

취수시설의 분류 및 설계기준

손 광 익*

취수구에 대한 일반적 설계에 대하여 논하려면 먼저 水源, 취수시설의 분류 및 구조, 그리고 취수 시설과 관련된 수리현상을 이해하여야 한다. 水源은 크게 天水, 河川水, 貯溜水, 地下水, 海水 등으로 구분되며 본 기사의 경우 河川水 및 貯溜水에 대한 상수의 취수장으로 국한하였다.

취수시설이란 물을 취수할 목적으로 축조된 물속의 구조물을 의미하며 취수계통이란 강이나 저수지로부터 물을 운반하거나 轉換(divert)하는데 필요한 펌프장, 관로, 정수장 등을 포함하는 시설물 일체를 의미한다. 소규모 상수계통에 속하는 취수구란 수중 관로의 취수부분을 보호망을 설치하는 정도로 비교적 간단한 반면, 대규모 상수계통의 경우 취수탑이나 수중 취수 구조물과 수중 도수시설, 스크린, 펌프장, 그리고 경우에 따라서는 화학약품의 살포를 위한 시설물 및 화학약품 보관소 등의 시설도 필요하게 된다. 또한, 하천에 위치한 취수구의 경우 갈수기의 최소 취수수심을 유지하기 위한 수중보 또는 제티(Jetty) 등이 요구되기도 한다.

취수시설은 물의 오염, 홍수, 결빙, 선박의 운항, 低水, 하상의 불안정, 퇴사, 그리고 소류사 등 다양한 자연적, 인위적 위협에 노출되어 있으므로 설계시 이와 같은 위협이 충분히 고려되어 신뢰도가 높은 설계가 이루어져야 한다. 따라서 취수구의 경우 水理的 안전 뿐만 아니라 構造的 安全度도 충분하도록 설계되어야 하며 이와 같은 이유로 경우에 따

라서는 취수시설 건설비가 총 정수장 시설 건설비의 20% 이상을 차지할 때도 있다.

취수시설의 위치 및 구조는 수리현상은 물론 水源, 현재 및 장래 수요량, 수질의 변화, 기후 조건, 현재와 발생 가능한 수질 오염원, 수생 동물의 보호, 수위의 변화, 선박의 운항, 구조물 기초부 토양 상태, 유사 및 소류사, 요구되는 신뢰도, 경제적 조건 등 다양한 인자의 영향을 받으며 각각의 독특한 주변여건에 따라 설계되어야 하므로 취수시설의 설계는 일반적인 기준이외에는 취수시설별 특징에 따라 검토되어야 한다. 일반적 설계기준은 크게 (1) 수리학적 안정성, (2) 수위의 변동이나 운하의 불안정에 의한 취수중단에 대한 예비책의 수립, (3) 적정 수심에서의 취수가 가능한 시설, (4) 수층, 열음, 홍수, 부유물, 선박 등으로 부터의 보호시설, (5) 최상의 수질, 오염물질 유입방지 그리고 구조적 안정성을 만족시킬수 있는 위치, (6) 펌프와 처리설비의 보호를 위한 스크린, (7) 각종 설비의 주기적 점검 및 부품교체가 가능한 충분한 공간의 확보, (8) 펌프 및 장비의 교체를 위한 운반 설비, (9) 수생동물의 피해를 최소화 할 수 있는 위치 및 설계, (10) 취수구에서의 약품투여가 불가피할 경우 약품투입 설비 및 화학약품의 보관에 필요한 공간확보 등으로 나눌 수 있다. 본 기사에서는 수리적 안정성, 취수 시설 분류 및 취수시설 위치, 펌프설비 및 스크린, 흡입구 위치 등에 대하여 기술하기로 한다.

* 영남대학교 토목공학과 교수

특집 : 취수장 주변의 수리현상

1. 취수시설의 분류

취수시설은 세계적으로 다양한 형태로 성공적 운영이 이루어지고 있으며 주요 취수시설은 수원에 따라 저수지 취수시설과 하천 취수시설로 대별된다.

저수지 취수시설로서는 취수탑이 일반적으로 이용되며 보통 가장 깊은 곳에 설치한다. 흡입구 부분은 成層流(stratified flow)에 의한 수질의 변화에 대처할 수 있도록 취수 수심의 변경이 용이하도록 설계한다. 하천에 취수탑이 설치하는 경우도 있으며 이때는 취수탑으로부터 河岸에 위치한 펌프장까지 도수할 수 있는 도수관을 설치하게 된다. 취수탑은 신뢰도, 취수 수심의 변경 용이성 등의 장점이 있으나 건설비가 비싼 단점을 가지고 있다.

하천 취수시설에는 水路轉換流入工(canal diversion headwork), 河岸 취수시설, 수중 취수시설, 흡입(suction) 취수시설 등이 있다. 수중 취수시설은 逆 bell-mouth 형상의 흡입구를 관로에 연결하고 목재 등을 이용한 크립(crib)을 흡입부의 보호공으로 이용한 시설이다. 흡입 취수시설로는 사이폰-井(siphon-well) 취수시설이 하천에 주로 이용되며 하안의 취수구조물과 펌프구조로 구성되어 있다. 수로전환유입공 및 河岸 취수시설은 대규모의 하천 취수에 자주 이용되며 수로전환유입공은 또 다시 유입공의 위치에 따라 側面취수, 前方취수, 底面취수로 나뉘어지고 측면취수는 또 다시 유사조절기법에 따라 排砂방식(Sediment rejecti-

on), 抽出방식(Sediment extraction), 그리고 吐砂방식(Sediment ejector)으로 나뉘어 진다.(그림 1~그림 5 참조)

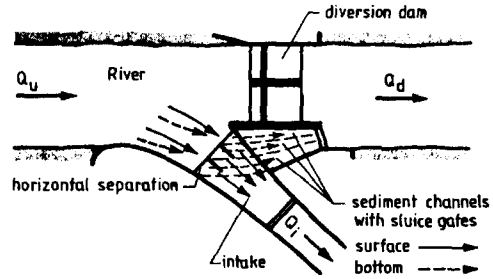


그림 2. 吐砂형식의 측면 취수구

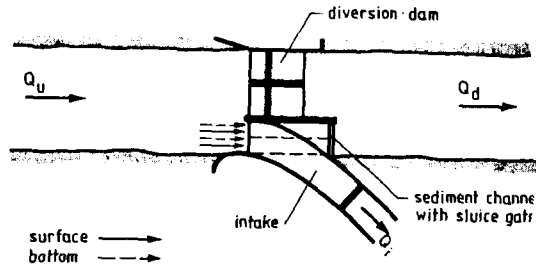


그림 3. 前方 취수

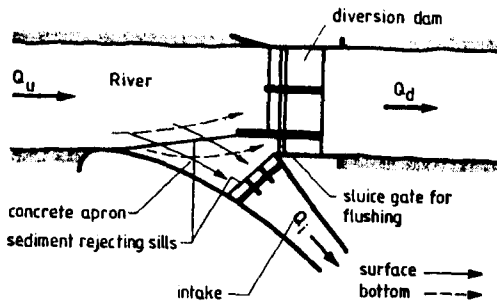


그림 1. 排砂형식의 측면 취수구

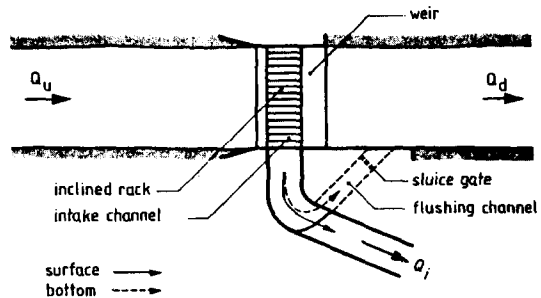


그림 4. 底面 취수

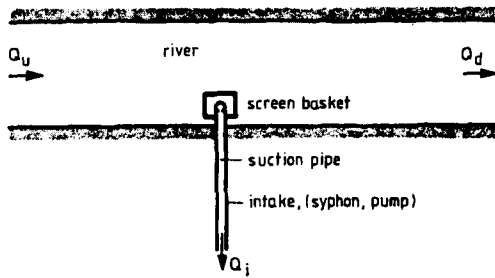


그림 5. 吸入 취수

2. 설계 기본요소

펌프장의 시설확장은 용이한 반면 취수구 시설은 한번 건설하면 확장이 대단히 어려우므로 장래 수요예측을 신중히 해야 하며 일반적으로 설계목표 연도를 20~40년으로 선정하며 최대 취수량은 흡입부의 유효수심과 직접적으로 연관이 있으므로 호수, 저수지, 하천 등의 수면변화에 대한 세심한 검토를 요한다. 취수구 부근의 수리적 안정성은 물론 취수위치 선정을 위해서는 수질, 수중 오염물질, 수생동물의 보호, 충분한 유효수심, 얼음, 퇴사 및 유사, 바람, 파도, 홍수, 하천 특성, 선박운항, 시설물의 기초부 토양조건, 경계성 등이 고려되어야 한다. 특히 각종 형태의 얼음, 특히 부서진(frazil) 얼음은 취수장애를 유발하므로 취수구의 위치, 유효 취수수심, 흡입측 유속, 시설물의 건설재료 등을 고려한 설계가 이루어져야 한다.

2.1 수리적 안정성

취수시설의 효율적인 운영을 위해서는 무엇보다도 취수구 주변의 수리적 특성이 각종 에너지 손실의 최소화화 설비 및 구조물에 危害한 흐름이 없는 이상적인 흐름이 되어야 한다. 일반적으로 최종적인

설계검증을 위해서는 불균일한 흐름(non-uniform flow), 비교적 규모가 큰 와류(vortex)와 난류, 에디 및 박리현상(separation) 등의 발생유무를 확인할 수 있도록 후루이드 상사법칙을 따르는 수리 모형실험을 실시하게 되며 모형에서의 최대유량은 설계유량의 150%에 해당하는 범위까지 수행하는 것이 일반적이다. 특히 이상적인 취수펌프장 설계를 위해서는 다음과 같은 일반적 기준을 만족시킬 수 있어야 한다. (1) 펌프 흡입부까지 연속된 와류가 발생하지 않을 것, (2) Type 2로 알려진 수면 약간 패이는 와류(surface dimple; 그림 6 참조)가 발생되지 않을 것, (3) Swirl 각도(θ)가 5° 를 넘지 않을 것, (4) 펌프유입측 주변에서 측정된 유속의 변화가 평균 유속의 10% 이내가 될 것, (5) 불규칙적인 또는 지속적인 와류 및 파(waviness)가 발생되지 않을 것. 여기서 Swirl angle(θ) = $\tan^{-1}(V_\theta / V_z)$ 로 V_θ 는 vortimeter 선단속도, V_z 는 펌프축방향 속도이다.

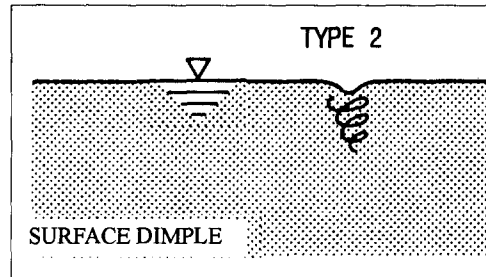


그림 6. Type 2 수면 와류(Surface dimple vortex)

2.2 河川 취수시설

대규모의 하천 취수시설은 일반적으로 하안의 취수시설과 펌프장으로 구성되어있다.

(가) 취수 위치

河岸 취수시설의 위치로 적합한 곳은 수심이 깊고 약간의 세굴잠재구간(latent erosion)이나 안정

특집 : 취수장 주변의 수리현상

하도구간이며 좋은 수질을 보이는 곳 이어야 한다. 통상 하천 만곡부의 바깥쪽 제방이 가장 좋으며 만곡부의 안쪽 제방측은 모래톱의 발달과 얕은 수심으로 바람직하지 못한 것으로 알려져 있다. 또한 국부적 오염원의 상류에 위치하는 것이 이상적이며 지류 유입부의 하류에 취수시설이 위치해야 할 경우 지류로부터 유입된 오염물질의 횡적 확산을 고려하여 취수시설의 위치를 결정해야 한다.

다음은 수로전환유입공의 위치로 적당한 조건들이다.

(1) 축적하천(aggradation stage) 구간은 절대적으로 피해야 한다. (2) 안정하천(stable stage) 구간도 수로전환 위치로 바람직하지는 않다. 수로전환 유입공의 건설로 인한 하천의 유사균형이 깨질 수 있기 때문이다. (3) 가장 이상적인 구간은 세굴잠재 구간이다. 세굴잠재구간이란 유사이송의 균형이 이루어지지 않는 구간이지만 장갑화(armouring)에 의하여 안정하천처럼 보이는 구간을 말한다. (4) 하상저하하천(degradation)은 세굴잠재구간 보다는 적합치 못하지만 축적하천이나 안정하천 보다 좋다. (5) 망상하천(braided river)은 절대적으로 피해야 한다. 하도의 網狀化 현상을 막고 흐름을 취수구 방향으로 하도를 유도하기 위한 導流구조물 설치에 많은 비용이 필요하기 때문이다. (6) 곡류부 바깥쪽에 설치하는 것이 바람직하다. 이는 유사와 밀접한 관계가 있는데 이중 소유사의 경우 부유사보다 굵은 입자로 구성되어 있고 하상으로부터 수면으로 갈수록 입자의 크기와 농도가 감소하는 경향을 나타낸다. 수직방향의 유사입도분포와 크기변화는 취수시설의 설계에 대단히 중요한 인자가 된다. 뿐만 아니라 유사유입의 최소화를 위한 취수지점의 선정 또한 대단히 중요한 인자이다. 일반적으로 최적의 취수구 위치는 곡류부 바깥쪽으로 알려져 있으며 하상의 유향은 곡류부 바깥쪽으로부터 곡류부 안쪽으로 향하고 수면에서의 유향은 하상과는 반대로 곡류부 안쪽으로부터 곡류부 바깥쪽으로 향하는 수리적 특성을 고려하면(그림 7, 그림 8 참조) 비교적 무겁고 큰 유사는 하상을 따라 이송되므로 곡류부 바깥쪽에 취수구를 설치하는 것이 타당하다.

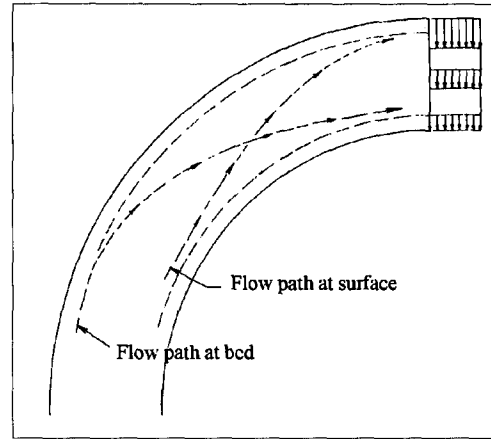


그림 7. 곡류수로내 수면과 하상에서의 유선

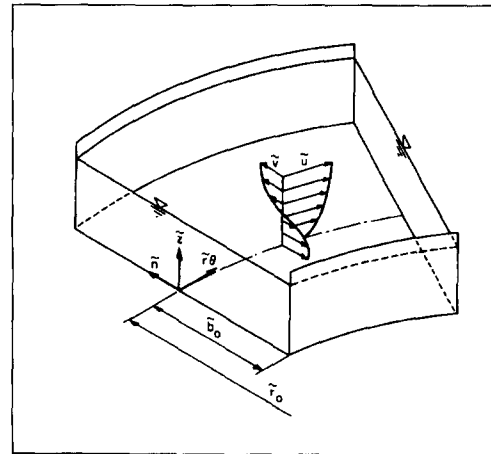


그림 8. 곡류부에서의 3차원 유속분포도

(나) 취수방식의 선정

수로전환유입공의 방식선정은 총 하천유량(Q_t)과 취수유량(Q_i)의 비와 밀접한 관계가 있으며 이상적인 범위는 다음과 같다.

측면취수(배사방식) : $Q_i < 0.5 Q_t$

측면취수(토사방식) : $Q_i < 0.7 Q_t$

전방취수 : $Q_i < 0.8 Q_t$

흡입취수 : $Q_i < 0.2 Q_t$

(다) 유효 취수수심

취수시설은 최저수위가 고려되어야 한다. 최저수위 발생시 취수수심이 충분치 못할 경우 취수량의 격감은 불가피하기 때문이다. 또한 부유물이나 조각얼음도 충분히 감안하여 취수수심을 결정해야 한다. 최저수위는 일반적으로 겨울에 발생되며 우리나라의 경우 겨울에는 하천이 결빙되어 조각얼음이 취수에 악영향을 미칠 수 있기 때문이다. 이와 같은 최소수심의 확보가 불가능 할 경우 자동 吐砂능을 가진 얕은 댐의 건설이 고려되기도 한다.

(라) 홍수

홍수에 의한 취수시설의 파손이 발생되지 않도록 충분한 보호시설을 설치해야 한다. 취수시설은 부유물과 결빙에 의한 응력에 대한 구조적 설계가 이루어져야 한다. 특히 장래 예상 최대홍수위 결정에 신중을 기해야 할 것이다.

(마) 퇴적 및 소류사

대부분 하천의 경우 많은 부류사 및 하상을 따라 소류사가 이송된다. 따라서 취수시설은 부류사나 소류사에 의하여 취수구가 막히지 않도록 설계되어야 한다. 뿐만 아니라 이와 같은 유사는 펌프 및 정수 기계설비의 심각한 마모를 유발하게 된다. 이와 같은 퇴사방지를 위해서 수제와 같은 수공구조물을 이용하여 취수시설을 통과하는 하천의 주 흐름방향을 변경시키기도 한다.

(바) 흡입구

깊은 수심의 하천으로부터 취수할 경우 취수수심의 변경이 용이하도록 수문이 부착된 흡입구를 설계한다. 유효 취수수심이 문제가 되는 대부분의 하천취수의 경우 흡입구를 가능한 한 낮은 곳에 설치하여야 하나 흡입구는 하상으로부터 최소 0.3~0.6m 이상을 유지하여 점토, 모래 자갈 등의 퇴적으로 인한 흡입구 막힘현상을 방지하여야 하고 조각얼음이나 부유물의 흡입을 방지할 수 있도록 흡입구의 평균 유속이 0.3m/sec 이상을 넘지 않도록

하여야 한다. 얼음의 위험이 적은 경우 이보다 다소 높은 흡입유속도 가능하나 얼음이 많은 곳에서는 0.15m/sec 이하의 흡입유속을 유지하도록 설계되어야 한다.

(사) 제진격자(rack)와 스크린(screen)

제진격자와 스크린은 강물에 존재하는 고형 부유물로부터 펌프를 보호하는데 필수적이다. 제진격자의 경우 통상 13~19mm 강봉을 25~75mm 간격으로 설치하며 開口部の 유속이 0.6m/sec를 초과하지 않도록 하여야 한다. 스크린은 제진격자를 통과한 보다 작은 고형물의 제거를 위하여 설치되며 대규모 취수시설의 경우 짚을 이용한 스크린 세척기법이 일반적으로 도입되고 있다. 스크린의 開口部の 유속 또한 최대유량이 흡입될 경우 0.6m/sec를 초과하지 않도록 하여야 한다. 고정식 스크린의 경우 開口部の 유속이 0.18m/sec를 초과하지 않도록 권장하고 있다.

2.3 貯水池 취수시설

저수지 취수시설은 일반적으로 취수탑과 수중 취수시설로 구성된다. 수중 취수시설은 일반적으로 선박운항이나 얼음에 의한 취수장애를 받지 않으며 건설비도 저렴하다.

(가) 취수 위치

하안 취수시설의 위치로 적합한 곳은 좋은 수질의 원수를 취수할 수 있고 지속적인 안정성을 보이며 경제적 건설, 그리고 수생 동물에게 미치는 영향을 최소화 시킬 수 있어야 한다. 또한 유사와 얼음 등의 영향을 최소화 시키기 위하여 가능하다면 수중취수시설은 수심이 15m 이상인 지점을 택하는 것이 바람직하다. 湖岸의 수심이 얕은 저수지나 호수의 경우는 이와같은 수심을 확보하기 위하여 호안으로부터 멀리 떨어진 곳에 취수시설을 설치하여야 하기 때문에 수중 도수관로의 연장이 길어지는 경우가 발생한다.

특집 : 취수장 주변의 수리 현상

(나) 유효 취수수심

하천의 취수시설과 마찬가지로 안전성이 충분히 고려된 수심이 확보되어야 하며 어느 정도의 수심변화(fluctuation)는 불가피하나 최저수위 발생시에도 설계 최대치의 취수가 가능하여야 한다.

(다) 취수시설

취수탑을 이용하여 깊은 수심의湖水로부터 취수할 경우 수질여건에 따라 다양한 수심으로 부터 취수가 가능하도록 수문이 부착된 흡입구를 설계한다. 일반적으로 흡입구는 하상으로 부터 최소 0.3~1.8m 이상을 유지하여 하상도 퇴적에 의한 유입구 막힘현상을 방지하여야 하며 하천 취수시설과 마찬가지로 흡입구의 평균 유속은 0.3 m/sec 또는 그 이하를 유지하도록 하며 유사의 퇴적과 얼음에 의한 취수장애를 방지하기 위해서는 흡입구의 유속은 0.15m/sec 이하가 되도록 설계하며 더욱 바람직한 흡입유속은 0.06~0.1m/sec 정도다. 크립(crib)을 이용한 취수시설을 설계할 경우 크립의 입구에서의 유속은 약 0.08m/sec 정도로 모든 방향으로 부터의 유입속도가 일정하도록 설치하는 것이 이상적이다.

(라) 수중 도수관로

취수구와 湖岸의 구조물을 연결하는 수중 도수관로의 통과유속은 침전이 발생되지 않도록 0.9~1.2 m/sec 이상을 유지하도록 해야하며 수생식물이 관로의 내면에 부착, 성장할 경우 통수능 저하를 유

발하므로 이를 고려하여 관로를 설계해야 한다. 또한 관로의 피복 토양두께는 0.9~1.2 m를 유지하도록 한다. 저수지 수위와 호안의 펌프수조 수위의 차이는 수중 도수관로의 마찰 손실수두에 기인하며 미국의 5대호 연안에 설치된 많은 취수계통의 경우 이 수위차가 4.5m를 넘지 않도록 설계기준을 정하고 있으며 지나친 수두손실은 피하는 것이 바람직하다. 수중 도수관로의 기울기는 일방향으로 상승 또는 감소하도록 설계하여 관로 중간에서의 퇴적 또는 공기가 결집되는 현상을 방지하여야 한다.

참 고 문 헌

- Helmut Scheuerlein(1986) "River sedimentation control at intakes", *River Sedimentation*, Mississippi, Center for computational hydro-science Eng., Univ. of Mississippi
- ASCE(1975) *Sedimentation Engineering*, ASCE Manual and Reports on Engineering Practice -No.54
- ASCE(1990) *Water Treatment Plant Design*, McGraw-Hill
- Tatsuaki Nakato (1989) *A hydraulic model study of the circulating-water pump-intake structure*, IIHR Report No.330
- Syunsuke Ikeda (1990) "Three-dimensional fully developed shallow-water flow in mildly curved bends", *Fluid Dynamics Research* 6 ♣