

## 수치파 수조에서의 극치파 생성과 수조실험을 통한 검증 연구

정성재<sup>†\*</sup>, 박성욱<sup>\*</sup>

국립수산과학원 수산공학과<sup>\*</sup>

### Generation of Freak Waves in a Numerical Wave Tank and Its Validation in Wave Flume

Seong-Jae Jeong<sup>†\*</sup> and Seong-Wook Park<sup>\*</sup>

Fisheries Engineering Division, National Fisheries Research & Development Institute<sup>\*</sup>

#### Abstract

The freak wave, also known as New-Year-Wave in the north Atlantic, is relatively large and spontaneous ocean surface wave that can sink even large ships and destroy maritime structures. To understand oceanic conditions that develop freak waves, we simulated and generated two versions of scale-downed waves (1:64 and 1:42) in a numerical wave tank and compared the results with the experiment in wave flume. Both of the breaking and non-breaking waves were generated in the simulation. The numerical simulation was implemented based on the finite volume method and a genetic optimization algorithm. Random values were assigned as the initial values for the parameter in the control function, which produced signals representing the motion of wave-maker. The same signal obtained from the optimization process was used for both of the simulation and the experiment. By varying the object function and restrictions of the simulation, a best profile of design wave was selected based on the characteristics, height and period of simulated waves. Results showed that the simulation and experiment with the scale of 1:42 agreed better with freak waves in the natural condition. The presented simulation method will contribute to saving the time and cost for conducting subsequent response analyses of motion under freak waves in the course of the model test for ship and maritime structure.

※Keywords: Design wave(설계파), Optimization(최적화), Genetic algorithms(유전자알고리즘), Numerical wave tank(수치파 수조), Freak waves(극치파), Model test(모형시험)

### 1. 서론

설계파를 이용하여 해양구조물이나 선박에 미치는 파랑력으로 인한 영향을 분석하고, 거동해석에 필요한 파도를 보다 더 쉽게 만들려는 시도는 오래전부터 있어왔다(Davis and Zarnick 1964). 파동수조에서 과도수파(transient wave)를 이용한 설계파의 생성은 사용자가 원하는 파고와 주기를 가진 파와 파열을 수조 내부의 특정위치에서 생성시키는 것을 말하며, 설계파가 생성되는 위치영역이 미리 정해져 있으므로 손쉽게 그 위치에 실험하고자 하는 구조물이나 모형선을 계류시키고 응답해석을 가능하게 해 주는 장점이 있다.

수조에서 만들어지는 파랑은 다양한 메커니즘을 가진 조파기에 의해서 손쉽게 만들어질 수 있으며, 조파기를 제어하는 것이 그 핵심이다. 물론 충격파의 물리적인 현상과 조파기의 성능을 고려한 파랑 생성이 전제되어야 한다. 본 연구에서는 극치파를 생성하기 위한 조파기 제어 신호의 생성과 수치파 수조를 이용한 시뮬레이션 및 동일한 제어 신호를 이용한 수조실험을 통한 검증에 다루고 있다. 이를 위해 수치파 수조에서 제안한 시뮬레이션 방법을 사용하였으며(Jeong et al. 2005, 2006), 비쇄파(non-breaking)와 시뮬레이션 중 쇄파(breaking)가 발생하는 설계파에 대하여 실험결과와 비교하였다. 파랑관측 자료에서 얻은 대표적인 극치파인 New-Year-Wave를 이용하여 수치적인 방법에서 도출된 결과와 실험결과를 상호 비교하였다(Haver and Andersen, 2000).

### 2. 비쇄파 설계파의 생성과 비교

다양한 파랑에 대한 전산유체역학을 이용한 시뮬레이션은 쇄파현상으로 인해 제한을 가지게 된다. 이러한 쇄파로 인한 수치계산에서의 제한을 극복하고자 Volume of Fluid (VOF)와 같은 방법이 적용되고 있다. 본 연구에서 사용한 동적격자(moving grid)를 이용한 시뮬레이션은 쇄파로 인한 수립자의 자유표면으로부터의 이탈을 정확하게 구현하지 못하지만 지배방정식의 운동학적 경계조

**Table 1** Characteristics of non-breaking design wave

Time domain		
$H_z$	=	0.6[m]
$T_z$	=	2.0[s]
$t_z$	=	35.0[s]
Local domain		from Wave board
$x_z$	=	20.0[m]

건은 만족시킨다.

동적격자의 특성으로 인해 시뮬레이션 도중 쇄파의 발생여부를 확인할 수 없기 때문에 계산과정에서 쇄파현상 특히 권파(plunging breaking)가 발생하지 않는다는 전제로 계산하였다. 그러나 쇄파현상은 Navier-Stokes 방정식과 함께 수치파 수조 알고리즘의 중요한 구성요소인 연속방정식을 만족시키지 못한다. 이러한 문제를 단순화시키고자 최대파고의 파형과 그 주변에서는 반드시 지배방정식을 만족한다는 가정을 시뮬레이션의 제한조건으로 부여하였다.

비쇄파 설계파는 최대파고  $H_z=0.6[m]$ , 주기  $T_z=2.0[s]$  및  $x_z=20[m]$ 의 특성을 가지는 설계파를 시뮬레이션 시작 후 35[s] 지난 다음 생성되는 것을 조건으로 주었으며, Table 1에 상세한 비쇄파 설계파의 특징을 표시하였다. 비쇄파 설계파 생성을 위한 최적화 목적함수는 파고( $H_{max}$ ), 주기( $T_{max}$ ) 및 시뮬레이션이 시작된 후 최대설계파의 발생시간( $t_{max}$ )으로 주었으며 정의된 목적함수는 다음과 같다:

$$Min_{s \rightarrow R} f(s) = \left( \frac{H_{max} - H_z}{H_z} \right)^2 + \left( \frac{T_{max} - T_z}{T_z} \right)^2 + \left( \frac{t_{max} - t_z}{t_z} \right)^2 \quad (1)$$

여기서  $H_z$ ,  $T_z$  및  $t_z$ 는 최적화를 이용하여 구하고자 하는 목표값을 나타내며, 이때 경계조건은:

$$g_1 = \frac{H_{max}}{g T_{max}^2} - K_B \leq 0$$

이며,  $K_B$ 는 쇄파기준(Kjeldsen and Myrhaug 1980)이며 다음과 같다:

$$\frac{H}{gT^2} = 0.021$$

수치파 수조에서의 최적화 기법을 구현한 연구 (Jeong et al. 2006)에서 정의된 조파 제어함수의

$$X(t) = P_1 \cdot \text{sech}(P_2 \cdot t) \cdot \sin\{P_3 \cdot \cosh(P_4 \cdot t) \cdot t\} \cdot \tanh(P_5)$$

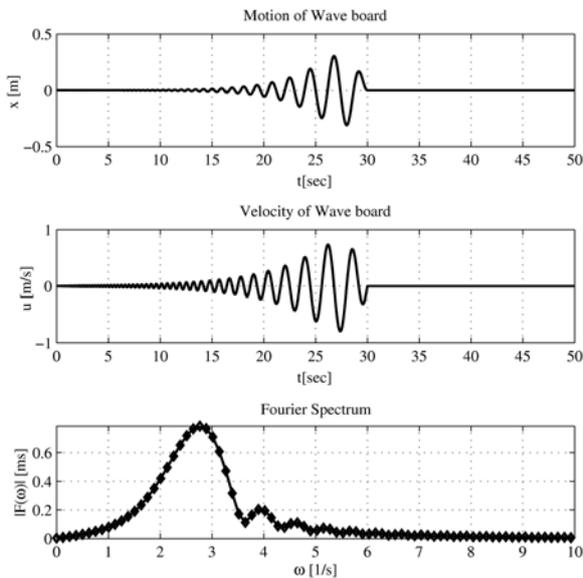
(2)

입력 파라미터를 Table 2에 나타내었다.

이 파라미터를 이용하여 생성된 조파기 제어에 필요한 변위, 속도 및 Fourier-spectrum을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 보인 주어진 조파기의 변위 값을 실험에 사용하였으며, 수조의 특정 위치에서 계측한 파고를 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 조파기로부터  $x=20[m]$  떨어진 위치에서 계측한 파고의 변화를 Zero-up crossing 방법으로 해석하여 Fig. 2에 나타내었다.

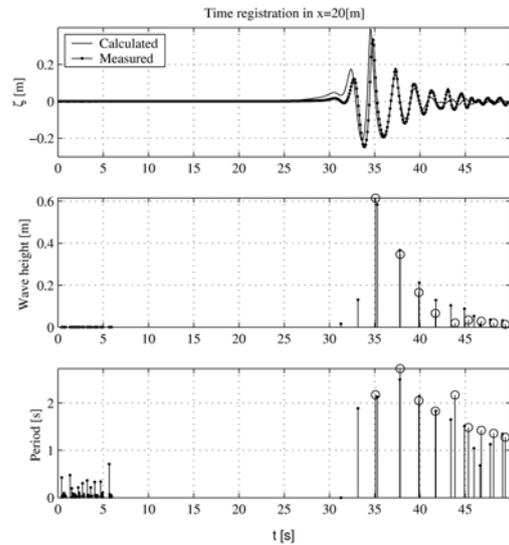
**Table 2** Calculated parameters by GA-optimization for non-breaking waves

Parameter	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
Solution	0.4746	0.2818	2.3616	0.0721	0.5

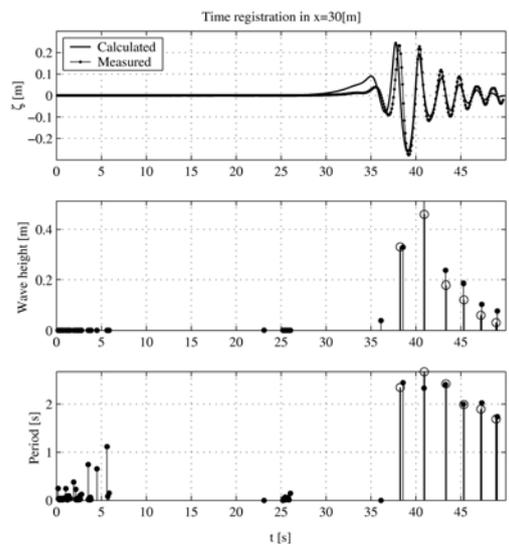


**Fig. 1** Motion and velocity of wave board and corresponding Fourier-spectrum

이때, 계측된 최대파고는 0.60[m]이며 시뮬레이션에서 계산된 최대파고는 0.62[m]이다. 두 파고의 최대 오차는 약 3%이며, 최적화 프로그램의 시뮬레이션 종료조건인 3%미만이다. Fig. 3과 Fig. 4에 계측과 시뮬레이션에서의  $x=30[m]$  및 40[m]에서 측정된 파고와 주기값을 나타내었다.



**Fig. 2** Comparison of registration between calculations and measurements  $x=20[m]$



**Fig. 3** Comparison of registration between calculations and measurements  $x=30[m]$

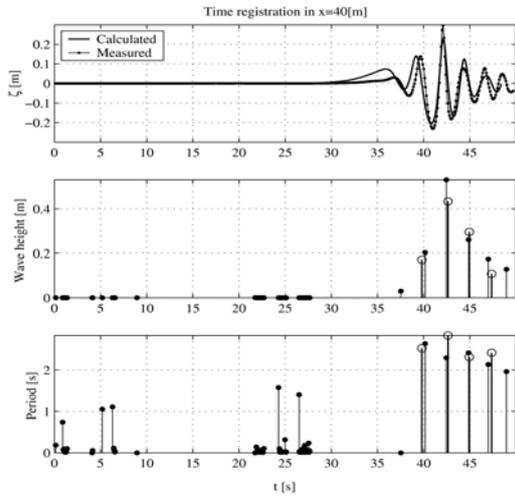


Fig. 4 Comparison of registration between calculations and measurements  $x=40[m]$

Fig. 2, 3, 4 에서 확인할 수 있듯이 목표위치인  $x=20[m]$ 에서 계산된 시뮬레이션 결과는 실험과 비교하여 잘 일치하는 것으로 나타났다. 수치파 구조내의 공간적인 파랑생성에 대한 정확도의 비교를 위해 보인  $x=30[m]$  및  $x=40[m]$ 에서 실험값이 시뮬레이션에서 계산된 파고보다 높은 것으로 나타났다. 이것은 Navier-Stokes 방정식과 연속방정식을 수치적으로 푸는 이산화 방법과 격자 크기 및 시간간격 때문이다. 수치파 구조의 구현과 검증과정에서 확인한 바에 따르면 사용된 격자크기와 시간간격에 따라 시뮬레이션에서 자유표면 추종성은 큰 차이가 있다(Jeong et al. 2006). 지배방정식의 이산화는 비정상유동 계산까지 고려하는 Euler음해법(implicit Euler method)으로 1차항까지 이산화 하여 수치파 구조를 구성하였다.

계산격자는 목표위치로 주어진  $x=20[m]$ 까지 영역은 조밀하게, 이후의 공간영역은 간격을 넓혀 계산시간을 줄였다. 이산화로 인한 오차, 격자의 특성과 점성으로 인한 에너지 소산으로 인해 발생하는 계산정도의 저하가  $x=30[m]$  와  $x=40[m]$ 에서 실험값이 시뮬레이션보다 높은 파고를 보여주는 결과로 나타났다. 격자는  $x$  방향으로 1800개  $z$  방향으로 20개를 사용하였으며 시간간격은  $\Delta t = 0.005[s]$ 를 사용하였다.

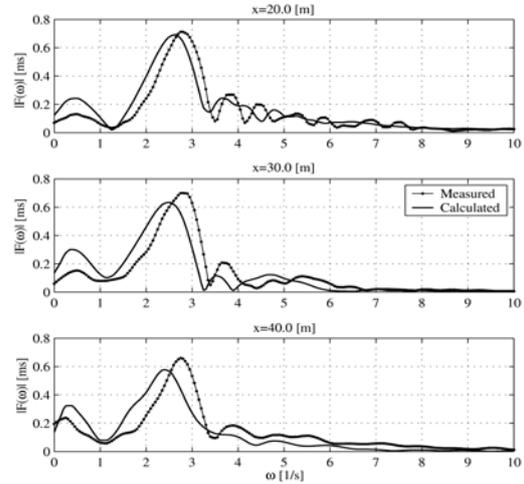


Fig. 5 Fourier analysis of wave height in position of  $x=20, 30, 40[m]$  from wave board

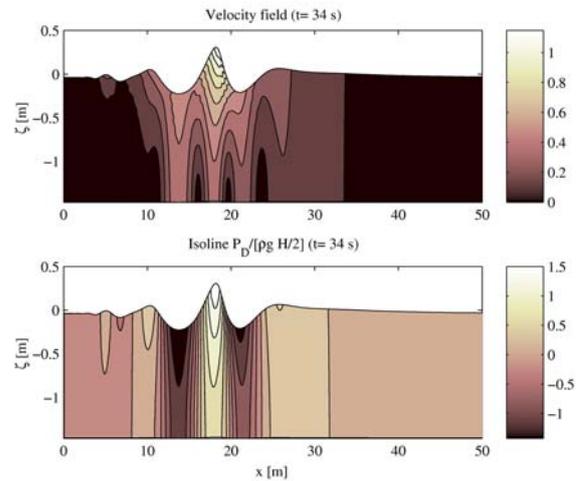


Fig. 6 Distribution of the particle velocities and dynamic pressure at  $t=34[s]$

$x=20, 30, 40[m]$  지점에서 파고의 변화에 대한 Fourier 해석결과를 Fig. 5에 나타내었다. 구조 시험과 시뮬레이션 결과를 비교했을 때 시뮬레이션에서는 조파기로부터 멀어질수록 파장이 짧은 파도들은 느린 진행속도로 인해 긴 파장의 파와 중첩되면서 성분들이 소실되어 더 많은 감쇄가 일어난다는 것을 알 수 있다.

수치파 수조 시뮬레이션이 시작된 후 34[s]가 지났을 때 수치파 수조내부의 속도와 압력분포를 Fig. 6에 나타내었다.

### 3. 붕괴파가 발생하는 설계파의 생성

황천 시 심해파가 이동하며 전파되는 경우에는 연속적으로 파랑이 중첩되며 여러 종류의 쇄파가 일어난다. 본 연구에서 제시한 수치파 수조의 구성요소인 동적격자가 구현할 수 없는 쇄파현상은 권파(plunging-breaking)이다. 따라서 시뮬레이션이 진행되는 동안 발생할 수 있는 쇄파는 붕괴파(spilling-breaking) 뿐이라는 가정을 도입하였다.

실험수조에서 관찰할 수 있는 붕괴파는 양단이 막힌 폐구역 내에서 파도가 점점 더 가파른 파고를 가지면서 파봉이 부서지는 현상으로 나타나거나, 파형경사가 큰 파랑이 완만한 경사의 해변으로 들어오는 경우에 생긴다. 수치파 수조 시뮬레이션은 붕괴파가 발생하는 경우에는 지배방정식에서 붕괴파로 인한 에너지 손실이 생기는 것으로 취급하였고, 적절한 격자구성과 반복연산에서 발생하는 오차를 고려하여 시뮬레이션을 하였다.

설계파 생성중 붕괴파가 발생하는 시뮬레이션에 있어서는 목표지점 뿐만 아니라 그 이전의 영역에서 발생하는 붕괴파를 허용하기 위해 비쇄파 제한조건인  $K_B$ 를 적용하지 않았다. 설계파는 최대파고  $H_z=0.55[m]$ , 주기  $T_z=3.0[s]$ 이며,  $t_z=40[s]$ 의 특성을 가지며, 파랑의 전파과정에서 많은 붕괴파가 발생할 수 있도록 수조의  $x_z=40[m]$  떨어진 위치에서 생성된다는 조건을 주었다.

수치파 수조의 공간영역을 구현하는 격자는 장시간의 시뮬레이션과 쇄파현상에 따른 계산정도의 저하방지와 붕괴파로 인한 에너지 손실을 감안하여 비쇄파 조건에서 사용한 격자보다 2배 더 조밀한  $x$ 방향으로 3600개  $z$ 방향으로 20개를 사용하였으며, 시간간격은 비쇄파 조건에서와 동일한  $\Delta t=0.005[s]$ 를 사용하였다. Table 3에 수치파 수조로 생성시키려는 설계파 제원을 나타내었다.

최적화의 목적함수는 (1)식과 동일하게 주었으며, 조파함수의 각 변수의 제한조건은 Table 4와 같이 정의하여 시뮬레이션을 수행하였다.

**Table 3** Characteristics of designed breaking wave

Time domain		
$H_z$	=	0.55[m]
$T_z$	=	3.0[s]
$t_z$	=	40.0[s]
Local domain		from Wave board
$x_z=40.0[m]$		

**Table 4** Maximum and Minimum of parameter

0.7	≤	$P_1$	≤	1.2
0.18	≤	$P_2$	≤	0.3
1.8	≤	$P_3$	≤	2.1
0.0	≤	$P_4$	≤	0.08
$P_5(\text{constant})$	=		=	0.15

**Table 5** Calculated parameters by GA-optimization for non-breaking waves

Parameter	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
Solution	1.0959	0.2569	1.8979	0.0749	0.15

최적화의 결과로 계산되어진 조파함수에 입력되어야 할 파라미터를 Table 5에 보였으며,  $x_z=40[m]$ 에서 해석한 파고와 주기를 Fig.7에 나타내었다. 실험에서 얻은 관찰결과에 따르면 생성된 파도는  $x_z=15[m]$  및 25[m]에서 각각 붕괴파가 발생하였다.

붕괴파로 인한 쇄파현상에도 불구하고 설계파의 발생지점에서 주어진 조건을 충족시키는 목적함수의 특성과 조밀해진 공간영역을 구현한 격자에 기인하는 시뮬레이션의 정도향상으로 인해 두 경우에서 보인 결과는 만족할 정도로 잘 일치하는 것으로 나타났다.

수치파 수조에서 시뮬레이션 시작 후  $t=40[s]$ 경과 후 생성된 파형을 Fig. 8에 나타내었다. 시뮬레이션의 전 과정에서 생성된 최대파고를 공간적으로 해석했을 때 수치파 수조의 어느 곳에서도 Fig. 8에 나타낸 파랑보다 더 높은 설계파는 발생하지 않았다.

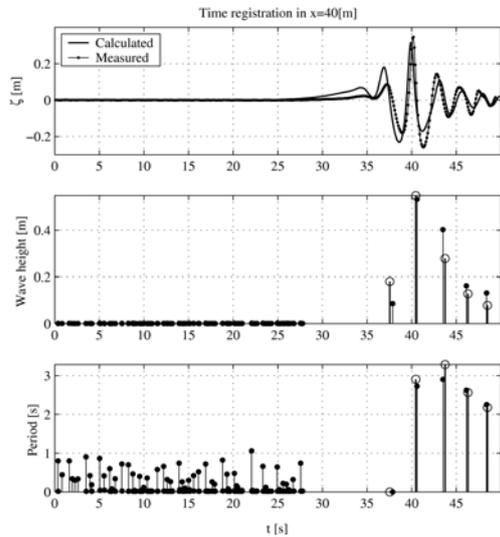


Fig. 7 Comparison of registration between calculations and measurements  $x=40[m]$

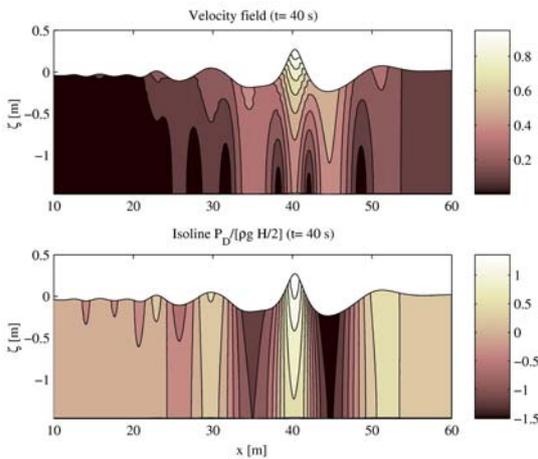


Fig. 8 Distribution of the particle velocities and dynamic pressure at  $t=40[s]$

#### 4. New-Year-Wave 생성과 비교결과

##### 4-1. New-Year-Wave 1:64 축척 시뮬레이션

Haver and Andersen(2000)에 따르면 북대서양에 설치된 자켓 플랫폼 'Draupner'가 거대한 파도로 인해 손상되었다. 이것의 최대파고는  $H_{max}=25.63[m]$ , 정수면에서 파봉까지의 높이는  $\zeta_c=$

18.5[m]에 이르렀다. 주기는  $T_{max}=13.33[s]$ 이며, 플랫폼이 설치된 곳의 해저수심은 70[m] 이었다. Fig. 9에 이 파도의 관측기록을 나타내었고, 이것은 New-Year-Wave로 명명되었다.

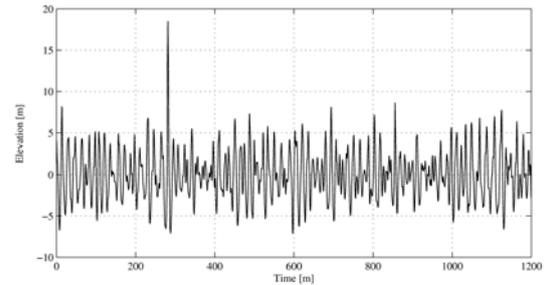


Fig. 9 New-Year-Wave in Jan. 1, 1995 in Nord Atlantic (Haver and Andersen 2000)

New-Year-Wave 에 대한 시뮬레이션을 수행하기 위하여 1:64의 축척으로 파고와 주기를 계산한 결과인  $H_z=0.4[m]$ ,  $T_z=1.67[s]$ 를 목적함수의 목표값으로 대입하였다. 목적함수의 위치영역은 조파기로부터 25[m] 떨어진 곳이며, 설계파 생성시점은  $t_z=42[s]$ 로 설정하였다. 시뮬레이션의 목적함수는 다음과 같이 구성하였다.

$$\begin{aligned} \underset{s \rightarrow R}{Min} f(s) = & \left( \frac{H_i - H_z}{H_z} \right)^2 + \left( \frac{T_i - T_z}{T_z} \right)^2 + \left( \frac{t_i - t_z}{t_z} \right)^2 \\ & + \left( \frac{H_{i-1} - H_{z,i-1}}{H_{z,i-1}} \right)^2 + \left( \frac{H_{i+1} - H_{z,i+1}}{H_{z,i+1}} \right)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

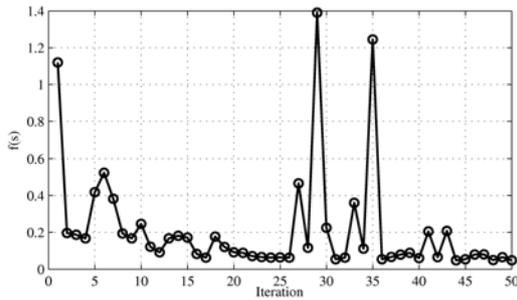
식 (3)에서 index  $i-1$ 과  $i+1$ 은 최대설계파  $i$ 의 전후에 위치한 파를 가리킨다. Table 6에는 생성하려는 파의 특성과 시간 및 위치영역을 나타내었으며 Table 7에서는 최적화 과정에서 변화하는 변수의 범위를 제한조건으로 준 것을 보였다. 기타 제한조건들은 최적화 과정에서 설정하지 않았으며, 시뮬레이션은 50회의 반복연산 후 Fig. 10에 나타난 것처럼 적합도 0.023로 종료되었다. 이렇게 결정된 수치파 수조 및 파랑수조를 위한 조파기 신호를 생성시키는 식 (2)의 조파제어함수를 위한 파라미터를 Table 8에 나타내었다.

**Table 6** Characteristics of design wave for New-Year-Wave in scale 1:64

Time domain		
$H_z$	=	0.4[m]
$T_z$	=	1.67[s]
$t_z$	=	42.0[s]
$H_{z,i-1}$	=	0.5 $H_z$ [m]
$H_{z,i+1}$	=	0.5 $H_z$ [m]
Local domain from Wave board		
$x_z = 25.0$ [m]		

**Table 7** Maximum and Minimum of parameter

0.2	≤	$P_1$	≤	0.5
0.05	≤	$P_2$	≤	0.4
1.5	≤	$P_3$	≤	4.0
0.0	≤	$P_4$	≤	0.07
		$P_5$ (constant)	=	0.15



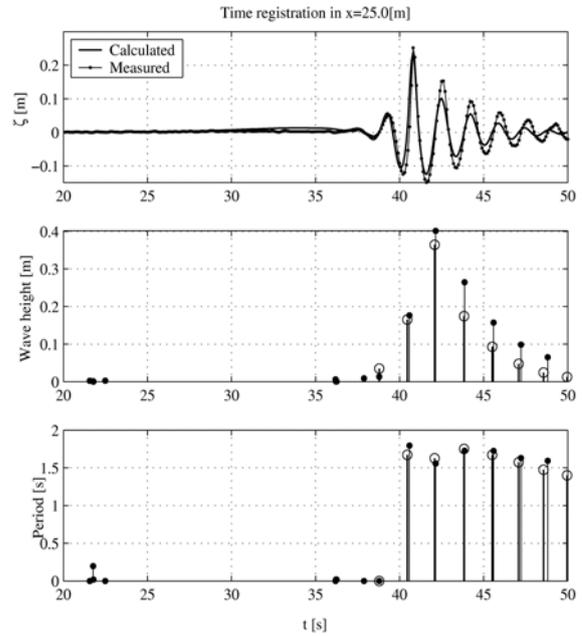
**Fig. 10** Fitness evaluation by Iteration

**Table 8** Calculated parameters by GA-optimization for New-Year-Wave (scale: 64)

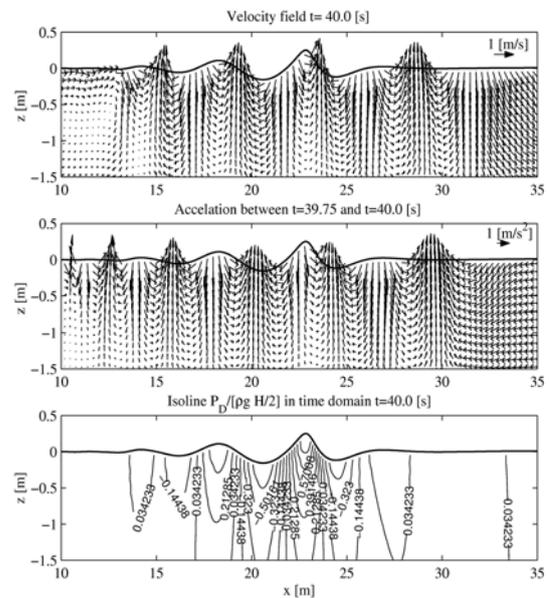
Parameter	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
Solution	0.2550	0.2751	3.5004	0.0525	0.15

최적화에서 계산된 조파기 제어신호를 이용하여 수치파 수조와 실험수조에서 각각 시뮬레이션을 한 다음  $x=25$ [m]에서 자유표면의 파고를 비교한 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

실험에서 계측된 파고는  $H=0.402$ [m]이며, 시뮬레이션의 계측파고는  $H=0.365$ [m]이다. 실험결과 파고에 상응하는 주기는  $T=1.556$ [s], 계산치는  $T=1.626$ [s]이다. 실험과 시뮬레이션의 오차는 파고 9.2%, 주기는 4%로 나타났다.



**Fig. 11** Comparison of registration between calculations and measurements  $x=25$ [m]



**Fig. 12** Velocities, acceleration and isoline in time  $t=40$ [s]

유체역학적인 관점에서는 파도의 속도 및 가속도와 압력이 중요하며 시뮬레이션이 시작된 후  $t=40.0[s]$ 일 때 이들을 Fig. 12에 나타내었다. 최대 설계파의 꼭지점에서 나타난 속도벡터의 크기 (magnitude)는  $0.91$ 이며 동일한 지점에서의 가속도값은  $3.78[m/s^2]$ 으로 나타났다. 전달되는 유체 입자의 가속도는  $t=39.75[s]$ 와  $t=40.0[s]$ 의 두 시간간격에서 추출하여 계산 후 나타내었다.

Fig. 13에서는  $x=25[m]$ 에서 1:64의 축척으로 시뮬레이션한 New-Year-Wave와 수조시험의 계측값을 나타내었다. 시뮬레이션에서 나타난 파고는  $H=24.33[m]$ 이며, 주기  $T=13.0[s]$ 이다. 계산과 실험값에서 나타난 파봉은 계측치보다 낮으며, 파저에서는 오히려 실험과 계산값이 더 낮은 값을 가지는 것을 알 수 있다.

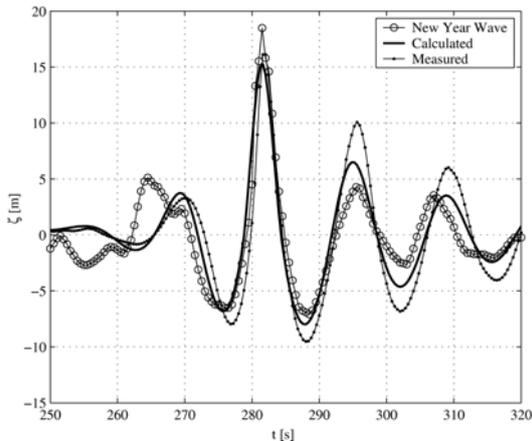


Fig. 13 Comparison of New-Year-Wave between calculations and measurements (scale:64)

이러한 차이는 실험결과와 비교했을 때 쇄파현상으로 인한 영향인 것으로 추정할 수 있다. 실험 관찰에 따르면 계측지점  $x=25[m]$  전방에서 붕괴파로 인한 쇄파가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 아울러 시뮬레이션은 New-Year-Wave와 같은 초대형 극치파를 정확하게 구현하는 것에도 한계가 있다는 사실을 보여주지만, 쇄파현상에도 불구하고 수치파 수조에서 얻은 결과는 관측결과와 유사한 파형을 재현한다는 것을 확인할 수 있다.

#### 4-2. New Year Wave 1:42 축척 시뮬레이션

관측된 파고의 축척을 1:42로 수치파 수조 시뮬레이션을 수행하였다. 최대파고  $H_z=0.61[m]$ ,  $T_z=2.06[s]$ 를 목적함수에 설정하였다. 축척 1:64에서 확인할 수 있었던  $x=20[m]$ 부근에서의 쇄파를 방지하기 위하여 제한조건  $K_B$ 를 사용하였으며, 최적화의 목적함수는 식(4)와 같이 주었다.

$$\begin{aligned} \underset{s \rightarrow R}{Min} f(s) = & \left( \frac{H_{max} - H_z}{H_z} \right)^2 \\ & + \left( \frac{T_{max} - T_z}{T_z} \right)^2 + \left( \frac{t_{max} - t_z}{t_z} \right)^2 \end{aligned} \quad (4)$$

이때의 제한조건은 다음과 같이 설정하였다.

$$g_1 = \frac{H_{x=20}}{gT_{x=20}^2} - K_B \leq 0$$

여기서 쇄파의 제한조건  $K_B = 0.021$ 을 대입하였다. 파라미터는 Table 9와 같이 범위를 설정하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 계산된 파라미터 값을 Table 10에 나타내었다.

Table 9 Maximum and Minimum of parameter

0.1	≤	$P_1$	≤	0.4
0.15	≤	$P_2$	≤	0.4
1.0	≤	$P_3$	≤	3.0
0.0	≤	$P_4$	≤	0.05
$P_5$ (constant)	=			0.5

Table 10 Calculated parameters by GA-optimization for New-Year-Wave (scale: 42)

Parameter	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
Solution	0.3684	0.2911	2.8999	0.0484	0.5

1:42 축척으로 환산한 관측자료, 시뮬레이션 및 실험결과를 Fig. 14에서 비교하였다.  $x=20[m]$ 에서 계산된 값을 관측자료에 맞춰 표시하였고, 파고는  $H=25.8[m]$ , 주기는  $T=13.6[s]$ 이다.

1:42의 축척에서의 New-Year-Wave 시뮬레이

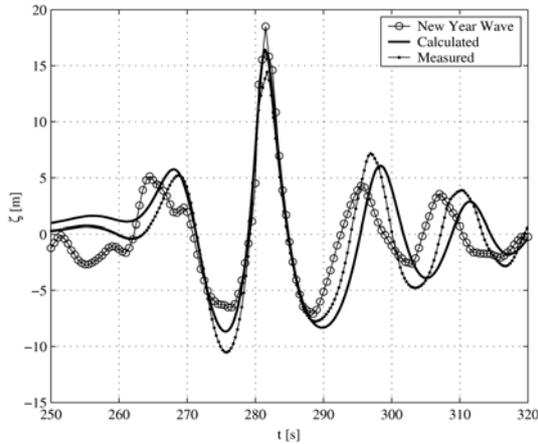


Fig. 14 Comparison of New-Year-Wave between calculations and measurements (scale:42)

선과 실험결과에서는 1:64와는 차이가 있었다. 이는 달라진 최적화의 목적함수와 경계조건의 차이에 기인한 것으로 파악된다.

1:42의 축척에서는 쇄파에 대한 제한조건이 없었으나, 1:64 축척에서는 쇄파 제한조건을 적용하였으므로 반복계산 과정이 달라진 것으로 판단된다. 아울러 시뮬레이션에서 사용된 목적함수는 여러 개의 파도가 연속으로 중첩되어 올 경우에는 그다지 적합하지 않다는 것을 보여주었다. 이러한 특별한 파형에 대한 시뮬레이션에 있어서는 좀 더 정밀하게 불규칙파 위주로 생성되는 파랑을 제어할 수 있는 목적함수가 요구될 뿐만 아니라, 실제 현장에서 관측된 파고를 기준으로 한 목적함수의 도입이 필요하다는 것을 New-Year-Wave 시뮬레이션에서 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라 목적함수 확장을 위해 연속되는 다수의 파형에 대하여 그들의 파고뿐만 아니라 주기들까지 제어하는 기법의 도입이 요구된다.

## 5. 결론

이 연구에서는 최적화 알고리즘을 도입하여 설계파 생성을 위한 시뮬레이션을 수행하였으며, 비쇄파 및 붕괴파를 포함하는 설계파에 대한 시뮬레이션을 수행하여 수조실험 결과와 비교하였다.

시뮬레이션 과정에서 붕괴파를 포함하는 설계파는 동적격자를 이용한 방법의 한계로 인해 권파현상을 구현하는 것은 불가능하지만, 조밀한 격자를 이용하고, 붕괴파를 점성으로 인한 에너지 손실로 처리하여 시뮬레이션이 가능토록 하였다. 시뮬레이션에서 확인이 불가능한 쇄파 현상은 실험으로 재현하며 발생위치와 발생시간을 파악할 수 있었으며, 이를 통해 수치파 수조의 최적화 알고리즘 보완과 New-Year-Wave 생성에 반영하였다.

극치파의 대표적인 파도로 인용되며 관측 자료가 있는 New-Year-Wave를 2가지 축척을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였고 실험과 비교하였다. 목적함수와 제한조건을 다르게 하여 수행한 시뮬레이션에서는 수치파수조의 장단점을 평가할 수 있는 결과를 얻었다. 또한 시뮬레이션 결과를 이용하여 수조에서 New-Year-Wave를 재현하였으며, 관측된 자료와 잘 일치하는 것을 확인하였다.

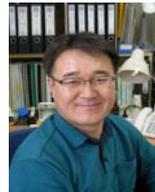
본 연구에서 제시한 방법은 수치파 수조의 유용성뿐만 아니라, 수치파 수조를 활용한 극치파 생성과 수조에서의 파랑생성을 통해 비교하고 있다. 여기서 제시한 방법을 구조물과 선박에 대한 거동 해석에 적절하게 활용한다면 수조특성에 따라 시행착오를 통해 원하는 파랑을 생성하는 시간과 비용을 크게 절약할 수 있으리라고 판단된다.

향후 설계파를 이용한 선박과 해양구조물의 운동해석에 대한 연구를 통해 설계파를 활용한 해양구조물과 부유체에 대한 거동해석 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- Davis, M.C. and Zarnick, E.E., 1964, "Testing Ship Models in Transient Waves," In 5th Symp. on Naval Hydrodynamics.
- Haver, S. and Andersen, O.J., 2000, "Freak Waves: Rare Realizations of a Typical Population or Typical Realizations of a Rare Population?," In Proceedings of the 10th Int. Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE), Vol. III, pp. 123-130, Seattle, USA.
- Jeong, S.J., An, H.C., Shin, J.K. and Choi, J.,

- 2005, "A Study on the Generation for the Design Waves with a Numerical Wave Tank," Journal of the Society of Naval Architectures of Korea, Vol. 42, No. 3, pp. 205-211.
- Jeong, S.J., Shin, J.K. and Choi, J., 2006 "Construction of a System for the Generation and Analysis of Design Waves using the Genetic Algorithms," Journal of the Society of Naval Architectures of Korea, Vol. 43, No. 1, pp. 96-101.
  - Jeong, S.J., 2003, Ein Beitrag zur Erzeugung Nichtlinearer Entwurfsseegaenge im Numerischen Wellenkanal, Technische Universitaet Berlin, D83.
  - Kjeldsen, S.P. and Myrhaug, D., 1980, "Wave-Wave Interactions Current-Wave Interaction and Resulting Extreme Waves and Breaking Waves," Proceeding of the 17th Coastal Engineering Conference, pp. 2227-2303.
  - Lee, D.K., Jeong, S.J. and Kim, S.Y., 1994, "A Study on the Efficient Optimization Method by coupling Genetic Algorithm and Direct Search Method," Journal of the Society of Naval Architectures of Korea, Vol. 31, No. 3, pp. 13-18.



< 정 성 재 >



< 박 성 욱 >