250	O.K
			하단	244	125	O.K
하부슬래브	700	100	단부	244	125	O.K
			중앙	267	125	O.K

### 3) 왜골제 4교 단면검토

#### 가) 설계조건

설 계 조 건		모 델 링
제 원	폭원 : 9.5m, 연장 : 11.0m	
사 용 재 료	콘크리트압축강도 : 27MPa	
	철근항복강도 : 400MPa	
교량등급	2등급(DB18, DL18)	
내진등급	I 등급(지진구역 I)	

#### 나) 단면검토

구 분	단면 두께 (mm)	검토 위치	모멘트 (kN · m)		사용철근	전단력 (kN)		사용철근	검토 결과
			Mu	∅ Mn		Vu	∅ Vn		
상 부 슬래브	700	단부	662.35	834.97	D22@125	375.5	498.83	필요없음	O.K
		중양	608.87	943.63	D22@125	100.9	498.83	필요없음	O.K
외 측 벽 체	700	상단	662.35	834.97	D22@125	105.2	498.83	필요없음	O.K
		중양	85.21	123.30	D13@250	109.3	498.83	필요없음	O.K
		하단	663.68	943.63	D25@125	170.0	498.83	필요없음	O.K
하 부 슬래브	700	단부	664.02	943.63	D25@125	240.5	498.83	필요없음	O.K
		중양	443.93	729.68	D22@125	125.4	498.83	필요없음	O.K

#### 다) 균열검토

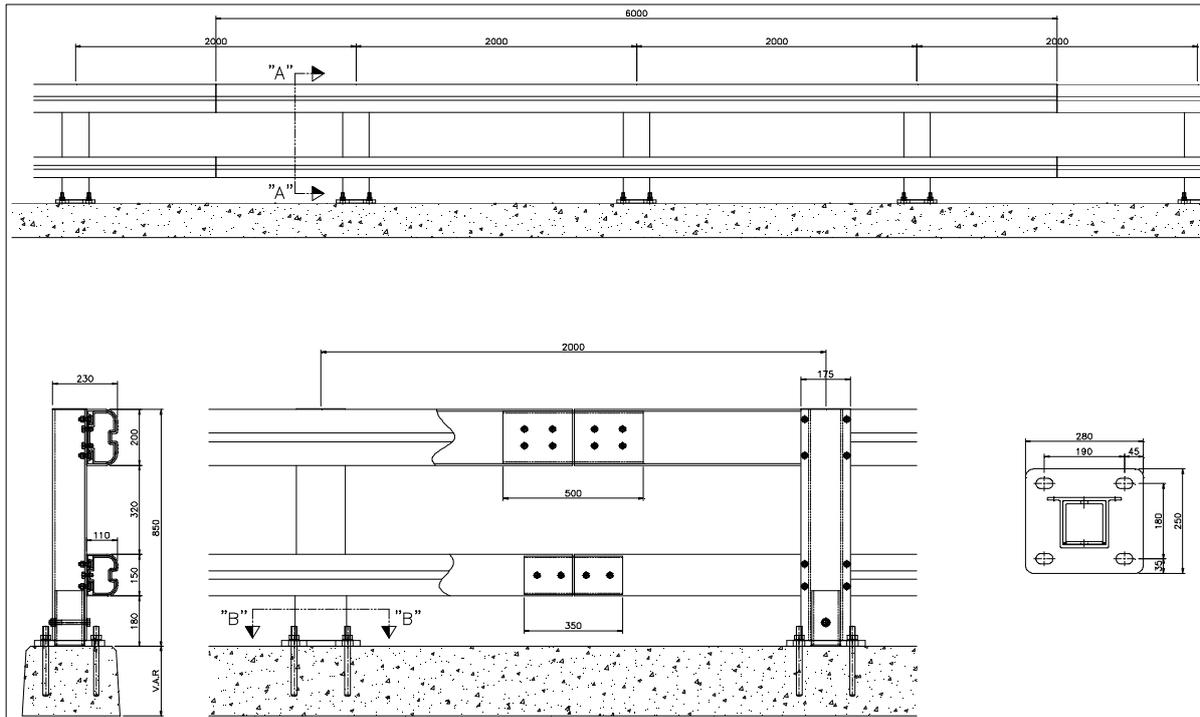
구 분	단면 두께 (mm)	피복 두께 (mm)	검토 위치	최대철근간격 (mm)		검토 결과
				Smax	적용간격	
상 부 슬래브	700	100	단부	268	125	O.K
		100	중양	302	125	O.K
외 측 벽 체	700	100	상단	268	125	O.K
		100	중양	-	250	O.K
		100	하단	273	125	O.K
하 부 슬래브	700	100	단부	274	125	O.K
		100	중양	378	125	O.K

### 6.7.6 교량난간 및 무늬거푸집

#### 가. 교량난간

금회 왜골천 교량에 차량 및 주민의 추락사고 방지를 위한 교량난간을 설치계획 하였다.

#### - 상세도



#### - 설치예시도



- 간결함을 앞세운 디자인으로 최소한의 형태를 지향
- 난간레일 분체도장 선택시 다양한 채색이 가능하여 미관이 수려  
(위:연두색, 아래 : 회색 적용)
- 알루미늄을 사용함으로써 내구성을 높이고, 시각적으로 편안한 개방형 디자인

－ 교량난간 비교표

구 분	콘크리트 벽식	콘크리트 연속+ 알루미늄 방호책	알루미늄 난간
개 요 도			
특 징	· 강성방호벽 설치로 인한 주행 안전성 보장 (특히, 곡선 장대교에 유리) · Slip Form장비 필요	· 가요성 방호울타리로 주행안전성과 주변경관과의 미관을 동시에 고려	· 미관이 양호 · 보도용으로 주로사용
일 반 적용범위	· 구조물의 변형에 의한 흡수보다는 차량의 복귀를 목적으로함 · 철도과선교, 곡선교량, 장대교, 해상교량, 자동차 전용, 도로, 도시고가교등 낙교로 인한 2차 사고 발생이 우려되는 교량	· 차량이 충돌할 때 다소의 변형이 수반되면서 충격 에너지를 흡수하여 차량의 충격을 줄여줌 · 교량하부에 주요시설이 없으며 주변의 미관이 우수한 곳에 설치 할 수 있는 교량	· 차량 충돌 위험이 없는 보도가 설치된 교량
검토결과	· 본 과업구간 교량은 소하천인 왜골천 횡단 교량으로서 도로 주변의 가시성이 좋으며 주변 경관과의 조화 및 안전성이 우수한 콘크리트 연속+알루미늄 방호책을 설치하는 것이 적절하다고 사료됨.		
추 천 안		◎	

나. 무늬거푸집

본 과업의 교량 노출면을 무늬거푸집으로 반영하여 주변과의 조화 및 관리가 용의 하도록 하였음.

－ 무늬 거푸집 비교표

	
도드락무늬 (선정)	강돌무늬
	
격자무늬	성곽무늬

## 6.8 제방도로 계획

### 6.8.1 개요

소하천정비 및 개수공사를 함에 있어 하천의 유지관리 및 인근 마을주민들의 편의성을 고려하여 하천제방 독마루에 제방도로를 계획하였다.

일반적으로 도로 설계시 적용하는 주요 검토 내용은 다음표와 같으며, 본 실시설계에서는 금회 도로 계획이 기존 도로를 확장 및 신설하는 계획으로서 대부분의 설계 항목에 대하여 기존 현황 및 기존도로에서 적용된 내용을 그대로 적용하는 것으로 계획하였다.

〈표 6.8-1〉 도로공 주요 검토 내용

검 토 항 목	주요 검토 내용
설계기준 설정	도로의 구분, 설계속도, 기하구조기준, 구조물 설계기준, 교차로 설계기준 등
횡단폭원 구성	차로폭, 길어깨, 측대, 횡단경사 등
노 선 선 정	도로의 교통, 기술, 구조, 환경적 측면을 고려한 최적노선선정
배 수 계 획	수문자료의 수집 및 분석, 배수시설검토
포장공법 검토	본 도로를 이용할 차량의 특성, 주행성, 내구성, 시공성, 경제성, 유지관리를 고려한 포장형식 결정

### 6.8.2 노선선정

본 과업구간의 도로는 기존하천 제방 독마루에 설치하는 도로로서 하천의 유지관리 및 마을주민들의 이용성을 감안하여 하천 좌,우안 독마루에 계획하였으며 기존도로와의 연결성, 접근성을 고려하고 마을 및 경작지의 진출입을 고려한 노선선정이 필요하다.

그러나 소하천정비사업 임을 고려하고 하천의 제방계획에 의거하여 신설 및 확장하는 도로계획을 수립하였고 기존 농경지 및 기존도로의 연결을 고려한 노선계획을 수립하였다.

### 6.8.3 제방도로의 현황

#### 가. 제방도로 현황

본 과업구간의 현황은 왜골천 좌안에 유지관리를 위한 제방도로를 계획하고 기존 도로부의 접속부 교량계획에 의거하여 포장계획을 수립하였다.

〈표 6.8-2〉 도로 현황

하천명	노선명	폭원	포장형식	비고
왜골천	좌안	B≒3.0~7.5m L=1,006m	아스팔트	농경지
	우안	B≒4.0m L=88m	아스팔트	농경지

#### 나. 기존도로 현황분석

##### 1) 기존 도로 현황

기존 왜골천 제방도로는 하천 제방 및 유지관리도로의 기능보다 마을주민들의 이용하는 도로로서 계획된 도로의 역할을 수행하지 못하고 있다. 기존 도로의 포장은 콘크리트 포장 상부에 표층을 덧씌우기하여 이용하고 있다.



〈그림 6.8-1〉 현황사진

### 6.8.4 제방도로 설계기준

설계기준은 도로구조설계의 가장 기본이 되는 사항으로 도로의 특성, 교통량, 지형조건, 지질 및 토질조건, 기상조건과 사회 경제적인 제반여건 등에 따라 선정되어야 한다.

제방도로는 이들 요소들을 고려하면서 도로 이용자가 안전하고 높은 수준의 서비스를 제공 받고자 하는 욕구를 충족시키도록 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 (2013.국토교통부)」 과 농어촌도로 설계기준 준하여 설계기준을 정립하였다.

#### 가. 도로의 구분

〈표 6.8-3〉 농어촌도로 기준에 의한 분류

구 분	도로의 종류	적 용
기간도로	면도	
간선도로	리도	
경작도	농도	

#### 나. 설계속도

설계속도는 도로의 기하구조를 결정하는데 있어 기본이 되는 속도로서 곡선반경, 편경사, 시거와 같은 선형요소와 직접적인 관계를 가지고 있으며 차로 및 길어깨 등의 폭에 영향을 미치고 있다.

도로의 구조·시설기준에 관한 규칙에서의 설계속도는 다음과 같이 구분에 따라 규정된 값 이상을 적용토록하고 있다.

〈표 6.8-4〉 설계속도 (km/h)

도로구분		설계속도 (km/h)			본과업 적용
		지방지역		도시지역	
		평지	산지		
일반도로	주간선도로	80	60	80	30km/hr
	보조간선도로	70	50	60	
	집산도로	60	40	50	
	국지도로	50	40	40	
	리도 및 농도	40	20	20	

〈표 6.8-5〉 적용 설계속도 (km/h)

구분	적용 설계속도	비고
제방도로(좌안)	30	농도
제방도로(우안)	30	농도

다. 도로폭원

〈표 6.8-6〉 표준 횡단 폭원 (m)

구분	차로(m)	길어깨(m)	전체폭	비고
제방도로(좌안)	1@3.5	1@0.5	4.0	농도
제방도로(우안)	1@3.5	1@0.5	4.0	농도

라. 기하구조

본 노선의 기하구조 기준은 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙」을 적용하여 기준치이상의 값을 적용하여 운전자가 안전하고 쾌적한 주행을 유지할수 있도록 하였다.

〈표 6.8-7〉 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙

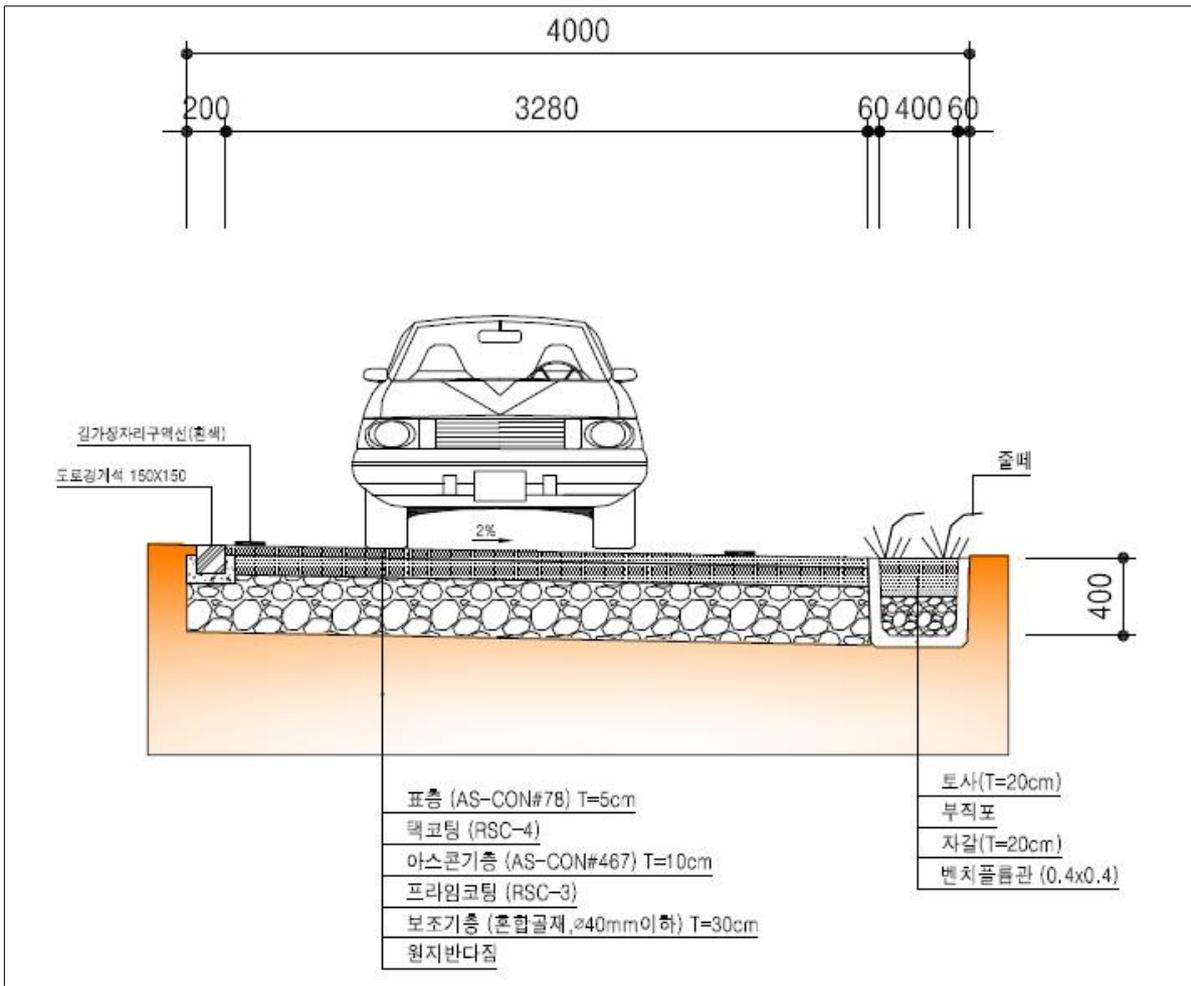
구분	단위	도로의 구조·시설기준		비고
		20km/hr		
최소평면곡선반경	m	30		
평면곡선 최소길이	교각 5° 미만	m	200/θ	
	교각 5° 이상	m	40	
최대종단 경사	평지	%	8(10)	( )농어촌도로
	산지	%	16(14)	
종단곡선 변화비율	블록곡선	m/%	3	
	오목곡선	m/%	4	
종단곡선최소길이	m	25		
최소정지시거	m	30		
적용		제방도로		

#### 마. 도로포장계획

〈표 6.8-8〉 도로포장 위치

측점(No.)	안별	연장 (m)	폭 (m)	포장 종류	비고
24+17~75+3.0	좌	1,006	3.0~7.5	아스콘	
46+10.0~50+18.0	좌	88	4.0	아스콘	

바. 표준횡단면도



<그림 6.8-2> 아스팔트 포장 표준횡단면도

6.8.5 포장두께산정

본 과업의 교량접속도로의 포장두께 산정에 있어서 과업구간 일대의 통과교통량이 현저하게 작아 포장층을 구성하는 층의 두께를 기본적인 두께로 산정하였다.

□ 포장단면(아스팔트포장)

45	5	표	층	
	10		기	층
	30		보 조 기	층

□ 포장단면(콘크리트포장)

45	20	레	미	콘
	20	보	조	기

### 6.8.6 부대설계

본 과업의 부대시설물은 신설도로가 아닌 하천정비에 따른 종단인상과 확폭에 의한 기존도로 일부구간 접속이므로 기존시설물을 형태를 가능한 유지하려 하였으며 가드레일 신설, 차선도색 등을 계획하였다.

#### 가. 가드레일

주행차량이 도로를 이탈하는 것을 방지하고 승객의 상해 및 차량의 파손을 최소화하여 줄이면서 차량을 정상진행 방향으로 복원시키는 것을 목적으로 가드레일을 설치하였다. 가드레일 상부레일을 연두색으로 하여 타 교량난간과 동일성있게 적용하였다.

-가드레일 비교표

구분	표준형 가드레일	개방형 가드레일 1안	개방형 가드레일 2안
개요도			
규격	W4000 x H900mm	W3000 x H900mm	W3000 x H900mm
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>충격시 충격흡수고무에서 충격 분산</li> <li>중구조가 단순하여 시공성 우수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상,하단 레일을 연결하는 보강판이 레일 뒤틀림 방지 및 내구성 확보</li> <li>지주속에 보강지주 삽입으로 강성증대</li> <li>개방감 및 경관 우수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상,하단 레일을 연결하는 보강판이 레일 뒤틀림 방지 및 내구성 확보</li> <li>지주속에 보강지주 삽입으로 강성증대</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>경제성 우수</li> <li>레일폭이 넓어 충격흡수 용이</li> <li>구조가 단순하여 시공성 우수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상,하단 레일을 분리시켜 개방감이 좋고 경쾌한 느낌</li> <li>칼라 도장이 가능하여 미관이 우수하고 주변환경과 조화를 이룰 수 있음</li> <li>내식성, 내부식성 우수</li> <li>유지보수 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상,하단 레일을 분리시켜 개방감이 좋고 경쾌한 느낌</li> <li>내식성, 내부식성 우수</li> <li>장소 및 곡선반경 제약 없이 시공 가능</li> <li>유지보수 용이</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>관의 폭으로 인한 전망과 쾌적성 및 미관이 불량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>표준형 가드레일 대비 경제성 불리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>일반형 가드레일 대비 경제성 불리</li> <li>개방형 가드레일 중 관폭이 넓어 전망, 쾌적성 불량</li> </ul>
검토결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>내구성이 우수하고 개방감과 경관성이 우수한 개방형 가드레일을 적용하는 것이 타당한 것으로 판단되며, 시선유도 및 칼라도장이 가능하고 미관이 우수하여 주변환경과 조화를 이룰 수 있는 개방형 가드레일 1안이 적절하다고 판단됨</li> </ul>		
추천안		◎	

#### 나. 차선도색

본 과업의 접속도로에 대하여 도로 측선에 차선도색을 반영하였다.

<그림 6.8-9> 도로계획평면도

