

이어도 기지에서 관측된 파랑 자료로부터 주변 대표파랑 자료로의 복원기술 검토

이정렬* 이동영**

요 지

이어도 기지에서 관측된 파랑 자료는 주변 수중 암초 또는 지형의 영향을 받으므로 수중 암초의 영향을 받지 않는 지역을 대표하는 주변 대표 파랑 자료로의 환산이 필요할 수 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 이론적인 쇄파 모형(Lee, 1993)을 통하여 변환기술상 문제점을 파악하고 원형 천퇴에서의 수치실험을 통하여 천퇴 후면에서 파랑의 변형 정도를 파고비를 통하여 분석하였으며 이를 토대로 이어도 수중 암초에서의 파랑 변형이 관측 지점의 파고에 미치는 영향을 평가하였고 그 결과를 관측 치와 비교·분석하였다.

핵심용어 : 이어도 기지, 파랑 관측, 파랑 수치 모형, 쇄파, 변환기술

1. 서론

이어도는 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 40%정도가 통과하는 곳이다. 그만큼 이어도는 우리나라의 기상이나 해상 정보를 정확하게 취할 수 있는 곳으로 이곳에 해양종합 기지를 건립하였고 그를 통해 보다 정확하고 많은 정보를 실시간으로 취득하게 되었다. 이어도의 가장 얕은 곳은 해수면 아래 약 4.6미터이며, 수심 40미터보다 얕은 해역은 남북으로 약 600미터, 동서로 약 750미터로, 면적이 약 11만 5천평에 이른다. 이어도 해양과학기지는 이어도 정봉으로부터 남쪽으로 약 65m 떨어진 곳의 수심 40미터 지점에 설치되었다.

이어도 기지에서 관측된 파랑 자료는 주변 수중 암초 또는 지형의 영향을 받으므로 암초의 영향을 받지 않는 지역을 대표하는 주변 대표 파랑 자료로의 환산이 필요할 수 있다. 우선, 파가 쇄파되지 않으면 파랑 에너지가 보존되므로 입사파랑으로 환산하는 복원기술이 파고만의 관측만으로 가능할 수 있지만 파랑이 쇄파되는 경우 그 에너지가 난류 및 유속으로 변환되므로 이에 대한 추가적인 정보가 필요할 것이다. 이를 확인하기 위하여 본 연구에서는 Lee(1993)에 의하여 제시된 이론적인 쇄파 모형을 이용하여 변환기술상 추가적인 정보인 수면에서의 유속 정보의 필요성을 제시하였다. 그러나 이어도 수중 암초와 같이 쇄파로 인한 파랑 에너지의 손실이 작은 경우 추가적인 정보의 관측 필요성은 미미하다고 판단된다. 그러나 수심의 변화가 3차원적인 경우 단지 1-2 곳에서의 파랑 관측만으로는 충분한 변환이 이루어지지 못할 것이다. 그러므로 본 연구에서는 암초로 인한 국지적인 파랑 변형이 얼마만큼 천퇴 후면의 파랑장에 영향을 미칠지를 원형 천퇴에서의 수치실험을 통하여 분석하고 이를 토대로 이어도 수중 암초에서의 파랑 변형이 관측 지점의 파고에 미치는 영향을 평가하였다.

* 정희원 • 성균관대학교 토목환경공학과 교수 • E-mail : jllee@skku.edu

** 한국해양연구원 책임연구원 • E-mail : dylee@kordi.re.kr

2. 이론적 고찰

1차원적인 수심 변화를 갖는 해역에서의 파고로 심해 입사파를 추정하는 데 각 파의 주기가 변화하지 않는다는 가정이 큰 도움이 된다. 불규칙파가 내습하는 경우 주기에 따라 파의 천수와 굴절 현상의 정도가 다르므로 대표 주기는 바뀌어 질 수 있으나 각 파 성분은 일정한 주기를 갖고 변형한다고 볼 수 있다. 따라서 1차원적인 수심 변화를 갖는 해역에서 파가 쇄파되기 전에는 심해파 정보로의 변환이 가능하지만 파랑이 쇄파되면 파고의 감쇄가 일어나 심해 입사파로의 변환은 거의 불가능해진다. 이를테면 북쪽계열의 큰 파가 이어도 수중 암초를 거쳐 쇄파가 된 후 관측지점에 도달되는 경우 이 파로부터 주변 대표 파를 구하는 것은 사실상 불가능하다는 말이 된다. 그러나 파가 쇄파되면서 난류, 유속 등이 발생되므로 파랑에너지의 일부가 다른 에너지로 변환이 되므로 이를 관측할 수 있다면 쇄파가 되는 경우에도 변환이 가능할 수 있다.

Lee(1993)는 일정 경사를 갖는 수심에서 파가 쇄파된 후 파랑 및 수면 유속(u_s, v_s)에 대한 다음 이론적 식을 제시하였다.

$$\frac{H}{H_b} = \frac{H_s'}{\cos\theta[1 - Cg'(1 - H_s'/\cos\theta_b)]} \quad (1)$$

$$\frac{u_s}{Cg_b} = \beta_o \cos\theta (\beta - Cg') \quad (2)$$

$$\frac{v_s}{Cg_b} = \beta_1 \sin\theta (\beta - Cg') \quad (3)$$

여기서 H_s' 은 쇄파점에서의 파고 H_b 를 해안선에서 파고 H_s 를 나눈 것으로 $\sqrt{\tan\alpha}$ 로 주어질 수 있다 (Lee, 1993). α 는 해빈의 경사이다. θ 는 등수심선의 직각에 대한 파향으로 해안선에 직각으로 입사하는 경우 $\theta=0$ 이 된다. β, β_o , 그리고 β_1 은 관측치로부터 결정될 비례 상수이다. Cg' 은 Cg 를 쇄파점에서의 군속도 Cg_b 로 나눈 것이다. 파고에 대한 이론적인 해(식 1)와 관측치(Horikawa와 Kuo, 1966)와 비교한 결과가 Fig. 1에 제시되었다. 상당히 만족할 만한 결과를 보여주고 있다. 해안쪽에서의 수면 유속 u_s 는 관측치가 없어 비교할 수 없었지만 연안을 따라 발생하는 수면 유속인 v_s 는 수직 분포가 거의 없어 수심에 대하여 변화가 없어 평균유속과 비교가 가능하다. 그림 2에서 도시된 바와 같이 비교적 만족할 만한 결과를 보여주고 있다. 식 (1)과 (2)를 이용하여 쇄파 후에도 유지되는 파랑 에너지 E_w 와 쇄파되면서 수면 유속으로 변환된 에너지 E_v 를 더한 값을 살펴보았다. 쇄파대에서 수면 유속의 발생에 의하여 파랑 에너지로부터 변환된 에너지를 파고에 상당하는 값으로 바꾼 H_u 는 다음과 같이 정의되었다.

$$H_u = \frac{u_s^2}{2g} \quad (4)$$

쇄파된 파고 H_w 에 식 (4)와 같이 수면에서의 유속 자료를 이용하여 얻은 H_u 를 더한 값이 입사파를 추정하는 데 도움이 되는 지를 살펴보기 위하여 수심 경사 0.07, 수심 4.5m에서의 입사파고에 대한 H_w+H_u 의 값을 Fig. 3에 도시하였다. 좌측의 그림은 H_u 를 반영하지 않았을 때의 값으로 동일 쇄파고 H_w 에 대하여 2개의 입

사 조건이 존재하는 영역이 넓게 존재하므로 H_w 로만은 입사파고의 결정이 무리일 수 있다.

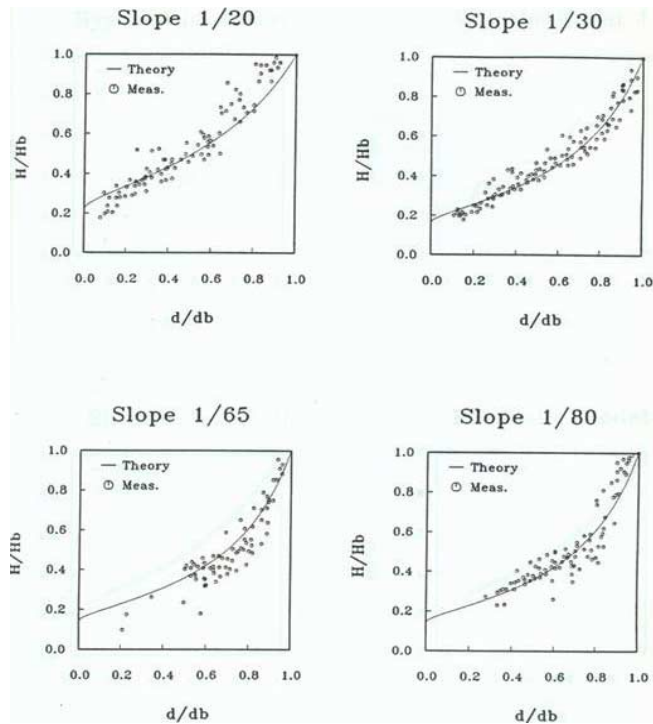


Fig. 1. Comparison of wave heights with laboratory experiments(Horikawa 와 Kuo, 1966)

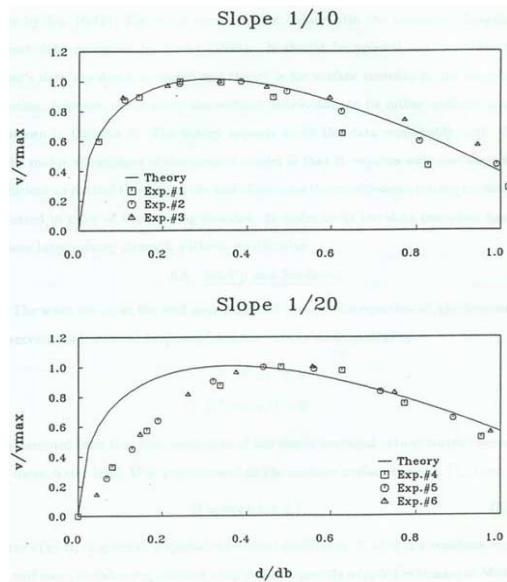


Fig.2. Comparison of longshore currents with Visser's experiments (1991)

그러나 우측 그림에서와 같이 H_w+H_u 를 얻은 경우에는 거의 1:1의 대응이 가능하므로 하나의 입사파고를 결정하는 것이 대부분 가능하게 된다. H_u 를 얻는 데 있어 식 (2)에서의 비례 상수 β_0 는 수심에 0.08승을 취하여 추정하였다.

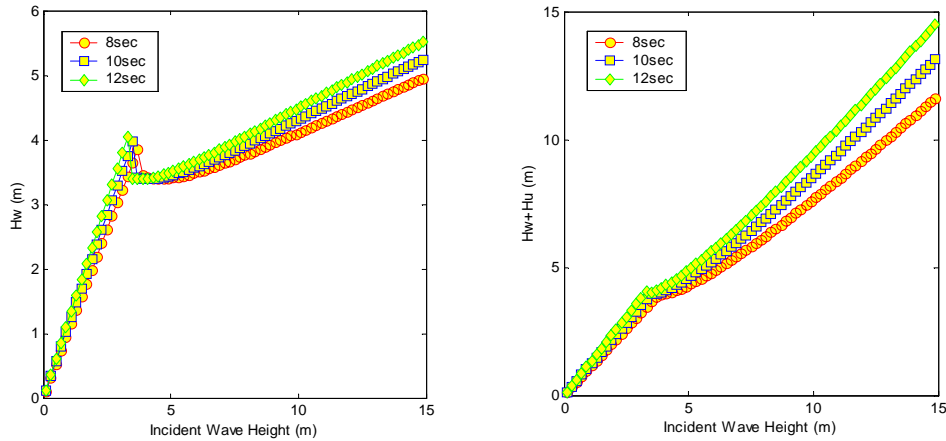


Fig.3. Variation of H_w (left figure) and H_w+H_u (right figure) at water depth 4.5m

3. 원형천 퇴상에서의 변환기술 검토

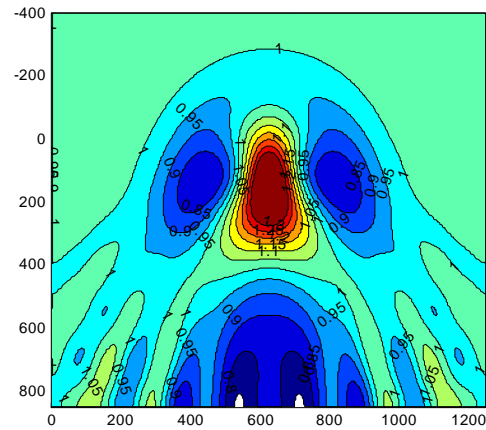


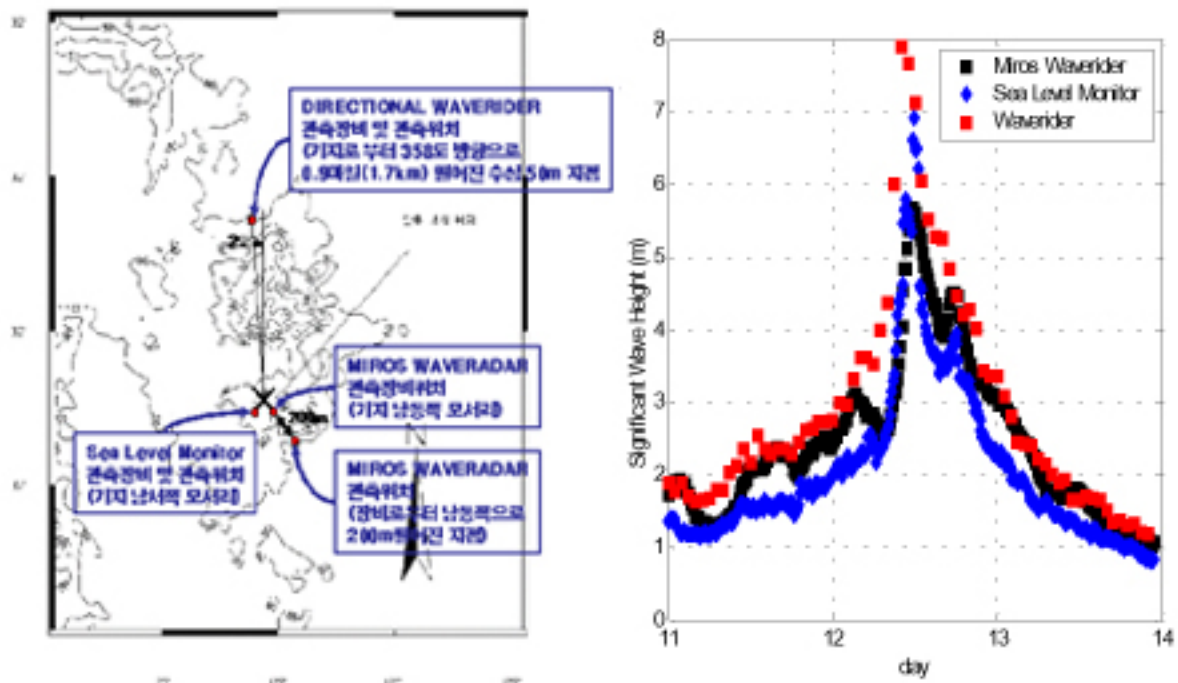
그림 3 Fig. 4. Depth contours of an ideal shoal Fig. 5. Contours of wave height ratio

수치모형 실험은 쌍곡선형, 연안역 파랑 변형 모형인 WADEM으로 수행되었다. 이어도 수심 조건과 유사하게 40m의 일정 수심에서 최저 수심이 7m가 되고 반경이 300인 Fig. 4에 도시된 천퇴에 대하여 수치모형 실험이 수행되었다. 파향 spreading이 35인 경우에 대하여 입사파고에 대한 상대적인 파고 결과가 Fig. 5에 도시되었다. 관측기지가 수중 암초의 최상부로부터 750m 정도 떨어져 있으므로 암초를 통하여 변형되는 파

링의 영향력이 바로 후면보다 상대적으로 작아 보인다. 따라서 2장에서 언급된 마와 같은 추가 정보의 습득이나 3차원적인 수심을 고려한 다중 점의 관측이 불필요할 것으로 판단된다.

4. 이어도에의 적용

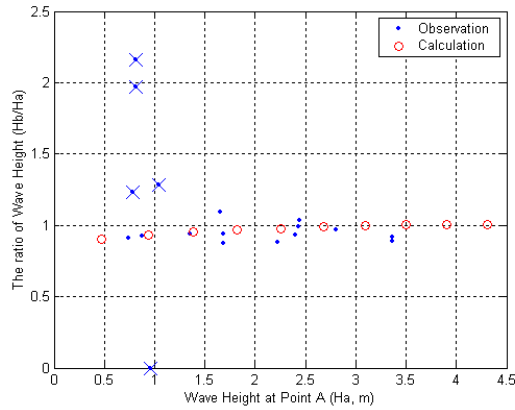
이어도 주변에 설치한 3개의 관측계기, Waverider, Miros Waverider, Sea level monitor의 설치 위치는 Fig. 3과 같다. Waverider는 관측기지로부터 북쪽(358°)으로 1.7km 떨어진 수심 50m 지점에 위치하고 있으며 Miros Waverider는 기지 남동쪽 모서리로부터 200m에 설치되었다. 태풍 메미가 영향을 미친 시점인 2003년 9월 11일부터 14일까지의 관측치 중 유의파고를 Fig. 4에 도시하였다.



2003년 9월 11일부터 14일까지 암초를 사이에 둔 2 지점에서의 관측 파고에 대한 상호 변환관계를 알아보기 위하여 정북으로부터 10도 내외의 입사파랑에 대하여 입사파고에 대한 파고비 H_B/H_A 를 도시하면 Fig. 5와 같다. 여기서 H_A 는 directional waverider가 취득한 파고이며 H_B 는 miros waverider가 취득한 파고이다. 문제가 되는 5개의 관측지점 제외하고는 거의 암초의 영향이 거의 없는 것으로 판단된다. 즉, 관측 지점이 암초로부터 충분히 멀리 떨어져 암초를 지나지 않는 주변 파랑에 의하여 파랑 특성이 복원되는 것으로 판단된다. 관측자료의 분석 결과 주기에 따른 암초에서의 파랑 변형도 거의 무시할 만한 것으로 판단되었다.

관측지점에서 관측된 파고 중 북측계연의 파랑이 이어도 암초로 인하여 가장 극심한 변형을 일으킬 수 있으므로 모형 결과도 정북에 대하여 수치모형 실험을 수행하였다. 주기는 일정하지만 35의 파향 spreading을 갖는 입사파랑에 대하여 수치모형실험이 이루어졌다. 참고로 2003년 9월 11일부터 14일까지의 Waverider 자

료에 의하면 파향 spreading의 평균이 33이었다.



A

5. 결론

1차원적인 수심의 변화를 보이는 연안에서 쇄파가 발생하면 파고의 관측만으로는 입사파고로의 변환이 어려우나 이어도와 같이 국지적인 파랑 변형이 이루어지는 경우 압초로부터 충분히 먼 곳에서 관측이 이루어지면 압초의 영향력이 감소되어 변환기술이 불필요할 수 있다. 개념적으로 3차원적인 수심을 갖는 해역에서 변형 전의 자료로 복원하기 위해서는 충분히 많은 지점에서의 관측 자료가 요구된다. 더욱이 파랑 관측은 물론 유속 관측과 같은 추가적인 항목의 관측도 요구된다. 이어도 압초를 사이에 두고 1,700m 가량 떨어진 두 지점에서의 관측 자료를 분석한 결과 관측기지에서 취득한 파랑자료는 압초에 가장 취약한 파향에 대해서도 주변 파랑을 대표할 수 있을 만큼 압초로 인한 파랑의 변형은 비교적 미약하여 약 10%정도 수준이다.

감사의글

본 연구는 2003년도 이어도 해양과학기지 활용연구 연구과제인 ‘이어도기지 파랑관측 자료의 이어도 수중 압초 영향 분석 및 보정 방법의 수치실험연구’를 통하여 이루어졌다. 주저자는 연구비 지원은 물론 연구 중 자료 및 편의 제공에 대하여 한국해양연구원 측에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Horikawa, K., and Kuo, C.T., (1966). A study of wave transformation inside the surf zone, *Proc. 10th ICCE*, ASCE, Tokyo, pp.217-233.
2. Lee, J.L., (1993). Wave-current interaction and quasi-3D modeling in nearshore zone, Ph.D. Dissertation, Coastal and Oceanographic Engineering Department, Univ. of Florida, Gainesville.
3. Visser, P.J., (1991). Laboratory measurements of uniform longshore currents, *Coastal Engrg.*, **15**, pp.563-593.