

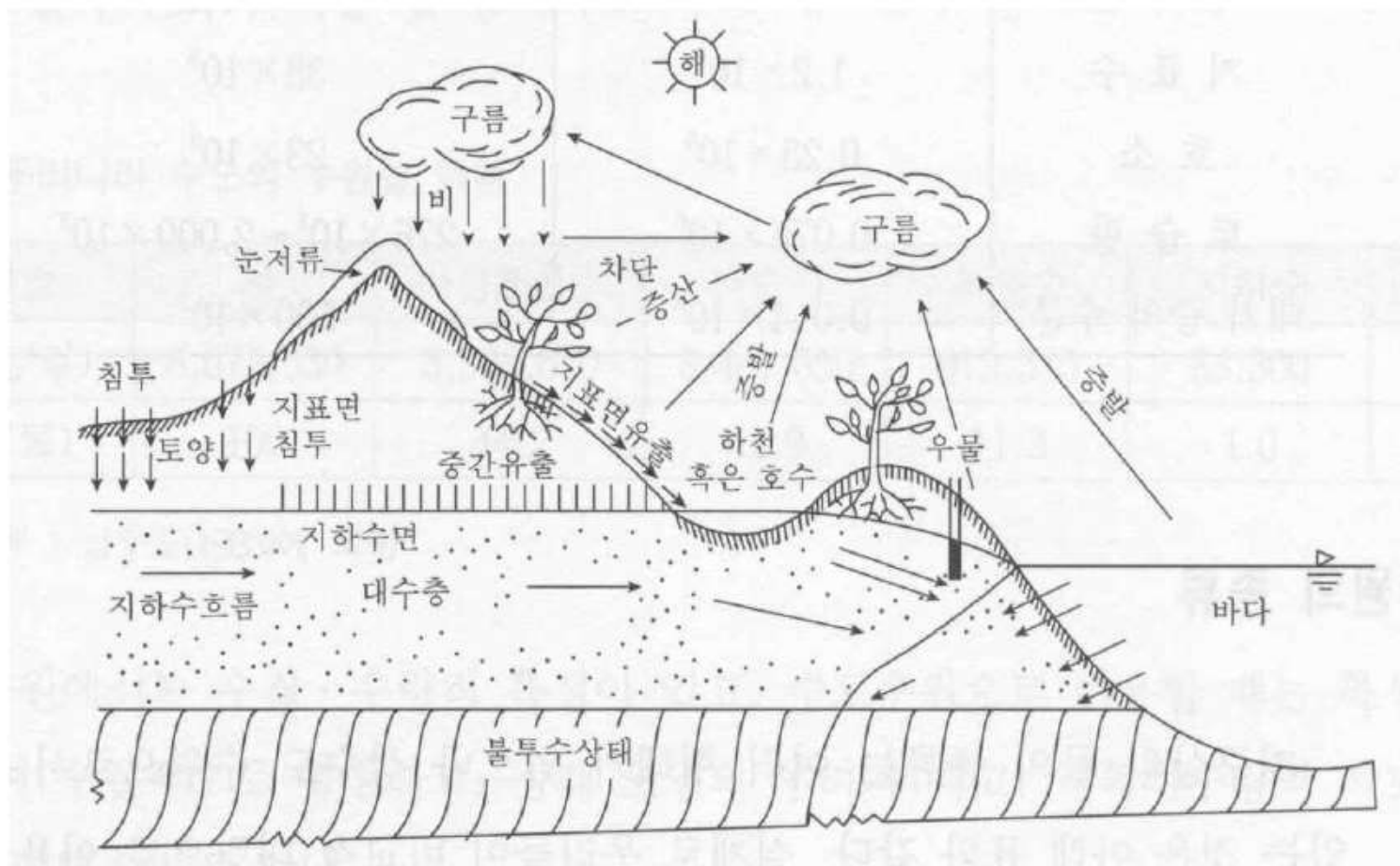
상하수도공학

상수도 (3) 수원과 취수

명지대학교

1) 수원

(1) 물의 순환과정



4) 수원

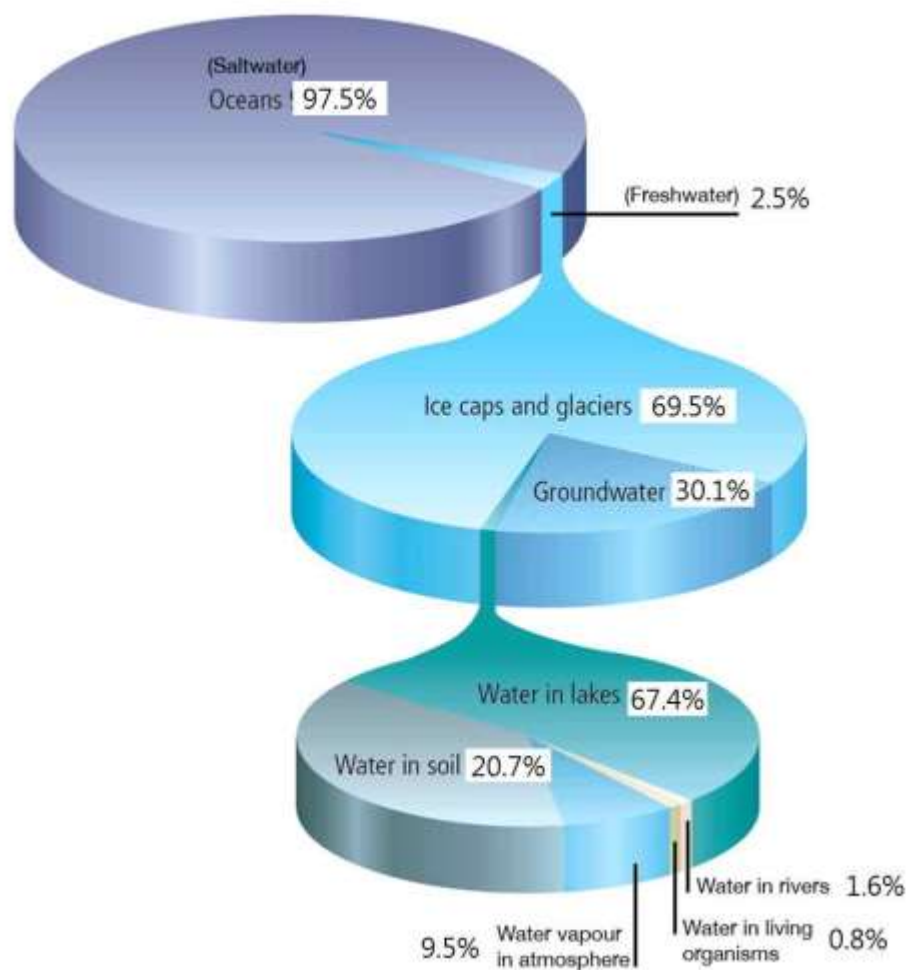
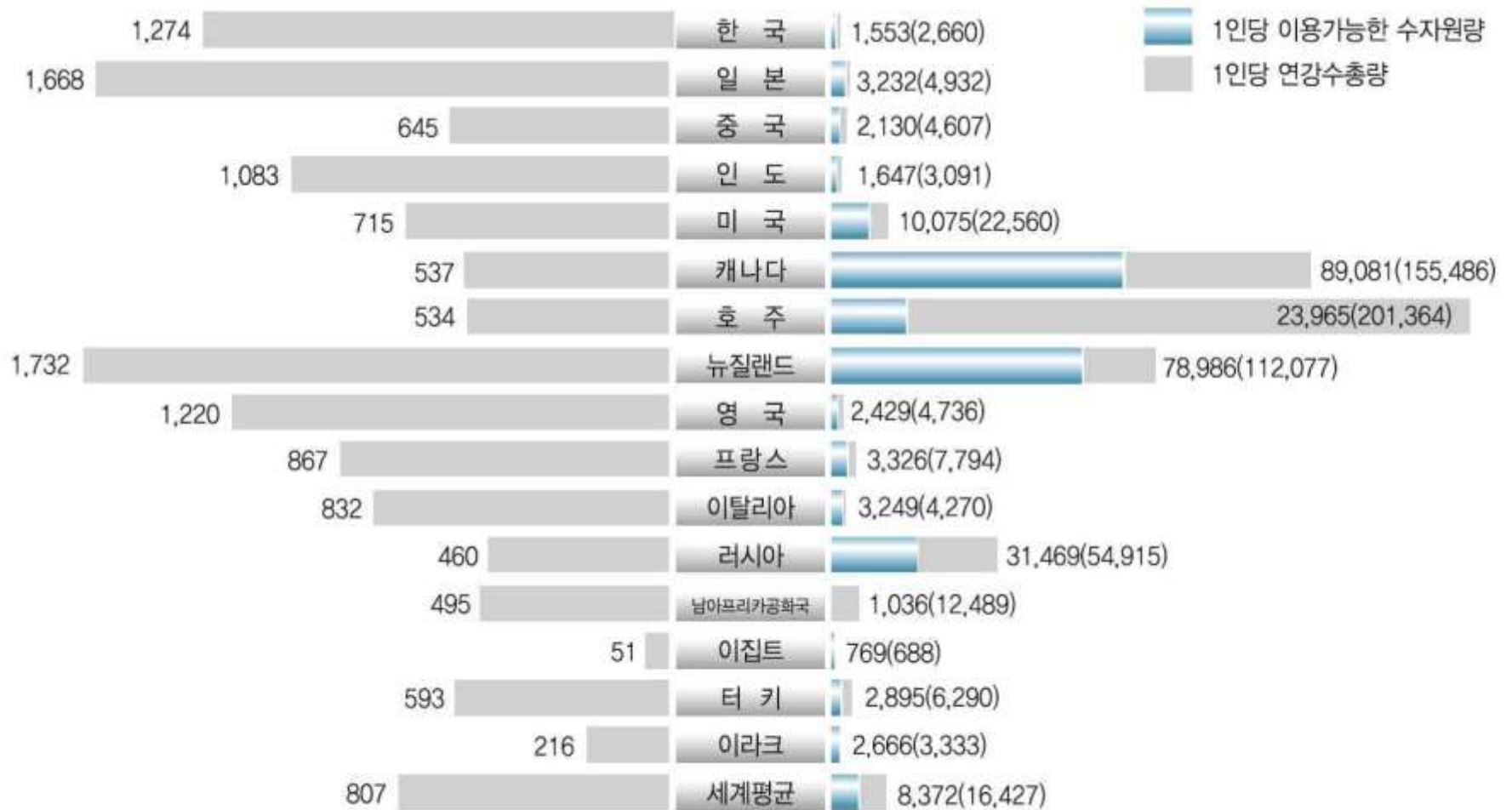


표 7.1 지구상 물의 절대량 및 구성비⁽¹⁾

구 분	양(km³)	담수 구성비 (%)	전체 구성비 (%)
바닷물	1,338,000,000	-	96.54
빙하 및 빙설	24,060,000	68.6	1.74
지하수	23,400,000	-	1.69
민물	10,530,000	30.1	0.76
소금물	12,870,000	-	0.93
토양수분	16,500	0.05	0.001
토빙	300,000	0.86	0.022
호수	176,400	-	0.013
민물	91,000	0.26	0.007
소금물	85,400	-	0.007
대기수분	12,900	0.04	0.001
습지	11,470	0.03	0.0008
하천	2,120	0.006	0.0002
생물수	1,120	0.003	0.0001
총 수량	1,385,980,510		100%

1) 수원

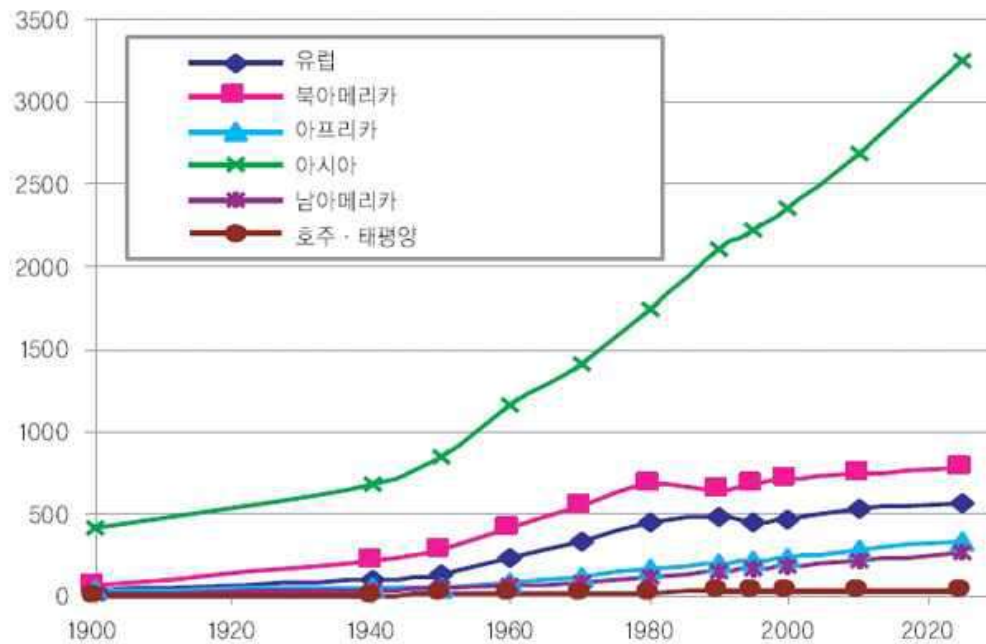


연평균 강수량(mm/년)

1인당 이용가능한 수자원량, 연강수총량(m³/년/인)

1) 수원

[그림 1] 대륙별 물 사용량 (단위 km³)



1) 수원

물이 점점 사라지고 있는 콜로라도 강

미국의 주요 관광도시인 서부 7개 주에 물을 공급하고 있는 콜로라도 강(Colorado river)의 수위가 낮아지고 있다. 최근 기후변화로 인한 가뭄의 발생 빈도가 높아진 것도 원이 될 수 있지만 콜로라도 강의 수위가 낮아진 가장 큰 원인은 로스엔젤레스와 샌디에이고 등의 대도시에서 과도하게 물을 사용하기 때문이다. 경제적인 측면에서 보면 콜로라도강이 1조4000억 달러 규모인 서부 7개 주 경제에 공급하는 물의 양이 10%만 감소해도 이들 지역의 역내총생산이 연 1434억 달러 감소하고 160만 명이 일자리를 잃게 된다고한다. 20% 줄면 역내총생산은 2870억 달러 줄고 실업자 수는 320만 명으로 증가한다고한다.



(a) 1999년



(b) 2013년

1) 수원

미국 서부지역의 도수로

토목 기술이 발전함에 따라 인간이 인공적으로 물길을 만들어 물을 운반하기 시작하였는데 이와 같이 하천의 물을 인간이 원하는 대로 끌어와 필요한 곳으로 물을 흘려보내는 물길을 도수로(Aqueduct)라고 한다. 미국 서부지역의 도수로가 세계에서 가장 대표적인 사례이다. 로스앤젤리스와 라스베가스 있는 캘리포니아주 남부지방과 애리조나주는 강우량이 적어 물이 부족한 지역이다. 따라서 이 지역의 주민들은 물을 구하기 위해 콜로라도강(2,330km)의 물을 끌어와 사용하기로 하였다. 이에 1930년대 후버댐을 시작으로 수많은 다목적 댐과 도수로(그림 7.22)를 만들어 물을 운반하여 오늘날과 같이 크게 발달한 도시를 건설할 수 있었다. 그림 7.22(a)의 중앙 애리조나 도수로로는 파커댐의 물을 애리조나 지역에 공급하고 있으며 길이는 약 541km이고, 그림 7.22(b)의 콜로라도강 도수로로는 로스앤젤리스를 포함한 캘리포니아 지역에 물을 공급하고 있으며 길이는 약 389km로 서울에서 부산까지의 거리와 비슷하다. 또한 미국 동부의 뉴욕도 200km 떨어진 캐츠킬 산맥의 상류에서 물을 끌어와 사용하고 있다. 이와 같이 환경이 열악한 지역에 물을 공급하기 위해서는 우리들의 상상 이상으로 많은 노력과 기술들이 필요하다는 것을 알 수 있다. 이러한 대역사들은 토목공학 전문가들의 노력이 함께 했기에 가능했던 것이다.



(a) Central Arizona Project



(b) State Water Project

1) 수원

원수·취수
·도수



수돗물로
생산할
깨끗한 물을
정수장으로
보냅니다.

정수



약품을 넣고
소독도 하여
안전하게
마실 수 있는
깨끗한
수돗물을
생산합니다.

송·배수



정수장에서
생산된
수돗물을
상수도
관로를 통해
각 가정으로
보냅니다.

급수·가정



수도꼭지를
틀기만 하면
깨끗한
수돗물이
팔팔 쏟아
집니다.



1) 수원



1) 수원

스마트 워터 그리드(Smart Water Grid)⁽⁶⁾

효율적인 물 관리의 기본은 제한된 물을 필요한 곳에 적절하게 배분하는데 있다. 이를 위해서는 물 사용량과 물 저장량 및 물 공급량을 실시간으로 모니터링 하여 물이 많이 필요한 곳에 좀 더 공급해주고, 덜 필요한 곳에 적게 공급할 필요가 있다. 이를 위해 IT 기술과 토목공학을 융합한 스마트 워터 그리드라는 기술을 개발하고 있다. 스마트 워터 그리드는 기존 수자원 관리 시스템의 한계를 극복하기 위해 첨단 센서 네트워크를 이용한 고효율의 차세대 물관리 인프라 시스템으로, 수자원망의 안정성을 모니터링하고, 수자원망에 깨끗한 물을 효율적으로 배분, 관리 및 운반하여 수자원의 지역적·시간적 불균형을 해소할 수 있는 해결책이 될 것으로 기대된다.

전통방식의 수자원활용



1) 수원

□ 수원 (상수원)

- 가정용수, 농업용수, 공업용수 등을 제공하기 위하여 취수시설을 설치한 지역의 하천, 호수, 지하수 등

□ 수원 선정의 조건

- 1) **수원으로서의 구비 요건**을 갖추어야 함.
 - **수량이 풍부**해야 함 (계획수량을 만족시켜야 함)
 - **수질이 우수**해야 함 (수질기준을 만족시켜야 함)
 - **가능한 한 높은 곳에 위치**해야 함
 - **용수를 소비하는 지역에서 가까운 곳에 위치**해야 함
- 2) 수리권 확보가 가능한 곳이어야 함.
- 3) 상수도 시설의 건설 및 유지관리가 용이하며 안전해야 함
- 4) 상수도 시설의 건설 및 유지관리비 측면에서 경제적이어야 함
- 5) 장래 확장이 유리한 지점이어야 함
- 6) 상수원 보호구역의 지정, 수질의 오염방지 및 관리에 무리가 없는 지점이어야 함

1) 수원

- 수원으로서 급수구역의 부근에 양질의 물이 풍부하게 있는 것이 이상적인 조건임

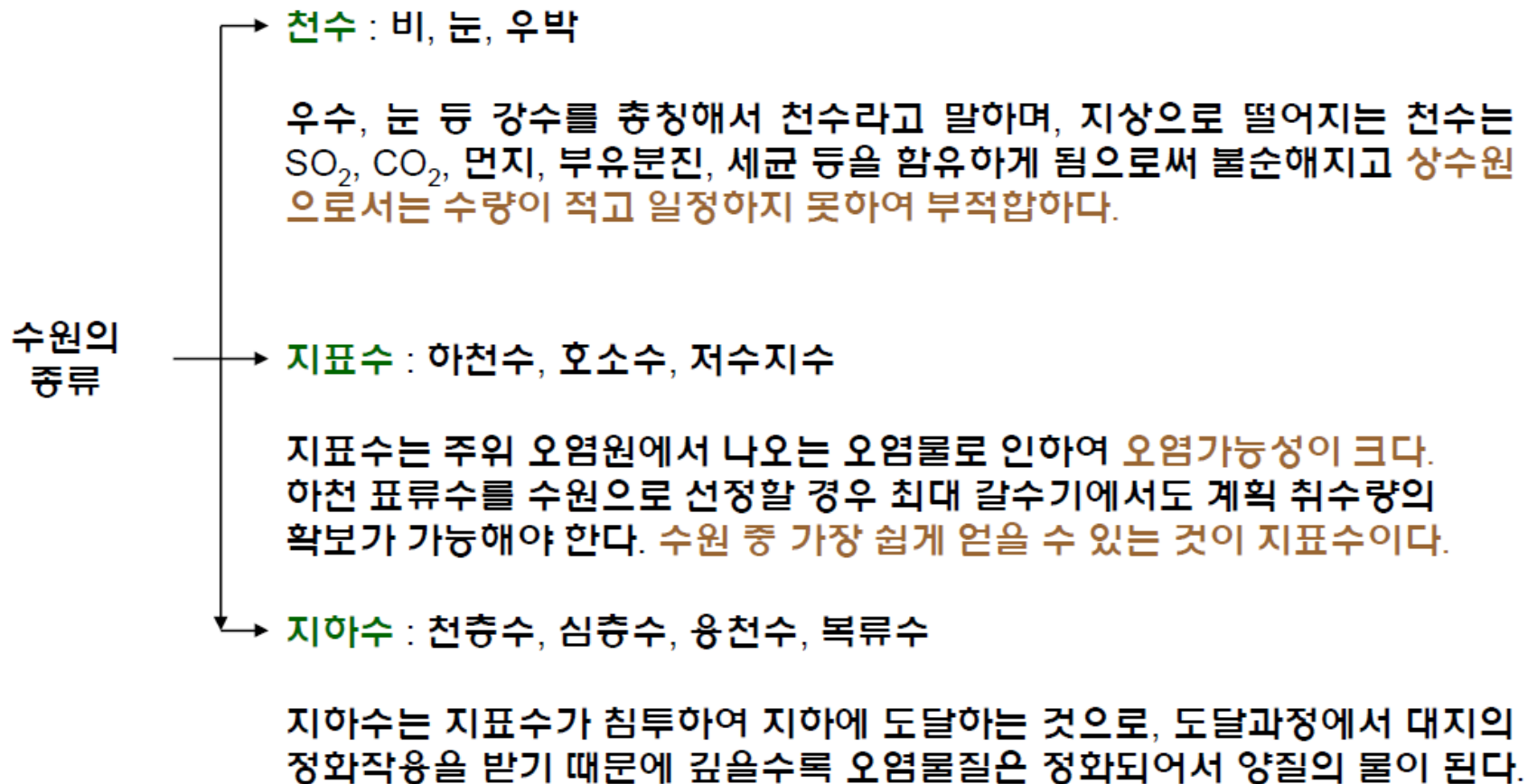
<수원의 종류>

구 분	내 용
지표수, 표류수	하천표류수, 호소수, 저수지(댐)수
지하수	얕은 우물, 깊은 우물, 용천수, 복류수
기상수	우수, 눈
해 수	바닷물

1) 수원

(4) 수원의 종류 ①수원의 이용빈도순서 : 지표수(하천수) > 지하수 > 천수

①수질적으로 청정하고, ②장래에 오염의 우려가 적으며, ③계획취수량을 확보할 수 있는 곳

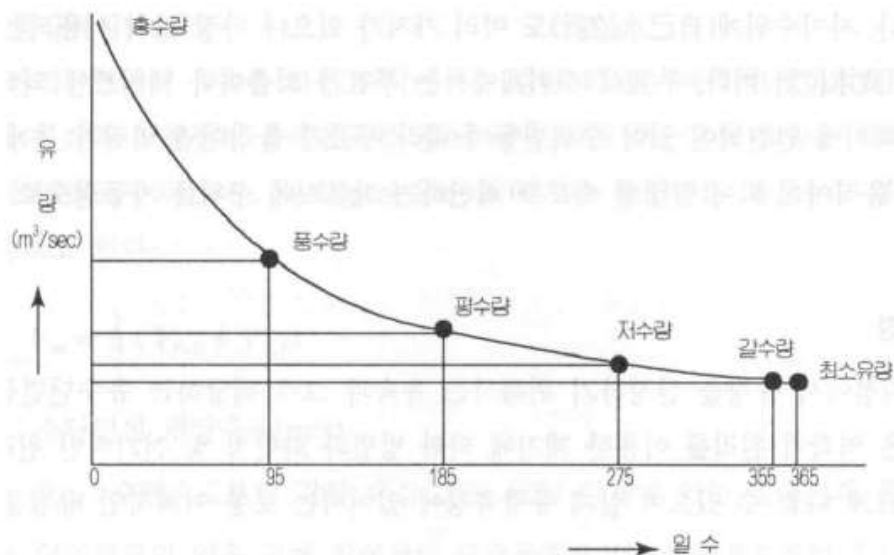


1) 수원

(5) 지표수(표류수)의 종류

1) 하천수

- ☹ 우리나라의 취수상황을 보면 **하천수의 의존도가 높다.**
- ☹ 그러나 수질변동이 심하고 특히 홍수 때에는 탁도가 수천도 이상이 된다.
- ☹ 하천수의 수질은 기상, 기후의 영향을 받기 쉬워 수온은 여름과 겨울의 차이가 크다.



갈수량과
갈수위 :

1년중에서 355일 동안 이보다 이하로 내려
가지 않는 수량과 그때의 수위

평수량과
평수위 :

1년중에서 하천이 수량과 수위가 185일 이
상 유지될 때의 수량과 수위

홍수량과
홍수위 :

홍수 기간중에 지속되는 하천의 유량과 수
위로서 댐이나 취수시설 등의 수중 구조물
의 설계에 영향을 미침으로써 수원의 수문
자료로서 중요한 의미를 가진다.

최대 갈수기와
최대 갈수위 :

하천이 유량과 수위에 관한 자료 중에서
가장 낮은 값

최대 홍수량과
최대 홍수위 :

취수시설의 설계를 위하여 필요한 자료

1) 수원

2) 호소수

☹ 호소수는 하천수에 비해서 일반적으로 양호하며 침전에 의한 자정작용이 크고 오염물질은 하천수를 통하여 서서히 유입된다. 호소의 특징은 수온이 호소의 정체순환현상을 지배하는 최대의 요인이 된다.

☹ 하천수에 비해 호소수의 특징

- 침전에 의한 자정작용이 크다.
- 오염을 멀리까지 운반하지 않는다.
- 수질변화가 완만하다.
- 조류의 번식이 용이하다.
- 봄, 가을 순환기에 수질이 현저하게 악화된다.

3) 저수지수

☹ 저수지수는 하천의 갈수량을 초과하는 경우 유출량이 많은 시기에 저장하였다가 부족시기에 보충하는 수량이다. 저수지에서 수질이 가장 좋은 곳은 수심의 중간부분이며, 수면에 가까울수록 조류가 많이 번식해 있고, 바닥의 물은 탄산가스, 철(Fe), 망간(Mn), 유화수소 등의 함유도가 높으며 수심 약 7m 이상인 깊은 곳은 비교적 정체하는 층이 존재하기 쉽다.

1) 수원

(6) 지하수의 종류

1) 복류수(River bed water)

☹ 복류수는 하천이나 호소의 저부 또는 측부의 자갈, 모래층에 함유되어 있는 지하수를 말한다. 그 질은 우수하나 호소의 물이 지하에 침투한 것이라고 단정할 수 없으나, 어느 정도 여과된 것이므로 지표수에 비하여 수질이 양호하며 대개의 침전지를 생략할 수 있다.

☹ 복류수의 특징 : 심층수와 같이 철분(Fe), 망간(Mn) 등의 광물질 함유량이 적고 수원으로 가장 적합하며 수량은 심층수에 비하여 안전 확실하다. (침전과정 생략가능)

2) 용천수(Spring water)

☹ 용천수는 지표수가 지하로 침투하여 암석 또는 점토와 같은 불투수층에 차단되어 한 쪽으로 출구를 찾아서 솟아나온 것을 말한다. 피압지하수면이 지표면 상부에 있을 경우 지하수는 우물로부터 용출하게 된다. 지하수가 자연스럽게 지표에 나타나는 것으로 그 성질도 지하수와 비슷하다.

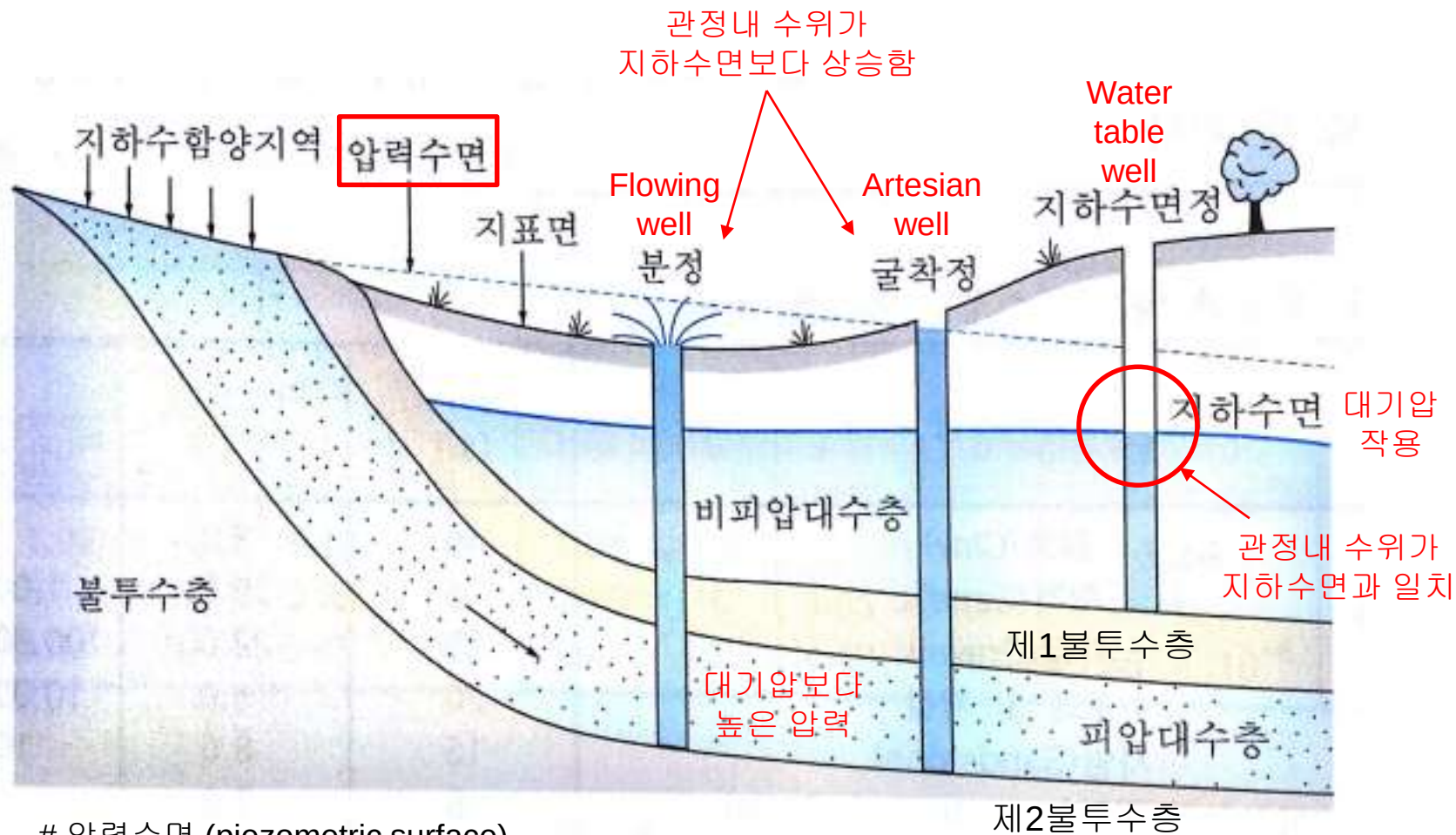
3) 천층수(Sub-surface water)

☹ 천층수는 지하로 침투한 물이 제1불투수층 위에 고인 물로 자유면 지하수를 말한다. 천층수는 지층이 얇아서 정화가 아직 부족한 상태의 물이므로 수질은 위생상 위험할 때가 있고 대장균이 나타나는 경우도 있다.

4) 심층수(Ground water)

☹ 심층수는 지하수 제1불투수층과 제2불투수층 사이의 피압면 지하수를 말한다. 심층수는 대지의 정화작용이 왕성하며 무균 또는 이에 가까운 상태의 물이다. 수온도 계절을 통하여 대체로 일정하고 물의 성분 변화도 적다. 그러나 심층수에서는 산소가 부족되기 때문에 오히려 환원작용도 받을 수가 있다.

1) 수원



압력수면 (piezometric surface)

- 피압대수층 내의 물이 받는 정수압의 크기에 해당하는 높이 (압력수두)
- 압력수면 > 지면 → 분정 (flowing well) 발생

2) 취수

(1) 계획취수량

- ☹️ 계획취수량은 계획1일 최대급수량을 기준으로 한다.
- ☹️ 그 외에 5-10%정도 여유를 둔다. (각종 상수도시설에서의 손실과 세척수 등 생산용수 포함)

(2) 취수지점의 선정

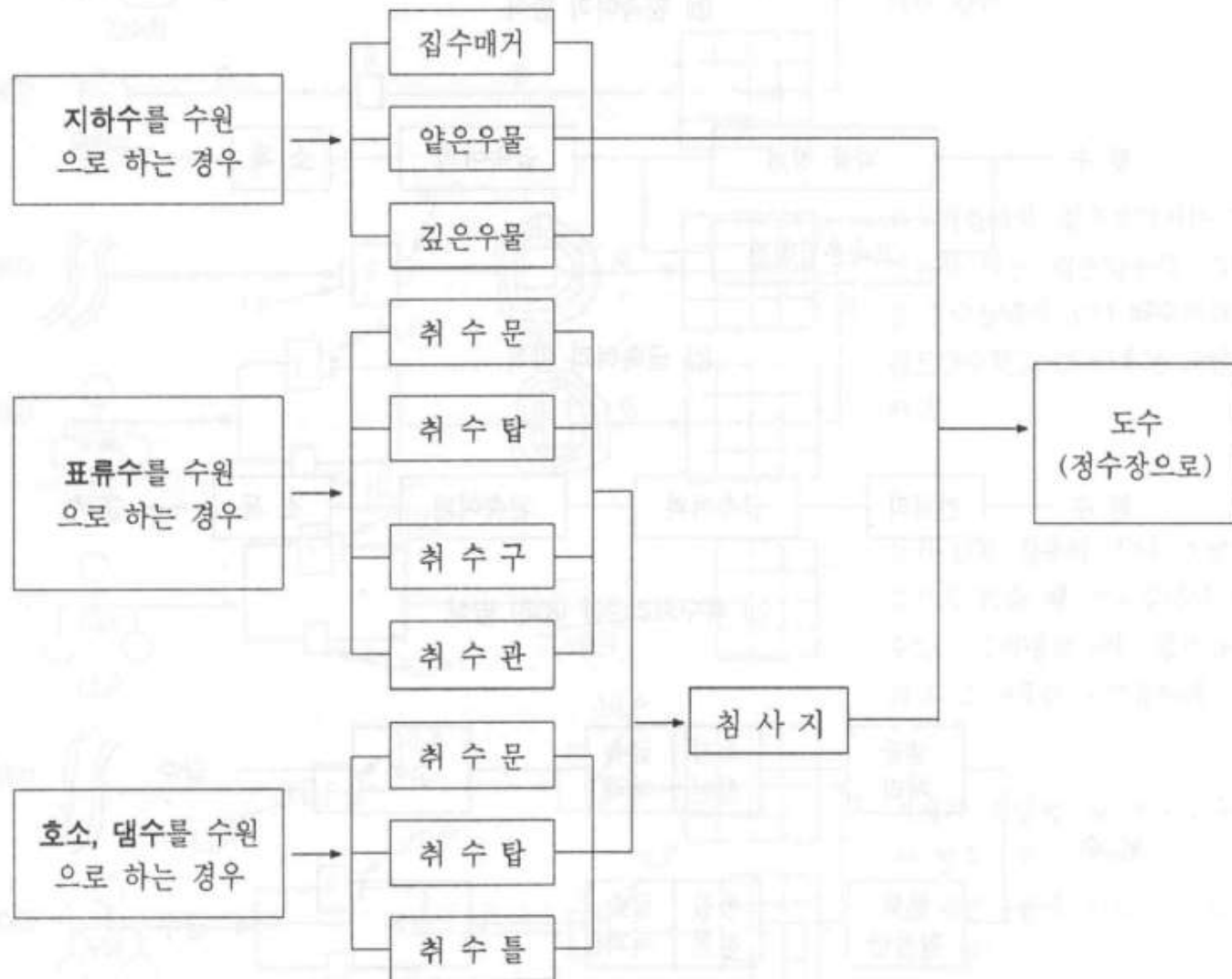
1) 취수지점의 선정요건

- ☹️ 계획수량을 확실히 취수할 수 있어야 한다.
- ☹️ 수질오염을 받을 우려가 적어야 한다.
- ☹️ 유지관리가 용이해야 한다.
- ☹️ 해수의 영향이 없어야 한다.
- ☹️ 수리권 확보가 가능해야 한다.
- ☹️ 건설비와 유지비가 저렴해야 한다.
- ☹️ 미래의 시설확장에 유리해야 한다.

2) 취수지점 선정시 조사사항

- ☹️ 최대홍수량, 최대갈수량, 홍수량, 갈수량, 평수량
- ☹️ 최대홍수수위, 평수위 및 최대갈수위
- ☹️ 강우와 탁도 및 기타 수질과의 상관관계
- ☹️ 최대탁도, 염분농도
- ☹️ 계절에 따른 수질의 변동
- ☹️ 수리권

2) 취수



2) 취수

(3) 수원별 취수지점의 선정

1) 하천수

① 하천수의 취수지점

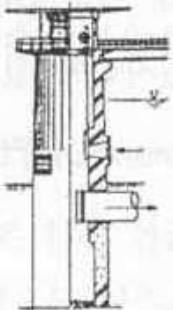
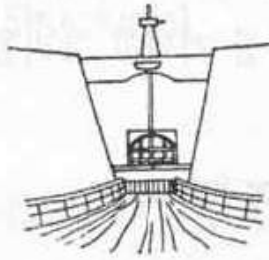
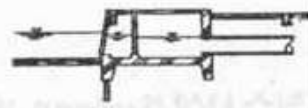
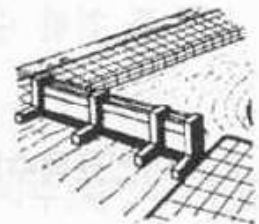
- ☹️ 수심의 변화, 하상의 상승 및 하저에 대비해 유속이 완만한 곳이어야 한다.
- ☹️ 취수지점 및 그 주위지역의 지질이 견고하고 비상사태에 의한 취수의 방해 및 시설 피해가 없는 곳이어야 한다.
- ☹️ 하수에 의한 오염, 바닷물 역류에 영향을 받지 않는 곳이어야 한다.
- ☹️ 장래의 하천개수 계획을 고려하여 그 실시에 영향을 받지 않는 곳이어야 한다.

② 하천수의 취수시설

- ☹️ 취수관(Intake pipe)
- ☹️ 취수문(Intake gate)
- ☹️ 취수탑(Intake tower)
- ☹️ 취수언
- ☹️ 취수틀

2) 취수

[표 5-2] 하천표류수 취수시설의 비교

취수 시설	취 수 탑	취 수 문	취 수 관 거	취 수 언 제(둑)
개 략 도				
기능 · 목적	하천 수심이 일정이상되는 지점에 설치하면 연간 안정적인 취수가 가능함. 취수구를 상하에 설치하여 수위에 따라서 좋은 수질을 선택, 취수할 수 있다.	취수구시설에서 스크린, 수문 또는 물반지를 설치하여 일체가 되어 작동하게 된다.	취수구부를 복단면하천의 저수호안에 설치하여 표류수를 취수하고 관거부를 통해서 제내지도수하는 시설이다.	하천수를 막아 계획취수위를 확보하여 안정된 취수를 가능하게 하기 위한 시설로서, 둑본체·취수구·침사지 등이 일체가 되어 기능을 함

(계 속)

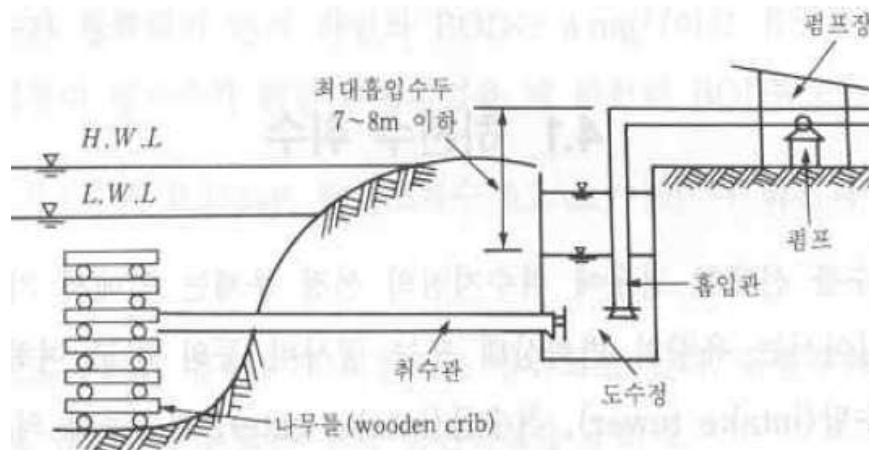
2) 취수

취수 시설	취 수 탑	취 수 문	취 수 관 거	취 수 언 제(독)
특징	대량 취수시 경제적 인 것이 특징, 유황이 안정된 하천에서 대량으로 취수할 때 특히 유리하다. 취수언제에 비해서 일반적으로 경제적이다.	유황, 하상, 취수위가 안정되어 있으면 공사와 유지관리도 비교적 용이하고 안정된 취수가 가능하나, 갈수시, 홍수시, 결빙시에는 취수량확보 조치 및 조정이 필요하다.	유황이 인정되고 수위의 변동이 적은 하천에 적합하다. 시설은 지반 이하에 축조되므로 하천흐름이나 치수, 주운 등에 지장이 없다.	안전된 취수와 침사효과가 큰 것이 특징, 개발이 진행된 하천 등에서 정확한 취수조정이 필요한 경우, 대량 취수할 때, 하천흐름이 불안정한 경우 등에 적합함
취수량의 대소	보통 대·중용량 취수에 쓰인다. 특히 대량 취수의 경우 우수하다.	보통 소량취수에 이용된다. 그러나 언저에 비해서는 대량취수에도 쓰인다.	보통 중규모이하의 취수에 쓰이며, 언저와 병용해서 대량취수도 가능하다.	보통 대량취수에 적합, 그러나 간이식은 중·소량 취수에도 사용됨
취수량의 안전상황	보통 안정된 취수가 가능하다.	하천유황의 영향을 직접 받으므로 불안정하다. 그러나 하천유황이 안정되고 관리가 잘되는 소규모에서는 안전성이 높다.	보통 안정된 취수가 가능하다. 그러나 하천의 변동이 큰 개소에서는 취수에 지장이 발생하는 경우도 있다.	안전된 취수가 가능함
하천의 유황	보통 유황이 안정된 하천에 적합하다.	보통 유황이 안정된 하천에 적합하다.	보통 유황이 안정된 하천에 적합하다.	유황이 불안정한 경우에도 취수가능

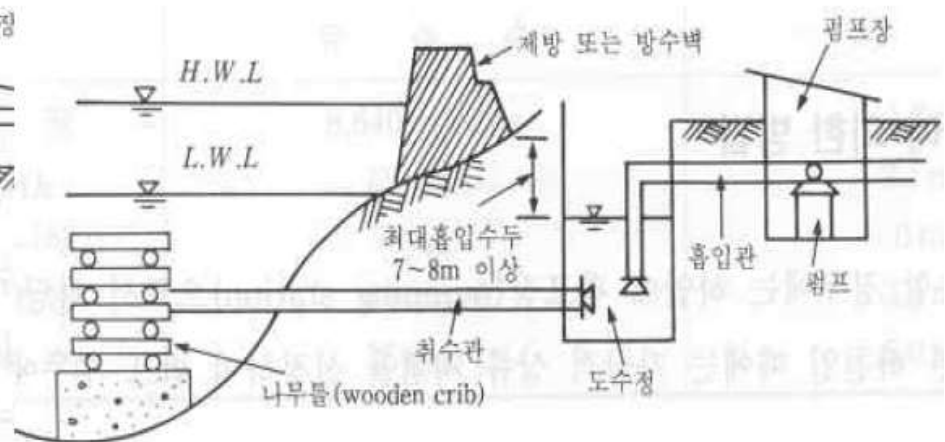
2) 취수

☹ 취수관(Intake pipe)

- 수중에 관을 부설하여 취수하며, **수위변화에 영향을 받지 않고 안전하게 취수할 수 있는** 지점에 설치한다.
- 취수구에 스크린을 설치하여 부유물 등의 유입을 방지한다.
- 유입속도 : 0.8m/sec 이하



(a) 하천수위변화가 적은 경우



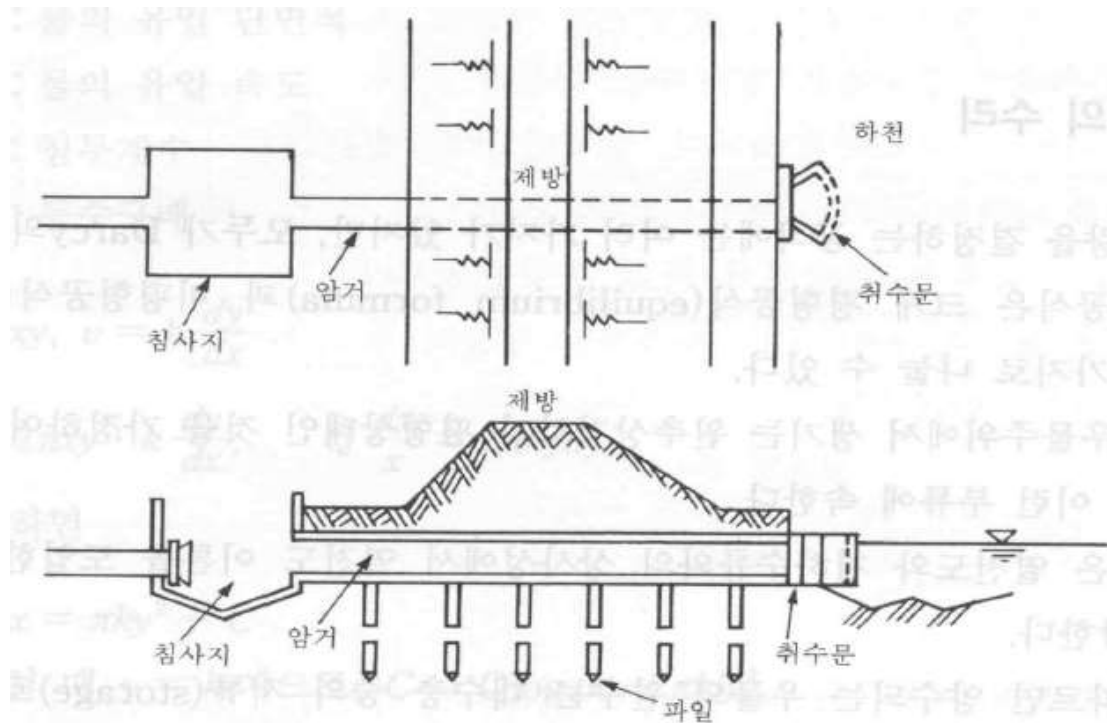
(b) 하천수위변화가 큰 경우

[그림 5-6] 취수관

2) 취수

☹ 취수문(Intake gate)

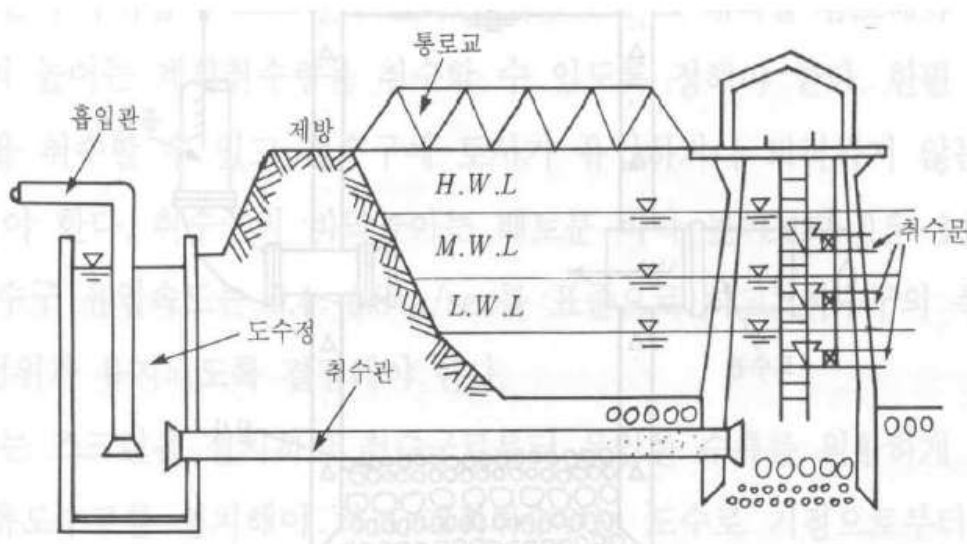
- 직접 하안에 취수구를 설치하며 콘크리트 암거구조로 구성된다.
- 하천의 중. 상류부 지점에 설치하는 경우가 많다.
- 지반의 부등침하나 암거시공시 이음, 균열 등으로 누수발생의 우려가 있다.
- 일반적으로 **농업용수의 취수나 하천유량이 안정된 곳의 취수**에 사용된다.
- 유입속도 : 0.8m/sec 이하



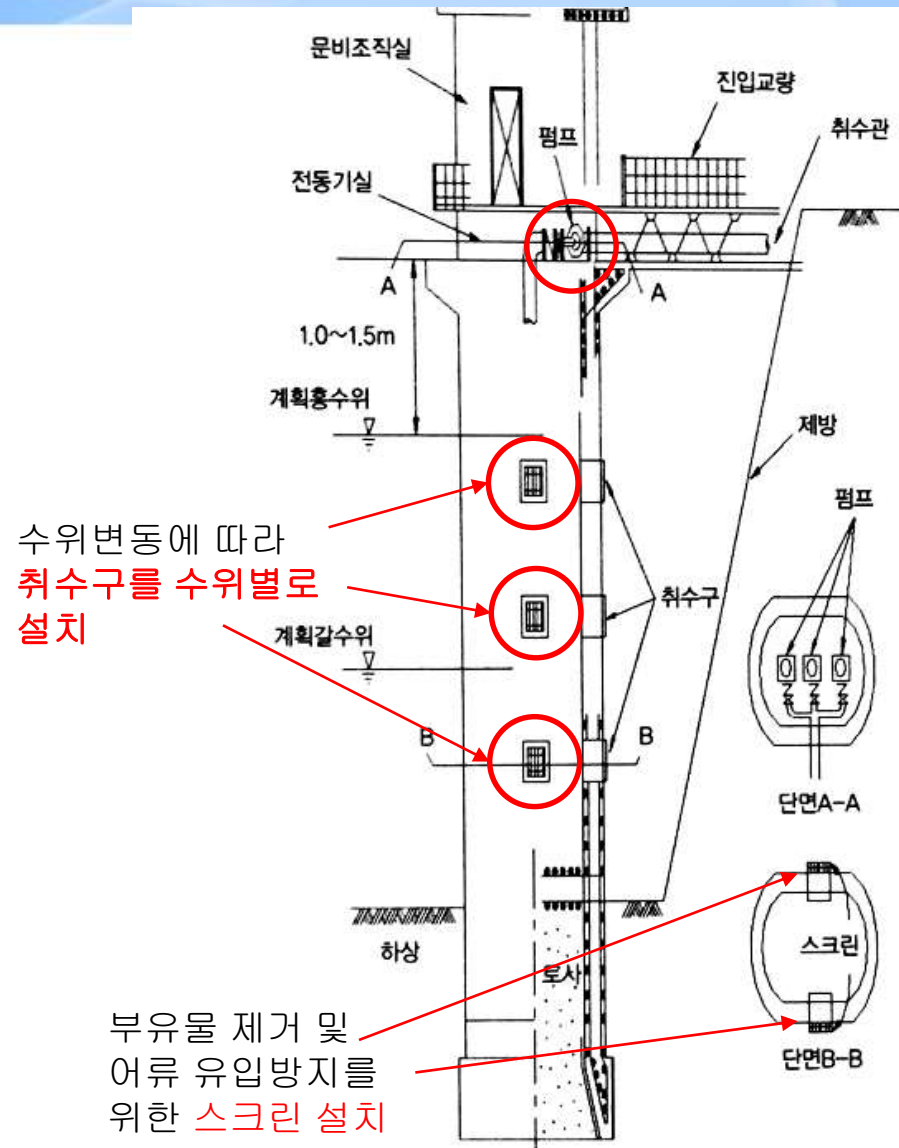
2) 취수

☹ 취수탑(Intake tower)

- **대량 취수**시 유리하며, 여러 수위에서 취수가 가능하도록 각각 다른 높이에 여러 개의 취수구를 설치하여 양질의 물을 취수할 수 있다.
- **연간 수위변화가 큰 지점**에서 안정된 취수를 가능하게 한다.
- 하천의 중·하류부, 저수지 및 호소 등에서 사용된다.
- 최소수심 : 2m 이상
- 토사유입이 큰 하천 : 유입속도 15-30cm/sec 정도



2) 취수

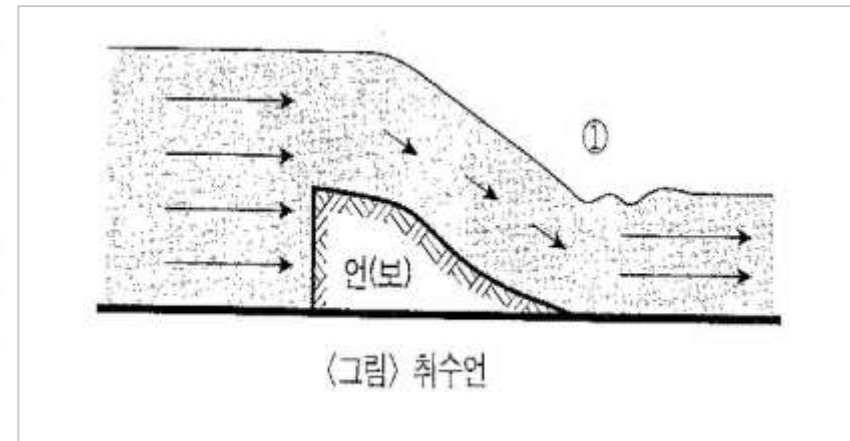
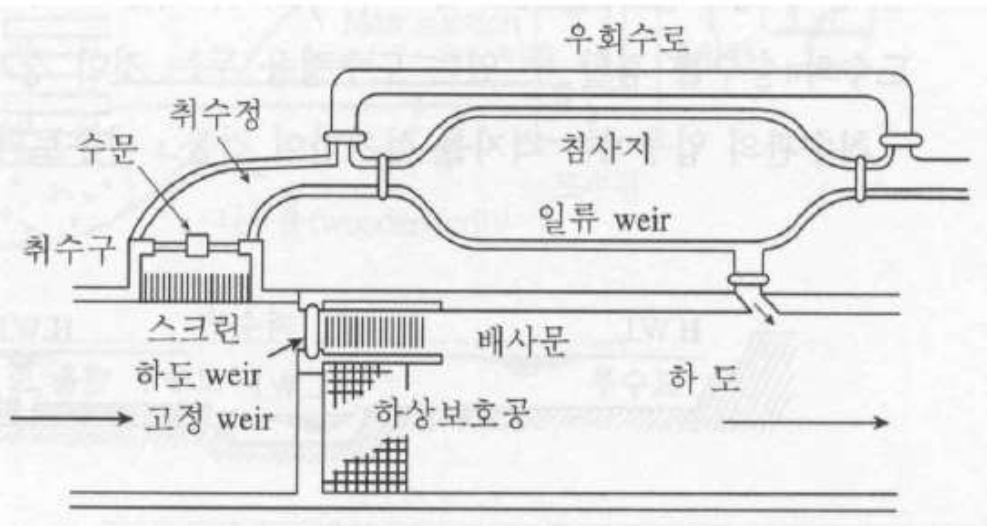


〈그림 31.1〉 취수탑의 구조

2) 취수

☹ 취수언

- 하천의 흐름방향에 직각방향으로 댐을 축조하여 물을 막아 하천의 수위를 높여서 수문에 의하여 조절되는 취수구를 통하여 물을 취수하는 시설이다.
- 고정보(전폭위어)일 경우 홍수시 취수구의 주변수위가 상승할 우려가 있으므로 하천의 협곡부를 피하여 설치한다.



☹ 취수틀

- 하천이나 호소 등의 수중에 설치되는 시설
- 하상이나 호소바닥의 변화가 큰 곳에서는 부적절하며, 안정된 하상의 경우에 적합하다.
- 최소 수심이 3m 이상인 장소에 사용된다.
- 유입속도 : 하천의 경우 15-30cm/sec, 호소 및 저수지의 경우 1-2m/sec

2) 취수

2) 호소수, 저수지수

① 호소수의 취수지점

- ☹️하수의 유입이 있는 곳을 피하고, 바람, 물의 흐름으로 인한 침전물이 교란될 가능성이 적은 곳이라야 한다.
- ☹️항로에 가까이 위치한 곳은 피해야 한다.
- ☹️얕은 호수나 저수지에서의 취수는 수면으로부터 3-4m, 큰 호수는 10m 이상 깊은 곳에서 취수해야 한다.

② 호소수 및 저수지수의 취수시설

- ☹️하천수와 마찬가지로 **취수관**, **취수탑**, **취수문** 등을 많이 이용한다.
- ☹️비교적 수심이 깊지 않은 자연호소에서는 **취수틀**을 많이 사용한다.
- ☹️인공저수지에서는 주로 댐의 본체에 취수시설이 설치되어 있다.
- ☹️하천수 취수시설 중 취수언은 사용하지 않는다.

③ 저수지의 위치선정시 고려사항

- ☹️작은 댐으로 필요한 저수량을 확보할 수 있어야 한다.
- ☹️저수지바닥의 지질이 좋아야 한다.
- ☹️저수지 축조로 인한 용지의 지가보상 대상이 적어야 한다.
- ☹️집수면적이 넓고 수원보호가 유리해야 한다.
- ☹️수요지에 가까울수록 좋고 가급적 자연유하식으로 도수할 수 있어야 한다.
- ☹️수심이 비교적 깊어야 한다.
- ☹️댐의 건설재료를 얻기 쉬운 장소이어야 한다.

2) 취수

④ 저수지의 용량결정

- ☹ 하천유량의 저류량, 계획취수량, 방류수량, 손실수량(증발, 침투) 등을 고려하여 결정한다.
- ☹ 저수지의 유효저수량은 과거 기록들 중에서 최대갈수년을 기준으로 산출하는 것이 이상적이지만 경제적인 면을 고려하여 10년 빈도정도의 갈수년을 기준으로 정한다.

☹ 저수지 용량결정방법

- 경험적인 방법
 - 강수량이 많은 경우 : 총강우량의 120일분
 - 강수량이 적은 경우 : 총강우량의 200일분

- 가정법
 - 연평균 강우량으로부터 계획1일급수량의 배수로 표현되는 저수용량을 결정하는 방법
 - 공식 : $C = \frac{5,000}{\sqrt{0.8R}}$ 여기서, C : 저수지 용량(계획1일급수량의 배수)
R : 연평균 강우량(mm)

- 유량누가곡선법 — 하천의 유출량 누가곡선을 그려서 이론적으로 저수지 용량을 산출하는 방법
(Ripple's method)
 - 과거 수년간에 걸친 매월 우량을 조사한 후 증발 등에 의한 손실수량을 조사하여 매월의 유출량을 계산하여 유출량 누가곡선을 그림
 - 매월의 소요수량, 즉 소비량의 누가곡선을 구하는데 매월 소비량은 시간에 따른 유량변화가 극히 적어 거의 직선을 나타냄
 - 실제 저수지 저수량은 이론적 계산값에 20-30% 정도 여유를 둔다.

2) 취수

□ 저수지 용량 결정

1) 가정법

$$C = \frac{5,000}{\sqrt{0.8R}}$$

여기서, C : 1일 급수량에 대한 저수용량의 비율
 R : 연평균 강수량 (mm)

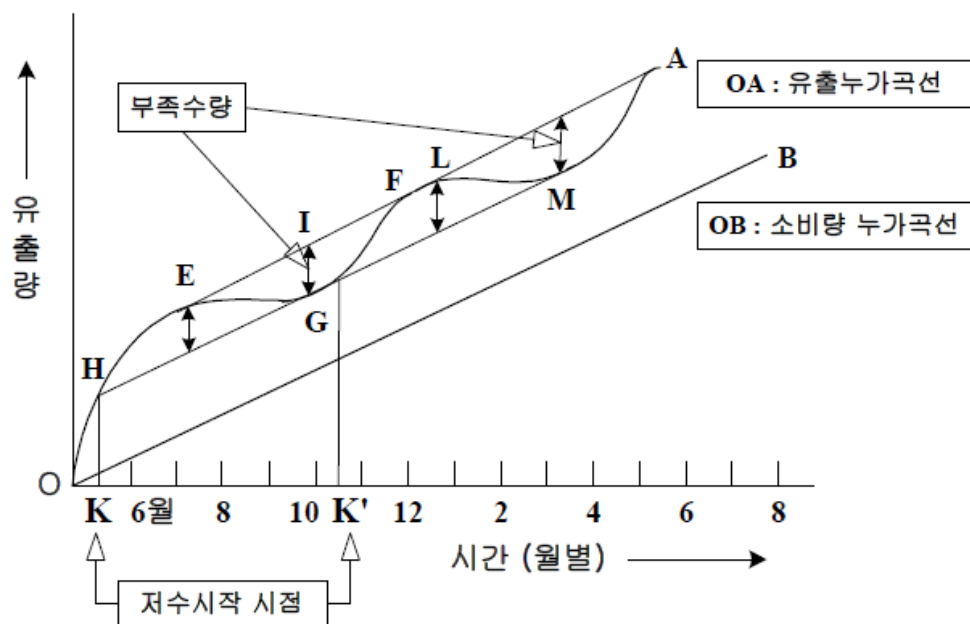
[예제] 어떤 도시의 집수구역에서 연평균 강수량이 1,200mm일 경우 이때 필요한 저수지의 저수용량을 가정법으로 구하라.

$$C = \frac{5,000}{\sqrt{0.8R}} = \frac{5,000}{\sqrt{0.8 \times 1,200}} = 161.4$$

저수지의 저수용량은 1일 급수량의 약 161.4배에 해당함

2) 취수

유량누가곡선법 (Ripple's method)



[그림 5-10] 하천유량 누가곡선

① OA곡선 : 조사자료를 이용하여 하천유출량 누가곡선(저수지로의 유입 누가수량) OA를 그린다.

② OB직선 : 계획취수량 누가곡선(저수지로부터의 유출 누가수량)인 OB를 그리는데, 대개 직선으로 간주한다.

③ EG, LM구간 : 저수지로의 유입수량이 소요수량보다 적은 기간(저수지 수위가 낮아짐)을 나타낸다.

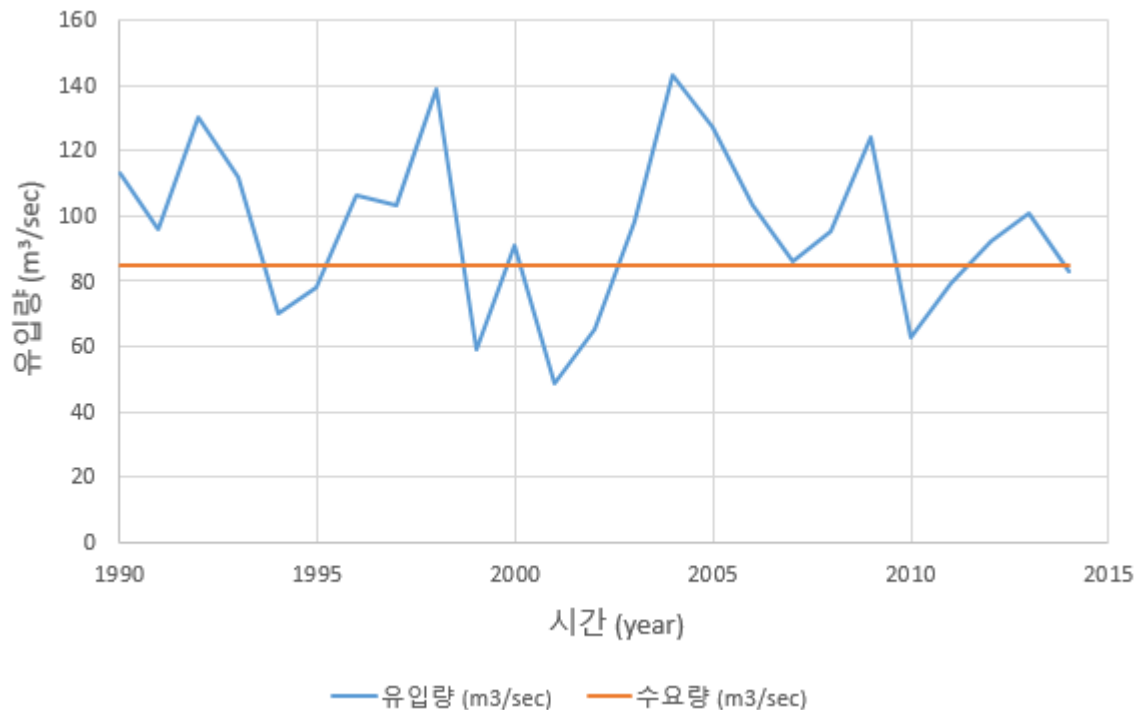
④ EG기간의 부족수량 : E점에서 OB 직선에 평행하게 EF직선을 긋고, 여기서 최대 세로길이 IG를 구할 수 있는데 이 IG가 구하고자 하는 부족수량이 된다.

⑤ LM기간의 부족수량도 같은 방법으로 구할 수 있으며, 이러한 여러 개의 구간 최대 세로길이 중에서 가장 큰 것을 택하면 이것이 바로 이상적인 소요저수지용량이 된다.

⑥ 저수를 시작하는 날 : 만약 IG가 구하고자 하는 저수지용량 이라면 G점에서 OB직선에 평행하게 그어 OA곡선과 만나는 점 H에 해당하는 날, 즉 K 날부터 저수를 시작한다.

2) 취수

[예제] 다음과 같이 어떤 저수지의 연 유입량과 수요량이 주어져 있을 때 저수지 용량을 유량누가 곡선법으로 결정하라.



시간 (year)	유입량 (m³/sec)	수요량 (m³/sec)
1990	113.28	84.96
1991	95.72	84.96
1992	130.56	84.96
1993	111.58	84.96
1994	70.23	84.96
1995	77.88	84.96
1996	106.48	84.96
1997	103.37	84.96
1998	138.77	84.96
1999	58.91	84.96
2000	90.91	84.96
2001	48.43	84.96
2002	65.14	84.96
2003	98.55	84.96
2004	143.02	84.96
2005	127.44	84.96
2006	103.37	84.96
2007	86.38	84.96
2008	95.44	84.96
2009	124.04	84.96
2010	62.87	84.96
2011	79.58	84.96
2012	92.04	84.96
2013	100.82	84.96
2014	83.26	84.96

2) 취수

시간 (year)	유입량 (m ³ /sec)	수요량 (m ³ /sec)	누가유입량 (m ³ /sec)
1990	113.28	84.96	113.28
1991	95.72	84.96	209.00
1992	130.56	84.96	339.56
1993	111.58	84.96	451.14
1994	70.23	84.96	521.37
1995	77.88	84.96	599.25
1996	106.48	84.96	705.73
1997	103.37	84.96	809.10
1998	138.77	84.96	947.87
1999	58.91	84.96	1006.78
2000	90.91	84.96	1097.69
2001	48.43	84.96	1146.12
2002	65.14	84.96	1211.26
2003	98.55	84.96	1309.81
2004	143.02	84.96	1452.83
2005	127.44	84.96	1580.27
2006	103.37	84.96	1683.64
2007	86.38	84.96	1770.02
2008	95.44	84.96	1865.46
2009	124.04	84.96	1989.50
2010	62.87	84.96	2052.37
2011	79.58	84.96	2131.95
2012	92.04	84.96	2223.99
2013	100.82	84.96	2324.81
2014	83.26	84.96	2408.07

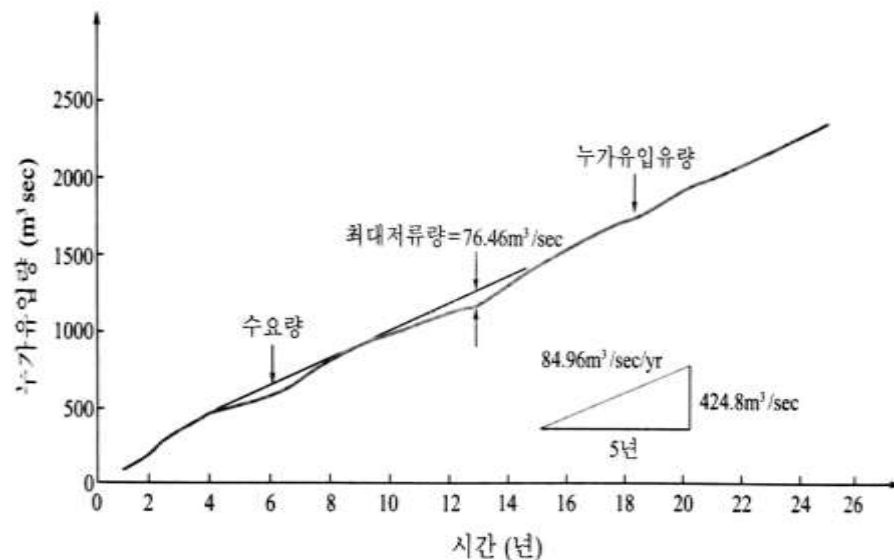


그림 15.19 누가용적곡선에 의한 저수용량 결정

누가유입량과 점선의 최대차 = $76.46 \text{ m}^3/\text{sec}$

저수용량 = $76.46 \text{ m}^3/\text{sec}$

$$\begin{aligned}
 &= 76.46 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}} \times \frac{60 \cancel{\text{sec}}}{1 \cancel{\text{min}}} \times \frac{60 \cancel{\text{min}}}{1 \cancel{\text{hr}}} \times \frac{24 \cancel{\text{hr}}}{1 \cancel{\text{day}}} \times \frac{365 \cancel{\text{day}}}{1 \cancel{\text{yr}}} \\
 &= 2,411,242,560 \text{ m}^3/\text{yr} \\
 &= 2.411 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{yr}
 \end{aligned}$$

저수지용량 = $2.411 \times 10^9 \text{ m}^3$

2) 취수

□ Darcy의 법칙

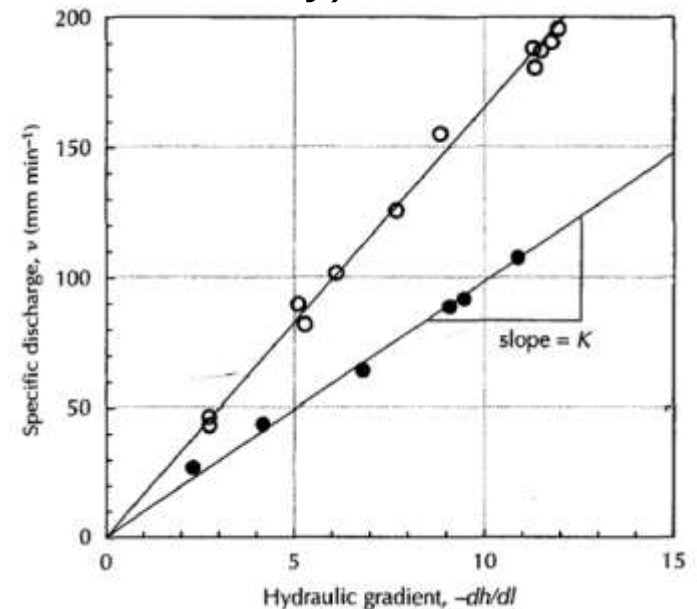
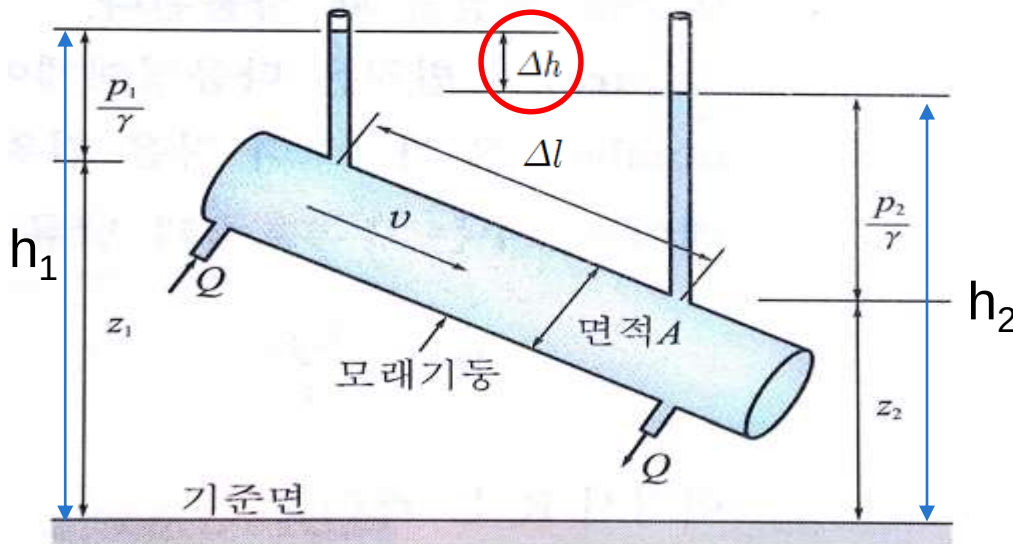
- Darcy의 실험으로부터 발견된 지하수 흐름의 기본원리

$$V = -K \frac{dh}{dl} = Ki$$

→ 다공성 매체를 통한 유속은 수두손실에 비례하고 흐름경로의 길이에 반비례함.

$i = -\frac{dh}{dl}$: 동수경사 또는 수리경사 (hydraulic gradient)

K: 투수계수 또는 수리전도도 (hydraulic conductivity) [단위: m/sec, m/day]



2) 취수

- 임의 반경 r 에 있는 우물에 대한 유량 (양수율, 양수량)

$$Q = AV = (2\pi r D) \left(K \frac{dh}{dr} \right)$$

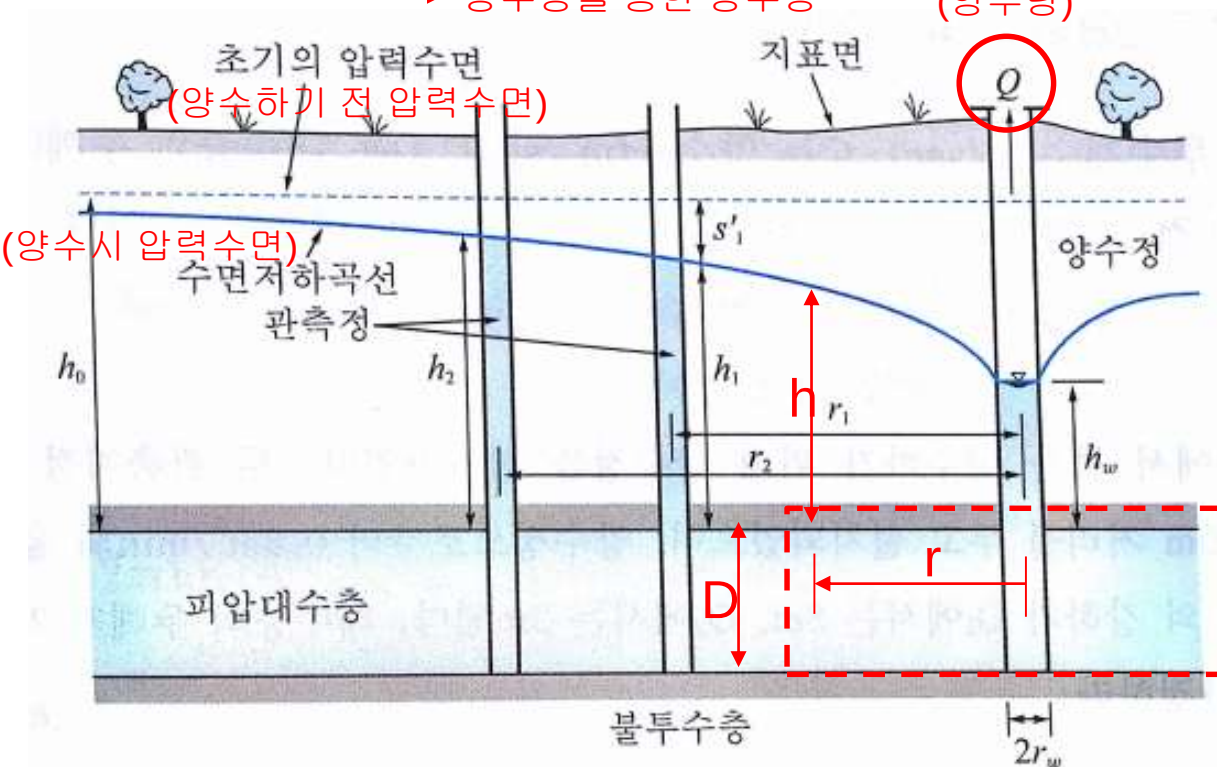
D: 대수층의 높이 (두께) (일정하다고 가정)

K: 투수계수

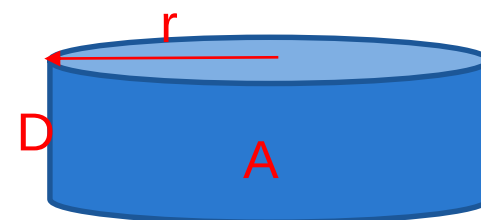
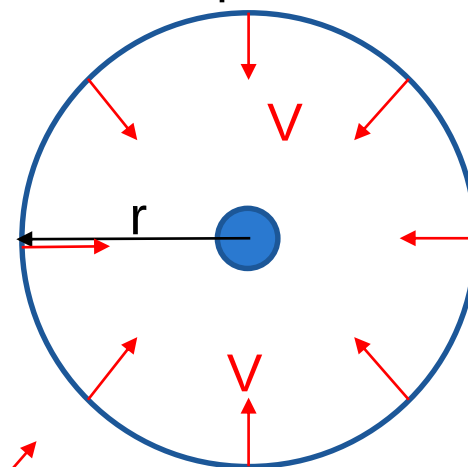
지하수 흐름에 의한 유량

양수정을 통한 양수량

(양수량)



Top view



2) 취수

$$Q = AV = (2\pi rD) \left(K \frac{dh}{dr} \right)$$

$$\frac{Q}{r} dr = 2\pi DK dh$$

$$Q, D, K = \text{일정} \rightarrow Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r} dr = 2\pi DK \int_{h_1}^{h_2} dh$$

$$Q(\ln r_2 - \ln r_1) = 2\pi DK(h_2 - h_1)$$

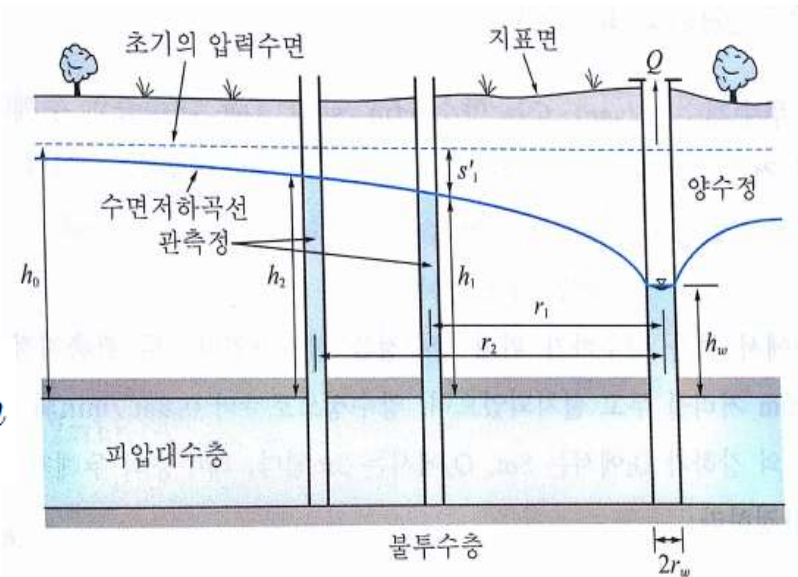
$$\therefore Q = 2\pi DK \frac{(h_2 - h_1)}{\left(\ln \frac{r_2}{r_1} \right)}$$

→ 평형방정식 (Thiem의 방정식)

(투수계수 K를 알고 있을 때 양수량 Q를 산정)

$$\rightarrow \text{투수계수: } K = \frac{Q}{2\pi D(h_2 - h_1)} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$$

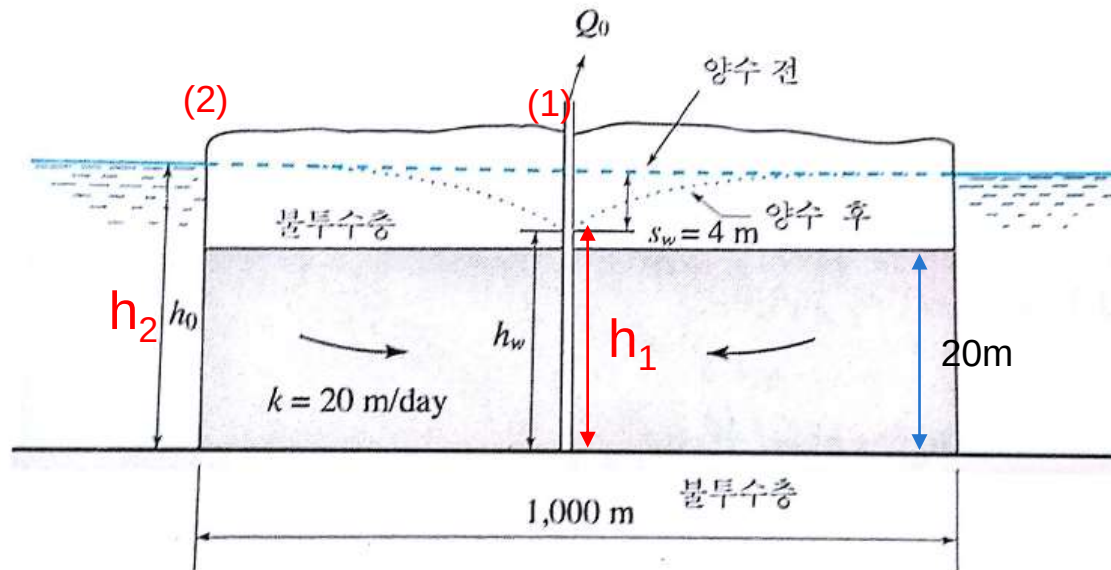
(양수량 Q를 알고 있을 때
투수계수 K를 산정)



2) 취수

<예제>

큰 호수 가운데 지름이 1km인 원통형 섬의 중앙에 지름이 1m의 양수정을 굴췌했다고 가정하자. 이 섬의 대수층은 두께 20m의 사암층으로서 투수계수는 20m/day로 추정되었으며, 사암층의 상하부는 불투수층으로 되어 있다. 양수정에서의 수압면 강하량을 4m로 유지하기 위해서는 어느 정도의 일정한 양수율로 지하수를 양수해야 하는지 결정하라.



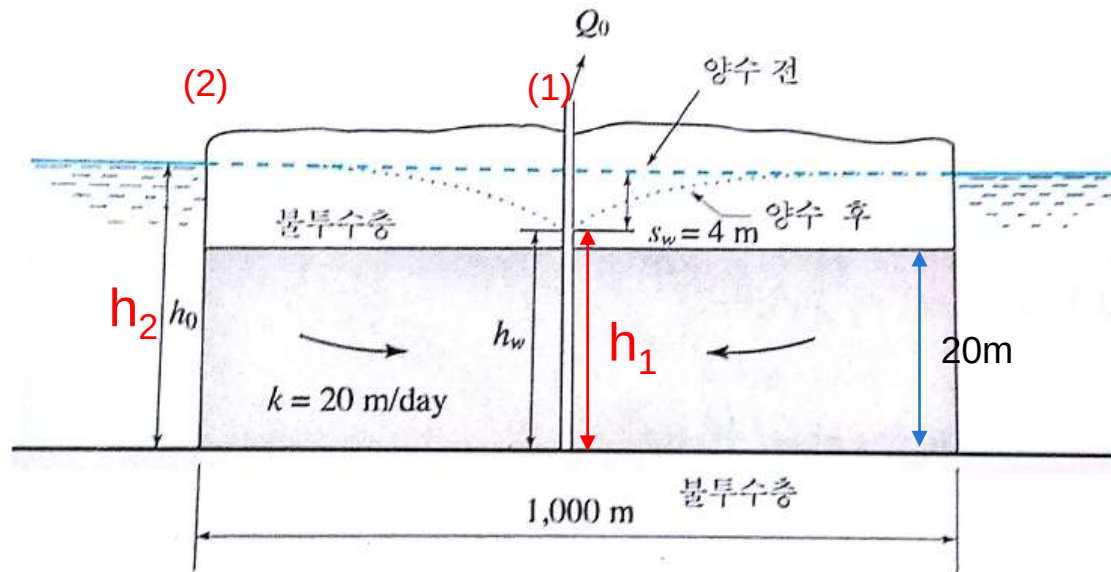
$$r_1 = 0.5 \text{ m}, r_2 = 500 \text{ m}$$

$$h_2 - h_1 = h_0 - h_w = 4 \text{ m}$$

$$K = 20 \text{ m/day}$$

$$D = 20 \text{ m}$$

2) 취수



$$r_1 = 0.5\text{ m}, r_2 = 500\text{ m}$$

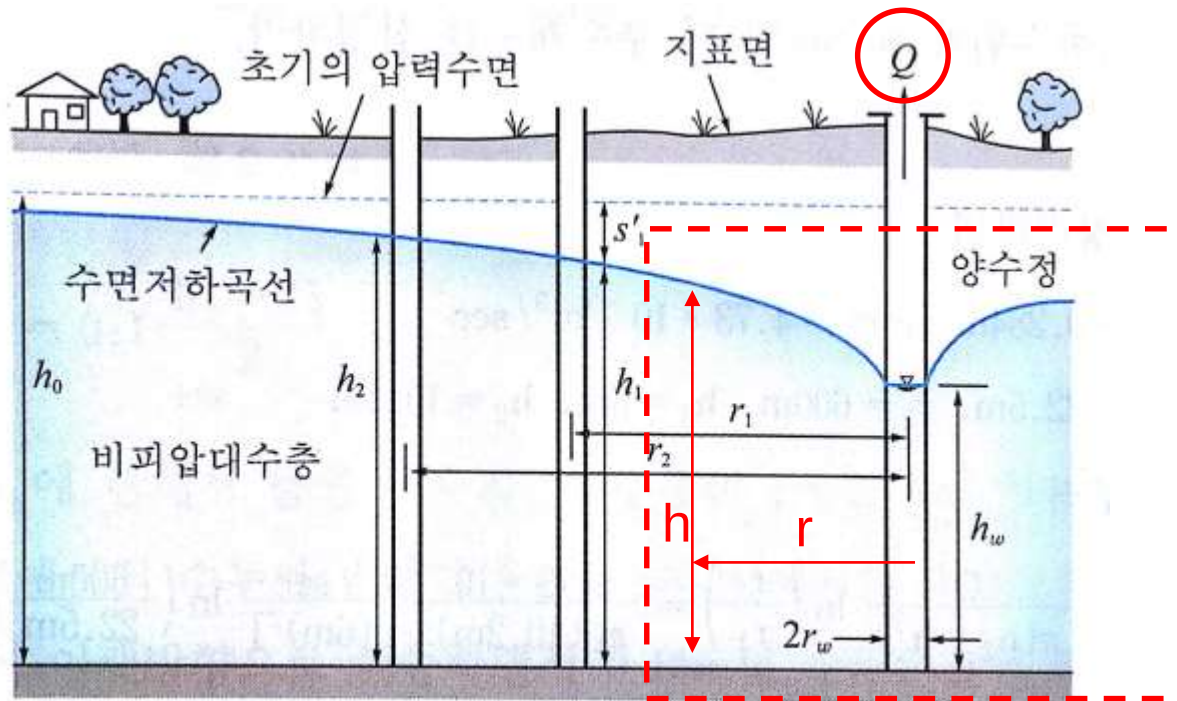
$$h_2 - h_1 = h_0 - h_w = 4\text{ m}$$

$$K = 20\text{ m/day}$$

$$D = 20\text{ m}$$

$$Q = 2\pi DK \frac{(h_2 - h_1)}{\left(\ln \frac{r_2}{r_1}\right)} = 2\pi \times 20 \times 20 \times \frac{4}{\ln \frac{500}{0.5}} = 1455.3\text{ m}^3/\text{day}$$

2) 취수



$$Q = AV = 2\pi r h K \frac{dh}{dr}$$

$$Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r} dr = 2\pi K \int_{h_1}^{h_2} h dh$$

$$\therefore Q = \pi K \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

2) 취수

<예제>

비피압대수층의 우물로부터 물을 양수하고 있다. 초기 지하수위는 10.5m이다. 장시간 후 우물로부터 22.5m 떨어진 관측정에서의 지하수위가 6m이고, 600m 떨어진 관측정에서의 지하수위가 10.2m일 때 양수량 (m^3/min)을 산정하라. ($K=7.27 \times 10^{-5}m/sec$)

$$\begin{aligned} r_1 &= 22.5m, \quad r_2 = 600m, \quad h_1 = 6m, \quad h_2 = 10.2m \\ Q &= \pi K \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} = \pi \times 7.27 \times 10^{-5} \times \frac{(10.2^2 - 6^2)}{\ln\left(\frac{600}{22.5}\right)} \\ &= 4.733 \times 10^{-3} (m^3/sec) \\ &= 4.733 \times 10^{-3} \frac{m^3}{\cancel{sec}} \times \frac{\cancel{60}sec}{1min} \\ &= 0.284 m^3/min \end{aligned}$$

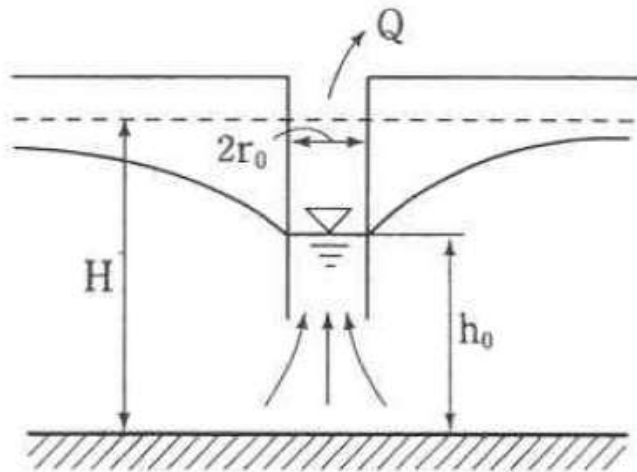
2) 취수

3) 지하수

① 천층수(자유수면 지하수)의 취수

☹ 천정호(Shallow well)

- ① 관정이 제1불투수층 바닥까지 도달하지 않은 우물을 말하며 과정보닥 및 관측벽으로 취수된다.
- ② 취수된 물의 수질이 양호하지 못하다.
- ③ 천정호 양수량(관정 바닥으로만 유입) 공식



$$Q=4kr_0(H-h_0)$$

여기서, Q : 양수량(m^3/sec)

k : 투수계수(m/sec)

r_0 : 우물의 반경(m)

H : 원 지하수 수위(m)

h_0 : 양수했을 때의 수위(m)

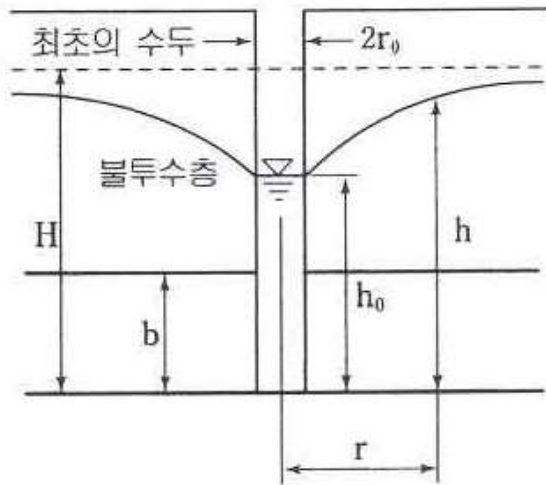
[그림 5-11] 천정호의 양수량 계산

2) 취수

② 심층수(피압면 지하수)의 취수

● 굴정호(Artesian well)

- ① 제1불투수층을 뚫고 들어가 2개의 불투수층 사이에 있는 피압지하수를 양수한다.
- ② 양질의 물을 취수할 수 있다.
- ③ 굴착정 양수량 공식



[그림 5-13] 굴착정의 양수량 계산

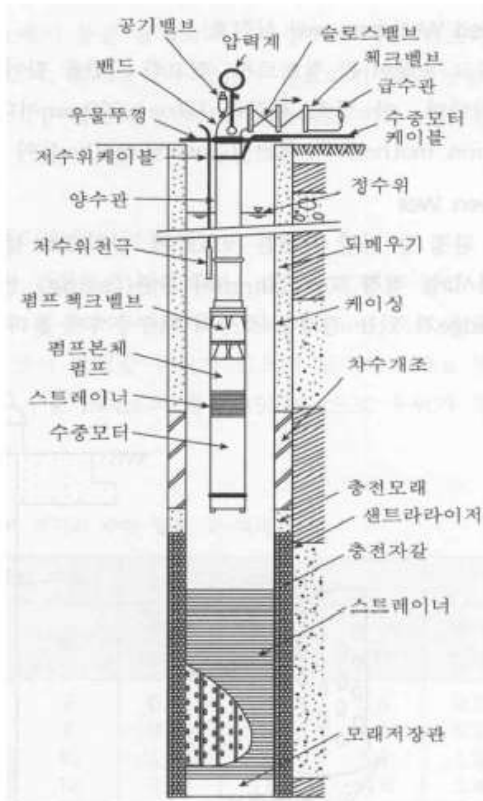
$$Q = \frac{2 \pi b k (H - h_0)}{2.3 \log(R/r_0)}$$

여기서, Q : 양수량(m^3/sec)
 k : 투수계수(m/sec)
 r_0 : 우물의 반경(m)
 H : 원 지하수 수위(m)
 h_0 : 양수했을 때의 수위(m)
 R : 영향원의 반경(m)
 b : 피압대수층의 두께(m)

2) 취수

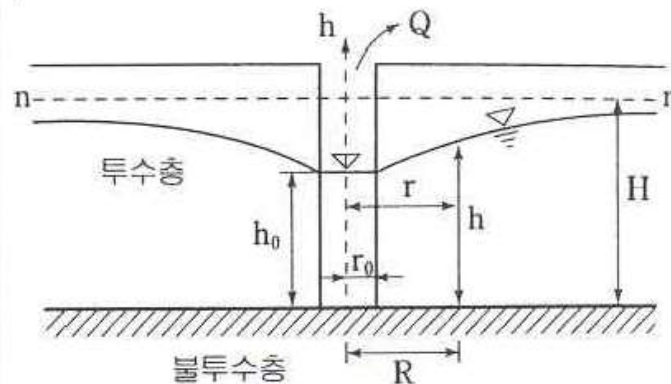
☹ 심정호(Deep well)

- ① 관정이 제1불투수층 바닥까지 완전히 도달되므로 관측벽으로만 물을 취수한다.
- ② 천정호에 비해 취수된 물의 수질이 양호하다.
- ③ 심정호 양수량 공식



$$Q = \frac{\pi k (H^2 - h_0^2)}{2.3 \log(R/r_0)}$$

여기서, Q : 양수량(m^3/sec)
 k : 투수계수(m/sec)
 r_0 : 우물의 반경(m)
 H : 원 지하수 수위(m)
 h_0 : 양수했을 때의 수위(m)
 R : 영향원의 반경(m)



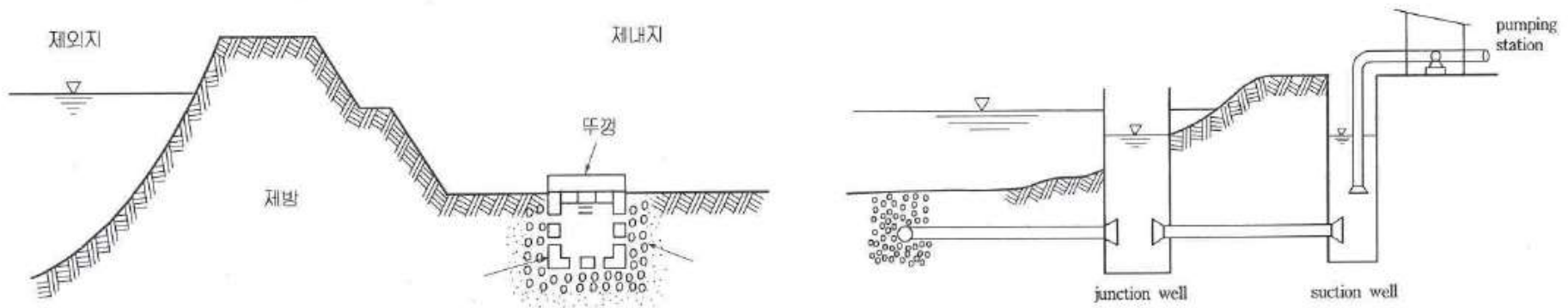
[그림 5-12] 심정호의 양수량 계산

2) 취수

③ 복류수의 취수

☹️ 집수매거

- ① 제내지(堤內地) 또는 사구(砂丘) 등의 얇은 곳에 있는 복류수를 취수할 때에는 개거식 구조로 저부 또는 측벽으로부터 집수하는 구조로 되어 있다.
- ② 하상(河床) 밑이나 제내지 등의 비교적 깊은 곳으로부터 취수하는 경우에는 터널식으로 하며 유공철근콘크리트관이 주로 사용된다.



[그림 5-14] 집수매거

2) 취수

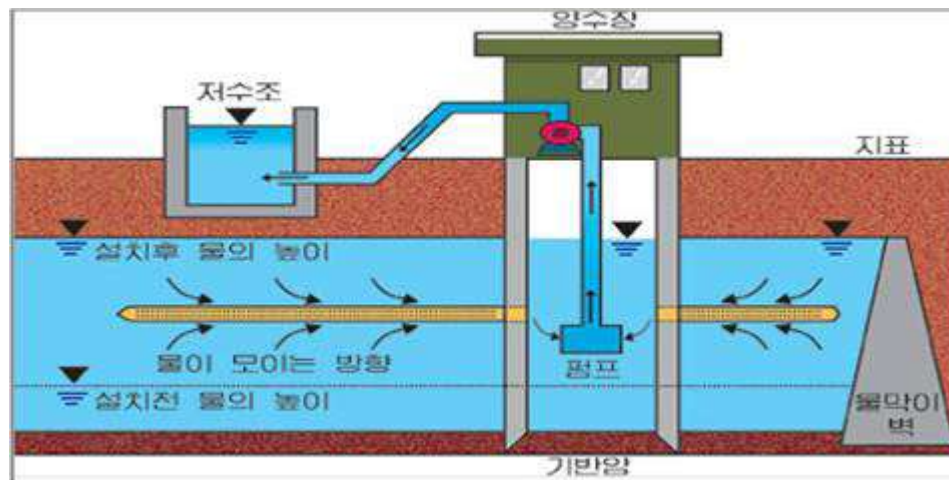
□ 집수매거 (infiltration gallery, 집수암거)

- 하천의 재내지나 제외지 또는 호수 부근에 매설되어 주로 복류수를 취수하기 위해 매설한 유공관거
- 유공관의 다수의 구멍을 통하여 복류수나 (천층) 지하수를 취수하는 시설물
- 주로 철근콘크리트로 만들어진 유공관거로서 단면형은 원형 또는 직사각형

□ 집수매거의 설치시 고려사항

- 매설깊이는 5m를 표준으로 하나 불투수층이 얇은 위치이거나 하층의 수질이 나쁜 경우에는 얇게 매설할 수 있음
- 모래가 유입하여 집수공을 폐쇄시키지 않도록 집수공 유입속도는 3cm/sec 이하로 함.
- 집수공은 직경 10~20mm로 하며 그 수는 관거 표면적 1m²당 20~30개 정도
- 집수매거의 경사는 수평으로 하거나 1/500 이하의 완만한 경사로 하여 집수매거 유출단에서 유속이 1m/s이하가 되도록 함
- 집수매거의 설치 방향은 복류수의 흐름방향에 직각이 되도록 설치
- 집수매거의 둘레에는 모래의 유입을 방지하면서 복류수의 유입을 원활히 하기 위해 매거 내측에서부터 외측으로 굵은 자갈, 잔 자갈, 굵은 모래를 각각 50cm 이상의 두께가 되도록 채움

2) 취수



http://www.isayprice.com/product_all_image/prod_namo1/admin_032555/img3-l07_yu_b-170.jpg

<http://www.conteches.com/portals/0/Images/PDH%20Credits/Introduction%20to%20Infiltration%20Best%20Management%20Practices/Perforated-Pipe.jpg>

<http://www.waterjournal.co.kr/news/photo/201007/8153-2-6579.jpg>

2) 취수

□ 집수매거의 취수량

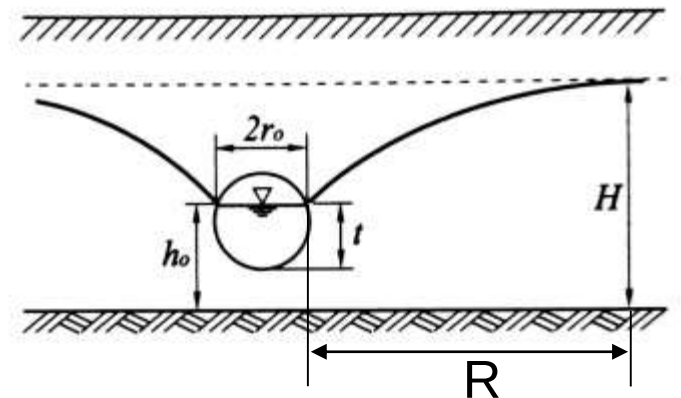
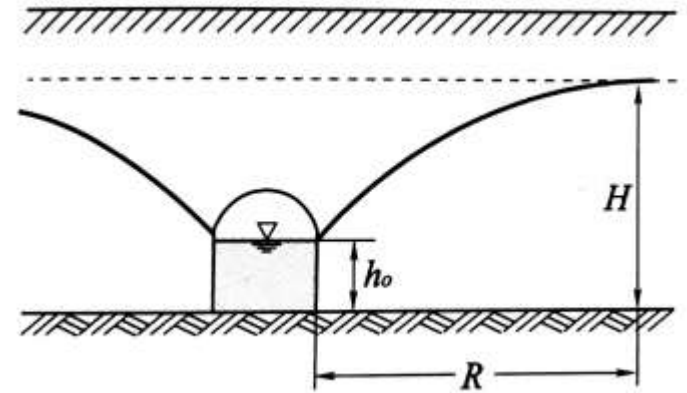
1) 지하수가 측벽에서만 유입하는 경우

$$Q = \frac{KL(H^2 - h_0^2)}{R}$$

2) 불투수층이 깊지 않고 매거의 바닥이

$$Q = \frac{KL(H^2 - h_0^2)}{R} \left(\frac{t + 0.5r_0}{h_0} \right)^{1/2} \left(\frac{2h_0 - t}{h_0} \right)^{1/4}$$

여기서, Q : 양수량 (m^3/s), K : 투수계수 (m/s),
 R : 영향반경 (m), H : 지하수심 (m),
 r_0 : 매거의 반경 (m),
 h_0 : 매거의 수위로부터 불투수층까지 깊이 (m),
 t : 매거내 수심 (m), L : 매거의 길이 (m)



2) 취수

□ 침사지 (grit chamber)

- 수원으로부터 취수된 물 속의 모래가 관거 내에서 침전하는 것을 방지하기 위하여 취수구 부근의 제내지에 설치하는 시설로서 모래를 침사지 내에 침전시켜서 제거

□ 침사지의 설치목적

1) 펌프의 보호

- 임펠러 마모 방지
→ 펌프효율 저하 방지

2) 관거내 모래 침전 방지

- 관거내 모래 침전에 따른 조개류 등의 번식 방지
- 모래 침전에 따른 통수능 저하 및 취수량 감소방지

3) 침전지로의 모래 유입 저감

- 침전물 제거기의 부담을 감소
- 침전지의 침전효율 저하 방지



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e7/Kuromata_Dam_grit_chamber.jpg

2) 취수

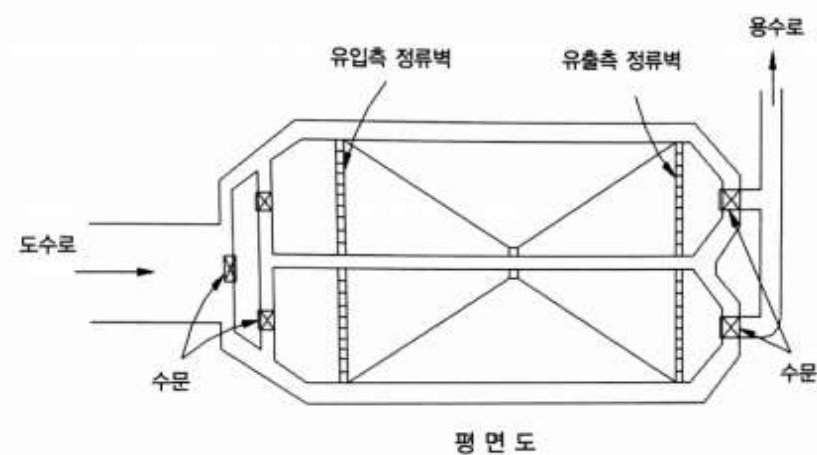
□ 침사지의 설계시 고려사항

1) 침사지의 위치

- 침사지는 가능한 한 취수구에 가까운 제내지에 설치
- 도수관로의 길이를 짧게 하여 유지관리가 용이하도록 함

2) 침사지의 모양과 길이

- 장방형 (직사각형)으로 하며 유입부는 점차적으로 확대되고 유출부는 점차 축소되는 모양으로 함 (침사지내에서의 와류발생 방지)
- 흐름방향으로의 길이는 폭의 3~8배가 되게 함



$$L = k \frac{h}{u} V$$

여기서, L : 침사지의 길이 (m)

h : 유효수심 (m)

u : 제거되는 모래의 침강속도 (cm/sec)

V : 침전지내의 평균유속 (cm/sec)

k : 안전율 (1.5~2.0)

<표-3.8.1> 모래입자의 침강속도

입자의 직경	침강속도	밀도
0.30 (mm)	3.2 (cm/s, 10℃)	2.65 인 경우
0.20	2.1	"
0.15	1.5	"
0.10	0.8	"
0.08	0.6	"

→ 제거대상 모래의 직경은 0.1~0.2mm를 표준으로 함

2) 취수

3) 침사지의 수

- 2개 이상으로 하되 1개인 경우 격벽 설치해서 두 부분으로 나누거나 측관 (by-pass)을 설치

4) 침사지의 용량

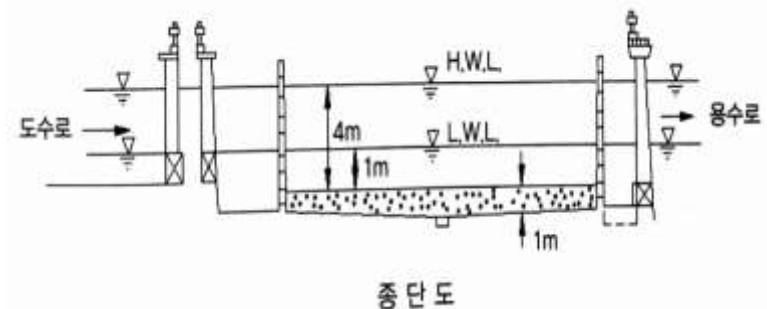
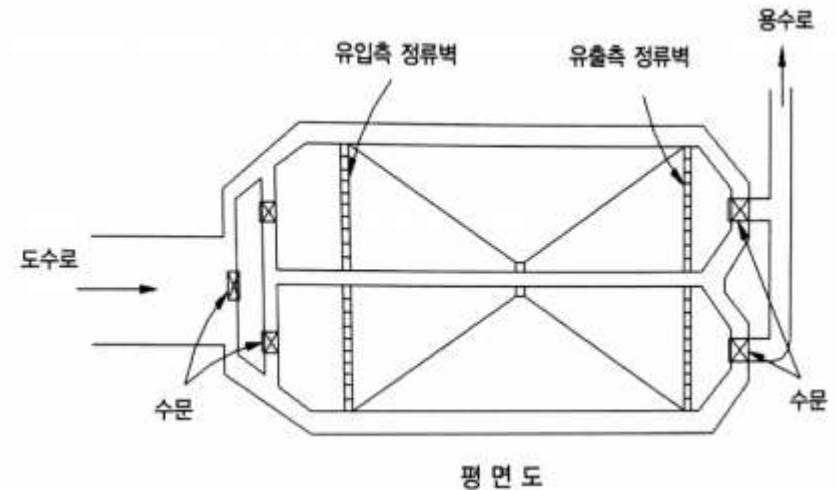
- 침사지 내의 고수위까지의 용량으로 계획취수량을 10~20분간 체류할 수 있어야 함

5) 침사지내 유속

- 유속은 2~7cm/s가 되도록 함

6) 침사지의 수위

- 침사지의 고수위는 계획취수량이 유입할 수 있도록 하천의 최저수위 이하로 설정함



2) 취수

7) 침사지의 여유고

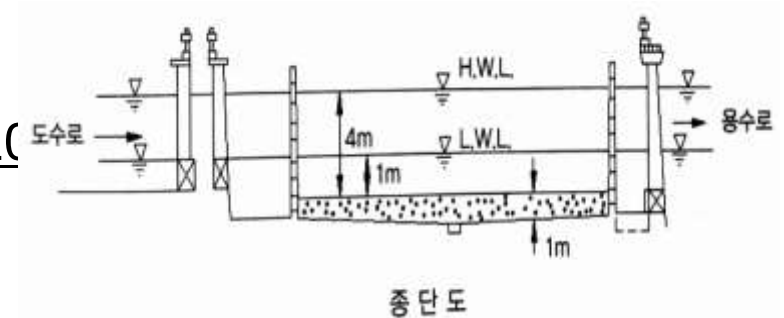
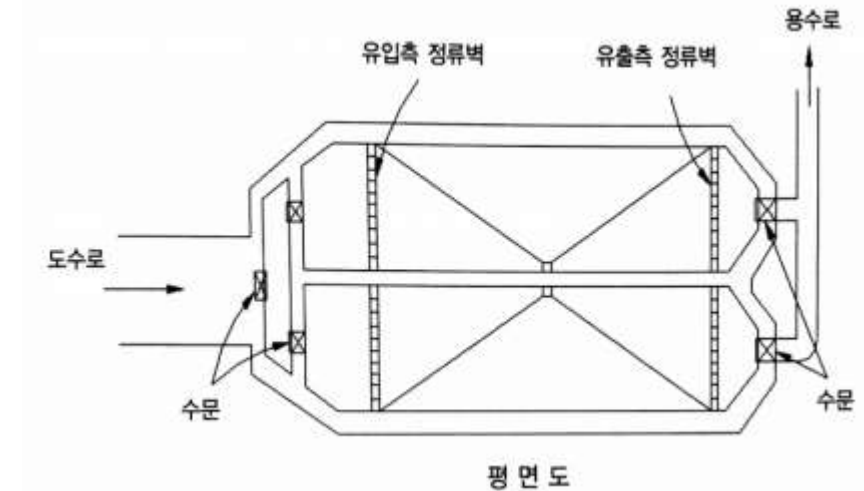
- 침사지내 월류 설비가 없을 경우 60~100cm
- 월류 설비가 있을 경우 30cm

8) 침사지의 유효수심

- 유효수심은 3~4m가 표준이며,
0.5~1.0m의 여유를 둠

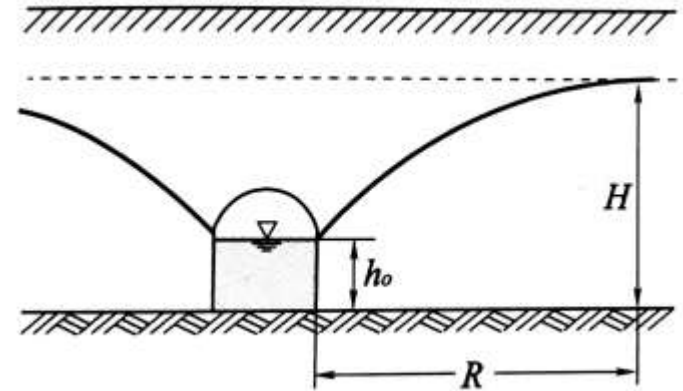
9) 침사지의 바닥구배

- 배수나 배사에 용이하도록 종경사 1/100
횡경사로의 횡경사 1/50 정도



2) 취수

[예제] 양수전 지하수심이 20m인 대수층에 직경 1m, 길이 50m의 집수매거를 설치하였다. 매거내 수심이 0.7m이고 매거의 수위로부터 불투수층까지 깊이가 10m이며, 영향반경이 100m일 경우 양수량 (m^3/min)을 구하라. 단, 이 대수층의 투수계수는 $6.5 \times 10^{-5} m/s$ 이며, 측면에서만 유량이 유입된다고 가정하라.



$$H = 20m, \quad d = 2r_0 = 1m, \quad L = 50m, \quad t = 0.7m, \quad h_0 = 10m, \quad R = 100m, \quad K = 6.5 \times 10^{-5} m/s$$

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{KL(H^2 - h_0^2)}{R} = \frac{6.5 \times 10^{-5} \times 50 \times (20^2 - 10^2)}{100} \\
 &= 9.75 \times 10^{-3} m^3/sec \\
 &= 9.75 \times 10^{-3} \frac{m^3}{\cancel{sec}} \times \frac{60\cancel{sec}}{1min} \\
 &= 0.585 m^3/min
 \end{aligned}$$

2) 취수

④ 용천수의 취수

☹️한지점에서 집중적으로 용출하는 경우

용출지점에 **집수정**을 축조한 후 도수관을 이 집수정내에 설치하여 취수한다.

☹️산등성이, 산기슭 등 등고선을 따라 연속적으로 용출하는 경우

집수매거를 설치하여 취수한다.

4) 침사지

☹️취수된 물 속의 모래가 도수관거 내에서 침전하는 것을 방지하기 위해 취수구 바로 하류에 즉, 취수펌프 유입전에 설치한다.

☹️설치목적

① 취수펌프의 보호 및 도수관에서의 **모래침전**을 방지하기 위해서이다.

② 정수장의 침전지로의 **모래유입**을 방지하기 위해서이다.

☹️침사지 제원

구 분	용 량	평균유속	유효수심	여유고	길 이
기 준	계획취수량을 10-20 분간 저류할 수 있는 크기	2-7cm/sec	3-4m	0.5-1.0m	폭의 3-8배

※ 침사지 바닥구배는 종방향 1/100, 횡방향 1/50 이다.

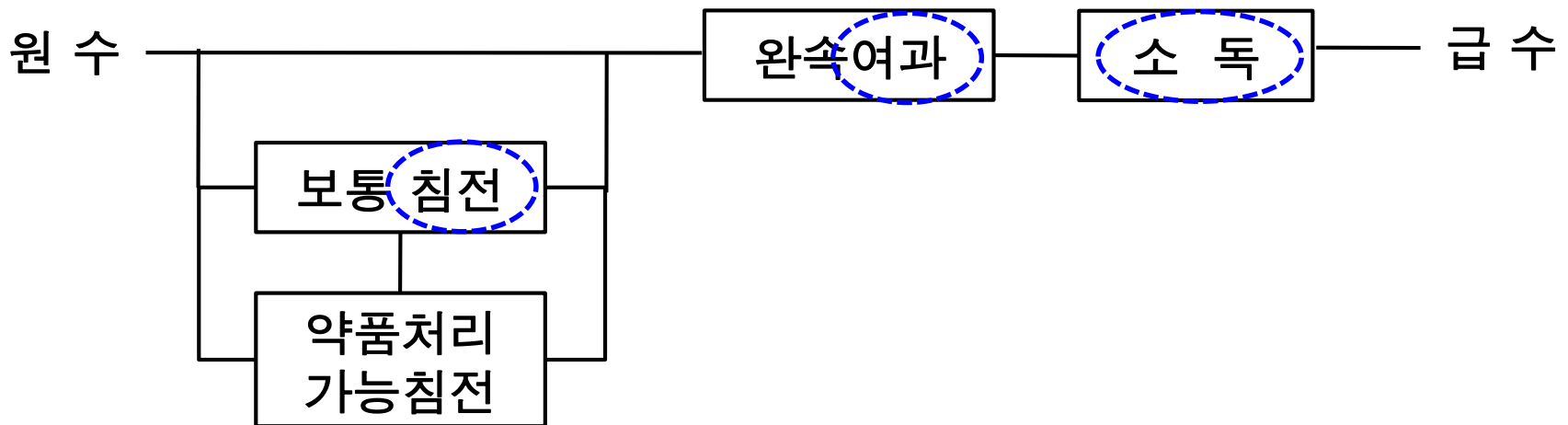
3) 시설배치계획

3)-2. 정수처리계통

➤ 자연수 중 각종 불순물을 제거하는 공정을 의미함



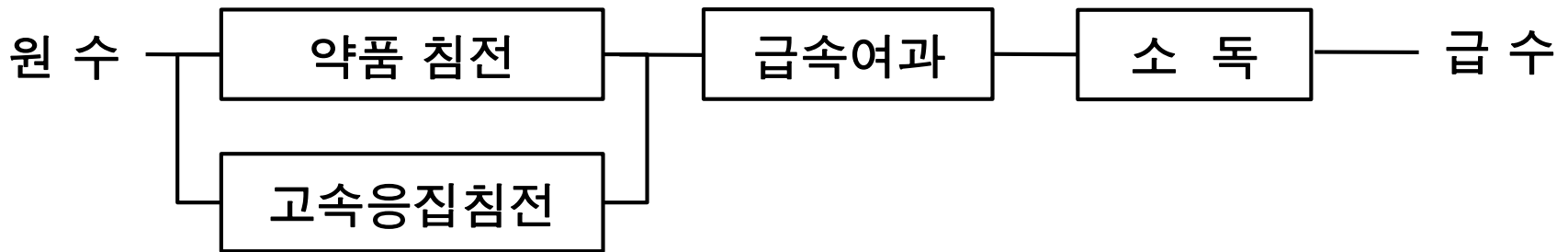
(a) 염소 소독만을 하는 방식



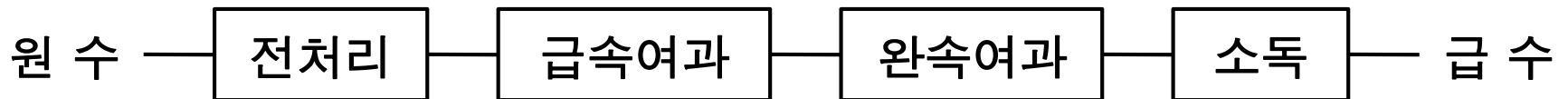
(b) 완속여과 방식

3) 시설배치계획

3)-2. 정수처리계통



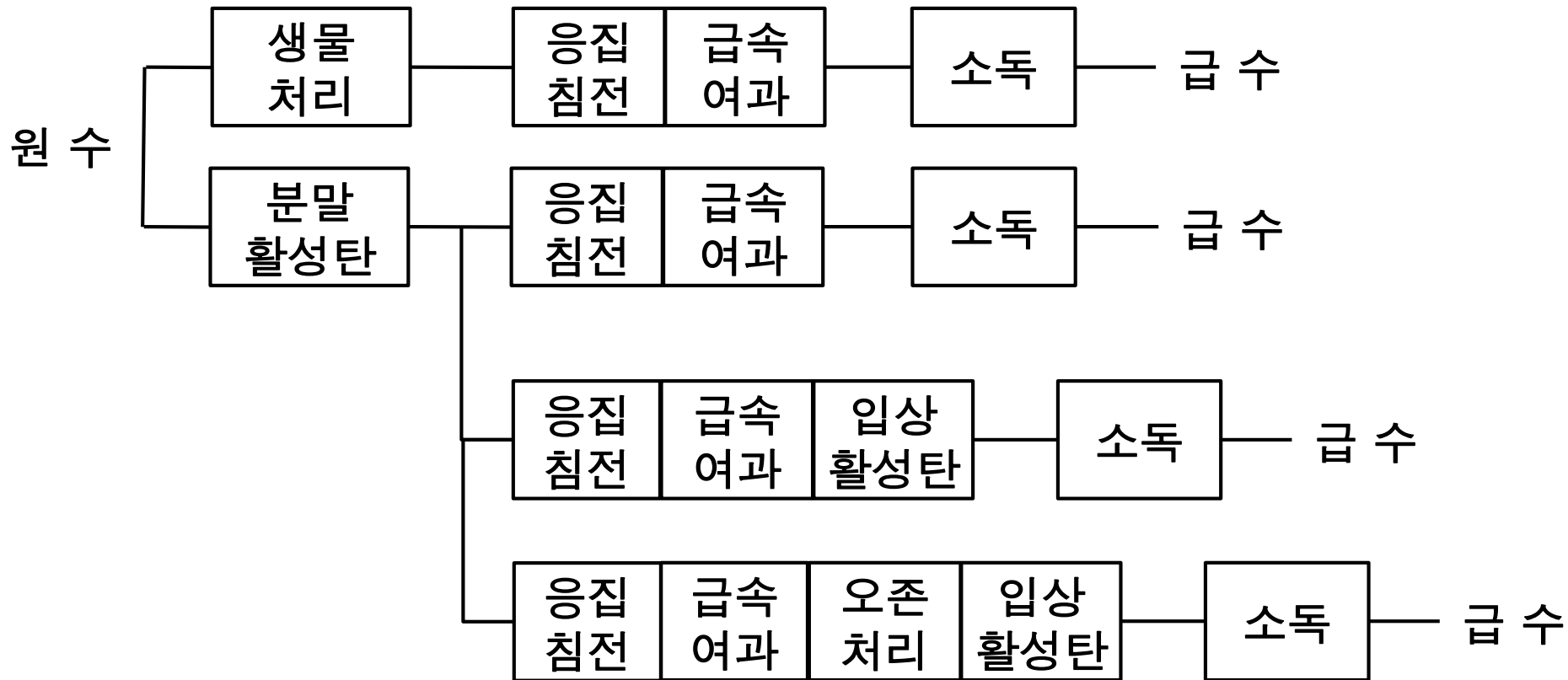
(c) 급속여과 방식



(d) 특수처리(2단 여과) 방식

3) 시설배치계획

3)-2. 정수처리계통



(d) 고도정수처리 방식