

주문진항 해수교환시설의 수리모형실험

Hydraulic Model Test for Sea-water Exchange Facilities in the Jumunjin Harbor

이달수* · 오영민* · ○김창일**

Dal Soo Lee*, Young Min Oh*, Chang Il Kim**

1. 서 론

재래식 비투과성 방파제는 항내·외의 해수유통을 크게 저해하므로 조석간만의 차이가 작은 해역에서는 오염원이 조금만 유입되어도 항내의 수질은 쉽게 악화된다. 방파제의 일부 구간에 해수교환 방파제를 설치하면 항내에 산소공급이 확대되며 오염원이 항외로 단기간에 배출되므로 수질 보전에 큰 효과가 기대된다.

여기서는 주문진항에 설치할 해수유입구조물의 규모와 단면의 제원을 결정하기 위한 단면수리모형실험 결과를 제시한다. 해수유입구조물로는 그림 1에 보인 바와 같이 유수실 내장 경사식 방파제(이 등, 2001)를 기존 방파제의 기부측 일부 구간에 설치하고 외해측에 아치형 월류제를 설치하는 형식이 선정되었다. 월류제를 설치하면 월류제와 방파제 사이에 조성된 유수지 내에서 평균 수위가 상승되므로 해수교환 방파제를 통한 해수의 유입량이 증가되며 유수지는 토사의 침전지로도 이용할 수 있다는 장점이 있다.

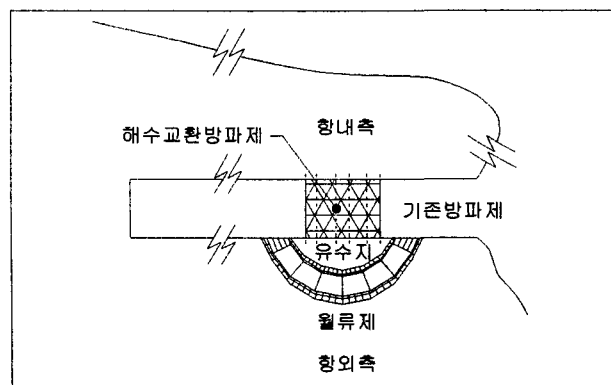


그림 1. 월류제 및 해수교환방파제의 설치 가상도.

*한국해양연구원 연안·항만공학연구본부 (Coastal and Harbor Engineering Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Seoul 425-744, Korea)

**건국대학교 토목공학과 (Dept. of Civil Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

안정성 검토를 통하여 월류제의 단면을 결정하였으며 해수교환방파제 단면안별로 파고에 따른 유입유속 강도 및 유입유량을 예측할 수 있는 경험식을 결정하였다. 이에 현장의 파고관측 자료를 적용하여 해수교환 목표별로 해수교환 방파제의 설치소요연장을 추정하였다.

2. 실험 장치

실험에 사용된 수조의 제원은 길이 53m, 높이 1.25m, 폭 1.0m이며, 모형은 Froud 상사법칙에 따라 축척 1/25로 제작하였다. 실험 수로는 그림 2에 보인 바와 같이 철재 분할판을 사용하여 수로를 폭 0.4m의 협수로와 폭 0.6m의 광수로로 분할하였다. 광수로에는 모형을 설치하였으며 협수로에서는 통과파를 계측하였다. 방파제 전면의 해저 경사는 광수로와 협수로에서 1/50로 하였다. 여기에 사용된 관측기기는 다음과 같다.

- W1 : 협수로에서 실험 중 파고의 검증
- W2~W4 : 광수로에서 입사파와 반사파의 분리
- W5 : 광수로의 유수지 내에서 수위 변화 계측
- W6 : 광수로 해수교환방파제의 유수실 내에서 수위 변화 계측
- W7 : 방파제 배후측 수면에서 전달파고의 계측과 평균수위의 검증
- V1~V2 : 양방향 프로펠라식 유속계로서 도수파이프 내부의 유속 측정

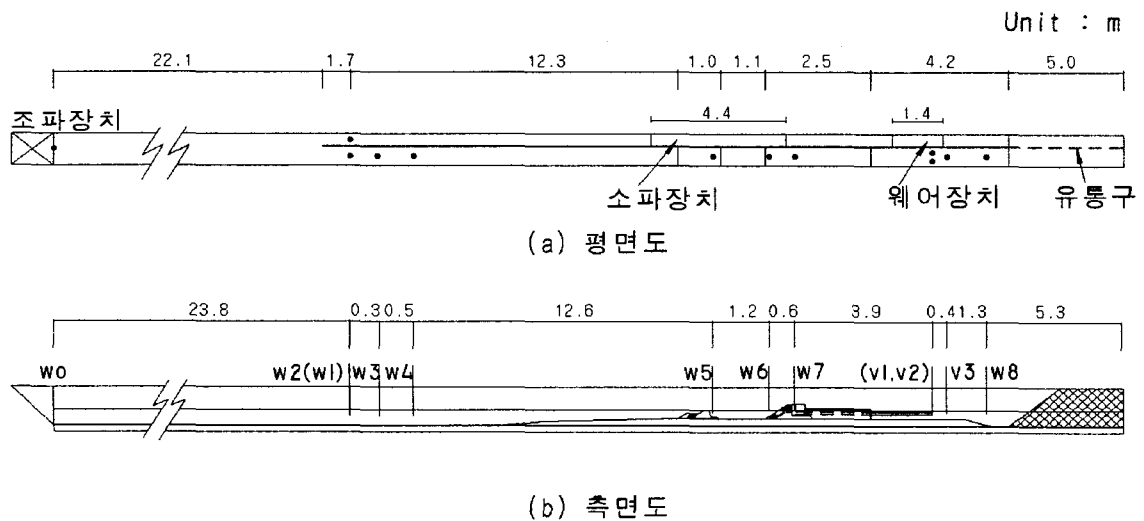


그림 2. 수로 구성 및 모형 설치도.

본 실험과 같이 방파제의 수로를 통하여 상류에서 하류로 흐름이 발생하면 방파제 배후면의 수위가 과도하게 상승하므로 해수교환방파제를 통하는 흐름이 대폭 약화된다. 따라서, 방파제 모형상의 내부에 직경 6cm의 파이프를 광수로 구간에 3개, 협수로 구간에 2개를 설치함으로써 수조의 하부에 설치된 회류파이프와 함께 하류측 수위의 상승이 자연적으로 감소되도록 하였다. 수조 하류에서 광수로로부터 협수로로 물이 흐르도록 하기 위하여 소파장치 내의 철재 분할판에는 직

경 1cm의 통수공을 무수히 설치하였으며 방파제 배후면의 과도한 수위상승을 억제하기 위하여 협수로에 웨어시스템을 설치하였으며 웨어시스템의 상류에는 별도의 소파장치를 설치하였다.

3. 실험 조건

월류제 안정성 검토를 위한 실험은 DL(-)5.0m와 DL(-)7.0m에 대해서 수행하였다. 유속은 월류제를 DL(-)5.0m에 설치하고 수위와 마루높이는 평균해면(DL(+0.2m)과 일치시킨 상태에서 측정하였다.

실험파는 불규칙파로서, 입사파 스펙트럼의 형상은 식(1)과 같이 合田良實(1987)에 의해 수정된 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼과 그 형상이 유사하도록 조파하였다.

$$S(f) = 0.205H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-4} f^{-5} \exp[-0.75(T_{1/3}f)^{-4}] \quad (1)$$

여기서 $S(f)$ 는 파랑에너지 밀도, f 는 주파수를 나타내며, $H_{1/3}$ 및 $T_{1/3}$ 은 각각 유의파고 및 유의파 주기를 나타낸다.

유입량 측정을 위한 파들의 주기 및 파고는 현장의 파고관측자료를 참조하여 표 1과 같이 결정하였으며, ○ 표시는 파가 작성된 것을 의미한다. 여기서 H_s 는 각 파군의 대표파고로서 입사파고들은 주기마다 약간씩 차이가 난다. 유속과 파고와의 관계를 도출할 때에는 주기별 실제 입사파고를 사용하였다.

표 1. 유입유량 측정용 실험파의 제원

Ts(s) Hs(cm,m)	1.06(5.3)	1.46(7.3)	1.86(9.3)	2.26(11.3)	2.60(13.0)	지속시간(min)
1.8(0.45)	○	○	○	○	-	6(30)
4.2(1.05)	○	○	○	○	○	6(30)
6.4(1.60)	○	○	○	○	○	6(30)
10.0(2.50)	-	-	○	○	-	6(30)
12.0(3.00)	-	-	-	-	○	11(55)

*() : 현장치

월류제 안정성 검토의 설계파는 $H_s=3.6m$, $T_s=13s$ 로서 현장 수심 DL(-)5.0m와 DL(-)7.0m에서 현장시간으로 지속시간 150분으로 조파하였다.

4. 실험 단면 안

월류제 안정성을 검토하기 위하여 단면제원중 마루높이, T.T.P.중량, 상부경사, 마루폭, T.T.P. 표고를 변화시켰으며 그림 3은 안정성 검토 결과 채택된 단면이다. 월류제와 방파제의 이격거리는 평균수면 기준으로 40m로 실험하였다.

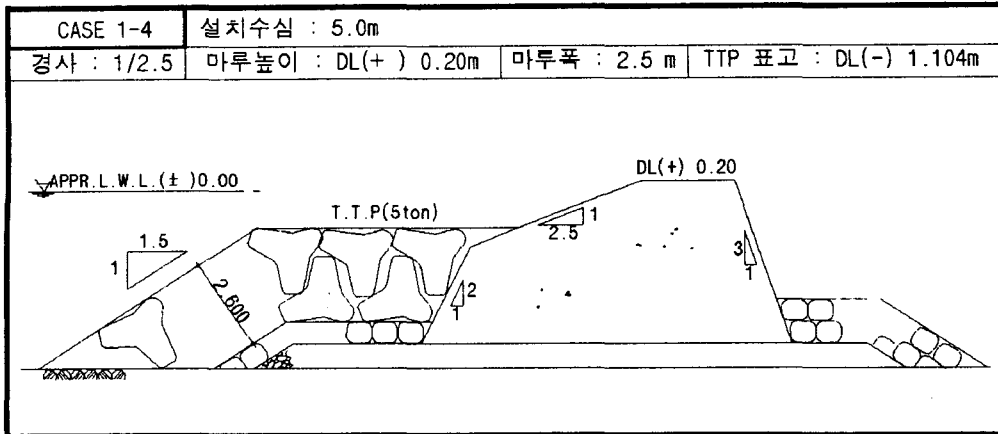


그림 3. 월류제의 표준 단면도.

그림 4에서 보는 바와 같이 모형 해수교환방파제의 전면벽에는 가로 세로가 각각 6cm(현장 1.5m)인 정방형 유입구를 설치하였으며, 유입구의 하단은 정지수위와 일치시켰다. 방파제 후면에는 내경 6cm(현장 1.5m)의 도수파이프들을 설치하였다. 실험은 전면벽 유입구의 설치 간격과 후면 도수파이프의 설치간격을 변화시키며 수행하였다. 도수파이프의 길이는 실험치로 390cm이다.

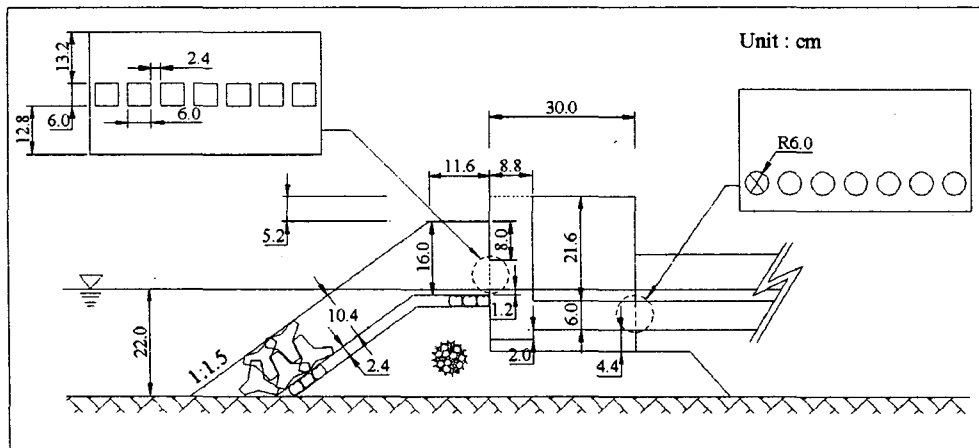


그림 4. 모형 해수교환방파제 단면도의 한 예.

5. 실험 및 분석 결과

5.1 유속 강도 및 유입유량식 결정

유입유속은 현장수심 DL(-)5.0m인 조건에서 5분(현장 25분) 동안 관측하였다. 유입유속 관측 중 해수교환방파제 배후 수역의 평균수위 상승은 0.1cm(현장 2.5cm)이내로 제한되도록 웨어시스

템 전면의 웨어 높이를 조절하였으며, 실험은 해수교환방파제의 전면벽 유입구의 개구율과 도수파이프의 개구율을 표 2에 보인바와 같이 변화시키며 수행하였다.

표 2. 방파제 단위길이당 개구부의 총단면적

단위 \ 위치	전면벽의 유입구			후면의 도수파이프			
	f7	f5	f3	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁
실험실 (cm ² /cm)	4.20	3.00	1.80	1.884	1.412	0.944	0.472
현장 (m ² /m)	1.05	0.75	0.45	0.471	0.353	0.236	0.118

여기서 f_i와 S_i는 방파제 단면의 제원과 관련된 것으로서 f_i는 모형 방파제의 길이 60cm당 크기 6cm x 6cm의 유입구가 전면벽에 i개 설치된 단면을 의미하며, S_i는 내경 6cm의 도수파이프가 방파제 후면에 i개 설치된 단면을 의미한다. 평균유속은 파의 주기에 따라서는 민감하게 변하지 않았다.

무차원 평균유속의 경험식은 전면 유입구의 개구율별로 식(2)와 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 f_i = f7 \text{ 일 때, } \ln Y &= -0.586 \ln X - 3.034 \\
 f_i = f5 \text{ 일 때, } \ln Y &= -0.641 \ln X - 3.275 \\
 f_i = f3 \text{ 일 때, } \ln Y &= -0.636 \ln X - 3.528
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 \bar{V} = 평균유속, $Y = \bar{V} / (2gH_s)^{1/2}$, $X = S/H_s$ 이다.

식(2)를 이용하면 도수파이프 내의 평균유속 \bar{V} 와 해수교환방파제 단위 길이당의 평균 유입유량 q 는 다음의 식들로 표시된다.

$$\begin{aligned}
 V &= C_d \left(\frac{H_s}{S} \right)^a \cdot \sqrt{2gH_s} \\
 q &= C_d S \left(\frac{H_s}{S} \right)^a \cdot \sqrt{2gH_s}
 \end{aligned} \tag{3}$$

무차원 경험상수 C_d 와 a 는 표 3과 같으며, f_i의 변화에 따른 유사유출계수 C_d 의 값을 보면, 해수교환방파제의 단위 길이당 전면 유입구의 총단면적(S)이 증가하면 이에 거의 선형적으로 비례하며 증가하고 있다. 이로부터 전면 유입구의 설치규모는 유입량에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

표 3. 무차원 경험상수

전면 유입구 \ 상수	C_d	a
f7	0.0481	0.586
f5	0.0379	0.641
f3	0.0294	0.636

5.2 현장 해수교환방파제 단위 길이당의 유입유량

표 4에는 해양수산부(1999)에서 조사한 주문진항 방파제 기부 외측에서 1년간 관측·분석한 현장의 파고급간별 분포를 나타내었다.

표 4. 현장의 파고분포

Hs(m)	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
출현시간(hr)	3824	2533	1152	573	228	135	72	31	17

식(3)에 현장 해수교환방파제의 단위길이당 전면 유입구의 총단면적($f_i, m^2/m$)별로 표 4에 제시한 경험상수들을 적용하고, 현장 해수교환방파제의 단위 길이당 도수파이프의 총단면적($S, m^2/m$)과 현장의 파고(H_s, m)를 대입하면 각각 유입유속($\bar{V}, m/s$), 방파제 단위길이당의 유입유량($q, m^3/s/m$)을 추정할 수 있다.

5.3 교환목표별에 따른 해수교환방파제의 안별 소요연장 추정

주문진항내의 오염원의 유입 위치와 항의 평면 배치를 참고할 때 항내 해수의 총량은 약 100만 m^3 로 기준함이 바람직하다고 사료된다. 따라서, 표 5에는 각 단면안에 대해 식(3)을 적용하여 총량 기준 교환목표를 달성시키기에 필요한 해수교환방파제의 최소 소요연장을 추정하였다.

표 5. 총량 기준 교환 목표별 해수교환방파제의 최소 연장소요

단 면	안(m^2/m)	총량 기준 교환 목표별 소요 연장(m)		
		1회/2주 교환	1회/3주 교환	1회/4주 교환
f7=1.05	$S_4 = 0.471$	9.0	6.0	4.5
	$S_3 = 0.353$	10.2	6.8	5.1
	$S_2 = 0.236$	12.1	8.0	6.0
	$S_1 = 0.118$	16.1	10.7	8.0
f5=0.75	$S_4 = 0.471$	11.2	7.4	5.6
	$S_3 = 0.353$	12.4	8.2	6.2
	$S_2 = 0.236$	14.3	9.5	7.2
	$S_1 = 0.118$	18.4	12.2	9.2
f3=0.45	$S_4 = 0.471$	14.4	9.6	7.2
	$S_3 = 0.353$	16.0	10.7	8.0
	$S_2 = 0.236$	18.6	12.4	9.3
	$S_1 = 0.118$	23.9	15.9	12.0

이 결과를 토대로 해수교환 방파제는 f7-S₄의 단면안을 24m 설치하도록 결정되었으며 월류제와 방파제의 최대 이격거리는 35m로 결정되었다. 이 규모에 의하면 일주일에 평균 100만 m³의 해수를 유입할 수 있으므로 총량 기준으로 주 1회 교환목표를 달성할 것으로 예측된다.

6. 결 론

주문진항 방파제의 기부측에 신형 유수실 내장 경사식 해수교환방파제를 설치하고 이의 외해측에 아치형 월류제를 설치하는 해수유입구조물의 규모 및 단면 제원 결정을 위한 연구를 현장의 파고 관측 및 축척 1/25의 단면수리모형실험을 통하여 수행하였다.

해수교환방파제의 도수파이프를 통한 평균유속은 주로 파고 및 도수파이프의 설치규모에 따라 변하며 파의 주기에 따라서는 거의 변하지 않는다. 파고와 해수교환 방파제에 설치하는 도수파이프의 규모를 독립변수로 하여 유입유량강도를 예측할 수 있는 경험식을 결정하였으며 이를 적용하여 총량 기준으로 해수교환 목표별 현장 방파제의 소요규모를 추정하였다.

7. 참 고 문 헌

- 이달수, 오영민, 김창일, 2001. 유수실 내장형 경사식 해수교환방파제의 개발 및 기본 유입특성. 대한토목학회 학술발표회(CD).
- 해양수산부, 1999. 해수교환방파제의 실용화 연구(Ⅱ), 한국해양연구소.
- 畠田良實. 1987. 수치 simulation에 의한 파랑의 표준 spectral과 통계적 성질. 제 34회 해안공학강연회 논문집, pp. 131-135.