

고무보 저층수 배출관의 유사 배제 성능 실험 연구

정석일 · 이승오[†]

홍익대학교 토목공학과

(2016. 4. 9. 접수 / 2016. 6. 27. 수정 / 2016. 8. 22. 채택)

Experimental Study for Flushing of Sediment Bypass Pipe underneath Rubber Weir

Seok Il Jeong · Seung Oh Lee[†]

Department of Civil Engineering, Hongik University

(Received April 9, 2016 / Revised June 27, 2016 / Accepted August 22, 2016)

Abstract : Most small weir installed in Korea is concrete solidated weir. Fixed weir causes stagnant flow, which leads to deposit sediment just upstream of weir. As time goes on, it would induce reduction of water storage capacity and invoke the serious water quality issues. Therefore, there has been a growing interest in movable weir. Especially, the flexible rubber weir is easy to install and possible to operate in extreme environments. However, even though this type can be flatable, it is also not free from sediment deposition problem. Thus, to enhance the ability of releasing deposition the bypass pipe was constructed underneath it. In this study the performance of its ability was examined with hydraulic model test. This bypass pipe was designed with 3 different dimensions to connect between each bottom of upstream and downstream of a weir, such as Type A, B, and C. The efficiency of drainage of deposition upstream was studied under two water of upstream and sediment heights. In addition, the ability of sediment emission through the bypass pipe after the pipe was blocked by debris like soil, vegetation et al. was examined by video monitoring. From this study, it was suggested a dimensionless equation which show the relationship of variable parameters and amount of emission sediment through bypass pipe. And it was found that the most significant factors on efficiency of releasing were elbow angle and discharge, and the ability of emission when the pipe was blocked was most highly influenced in tilting length.

Key Words : bypass pipe, emission sediment, rubber weir, hydraulic experiments

1. 서론

보는 하천 횡단구조물로 수위를 조절하거나 관개 및 취수 등을 목적으로 설치한다. 그러나 현재 설치된 보는 대부분 콘크리트 고정보로써 흐름의 정체를 유발시켜 유사를 퇴적시키며, 이로 인하여 수질은 더욱 악화된다. 특히 소하천의 경우 준설장비 진입 문제 및 경제성 등의 이유로 준설작업이 원활하게 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 최근에는 기존의 고정보 형태가 아닌 자정효과, 유사퇴적 경감효과 및 저수용량을 조절할 수 있는 가동보에 대한 관심이 증가하고 있는 추세이다. 가동보 중 고무보(Rubber weir)는 홍수시 도복을 시키고 평상시에 기립하는 원리를 이용하여 수위를 조절하는 특징을 가지고

있으며 기존 보와 같이 관개, 용수공급, 방조제, 수처리, 홍수경감, 수력발전, 환경보호 등 다양한 목적으로 사용될 수 있다. 또한 고무보는 기존의 콘크리트 보에 비해 설치하기 쉬우며 부식하거나 극한 온도 등 혹독한 환경에서도 사용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 기존 고정보와 같이 보 하단부에 물 흐름을 정체시키기 때문에 보 상류 유사의 퇴적에서 자유롭지 못하다.

일반적으로 보, 댐 또는 저수지에서 퇴적된 유사를 배제하는 방법으로는 준설(Dredging)과 같은 물리적인 방법과 배사(Flushing)와 같은 방법이 있다. 배사에 대한 연구는 D'Rohan¹⁾에 의해 처음 시작되었으며, 이후 많은 연구가 수행되었다. The Tsinghua University and Northwest Institute of Hydraulics and Hydrological Research²⁾은 배사용수로(Flushing channel)에서 배출되는 유사량과 흐름 특

[†] Corresponding Author : Seung Oh Lee, Tel : +82-2-325-2332, E-mail : seungoh.lee@gmail.ac.kr
Department of Civil Engineering, Hongik University, 94, Wausan-ro, Mapo-gu, Seoul 04066, Korea

성과의 관계를 수리실험을 통해 분석하였으며, Atkinson³⁾은 현장 계측을 통해 위의 두 연구보다 실제 유사 배제량이 적음을 증명함과 동시에, 유사 입경에 따른 배사효과를 검토하였다. 그 외에 Jowett⁴⁾, Batalla⁵⁾, J. Woo et al.⁶⁾ 등이 특정 지역을 대상으로 배사효과를 검토하였다. 또한 Fan and Jiang⁷⁾, Bechtler et al.⁸⁾, Chang et al.⁹⁾, J. H., Ann¹⁰⁾은 수치해석을 통하여 저수지 내 퇴적 유사의 배사 효과를 검토하였다. 그러나 이러한 연구의 대부분은 대규모 저수지 내에서 수문 또는 배사문을 조작하여 발생하는 소류력으로 인한 배사이며, 고무보와 같은 가동보에서의 유사 배제는 아직까지 연구된 사례가 없다. 본 연구에서는 고무보에서의 유사 배제를 위해 저층수 배출관을 이용하였다. 관을 통한 유사 배출은 U, Ji et al.¹¹⁾에 의해 연구된 사례가 있으나, 이는 한탄강홍수조절댐에 설치된 배사관에 대한 연구로, 고무보와 같이 상류와 하류의 하상 높이 차이가 거의 없는 곳에 설치된 유사 배출관과는 성격이 다르다.

이에 본 연구에서는 수리실험을 통하여 저층수 배출관을 통한 유사배제 효과를 검토하였다. 유량변화에 따른 유사배제 효과를 분석하였으며, 저층수 배출관 형상을 3가지로 분류하여, 각각에 대한 유사배제 효율을 검토하였다. 또한 저층수 배출관이 퇴적물에 의해 폐색되었을 경우 배제 능력 또한 검토하였다.

2. 기본이론

Fig. 1과 같은 저층수 배출관 내에서의 단일 유사(비점착성)에 대한 배제속도는 다음 방법과 같이 구간에 따라 구분하여 유도해야 한다. 유입부(A→B)에서의 유사배제 속도는 다음과 같은 과정으로 구할 수 있다.

관내의 흐름은 압력흐름이므로 유속 V_f 는 일정하다. 각 방향에 대해 힘을 더하여 정리하면

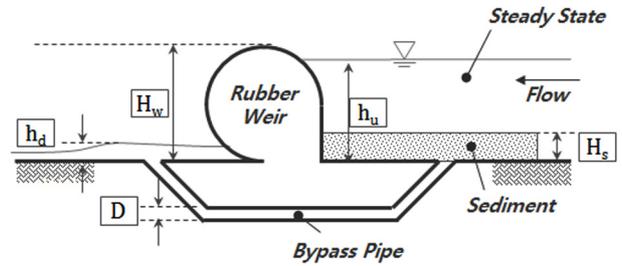
$$\sum F_x = ma_x = F + G\cos\theta - B\cos\theta \quad (1-a)$$

$$\sum F_y = ma_y = Lift - G\sin\theta + B\sin\theta \quad (1-b)$$

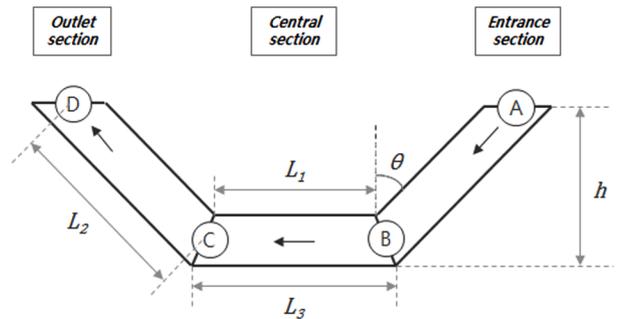
여기서 F 는 흐름에 의한 외력, B 는 부력, $Lift$ 는 양력, G 는 중력을 의미하며 V_f 는 관내 물의 유속, V_t 은 외력에 의해 발생한 유사의 이동속도이다.

유사가 관 중심선을 통해 움직인다고 가정하면,

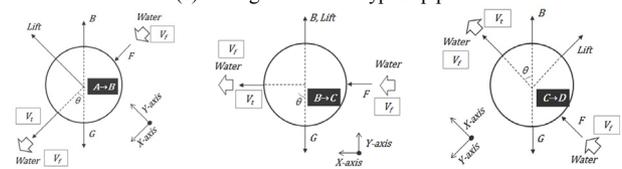
$$\sum F_y = 0 \quad (2)$$



(a) side view of experiment flume



(b) Enlarged view of bypass pipe



(c) Freebody diagram

Fig. 1. Test conceptual diagram for sediment release.

여기서, F 는 물의 유속에 대한 유속의 상대속도와 관련이 있다. 따라서 식 (1-a)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum F_x = ma_x = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 A + mg \cos\theta - \gamma_w \forall \cos\theta \quad (3)$$

여기서, m 은 유사 질량, a_x 는 x 방향 가속도, C_D 는 항력계수, ρ 는 유사 밀도, V 는 상대속도 ($V_f - V_t$), A 는 유사 투영 단면적, g 는 중력가속도, γ_w 는 물의 단위중량, \forall 은 유사 부피이다. 또한 부력은 식(4-a)와 같은 관계를 갖고, 유사 질량과 물의 질량은 식(4-b)과 같은 관계를 갖는다.

$$\gamma_w \forall = m_w g \quad (4-a)$$

$$m = \alpha m_w \quad (4-b)$$

여기서, m_w 는 물의 질량, α 는 유사 비중이다. 식 (4-a)와 식(4-b)을 식(3)에 넣고 정리하면 다음과 같이

나타 낼 수 있다.

$$\sum F_x = ma_x = \frac{1}{2} C_{DP} V^2 A + (1 - \frac{1}{\alpha}) mg \cos \theta \quad (5)$$

물체가 받는 외력의 총 합력은 시간에 따라 변하므로 a_x 와 V 는 시간에 관한 함수로 표현 할 수 있다. 또한 양변을 유사 질량 m 으로 나눈 후 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_x(t) = \frac{1}{2} C_D \frac{A}{V} [V(t)]^2 + (1 - \frac{1}{\alpha}) g \cos \theta \quad (6)$$

위 식은 힘과 가속도의 관계로부터 다음과 같이 $V(t)$ 를 유도할 수 있다.

$$\frac{dV(t)}{dt} = \frac{1}{2} C_D \frac{A}{V} [V(t)]^2 + (1 - \frac{1}{\alpha}) g \cos \theta \quad (7-a)$$

$$\int dV(t) = \int \frac{1}{2} C_D \frac{A}{V} [V(t)]^2 dt + \int (1 - \frac{1}{\alpha}) g \cos \theta dt \quad (7-b)$$

$$V(t) = \int \frac{1}{2} C_D \frac{A}{V} [V(t)]^2 dt + (1 - \frac{1}{\alpha}) g \cos \theta t + C \quad (7-c)$$

여기서 $t=0$ 일 때 $V(0)=0$ 이므로 $C=0$ 이다. 따라서 구간 상대속도 $V(t)$ 는 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$V(t) = \int \frac{1}{2} C_D \frac{A}{V} [V(t)]^2 dt + (1 - \frac{1}{\alpha}) g \cos \theta t \quad (8)$$

중앙구간(B→C)에서 유사가 받는 힘은 식(9-a)과 같이 정리할 수 있다.

$$\sum F_x = ma_x = F \quad (9-a)$$

$$\sum F_y = ma_y = -G + B + L \quad (9-b)$$

식(9-a)을 정리하면 구간 상대속도를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V(t) = \int \frac{1}{2} C_D \frac{A}{V} [V(t)]^2 dt + V_1 \quad (10)$$

여기서, V_1 은 구간 1을 통과할 때 물의 유속에 대한 유사의 상대속도이다.

마지막으로 유출부(C→D)에서는 각 방향의 합력은 식(11-a)과 식(11-b)과 같으며 유입부에서의 가정과 같이 y 방향의 합력은 무시한다.

$$\sum F_x = ma_x = F - G \cos \theta + B \cos \theta \quad (11-a)$$

$$\sum F_y = ma_y = -Lift + G \sin \theta - B \sin \theta \quad (11-b)$$

식(11-a)을 정리하면, 상대속도 $V(t)$ 에 관한 식을 얻을 수 있다.

$$V(t) = \int \frac{1}{2} C_D \frac{A}{V} [V(t)]^2 dt + (\frac{1}{\alpha} - 1) g \cos \theta t + V_2 \quad (12)$$

여기서 V_2 는 중앙구간을 통과할 때 유속에 대한 사석의 상대속도이다. V 와 t 사이의 관계식을 알 수 없기 때문에 식(12)을 통해서는 이론적인 $V(t)$ 를 직접적으로 구할 수 없다. 따라서 간접적으로 time step에 따라 해를 찾는 수치모의를 이용하여 계산하거나 실험을 통해 직접적으로 측정해야 한다.

3. 수리실험

3.1 실험 개요 및 조건

저층수 배출관의 장점 중 하나는 저층수 배출관 덮개를 이용하여 상황에 따라 탄력적으로 운영이 가능한 점이다. 하지만 저층수 배출관을 운영하지 않을 경우 상류에서 흘러온 부유물은 고무보 직상류 부분에 퇴적되게 되며 성능저하, 구조물의 안전, 수질악화 등의 원인이 될 수 있다. 따라서 저층수 배출관이 퇴적된 유사를 배출하는 능력에 대한 검토가 필요하다.

실제 저층수 배출관을 운영하지 않는 현장에서는 퇴적물의 두께의 최대치는 고무보 높이의 약 20%로 계측되었다. 따라서 본 실험에서는 적용한 유사의 두께는 실제 현장에서 발생하는 퇴적물의 두께를 반영하여 각각 고무보 높이의 10%와 20% (0.05 m와 0.10 m)로 결정하였다.

유사 배제 능력 검토를 위한 실험 개념도는 Fig. 2에 나타내었다. 실험을 위해 저층수 배출관 덮개를 도복시킨 후 고무보 직상류에 모래를 포설하였으며 실험이 시작되기 전 포설된 모래의 부피를 측정하기 위해 3차

원 스캐너(정확도: ± 0.255 mm) 통해 모래의 형상을 스캔하였다. 실험시 모래의 교란을 막기 위해 유량을 가능한 천천히 공급하였으며 흐름이 안정된 후 저층수 배출관 덮개를 일정한 속도로 열어 유사 배제 실험을 실시하였다. 디지털 캠코더(MODEL: SONY HDR-XR 520)를 이용하여 유사 가 더 이상 배제되지 않는 것을 확인한 후 배출관 덮개를 다시 닫고 실험을 종료하였다. 실험 후 변형된 모래의 형상을 3차원 스캐너를 통해 스캔하였다. 실험 전 스캔을 통해 구한 유사부피(V_1)와 실험 후 스캔을 통해 구한 유사 부피(V_2)의 차이($V_1 - V_2$)를 통해 유사배제량을 정량적으로 산출하였다.

각 실험은 Fig. 1(b) 및 Table 1에 제시된 것과 같은 관의 형상별로 진행되었으며 Case별 실험 조건은 아래 Table 2에 제시한 바와 같다. 실험수로는 13.0 m(L)×5.0 m(B)×0.5 m(H)의 제원을 가지며, 좌우안 제방경사 1:1을 적용하였다. 실험 종료 시점은 저층수 배출관 덮개를 개방한 후 30분을 통수시킨 후 저층수 배출관을 확인하여 유사 가 더 이상 배제되지 않는 것을 기준으로 하였다.

저층수 배출관의 직경은 0.1 m로 동일하였으며, 실험 수행 시 하류부의 수위 조절 위어는 완전히 개방하였다.

Table 1. Bypass pipe data

Type	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	θ	h (m)
A	0.67	0.26	0.78	60°	0.275
B	0.40	0.32	0.53	45°	
C	0.10	0.45	0.15	30°	

Table 2. Experimental conditions

Case	Type	discharge (m^3/s)	upstream depth (h_u, m)	Height of initial sediment (H_s, m)	downstream depth (h_d, m)
1	A	0.0115	0.4678	0.05	0.07
2	B	0.0121			
3	C	0.0131			
4	A	0.1382	0.5873	0.10	0.08
5	B		0.5836		
6	C		0.5829		
7	A	0.0115	0.4678	0.10	0.07
8	B	0.0121			
9	C	0.0131			
10	A	0.1382	0.5873	0.10	0.08
11	B		0.5836		
12	C		0.5829		

3.2 유사배제실험 결과

유사 배제 실험 결과를 위해 실험 전과 후의 스캔 결과를 비교하였다. 스캔 후 처리과정은 실험 전과 후의 스캔 결과를 AUTOCAD를 이용하여 변환한 후 solid 생성을 통해 실험 전후 부피를 산정하였다.

실험 결과 Case 1의 경우 Table 3에서 보는 바와 같이 배출관 Type C에서 최대 배제량이 $0.0054 m^3$ 으로 가장 높게 나타났으며 총량의 10.5% 배제하는 것으로 나타났다. Case 2, 3과 4의 경우 또한 Type C에서 유사 가 최대로 배제 되는 것으로 나타났으며, 그 양은 각각 $0.0062 m^3$, $0.0093 m^3$, $0.0100 m^3$ 로 나타났다.

Table 3. Experimental data for sediment release

Case	Amount of Flushing Sediment (Q_s, m^3)	Re_P	H_s/H_w	$L_2/(L_3 \cdot \theta)$
1	0.0019	2.42×10^5	0.10	0.342
2	0.0024	2.42×10^5		0.876
3	0.0054	2.42×10^5		6.875
4	0.0024	2.73×10^5		0.342
5	0.0026	2.73×10^5		0.876
6	0.0062	2.73×10^5		6.875
7	0.0076	2.42×10^5	0.20	0.342
8	0.0084	2.42×10^5		0.876
9	0.0093	2.42×10^5		6.875
10	0.0081	2.73×10^5		0.342
11	0.0087	2.73×10^5		0.876
12	0.0100	2.73×10^5		6.875

3.3 결과 분석

Fig. 2는 고무보 상류부의 유사 가 배출된 형상의 모 식도이다. 최종적으로 배출된 유사는 잘려진 원뿔 모양의 부피로 계산될 수 있으며 식(13-a)와 같이 나타낼 수 있다.

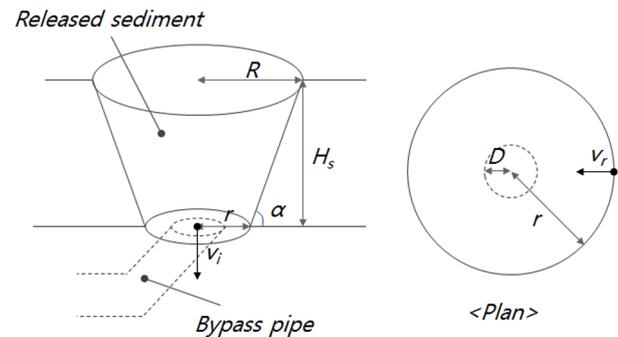


Fig. 2. Flushed sediment.

$$\nabla = \frac{\pi H_s}{12}(R^2 + rR + r^2) \quad (13-a)$$

여기서, r 은 유사가 거동을 시작하여 저층수 배출관을 통해 유입된 범위라고 할 수 있으며, R 은 r 과 α 의 함수로 나타낼 수 있다. 단일 유사에서 수중 안식각인 α 는 일정하기 때문에, 배출된 유사의 총량은 식(13-b)와 같이 표현할 수 있다.

$$\nabla = f_0(r, H_s) \quad (13-b)$$

유사의 거동은 한계유속 이상의 유속이 발생하면 시작된다. 유입부에서의 유속 v_i 는 Bernoulli 방정식에 의하여 다음과 같이 나타난다.

$$v_i = \sqrt{2g(h_u - h_d)} \quad (14)$$

범위 r 에서의 유속(v_r)은 연속방정식에 의하여 거리 제곱에 반비례하며, r 이 최대가 되는 값은 v_r 이 유사 한계유속일 때이므로 다음과 같이 표현된다.

$$r_{\max}^2 = \frac{v_i}{v_c} \quad (15)$$

Mavis와 Hayshey (1949)¹²⁾는 v_c 를 다음과 같이 나타낼 수 있다고 하였다.

$$v_c = 0.153 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^{1/2} D^{4/3} \quad (16)$$

여기서, γ_s 는 유사의 단위 중량(2.65 ton/m³)이고, γ_w 는 물의 단위중량(=1.0 ton/m³)이며, D 는 유사 입경이다. 본 연구에서는 단일 유사를 사용하였으므로 v_c 는 상수로 표현될 수 있으며, 위의 식들을 이용하면, 다음과 같은 관계를 도출할 수 있다.

$$\nabla = f_1\{(h_u - h_d), H_s\} \quad (17-a)$$

$$f_2(\nabla) = (h_u - h_d)^{1/2} \quad (17-b)$$

$$f_3(\nabla) = H_s^3 \quad (17-c)$$

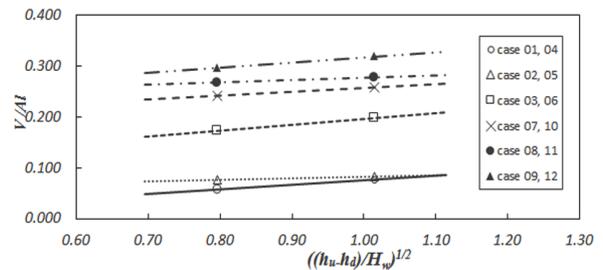
또한, 본 연구에서는 저층수 배출관의 형상에 따른 배제 효과를 검토하였으며, 실험결과 형상에 따라 배제량이 차이가 발생하는 것을 확인하였다. 형상의 차

이는 Fig. 1(b)와 같이 L_2, L_3, θ 의 함수로 나타낼 수 있으며, 실험결과를 바탕으로 한 회귀분석 결과 식 (18-b)와 같이 나타났다. 이를 종합하면, 다음과 같이 유사배제 영향인자가 결정되어 진다.

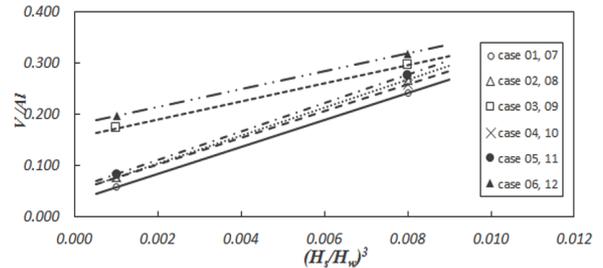
$$\nabla = f_4\{(h_u - h_d), H_s, K\} \quad (18-a)$$

$$f_5(\nabla) = K^{1/4} = \left(\frac{L_2}{L_3 \theta} \right)^{1/4} \quad (18-b)$$

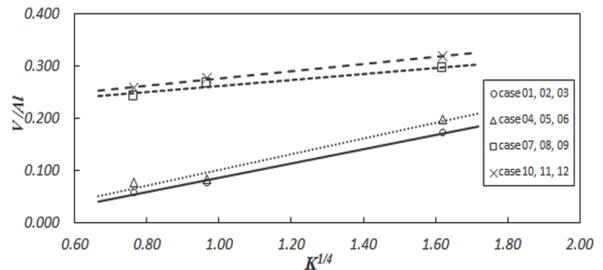
무차원화를 위해 보의 높이 H_w 와 배출관의 단면적 (A) 및 총 길이(l)을 이용하였으며, 수리실험을 통하여 각 변수들과 무차원화된 유사배제량과의 관계는 다음과 같이 나타났다.



$$(a) \frac{\nabla_s}{Al} - \left(\frac{h_u - h_d}{H_w} \right)^{1/2}$$



$$(b) \frac{\nabla_s}{Al} - \left(\frac{H_s}{H_w} \right)^3$$



$$(c) \frac{\nabla_s}{Al} - K^{1/4}$$

Fig. 3. Relationships between sediment drainage and each independent parameter, in respectively.

각 영향인자 값과 유사 배제량의 선형 관계를 이용하면 다음과 같이 총 유사량에 대한 식을 도출할 수 있다.

$$\frac{V}{Al} = F \left[\left(\frac{h_u - h_d}{H_w} \right)^{1/2} \left(\frac{H_s}{H_w} \right)^3 K^{1/4} \right] \quad (19)$$

무차원 유사배제량과 각 변수들의 곱과의 관계를 Fig. 4에 도시하였다.

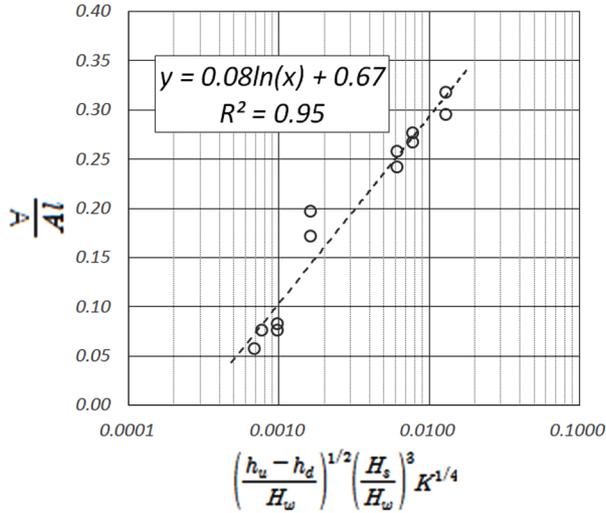


Fig. 4. Relation between sediment drainage with independent parameters using regression analysis.

회귀분석 결과 결정계수는 0.95로 본 추세선이 실험의 결과를 잘 설명해 주고 있는 것으로 나타났으며, 최종적으로 다음과 같은 회귀식을 도출하였다.

$$\frac{V}{Al} = 0.08 \ln \left[\left(\frac{h_u - h_d}{H_w} \right)^{1/2} \left(\frac{H_s}{H_w} \right)^3 K^{1/4} \right] + 0.67 \quad (20)$$

영향인자와 유사 배제량과의 관계가 자연대수의 함수로 나타난 이유는 싱크(sink)유동에서 일반적으로 속도 퍼텐셜은 대수를 취한 값과 체적유량의 곱으로 이루어지므로, 본 연구 대상인 저층수 배출관 주변의 흐름특성도 이와 유사하기 때문인 것으로 판단된다.

3.3 관 폐색시 배제 능력 검토 실험

고무보 직상류에 설치된 저층수 배출관은 저층수 배출관 덮개를 이용하여 탄력적으로 운영하도록 되어있다. 하지만 배출관 덮개를 덮은 후에는 저층수 배출관 내부의 흐름이 정체되기 때문에 기존에 잔류되어 있던 부유사들이 저층수 배출관 내부에 남아있게 된다. 이

Table 4. Kind of debris

sand	deposit soil	vegetation
<ul style="list-style-type: none"> • S.G = 2.65 • initial volume = $4.03 \times 10^{-3} m^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> • S.G = 1.85 • initial volume = $4.11 \times 10^{-3} m^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> • S.G = 0.95 • initial volume = $4.18 \times 10^{-3} m^3$
		

러한 퇴적물에 의해 배출관 덮개를 열고 난 후 잔류된 퇴적물에 의해 물이 통수되지 않는다면 저층수 배출관은 기능을 상실하게 된다. 따라서 본 실험에서는 저층수 배출관 내부가 부유물에 의해 폐색되는 상태를 가정하여 배제능력을 검토하였다.

관 폐색시 배제 능력을 확인하기 위해 내부에 퇴적물을 삽입하였으며 이때 사용한 퇴적물은 현장 특성을 반영하기 위해 Table 4와 같이 모래, 하상퇴적토, 식생을 이용하였다. 여기서 현장의 특성을 고려하여 하상퇴적토와 식생을 혼합한 혼합토를 추가로 사용하였다.

본 실험은 실제 현장을 고려한 실험으로 퇴적물이 저층수 배출관으로 유입될 경우 만곡(elbow) 구간이 폐색될 가능성이 가장 높으므로 이때, 배출관의 통수능력이 현저히 저하될 것이다. 따라서 Fig. 5와 같이 유입구에서 가까운 만곡(elbow)구간이 폐색되는 것을 기준으로 하여 실험을 실시하였다. 실험은 Table 2의 Case 1, 2의 조건 하에 수행되었다.

배제능력 검토 결과 대부분의 퇴적물에 대해 배제하는 기능을 가지고 있었지만 배출관 Type B와 C의 경우 일부 퇴적물에 대해 배제하지 못하는 것으로 나타났다. Type B의 경우 혼합토에 대해 유량이 작은 case에서 배제가 되지 않았고, Type C의 경우 하상퇴적토 및 혼합토에 대해서 역시 유량이 작은 경우 배제가 되지 않았다. 이러한 원인으로는 유입부의 길이의 영향이 크게 작용한 것으로 판단된다. 만곡(elbow)구간 폐색을 위해 퇴적물을 유입할 경우 유입부의 대부분을 폐색시킨다. 여기서 Type B와 C의 유입부 길이가 과도

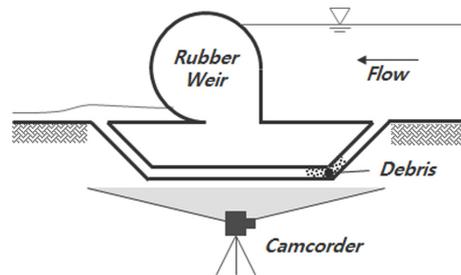


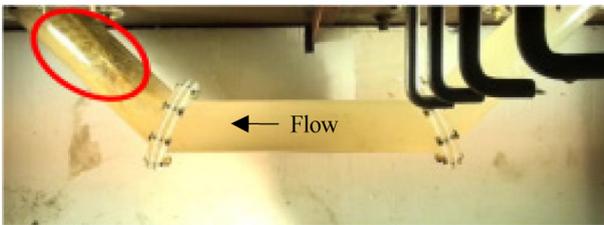
Fig. 5. Test conceptual diagram for pipe blockage.

Table 5. Results of pipe blockage test

Case	Type	Debris			
		sand	vegetation	deposit soil	mixing soil
1	A	Clear	Clear	Clear	Clear
	B			Blockage	Blockage
	C			Blockage	Blockage
2	A	Clear	Clear	Clear	Clear
	B			Blockage	Blockage
	C			Clear	Clear



(a) Before opening



(b) After opening

Fig. 6. Monitoring for pipe blockage at elbow (Type B).

하게 길이 저항이 커진 것으로 판단된다. 특히 하상퇴적토와 혼합토의 경우 모래보다 점도가 크기 때문에 더욱이 배제되지 어려운 것이라 판단된다. Table 5는 폐색 관련 실험 결과를 정리한 것이며, Fig. 6은 실험 모습이다.

4. 결론

본 연구에서 저층수 배출관 성능 및 폐색 시 배출능력을 검토하기 위해 수리실험을 수행하였으며, 차원해석을 통해 초기 유사 포설 높이, 상하류 수위차, 관의 형상계수를 무차원화 하였다. 이러한 무차원 변수를 이용하여 회귀분석 한 결과 수위차에 대한 무차원 변수의 지수는 0.5, 초기 유사 포설 높이에 대한 무차원 변수의 지수는 3.0, 관의 형상 계수는 0.25로 나타나, 저층수 배출관이 작동하기 전의 초기 유사 높이가 가장 배출효율에 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며, 그 다음으로는 상류와 하류의 수위차, 그리고 저층수 배출관의 형상 순으로 나타났다. 또한 배출관의 형상은 유입부 및 유출부의 경사부와 중간의 수평부의 각도가 작고, 수평부의 길이가 상대적으로 길 때, 유사 배제

효율이 가장 좋게 나타났다. 회귀식의 형태는 자연대수 형태로 나타났는데, 이는 유입부 주변의 수리적 현상이 일반적인 싱크유동 형태와 유사한 물리적 거동을 보이기 때문인 것으로 판단된다.

저층수 배출관의 엘보우가 폐색된 경우 배제 유무를 검토한 결과 일부 경우에서 폐색이 발생하였다. 이는 실제 현상과 같이 유입부의 대부분이 퇴적물로 가득 차 있는 경우를 가정하여 실험하였기 때문에, 상대적으로 유입부가 긴 경우에서 배제효율이 떨어지는 것으로 판단된다. 고무보 상류의 퇴적 유사 배제와 유사하게 이 경우에도 유입부와 유출부의 경사관과 수평관의 각도가 작을수록, 수평부의 길이가 상대적으로 길수록 관의 폐색 가능성이 작아질 것으로 판단된다.

본 연구결과를 저층수 배출관을 통한 유사배제량을 정량적으로 예측할 수 있으며, 폐색 등의 문제가 발생하였을 경우 관의 효율성 및 지속성 등에 대한 문제를 실험을 통하여 규명하였다. 향후 유사 배제를 저층수 배출관을 통해 수행할 경우 본 연구가 설계 시 참고자료로써 큰 의미가 있을 것이라 판단된다.

References

- 1) W. D’Rohan, “The silting up of reservoirs and canals and some methods for preventing same.”, Engin. and Contract, Vol. 35, pp. 56-58, 1911.
- 2) Tsinghua University (Sedimentation Research Laboratory) and North-west Institute of Hydrotechnical Research, “Reservoir Sedimentation”, Water Conservancy and Electric Power Press, (in Chinese), 1979.
- 3) E. Atkinson, “The Feasibility of Flushing Sediment from Reservoirs”, Report OD 137, HR Wallingford, November, 1996.
- 4) I. Jowett, “Sedimentation in New Zealand Hydroelectric Schemes.”, Water International, Vol. 9, No. 4, pp. 172-176, 1984.
- 5) R. J. Batalla and D. Vericat, “Hydrological and sediment transport dynamics of flushing flows: implications for management in large Mediterranean rivers”, River Research and Applications, Vol. 25, No. 3, pp. 297-314, 2009.
- 6) J. W. Noh, J. H. Park, Y. T. Hur and S. H. Kim, “Analysis of Sediment Flushing Effect for Reservoir Sedimentation Management of the Patrind Dam in Pakistan”. Journal of Korean society on water environment, Vol. 29, No. 6, pp.799-807, 2013.
- 7) J. Fan and G. L. Morris, “On Method for the Desiltation of Reservoirs”, International Seminar of Experts on Reservoir

- Desiltation, Tunis, Tunisia, 1980.
- 8) W. Bechtler and M. NUJIA, "Predicting Reservoir Sedimentation with 2D Model FLOODSIM", Volume, 1996.
 - 9) H. H. Chang, L. L. Harrison, W. Lee and S. Tu, "Numerical Modeling for Sediment-pass-through Reservoirs", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 122, No.7, pp. 381-388, 1996.
 - 10) J. H. Ann, S. H. Jnag, W. S. Choi and Y. N. Yoon, Research Paper : "An Efficient Management of Sediment Deposit for Reservoir Long-Term Operation (2) -Sediment Distribution and Reduction Method in Reservoir", Journal of Korean Society on Water Environment, Vol. 22, No. 6, pp. 1094-1100, 2006.
 - 11) U. Ji, K. I. Son and M. M. Kim, "Numerical Analysis for Bed Changes in the Upstream Channel due to the Installation of Sediment Release Openings in the Flood Control Dam", Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 42, No. 4, pp. 319-329, 2009.
 - 12) F. T. Mavis and L. T. Laushey, "Formula for Velocity at Beginning of Bed-Load Movement is Reappraised", Civil Engineering, ASCE, Vol. 19, No. 1, pp.38-39, 1949.