한국해양공학회 2004년도 춘계학술대회 논문집 PP.263~267

조파기 단면형상 변화에 따른 파형해석

이종현* · 장택수* · 권순홍* · 황성현*
*부산대학교 조선해양공학과

A Comparative Study on Numerical and Wave-maker Generated Waves

JONG-HYUN LEE, TAEK-SOO JANG, SUN-HONG KWON, SUNG-HYUN HWANG
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University

KEY WORDS : Wave-Maker 조파기, Wave Absorber 소파기, Wave Gauge 파고계, CFD 전산유체역학

ABSTRACT : *This paper presents a comparative study on numerical and wave-maker generated waves. The wave-makers employed to carry out the experiments have mathematical forms. The linear and quadratic models were tested. When it comes numerical analysis, the authors used the FLUENT which is widely used commercial code. Only two dimensional cases were considered. The experiments were done in a small wave flume. The waves were generated for various frequencies to examine the characteristics of the water waves. The comparison of the numerical and wave-maker generated waves were made.*

1. 서 론

선박 및 해양구조물의 동적 거동은 주로 Wave에 의한 것이 지배적이다. 해상에서 발생하는 Wave는 불규칙하게 발생하지만 선형이론에 근거하여 여러 가지 특성을 가지는 즉 다수의 파고와 주기를 가지는 Wave들의 선형적인 합으로 단순화 시킬 수가 있다. 이러한 Irregular Wave들을 분석하기에 앞서 단일 특성을 가지는 Regular Wave들의 기초적인 연구가 필요하다. 이를 위하여 부산대학교 해양공학실험실에서는 Electronic Actuator를 이용한 Wave-Maker System을 구축하였다. 이 System은 Servo-Motor의 회전운동을 직선운동으로 구현하여 Amplitude와 Frequency의 조합으로 운동을 제어할 수 있다. 본 논문은 두 가지 타입의 부체를 이용하여 그에 따른 Wave Profile을 해석, 비교하고 CFD 상용코드인 Fluent 6.1로 실험된 내용을 시뮬레이션 하여 비교하였다. 또한 Fully Developed Wave를 부체의 Type에 따라 실험 결과와 수치해석 결과를 서로 비교하여 그 특징들을 서로 비교하였다. 비교 결과, 수치 해석으로 생성된 Wave와 실험 결과 계측된 Wave의 파장은 상당히 일치하나 파고는 상당한 차이를 보임을 발견하였다. 이러한 차이는 차후 규명되어야 할 과제이다. 또한 Linear Type과 Quadratic Type의 단면 형상 차이에서 기인하는 조파 성능의 차이를 발견할 수 있었다. 뚜렷한 특징 중의 하나는 Quadratic Type의 단면 형상에 의해 생긴 Wave는 상당한 고주파수 성분들을 포함함을 알 수 있었다.

제1저자 이종현 연락처: 부산광역시 금정구 장전동 부산대학교 첨단조선해양공학과 209호
051-510-2753 zidaeny@hotmail.com

2. 실험내용 및 장치

2.1 실험 장비

본 실험에 사용된 장비와 설치에 관해 Fig. 1에 그림으로 나타내었다. 실험에 사용된 장비들을 간략하게 살펴보면 소형 Wave Flume은 부산대학교 해양공학 실험실에서 자체 제작한 것으로 그 제원은 길이 4000㎜, 폭 300㎜, 높이 700㎜이고 투명한 유리로 제작되어 어느 방향에서나 파형 관측이 용이하다. 이번 실험에서 Wave를 발생시키는 중요한 장비로 Plunger-type의 Wave Maker System을 들 수 있다. 이 System은 Servo-Motor의 회전운동을 직선운동으로 바꿔주며 최대 3Hz의 주파수 성능으로 최대 ±150㎜의 Stroke를 구현하는 system이다. 주기와 Stroke는 컴퓨터에서 제어가 용이하도록 설계되었다. 이 Wave Maker System에서 사용한 부체는 Linear type(y=x) 과 Quadratic Type($y=x^2$)인 두 가지로 제작하였으며 그 크기는 길이 400㎜, 깊이 400㎜ 이고 폭은 부체의 운동이 Wave Flume의 벽으로 인한 운동의 제약이 없도록 하게 하기 위하여 298㎜로 제작하였다. 또한 소형 Wave Flume이므로 Wave Maker System으로 인해 발생된 Wave의

반사파에 의한 효과를 줄이기 위하여 Wave Absorber를 설치하였다. Wave Absorber는 부산대학교 해양공학 실험실에서 제작한 Net Type의 Wave Absorber(이희성,2001: 문원민,2001: Kwon,2003)와 경사판 Wave Absorber(M. Lebey/E. Revoalen(2002))의 조합으로 사용하였다. 파형을 계측하기 위하여 저항용량 식 Wave Gauge를 사용하였으며 자체 데이터 로그를 통하여 Time History를 기록하였다. 이 데이터 로그에서 초당 10^3개의 데이터를 취득하여 Wave Maker의 운동으로부터 12초간의 데이터를 획득하였다.

2.2 실험내용

본 실험은 소형 Wave Flume에서 단면 형상이 Linear, Quadratic인 Plunger Type의 Wave Maker를 사용하여 발생한 Wave Profile을 분석하기 위한 것이다. 실험의 주요 목적은 Wave Maker 단면 부근에서 발생하는 Local Wave와 Fully Developed Wave의 Profile을 계측하여 서로 비교하는데 있다. Wave Maker의 단면으로부터 0.7m와 1.7m 떨어진 지점에서 Local Wave와 Fully Developed Wave의 Elevation을 측정하였다. 또한 주기와 파고에 따른 Wave의 특성을 알기 위하여 Servo-Motor의 주파수를 1.3Hz에서 2.0Hz까지 증가시켜가며 그에 따른 Stroke를 10㎜에서 30㎜까지 5㎜씩 증가시키면서 실험하였다.

3.수치해석

3.1 격자생성

Wave Maker System의 운동을 수치적으로 계산하기 위하여 **Fig. 2-1**과 **Fig. 2-2** 와 같은 격자 계를 생성하였다. 실제 형상들의 치수와 일치하도록 구성하여 Linear Type 격자계의 경우 약 8만개, Quadratic Type 격자계의 경우 약 10만개의 격자수를 가지도록 구성하였다. Wave Flume의 양 끝과 부체들의 경계조건을 Wall로 지정하였으며 부체들의 움직임을 표현하고자 부체들을 Dynamic Zone으로 지정하였다.

3.2 수치해석 파라미터

실제 Wave Maker의 운동을 수치 계산에서 구현하고자 Fluent 6.1에서 제공하는 Dynamic Mesh 와 VOF(Volume Of Fluid) method를 사용하였다. In-Cylinder Method로 Stroke를 10㎜, Frequency 1.3Hz를 주어 부체들의 상하운동을 설정하였다. Time Dependent Solver로 Time Step Size를 약 1×10^{-3}으로 설정하여 실제 10초 동안의 해석결과를 도출하였다.

4. 결과 및 고찰

본 연구의 목적은 조파기 단면의 형상에 따른 파형의 실험값과 상용 CFD 프로그램인 Fluent 6.1의 계산결과와의 비교와 단면형상에 따른 파형의 실험적 분석에 있다. 우선 Fluent 6.1로 부체 형상이 Linear Type 과 Quadratic Type으로 하여 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 시간 계열로 0.7m와 1.7m에서 계산된 결과 값과 실험에서 획득한 데이터를 비교하여 Fig. 2에서부터 Fig. 5까지 나타내었다. 이 들 그래프에서 보는 바와 같이 실험값과 수치 계산 값은 같은 파장을 가진다는 것을 볼 수가 있다. 하지만 파고는 상당한 차이가 발생하였다. Linear Type 보다는 Quadratic Type이 실험값과 수치 계산 값에서 크게 나왔다. 이러한 경향은 Quadratic Type이 Linear Type보다 Displacement Volume이 크므로 이러한 경향을 가진다는 것은 쉽게 알 수가 있다.

다음은 실험값에서 Wave Maker 단면현상에 따른 Wave Profile을 비교하였다. 먼저 Fully Developed Wave에서 두 가지 단면을 가지고 생성시킨 Wave는 일정시간이 지난 뒤 Sinusoidal Wave가 되었다. 이러한 때 (Fully Developed Wave)의 그 파고를 측정하였다. 대체로 Quadratic Type이 Linear Type보다 파고가 크다는 것을 알 수 있지만 Fig. 6부터 Fig. 12에서 보면 파고가 Frequency에 따라 어느 정도 커지다가 특정 Frequency 이후부터 두 가지 단면 모두 감소하는 경향이 나타나는 것을 볼 수가 있다. 이러한 현상은 Wave Maker System의 Stroke가 ±10㎜인 경우를 제외한 경우에 현저하게 나타나는 현상이다.

마지막으로 Fig. 13는 Near Field에서 획득한 데이터, 즉 0.7m에서 Wave Maker의 Stroke가 ±25㎜이고 Frequency가 1.7Hz일 때(Linear Type이 Quadratic Type보다 파장이 큰 경우) 한 경우에 대한 FFT를 취한 것이다. 이 그래프를 보면 화살표로 표시한 부분이 Quadratic Type 일 때 고주파수의 성분을 가지는 Wave가 발생한다는 것을 볼 수 가 있다. 이러한 현상은 부체가 자유표면 주위를 직선 왕복운동 하면서 발생할 수 있지만 Linear Type일 경우 발생하지 않는 고주파 성분이 Quadratic Type일 경우 그 단면이 Nonlinear이기 때문에 발생하는 것임을 알 수가 있다.

본 연구를 통하여 기본적인 Wave에 대한 연구를 수행하였고 조파 단면 형상의 변화에 따른 파형의 차이를 분석하였다. 향후 보다 많은 실험과 수치 계산을 통하여 Wave의 특성을 해명해 나가야 할 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 수치 단면을 가지는 2차원 조파기에 의해서 생성된 파형을 수치 해석을 통하여 생성된 파와 비교하여 그 특징을 살펴보았다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다

1. 같은 Stroke Amplitude에 의해서 생성된 Wave라도 Quadratic Type에 의해서 생성된 Wave의 파고가 크다는 것을 알 수 있었다.
2. Quadratic Type의 단면에 의하여 생성된 Wave는 그

단면의 기하학적 비선형성 때문에 Linear Type 보다도 더 많은 고주파 성분을 생성한다는 사실을 알 수 있었다.

그리고 수치해석과 실험에 의하여 생성된 파고의 현저한 차이는 추후 연구를 통하여 규명되어져야 할 과제이다.

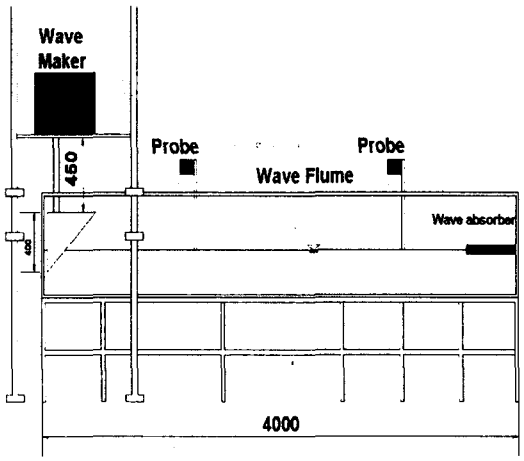

Fig. 1 Schematic Diagram of Wave Flume

Fig. 2 Generated Mesh for Linear Type

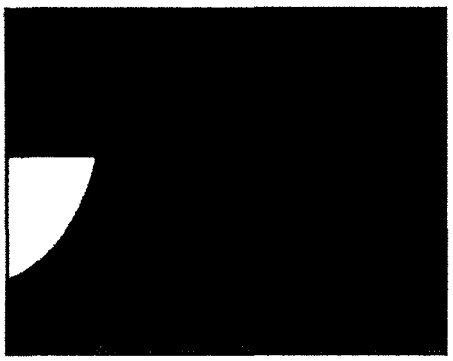

Fig. 3 Generated Mesh for Quadratic Type

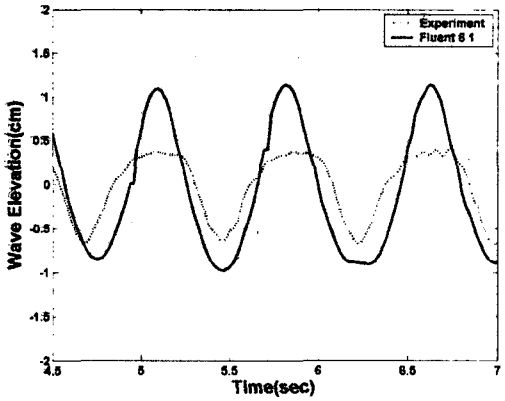

Fig. 4 Comparison of Wave Profile between Experimental and Numerical data with Linear Type at 0.7m

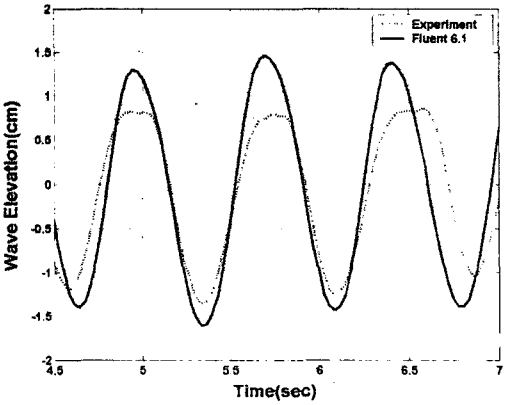

Fig. 5 Comparison of Wave Profile between Experimental and Numerical data with Quadratic Type at 0.7m

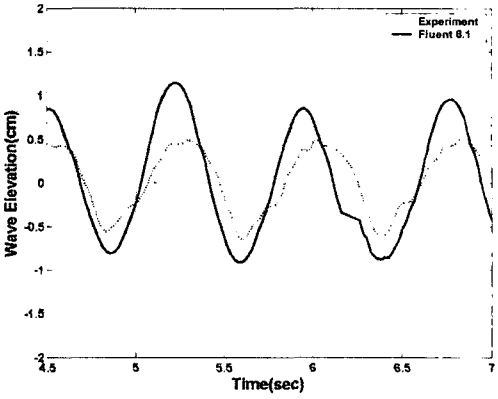

Fig. 6 Comparison of Wave Profile between Experimental and Numerical data with Linear Type at 1.7m

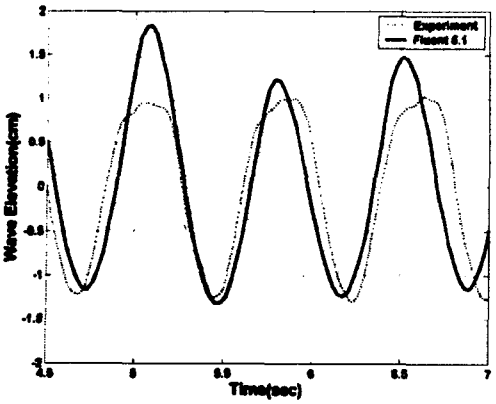

Fig. 7 Comparison of Wave Profile between Experimental and Numerical data with Linear Type at 1.7m

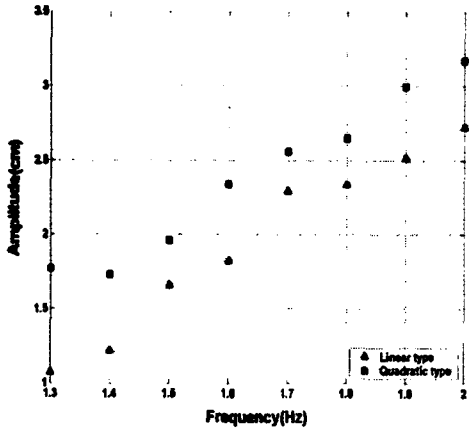

Fig. 8 Comparison of fully developed wave amplitude between Linear type and Quadratic type with Stroke 10㎜

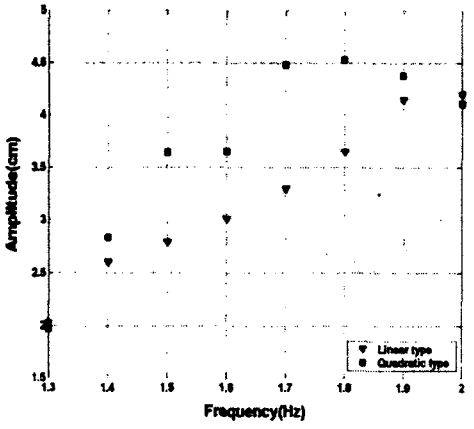

Fig. 9 Comparison of fully developed wave amplitude between Linear type and Quadratic type at Stroke 15㎜

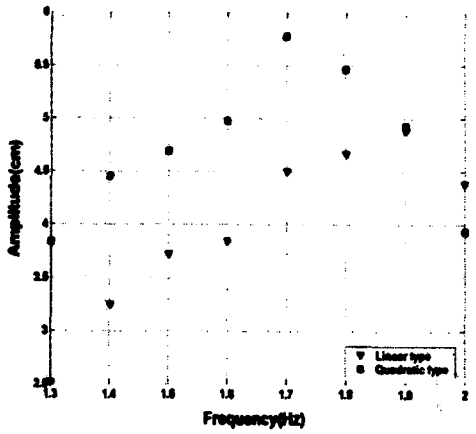

Fig. 10 Comparison of fully developed wave amplitude between Linear type and Quadratic type at Stroke 20㎜

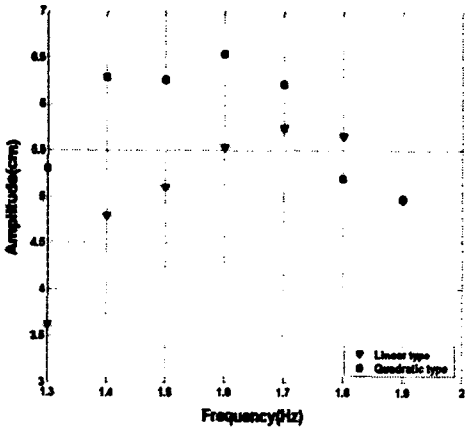

Fig. 11 Comparison of fully developed wave amplitude between Linear type and Quadratic type at Stroke 25㎜

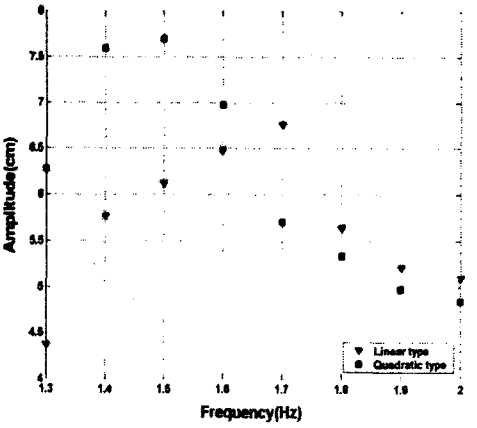

Fig. 12 Comparison of fully developed wave amplitude between Linear type and Quadratic type at Stroke 30㎜

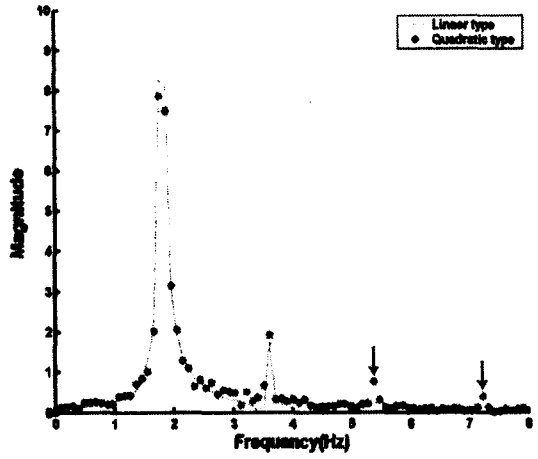

Fig. 13 Comparison of FFT results for both wave maker time history

참 고 문 헌

• 문원민, 권순홍, 이희성 (2001), "소파기의 수치 모델링에 관한 연구", 대한조선학회 춘계 학술 대회 논문집, p105-109

• S.H. Kwon, W.M. Moon, and H.S. Lee (2003), "Experimental and numerical studies on the development of a new wave absorber", Ocean Engineering, vol. 30, No. 2. p185-203

• M. Lebey, E. Rivoalen (2002), "Experimental study of the working principal and efficiency of a superposed inclined planes wave absorber" Ocean Engineering, vol. 29, p1427-1440