

## 碎波壓의 實海域 측정 In Situ Measurement of Breaking Wave Pressures

심재설\* · 전인식\*\*

Jae-Seol Shim\* and In-Sik Chun\*\*

**要 旨** : 圓形 파일에 작용하는 卷波性 碎波力은 쇄파제원과 동일한 正弦波를 대상으로 한 모리슨식의 계산치보다 그 크기는 월등 크나 보통 백분의 수초 이내의 매우 짧은 시간 동안 작용한다. 따라서, 碎波力을 받는 파일의 설계에서 파일의 變位를 정확히 결정하기 위해서는 쇄파력 작용에 의한 動的 擧動을 해석하여야 한다. 이를 위해서는 파일 延長上 쇄파력의 시계열에 대한 事前 정보가 필요하며, 이는 파일 주변의 碎波壓 시계열로부터 간접적으로 추정할 수 있다. 본 연구에서는 卷波性 碎波의 작용에 따른 쇄파압의 특성을 정량적으로 고찰하기 위하여 實海域에 설치되어 있는 원형파일에 波壓計를 부착하여 쇄파압을 관측하고 그 결과를 제시하였다.

**핵심용어** : 쇄파력, 쇄파압, 파압계, 실험역 실험

**Abstract** □ The magnitude of breaking wave forces given by plunging breakers incident on a pile structure is much greater than the forces calculated by Morison's formula, but those forces may act on pile for very short duration in the range of a few multiples of 0.01 second. Hence, a dynamic analysis for the impact forces of breaking waves may be necessary for the accurate determination of pile displacements in the first stage of design. The time series of the impact force along the pile length is thus required, which may be estimated from the pressure distribution. In the present study, breaking wave pressures are measured for a vertical pile at real field which is easily subjected to plunging breakers in stormy weather conditions. The measured data are analyzed and compared with other results to quantify the characteristics of breaking wave pressures in real fields.

**Keywords** : breaking wave forces, breaking wave pressures, wave pressure sensor, in situ experiment

### 1. 서 론

최근 연안역 개발은 주로 해상활동과 육상활동의 원활한 연결을 추구하는데 초점이 모아지고 있으며, 新 항만 조성 및 해양구조물의 위치선정이 주로 배후 지역의 경제 및 산업적 요구에 의하여 결정되는 수가 많다. 따라서, 구조물들의 설치가 기존의 天然의 방호지역에만 머무르지 않고 大水深, 연약지반과 그리고 碎波帶 등을 포함하는 악조건 하에 시공하여야 하는 경우가 자주 발생한다. 구조물의 설계에서 設計外力의 정확한 결정은 구조물의 安全度 측면에서 매우 중요한 의미를 갖고 있으며 결정기법 역시 구조물 설치조건과 더불어 다변화

되고 있는 추세이다.

특히, 碎波帶에 구조물이 위치할 경우, 卷波性 碎波(plunging breaker)는 正弦波의 수 배에 달하는 강한 衝擊力을 구조물에 작용시키는 것으로 알려져 있다. 케이슨식 방파제 등의 직립벽을 갖는 구조물에 대해서는 이미 碎波力을 설계파력으로 채택하는 설계지침이 제공되어 있으며(Goda, 1985, pp. 107-144), 관련연구가 지속적으로 수행되고 있다. 이에 반하여, 棧橋, 連陸橋, 자켓식 타워 등 파일로 지지되는 구조물들에 대해서는 아직도 기존의 正弦 및 對稱性波를 대상으로 하는 모리슨식만을 사용하여 波力을 산정하는 것이 상례로 되어 있다. 그러나, Honda and Mitsuyasu(1974)는 실험적 연

\*한국해양연구소 연안·항만공학연구센터 (Coastal and Harbor Engineering Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute, P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea)

\*\*건국대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Konkuk University, 93-1 Mojin-Dong, Kwangjin-Ku, Seoul 143-701, Korea)

구를 통하여 연직파일에 작용하는 쪼碎波力 및 모멘트가 모리슨식 계산치의 수배에 이르고 있음을 보인 바 있으며, 沈 等(1998)은 수치해석을 통하여 이를 입증한 바 있다.

한편, 쪼碎波力을 직접 받는 구조물의 설계측면에서 볼 때, 쪼碎波力의 크기만을 반영하는 靜的設計는 매우 큰 部材斷面을 채택할 가능성이 있다. 왜냐하면, 쪼碎波力은 그 값이 매우 크지만 작용시간은 수백분의 1초 정도로 매우 짧기 때문이다. 따라서, 구조물 설계에서 쪼碎波力의 반영 정도를 결정하기 위해서는 구조물의 動的解析을 수행하여야 한다. 한국해양연구소(1998)는 쪼碎波力을 받는 연직 원형파일에 대한 동적 및 정적 변위를 계산하였으며, 이들 변위들의 상관적 관계가 파일의 剛性에 따라 현저히 다를 수 있음을 보인 바 있다.

쪼碎波力 작용에 의한 구조물의 動的應答을 계산하기 위해서는 쪼碎波力의 연직분포 및 作用履歷이 중요하다. 현재, 쪼碎波力 연구는 실험실 연구가 主種을 이루고 있으며, 연직파일의 上部 또는 일부구간에 力력측정장치를 부착하여 쪼碎波力을 측정하는 것이 일반적이다. 畠田 等(1966)은 경사면에 위치한 연직파일의 전체에 작용하는 쪼碎波力을 측정하였으나, 쪼碎波力 분포에 대해서는 쪼碎波峰 이하 일정거리 이내에서는 균일한 쪼碎波力이, 그리고 그 이하에서는 쪼碎波高와 동일한 力을 갖는 線形波의 力이 작용한다고 가정하였다. 谷木 等(1986)은 연직파일을 포함하여 경사면에 여러 각도로 위치한 파일에 대하여 삼각형 형태의 쪼碎波力 분포 및 作用履歷을 제시하였다. 한편, Zhou *et al.*(1991)은 力 대신에 波壓을 측정하여 쪼碎波壓의 연직분포를 제시하였다. 그러나, 쪼碎波壓의 분포가 谷木 等(1986)이 제안한 삼각형 형태의 쪼碎波力 연직분포와 정성적으로 일치함에도 불구하고 쪼碎波의 형태가 일정 수심에서 성분파의 조합에 따른 深海性 쪼碎波이기 때문에 卷波에 의한 쪼碎波壓으로 보기는 어렵다.

본 연구에서는 圓錐성 쪼碎波의 작용에 따른 쪼碎波壓의 특성을 좀 더 정량적으로 고찰하기 위하여 實海域에 설치되어 있는 圓形 파일에 力壓계를 부착하여 쪼碎波壓을 관측하였다. 力壓의 실험적 측정은 국내에서는 처음 수행하는 것이므로 力壓계의 선정에서 측정에 이르기까지 제반 절차를 세부적으로 검토하여 그 결과를 제시하기로 한다.

### 2. 쪼碎波壓의 결정

쪼碎波가 연직파일에 충돌할 때 발생하는 쪼碎波力의 분

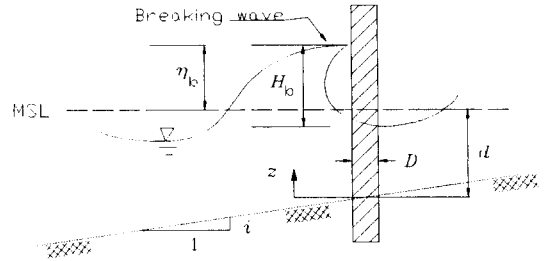


Fig. 1. Scheme of plunging breaker impinging on vertical pile.

포를 설명하기 위하여 谷木 等(1986)은 최대파력  $f_b$ 는 쪼碎波峰에서 나타나지 않고, 쪼碎波峰에서 일정거리  $\delta/2$  이하에서 발생한다고 하였으며, 쪼碎波力 연직분포에 대한 모델을 다음 식 (1)과 같이 제시하였다.

$$f_z = \left\{ 1 - \frac{|l_p - (z-d)|}{\delta/2} \right\} f_b; \quad l_p - \delta/2 \leq z \leq \eta_b \quad (1)$$

여기서,  $d$ 는 평균수심,  $z$ 는 바다를 원점으로 한 연직좌표이며(Fig. 1참조),  $\delta$ ,  $l_p$ ,  $f_b$ 는 각각 쪼碎波제원, 해저경사도, 파일직경 등에 의존하는 변수이다(한국해양연구소, 1998).

畠田 等(1966)은 쪼碎波卷入率  $\lambda$ 를 도입하여 충격쪼碎波압은 쪼碎波峰高  $\eta_b$ 로부터 일정거리 이하까지 즉,  $\lambda\eta_b \leq z \leq \eta_b$ 의 구간에서 일정하다는 가정하에 쪼碎波壓의 최대치를 산정하는 방법을 다음 식 (2)와 같이 제시하였다.

$$p_{max} = k_b \rho_w g H_b \quad (2)$$

여기서

$$k_b = \frac{\pi C_b^2}{2gH_b} \quad (3)$$

$$C_b = \sqrt{g(d_b + H_b)} \quad (4)$$

$d_b$ ,  $H_b$ ,  $\rho_w$ 는 각각 쪼碎波발생 수심, 쪼碎波高, 해수의 밀도를 의미하고,  $C_b$ 는 쪼碎波파속을 뜻한다.

Zhou *et al.*(1991)은 실험적 연구에서 불규칙파 각 성분파의 位相을 조합하여 쪼碎波를 발생시킨 다음, 실험파일에 작용하는 충격쪼碎波압을 측정, 분석하여 쪼碎波壓의 연직분포가 대략적으로 삼각형 형태를 이룸을 보였다. 또한, 충격쪼碎波壓의 작용범위로  $\Delta z \approx 0.03L$ ,  $\Delta \theta \approx 20^\circ$ ,  $\Delta t = 0.01T$ 를 제시하였다(Fig. 2참조). 여기서,  $L$ ,  $T$ 는 접근파의 파장과 주기를 의미한다.

한편, 임의점  $z$ 에서 원주주변의 尖頭壓力(peak pressure)의 분포를 다음 식 (5)와 같이 제시하였다.

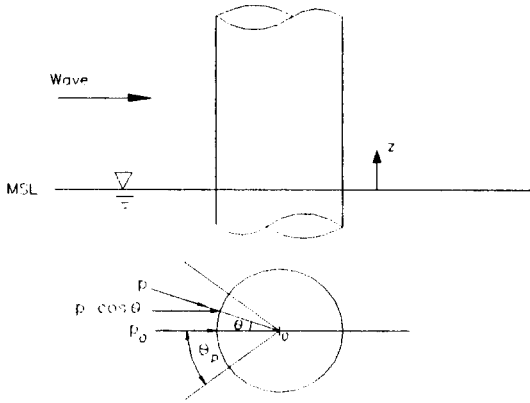


Fig. 2. Incidence of breaking wave pressure.

$$p = p_0 \cos^2 \theta (1 - M \sin \theta) \tag{5}$$

여기서,  $M$ 은  $z$ 와 그리고 쇄파점의 위치에 따른 분포상수(1.0 이하)이며  $p_0$ 는  $\theta=0^\circ$ 에서의 正面波壓이다.

Fig. 2를 참조하면 충격쇄파압의 침투치가 작용할 때 충격쇄파력은 식 (5)를 이용하여 다음 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} f_z &= 2 \int_0^{\theta_p} p r \cos \theta \, d\theta \\ &= 2 p_0 r \int_0^{\theta_p} \cos^3 \theta (1 - M \sin \theta) d\theta \end{aligned} \tag{6}$$

여기서,  $\theta_p$  쇄파압의 최대작용각도이다. 정면파압  $p_0$ 는 쇄파발생시 水粒子의 충돌속도와  $z$ 의 함수이다. 상수  $M$ 은 Zhou *et al.*(1991)이 제시한 표를 이용하여 결정할 수 있기 때문에 파압  $p_0$ 를 알면 식 (6)을 이용하여 충격쇄파력  $f_z$ 를 결정할 수 있다. 본 實海域 實驗은 파압  $p_0$ 의 속성을 파악하기 위한 것이다.

### 3. 實海域 쇄파압 측정

#### 3.1 구조물의 선정

실해역 측정의 대상구조물은 동해안 양양군의 물치항에 설치되어 있으며, 현재 속초공항의 항공기 유도등대로 사용되고 있는 직립 원형단면파일로 하였다. Photo 1은 등대를 보여주고 있으며, Fig. 3은 실험대상 등대의 제원 및 파압계, 가속도계의 부착 위치를 보여준다. 단면은 하부가 직경 0.8 m, 상부가 0.7 m의 복합단면으로 이루어져 있으며, 파일의 재질은 鋼管이고 관벽의 두께는 공히 10 mm이다.

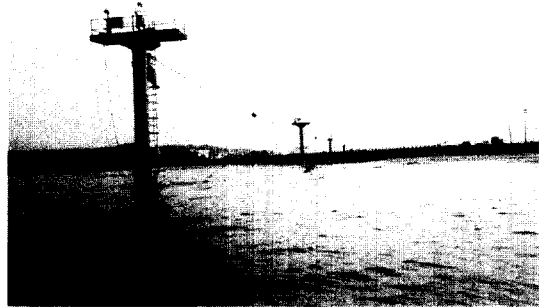


Photo 1. Lighthouse used in the real field measurement of breaking wave pressures.

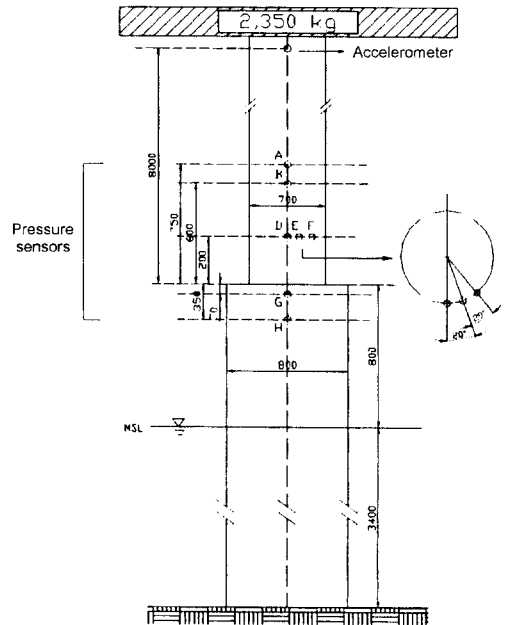


Fig. 3. Scheme of lighthouse and the location of pressure sensors.

#### 3.2 實海域 관측장비

##### 3.2.1 파압계

실해역 파압측정은 국내에서 처음 시도되는 것으로 측정범위에 대한 정보가 없기 때문에 관련 문헌을 조사하였다. 연직 圓形 파일에 대한 문헌이 최소하기 때문에 직립식 방파제의 衝擊壓에 대한 문헌도 참조하여 그 결과를 Table 1에 정리하였다.

Table 1에 나타난 파압은 쇄파의 충돌에 의한 動水壓이나 실제로 파압계가 받는 압력은 靜水壓과 동수압의 합이다. 그러나, Table 1을 참조할 때 전수압에서 쇄

**Table 1.** Maximal pressures from breaking wave impact.

Authors	$H_b$ (m)	$T$ (s)	$d_b$ (m)	$p_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	구조물의 종류
Partensky(1988)	1.5			7.1	직립 케이슨
Schmidt <i>et al.</i> (1992)	1.57	6.75		3.1	직립 케이슨
Marinski and Oumeraci(1992)	4.8	8		1.6	직립 케이슨
畠田良實 等(1996)	2.0		6.0	1.3	원형파일

파고  $H_b$ 에 의한 靜水壓이 차지하는 크기는 동수압에 비하여 매우 미약하다(1 kgf/cm<sup>2</sup>: 수두 10 m의 정수압에 해당). 畠田 等(1996)은 동수압을 계산하기 위하여 von Karman(1929)의 충격력 계수  $\pi$ 를 이용하였으나 Wagner(1932)의 수치  $2\pi$ 를 이용하여도 최대동수압은  $p_{max}=2.6$  kgf/cm<sup>2</sup>가 된다. 따라서, 본 실험역 측정에서는 계속한계가 5 kgf/cm<sup>2</sup>인 스트레인 게이지식 파압계를 선정하였다.

### 3.2.2 加速度計

대상파일의 쇄파력 작용에 의한 동적응답을 알아보기 위하여 파일상부에 스트레인 게이지식 가속도계를 부착하였다. 三軸 측정이 가능하며 각각의 계속한계는 1g이다.

### 3.2.3 증폭기 및 데이터 독취

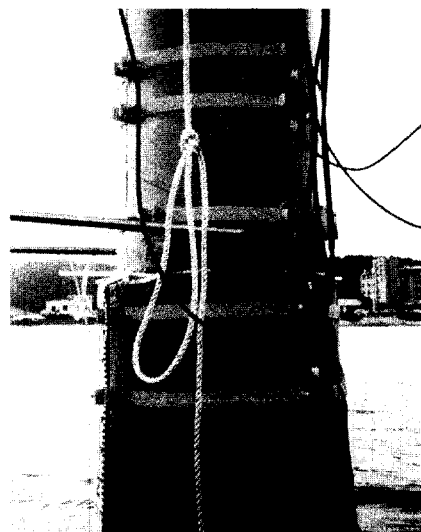
증폭기 채널은 파압계 7채널, 가속도계 1채널의 총 8채널로 구성하였다. 데이터 독취는 8 채널 공히 200Hz(데이터 독취 시간 간격은  $\Delta t=0.005$  s)로 하였다. 데이터 저장은 300MB의 하드디스크에 자동 기록하는 방식으로 구성하였으며 電源은 축전지를 사용하였다. 電源의 절약과 악천후 시 시동의 편이를 위하여 증폭기 및 아날로그-디지털 변환기(ADC)는 원격시동장치(통달거리 약 300 m)를 사용하여 가동하였다.

### 3.2.4 파고관측 장비

誘導燈臺에 標尺을 부착하여 디지털 비디오 카메라로 연속 촬영, 표척에서의 수면변위도 연속 추적하였다.

### 3.2.5 관측장비의 설치

파의 충돌에 의한 충격파압은 주로 靜水面 상에서 발생하기 때문에 본 관측에서는 파압센서를 Fig. 3과 Photo 2에서 보는 것처럼 모두 靜水面 위에 설치하였다. 설치 위치는 개략적으로 파 진행방향과 직각으로 놓이게 하였다. 센서 번호 D, E, F는 파압의 원주방향의 변화를 파악하기 위하여 파 진행방향으로부터 20°씩의 간격을 두어 설치하였다. 加速度計는 등대의 상부데크 바로 밑에 설치하였다. 각 센서의 케이블들은 파에 의한 저항을 최소화하기 위해 圓柱 뒤에 위치하는 등대 사다리

**Photo 2.** Installation of pressure sensors on the supporting pile of lighthouse.

에 결속하였다.

## 3.3 관측절차

관측은 등대 위치에서 쇄파가 다수 발생하는 태풍 경과 시에 수행하였다. 관측은 총 3회 실시하였으나, 작년(1998년도)에는 태풍의 발생빈도가 적었을 뿐더러 대부분이 일본 쪽으로 지나가 적당한 관측시점을 취하기가 매우 어려웠다. 최종관측은 10월 16일경 발생한 태풍 제브의 도래 시 수행하였으며, 태풍의 주경로는 일본 쪽이었지만 상당정도의 쇄파가 등대위치에서 발생함을 감지하여 데이터 독취를 시작하였다.

碎波의 발생시 등대로의 접근은 불가하기 때문에 육상에서 원격시동 스위치를 작동하였다. 데이터 독취와 더불어 디지털 비디오 카메라로 등대에 부착된 標尺을 촬영하여 수면변위를 연속적으로 추적하였다. 관측은 10월 18일 10:00에서 13:00까지 약 3시간 정도 수행하였다. Photo 3은 관측시간내에 등대위치에서 최대로 발생한 쇄파의 진행과정을 포착한 것이다.

## 4. 결과 및 분석

관측종료 이후 센서의 수거과정에서 파압센서 A의 케이블이 센서의 접속부근에서 파손되었음을 확인하였다. 관측기간 중 부유물질들의 충돌에 의해서 파손된 것으로 보인다. 또한, 센서 B와 가속도계의 시그널이 타 센

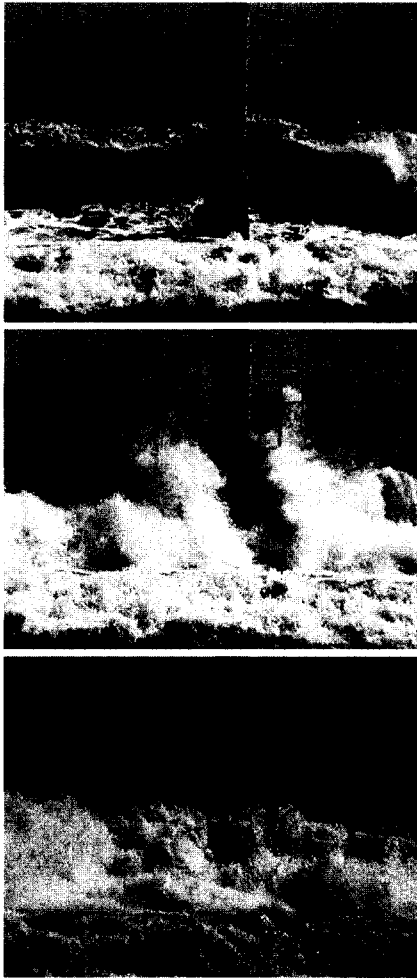


Photo 3. Plunging breaker impinging on the lighthouse.

서의 시그널과 비교할 때 매우 불량한 것으로 나타났다. 이는 센서의 防水性이 저하되어 물의 침수가 발생했기 때문인 것으로 보인다. 따라서, 본 결과분석에서는 나머지 과압센서들의 데이터만 고려하였다. 한편, 계측 과압들은 그 크기가 센서의 최대허용압력 5.0 kgf/cm<sup>2</sup> 보다 현저히 작게 나타났다(최대 약 0.5 kgf/cm<sup>2</sup>). 이는 센서의 선정 시 주로 연직벽에 작용하는 쇄파를 고려하였을 뿐만 아니라 碎波高와 평균수심도 실제보다 과도하게 설정되었기 때문이다(Table 1참조).

관측 비디오 화면을 분석하여 보면 碎波高  $H_b$ 는 최대 약 1.6 m, 波峰高  $\eta_b$ 는 약 1.2 m으로 나타났다. 이는 개략적으로 Photo 3의 쇄파에 해당하는 것으로 碎波峰이 센서 B와 센서 D의 중간쯤 미치는 경우이다. 이

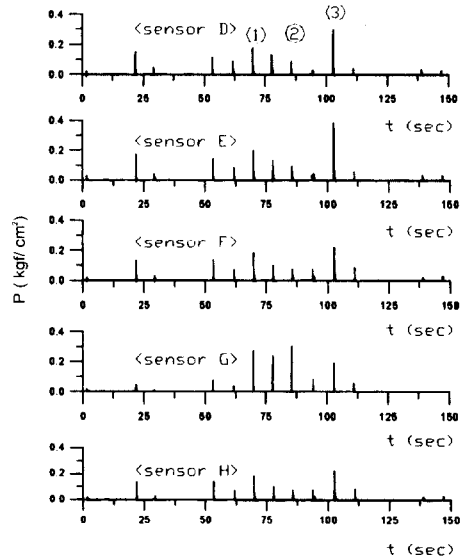


Fig. 4. Occurrence of breaking wave pressures on the light house.

때 波谷은 평균수면 하 약 0.4 m 정도로 나타났다. 관측데이터 중 10:40:23 이후 190초 동안에 해당되는 과압 데이터의 時系列을 해석하였으며, Fig. 4는 쇄파의 발생빈도가 가장 높은 구간(10:40:23이후 150초 동안)을 선택하여 도시한 것이다. 여기에서 群波의 도래에 따른 쇄파의 연속적인 발생을 관찰할 수 있으며 쇄파의 주기는 약 8.0초이다. 橫으로 배치된 과압계 D, E, F의 시그널을 비교하여 보면 전반적으로 센서 E의 시그널이 우세하다. 따라서, 쇄파의 진행방향이 센서의 설치 시 설정하였던 방향(센서 D의 직각방향)보다 센서 E 쪽으로 치우친 것으로 보인다. 또한, Fig. 4를 관찰하여 보면 전반적으로 센서 F의 시그널이 센서 D보다 작음을 알 수 있다.

센서 D, E, F의 시그널들과 下部 센서 G, H의 시그널을 전반적으로 비교하여 보면, Fig. 4에서 번호 ①, ②의 경우에는 下部 센서(특히, 센서 G)가, 번호 ③의 경우에는 상부센서의 값이 크다. 이들 비일관적인 성향은 燈臺에 대한 쇄파의 위치와 관련된 것으로 보인다. 즉, 번호 ①, ②의 경우에는 燈臺前面에서 이미 쇄파하여 진행되는 既碎波(broken wave)의 충돌에 의한 것이다. 既碎波의 경우 碎波前面에 심한 亂流가 형성되며 연직면 상에 비교적 균등한 波壓을 발생시킬 가능성이 높은 것이다. 심지어, 쇄파 직후에 등대에 충돌했을 경우에는 卷波의 尖頭部分이 下向으로 구부러져 下部 센서에 강한

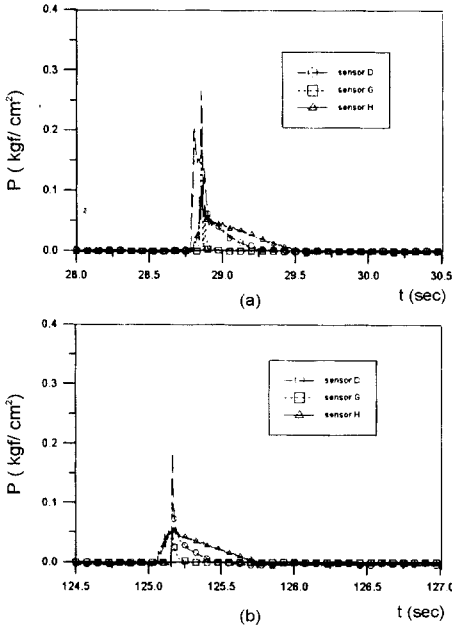


Fig. 5. Time history of the breaking wave pressures of pressure sensors.

파압을 작용시킬 수 있다. 이와 같이 최대치의 下向性 向은 Zhou *et al.*(1991)의 실험결과에서도 관찰되었다. 한편, 번호 ③의 경우에는 상부로 갈수록 값의 우위가 발견되는데, 이는 등대위치에서 쇄파가 발생하여 충돌한 경우로 판단된다.

쇄파압의 時間變移를 관찰하기 위하여 스파이크 시그널들을 크기별로 선별하여 세부적으로 Fig. 5에 도시하였다.

Fig. 5(a)는 센서 D에서 침투치가 두 개 발견되며 센서 H의 시그널의 최대치와 거의 유사함을 볼 수 있다. 이는 碎波의 경우에 해당되는 것으로 판단된다. 반면, Fig. 5(b)를 보면 스파이크 시그널의 형상이 비교적 뚜렷하며 센서 D의 시그널이 확연히 크다. 이는 등대위치에서 쇄파가 발생한 경우로 볼 수 있다. 한편, Fig. 5(a), (b)에서 센서 D의 쇄파압 작용시간이 센서 H보다 작다. 이는 卷波性 쇄파의 형상에서 당연히 예측되는 결과이다. 상대적으로 센서 G의 매우 짧은 작용시간은 약간의 센서 결함 때문인 것으로 판단된다. 비디오 장면을 관찰하여 상기 최대 쇄파고의 시점이 관측기록중 센서 E에서 최대 쇄파압을 보이는 시점과 일치한다고 보고 碎波壓을 센서별로 Fig. 6에 도시하였다. 최대 쇄파압은 센서 E에서 약 0.5 kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났다. 쇄파압의 작용시

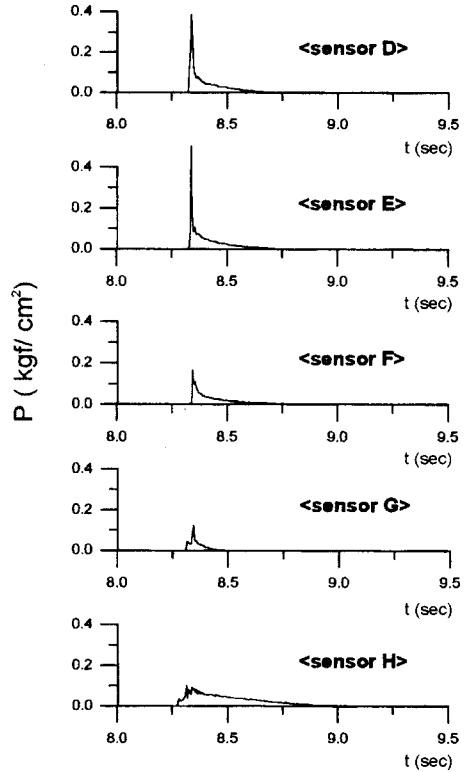


Fig. 6. Comparison of the time history of each sensor at the instant of maximal breaking wave pressures.

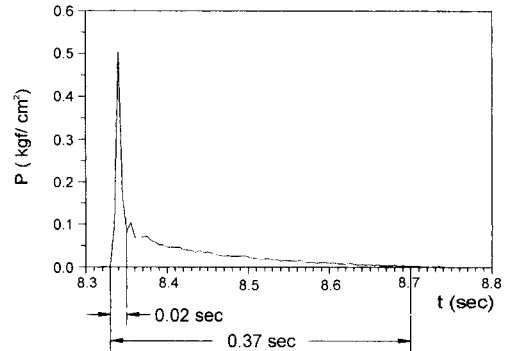


Fig. 7. Detailed variation of pressure peak.

간을 고찰하기 위하여 센서 E의 시그널을 확대하여 Fig. 7에 도시하였다. 작용시간은 개략적으로 0.02초와 0.37초 사이에 존재하는 것으로 보인다.

스트레인 게이지식 파압계는 일반적으로 압력이 제거된 이후에도 殘留壓 형태의 시그널이 발생하기 때문에 정확한 쇄파압의 작용시간을 시그널에서 독취하기는 힘들다. 개략적으로 0.02초와 0.04초 사이에 존재할 것으

**Table 2.** Comparison of the maximal impact pressures due to breaking wave ( $H_b=1.6$  m,  $\eta_b=1.2$  m,  $T=8$  s,  $d_b=3.4$  m).

센서명, z(m)	현장계측 파압 (kgf/cm <sup>2</sup> )	谷本等(1986) (kgf/cm <sup>2</sup> )	合田等(1966)* (kgf/cm <sup>2</sup> )
E, 4.40	0.504	1.531	0.790
G, 4.13	0.100	0.995	
H, 385	0.121	-	

\* 쇄파력 작용면적  $\lambda\eta_b D$ 에 작용하는 평균파압  $((1-\lambda)\eta_b \leq z < \lambda\eta_b$ ,  $\lambda$ : 실험상수).

로 사료된다. 이것은 상기 쇄파제원  $H_b=1.6$  m,  $\eta_b=1.2$  m에 대하여 谷本等(1986)이 제시한 쇄파력 작용시간  $\tau=0.026$ 초와도 개략적으로 일치한다.

계측된 쇄파압 크기의 타당성을 고찰하기 위하여 谷本等(1986)의 쇄파력을 상기 쇄파제원에 대하여 식 (1)을 이용하여 산출한 다음, 식 (6)에 의하여 正面波壓  $p_0$ 를 계산하였다. 이때 최대작용각도와 분포상수는 최대로 각각  $\theta_p=90^\circ$ ,  $M=1.0$ 으로 취하였다. 또한, 合田等(1966)의 쇄파압에 대한 식 (2)를 이용하여 계산된 값들을 Table 2에 제시하였다.

센서 E에서 계측된 최대파압은 谷本 등의 계산치보다 현저히 작으나 合田 등의 결과와 유사함을 알 수 있다. 반면, 센서 G는 谷本 등의 계산치와 유사하며, 센서 H는 谷本 등의 계산영역에서 벗어남에도 불구하고 현장 계측에서 어느 정도의 값을 나타내 주고 있다. 본 실험역 실험연구에서는 파일에 센서를 작은 간격으로 설치하지 않았으며, 또한 최상부의 두 센서 A, B가 작동되지 않았기 때문에 파일에 대한 全碎波力은 도출할 수 없었다. 그러나, 상기 쇄파압의 연직분포를 고려할 때 실제 파압에서 계산된 全波力이 谷本 등의 계산치에 근접할 가능성은 있다. 현재로서 확실한 것은 谷本 등이 제시한 쇄파력의 연직분포가 비교적 좁은 영역에 국한되어 있으며, 尖頭值의 값이 본 실험역 측정결과로부터 유추되는 값보다 현저히 크다는 점이다. 이의 정확한 판단을 위해서는 추가적인 연구가 필요하리라 사료된다.

본 연구에서는 설치된 파압계의 일부와 그리고 파일 상부에 설치된 가속도계의 오작동으로 말미암아 파압의 실측치와 식 (6)을 이용한 파력의 산정, 그리고 이에 따른 파일의 동적거동에 대한 분석은 포함하지 않았다. 碎波壓의 연직분포와 구조물의 동적거동을 효과적으로 연결하여 분석하기 위해서는 파압계의 조밀한 설치와 가속도계 그리고 파일 위치에 파고계를 동시 설치하여 운영할 필요가 있다.

### 5. 결론 및 제언

碎波力은 쇄파제원과 동일한 正弦波를 대상으로 한 모리슨식 계산치보다 그 크기는 월등 크지만 보통 백분의 수초 이내의 매우 짧은 시간 동안 작용한다. 따라서, 쇄파력을 받는 구조물의 합리적인 설계에 필요한 구조물의 變位를 정확히 결정하기 위해서는 쇄파력 작용에 의한 動的舉動을 확인하기 위한 動的解析이 수행되어야 한다. 이를 위해서는 쇄파력의 분포에 대한 事前 정보가 필요하며, 파일 주변의 碎波壓 분포로부터 간접적으로 결정할 수 있다. 본 연구에서는 쇄파압의 특성을 고찰하기 위하여 實海域 쇄파압을 직접 측정하였다. 측정결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 파일 위치에서 碎波하는 경우는 尖頭 쇄파압의 위치가 비교적 작용구간의 上部에 있으나 既碎波의 경우에는 그 위치가 下部로 내려오며 전반적으로 균등한 분포를 보인다.

- 측정 碎波壓의 작용구간은 谷本等(1986)의 연구결과보다 더 넓게 작용하며 파압 침투치는 1/3 이하로 현저히 작게 나타났으나 이들의 쇄파압 작용시간은 서로 유사하게 나타났다.

- 碎波壓의 연직분포와 구조물의 동적거동을 효과적으로 연결하여 분석하기 위해서는 파압계의 조밀한 설치와 가속도계 그리고 파일 위치에 파고계를 동시 설치하여 운영할 필요가 있다.

파압의 實海域 測定은 국내에 처음 시도되는 것으로서 파압센서를 제외한 데이터 독취체계를 국내에서 제작하였으며 제반사항에 대한 기술적 정보를 획득하였다. 이 정보는 방파제 파압의 실험역 측정 등 향후 同種의 시스템을 이용하는 작업에 활용될 수 있을 것이다. 특히, 황천 시에 파압 및 파고를 측정하기 위해서는 센서의 원격시동장치기 필수적이거나 본 실험역 측정에서는 시동 시그널만 보내는 일방향 통신방법을 사용하였기 때문에 데이터의 독취에 많은 어려움이 있었다. 데이터 저장장치 및 電源의 효과적인 사용을 위해서는 센서의 시동여부를 육상에서도 확인할 수 있는 양방향 통신기법의 구축이 필요하리라 판단된다.

### 참고문헌

심재설, 전인식, 이홍식, 1998. 연직 원형파일에 작용하는 쇄파력의 수치해석, 한국해양·해양공학회지, 10(2): 100-

- 108.
- 한국해양연구소, '98 이어도 종합해양과학기지 구축사업 보고서, 1998. 해양수산부, BSPM 98004-00-1118-2.
- Goda, Y., 1985. *Random Seas and Design of Maritime Structures*, Univ. of Tokyo Press.
- Honda, T. and Mitsuyasu, H., 1974. Experimental study on breaking wave force on a vertical circular cylinder, *Coastal Engrg. in Japan*, **17**, pp. 59-70.
- Marinski, J.G. and Oumeraci, H., 1992. Dynamic response of vertical structures to breaking wave forces - Review of the CIS design experience, *Proc. 23rd Coastal Engrg. Conf.*, ASCE, pp. 1357-1370.
- Partensky, H.-W., 1988. Dynamic forces due to waves breaking at vertical coastal structures, *Proc. 21st Coastal Engrg. Conf.*, ASCE, pp. 2505-2518.
- Schmidt, R., Oumeraci, H. and Partensky, H.-W., 1992. Impact loads induced by plunging breakers on vertical structures, *Proc. 23rd Coastal Engrg. Conf.*, ASCE, pp. 1545-1558.
- von Karman, T., 1929. The impact of sea plane floats during landing, *N.A.C.A. TN 321*, Washington.
- Wagner, H., 1932. Über Stoss und Gleitvongnge am der Oberfläche von Flüssigkeiten, *ZAMM*, **12**(4), pp. 193-215.
- Zhou, D., Chan, E.S. and Melville, M.K., 1991. Wave impact pressures on vertical cylinders, *Applied Ocean Res.*, **13**(5), pp. 220-234.
- 谷本勝利, 高橋重雄, 金子忠男, 鹽田啓介, 小藏總一郎, 1986. 圓柱に く衝擊碎波力に關する實驗的研究, 港灣技術研究所報告, **25**(2), pp. 29-87.
- 合田良實, 原中祐人, 北畑正記, 1966. 直柱に く衝擊碎波力の研究, 港灣技術研究所報告, **5**(6), pp. 1-30.

---

Received June 21, 1999

Accepted August 9, 1999