

반사율을 고려한 동백섬 해역의 파랑 분포 Wave Distribution with Reflection in Dongbaek Island Area

유동훈¹ · 신수훈²

Dong Hoon Yoo¹ and Soo Hoon Shin²

1. 서 론

파도가 심해역에서 천해역으로 들어오게 되면 천수, 굴절, 회절 및 마찰손실 등에 의하여 급격하게 변이한다. 따라서 수치모형의 격자는 해저 지형 및 파의 변이 정도에 따라 상당히 작은 크기를 사용하여야 하는데 대개 100 m 내외가 되며 때로는 10 m까지 상당히 작은 크기의 격자를 사용하여야 하는 경우도 있다.

천해파 운동은 해안 수리환경에서 가장 중요한 물리적 요인이다. 파 운동에서는 파의 이론을 일반적으로 두 개의 큰 그룹인 “미소진폭파이론 (small amplitude wave theory)” 과 “장파이론(long wave theory)” 으로 분류한다. 미소진폭파는 파고가 수심에 비해 상당히 작고 파형경사가 완만한 선형파이론인 미소진폭파와 비선형 파동이론인 유한진폭파로 나눌 수 있다. 선형파이론으로 해석하는 미소진폭파는 심해파에서 장파까지 하나의 이론으로 통일적으로 기술할 수 있다. 그러나 유한진폭파는 수심에 따라서 스톱스파(Stokes waves), 크노이드파(cnoid wave)와 같이 다른 이론을 적용해야 한다. 한편, 장파이론은 파장이 수심에 비하여 매우 큰 특성을 가지며 태풍으로 인한 기상고조, 쓰나미(tsunami), 기조력으로 인한 조석파(Tidal wave) 등의 해석에 적합하다. 본 논문에서는 미소진폭파의 기본 이론인 파운동의 정확산 관계식, 심해파와 천해파의 특성, 파속과 군속도, 파에너지와 평균수송에너지의 개념과 파가 천해역으로 진행함에 따라 나타나는 쇄파 및 천해파의 변이에 대한 이론들을 기초로 하여, 수

치모형을 실시하였다. 본 논문에서 사용한 수치모형 프로그램 [PARIS]는 실험을 수행함에 있어 반사율을 고려하여 좀 더 정확한 파랑 분포를 나타내고자 하였다. 또한 이러한 수치모형 프로그램을 부산의 동백섬 지역에 적용하여 파랑 분포에 대하여 알아보았다. 특히 이전의 자료를 이용하여 반사율을 고려하지 않은 경우의 결과와 반사율을 고려하였을 경우의 결과를 비교 분석하였다.

2. 기본 방정식

Liverpool 대학교와 아주대학교(Yoo, *et al.*, 1988)에서 개발된 PARIS 모델 시스템은 천해역으로 전파되는 파랑의 변형을 해석하는 수치모델로서, 천해역 파랑 변형의 제한상인 굴절, 회절, 천수, 반사, 해저 면 마찰 그리고 해류와의 합성 효과를 고려하여 파고와 파향분포를 계산한다. 모델의 기본 방정식은 쌍곡형 수심적분식으로서 다음과 같다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \left(1 + \frac{K_i U_i}{\sigma_0}\right) \frac{1}{n} \frac{\partial}{\partial x_i} (n R_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial R_i}{\partial t} + \left(1 + \frac{K_i U_i}{\sigma_0}\right) C^2 \frac{\partial \zeta}{\partial x_i} + FR'R_i = 0 \quad (2)$$

여기서, $\zeta = \eta_t / \sigma_0$

$$R_i = \frac{K_i}{K} \frac{\eta_t}{K} ; K = \sqrt{K_1^2 + K_2^2}$$

1 아주대학교 토목설계공학과 교수(dhyoo@ajou.ac.kr)

2 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과(shin4918@hotmail.com)

η_t = 파운동의 수위
 K_i = 파수 벡터(wave number vector)
 n = 파의 위상속도에 대한 군속도의 비
 $(n = C_g/C)$
 C = 파의 위상속도
 U_i = 해류의 유속
 F = 해저면 마찰계수
 $R' = R$ 의 최대치
 $i = 1.2$

이고, σ_0 는 해류상 즉, 이동좌표에서 관측되는 주파수로서 다음의 Doppler 관계식으로부터 구한다. σ 는 해저면 즉, 고정좌표에서 관측되는 주파수이다.

$$\sigma = \sigma_0 + K_i U_i \quad (3)$$

위의 기본 방정식들은 각각 연속 방정식과 운동량 보존 방정식으로부터 유도한 것으로 해류와의 합성효과를 고려하도록 $(1 + K_i U_i / \sigma_0)$ 항을 추가하여 시간에 따라 변화하는 해류상에서의 파랑 변형에 대한 해석을 용이하게 하였다. 또한 해저면 마찰계수 F 의 산정에 있어서 파랑 조건 및 해저면 상태 뿐만 아니라 해류와의 합성항을 포함하고 있으며, 다음식과 같이 구해진다.

$$F = \frac{2}{gh} \left(\frac{\sigma_0}{\sinh kh} \right)^3 C_w \quad (4)$$

여기서, g = 중력가속도

C_w = 해저면에서 조도와 파랑 최대행 정거리와의 비율로 결정되는 마찰계수

한편, 해안 및 주요 구조물에서의 파랑 반사 계수는 다음과 같이 적용하였다(Goda, 1985).

취수구내 안벽 (직립 구조물) : 0.9
 배수구내 소파벽 : 0.5
 방파제 (T.T.P 또는 Tribar 충격) : 0.5
 사빈 : 0.1

3. 수치모형의 적용

개발된 수치모형인 PARIS를 부산의 동백섬에

위치하고 있는 선상호텔(flotel)인 동남해상관광호텔 부근의 해역에 대하여 적용하여 보았다. 해상관광호텔은 선박을 계류시킨 후, 주변에 방파제 등의 시설물을 설치한 후 사용하고 있다. 따라서 파랑에 대한 선박의 안정성이 매우 중요하며, 수치 모델을 통하여 파랑에 대한 선박의 안정성을 조사함과 동시에 부근의 파고 분포에 대하여 알아보고자 하였다. 대상 유역의 위치는 아래 Fig. 1과 같다.

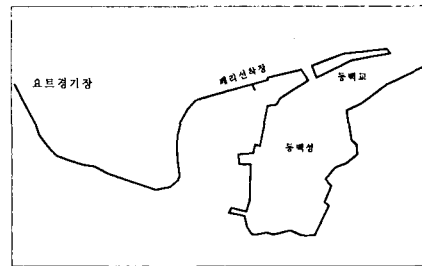


Fig. 1. 현장주변 상황도.

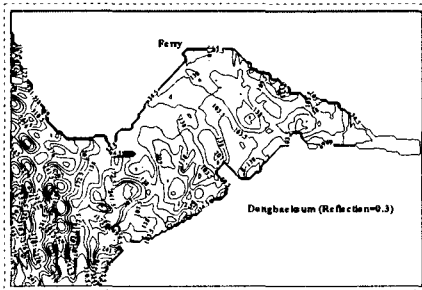
대상 유역의 해안에는 해안선을 따라서 방파제가 설치되어 있으며, 선박은 계류 시설로 고정되어 있다. 또한 선체와 계류장 사이에는 충격을 흡수하도록 고무 튜브가 설치되어 있다. 수치모형은 소격자(협역)를 이용하였으며, 수치모형 실험의 개요는 다음의 Table 1과 같다.

Table 1. 수치모형 실험개요

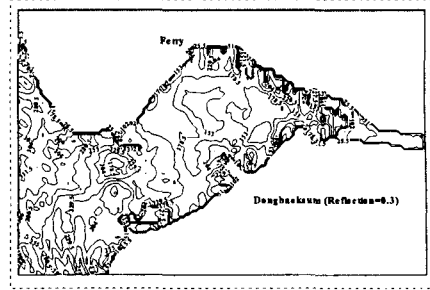
구분	수치모형 실험
실험 목적	동백섬 부근의 파랑 예측
사용 모델	PARIS 2차원 수치모형
모델 범위	동백섬 부근의 협역
격자 체계	고정격자체계
격자 수	격자 총 개수 : 132개 × 84개 = 11,088개
격자 간격	$\Delta x = 5m, \Delta y = 5m$

본 수치모형은 CASE1(Hs=3m, Ts=7.0sec), CASE2(Hs=2m, Ts=5.0sec)의 경우로 분류하여 수행하였으며, 입사각(SI)는 S파로 분류하여 실시하였다. 마지막으로, 배가 정박되어 있는 부분은 육지로 생각하여 수치모형 해석 시, 육지로 포함하였으며, 반사율로 그 영향을 고려하였다. 반사율은 방파제가 설치된 지역의 경우 0.3~0.5로

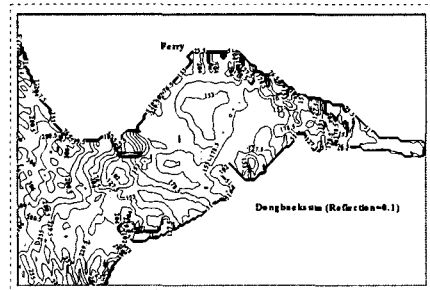
입력하였으며, 선박에 대한 반사율은 0.1~0.2로 분류하여 입력하였다. 북서쪽의 Boundary 부분은 파가 입사되는 곳임을 감안하여 반사율을 입력하지 않았다. 또한 페리선착장의 대안인 동백섬 해역의 반사율에 따른 페리선착장의 파고에 대한 영향을 알아보기 위하여 동백섬 해역의 반사율을 0.3과 0.1로 수치모델을 실시하였다. 마지막으로 반사율을 고려하지 않은 경우에 대한 기존의 결과 자료와 반사율을 고려한 결과를 비교하였다. 각각의 경우에 대한 등파고선도는 아래와 같다.



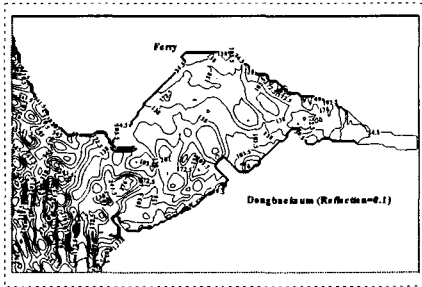
(a) 반사율을 고려한 경우
(동백섬 Reflection=0.3)



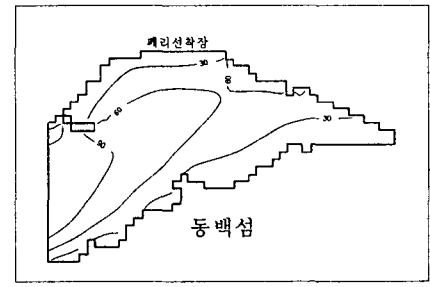
(a) 반사율을 고려한 경우
(동백섬 Reflection=0.3)



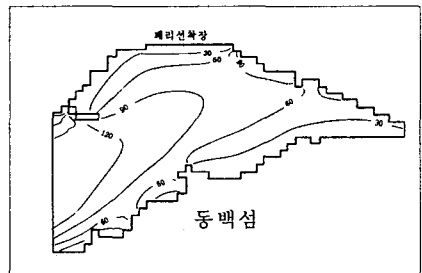
(b) 반사율을 고려한 경우
(동백섬 Reflection=0.1)



(b) 반사율을 고려한 경우
(동백섬 Reflection=0.1)



(c) 반사율을 고려하지 않은 경우(기존 자료)



(c) 반사율을 고려하지 않은 경우(기존 자료)

Fig. 2. CASE 1 ($H_s=3m$, $T_s=7.0sec$, S파)에 대한 등파고선도(단위:cm).

Fig. 3. CASE 2 ($H_s=2m$, $T_s=5.0sec$, S파)에 대한 등파고선도(단위:cm).

위에서 볼 수 있듯이 동일한 조건에서 반사율을 고려한 경우의 파고 분포가 고려하지 않은 경우의 파고 분포보다 상당히 더 크게 나타났다. 페리선착장 부근의 파고를 보았을 경우, CASE 1의 경우에 파고가 각각 138cm, 60cm로 반사율을 고려한 경우가 약 두배 정도 높게 나타났다. CASE 2의 경우에도 마찬가지로 상당히 큰 차이를 보이고 있음을 볼 수 있다. 또한 반사율을 고려한 경우의 파고 분포가 좀 더 복잡한 형상을 나타냈다. 이는 반사파의 영향에 기인한 것으로 판

단되며, 수치모형에서 반사파의 영향이 매우 중요하다는 것을 보여주고 있다. 방파제에서 페리선착장에 이르는 구간을 7구간으로 나누어 각 지점의 파고를 반사율을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우로 나누어 그래프로 나타내어 비교하여 보면 아래와 같다.

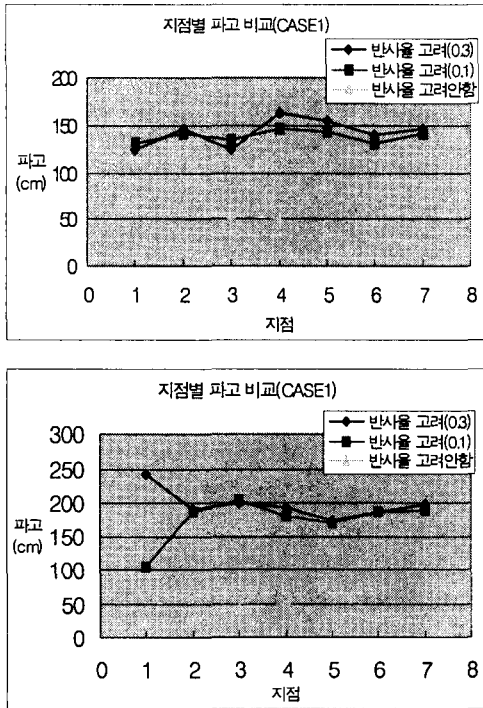


Fig. 4. 지점별 파고 비교(단위: cm).

위의 지점별 파고 비교 그래프에서 반사율을 고려한 경우의 파고가 더 높게 나타남을 확인할 수 있다. 또한 같은 각 CASE의 경우, 동백섬 해역의 반사율을 크게 준 경우의 파고가 상대적으로 반사율을 적게 준 파고보다 높게 나타남을 확인할 수 있다. 따라서 동백섬 해역의 반사파가 페리선착장의 파랑 분포에 영향을 끼친다는 점을 확인할 수 있다.

4. 결 론

동일 조건에서 반사율을 고려한 경우의 파랑 분포가 반사율을 고려하지 않은 경우의 파랑 분포에 비하여 상당히 높게 나타났다. 이는 해변에서 반사파가 작용할 경우에는 파고가 상승한다는 것을 나타낸다. 또한 파고의 분포 경향을 보았을

때 반사율을 고려한 파고의 경향이 반사율을 고려하지 않을 경우보다 좀 더 복잡한 양상을 보이고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로 보았을 때 해안에 인접한 해역을 모델링 할 때는 반사율을 고려하여 수치해석을 하는 것이 현장 조건에 좀 더 근접한 수치해석이 될 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 수치모델을 통하여 보았을 때 반사파에 의하여 주변 파고가 높아지는 경향을 보이기 때문에 현장의 구조물을 설계하거나 시공할 경우에는 반사파를 줄일 수 있도록 해야한다.

감사의 글

기초자료로서 이용된 '해상호텔 건립을 위한 기초조사 및 기본설계'에 대한 연구를 수행한 강찬수에게 사의를 표한다. 또한 PARIS모델을 연구하는데 있어서 많은 도움을 준 박성준에게도 감사의 마음을 표한다.

참고문헌

- 유동훈, 1999, 합성류 전단력 계산을 위한 혼합 거리 모델, 한국해양-해양공학회지, 1(1), pp. 8-14.
- 유동훈, 1993, 전남류에서의 파마찰계수, 한국해양-해양공학회지, 5(2), pp. 51-57.
- 유동훈, 1993, 천해에서 불규칙파의 변이, 한국해양-해양공학회지, 5(3), pp. 212-220.
- 유동훈, 1994, 전남류에서 파랑과 해류의 마찰력, 한국해양-해양공학회지, 6(3), pp. 226-233.
- 유동훈, 2003, 쇄신 수리학, pp. 575-615.
- 유동훈, 강찬수, 1998, 해상호텔 건립을 위한 기초조사 및 기본설계 보고서, 주식회사 동남해상.
- 유동훈, 이동수, 1992, 이동상 해저면에서의 마찰력, 한국해양-해양공학회지, 4(2), pp. 63-71.
- O'Connor, B.A. and Yoo, D., 1988, Mean bed friction of combined wave-current flow, Coastal Eng., 12, pp. 1-21.
- Yoo, D., 1989, Explicit modeling of bottom friction in combined wave-current flow, Coastal Eng., 13, pp. 325-340.
- Yoo, D., 1989, Numerical modeling of currents in a

breakwater situation, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 27, pp. 21-35.

Yoo, D. and O'Connor, B.A., 1986, Mathematical modeling of wave-induced nearshore circulations, Proc. 20th. Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 1667-1682.

Yoo, D. and O'Connor, 1987, bed friction model of wave-current interacted flow, Proc. Spec. Conf. Coastal Hydrod., ASCE, pp. 93-106.

Yoo, D. and O'Connor, B.A., 1988, Numerical modeling of waves and wave-induced currents on groyned beach, Proc. Int. Conf. on Sediment Transport in Coastal Region, IAHR, pp.127-136.