

자 료

한일간 오탁방지막 설계 비교 Comparison of Silt Protector Design Between Korea and Japan

오영민* · 송원오*

Young Min Oh* and Won Oh Song*

요 旨 : 준설, 매립, 사석투하 등과 같은 항만공사에서는 필연적으로 부유토사가 발생하여 해양환경에 영향을 미치고 있는데, 부유토사의 확산에 의한 해양오염을 방지하기 위해서 현재 가장 널리 쓰이고 있는 방법은 공사구역 주변을 외부와 차단하는 오탁방지막이다. 본 논문에서는 국내의 오탁방지막의 설계기준을 일본의 설계기준과 비교함으로써 국내의 설계기술의 개선을 도모한다.

핵심용어 : 부유토사, 오탁방지막, 비교

Abstract □ Harbor construction works such as dredging, reclamation, riprap dumping and so on generate suspended sediment to affect ocean environment negatively so silt protector is widely used to keep construction site from deteriorating at the moment. This study has a purpose to improve our design techniques by comparing the design procedures of the silt protector between Korea and Japan.

Keywords : suspended sediment, silt protector, comparison

1. 서 론

경제규모의 성장에 따른 수출입화물의 증가는 자연스레 항만의 이용 증가로 이어지기 때문에 현재 국내에서는 기존 항만의 확충과 신규 항만의 공사가 여러 곳에서 벌어지고 있다. 항만공사는 항로유지를 위한 준설, 부두 건설을 위한 매립과 방파제나 護岸을 건설하기 위한 사석투하 등의 工種을 포함하기 때문에 필연적으로 부유토사가 발생하게 된다. 부유토사는 토사 자체가 중금속이나 독성 유기물로 오염이 되지 않았다면 해양수질환경에 미치는 악영향은 없다고 봐도 무방하나 해양생태계에는 많은 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다. 특히, 어류와 같이 스스로 이동이 가능한 생물보다는 조개류와 같은 저서생물이나 이동이 어려운 양식 가두리의 생물에게는 호흡을 방해하는 등의 치명적인 영향을 미치는 것으로 알려졌다(농어촌진흥공사, 1988). 이러한 이유로 항만공사 시에는 대부분 어업피해 보상이 수반되었으나 정확한 피해

산정이 어렵기 때문에 항상 분쟁의 소지가 되고 있다.

항만공사에 따른 해양생태계의 피해를 줄이기 위하여 여러 가지 조치가 강구되고 있는데 그 중에서 가장 일반적으로 쓰이고 있는 방법이 공사현장 주변으로 부유토사가 확산되는 것을 방지하기 위한 오탁방지막의 설치이다. 그러나 오탁방지막은 공사 기간에만 설치하고 이후에는 철거하는 임시 구조물이기 때문에 별로 신경을 쓰지 않는 것이 우리의 현실이다. 이에 반하여 일본에서는 우리에게 비하여 비용은 많이 들지만 철저한 시공과 관리로 오탁의 확산을 방지하고 있다. 예를 들어 일본에서는(海洋開發工事, 1989) 대부분의 오탁방지막의 설치에 있어서 부체가 수면에 있는 垂下式(hanging type)과 부체가 수중에 있는 自立式(standing type)의 2중 설치를 기본으로 하고 있는데 반하여 국내는(한진해운·현대상선, 2001) 수하식만을 사용하고 있다.

본 논문에서는 오탁방지막에 대한 관심을 제고하여 항만공사에서 올바른 설계와 시공이 이루어지는데 일조한다

*한국해양연구원 연안·항만공학연구본부(Corresponding author: Young Min Oh, Coastal and Harbor Engineering Research Center, KORDI Ansan P.O.Box 29, Seoul 425-600, Korea. ymoh@kordi.re.kr)

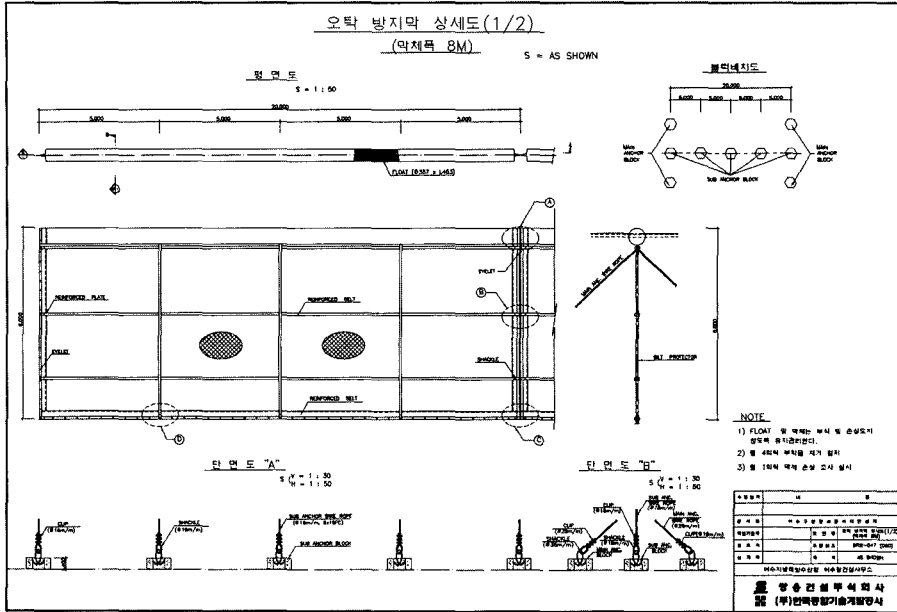


Fig. 1. Hanging type silt protector.

는 의미에서 한일간의 설계 방법을 상호 비교하여 차이점을 밝히고자 한다. 한편, 여기서는 수하식만을 비교하였는데 이는 국내에는 수하식 외에는 설계기준이 없기 때문이다. 국내에서 사용하는 오탁방지막의 형상은 Fig. 1과 같다.

2. 설계조건

설계의 차이점을 밝히기 위하여 Table 1과 같은 조건을 가정하여 설계를 실시하였다.

Table 1. Design conditions to compare the load acting on a silt protector

항 목				단 위	현장 조건
구 분	한국	일본			
풍 속	U	V		m/sec	15.0
조류 속	V	U		m/sec	0.3
수 심	h	h		m	20.0
파 장	L	L		m	23.25
파 고	$H_{1/3}$	$H_{1/3}$		m	1.0
주 기	T	T		sec	3.86
막 체 폭	B	DR		m	7.0
부유장치 지름	D	FR		m	0.6
ANCHOR의 파주력계수	K	K			2.0

3. 오탁방지막에 작용하는 외력 비교

3.1 풍하중, 파하중, 유수하중

오탁방지막의 설계 시에 한국과 일본에서 사용하는 하중은 Table 2와 같다.

Table 2. Wind load, wave load and current load to be used for design

한국	일본
風荷重	
$P_1 = \frac{R_a \times C_d \times U^2}{2g} \cos^2 \theta$ $= \frac{1.29 \times 1.00 \times 15^2}{2 \times 9.8} \times 1^2$ $= 14.8 \text{ kg/m}^2$	$W_3 = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_D \cdot V^2$ $= \frac{1}{2} \times 0.123 \times 1.2 \times 15^2$ $= 16.61 \text{ kg/m}^2$
波荷重	
$P_3 = \frac{R_s \times C_d' \times V^2}{2g} \cos^2 \theta$ $= \frac{1.030 \times 1.13 \times 0.107^2}{2 \times 9.8} \times 1^2$ $= 0.68 \text{ kg/m}^2$	식이 매우 복잡하여 생략 $W_2 = 0.68 \text{ kg/m}^2$
流水荷重	
$P_2 = \frac{R_s \times C_d' \times V^2}{2g} \cos^2 \theta$ $= \frac{1.030 \times 1.13 \times 0.3^2}{2 \times 9.8} \times 1^2$ $= 5.34 \text{ kg/m}^2$	$W_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot U^2 \cdot K_C$ $= \frac{1}{2} \times 104.5 \times 1.2 \times 0.3^2 \times 1$ $= 5.64 \text{ kg/m}^2$

풍하중의 경우 우리 나라 설계기준에서는 공기의 밀도(R_a)를 1.29 kg/m^3 으로 계산하는데, 일본 설계기준에서는 공기의 밀도(ρ_a)가 약 1.21 kg/m^3 로 우리보다 0.08 kg/m^3 정도 작은 값을 가진다. 또한, 저항계수가 우리 나라 기준에서는 1.0 이지만 일본 기준에서는 1.2로 우리 나라에 비해 0.2 정도 큰 값을 가진다. 따라서, 풍하중에 관련하여 일본의 설계치는 우리 나라 설계기준에 의한 설계치에 비해 10% 정도 크게 나타난다.

우리 나라는 물입자의 수평방향 평균속도를 이용하여 파하중을 구하지만, 일본은 우리와 조금 다른 식을 사용한다. 하지만 두 식에 구체적인 수치를 대입하여 비교해 본 결과 저항력의 차이가 크게 나지는 않았다. 해수의 밀도도 우리 나라 기준은 $1,030 \text{ kg/m}^3$ 이지만, 일본 기준은 $1,024 \text{ kg/m}^3$ 으로 다소 작은 값을 가진다. 하지만 저항계수에서 우리 나라(1.13)에 비해 일본(1.2)이 큰 값을 가져서 유수하중은 일본이 5.5% 정도 큰 값이 나온다.

3.2 막체부의 장력

설계 시에 사용하는 막체부에 작용하는 장력은 Table 3 과 같다.

막체부의 장력은 우리 나라 기준의 경우 부유부와 커튼부에 작용하는 단위 길이당 장력을 구한 다음 부유부와 커튼부의 길이를 곱하여 전체 막체부에 작용하는 장력을 정의하였으나 일본의 경우 인장부재에 걸리는 총 하중을 구한 후 바로 전체 막체부에 작용하는 장력을 정의하였다. 위의 식에서 알 수 있듯 막체부에 작용하는 장력에 대한 기준에서는 우리 나라 기준이 일본의 기준에 비하여 94% 정도 작게 계산된다. 여기서, δ_{max} 는 막체의 최대휨량이다.

3.3 막체의 소요 강도

안전율을 고려한 막체의 소요 강도는 Table 4와 같다. 막체 산정시 장력은 우리 나라의 기준이나 일본의 기

Table 3. Tensile loads acting on silt protector

한 국	일 본
부유부의 막면장력	
$T_1 = \frac{P_1 \times a}{2f} \sqrt{a^2 + 4f^2} = \frac{14.81 \times 3.5}{2 \times 0.7} \sqrt{3.5^2 + 4 \times 0.7^2}$ $= 139.57 \text{ kg/m}$	
커튼부의 막면장력	
$T_2 = \frac{(P_2 + P_3) \times a}{2f} \sqrt{a^2 + 4f^2} = \frac{(5.34 + 0.68) \times 3.5}{2 \times 0.7} \sqrt{3.5^2 + 4 \times 0.7^2}$ $= 56.73 \text{ kg/m}$	
전체 막체부의 장력	
$T_a = T_1 \cdot D + T_2 \cdot B = 139.57 \times 0.6 + 56.73 \times 7 = 480.85 \text{ kg}$	$T_s = \frac{W \cdot a}{2\delta_{max}} \sqrt{a^2 + 4\delta_{max}^2} = \frac{54.21 \times 3.5}{2 \times 0.7} \sqrt{3.5^2 + 4 \times 0.7^2}$ $= 510.88 \text{ kg}$

Table 4. Strength required for the safety design of silt protector

한 국		일 본	
막체의 소요 강도			
$\sigma = T_2 \times F_s \leq \sigma_n$		$T_C = \frac{P_C \cdot a}{2\delta_{max}} \sqrt{a^2 + 4\delta_{max}^2}$	
σ_n : index test에 의한 막체의 인장강도		$T_3 = T_C \cdot SF \cdot \frac{3}{100}$	
σ : 안전율(F_s)을 감안한 막체의 설계강도		$SF = SF_1 \cdot \frac{1}{SF_2} \cdot \frac{1}{SF_3}$	
여기서, T_3 는 3 cm폭 소요강도			
기간별 안전율			
기간	안전율	기간	안전율
0~6 개월	10.0	0~6 개월	8 이상
6~12 개월	15.0	6~12 개월	12 이상
12~24 개월	20.0	12~24 개월	20 이상

준에서 공통적으로 파랑과 조류에 의한 저항력만을 고려했다. 일본의 시방기준에서는 파도의 물입자 속도분포가 수면 가까이에서 크기 때문에 커튼 상부 1 m에 대한 유수압력에 의해 구한다고 했으며, 우리나라의 경우는 특별한 언급없이 커튼부 단위길이에 발생하는 평균장력을 사용했다. 두 경우에서 장력의 값에서는 차이가 없지만 안전율에서 차이가 난다. 막체의 안전율에서 전체적으로 우리나라의 안전율이 일본에 비해 큰 값을 가진다. 얼핏 우리나라의 경우가 더 안전하다고 생각할 수 있다. 하지만 우리나라의 안전율은 국내의 시공사례 및 경험적인 안전율을 근거로 하는데 비해, 일본은 안전율을 기본안전율(SF_1), 제품봉합에 의한 강도보존(SF_2), 시간경과에 의한 강도보존(SF_3)의 세 가지 기준에 의해 나누어 생각하고 있다.

4. ANCHOR 및 ANCHOR ROPE

Anchor 설계를 위한 하중 계산은 Table 5와 같다.

우리나라의 경우 main anchor와 sub anchor를 따로 생각하지만 일본의 경우는 sub anchor를 설치하지 않기 때문에 main anchor의 하중이 우리보다 크다. 이 방법은 우리도 한 번 고려해야 할 사항이라고 생각한다. 환경보

존이라는 측면에서 규정상 공사가 끝난 후에 anchor는 모두 회수하여야 하는데 지형이 평인 서해안에서는 바닥에 묻혀서 인출이 어렵거나 파랑이나 흐름에 의하여 막체가 anchor와 분리된 경우에는 소재 파악이 어려운 문제로 인하여 회수율은 실제로 50%가 안 되는 경우가 많다. 따라서, 회수가 되지 않은 anchor는 새로운 환경문제를 야기할 소지가 있으므로 환경을 보호하기 위하여 설치하는 오타방지막이 오히려 환경을 해치는 모순이 발생하게 된다.

5. 결 론

오타방지막은 항만공사에서 발생하는 오타수의 확산을 방지할 목적으로 일본과 한국에서 많이 사용하는 형태인데 공사가 끝나면 철거하는 임시 구조물이기 때문에 우리나라에서는 큰 관심을 기울이지 않고 모든 항만공사에 형식적으로 설치하는 경향이 있다. 그러나 일본에서는 파고가 높거나 유속이 빨라서 해상조건이 험할 경우에는 설치하지 않고 있으며, 설치할 경우에는 공사종류별, 해상조건별로 방지막의 형식을 달리 하여 설계하는 등 철저한 오타확산 방지와 유지관리를 하고 있다. 방지막의 형태는 여기에서 언급한 수하식 외에도 자립식, 부침식 등

Table 5. Design loads for the design of anchors

한 국	일 본
MAIN ANCHOR의 설계	
$W_m \geq W = \frac{F}{K \cos \theta} = \frac{362.74}{2.0 \times \cos 30^\circ} = 209.43 \text{ kg}$	$W_w = \left(\frac{T_u \cdot \cos \theta}{\alpha \cdot K} + T_u \cdot \sin \theta \right) \cdot Sf = \left(\frac{420.65 \times \cos 30^\circ}{1 \times 2.0} + 420.65 \times \sin 30^\circ \right) \times 1.2 = 470.97 \text{ kg}$
SUB ANCHOR의 설계	
$W_s \geq W = A \frac{(P_2 + P_3)}{2\delta} a \sqrt{a^2 + 4\delta^2}$ $= 5 \times \frac{(5.34 + 0.68)}{2 \times 0.7} \times 3.5 \sqrt{3.5^2 + 4 \times 0.7^2}$ $= 283.7 \text{ kg}$	없 음
MAIN ANCHOR ROPE의 절단하중	
$B_r \geq \frac{F_s \cdot F}{\cos \theta} = \frac{362.74}{\cos 30^\circ} \times 3 = 418.86 \times 3 = 1256.57 \text{ kg}$	$T_u = \frac{T_a}{\cos \theta} = \frac{A_1 \cdot W}{\cos \theta} = \frac{6.72 \times 54.21}{\cos 30^\circ} = 420.65 \text{ kg}$ $B_r \geq T_u \times SF = 420.65 \times 3 = 1261.9 \text{ kg}$
SUB ANCHOR ROPE의 절단하중	
$B_r \geq F_s \cdot W_s = F_s \cdot A \frac{(P_2 + P_3)}{2\delta} a \sqrt{a^2 + 4\delta^2}$	없 음

이 있는데 우리 나라에서는 현재 수하식 만을 사용하고 있으므로 이에 대한 설계비교를 한 결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 대체적으로 큰 차이는 보이지 않으나 anchor block에 있어서는 우리는 보통 방지막 20 m(1 span) 마다 한 개의 main anchor를, 그 사이의 5 m 마다 한 개의 sub anchor를 설치하는 것으로 설계하는 반면 일본은 main만 설치한다는 것이 가장 큰 차이임을 알 수 있다. 이는 일본의 경우 파고가 높거나 유속이 빠른 곳에는 오타방지막을 설치하지 않기 때문에 anchor를 많이 설치할 필요가 없다.

2) 수하식은 표층에서 발생하는 오타의 확산을 제어하는데 효과적이며 사석투하나 pump 준설과 같이 저층에서 오타가 주로 발생하는 공사에서는 자립식이 효과적이므로 공사 종류에 따라 방지막의 형태를 달리 하는 것이 필요하다.

감사의 글

이 연구는 해양수산부의 과제인 “부유토사 발생량 평가 및 오타방지막 효율에 관한 연구”의 일부분이며 계산에 도움을 준 서울대학교의 지창환 학생에게 감사를 드립니다.

참고문헌

- 농어촌진흥공사, 1988. 새만금 간척 종합개발 기본 조사 보고서.
 한진해운·현대상선, 2001. 부산항 중심준설 실시설계 보고서, 455-460.
 海洋開發工事 安全公害對策本部, 1989. 海洋工事における汚濁水擴散防止膜の手引.

Received October 18, 2002

Accepted December 9, 2002