

# 이안제 배치에 따른 항내로의 파랑전파특성에 관한 수치해석

† 김탁겸 · 유하상\* · 이광호\*\*

† (주)세일종합기술공사 차장, \*(주)세일종합기술공사 상무, \*\*가톨릭관동대학교 에너지자원플랜트 공학과 교수

**요약** : 항만시설 및 배후지를 파랑으로부터 방호하는 기능을 가지는 외곽시설 중 항내 정온을 유지하여 하역효율을 높이고, 항내 항행 및 정박 중인 선박의 안전을 확보하고, 항내시설을 보전하기 위하여 설치하는 것으로는 방파제가 있으며, 배치형태로는 항의 외곽에 설치되는 경우와 연안으로 이격되어 설치되는 경우가 있다. 연안으로 이격되어 설치되는 이안제는 필연적으로 방파제 양단으로 회절파랑이 발생하게 되며 이안제 좌·우측으로 각각 분기되어 진행하는 파랑은 회절에 의해 방파제 배후 안쪽으로 휘어져 위상간 간섭을 일으키며 중첩되면서 전파된다. 지형적인 여건으로 진행방향이 같아지게 되고 항 입구부로 향한다면 파랑의 에너지 증첩에 의한 영향이 항내로 나타날 수 있다. 본 연구에서는 항 입구부에 이안제가 설치되는 경우, 이안제 길이에 따라 발생하는 좌·우측 회절 파랑의 위상차가 항내 파고에 미치는 영향을 수치실험을 통해 검토하였다. 이로부터 항내에서의 파고는 이안제의 길이에 따른 좌·우측 회절 파랑의 위상차에 의한 증첩의 영향으로 증폭 혹은 상쇄되어 나타남을 확인하였다.

**핵심용어** : 이안제, 회절, 위상차

### 1. 서론

정비계획수립시 항내 정온 확보를 위해 방파제 설치

방파제의 평면배치 형태

- 기존 방파제 연장
- 이안제(도제) 배치

지형적인 여건으로 회절파랑의 진행방향이 같아지고 항내측으로 향한다면?

- 파랑의 에너지 증첩에 의한 영향이 항내로 나타날 수 있음
- 이안제의 길이가 변함에 따라 파랑의 위상차가 변할 것으로 판단되며, 이때 증첩되는 파랑에너지는 항내에서 증폭 혹은 상쇄되어 나타날 것으로 보임 → 수치실험을 통한 검토

방파제 보강 및 정비계획수립

### 2. 수치모형

BOUSS-2D MODEL(Nwogu and Demirbilek, 2001)

비선형 Boussinesq 방정식을 기반으로 하는 시간영역 다방향 불규칙파랑 모형

- Weakly Nonlinear Boussinesq Eq. - Nwogu(1993)

$$\eta + \nabla \cdot \mathbf{u}_s = 0$$

$$u_{s,t} + g \nabla \eta + (\mathbf{u}_s \cdot \nabla) \mathbf{u}_s + z_s (\nabla \cdot \mathbf{u}_{s,t} + \nabla h) + (\nabla \cdot \mathbf{u}_{s,t}) \nabla h + \frac{1}{2} [(z_s + h)^2 - h^2] \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}_{s,t}) = 0$$

$$u_f = \int_{-h}^{\eta} u dz = (h + \eta) u_s + h \left( \frac{h}{2} \right) \nabla (\mathbf{u}_s \cdot \nabla h) + (\nabla \cdot \mathbf{u}_s) \nabla h + h \left[ \frac{(z_s + h)^2}{2} - \frac{h^2}{6} \right] \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}_s) \quad z_s = -0.535h$$

- Fully Nonlinear Boussinesq Eq. - Nwogu and Demirbilek(2001)

$$u_{s,t} + g \nabla \eta + (\mathbf{u}_s \cdot \nabla) \mathbf{u}_s + u_s \nabla u_s + (z_s - \eta) (\nabla \cdot \mathbf{u}_{s,t} + \nabla h) + (\nabla \cdot \mathbf{u}_{s,t}) \nabla h + \frac{1}{2} [(z_s + h)^2 - (h + \eta)^2] \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}_{s,t}) - [(\mathbf{u}_{s,t} \cdot \nabla h) + (h + \eta) \nabla \cdot \mathbf{u}_{s,t}] \nabla \eta + (\nabla \cdot \mathbf{u}_{s,t} + \nabla h) + (\nabla \cdot \mathbf{u}_{s,t}) \nabla h + (z_s + h) \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}_{s,t}) z_s = 0$$

$$u_f = (h + \eta) \left\{ u_s + \frac{(z_s + h) - \frac{h + \eta}{2}}{2} \nabla (\mathbf{u}_s \cdot \nabla h) + (\nabla \cdot \mathbf{u}_s) \nabla h \right\} + \left\{ \frac{(z_s + h)^2}{2} - \frac{(h + \eta)^2}{6} \right\} \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}_s) \quad z_s + h = 0.465(h + \eta)$$

### 3. 회절검증

반무한제에 대한 회절 재현 - 모형검증

규칙파(Penny and Price, 1952) 회절도    비교    BOUSS-2D 모형의 결과

불규칙파(Goda at al, 1978) 회절도

불규칙파 회절도 ( $S_{max} = 75$ )의 비교시 방향함수의 상이함

- 불규칙파 회절도는 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼과 Mitsuyasu 방향함수를 이용하여 방향분산계수  $S_{max}$  로 정의
- BOUSS-2D 모형은 JONSWAP 스펙트럼과 Wrapped-normal 방향함수를 사용하여 방향분산계수  $\sigma_\theta$  로 정의

Wrapped normal 방향함수와 Mitsuyasu 방향함수의 관계

<Briggs, 1995> [Wave diffraction around breakwater]

standard deviation =  $\sigma_\theta$

<Goda, 2010> [Random Seas and Design of Maritime Structures 3rd Edition]

$$s = \begin{cases} \frac{S_{max} + 4.0}{2.8} & \gamma = 1.0 \\ \frac{S_{max} + 1.0}{2.1} & \gamma = 3.3 \\ \frac{S_{max} + 0.2}{1.7} & \gamma = 10 \end{cases}$$

여기서,  $\gamma$  = 첨두증폭계수(peak enhancement parameter)  
 $s$  = mean directional spreading parameter

$$\sigma_\theta = \frac{180}{\pi} \left( \frac{2}{1+s} \right)^{1/2}$$

[  $S_{max} = 75$  ] = [  $\sigma_\theta = 15^\circ$  ] :  $\gamma = 1.0$   
[  $S_{max} = 75$  ] = [  $\sigma_\theta = 13^\circ$  ] :  $\gamma = 3.3$   
[  $S_{max} = 75$  ] = [  $\sigma_\theta = 12^\circ$  ] :  $\gamma = 10$

### 3. 회절검증

반무한제의 규칙파 회절도

반무한제의 불규칙파 회절도 ( $S_{max}=75$ )

† 교신저자 : taggyum@naver.com  
\* coolwave70@gmail.com  
\*\* klee@kd.ac.kr

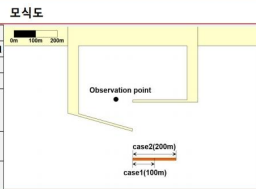
4. 수치모의 4.1 수치실험 방법 및 모형구성

10

수치실험 방법

원리의 가상항만을 모형화하여 항 입구 전면에 이안체 배치  
 계산영역은 가로 1.8km, 세로 1.4km, 수심 12m로 설정하고 격자간격은 5m의 등간격으로 설정  
**규칙파**  
 - 주기가 일정하여 파랑 위상차에 따른 중첩현상을 명확히 파악가능  
 - 좌우측 회절파랑을 분리하여 항내측 정점의 수위시계열 검토  
**불규칙파(일방향, 다방향)**  
 - 여러 성분파로 인해 위상차에 따른 중첩현상 확인 어려움  
 - 평면 파랑장의 비교

Wave condition	Regular	Irregular(JONSWAP spectrum)
H		1m
T		10s
Peak enhancement factor( $\gamma$ )	-	3.3
Spectrum frequency	-	0.0401Hz-0.279Hz
Directional spreading( $\alpha_d$ )	-	10°

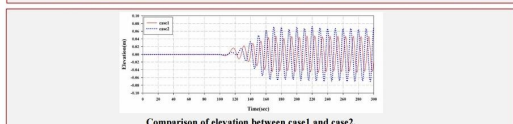
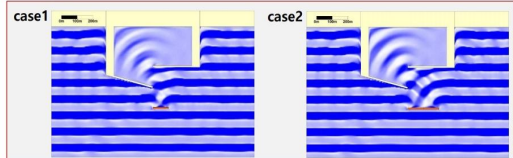


4. 수치모의 4.2 규칙파의 위상차에 따른 중첩영향검토

11

case1(100m)과 case2(200m)에 대한 수치실험 수행

**수위변동** → case1 < case2  
 - case2의 경우 이안체의 길이를 늘려 차폐역을 더 확보하였으나, case1에 비해 항내측의 수위변동이 더 크게 나타남

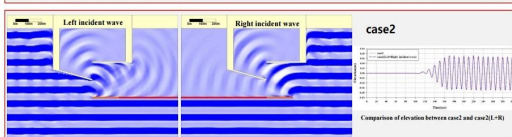
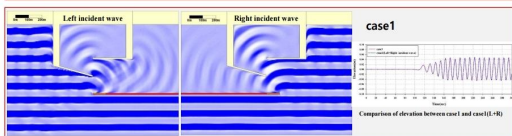


4. 수치모의 4.2 규칙파의 위상차에 따른 중첩영향검토

12

이안체 좌우측으로 입사하는 파랑을 분리하여 수치실험 수행

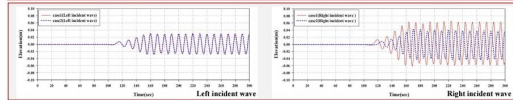
- 좌우측 회절파랑을 분리하지 않은 수치실험의 수위시계열  
 - 각각 분리하여 수치실험을 수행한 후 합성한 수위시계열  
 항내에서의 파랑은 이안체 좌우측 회절파랑의 중첩으로 나타남을 확인



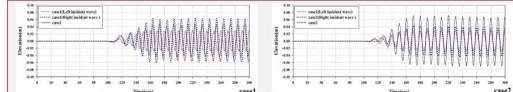
4. 수치모의 4.2 규칙파의 위상차에 따른 중첩영향검토

13

**좌측 회절파랑에 의한 수위변동** → case1 = case2  
**우측 회절파랑에 의한 수위변동** → case1 > case2  
 - 이안체 길이가 늘어남에 따라 차폐역이 더 확보됨으로 인해 파랑에너지가 저감되어 나타나는 결과  
 - 이안체 길이변화에 의한 파랑의 위상차 발생



**좌우측 회절파랑 중첩**  
**case1** → 좌우측 회절파랑의 위상차가 발생하여 중첩시 수위변동 감폭  
**case2** → 좌우측 회절파랑의 위상차 같아 수위변동 증폭  
 - case2의 수위변동이 case1 보다 큰 것은 이안체 길이가 늘어남에 따라 우측 회절파랑의 에너지가 저감되어 입사하나 항내측으로 진행하여 좌우측 파랑이 동일한 위상차로 중첩되어 증폭됨

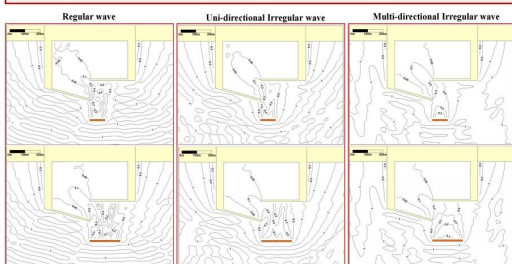


4. 수치모의 4.3 입사파 조건에 따른 영향검토

14

등파고선도

**규칙파** - 좌우측 회절파랑의 위상차에 의한 중첩의 영향으로 case2가 case1에 비해 항내에서 파고비가 높게 나타남  
**일방향불규칙파** - 규칙파의 경우와 유사하게 나타남  
**다방향불규칙파** - 다방향의 성분파에 의해 중첩의 영향이 명확화되어 위상차에 따른 중첩현상은 완화되어 나타남  
 - 이안체 길이증가에 따른 차폐역 확보로 인해 파랑에너지가 저감되어 나타남

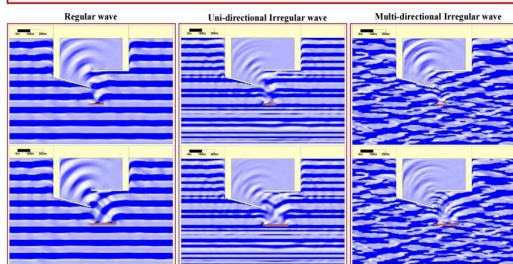


4. 수치모의 4.3 입사파 조건에 따른 영향검토

15

파랑전파도

**규칙파** - 일정한 주기 및 파고를 가진 장파봉파가 진행하여 일정한 지점에서 위상에 따른 중첩현상이 발생  
 - 특정 부분에서 높고 낮은 파고를 나타냄  
**일방향불규칙파** - 여러 성분파에 의한 장파봉파가 진행하여 주기에 따른 중첩지점이 달라져 일부 명확화된 파고를 나타냄  
**다방향불규칙파** - 다방향의 성분파에 의해 단파봉파가 진행하여 산발적인 중첩으로 인한 명확화된 파고를 나타냄



## 5. 결론

17

본 연구에서는 항 입구부에 이안제가 설치되는 경우, 이안제 길이에 따라 발생하는 좌-우측 회절파장의 위상차가 항내 파고에 미치는 영향을 규칙파 및 불규칙파에 대해 수치실험을 통해 검토함

규칙파의 위상차에 따른 증첩영향 검토결과,

- 항내에서의 파장은 이안제 좌-우측으로 전파하는 회절파장의 중첩으로 나타남을 확인함
- 이안제를 연장하여 우측 회절파장에 의한 항내로의 파랑에너지를 저감시켰음에도 불구하고 좌측 회절파랑과의 위상차에 의한 중첩의 영향으로 항내의 파고는 증폭되어 나타날 수 있음을 확인함

입사파의 조건에 따른 파고분포 검토결과,

- 입사파의 조건에 따라 이안제 앞단으로 전파하는 회절파랑에 의한 항내로의 영향이 다른 양상으로 나타날 수 있는 것을 확인함
- 이안제 평면배치에 따른 수치검토시, 입사파 조건에 따라 항내에서의 영향이 과대 혹은 과소평가될 수 있기에 해역특성에 적합한 파랑조건을 적용하여 검토하는 것이 중요할 것으로 판단됨

본 연구에서 검토한 파랑제원 및 평면배치가 제한적이긴 하지만 이상에 근거하여 항내측 정온확보의 목적으로 항 입구부에 이안제 배치시 파랑조건(규칙파, 일방향불규칙파, 다방향불규칙파)과 이안제의 길이변화에 따른 좌-우측 회절파장의 위상차가 항내측으로의 영향에 주요한 요소로 작용함을 확인함