

하천공학

하천구조물 I

■ 하천구조물

- 하천 및 그 유역전체의 치수, 이수 및 환경보전이라고 하는 각각의 기능이 현재 및 장래의 자연적 사회적 조건에 부응하고, 하천 고유의 특성을 유지할 수 있게 하는 유역 내의 여러 시설과 구조물의 뜻함.
- 하천구조물이란? 유역에 있어서의 육수의 제어, 유도, 이용, 토사유출의 제어, 조절 및 환경의 유지, 개선 등에 관한 여러 계획에 대응하는 구조물.
- 홍수시의 통수능을 보장하며 하도의 안정과 수해를 방지하기 위한 하천개수공사에 관여하는 하도 내에 축조되는 여러 시설 또는 구조물.
- 하천구조물은 목적이나 관점에 따라 여러 가지 의미를 해석가능하나 하천에서 홍수 피해를 방지하고, 하천 흐름을 도움을 주는 모든 시설을 뜻함.

■ 제방(levee)

- 하천의 홍수시 또는 상시의 수류를 그 수로 내로 한정해 안전하게 유하시켜, 범람을 막거나, 또는 유로의 안정을 꾀할 목적으로 하천을 따라 축조되는 구조물.

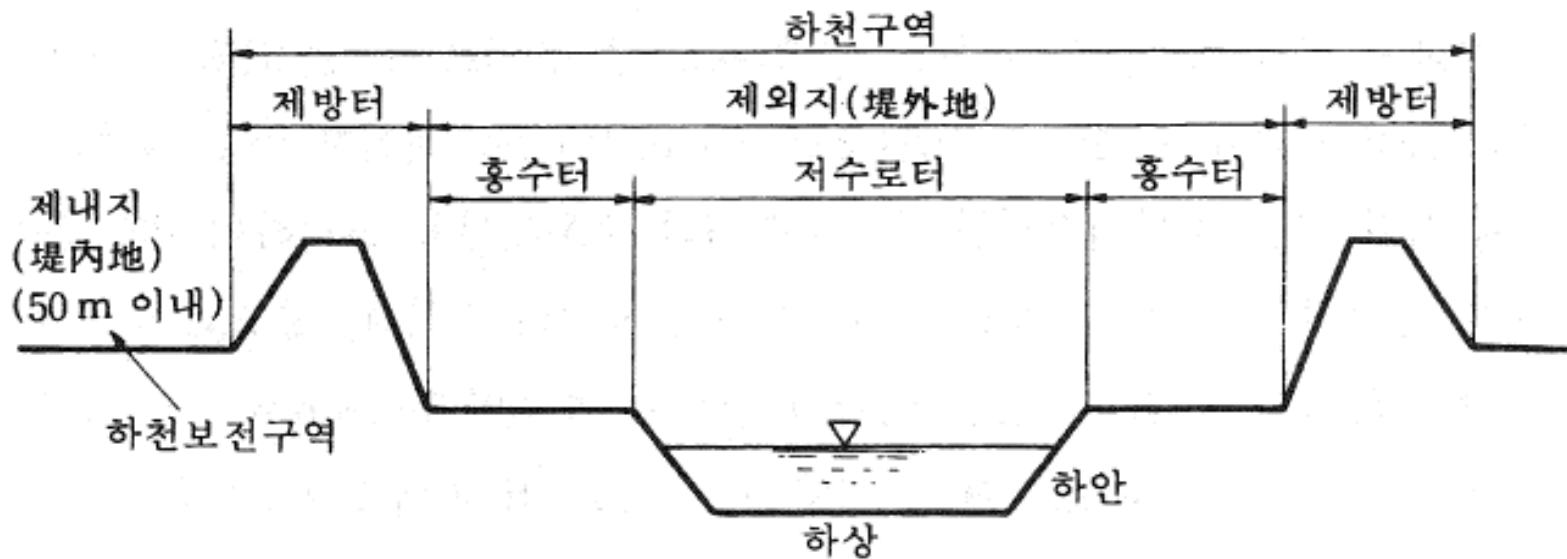


그림 1. 하천 구역(개수하천)

■ 제방관련 용어 (하천설계 기준 · 해설, 2009)

- ① 제방 : 유수의 원활한 소통을 유지시키고 제내지를 보호하기 위하여 하천을 따라 흙으로 축조한 공작물
- ② 굴입하도 : 하도의 일정구간을 평균적으로 보아 계획홍수위가 제내지반고보다 낮거나 독마루나 홍벽의 마루에서 제내지반까지의 높이가 0.6m 미만인 하도
- ③ 완전굴입하도 : 굴입하도 중 독마루가 제내지반보다 낮은 하도
- ④ 완성제방 : 완성제방이란 계획홍수에 대한 구조적 안정성이 확보된 제방, 즉 필요한 여유고, 단면, 호안 등을 가진 제방
- ⑤ 잠정제방 : 하천 개수공사 시 점차적으로 홍수에 대한 안전도를 향상시키기 위하여 또는 예산사정상 연차별 투자계획에 맞추기 위하여 축조된 제방으로서 아직 완성되지 않는 상태의 미완성 제방

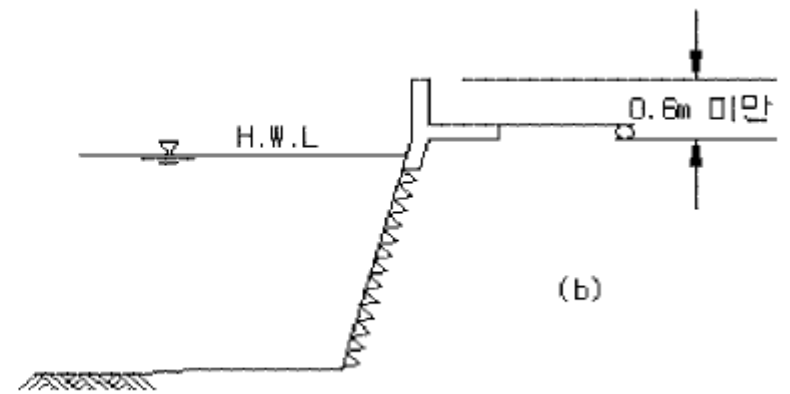
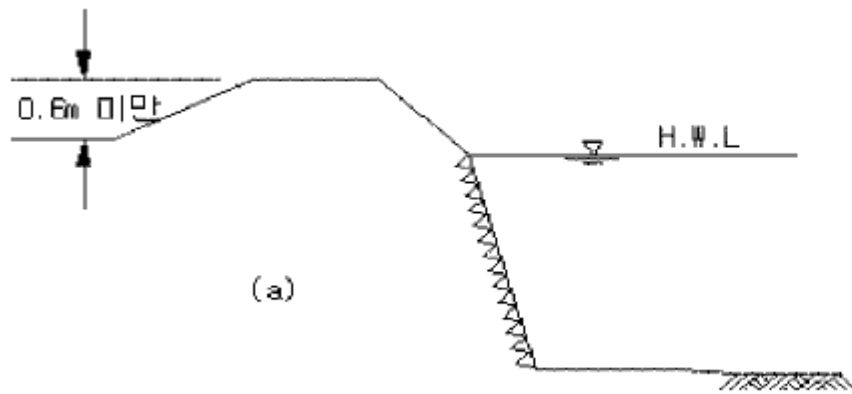


그림 2. 굴입하도

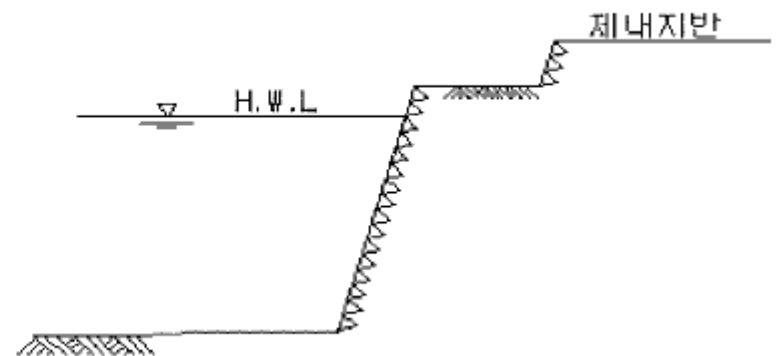
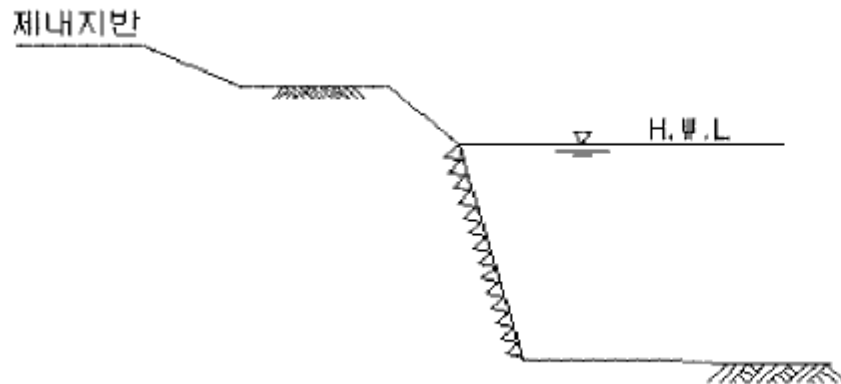


그림 3. 완전굴입하도

■ 제방의 종류

- 일반적으로 제방의 종류는 그림 4와 같이 분류할 수 있다.

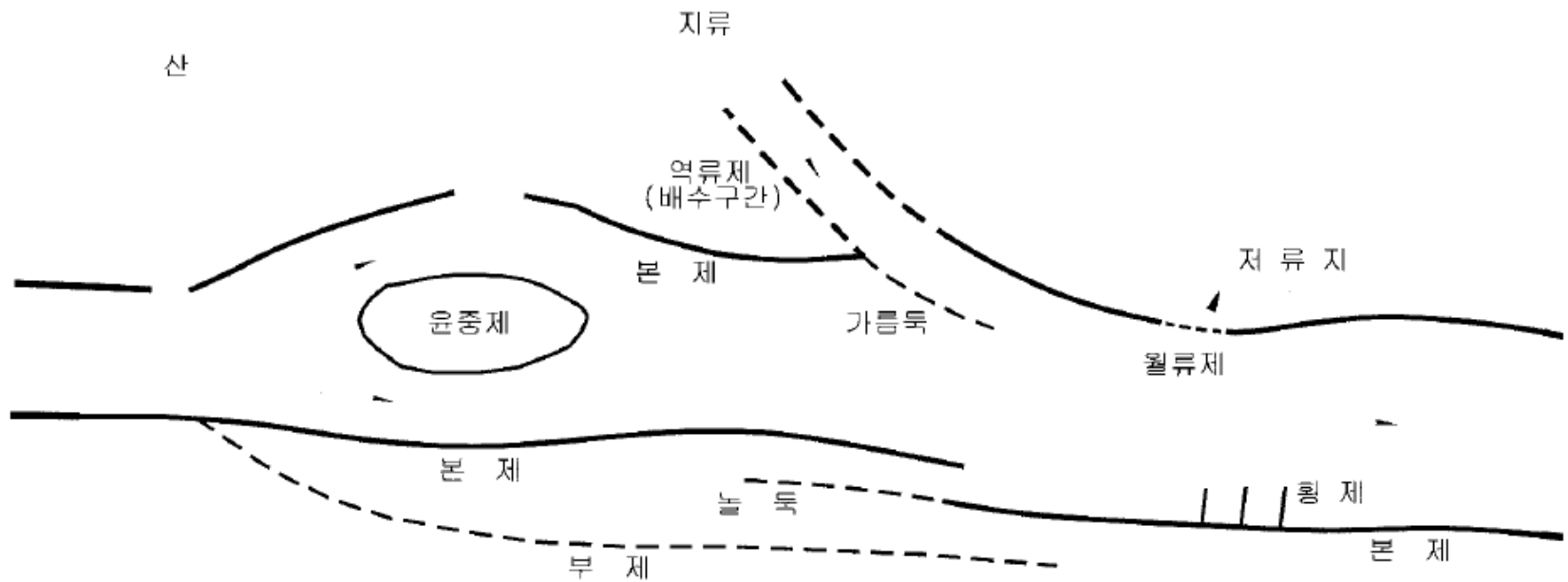
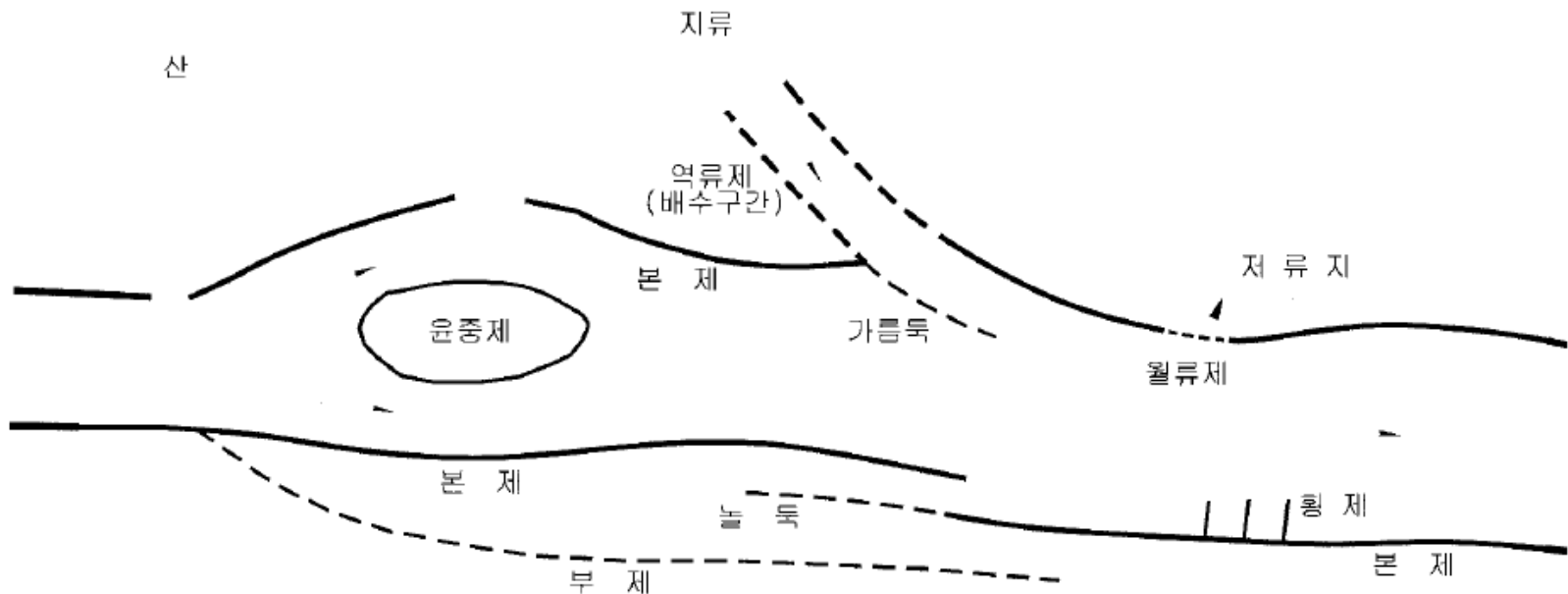
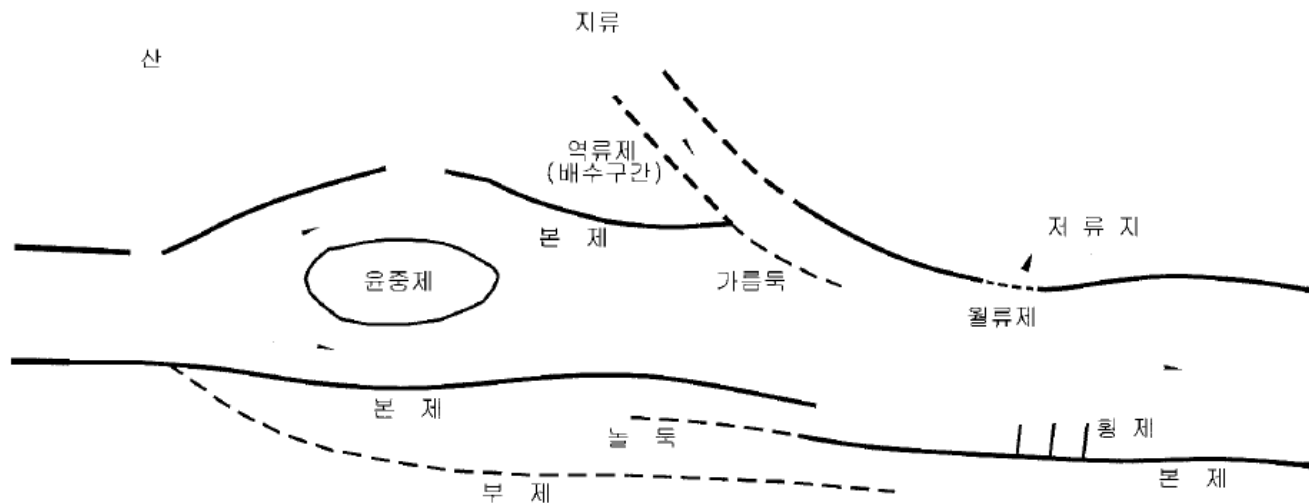


그림 4. 제방의 종류

- ① 본제(main levee) : 본제란 제방 원래의 목적을 위해서 하도의 양안에 축조하는 연속제로서 가장 일반적인 형태이다.
- ② 부제(secondary levee) : 부제는 본제가 파괴되었을 때를 대비하여 설치하는 제방으로 본제보다 제방고를 약간 낮게 설치한다.
- ③ 놀둑(open levee) : 불연속제의 대표적인 형태이다. 제방 끝부분에서 제내지로 유수를 끌어들이기 위하여 제방을 분리하여 윗 제방의 하류단과 그 다음 제방의 상류단을 분리하여 중첩시킨 것. 홍수지속시간이 짧은 급류하천이나 단기간의 침수에는 큰 영향을 받지 않는 지역에서 홍수조절을 목적으로 설치된다.
- ④ 윤중제(둘레둑, ring levee) : 특정지역을 홍수로부터 보호하기 위하여 그 주변을 둘러싸서 설치하는 제방.



- ⑤ 횡제(가록둑, cross levee) : 제외지를 유수지나 경작지로 이용하거나 유로를 고정시키기 위해 하천 중앙쪽으로 돌출 시킨 제방.
- ⑥ 가름둑(separation levee) : 홍수지속시간, 하상경사, 홍수규모 등이 다른 두 하천을 바로 합류시키면 합류점에 토사가 퇴적하여 횡류가 발생하고, 합류점 부분 하상이 불안정하게 되어 하천유지가 곤란하게 됨. 이와 같은 경우 두 하천을 분리하기 위해 설치하는 제방을 가름둑 이라고 함.
- ⑦ 월류제(over flow levee) : 월류제는 하천수위가 일정 높이 이상이 되면 하도 밖으로 넘치도록 하기 위해 제방의 일부를 낮추고 콘크리트나 아스팔트 등의 재료로 피복한 것. 월류제는 홍수조절용 저류지, 일정 크기 이상의 홍수 때에만 흐르는 방수로 등의 유입구로 이용된다.
- ⑧ 역류제(back levee) : 지류가 본류에 합류할 때 지류에 본류로 인한 배수가 발생하므로 배수의 영향이 미치는 범위까지 본류 제방을 연장하여 설치하는데 이를 역류제라 함.



- ⑨ 도류제(guide levee) : 하천의 합류점, 분류점, 놀둑의 끝부분, 하구 등에서 흐름의 방향을 조정하기 위해서 또는 파의 영향에 의한 하구의 퇴사를 억제하기 위해서 축조하는 제방을 도류제라 함.

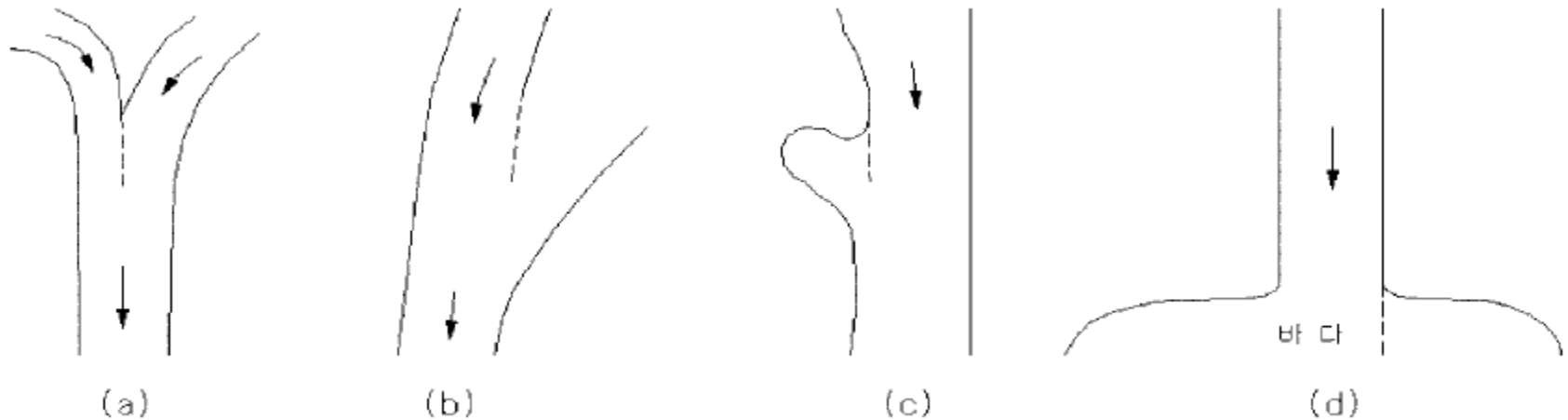


그림 5. 도류제의 형태



그림 6. 제방



그림 7. 가름독



그림 8. 도류제



Example of jetty spurs at Siuslaw River Inlet, OR. Spur lengths are 122 m

그림 9. 도류제

■ 대규모제방(super levee)

- 대규모제방 : 주로 도시권 하천의 특정구간에서 폭이 넓은 특별한 제방을 말한다. 대규모제방은 하천관리시설인 제방부지 중 뒷비탈머리에서부터 제내지 끝단까지 대부분의 토지가 특정한 목적으로 이용되도록 계획홍수량을 초과하는 규모의 유량에 대해서도 견딜 수 있는 안전한 구조로 한다.

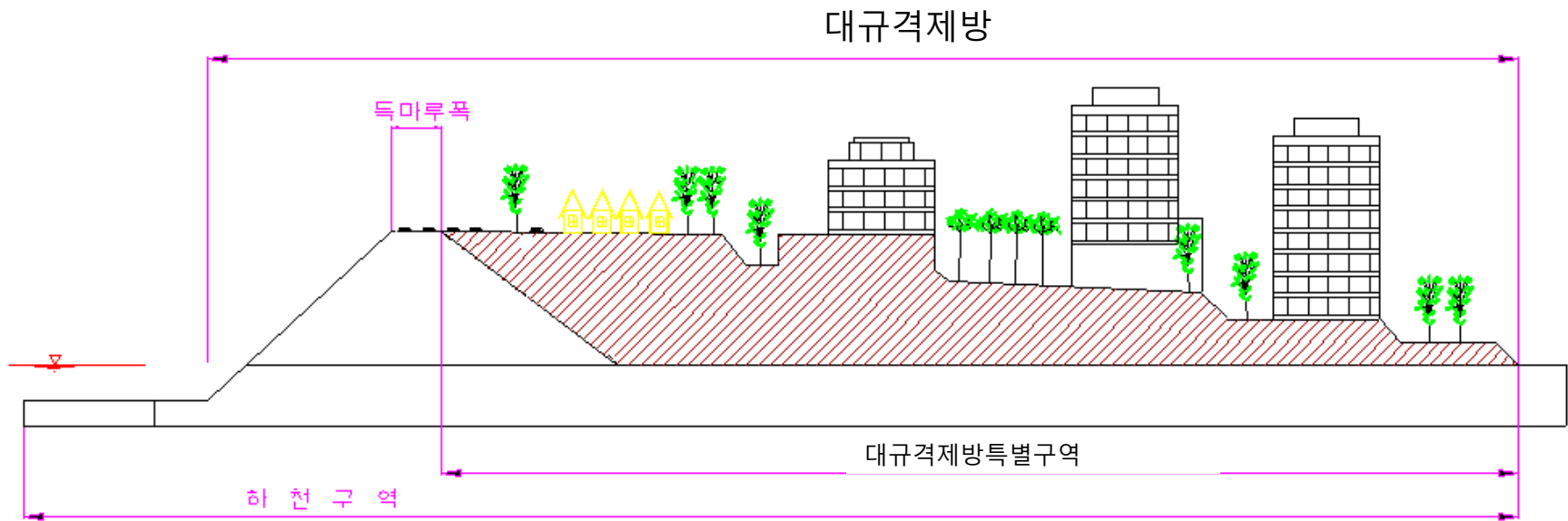


그림 6. 대규모제방의 형태(일반사례)

■ 제방의 구조와 명칭

- 일반적인 제방의 구조와 명칭을 다음과 같다. 필요에 따라 형태를 조정해 사용할 수 있음.

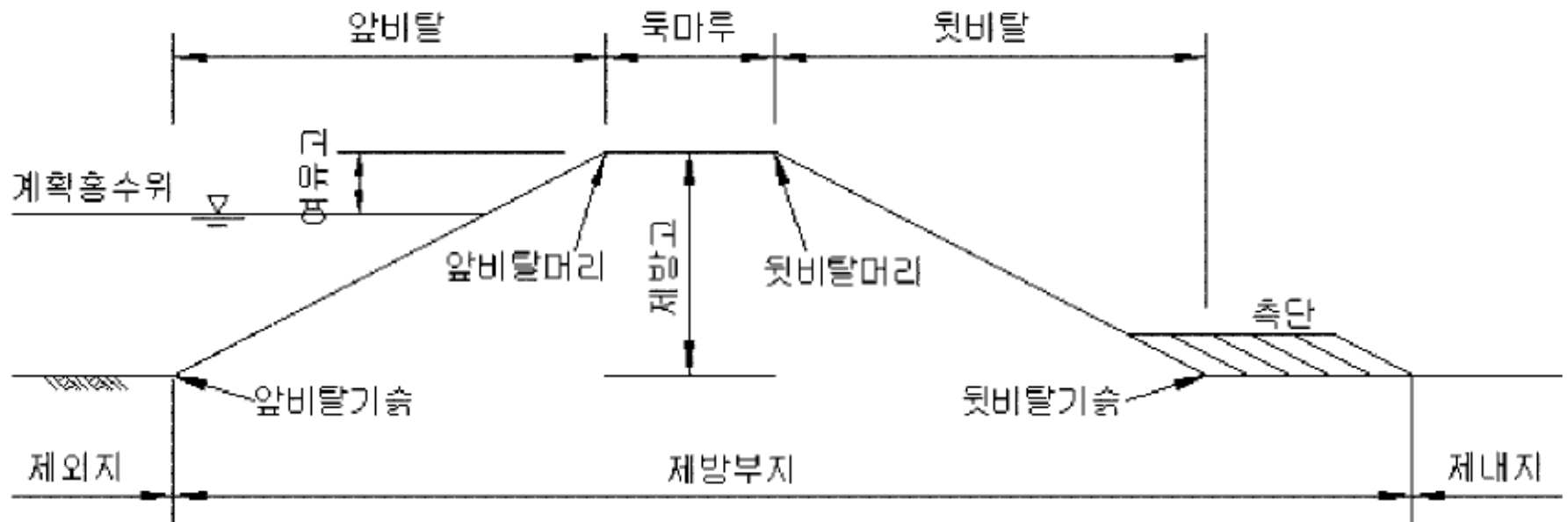


그림 7. 제방단면의 구조와 명칭

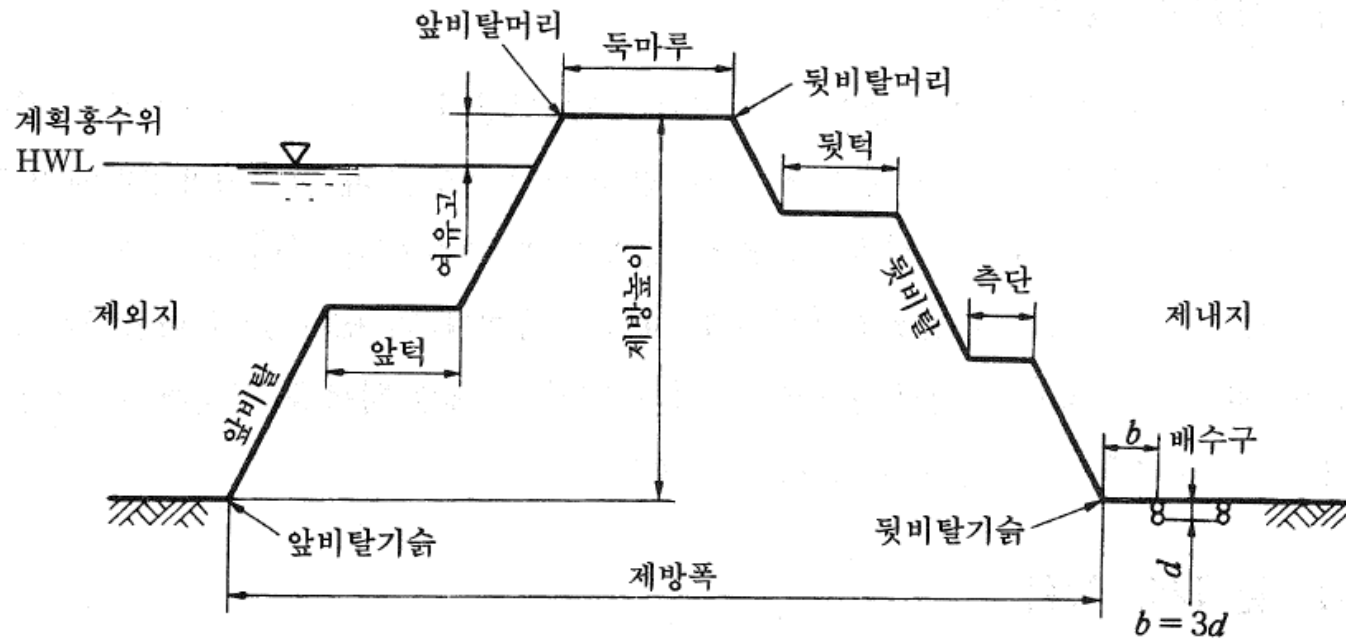


그림 8. 제방단면의 형상과 각부명칭 (이원환, 최신하천공학 제2판)

■ 제방법선

- 제방법선은 제방의 앞비탈머리를 가로방향으로 연결한 선을 의미하며, 저수로법선은 저수로와 고수부지가 만나는 점을 가로방향으로 연결한 선을 말한다.



그림 9. 제방 법선

- 제방법선의 결정은 아래와 같이 결정한다.

- ① 제방법선은 하도계획에서 결정한 평면계획을 기준으로 하며, 하천연안의 토지 이용현황, 홍수시 유황, 하도, 공사비 등을 검토하여 가급적 부드러운 곡선형태가 되도록 해야 함.
- ② 하천환경 측면에서 법선은 해당하천 고유의 자연환경, 하천의 이용현황 등과의 관계를 충분히 고려하여 하천환경의 보전 및 관리가 잘 되도록 해야 함.
- ③ 완류하천에서는 어느 정도의 만곡이 필요하므로, 무리하게 직선으로 개수하여 평형이 깨지지 않도록 함.
- ④ 급류하천에서는 우수가 하안에 충돌하지 않도록 하는 것이 좋다.
- ⑤ 연약지반상에 축조할 경우에는 공사비와 유지비가 모두 증가하므로 제방은 이러한 장로를 피해서 견고한 불투수성 지반에 설치한다.
- ⑥ 지류가 가능하면 예각으로 합류시키고 홍수를 원활히 유하시키기 위하여 합류점 이하에 적당한 길이로 도류제를 설치한다.

- 저수로 법선의 결정은 다음과 같이 실시한다.

- ① 자연환경 보전, 생태계 보전 및 친수공간 확보를 위하여 제방법선과 관계를 토대로 현 상태의 저수로 형상을 가능한 한 유지할 수 있도록 하여야 한다.
- ② 저수로법선 설정시 하도특성 조사를 해서 현 하천의 사행특성, 수충부 위치, 기존 호안 등을 확인하고 저수로 의 위치를 안정화시키기 위한 하안 침식방지공 등을 검토하여야 함.

■ 제방계획과 설계

[1]제방계획

- 하천제방은 계획홍수량을 계획홍수위 이내에서 안전하게 하도를 통해 유하시키도록 계획해야 함.
- 하류부지역에서 도시가 발달하여 지가나 토지이용도가 높기 때문에 하폭의 설정은 상류쪽에서는 다소 크게 잡을 수 있으나, 하류의 도시지역에서는 되도록 좁게 잡는 것이 토지 이용도를 높일 수 있음.
- 제방고의 설정의 축제 비용의 절감을 위해 상류쪽 제방고는 낮게 계획하고 하류쪽 제방고는 높게 계획하는 것이 일반적임.
- 제방의 안전도는 대단히 크게 요구되며 하도단면은 충분한 여유가 확보되어야 함.
- 제방비탈선의 설정은 자연하도의 형상에 되도록 순응하도록 설정하되, 변경하는 경우에는 앞으로의 하도 변화를 충분히 예측하고 참고해 여유있는 안정하도를 이루어야 함.
- 제방고는 계획홍수위로부터 결정되며 지반고에다 계획홍수위와 여유고를 더한 것임.

[2]제방단면설계

- 제방단면의 설계는 기본적인 다음의 두 가지 조건을 만족해야 함.
 - ① 수압에 안전하게 견뎌야 한다.
 - ② 뒷비탈면으로부터 누수에 안전해야 한다.
- 제방설계는 하도와 제내지 상황, 사회경제적 연건, 하천환경, 축제재료 및 원지반 상태 등을 종합적으로 고려하여 제방단면을 결정한 후 결정된 단면에 대해 안정계산을 실시하여 필요한 안전율을 확보할 수 있도록 최종단면을 결정한다.

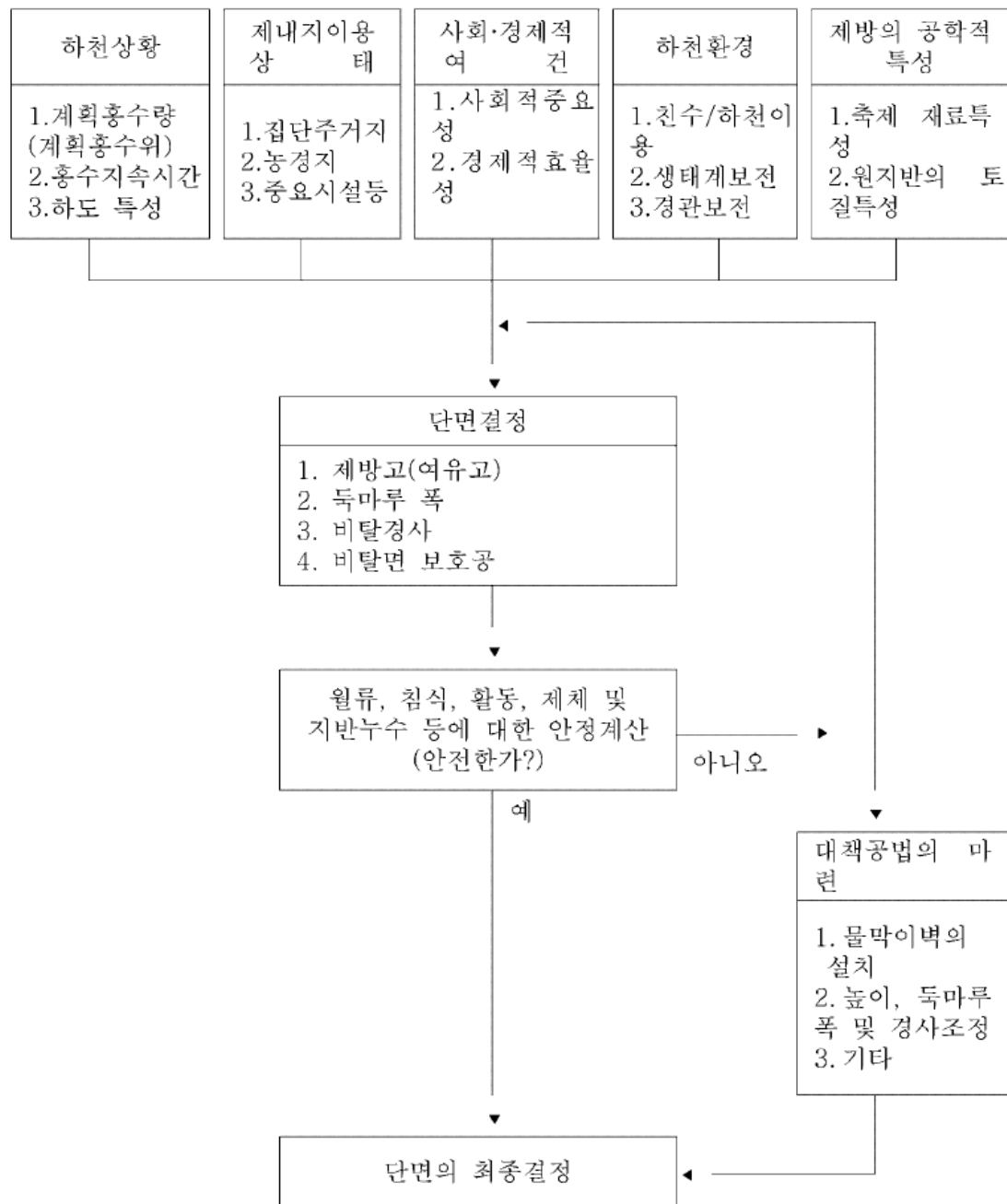


그림 10. 제방단면의 결정과정

- 제방단면 설계시 고려해야 할 사항을 개소별로 살펴보면 다음과 같다.

1)제방고

- ① 제방고는 계획홍수위에 여유고를 더한 높이 이상으로 한다. 단 계획홍수위가 제내 지반고보다 낮고 지형상황으로 보아 치수상 지장이 없다고 판단되는 구간에서는 예외로 함.
- ② 호수제방 및 고조구간의 제방은 계획홍수위에 파랑의 영향을 고려하여 ①의 제방고보다는 낮지않도록 한다.

2)여유고

- ① 여유고는 계획홍수량을 안전하게 소통키키기 위해서 하천에서 발생할 수 있는 여러 가지 불확실한 요소들에 대안 안전값으로 주어지는 여분의 제방 높이를 말함.
- ② 여유고는 정확한 계산에 의한 것이 아니라 경험에 의해 정해진 값이므로 안전율과 하천지반의 변화 등을 고려하여 결정해야 함.
- ③ 파랑고가 여유고보다 높은 경우는 파랑고를 여유고로 함.

표 1. 계획홍수량에 의한 여유고

계획홍수량(m^3/sec)	여유고(m)
200미만	0.6이상
200이상 ~ 500미만	0.8이상
500이상 ~ 2,000미만	1.0이상
2,000이상 ~ 5,000미만	1.2이상
5,000이상 ~ 10,000미만	1.5이상
10,000이상	2.0이상

3)둑마루폭

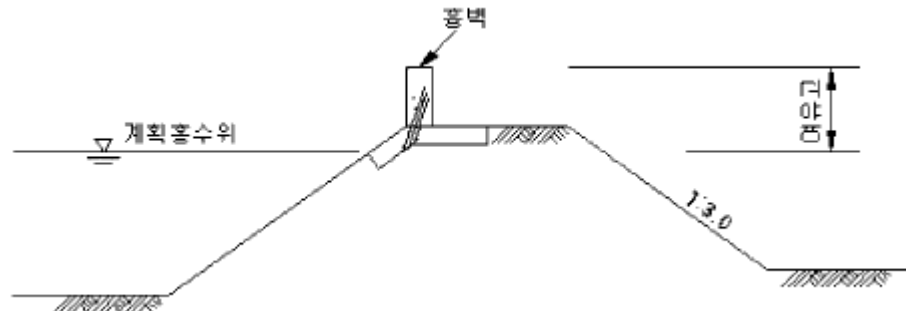
- 제방의 둑마루폭은 다음 목적을 달성할 수 있도록 결정해야 함.
 - ① 침투수에 대한 안전의 확보
 - ② 평상시의 하천순시
 - ③ 홍수시의 방재활동
 - ④ 친수 및 여가공간 마련
- 둑마루폭의 목적을 달성하기 위해서는 최소 4.0m 이상을 확보하여야 하며, 친수 및 여가공간 조성시에는 계획홍수량에 따른 최소폭보다 크게 할 수 있음.
- 실제 둑마루폭은 하천과 제방의 중요도, 제내지 상황, 사회 경제적 여건, 둑마루의 이용성 등을 고려하여 결정해야하며, 유량규모에 얽매이지 않아야 함.

표 2. 계획홍수량에 따른 둑마루폭

계획홍수량(m^3/sec)	둑마루폭(m)
200미만	4.0이상
200이상 ~ 5,000미만	5.0이상
5,000이상 ~ 10,000미만	6.0이상
10,000이상	7.0이상

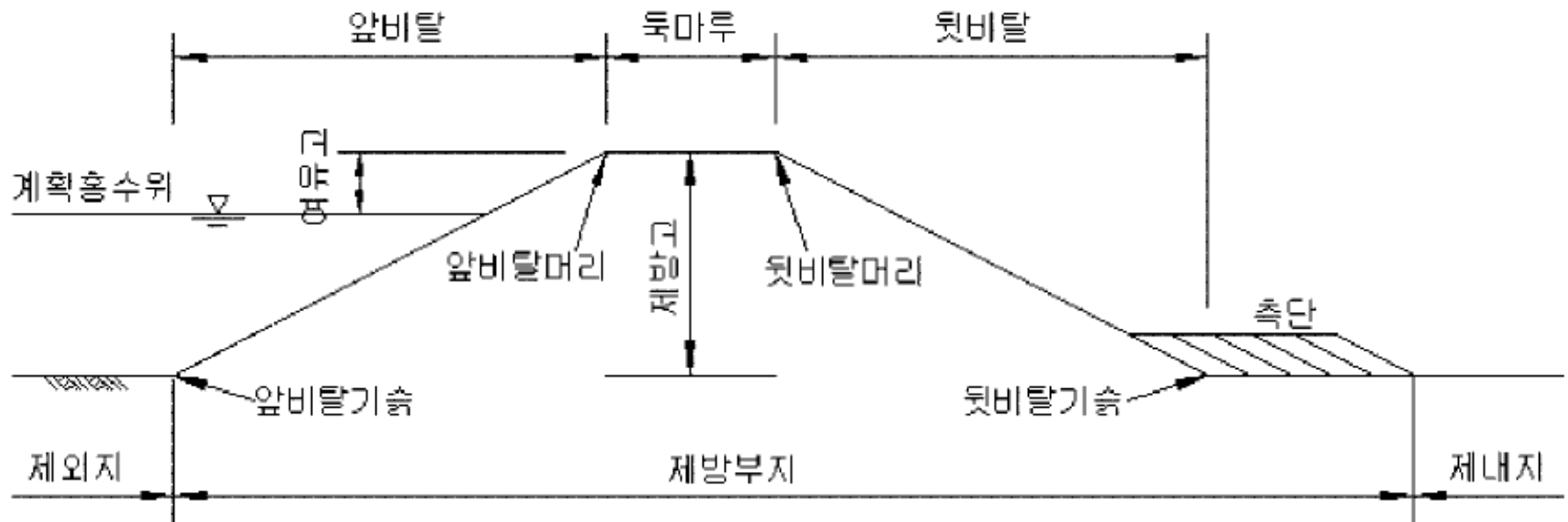
4)비탈경사

- 제방은 하천유수의 침투에 대한 안정한 비탈면을 가져야 하는데 이를 위해서는 제방고와 제내지반의 차이가 0.6 m 미만인 구간을 제외하고는 1:3 또는 이보다 완만하게 설치함을 원칙으로 함.
- 지형적인 어려움 등 아주 불가피한 경우 제방특성 등을 면밀하게 조사하고 검토하여 비탈 덮기 부분을 포함한 경사를 1:2 또는 이보다 급하게 설치할 수 있음.
- 지형조건, 기존제방과 연결 등 부득이 하게 비탈경사를 1:3보다 급하게 결정해야 하는 경우 제방 또는 지반의 토질조건, 홍수시속시간 등을 반드시 고려하여 비탈경사를 결정해야 함. 단, 지형조건 등에 따라 불가피하게 흙벽이 설치되는 구간에서는 예외로 한다.
- 비탈면의 중간에 소단을 붙인 경우에는 각 구간의 비탈면 경사도는 동일해도 비탈머리와 비탈기슭을 이은 선의 경사도(평균경사도) 보다 완만하게 됨.



5)비탈기슭보호공

- 제방의 제내측 비탈기슭 부분에는 보호공을 설치한다. 단 지형의 상황 등을 고려해서 보호공이 필요없다고 인정되는 경우는 이 제한을 받지 않는다.



5) 측단

- 측단은 제방의 안정, 뒷비탈의 유지보수, 제방 독마루의 차량 통행에 의한 인위적 훼손방지, 경작용 장비 등의 통행, 비상용 토사의 비축, 생태 등을 위해 필요한 경우에 제방 뒷기슭에 설치하며, 안정측단, 비상측단, 생태측단으로 구분할 수 있음.
- 안정측단은 생태측단의 역할도 겸할 수 있고, 그 폭은 국가하천에는 4.0m 이상, 지방하천에서는 2.0m 이상으로 함.
- 비상측단의 폭은 제방부지(측단제외) 폭의 $\frac{1}{2}$ 이하(20m 이상 되는 곳은 20m)로 함.
- 제방상의 식수는 제방의 보호를 위해 원칙적으로 금지. 단 치수상 지장이 없는 범위 내에서는 가능함.
- 생태측단은 하천의 환경보전기능을 유지하기 위해 필요하나 제방의 한 요소로서, 그 폭은 제방부지(측단제외) 폭의 $\frac{1}{2}$ 이하(20m 이상 되는 곳은 20m)로 함.

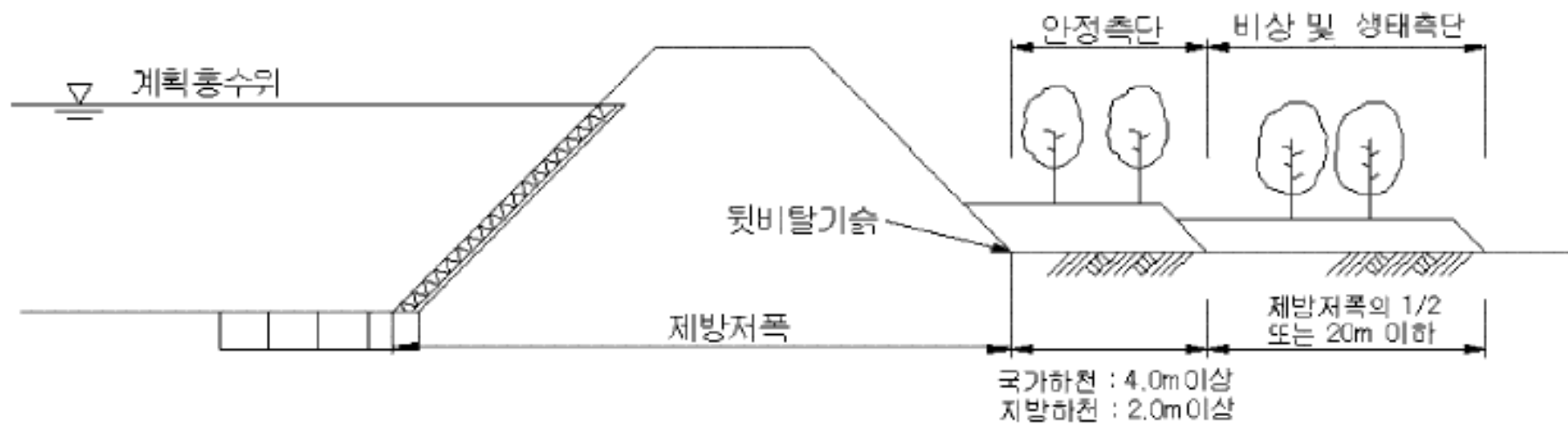


그림 11. 측단의 설치 예

■ 제방의 안정

- 일반적으로 제방은 다음의 조건들을 만족해야 한다.

- ① 홍수시 물이 제방을 월류해서는 안된다.
- ② 유속에 의해 제체가 세굴되지 않아야 한다.
- ③ 하천수위가 급강할 때 비탈면의 활동에 대해 안전해야 한다.
- ④ 연약지반에 축제할 경우 파괴와 침하에 대해 안전해야 한다.
- ⑤ 제체 및 기초지반이 투수성일 경우에는 누수 및파이핑에 대해 안전해야 한다.
- ⑥ 강우가 제방표면에 침투하여 제체의 함수비가 상승했을 경우에 비탈면 붕괴에 대해 안전해야 한다.

■ 제방의 안정

- 제방의 안정에 관한 일반사항은 다음과 같다.

- ① 역학적인 안정성 평가는 기초지반의 압밀침하량 및 측방유동 등을 평가하여 외력과 저항력의 균형, 한계상태의 파괴조건에 근거하여 평가함. 제방의 파괴는 월류, 세굴, 누수 등에 의해 발생할 수 있으며, 이러한 현상들은 역학적으로 서로 다른 특성을 나타내므로, 주의 깊은 검토가 필요함.
 - ② 침투류 계산은 국내 제방 설계에서는 비정상 포화해석을 채택한다.
 - ③ 제방활동에 대한 안정성은 비정상 침투류 계산 및 원호 활동법에 의한 안정 계산에 의해서 평가함.
- 제방의 표준단면은 보통 오랜 시간의 경험을 통해 결정되었고, 여유를 가지고 있기때문에 표준단면에 의해 일반적인 조건 아래서 시공하면 제체의 안정성에 별다른 문제가 없을 것으로 인식하고 있음.
 - 방재적 측면에서는 현장상황에 맞는 안정 검토가 반드시 선행되어야 함.

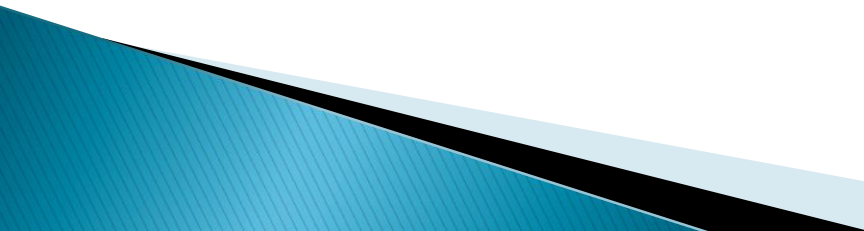
■ 제방의 안정

- 제방 누수에 대한 안정을 위해서는 다음과 같은 검토를 수행함.
- ① 제방의 누수는 외수위가 상승하여 제체 또는 지반을 통해 제내측으로 침투수가 유출하는 현상을 말하고 제체를 침투해오는 제체누수와 지반을 침투해 오는 지반누수가 있음.
 - ② 제체누수는 제체의 침윤선이 결정적인 요인이 되므로 침윤선을 낮추어 제체하부에 위치하도록 하며, 지반누수가 있을 경우에는 적절한 대책공법을 마련함.
 - ③ 지반의 투수성이 높은 경우에는 하천수위가 상승함으로써 침투압이 증가하여 제내지측 지반에 침투수가 용출하는 파이핑 현상이 발생하므로, 이에 대한 안정성을 검토함.
 - ④ 제방에서의 누수는 비탈면 붕괴, 제방파괴 등의 원인이 되므로 적절한 대책을 강구함.
 - ⑤ 배수통문의 설치는 제체누수의 주요 원인이 되므로 배수통문 주변의 정기점검을 수행하도록 하고, 누수가 우려되는 지점에 대해서는 적절한 대책을 수립함.

- 제체 누수의 발생원인은 다음과 같은 사항을 들 수 있음.

- ① 제방단면이 과소한 것
- ② 제체구성재료가 입경이 지나치게 큰 토석을 많이 포함한 풍화되지 못한 산지흙이나, 사력으로 축조되는 앞비탈 또는 중심부에 차수벽이 없는 것
- ③ 제체의 다짐정도가 불충한 것
- ④ 지진이나 진동 등으로 제체의 균이 발생한 것

- 기초지반 누수의 발생원인은 다음과 같은 사항을 들 수 있음.

- ① 투수성이 큰 사력층상에 축제한 경우
 - ② 구하천을 가로막고 구하도의 하상사력 층상에 축제한 경우
 - ③ 파제된 개소를 가로막은 경우
- 

■ 제방의 안정

- 제방 활동에 대한 안정을 위하여 아래와 같이 검토함.
- ① 제방의 활동에 대한 안정해석은 침투류 계산에 의해서 얻어진 침윤선을 고려하여 원호 활동법에 근거해 경사면 파괴에 대한 최소 안전율을 산출함.
 - ② 원호 활동법에 의한 안정계산은 원칙적으로는 간편분할법을 이용하고, 필요시 기타 방법을 검토함.
 - ③ 제체 및 기초의 활동파괴에 대한 안전성 검토에 고려되는 하중은 자중, 정수압, 간극수압 등으로 하고 이를 제방의 포화상태에 따라 적용함.
 - ④ 원호 활동법에 의한 안정계산은 계획홍수위시 비정상 침투해석을 통한 침윤면을 고려하여 수위급강하시의 안정성과 앞비탈 및 뒷비탈 경사면 파괴에 대한 안전율을 구함.

표 3. 제체 상태에 따른 안전율

제체상태	간극수압상태	안전율
인장균열(crack) 불고려시	간극수압을 고려하지 않는 경우	2.0 이상
	간극수압을 고려하는 경우	1.4 이상
인장균열(crack) 고려시	간극수압을 고려하지 않는 경우	1.8 이상
	간극수압을 고려하는 경우	1.3 이상

■ 제방의 안정

- 제방 침하에 대한 안정을 위하여 아래와 같이 검토함.
- ① 제방침하의 원인은 지반의 탄성침하, 압밀, 흙이 측방으로 부풀어 오르는 현상 등을 생각할 수 있음. 지반조사를 통해 기초지반의 압밀침하량을 산정하고 안전하고 경제적인 제방이 되도록 설계해야 함.
 - ② 연약지반상에는 제방을 축조하지 않는 것이 원칙이지만, 제방법선을 결정할 때 부득이 연약지반에 축조하는 경우도 있음. 이 경우 지반조사를 통한 시험을 통해 연약지반상의 침하량을 추정하고 대책공법을 결정해야 함.
 - ③ 연약지반상 구조물의 기초지반은 연약지반처리공법을 적용하는 것으로 하며 말뚝 기초 사용을 원칙적으로 금지하고 있음. 부득이 말뚝기초를 사용하는 경우, 구조물의 부등침하, 공동발생, 파이핑, 히빙, 측방유동, 부마찰력 등에 대한 안전 대책을 반드시 강구해야 함.

■ 침투에 대한 보강 공법의 설계

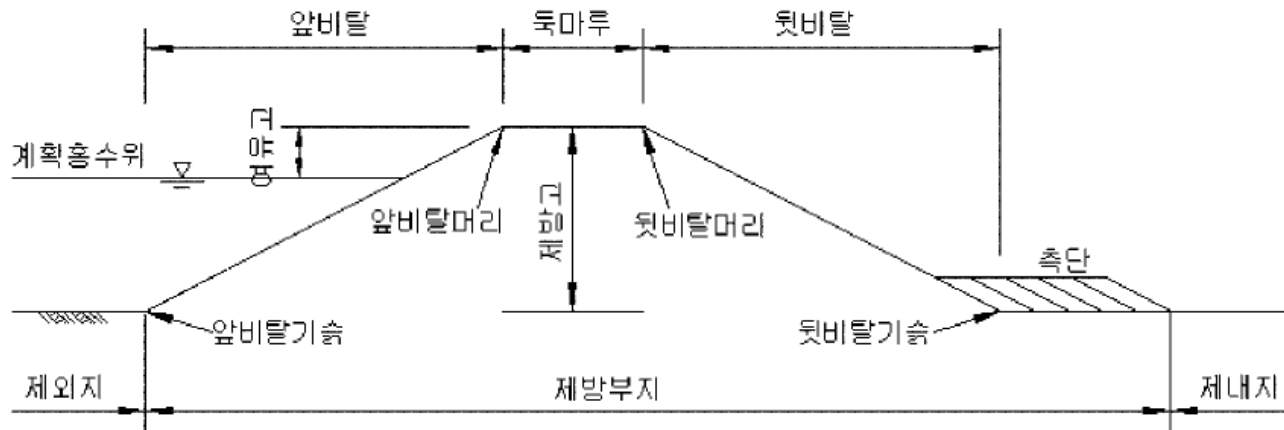
- ① 침투에 대한 제방의 보강은 홍수특성, 축제이력, 토질 특성, 배후지의 토지이용 상황, 효과의 확실성, 경제성 및 유지관리 등을 고려해서 적절한 공법을 선정함.
- ② 침투에 대한 보강공법은 크게 제체 및 기초지반에 대한 것으로 분류되는데, 제체 침투에 대한 보강공법은 제체 동수경사 저감 및 경사면 파괴 활동 안전성을 증가시키기 위한 단면확대공법, 강우나 하천수의 제체내 침투를 방지 또는 억제하기 위한 앞비탈면 피복공법 등이 있음.
- ③ 기초지반 침투에 대한 보강공법은 기초지반에 차수벽을 설치하여 침투파괴를 방지하는 차수공법 및 제외지쪽 고수부 표층을 불투수성 재료로 피복하여, 침투유로의 연장을 통한 침투압을 저감하는 피복공법 등이 있음.

■ 제방의 축제재료

- 제방의 축제재료는 유지관리, 보수의 편의성, 재료입수의 용이성, 경제성, 내구성, 지반과의 친숙성의 관점을 고려할 때 토사가 가장 많이 사용되고 있다.
- 제방에 사용되는 토사는 다음과 같은 성질을 만족시켜야 함.
 - ① 투수성이 낮을 것
 - ② 물로 포화되었을 때 내부마찰각이 낮아지지 않을 것, 즉 경사면의 붕괴가 일어나기 어려울 것
 - ③ 굴삭, 운반, 다짐 등의 시공성이 좋을 것
 - ④ 건조 등에 의한 균열이 생기지 않을 것
 - ⑤ 물에 의한 용출성분, 예를 들면 초목 등의 유기물 등이 포함되지 않을 것.
- 위의 성질을 만족시키기 위해 입도가 다른 흙과 모래를 적당히 혼합한 재료를 사용함.

■ 제방의 시공

- ① 제방을 쌓을 곳의 지반과 성토와의 밀착을 좋게 하기 위해서 지반의 잡초, 나무나 그 뿌리를 충분히 제거하고, 지반을 적당하게 일군다. 지반이 경사져 있는 경우에는 턱을 만들어 성토와의 밀착과 활동을 방지함.
- ② 성토는 제체의 누수, 침하와 미끄러짐을 방지하기 위해, 제방중심을부터 앞비탈부에는 가능한 한 불투수성의 흙을 배치하고, 다지기를 행한다. 다지기의 효과를 증가시키기 위해서 통상 회의 다지기층 두께는 0.5~1.0m 정도로 함.
- ③ 성토는 계획단면에 가까운 형태까지 복돋우나, 마무리에는 사면절단, 마루고루기, 사면의 흩다지기 등의 작업을 불도저 등의 건설기계를 사용하여 행함. (제방쌓기)
- ④ 제방토사의 침수성이 큰 경우에는 사면을 두께 20~30cm 정도의 양질의 흙으로 덮고, 충분히 다져서 흩덮기를 하며, 그 표면에 평떼붙이를 실시함.
- ⑤ 비탈머리에는 우수침식방지를 위해 10~15cm 정도로 평떼를 깔아 보호함.



■ 강의 자료 출처

- 이원환, 최신 하천공학 제2판, 문운당, 2012.
- 하천설계기준•해설, 국토교통부, 2009.
- 인터넷 사진자료

Thank You!

www.chungbuk.ac.kr



충북대학교
CHUNGBUK NATIONAL UNIVERSITY