韓國海岸·海洋工學會誌
第 14 券 第 1 號, pp. 34~40, 2002年 3月

현장관측에 의한 장주기파의 천이특성
Transition Characteristics of Long Period Waves by Field Observation

김규한* · 김덕중** · 류형석*
Kyu Han Kim*, Duk Joong Kim**, and Hyung Seok Yoo*

要 旨 : 본 연구에서는 해안선 부근의 장주기파가 해안침식과 관련이 있음에 주목하여 심해파의 특성으로부터 천해역의 장주기파의 파고를 추정하기 위해 파고계 3대를 해안으로부터 외해방향의 해안종단 방향으로 일직선상에 배치하여 현장관측을 실시하고 그 결과를 분석하였다. 아울러, 장주기파의 발생기구에 관한 기존의 이론을 현장관측을 통해 검증하고, 장주기파의 발생기구를 토대로 심해파 제원과 천해역의 장주기 파고와의 관계를 검토하였다. 관측된 장주기파는 기존의 이론과 대체적으로 일치하였으며, 심해파와 장주기파 사이에는 선형적인 대응이 있음을 확인하였다. 또한, 장주기파의 공간적·시간적 변화를 추가하기 위하여 각 지점별로 관측된 장주기파를 합성함으로서 장주기파의 파고를 계산하였다. 그 결과, 장주기파와 심해파 사이의 관계는 더욱 뚜렷한 경향을 나타내었으며, 양자로부터 장주기파의 추정식을 도출할 수 있었다. 따라서, 이를 이용함으로서 해당지역의 천해역에 존재하는 장주기파랑의 규모가 심해파랑의 자료로부터 예견될 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 장주기파, 현장관측, 심해파, 장주기파의 합성

Abstract □ In order to estimate the height of long period wave from character of deep water wave, field observation is carried out three wave gauge are arranged by a straight line from the seashore to offshore direction and the result is analyzed. In addition, the existing theory of the mechanism for long period wave producer is verified by field observation, and the relation between deep water wave and long period wave of shallow area is examined. Observed long period wave is coincided with the existing theory for the most part. In order to add the change of time and space of long period wave, the height of long period wave is calculated by the composition of long period wave in each position. As a result, the relation of long period wave and deep water wave is presented more clear. Estimate formula is drew through them.

Keywords : long period wave, field observation, deep water wave, composition of long period wave

1. 서 론

장주기파는 고파랑 내습시 현저해지며, 해안선에서 파고가 최대가 된다. 최근, 해안선 부근의 장주기파의 파고가 전빈(前浜)의 지형변화, 특히 퇴적·침식 한계수준과 관련된다는 점이 이론적으로 지적되고 있다. 加藤 等(1989)은 이러한 장주기파의 발생특성에 주목하여 고파랑 내습시 해안침식과 장주기파와의 관련을 현장자료에 기초하여 고찰하고, 해안선의 침식 한계수준이 해안선에서의 조위와 장주기파의 파고에 의해 결정됨을 분명히 하였다. 이것은 심해파의 특성으로부터 해안선에서의 장주기파의 파고를 추정할 수 있으면, 고파랑 내습시 해빈의 급격한 침식정도를 미리 예측하는 것이 가능함을 나타낸다. 또한, 장주기파의 발생을 억제함으로서 태풍이나 저기압 통과시 급격한 해안침식을 경감시킬 수 있는 해안방재공법의 개발이 가능함을 시사한다. 아울러, 장주기파의 발생에 대하여 Longuet-Higgins & Stewart(1962), Symonds & Bowen (1984) 등이 나름대로의 발생기구를 각각 제시하였으나,

*관동대학교 건설환경시스템공학부(Corresponding author : Kyu Han Kim, Division of Civil and Envir. System Eng., Kwandong University, Imchunri, Yangyang-gun, Gangwondo, 215-800, Korea. kkhkim@mail.kwandong.ac.kr)
**관동대학교 산업기술개발연구소(Institute of Industrial Technology and Development Kwandong University)

이들 이론의 타당성이 현장자료에 의해 충분히 검증되고 있다고 말하기 어려운 실정이다. 加藤 等(1991), Kim *et al.* (1999) 등은 심해파 특성으로부터 천해역에 존재하는 장주기파 특성을 추정할 수 있는 모형을 제안하고 있으나, 아직 어느 지역에서나 적용가능한 보편타당성 있는 결과를 도출할 수 있는 수준에 이르지 못한 상황이다. 이러한 검토를 수행하기 위해서는 해당지역에 존재하는 장주기파 특성을 구체적으로 검토하고, 그 발생기구를 면밀히 살펴볼 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 장주기파의 발생기구에 관한 기존의 이론을 현장관측을 통해 검증하고 아울러, 장주기파의 발생기구를 토대로 하여 심해파 제원과 천해역의 장주기파의 상호 관계를 검토하여 보았다.

2. 현장관측 및 자료해석

장주기파의 공간적·시간적 변화를 조사하기 위한 현장관측은 한국 동해북부에 위치한 영랑동 해안을 대상해역으로 설정하여 파고계 3대를 해안종단방향 즉, 해안으로부터 외해방향의 일직선상(Fig. 1 참조; 수심 7 m, 13 m, 23 m의 지점에 각 1대)에 설치하고, 27일동안(2001. 1. 31~2001. 2. 26) 자료수집간격을 1.0 sec로 설정하여 연속측정을 실시하였다. 본 연구에서는 간헐식 측정에 의한 Burst error를 피하기 위해 1 sec 간격의 연속관측을 수행했으며, 계측치는 모두 파고계 자체 Memory에 저장되게끔 하였다. 여기서 사용된 파고계는 모두 I.O.Tech.社의 Wave Hunter-102이며, 파고는 물론 파향, 유속, 유향을 동시에 측정 저장하도록 되어 있다.

Fig. 2는 영랑동 외해의 D.L.(-)23.0 m 지점에서 측정된 유의파랑의 시간적 변화상황이다. 심해 유의파고는 2월 7일 오전에는 1.30 m 이하였으나, 2월 7일 오후부터 급격히 증가하여 최대파고 1.90 m를 기록하였다. 그 후 서서히 감소하여 2월 9일에는 0.50 m 이하로 낮아졌으며, 2월 16일과 23일에 각각 최대파고 1.50 m, 1.96 m를 나타내었다. 또한, 심해 유의파주기는 2월 6일까지의 7~11sec에서 서서히 짧아져서 6일~14일까지 7~8sec의 분포를 나타내었으며, 이후 다시 7~9sec의 분포를 나타내고, 23일에는 10.6sec가 되었다. 결국, 관측기간중의 파고·주기의 변화에는 시간적인 차이가 있었으며, 본 관측대상지역인 영랑동 해역에서의 관측기간중 심해 유의파고는 7~8일 간격으로 증감하는 경향이 확인되었다.

3. 기존 이론의 검증

3.1 Goda(1975)의 경험식의 검증

Goda(1975)는 현장자료와 실험을 토대로 심해파 제원으로부터 임의 수심지점에 대한 장주기파(surf beat)의 파고를 추정하는 식을 다음과 같이 제안하였다.

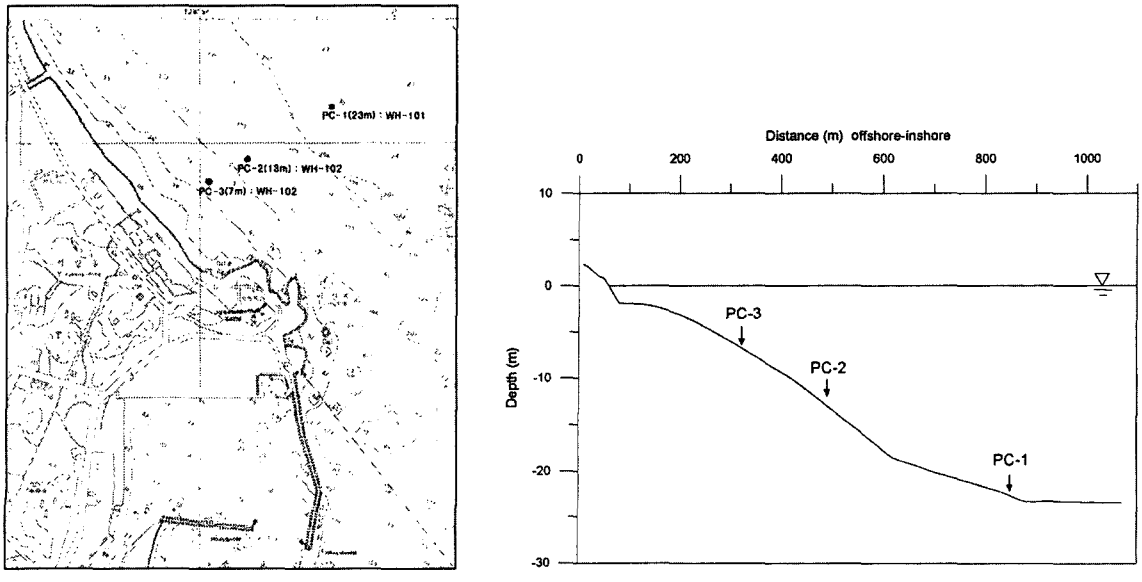


Fig. 1. Arrangement of wave height gauge.

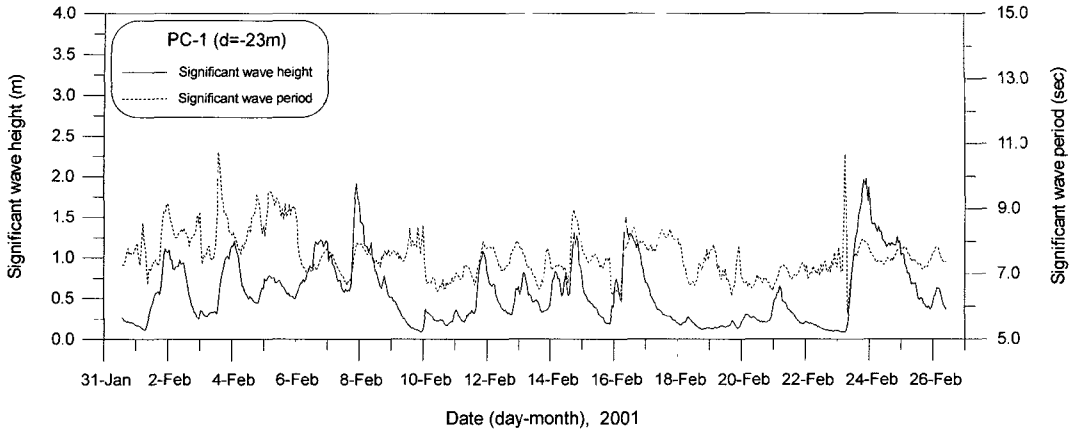


Fig 2. Variation of deep water wave heights & periods.

$$H_L = \frac{AH_0'}{\sqrt{\frac{H_0'}{L_0}\left(1+\frac{h}{H_0'}\right)}} \quad (1)$$

여기서, H_L은 장주기파(surf beat)의 파고, H_0'는 심해파의 환산유의파고, L_0는 심해파의 파장, h는 수심, A는 상수로 0.01이다. 식 (1)은 경험적으로 구해진 식이며 장주기파의 발생원인을 고려한 것은 아니지만 간편한 식이므로 검증의 대상으로 하였다.

Fig. 3은 수심 23 m 지점에서 측정한 유의파 제원을 사용하여 식 (1)에 의해 계산된 천해역의 장주기파고 $H_{L(Goda)}$과 수심 13 m, 7 m에서 각각 관측된 장주기파의 파고 $H_{L(Obs.2)}$, $H_{L(Obs.3)}$를 비교한 것이다. 단, 식 (1)에서는 각각 관측수심 13 m와 7 m로 하였다. 그 결과, 장주기파고가 4 cm 이내의 비교적 작은 경우에는 잘 일치하는 경향을 나타내 주지만, 그보다 큰 파고의 경우에는 계산치가 작게 평가되는 경향이 나타나고 있다. 따라서 Goda(1975)의 식은 자연해빈의 장주기파의 추정 및 해빈의 침식 예측등에 적용하는데 있어 비교적 작은파의 적용에는 무리는 없을 것으로 보여지나 고파랑의 경우에는

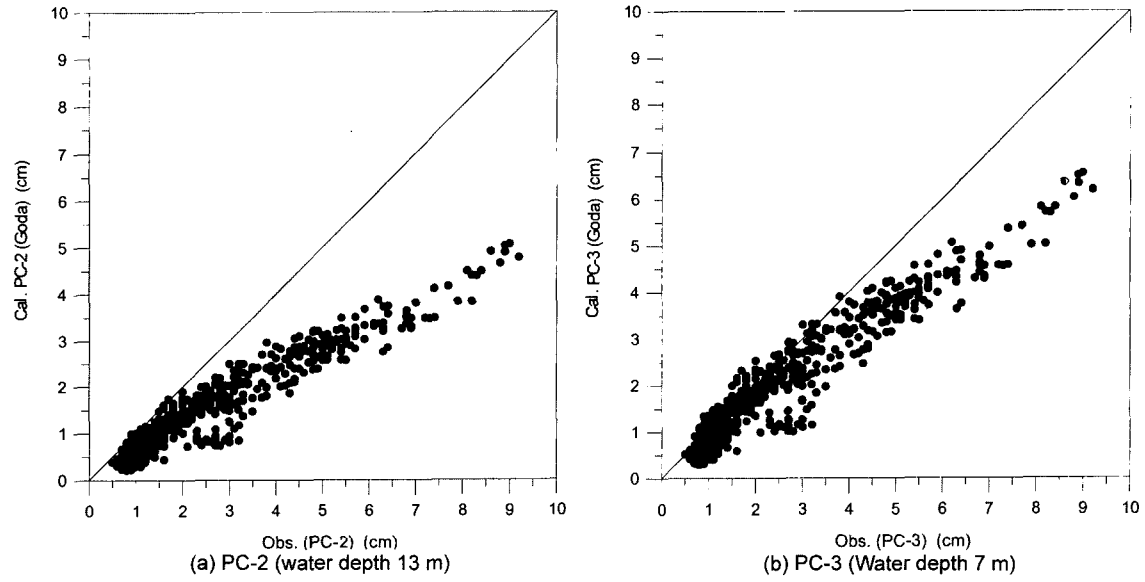


Fig 3. Verification of Goda(1975) method.

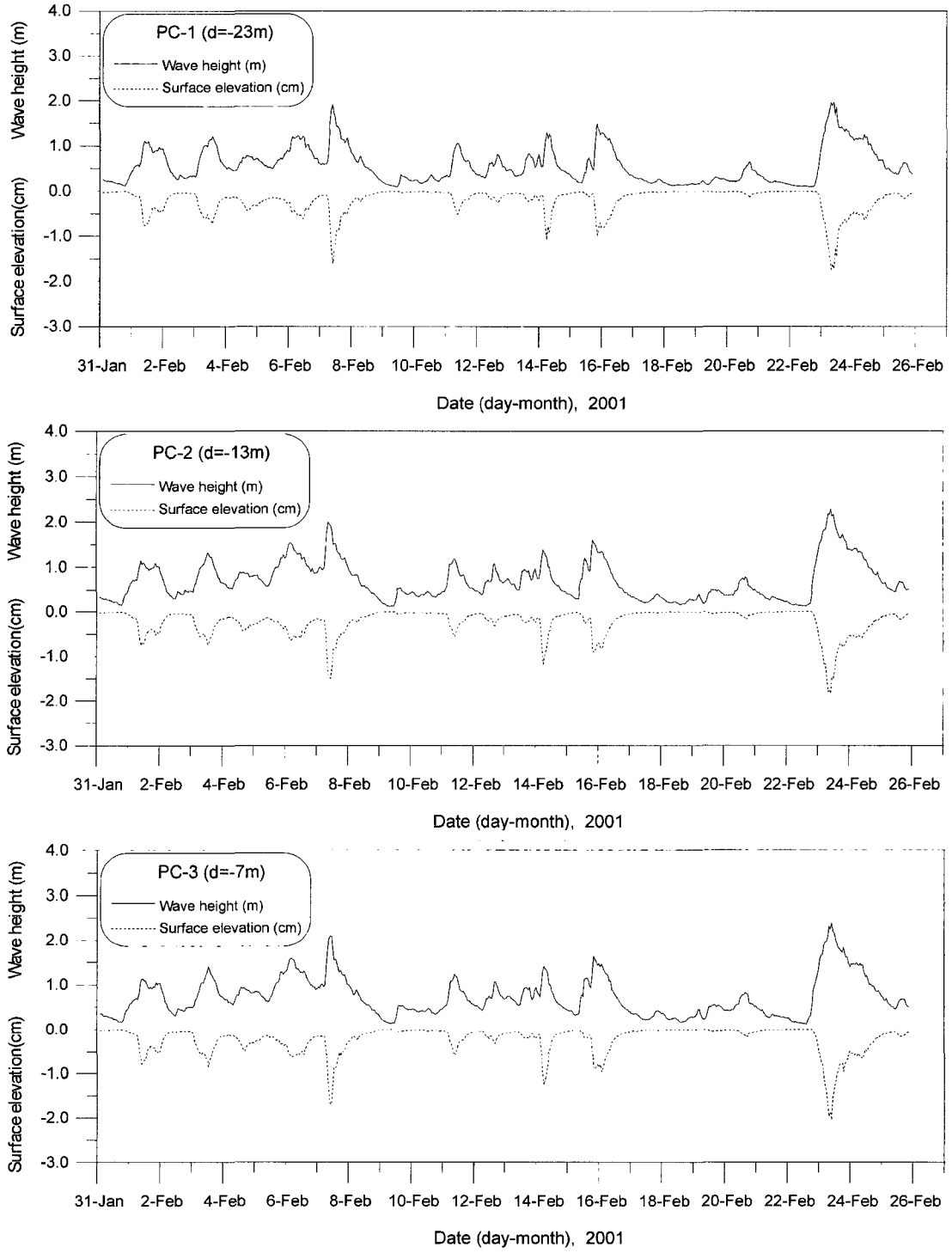


Fig. 4. Relation of water level and wave height before the water breaking.

추가검토가 병행되어져야 할 것이다. 아울러, 加藤 等(1991)이미 언급한 것처럼 이 식은 경험적으로 구해진 식이며, 장주기파의 발생 기구에 입각한 것이 아니므로 구조물이 있는 경우에는 신중한 검토가 요구된다고 할 수 있다.

3.2 Longuet-Higgins & Stewart(1962)의 이론 검증

Longuet-Higgins & Stewart(1962)는 잉여응력(radiation stress)의 개념을 이용하여 고파가 연속된 경우에 평균 수위가 저하되어 장주기파(surf beat)가 발생한다는 이론을 제안하였다. 이러한 장주기파는 파군과 함께 진행하는 구속파이며 쇄파 과정에서 자유 장파가 된다고 생각하였다. 따라서, 이 이론을 현장 관측치를 이용하여 검증하기 위해 수심 13 m와 7 m 지점에서 관측한 자료를 기초로 장주기파의 수면변동 η를 다음 식 (2)에 의해 구하였다.

$$\eta = -\frac{S_{xx}}{\rho(gh - C_g^2)} + const. \tag{2}$$

여기서, S_{xx}는 잉여응력, h는 수심, C_g는 zero-up-cross 법에서 정의된 각 수심에서 파의 군속도, g는 중력가속도, 그리고 ρ는 물의 밀도이다. 또한, 식 (2)중의 상수는 η의 평균값이 0이 되도록 결정하였다. 그리고, 각각의 파고 및 주기를 식 (2)에 대입하여 계산한 η를 기초로 하여 다음 식(Cartwright & Longuet-Higgins, 1956)으로 장주기파의 파고(H_L)를 계산하고 관측된 장주기파의 파고와 비교하였다.

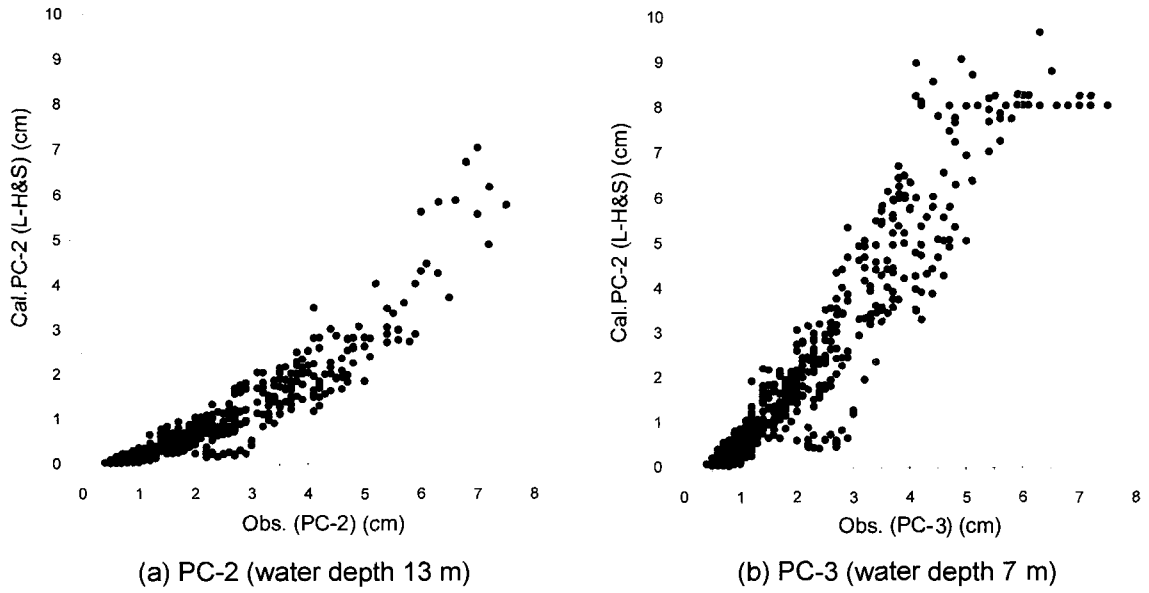
$$H_L = 4\sqrt{\eta^2} \tag{3}$$

Fig. 4는 수심 13 m에서 관측한 자료를 기초로 식 (2)에 따라 장주기파의 수면변동 η와 파고의 관계를 도시한 것이다. Fig. 4로부터 파랑의 불규칙한 배열 중 고파가 이어지는 부분에서 평균수위가 저하되는 현상을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 관측된 장주기파의 파고와 식 (3)에 의해 계산된 장주기파고를 비교한 것이다. 수심 13 m 지점에서는 계산치의 값이 다소 작게 평가되었으나, 양자의 사이에는 선형적인 상관관계가 나타났다. 이것으로부터 관측대상해역의 경우 장주기파의 요인이 파군에 의한 wave setdown에 있다고 생각할 수 있다.

4. 심해파 제원을 사용한 천해역의 장주기파의 파고 추정

Goda(1975)의 경험식 및 Longuet-Higgins & Stewart (1962)의 이론과 본 연구에서 수행된 현장자료의 비교를 통해 이들 이론을 검증하여 보았다. 이제, 본 절에서는 심해파와 장주기파의 상호관계를 살펴보기로 한다. 이는 심해파와 장주기파와의 관계를 도출함으로서 심해파로부터 장주기파의 정량적인 파랑특성을 손쉽게 예측하기 위한 것이다. 우선, 수심 23 m 지점에서 측정한 심해 유의파고 $(H_0)_{1/3}$와 수심 13 m에서 관측된 장주기파의 유의파고



(a) PC-2 (water depth 13 m) (b) PC-3 (water depth 7 m)

Fig. 5. Verification of Longuet-Higgins & Stewart(1962) method.

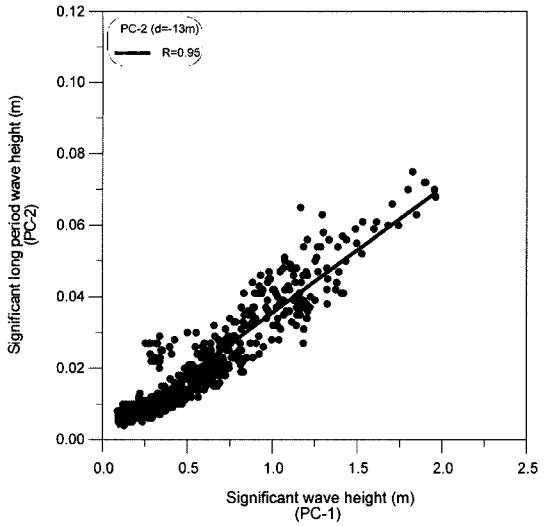


Fig. 6. Comparison of $(H_0)_{1/3}$ & $H_{L(Obs.2)}$.

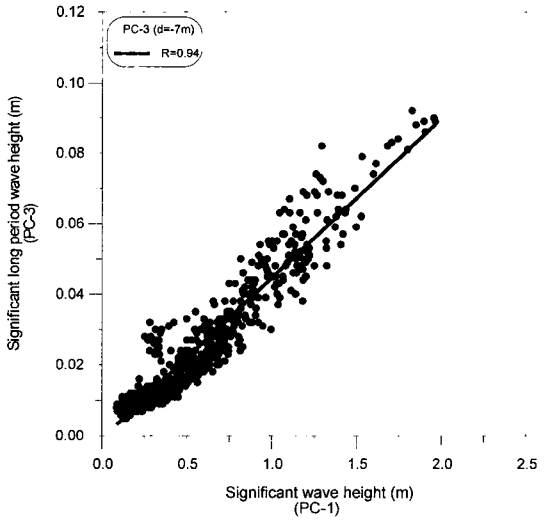


Fig. 7. Comparison of $(H_0)_{1/3}$ & $H_{L(Obs.3)}$.

$H_{L(Obs.2)}$와의 관계를 비교하여 Fig. 6에 도시하였다. 아울러, Fig. 7은 동일한 심해 유의파고 $(H_0)_{1/3}$와 수심 7 m에서 관측된 장주기파의 유의파고 $H_{L(Obs.3)}$와의 관계를 비교한 것이다.

그림으로부터 양자의 관계는 대체적으로 선형적인 대응을 나타내는 것을 알 수 있으며, 직선의 회귀선을 도출하여 1차 회귀식을 산정한 결과 높은 상관도를 나타내었다. 이와 같이 심해 유의파고와 장주기파 사이에는 일정한 상관관계가 정의되는 것으로부터 장주기파의 공간적·시간적 변화를 추가하기 위하여 다음 식 (4)를 이용하여 PC-2와 PC-3에서 관측된 장주기파를 합성하고 장주기파의 파고를 계산하였다.

$$H_{L\,total} = \sqrt{H^2_{L(Obs.2)} + H^2_{L(Obs.3)}} \tag{4}$$

여기서, $H_{L(Obs.2)}$은 PC-2(수심 13 m)에서 관측된 장주기파의 유의파고, $H_{L(Obs.3)}$은 PC-3(수심 7 m)에서 관측된 장주기파의 유의파고이다.

Fig. 8은 수심 23 m 지점에서 측정한 심해 유의파고와 식 (4)에 의해 계산된 H_{Ltotal}과의 관계를 비교한 것이다. Fig. 8에서와 같이 식 (4)에 의해 계산된 장주기파 (H_{Ltotal})와 심해 유의파고$((H_0)_{1/3})$ 사이의 관계는 더욱 뚜렷한 경향을 나타내고 있다. 또한, 양자로부터 직선의 회귀선을 도출하여 다음과 같이 1차 회귀식을 산정하였다.

$$(H_L)_{1/3} = 0.057(H_0)_{1/3} \tag{5}$$

식 (5)의 관계를 이용하면 심해 유의파 제원으로부터 입사파랑에 포함된 장주기파의 파고를 추정할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서 얻어진 주요 결론 및 향후 연구과제는 다음과 같다.

- 자연 해빈의 천해역에서 장주기파의 파고는 Goda (1975)의 경험식에 의해서도 추정할 수 있으나, 비교적 큰 파랑에 대해서는 관측치에 비해 과소 평가됨이 확인되었다.

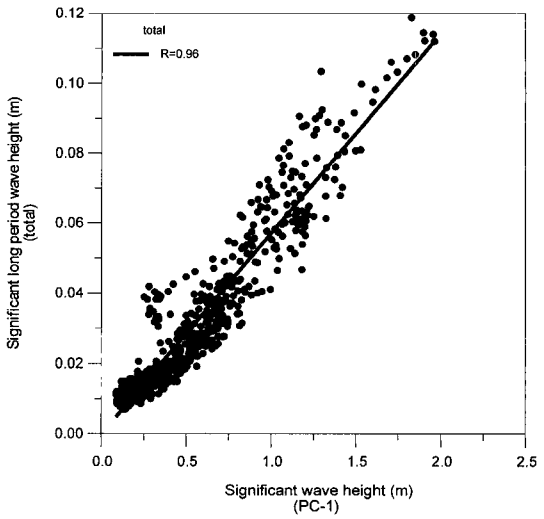


Fig. 8. Comparison of $(H_0)_{1/3}$ & H_{Ltotal}.

- 속초해역의 경우 장주기파의 요인을 파군에 구속된 wave setdown으로 생각할 수 있다.

- 심해 유의파와 장주기파는 선형적인 대응을 나타내며, 속초해역의 경우 $(H_L)_{1/3}=0.057(H_0)_{1/3}$로 표시된다. 따라서, 심해 유의파가 주어지면 천해역에서의 장주기파를 추정할 수 있다.

- 본 연구에서 추론된 식은 대상해역의 동계시 국부적인 관측치에 근거한 것이므로, 보다 보편성을 갖춘 일반적인 식을 도출하기 위해서는 보다 많은 해역에서의 계절별 장기관측을 통한 다수의 데이터를 축적하여 비교·검토를 계속할 필요가 있을 것이다.

참고문헌

Cartwright, D.E. and Longuet-Higgins M.S., 1956. The statistical distribution of the maxima of random function, *Proc. Roy. Soc. London*, Ser. A, **237**, pp. 212-232.

Kim, K.H, Kim, J.H. and Pyun, C.K., 1999. A study on characteristics of long period waves by field observations. *Conf. of Civil Eng. In Korea(III)*, KSCE, in Korean, 427-430.

Longuet-Higgins, M.S. and Stewart, R.W., 1962. Relation stress and mass transport in gravity waves, with application to 'surf beats'. *J. Fluid Mech.*, **13**, pp. 481-504.

Symonds, G. and Bowen., A.J. 1984. Interactions of nearshore bars with incoming wave groups. *J. Geophys. Res.*, **89**(C2), pp. 1953-1959.

加藤一正, 中村聰志, 池田直太., 1990. 波の連なりと長周期波關連に關する現場觀測, 海岸工學論文集, **37**: 101-105.

加藤一正, 中村聰志, 池田直太., 1991. 現場データによる長周期波發生理論の檢証, 海岸工學論文集, **38**: 86-90.

加藤一正 *et al.*, 1989. 荒天候のバーム地形の侵食 - 長週期波に注目した現地觀測, 海岸工學論文集, **36**: 354-358.

合田良実 1975. 淺海域における波浪の碎波變形. 港灣技術研究所報告, **14**(3): 481-504.

Received January 14, 2002
Accepted March 2, 2002