

## 한반도 연안에서 유의파고와 유의파주기 사이의 관계 Relationship between significant wave height and period in coasts of Korean Peninsula

오지희<sup>1</sup>, 서경덕<sup>2</sup>, 이동영<sup>3</sup>

Jihee Oh<sup>1</sup>, Kyung Duck Suh<sup>2</sup> and Dong Young Lee<sup>3</sup>

### 1. 서 론

최근 다방향 불규칙파의 관측, 분석 등에 관한 기술이 발전하면서 해안 구조물의 설계 시 선형 규칙파 이론이나 그에 따른 경험식보다는 다방향 불규칙파 스펙트럼에 기초하여 설계 변수들을 결정하고 있다. 한편, 최근 해안 구조물의 신뢰성 또는 성능 설계가 도입되고 있다. 설계 시 다른 나라에서 제시한 경험식을 사용하고 있는데 이는 한반도 연안의 특성에 의한 경험식이 아니다. 따라서 한반도 연안에 신뢰성 있는 해안 구조물의 설계를 위해서는 불규칙파의 통계 특성을 제공할 필요가 있다.

본 연구에서는 한국해양연구원(2005)의 파랑 후측 자료를 이용하여 한반도 연안에서 유의파고와 유의파주기의 관계를 고찰함으로써 어떠한 특징을 지니고 있는 지 알아보며, 이를 7년 간의 실측 자료를 이용하여 비교 하고자 한다.

### 2. 유의파고와 유의파주기와의 관계

해안 구조물의 설계파고를 결정할 때, 장기간의 관측 또는 후측된 극치 파고를 통계 분석하여 30년 또는 50년 등의 재현기간에 해당하는 값을 사용한다. 이 때 재현파고에 해당하는 주기의 결정 또한 필요한데 전통적인 방법은 파고-주기 산포도를 그려서 회귀분석을 하는 것이다.

한편 경험식을 통한 방법이 있는데 유의파고  $H_{1/3}$ 과 유의파주기  $T_{1/3}$  사이의 관계에 대하여 몇몇 경험식이 제시된 바 있다. 대부분의 식은 이들

의 관계를  $T_{1/3} = a(H_{1/3})^b$ 의 형태로 나타내고 있다. Goda(2000)는 풍파가 성장함에 따라 파형경사가 0.04부터 0.03까지 감소한다는 사실로부터  $T_{1/3} = (4.0 - 4.6)(H_{1/3})^{0.5}$ 의 관계를 제안하였다. Kamphuis(2000)는 여러 지역의 관측 자료를 분석하여  $a = 3.54 - 4.45$ ,  $b = 0.38 - 0.60$ 의 값을 제시하였다. Shore Protection Manual(1977, 이하 SPM이라 약칭함)에서는

$$T_{1/3} = 3.85(H_{1/3})^{0.5} \quad (1)$$

을 제안하였다. 한편 Goda(2003)는 파랑 체계가 바람에 의해 지배된다는 가정 하에 Wilson(1965)의 공식을 이용하여 풍속과 취송거리를 변화시켜 가며 유의파고와 유의파주기의 상관관계를 조사한 결과, Toba (1997)가 제시한 바와 같이 유의파고가 유의파주기의 3/2승에 비례하는 다음의 관계식을 제안하였다.

$$T_{1/3} \approx 3.3(H_{1/3})^{0.63} \quad (2)$$

본 연구에서는 SPM(1977) 식과 Goda(2003) 식만을 사용한다. SPM 식의 계수들은 Kamphuis가 제시한 계수들의 평균값과 비슷한 반면, Goda 식의 계수들은 Kamphuis 계수들의 경계를 약간 벗어나 있다.

1 발표자: 서울대학교 건설환경공학부 석사과정

2 서울대학교 건설환경공학부 교수

3 한국해양연구원 기후연안재해연구부 책임연구원

### 3. 파랑 후측 자료를 이용한 분석

#### 3.1. 파랑 후측 자료

본 연구에서는 한반도 연안에서의 유의파고와 유의파주기 사이의 관계를 고찰하기 위하여 한국 해양연구원(2005)의 파랑 후측 자료를 사용하였다. 자료는 그림 1과 같이 106개 연안 격자점에서의 50년 재현기간의 설계파고이며, 이는 비태풍성 폭풍과 태풍을 분리하여 비태풍성 폭풍의 경우 2세대 파랑모델인 HYPА 모델을 사용하였고, 태풍의 경우 3세대 파랑 모델인 WAM을 사용하여 계산하였다. 그림 1에서의 106개 지점은 동, 서, 남해안에 해당하는 구역으로 구분하였다. 본 연구에서는 이 지점들에서 1979년부터 2003년까지 25년 동안의 (동일한 기간 동안의 태풍 파랑 자료를 포함하여) 년 최대 파고와 그에 해당하는 주기를 사용하였다.

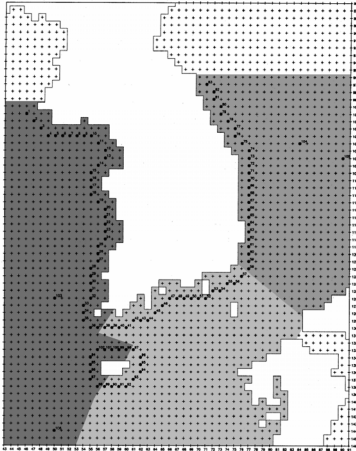


그림 1. 설계파 추정을 위한 연안 격자 지점과 파랑 특성에 대한 지역 구분

그림 2는 동해안 연안격자점 28개 지점에서 1979년부터 2003년까지 25년 동안의 년최대파고 자료에 대한 유의파고와 유의파주기 사이의 관계를 보여준다. 그림 3은 서해안, 그림 4는 남해안에서 같은 기간 동안의 유의파고와 유의파주기 사이의 관계다. 서해안으로 구분되는 연안격자점 49개 지점 중에는 마라도와 제주도의 서북부가 포함되어 있다. 나머지 제주도의 남동부는 남해안의 연안격자점 29개 지점에 포함되었다. 제한된 취송거리를 갖는 서해안과는 달리 마라도와 제주도는 취송거리가 길며 남해안보다 아래쪽에 위치하여 서해안과 남해안과는 다른 특징을 가지므로 본 연구에서는 제주도와 마라도를 제외시켰다. 본 연

구에서는 서해안 연안격자점 49개 지점에서 제주도와 마라도를 제외한 37개 지점에서의 후측 파랑 자료를 사용하였고, 남해안 연안격자점 29개 지점에서 제주도를 제외한 20개 지점에서의 자료를 사용하였다. 그림 2에는 Goda(2003) 식, SPM(1997) 식, 그리고 후측 자료를 곡선맞춤식 등이 같이 그려져 있다. 한반도 연안의 고파랑은 주로 하계 태풍과 동계 계절풍에 의해 발생된다. 동해안의 그림을 살펴보면 파고에 비해 주기가 비교적 작은 아래쪽 그룹과 주기가 큰 위쪽 그룹으로 나누어져 있음을 알 수 있다. 전자는 태풍에 의한 것이고 후자는 계절풍에 의한 것으로 추측되는데 풍파에 대하여 제시된 Goda 및 SPM 식은 아래쪽 그룹을 따라가고 있다. 서해안의 그림을 살펴보면 비교적 단순한 형태의 파고와 주기의 관계를 갖는 것을 볼 수 있는데 이는 서해안의 제한적인 취송거리와 일정한 방향의 동계 계절풍의 영향으로 추측된다. 풍파에 대하여 제시된 Goda 및 SPM 식은 맞춤곡선의 아래쪽에 위치하고 있다. 반면에 남해안의 자료들은 흩어져 있는데 이는 남해안의 고파랑은 주로 태풍에 의해 발생하므로 다양한 태풍의 특성으로 인해 파고와 주기의 변화가 큰 것으로 추측된다.

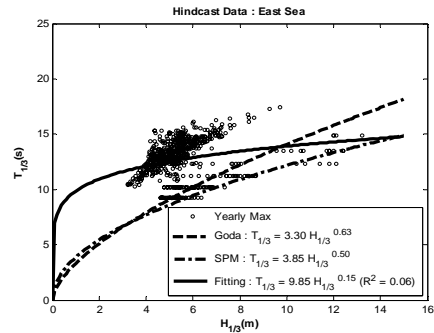


그림 2. 동해안에서 후측된 년최대파의 유의파고와 유의파주기의 관계

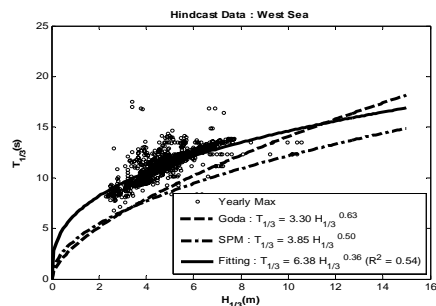


그림 3. 서해안에서 후측된 년최대파의 유의파고와 유의파주기의 관계

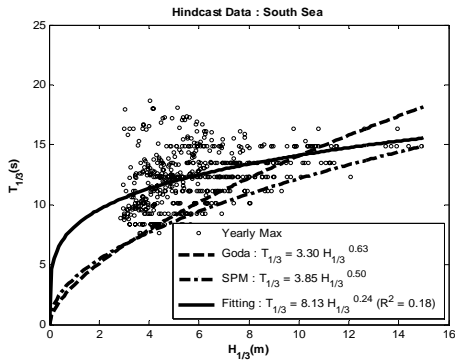


그림 4. 남해안에서 후측된 년최대파의 유의 파고와 유의파주기의 관계

### 3.2. 태풍 시와 비태풍 시의 자료 분석

그림 2에 사용한 자료들의 발생 일시를 파악하여 태풍 시의 자료와 비태풍 시의 자료로 구분하였다. 이를 구분하기 위해서 태풍연구센터의 과거 태풍 자료를 참고하였다. 자료를 통해 태풍이 한반도에 영향을 미친 기간과 이동 경로를 알 수 있기 때문에 파랑 자료가 태풍에 의한 것인지 아닌지를 구분할 수 있다.

그림 5는 동해안에서 태풍 시와 비태풍 시의 유의파고와 유의파주기 사이의 관계를 나타낸다. 각각은 Goda 식, SPM 식, 그리고 자료를 곡선맞춤한 식 등이 같이 그려져 있다. 동해안에서 태풍 시 자료는 여전히 두 그룹으로 나누어지는 특성을 보이지만, 곡선맞춤한 식이 아래쪽 그룹을 따라가는 것을 볼 수 있다. 파고가 큰 경우는 Goda 식과 SPM 식의 중간 정도 값을 보인다. 한편, 비태풍 시의 자료는 태풍 시보다 큰 유의파주기를 보이며 Goda 및 SPM 식보다 큰 주기를 나타낸다. 서해안에서 파랑 자료는 대부분 비태풍 시의 자료로 분류되었다. 태풍 시의 자료와 비태풍 시의 자료를 비교하면 두 곡선맞춤 식은 비슷한 형태로 Goda 및 SPM 식보다 큰 주기를 갖는다. 한편, 남해안에서 태풍 시의 자료와 비태풍 시의 자료는 약간의 차이를 보이지만 곡선맞춤한 식은 비태풍 시의 식이 약간 위쪽에 위치하면서 거의 같은 형태를 보여준다. 파고가 큰 경우 곡선맞춤한 식은 Goda 식과 SPM식의 중간 정도 값을 보인다.

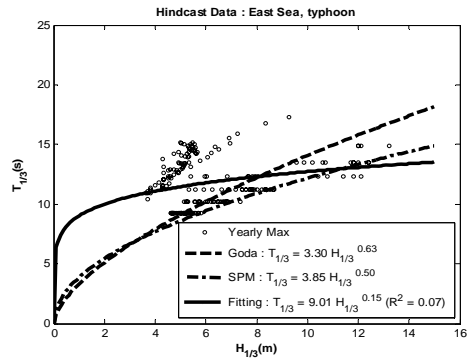
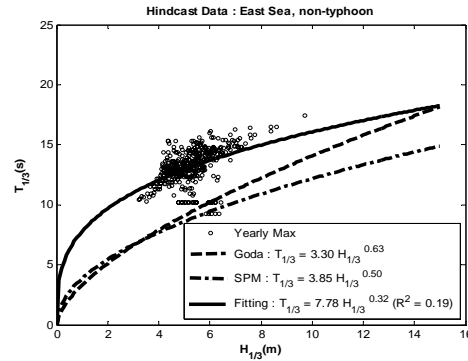


그림 5. 동해안에서 태풍 시와 비태풍 시의 유의파고와 유의파주기의 관계



## 4. 실측 자료

포항, 홍도, 부산에서 1998년부터 2004년까지 7년 간의 관측 자료 중 3 m 이상의 유의 파고를 추출하여 후측 자료 분석 시와 마찬가지로 태풍 시와 비태풍 시의 자료로 구분하여 분석하였다.

포항의 경우는 그림 6과 같이 나타났는데, 이는 후측 자료보다 정도가 약하지만, 파고가 작은 곳에선 Goda 식 및 SPM 식 보다 주기가 크게 나타났다. 포항의 자료에서 태풍 시 3 m 이상의 유의파고가 비교적 적어 분석이 어려웠고, 추출된 3 m 이상의 파고 대부분이 비태풍 시의 자료였다. 홍도의 경우 역시, 곡선맞춤한 식이 후측 자료보다 주기는 다소 작았지만, 파고가 작은 곳에서는 Goda 식 및 SPM 식 보다 주기가 크고 파고가 큰 부분에서는 SPM 식을 따라간다. 홍도 자료는 태풍 시와 비태풍 시의 양상이 거의 비슷하게 나타났다. 부산에서 곡선맞춤한 식은 역시 후측 자료에 비해 주기가 작았고 대부분이 태풍 시 자료로 비태풍 시의 분석이 어려웠다.

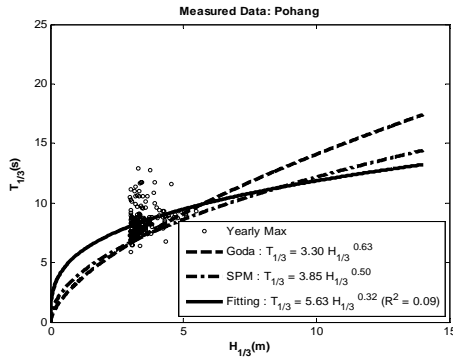


그림 6. 포항에서 실측된 유의파고와 유의파주기와의 관계

## 5. 결 론

한국해양연구원(2005)의 파랑 후측 자료를 이용하여 한반도 연안 격자점에서의 년최대파 자료에 대하여 유의파고와 유의파주기 사이의 관계를 고찰하였다. 동해안의 경우 태풍 시와 비태풍 시의 경향에 뚜렷한 차이를 보여 주었는데 비태풍 시엔 동일한 유의파고에 대하여 태풍 시 보다 더 큰 주기를 가지며 유의파고가 증가함에 따라 그 차이가 커진다. 또한 태풍 시의 자료는 풍파에 대하여 제안된 SPM 및 Goda 식과 잘 맞았다. 동해안의 태풍 시와 비태풍 시 유의파고와 유의파주기를 곡선맞춤한 식은 각각  $T_{1/3} = 9.01(H_{1/3})^{0.15}$  및  $T_{1/3} = 7.78(H_{1/3})^{0.32}$  로 주어진다. 서해안과 남해안의 경우 태풍 시와 비태풍 시의 경향에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 서해안의 경우는 곡선맞춤한 식이 SPM 및 Goda 식 보다 큰 주기를 갖게 되며 유의파고가 증가함에 따라 Goda 식에 가까워진다. 서해안의 경우 제한된 취송거리를 갖기 때문에 이러한 경향을 보여주는 것으로 본다. 태풍 시와 비태풍 시 유의파고와 유의파주기를 곡선맞춤한 식은 각각  $T_{1/3} = 6.29(H_{1/3})^{0.38}$  및  $T_{1/3} = 5.80(H_{1/3})^{0.42}$  로 주어진다. 남해안의 경우는 유의파고가 10 m 이상인 경우 SPM 식과 Goda 식의 중간 정도의 값을 가지며 태풍 시와 비태풍 시 유의파고와 유의파주기를 곡선맞춤한 식은 각각  $T_{1/3} = 7.1(H_{1/3})^{0.30}$  및  $T_{1/3} = 8.14(H_{1/3})^{0.25}$  로 주어진다.

포항, 홍도, 부산에서 7개년 간의 실측 자료 분석 결과, 각 자료의 곡선맞춤 식은 후측 자료에 비해 주기가 다소 작았지만, 각각은 후측 자료의 곡선 맞춤 식의 형태와 유사한 양상을 보여주었다. 자료 분석 결과, 포항의 경우, 대부분이 비태풍 시의 자료로 고파랑의 경우 동계 계절풍의 영향을 더 많이 받는 것을 알 수 있었다. 홍도의 경우엔, 취송 거리가 짧아 태풍 시와 비태풍 시의 양상이 비슷했으며, 부산의 경우는 자료의 대부분이 태풍 시의 자료로 고파랑이 태풍의 영향을 많이 받음을 알 수 있었다.

후측 자료와 실측 자료와의 비교를 통해 후측 자료를 통한 분석이 어느 정도 잘 맞는 지 확인을 하려 했으나, 실측 자료가 많지 않은 관계로 경향을 분석하는데 어려움이 있었다. 차후, 장기간 실측 자료를 이용하여 한반도 연안의 유의파고와 유의파주기 간의 관계를 살펴볼 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국해양수산진흥원 지원과제인 ‘항만구조물 신뢰성 설계법 개발’ 연구과제(PM4840)와 서울대학교 BK21 안전하고 지속가능한 사회기반건설 사업단의 지원을 받았습니다.

## 참고문헌

- 한국해양연구원 (2005). 전해역 심해설계과 추정 보고서 II. BSPE95100-1735-2.
- Goda, Y. (2003). Revisiting Wilson's formulas for simplified wind-wave prediction. *J. Waterw., Port, Coast. and Ocean Eng.* 129(2), 93-95.
- Kamphuis, J. W. (2000). *Introduction to Coastal Engineering and Management*. World Scientific, Singapore.
- Shore Protection Manual (1977). Coastal Engineering Research Center, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.