

방조제 주변 설계파의 추정

유동훈* · 원유승*

1. 서론

심해에서 풍파의 형성은 주로 바람에 의한 마찰력과 파와 파간의 상호간섭 그리고 white capping 현상등에 의한 1차 에너지 손실에 의하여 이루어지며, 파의 변이는 주로 이상의 세가지 물리 현상에 좌우된다. 이러한 심해역에서의 파의 변이를 해석할 때 굴절, 회절 및 마찰손실 등에 의한 천해역 현상은 무시할 수 있으며 풍파의 형성은 주로 바람 조건에 좌우된다. 그러나 파도가 일단 심해역에서 천해역으로 들어오게 되면, 천수, 굴절, 회절 및 마찰손실 등에 의하여 급격하게 변이한다. 따라서 천해역에 구조물을 구축할 때, 구조물 주변의 설계파 선정에는 풍파의 생성과정과 백파 등에 의한 에너지 감쇄효과 뿐만 아니라, 굴절, 회절, 천수효과 등에 대한 고려도 충분히 이루어져야 한다. 본 연구에서는 천해역에서 발생하는 천해파의 특성을 반영하기 위하여 불규칙파를 스펙트럼파로 해석하는 기법을 사용하였으며, 천해파의 여러 변형 요인인 굴절, 회절, 천수, 쇄파, 해저면마찰손실 등을 고려한 수치모형을 새만금지구에 적용하여 방조제 설치지점에서의 설계파를 추정하고자 하였다.

2. 지배방정식

지배방정식은 에너지보존식과 파수벡타보존식인데 파수벡타보존식에 회절효과를 고려하는 항을 포함하였다. 스펙트럼형상을 재현하기 위하여는 선형누적법을 사용하였으며, 스펙트럼파에 대한 대표 마찰계수를 간단히 산정하는 약산식을 적용하여 마찰손실효과를 고려하였다. 또한 천해역에서의 쇄파를 고려하기 위하여 수정된 Kitaigorodskii 평형조건식을 적용하였다.

파고의 곡률이 존재할 때 파수는 주파수, 수심뿐아니라 파고곡률의 함수가 되어 이를 포함한 파수보존식이 유도되었으며, 에너지보존식을 수심적분하고 주기평균하여 스펙트럼파 에너지보존식을 유도하였다 (유동훈, 1993). 이들 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial P}{\partial t} + PM \frac{\partial P}{\partial x} + QM \frac{\partial P}{\partial y} + S \frac{\partial d}{\partial x} = \frac{M}{4E} \left[\frac{\partial^3 E}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 E}{\partial xy^2} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + PM \frac{\partial Q}{\partial x} + QM \frac{\partial Q}{\partial y} + S \frac{\partial d}{\partial y} = \frac{M}{4E} \left[\frac{\partial^3 E}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 E}{\partial yx^2} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial PME}{\partial x} + \frac{\partial QME}{\partial y} + C_E E = 0 \quad (3)$$

여기서 P와 Q는 각각 파수벡타의 x와 y 성분이며, E는 주파수 스펙트럼에너지이고, d는 수심이다. M은 단위군속도(unit number group velocity), 즉 군속도에 파수를 나눈 것으로서

$$M = (1+G)\sigma/2K^2 \quad (4)$$

$$G = 2Kd/\sinh(2Kd) \quad (5)$$

이다. 여기서 K는 파수이다. 따라서 PM 과 QM 은 각각 군속도의 x 와 y 성분 R_x 와 R_y 가 된다. 또한 $S = \sigma G/2d$, σ 는 주파수, C_E 는 손실계수이다.

* 이주대학교 환경도시공학부

유동훈(1993)은 마찰손실만을 고려하였을 때 C_E 의 산정방법과 식 (3)에서 쇄파후의 쇄파조건식을 이용하기 위해 불규칙파의 쇄파임계치를 Kitaigorodskii et al.(1975)의 평형조건식(saturation relation)을 수정하여 제시하였다.

3. 모형의 적용

식 (1), (2), (3)으로 대표되는 지배방정식은 일정 간격의 격자에 upstream method에 의한 유한 차분법으로 풀어 해를 구할 수 있으며 (Yoo and O'Connor, 1986), 각 스펙트럼대에 대하여 독립적으로 풀어 최종 결과는 누적적분하여 구한다. 본 모형을 새만금방조제 축조해역에 적용하여 방조제 위치에서의 파조건을 산정하였다.

새만금 일대의 평균수심은 서해안 전체 해안선에 평행한 방향으로 거의 일정하며 완만한 경사를 보이고 있다(그림 1 참조). 이 지역의 최대수심은 약 50 m 정도이며 평균수심은 약 7.7 m 에 이르고 있다. 새만금해역의 수치실험에서 적용수심은 평균수심(약최저간조위+3.61 m)을 취하였고, 조위변화는 고극조위 4.52 m를 적용하였으며, 방조제 여유고는 고려치 않았다. 그림 2에 도시된 바와 같이 대상지역의 전 구역에 대해 1.05 km 의 정방향 격자망을 구성하여 종으로 87 개, 횡으로 60 개, 총 격자수는 5,220 개이며, 총 유효격자수는 3,973 개이다.

새만금 해역에 두방향의 심해파조건을 입사경계에 적용하여 새만금해역에서의 천해파 파고분포를 산정하였다. 수산청, 항만청 등의 자료를 참조하여 파향 SSW 에 대해 파고 10.2 m, 주기 14 초인 심해 설계파를 선택하였으며, 그림 3(a)에 제시된 바와 같이 스펙트럼파를 적용할 경우 회절현상에 의한 파집중현상(waves in caustics)이 뚜렷하게 나타나는 지역은 없으며, 단지 굴절과 해저면마찰에 의한 에너지 감소로 파 조건이 결정됨을 알 수 있었다. 파에너지는 굴절에 의하여 돌출부인 도서에 집중적으로 모이는 것으로 나타났으며, 새만금개발지구로도 상당한 파에너지가 침입하는 것으로 나타났다.

새만금해역의 계절적 특징으로 동절기에는 북서계절풍동이 발달하여 거의 일정한 방향에서 일정한 풍속으로 오랜 지속시간동안 해수면에 마찰력에 의한 에너지를 공급하므로써 파고와 주기가 큰 파랑이 발생하지만 하절기에는 태풍등의 영향에도 불구하고 풍향의 변동, 취송시간 및 취송거리의 짧음 등으로 큰 파고의 파랑이 발생하지 못한다. 또한 새만금 일대의 풍도는 일일최대풍속이 주로 W 와 WNW 방향에서 가장 많이 발생하고 이같은 풍향에서 바람은 새만금 방조제 노선에 특히 야미도와 비응도를 잇는 노선에 거의 직각방향으로 파랑을 발생시킬 수 있기 때문에 심해설계파조건으로 파고 9.28 m, 주기 11.81 초인 심해 설계파에 대하여 수치계산을 수행하였다. 그림 3(b)에 제시된 바와 같이 북서풍의 영향으로 유의파고가 야미도와 비응도를 잇는 방조제에서 2~4.5 m 정도, 신시도와 대항리를 잇는 방조제에서 약 4 m 정도 산정되었으며, 방조제고의 결정에 상당한 영향을 줄 것으로 판단된다. 이상의 결과에서 새만금개발지구 방조제고는 WNW 파향에 의해 결정되어야 할 것으로 판단된다. 각 참고지점에서의 파 스펙트럼은(그림 4 참조) WNW 파향인 경우 입사파가 방조제 전체에 직접적으로 영향을 줄 것으로 사료되며 북서측방조제 끝에 위치한 참고지점 1에서는 유의파고가 약 5 m 정도로 산정되었으며, 서측방조제에서는 참고지점 9에서 유의파고가 제일 큰 약 5.8 m가 산정되었다.

4. 결론 및 토의

이와같이 천해역에 위치한 해안구조물은 심해조건과 상당히 다른 파조건에 놓이기 때문에 심해파조건으로 설계파를 결정하면 상당한 오류를 범할 수 있다. 새만금방조제와 같이 수심 20 m에 이르는 위치에서도 고군산도나 주변의 수심조건에 따라 파조건이 상당히 달라짐을 보이고 있다. 방조제의

위치에 따라 파조건이 매우 다르기 때문에 모든 방조제에 대하여 동일한 설계파를 적용하면 동일한 시공비를 들었을 때 충분한 안정성을 확보할 수 없을 뿐만아니라, 충분한 안정성을 확보하고자 할 때 비경제적인 설계를 하는 우를 범할 수 있다.

새만금방조제의 경우 수심을 약최저간조위로 적용하였을 때(유동훈, 1996), 상당히 큰 피해파가 북서측방조제로 침입하였고, 서측방조제는 피해파의 침입으로부터 보호되는 것으로 나타난 반면에, 본 연구에서 적용된 평균수심 더하기 고극조위를 취한 수심을 적용하였을 때, 북서측방조제와 서측방조제 모두 상당히 큰 피해파가 침입하는 것으로 나타났으며, 북서측방조제 보다 서측방조제로 더 큰 피해파가 침입하는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 심재문화재단의 재정지원에 의한 "서해안 간척개발에 관한 연구"의 일환으로써 이루어졌으며, 당재단에 심심한 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

- 유동훈, 1993, 천해에서 불규칙파의 변이, 한국해안해양공학회지, 5(3): 212-220.
 유동훈, 1996, 방조제 설계파의 추정, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 651-654
 Battjes, J.A., 1968, Refraction of water waves, J. Waterways, Harbors, Coastal and Ocean Eng., 94, WW4: 437-451.
 Kitaigorodskii, S.A., Krasitskii, V.P. and Zaslavskii, M.M., 1975, On Phillips' equilibrium range in the spectra of wind generated gravity waves, J. Phys. Oceanogr., 5: 410-420.
 Yoo, D. and O'Connor, B.A., 1986, Ray model for caustic gravity waves, Proc. 5th Conf. Asian and Pacific Division of IAHR, 3: 1-13.
 Yoo, D. and O'Connor, B.A., 1988, Diffraction of waves in caustics, J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 114, 6: 715-731

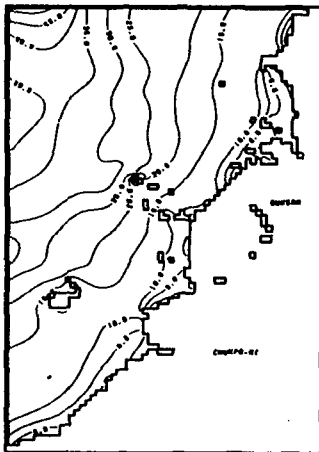


그림 1. 해저지형도

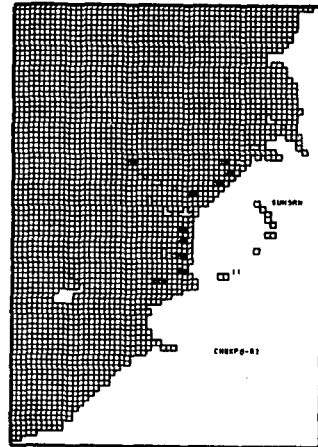
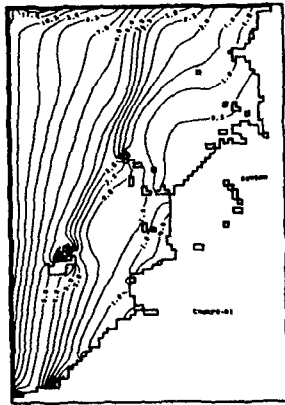
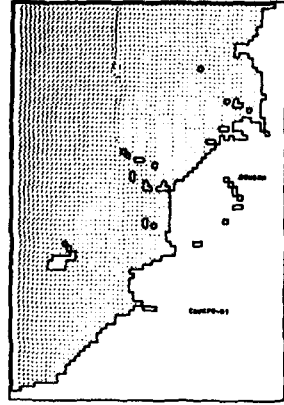


그림 2. 격자망의 구성과 참고지점

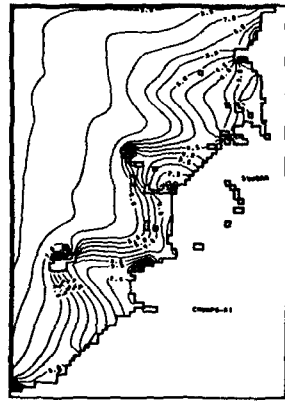


파고분포도

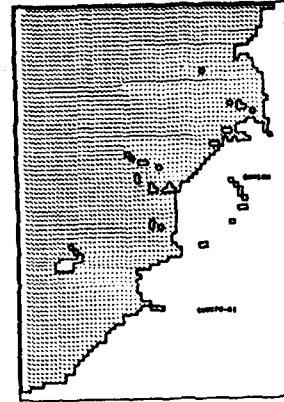


파고백타도

(a) 파향 SSW 설계파



파고분포도



파고백타도

(b) 파향 WNW 설계파

그림 3. 각 설계파에 대한 수치모형 산정결과

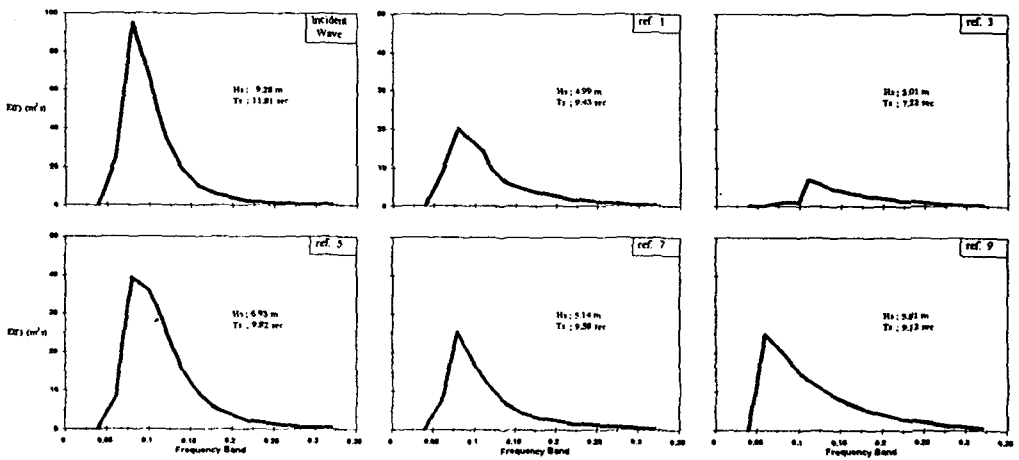


그림 4. 파향 WNW 설계파에 대한 각 참고지점에서의 파스펙트럼