

유사 조절기능을 포함한 취수시설물

Design of Water Intakes Considering Sediment Control

한 건 연*

국내외적으로 하천 및 저수지의 많은 장소에서 상당량의 토사가 유동되고 있다. 이와 같은 현상은 토사가 소규모 저수지 및 취수보 등의 저수용량을 감소시키고 있기 때문에 취수, 관개 및 수력이용 등의 목적으로 지표수를 사용하고자 할 때 문제를 야기하게 된다. 따라서, 토사가 취수구로 유입되고 수로에 퇴적되거나 수력기기 또는 수리시설물의 마모 등과 같은 해를 일으키게 된다. 이와 같은 문제들은 취수구조물을 적절하게 설계하는 것이 가능하다면 해결될 수 있을 것이다. 취수구는 하천으로부터 물을 수로로 전환하기 위해서 건설되는 수리구조물로서, 취수구 주변에서의 토사이동은 다음과 같은 문제를 일으킬 수 있다.

- 취수구 주변에서의 토사퇴적과 취수구의 폐쇄를 야기한다.
- 취수구로의 토사의 유입 및 수로내의 퇴적을 야기한다.
- 토사가 부유상태로 운송되어 수력기기의 마모를 야기한다.

토사의 농도는 수면 가까운 곳에서 낮게 나타나고, 2차류가 토사를 하천의 한쪽구간으로 유동시킬 수 있는 수리학적 현상을 이용하게 되면 문제를 최소화시킬 수 있게 된다. 하천의 곡류부에서는 원심력의 영향으로 2차류가 발생하게 된다. 이것은 큰

유속을 가지고 수체에 영향을 미치게 되는데, 만곡부의 경우 외측제방에 힘을 가하게 되며 하상에 가까운 수체는 내측제방에 힘을 가하게 된다. 토사의 농도가 수체의 윗부분에서는 낮기 때문에 만곡부의 외측제방에서의 수체는 내측제방에 가까운 곳에서의 수체보다도 낮은 토사농도를 가지게 되며 따라서 취수구는 하천만곡부의 외측부에 위치하여야 한다.

세굴공은 때로 하천에서의 장애물의 중앙부에 형성된다. 2차류와 조합된 격벽(divide wall)의 중앙부에서의 국부세굴은 취수구 중앙부에서 유입되고 퇴적되는 것으로부터 토사이동을 편향시킬 수 있다. 수리시설물과 관련된 설계지침들을 각 취수구에 적용되어야 하는 것은 중요한 일인데, 이는 각 하천은 기하학적 형상과 토사이동 특성이 서로 상이하게 나타나기 때문이다.

취수구조물 부근의 유사집중에 대해서도 고려하여야 하며 유사집중지점에서 취수된 물은 송수관로, 취수 펌프의 마모, 제반기능의 저하 및 악화 등의 문제점을 수반하므로 취수시설물 위치는 유사 농도가 적은 유역외측 곡선 구간의 하류 말단부가 적합하다.

최근까지 각 취수구에 대한 토사이동을 규명하기 위해서는 반드시 물리적 모형실험들이 수행되어야만 하였다. 물리적 모형실험이 가지는 기본 이론은 지배력이 모형내에서 완전하게 재현되는 것을 확정

* 경북대학교 토목공학과 교수

할 수 있는 수리학적 상사법칙이다. 이러한 법칙의 예는 Froude수로서 동역학적 힘과 중력에 의한 힘의 비로서 표시된다. 즉, Froude 모형법칙은 이비가 모형과 원형에서 동일해야 함을 의미한다.

$$F_r^2 = \frac{U^2}{gL} \quad (1)$$

여기서, F_r 은 Froude수, U 는 유속, g 는 중력가속도, L 는 거리축척으로서 하천의 수심이다. 이것은 원형에서의 흐름유속과 원형과 모형에 대한 거리축척이 주어지면 모형에서의 유속이 결정될 수 있음을 의미한다.

토사이동을 모의하기 위해서는 또 다른 상사법칙이 적용되어야 한다. 이를 위해서 입자 레이놀드수 R_* 와 연직방향 부유사 농도에 관한 Rouse수인 Z 값이 도입되어야 한다.

$$R_* = \frac{\tau}{gd(\rho_s - \rho)} \quad (2)$$

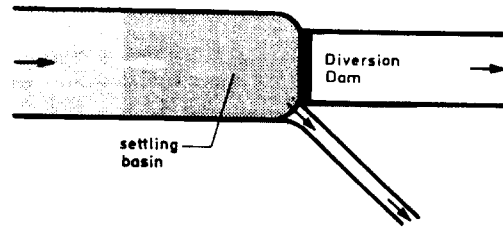
$$Z = \frac{w}{ku_*} \quad (3)$$

여기서, τ 는 하상전단력, ρ_s 와 ρ 는 각각 토사 및 수체의 밀도, d 는 토사의 입경, w 는 입자의 침강속도, k 는 우주상수, u_* 는 마찰속도이다.

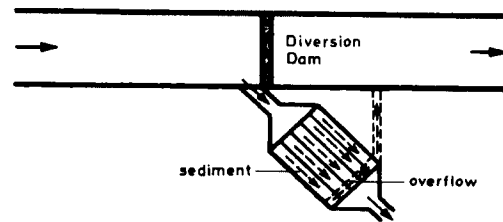
입자레이놀드 수는 소유사를 모의하는데 유용하게 적용될 수 있는 반면 Rouse수는 부유사를 모의하는데 적용된다. 두가지 유사이동 상태가 존재하는 경우에는 두가지의 축척법칙이 서로 다른 모형의 유사크기를 결정할 수 있다. 위의 공식은 때로는 모형의 토사입자 크기가 약 0.1mm 보다도 작게 되는 것을 필요로 하게 되며 입자의 크기가 작아지면 점착력(cohesive force)이 발생하게 될 것이다. 이것은 실제적으로 어려운 문제를 야기할 수 있으며 왜곡된 결과를 도출할 수도 있다. 물리적모형 연구에 관한 구체적인 기술과 제약조건은 Kobus 등(1978)의 연구에서 논의된 바 있다.

유사량 중 부유사와 소유사량이 차지하는 비율에

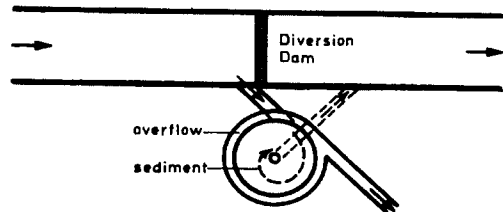
따라 유사 유입저감 기법은 달라진다. 소유사 제거는 부유사 조절에 비하여 쉬운 편이다. 부유사 제거는 침사지를 이용하는 방법이 현실성 있는 유일한 방법이며 약품 투입에 의한 입자의 침강을 유도하는 기법도 있으나 경제성 때문에 보편화되지는 않고 있다. 침사지는 장방형과 원형 및 와류타입이 있고 입자의 크기는 0.06mm 이상인 경우에 효과적이다. 그림 1은 부유사 조절기법중 침사지 형태 및 위치에 대한 일반적인 개념도이다.



(a) Upstream settling basin



(b) Longitudinal settling tank



(c) Circular settling tank

그림 1. 침사지 형식 및 위치도

소유사 제거기법은 크게 排砂방식(sediment rejection), 吐砂방식(sediment ejection) 그리고 抽出방식(sediment extraction)의 3가지 형태로 구

특집 : 취수장 주변의 수리현상

분된다. 排砂방식은 전환유입공(diversion head-work)으로 유사가 유입 되기 전에 배제하는 방식이며 吐砂방식은 일단 전환유입공으로 유사의 유입을 허용한 후 제거하는 방식이다. 토사방식은 유사 배출량과 모래망이 있다. 현재까지 알려진 바로는 가장 신뢰성 있는 유사유입 저감을 고려한 취수구의 설계는 수리모형 실험에 의한 것이다. 유사에 대한 모형실험의 난이도 때문에 실제 유사조절 정확도는 정량적인 실험이 이루어질 수 없으며 실험 결과에 따라 정성적인 기준으로 취수구 설계를 하게 된다.

1. 침사지

유사의 대부분이 부유사의 형태로 존재할 경우 부유사가 가라앉을 수 있도록 충분한 저류시간을 유지하는 침사지를 설치하여 부유사를 제거한 후 취수하는 것이 현재까지 알려진 가장 효과적인 부유사 제거기법이다.

미국 개척국(USBR)의 장방형 침사지 설계 관련식은 식 (4)와 같다.

$$W = W_0 e^{-wx/q} \quad (4)$$

여기서 W 는 침사지를 빠져나가는 유사중량, W_0 는 침사지 유입 유사중량, w 는 입자의 침강속도, x 는 침사지 길이, q 는 침사지 단위폭당 유량이다.

원형 침사지의 경우는 식 (5)와 같다.

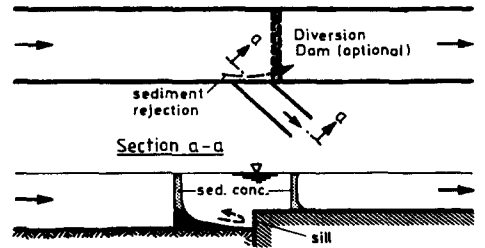
$$W = W_0 e^{-w(x^2 - r_0^2)/Q} \quad (5)$$

여기서 Q 는 총유량, r 는 특정 지점의 반경, r_0 는 영향 반경이다.

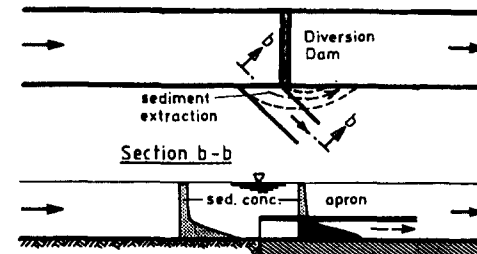
이상의 상관관계식으로부터 침사지내 유속 및 입자의 크기에 따라 각 입자에 대한 침전을 산정할 수 가능하며 침사지내 유속이 0.2m/sec 이하의 경우 실트, 점토, 모래제거에 우수한 결과를 보이고 있다.

2. 수로전환 유입공

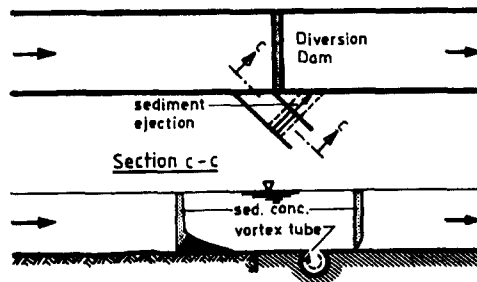
측면취수에 있어서의 소류사 조절기법으로는 排砂형식, 吐砂형식, 그리고 抽出형식이 있다. 각 형식에 대한 도해적 개념도는 그림 2에 소개되어 있다. 배사형식은 턱(sill), 도수벽(guide wall), 2차 흐름 등을 이용하여 유사를 취수유입공 입구에서 排砂水路로 이송시켜 하류로 플러싱시키는 형식이다. 吐砂형식은 유사와 물을 취수유입공을 통과시킨 후 흐름을 수평분리시켜 유사농도가 높은 하상



(a) Sediment rejection



(b) Sediment extraction



(c) Sediment ejection

그림 2. 소류사 조절기법

부분의 물을 하류로 되돌리는 형식이다. 排砂형식의 경우 취수유입공 입구에 반사턱(flexion sill)을 설치하게 되는데 높이가 너무 높으면 취수부의 유속이 빨라져 퇴적유사가 재부유되는 경우가 생기며 너무 낮을 경우 제기능을 하지 못하는 경우가 발생되므로 높이 선정에 각별한 주의가 요망된다.

前面 취수에서는 유사와 물을 취수유입공을 통과시킨 후 하류에서 유사를 분리하는 형식이 필요하다. 측면취수와는 반대로 2차 흐름의 유발을 최대한 억제하여 흐름을 수평분리시켜 유사농도가 높은 하상부분의 물을 하류로 되돌리는 형식이다.

底面 취수에서는 除塵格子(rack)을 설치하여 큰 돌들이 취수되지 않도록 제거한 후 여과되지 않은 유사를 제거할 수 있는 침전지나 다른 기법을 도입한 것이다. 제진망은 하류로 약 10~30° 정도 기울어진 것이 좋으며 제진격자의 봉 굵기와 봉간 순간 격의 비는 2:1~3:1 정도가 바람직하다.

미국 미조리유역의 Solomon강에 위치한 Woodstone 전환수로법에 대한 예이다(ASCE, 1975). 운하의 유입공은 1.5m의 수로폭과 3m 높이의 휘어진 導流壁으로 구성되어 있다. 유입공 입구의 휘어진 도류벽은 인위적으로 나선형 수류를 형성시켜 소류사를 곡류수로부로 유도하여 유입수문을 통해 2.4~3m/sec 유속을 유지시키면서 유출되도록 설계하였다. 2.4~3m/sec의 유속은 곡류부 수로내의 퇴사를 방지하는 효과가 있었다. 전환수로의 하상을 곡류수로보다 높게 설정하고 끝단에 돌출부를 만들었다. 관례에 따른 유입공 설계후 모형실험을 실시한 결과 유입수문을 통과하는 유사량(Q_s)과 전환공을 거쳐 전환수로로 유입되는 유사량(Q_b)의 비 Q_s/Q_b 는 0.51 이었으나 수리모형실험을 통한 취수공 개선결과 이 비는 4.76이 되어 유사 제거효과가 원설계에 비해 무려 9.33배나 향상되었다.

그림 3의 Kotri 댐은 유도제방과 하도 중앙의 섬을 이용하여 유사를 조절한 예이다(ASCE, 1975).

3. 導流壁과 둑

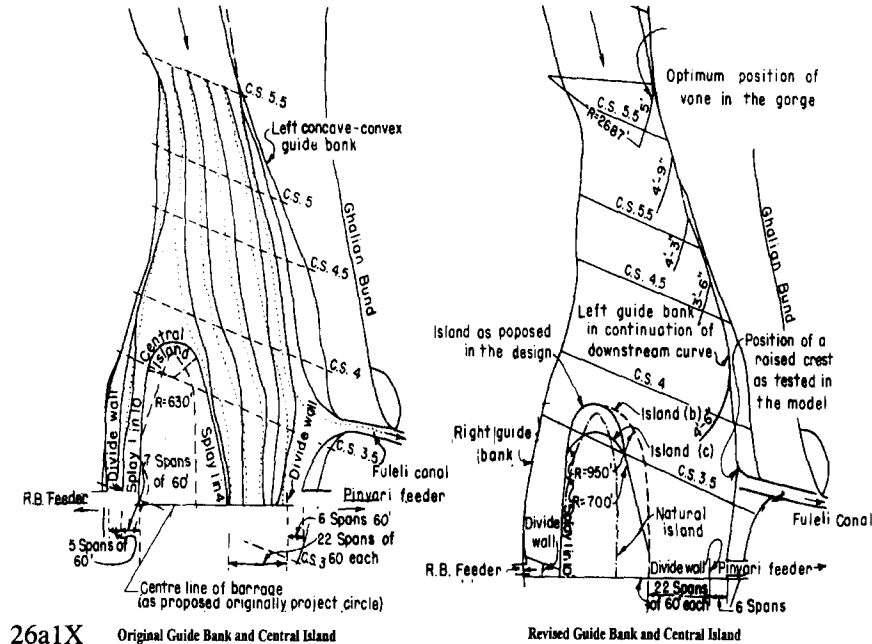


그림 3. Kotri댐의 곡선수로를 이용한 유사조절

특집 : 취수장 주변의 수리현상

하도 중앙의 섬을 이용하여 댐을 두 개의 부분으로 나누어 설계했으며 각 부분은 오목한 곡선부를 최대한 활용하도록 하였다. 이러한 설계는 R.B. Feeder 와 Pinyari Feeder에서의 유사제거에는 대단히 좋은 효과를 보였으나 Fuleli Canal의 경우 만족스러운 설계가 되지 못하였다. 그 이유는 Fuleli Canal이 유입 취수공으로부터 너무 상류에 위치하여 곡선하도의 장점을 살릴 수 없었기 때문이다. Fuleli Canal로 유입되는 유사량을 감소시키기 위하여 그림 3의 우측 그림에서 보는 바와 같이 유도벽을 연장시키고 좌안 유도수로의 곡률반경을 변경하였으며 하도 중앙섬의 곡률 또한 조정하고 수중 베인을 설치하였으나 큰 효과를 보지 못했다. 결국 Fuleli Canal의 취수유입공을 하류의 Pinyari Feeder 쪽으로 옮겨 건설하기로 하였다. 이 예로부터 취수구의 위치는 곡류부를 어느정도 통과하여 나선형 수류가 완전히 발달한 지점에 설치해야만 유사조절의 효과를 얻을 수 있다는 사실이 입증되었다. 따라서 최적의 취수구 위치선정은 각 현장마다의 특성이 반영된 모형실험을 거쳐 결정되어야 한다는 것이다. 실험이 불가능할 경우 전환수로유입공의 위치는 곡류부의 시점으로부터 곡

류부 길이의 2/3~3/4 지점에 건설하는 것이 이상적이다.

4. 유도베인

그림 4는 국부적인 나선형 흐름을 유발시켜 곡류부의 자연하도와 동일한 흐름효과를 얻을 수 있는 유도베인의 개념도이다. 유도베인에는 하상 유도베인과 수면 유도베인의 두가지 베인이 있다. 하상 유도베인은 유사농도가 높은 하상부의 흐름을 유입취수공으로부터 멀어지도록 유도하여 유사를 배제하는 방식이며 수면 유도베인은 유사농도가 적은 수면부의 흐름을 유입 취수공으로 유도하는 방식이다. 현재 인도, 소련 미국 등 세계 각국에서 베인에 대한 연구가 진행되고 있으며 특히 미국의 Iowa대학에서 활발히 진행될바 있다(Odgaard와 Wang ; 1991a,b).

베인을 이용한 충격하천의 천수화의 좋은 해결 예로서 미국의 Iowa에 있는 Duane Arnold Energy Center(DAEC) 취수구의 개선을 들 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 DAEC는 공장의 냉각수 취수를 위하여 1972년부터 0.7cms의 물을

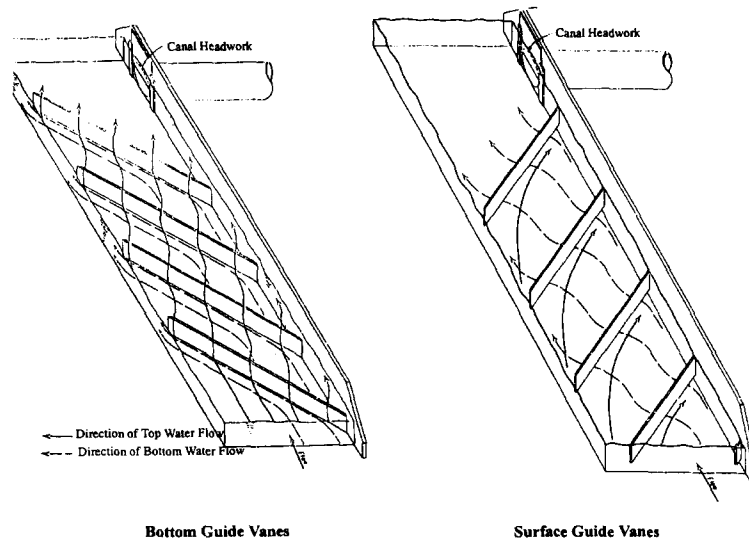


그림 4. 유도베인을 이용한 유사조절 개념도

Cedar River로 부터 취수하고 있으나 천수화의 문제가 항상 대두되어 왔던 곳이다. 각종 실험과 이론식의 수치해석을 통하여 베인을 설계하고 건설한

후(그림 5 참조) 1년이 지난 1992년 현재 그림에서 보는 바와 같이 취수구 주변의 퇴사문제가 해결되었다 (Odgaard와 Wang; 1995).

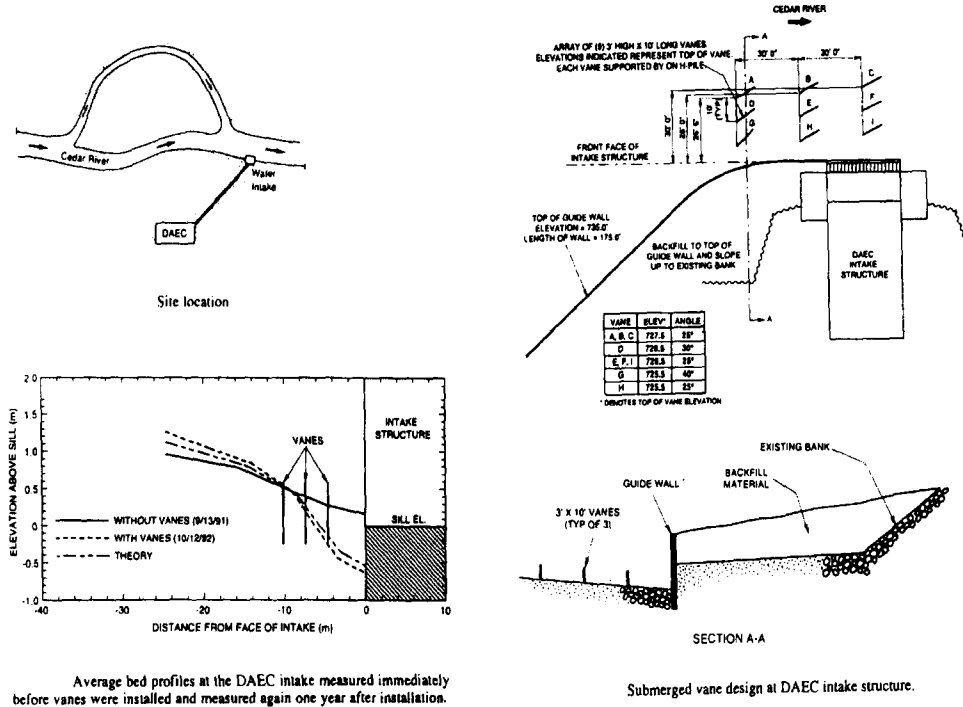


그림 5. 베인을 이용한 하도의 천수화

5. 吐砂방식

어떠한 형식의 수로 전환 유입공이 이용되더라도 약간의 유사는 운하로 유입된다. 따라서 구조물에 의한渦의 발생에 따라 부유사 형태로 운하로 유입된 유사는 퇴적된다. 점토와 같은 유사는 농작물에 악영향을 미치므로 일반적으로 제거시켜야 하며 이러한 제거기법으로 유사배출장치가 이용된다. 유사배출장치에는 터널형식과 와류형식이 있다.

터널형식은 그림 6과 같이 유입부 바닥에 유입수심의 약 20~25% 정도의 높이를 가진 터널을 만들고 터널과 수로를 상하로 연결하는 구멍을 만들

어 유입수로 하상으로 이송되던 유사가 구멍을 통해 터널부로 유입되도록 유도한다. 터널부의 유속은 2.4~3m/sec 정도로 터널부에 유사 퇴적이 발생되지 않도록 한다.

상부가 열린 튜브나 가는 홈으로 구성된 이 형식은 취수유입공의 흐름방향과 약 45°의 각도를 유지하며 튜브나 가는 홈의 윗부분과 하상부분의 표고가 일치하도록 설치한다. 유사배출장치 상부의 흐름은 튜브 안쪽에 나선형 흐름을 유발시켜 유사를 하류로 이송하는 역할을 한다. Ahmad(1960)는 가능하면 튜브의 폭을 작게하여 유사배출에 쓰이는 유량을 줄여주는 것이 바람직하다는 결론을 실험을 통하여 얻은 바 있다.

