

海岸構造物 周邊의 洗掘防止工法

정민영* 김규한** 편종근***

1. 서론

최근 연안해운시스템구축을 목적으로 대형신항만 건설계획이 추진되고 있으며, 교통수송등의 편리성 및 경제성을 확보하기위한 다수의 해상교량이 건설, 설계되고 있다. 이처럼 해안역에 구조물이 축조되면 파랑과 조류 및 연안류의 작용에 의하여 구조물 주위지반에는 세굴현상이 발생하는 것이 일반적이다. 이와같은 세굴현상은 구조물의 안전성에 매우 심각한 영향을 초래하는 경우가 많다. 그러므로 해상구조물건설시에는 세굴현상에 대한 세밀한 검토를 실시하여 대책을 강구하여야 할 필요가 있다. 그러나 세굴현상 및 기구의 복잡성으로 인하여 세굴예측은 물론 합리적인 세굴방지대책을 도출할 수 있는 방법이 제시되어 있지 않다. 본 연구에서는 세굴현상에 대한 그동안의 연구성과를 정리 분석하고, 그 결과를 토대로 해안구조물 설계시 기존의 경험적 방법에 비하여 보다 이론적이고 실용상 효과적으로 적용할 수 있는 세굴방지공의 설계기법을 제안코자 한다.

2. 세굴방지공법의 개요

해안에 구조물이 설치되면 파·흐름과 구조물의 상호작용에 의하여 세굴이 발생하며 이와같은 구조물 주변의 세굴을 방지하기 위하여 설치되는 세굴방지공은 외력으로부터 세굴방지공 자체의 안정성을 확보하여야 함은 물론 해저면의 세굴로 인하여 발생하게 되는 세굴방지공의 피해를 방지하기 위한 필터의 설치가 필요하게 된다. 따라서 세굴방지공은 외력에 저항하는 세굴방지공(피복공이라고 칭함)과 필터체가 일체로 구성된다. 따라서 본 논문에서 세굴방지공이라고 함은 피복공과 필터를 포함한 일체의 구조를 의미한다.

세굴의 상태는 입사파나 저질의 특성 외에 구조물의 설치수심, 범면구배 등 반사율에 영향을 미치는 요소가 더해져서 평면적인 변동보다 더욱 복잡한 양상을 나타내고 세굴발생은 서서히 진행되는 경우도 있고 또한 한꺼번에 깊게 세굴되고 그 후의 파랑의 작용에 의하여 매몰되는 경우도 있는 등 구조물과 해상조건에 따라 달라지게 된다. 따라서 세굴방지 공법을 선정하기 위하여는 대상구조물의 구조형식과 구조물이 설치되는 해안의 해상조건 및 해저지질 조건을 충분히 검토한 후 적절한 세굴방지 공법을 선정하여야 한다. 일반적으로 세굴의 경향은 구조물의 설치수심, 입사파의 특성 및 저질이 일정한 경우에는 반사율이 적을수록 세굴량이 적게된다. 또한 Down-wash의 유속을 적게한다면 세굴심은 감소한다. 따라서 반사율을 적게 하는 것과 동시에 Down-wash를 적게할 수 있는 구조가 바람직하다. 해안구조물의 세굴은 구조물과 해저면이 접촉하는 부분에서 발생하므로 구조물별로 이러한 기부세굴을 보호할 수 있는 세굴방지공의 구조형식을 검토해야 한다. 기부세굴은 전체시설의 파손을 초래하므로 구조물의 특성과 해저조건 및 최대세굴 깊이, 건설조건을 검토하여 구조물의 안전성을 충분히 확보하도록 계획되어야 한다.

3. 기존 세굴방지공의 설계절차

* (주) 한국항만 기술단 (Korea Port Engineering Corporation)

** 관동대학교 건설환경시스템공학부 (Kwangdong Univ. Division of Civil & Environmental Eng. System)

*** 명지대학교 토목·환경공학과 (Myungji Univ. Dept. of Civil & Environmental Eng.)

IAHR Task Force(1977)는 교각을 대상으로 한 국소세굴연구 결과를 토대로 다음과 같은 세굴깊이 및 사석세굴방지공의 실용공식을 제안하고 있다.

$$d_s/b = f_1(u/u_c) \cdot [2.0 \tanh(d_o/b)] \cdot f_2(shafe) \cdot f_3(a \cdot l/b) \quad (1)$$

$$f_1(u/u_c) = 0 ; U/U_c < 0.5 \text{ (no scour)} \quad (2)$$

$$= 2 \cdot u/u_c - 1 ; 0.5 \leq U/U_c < 1.0 \text{ (Clean water scour)}$$

$$= 1 ; 1.0 \leq U/U_c \text{ (Scour with sediment motion)}$$

$$f_2(shafe) = 1.0 ; \text{원기둥 또는 그와 유사한 형상} \quad (3)$$

$$= 0.75 ; \text{유선형}$$

$$= 1.3 ; \text{장방형}$$

또한 Task Force가 가장 권장하는 유연한 구조인 사석공법(Block공법포함)의 제원은 다음과 같이 계산된다.

$$\circ \text{ 허용접근유속} : U_{max} = 0.5 U_c \quad (4)$$

$$\circ \text{ 이동한계유속} : U_c = 0.85(2g(S-1)D)^{1/2} \quad (5)$$

4. 경제성을 고려한 세굴방지공의 설계

4.1 경제성 검토

세굴방지공법중 비교적 적용성이 우수한 세굴방지공에 대하여 경제성을 비교한 결과는 표 1과 같다.

표 1 재료별 시공단가 비교검토

공	종	단위	수량	금액	비고
매트	PP 매트	m'	1	2,500	
	Pet 매트	m'	1	2,300	
	Filter 매트	m'	1	3,800	
	사석	m'	1	29,100	
	콘크리트 블록	m'	1	130,000	
	아스팔트메스틱	m'	1	48,100	실적없음
	레브릭 폼	m'	1	194,000	

검토결과, 경제성과 시공성 및 유지관리 등을 고려하면 표 1에서도 알 수 있는 바와 같이 매트와 사석을 병용한 세굴방지 공법이 가장 유리하다고 할 수 있다.

4.2 설계절차

앞서 검토된 바와 같은 사석과 매트를 이용한 세굴방지공을 설치할 경우 필요로 되는 설계절차를 흐름도로 나타내 보면 그림 1과 같다.

대상해역의 저면에서의 이동한계수심은 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$(H/H_0)^{-1} (\sinh 2\pi h/L) (H_0/L_0)^{-1} = \alpha(L_0/D)^n \quad (6)$$

파와 흐름의 공존장에 대한 최대저부 마찰속도 u_{cw}^* 와 흐름장에 대한 최대저부 마찰속도 u_* 는 다음식에 의해 구할 수 있다.

$$\frac{u_{cw}^*}{\hat{u}_b} = \frac{\dot{u}_c^*}{\hat{u}_b} + \sqrt{x \frac{z_0}{d_0} \left(\frac{u_{cw}^*}{\hat{u}_b} \right) (R'_{wp}{}^2 + \Gamma_{wp}{}^2)^{1/2}} \quad (7)$$

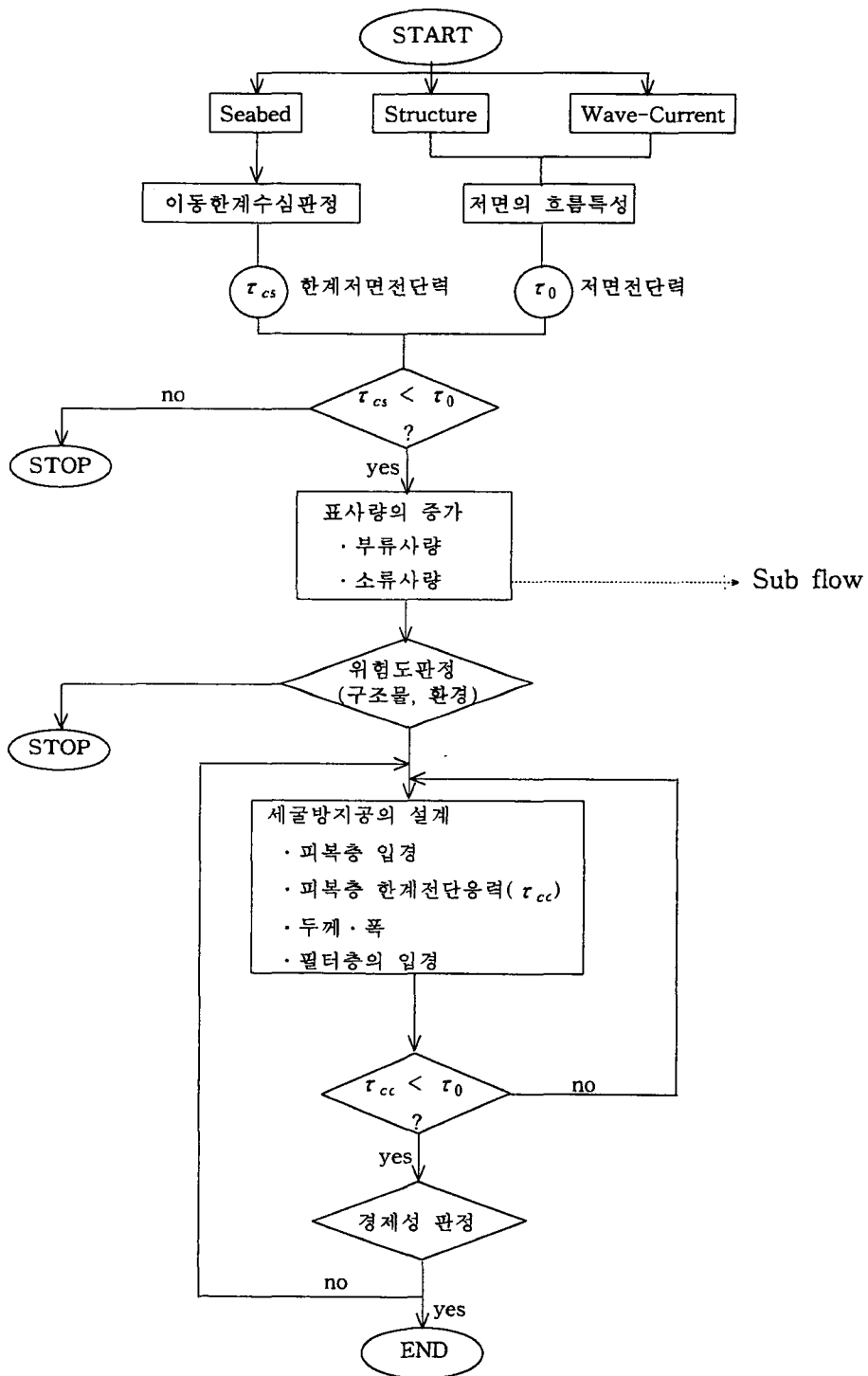


그림 1 세굴방지공의 설계Flow

여기서 \hat{u}_b 는 파에 의한 저부수립자 속도진폭이며, α 는 Karman 상수, z_0 는 조도높이를 나타내며, δ_w 는 경계층두께로서 z_0 와 δ_w 는 k_s 및 u_{cw}^* 에 의하여 와 다음 식과 같이 표시되어진다.

$$k_s = (20 - 30)z_0 \quad (8)$$

$$\delta_w = 4\alpha u_{cw}^* / \sigma \quad (9)$$

단, 계산상에 있어서 초기치는 다음 식에 의한 k_s 를 사용한다.

$$k_s = 2.5D \quad (10)$$

해저면의 구조물주위의 표사이동 특히 세굴문제의 초기적 원인은 구조물 주변의 지반에 존재하는 해저사런이 그 발단이라 할 수 있으며, 해저사런은 표사이동의 발달에 매우 중대한 역할을 차지한다.(Kim, 1993)

따라서 식(10)에서의 k_s 는 입경만을 고려하고 있으므로 실제 현상의 적용상 위배된다고 할 수 있다. 사런의 형상이 고려된 k_s 를 구하기 위해서 본 연구에서는 k_s 에 대해 사런의 형상이 고려되고 보편성이 입증된 Nielsen(1983)의 다음 식을 사용하기로 한다.

$$8\eta/\lambda(\eta) + 190(\phi_D - 0.05)^{1/2} \quad (11)$$

그러나 위 식을 사용하기 위해서는 대상지역에 대한 사런의 크기를 알 수 있어야 한다. 해저사런의 크기에 대해서는 사런의 크기가 고려된 변형Shield매개변수 ϕ_η 를 사용하여 제안된 다음 식(12), (13)과 Kim (1992)의 식을 사용할 수 있다.

$$\lambda/d_0 = 2.03 \phi_\eta^{-0.148} \quad (\phi_\eta > 2 \times 10^3) \quad (12)$$

$$\lambda/d_0 = 6.67 \phi_\eta^{-1.561} \quad (\phi_\eta \leq 2 \times 10^3) \quad (13)$$

$$\phi_\eta = (d_0/D)\phi_\eta^{1/2} \quad (14)$$

여기서 ϕ_η 는 일반적인 다음 식과 같은 Shield's 수에 사런의 효과가 고려된 Shield 수이다. 즉 상대 조도 k_s 의 값을 식(8) 대신 식(11)를 사용하여 구한 Shield's수를 말한다. 또한 식(14)중의 d_0/D 는 Kaneko에 의해 사런의 형상에 가장 큰 영향을 미치는 요소로서 알려져 있는 파라메타이다.

$$\phi_0 = u^{*2} / \sigma_s' gD \quad (u^* = \tau_{\max} / \rho) \quad (15)$$

이와같은 방법에 의해서 반복계산과정을 거쳐 u_{cw}^* 가 계산되며 확산계수 k_s 는 u_{cw}^* 와 z_0 에 의해 계산된다.

4.3 시설계

본 연구에서 제안한 세굴방지공법의 설계방법에 대하여 실제 해안구조물에 대하여 세굴방지공을 설계해 보았다. 대상구조물은 강원도 속초시 물치해역의 주상구조물을 대상으로 하였다. 구조물 직경 200cm의 주상구조물이며, 해상조건은 파고 $H_0 = 3.0m$, 주기 $T_0 = 10sec$, 저질입경 $d_{50} = 0.1cm$ 이다. 계산결과 대상해역의 이동한계수심은 10.34 m이며 주어진 수심 및 외력조건에 대하여 한계마찰속도는 $U_{cw}^* = 10.7 cm/sec$ 이다. 설계흐름도에 따라 표사량의 변화를 살펴보고, 피복표층입경을 결정후 세굴방지공단면을 설정하여, 결정된 세굴방지공 계획단면은 그림 2와 같으며 주상구조물 주변의 세굴방지공법은 구조물 건설시에는 그림 2(a)와 같이 해저면을 굴착한 후 세굴방지공을 시공하는 것이 효과적이나 구조물 축조후 유지관리시에 시행하는 세굴방지공의 시공에 있어서는 그림 2(b)와 같은 단면으로 시공하는 것이 시공상 유리할 것으로 판단된다.

5. 결론

최근 우리나라에서는 가덕도항, 울산신항, 새만금신항만등 대형신항만 건설사업을 지속적으로 추진하고 있으며, 교통수송의 원활화를 피하기 위한 초대형 해상교량이 다수 건설, 계획되고 있다. 그러나, 대형신항만 및 해상교량등의 건설조건이 과거의 항만입지조건이 양호한 해역에 비하여 설계파고가 크고 해저지반도 연약한 약조건하에서 건설되어야 하는 실정이다.

구조물의 안정성에 영향을 미치는 요소는 여러가지가 있으나 여타 요소는 구조물의 계획시에 어느 정도 정량적인 평가가 가능하나 구조물 주변의 세굴은 구조물의 건설후 파랑·흐름과 구조물의 상호작용의 결과에 의하여 발생할 뿐만 아니라 구조물의 형상, 해저수심 및 해저경사, 조류, 파랑, 해저질의 특성 등 여러가지 요소가 복합적으로 작용하여 아직까지 정량적인 평가가 확립되어 있지않은 분야이다. 그러나 그 현상이 복잡한 반면에 세굴이 구조물과 항만에 미치는 영향은 구조물의 안정성뿐만 아니라 해양환경에 미치는 영향도 무시할 수 없으므로 항만 및 해안분야의 기술자에게는 항상 세굴현상에 대하여 끊임없는 연구가 요구되는 분야라 할 수 있다.

또한 경제적이고 효율적인 세굴방지 대책공법의 도출을 위하여는 국내에서도 해안구조물의 건설계획시에는 계획대상구조물에 대한 구조물의 특성과 해안의 형상 및 해상조건을 고려한 수치모형 및 이동상 수리세굴모형실험을 실시하고 구조물 축조후 지속적인 관측을 실시하여 해안조건과 구조물의 특성을 고려한 세굴현상의 정량적평가식을 수립하는 것이 금후의 연구과제라고 할 수 있다.

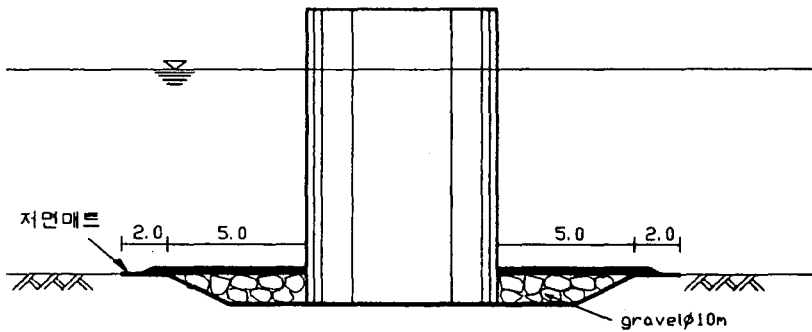


그림 2(a) 세굴방지공 표준단면(건설시)

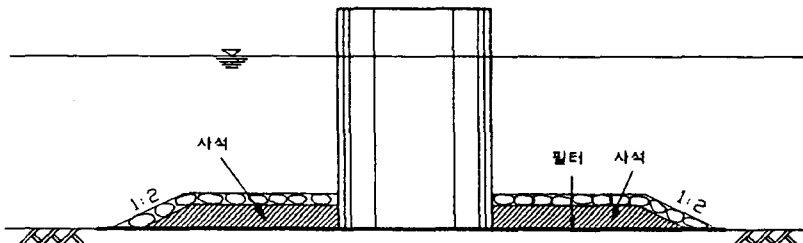


그림 2(b) 세굴방지공 표준단면(계속, 보수시)