



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

LS-DYNA의 유체-구조 연성 해석기법을
이용한 슬로싱 및 슬래밍 응답해석

Sloshing and Slamming Response Analyses using
Fluid-Structure Interaction Analysis Technique of LS-DYNA



지도교수 이 상 갑

2010년 2월

한국해양대학교 대학원

조선해양시스템공학과

백 윤 화

본 논문을 백 윤화의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 : 공학박사 현 범 수 (인)

위 원 : 공학박사 손 경 호 (인)

위 원 : 공학박사 이 상 갑 (인)



2010년 2월

한국해양대학교 대학원

해양시스템공학과 백 윤 화

목 차

목 차	i
List of Tables	ii
List of Figures	iii
Abstract	vi
1. 서 론	1
2. ALE 해석기법	4
3. 2차원 탱크의 슬로싱 내충격 응답해석	7
4. 2차원 웨지의 슬래밍 내충격 응답해석	11
4.1 내충격 응답해석 모델링 및 해석조건	11
4.2 웨지의 슬래밍 내충격 응답	15
5. 결 론	19
참고 문헌	20

List of Tables

Table 1 EOS_linear_polynomial of fluid model	8
Table 2 Summary of the numbers of finite element mesh according to fine mesh size	15



List of figures

Fig. 1.1 Configuration of wet drop test of symmetric wedge	3
Fig. 2.1 Sketch of coupling algorithm with a dashpot	5
Fig. 2.2 Sketch of contact algorithm with a dashpot	6
Fig. 3.1 Configurations and dimensions of tank models	7
Fig. 3.2 Configurations of 2-D F.E. mesh of tank models	8
Fig. 3.3 Configuration of 2-D fluid sloshing behavior in tank model 1	9
Fig. 3.4 Configuration of 2-D fluid sloshing behavior in tank model 2	9
Fig. 3.5 Comparison of impact pressure of sloshing test and simulation in tank model 1	10
Fig. 3.6 Comparison of impact pressure of sloshing test and simulation in tank model 2	10
Fig. 4.1 Pressure sensors and accelerators on the model	11
Fig. 4.2 Time history of vertical velocity of wedge model	12
Fig. 4.3 Schematic view of simulation basin and a wedge model	12
Fig. 4.4 Schematic view of pressure measurement on a wedge model	13
Fig. 4.5 Schematic view of finite element modeling in fluid domain	14
Fig. 4.6 Configuration of F.E. mesh of fluid domain with fine mesh 1.0mm according to enlargement factors to boundary	14
Fig. 4.7 Configuration of F.E. mesh of fluid domain with enlargement factor 50 to boundary according to fine mesh size	15
Fig. 4.8 Wedge slamming simulation response behavior with F.E. size 1.0mm and enlargement scale factor 50.0	16
Fig. 4.9 Zoom view of wedge slamming simulation response behavior with F.E. size 1.0mm and enlargement scale factor 50.0	17
Fig. 4.10 Wedge slamming simulation response with F.E. size 1.0mm according to enlargement scale factor	18
Fig. 4.11 Wedge slamming simulation response with enlargement scale factor 50 according to F.E. size	18

Sloshing & Slamming Response Analyses using Fluid-Structure Interaction Analysis Technique of LS-DYNA

Baek, Yun-Hwa

Division of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering
Graduate School, Korea Maritime University

Abstract

As the cargo tank size and configuration of LNG carrier grows in response to the global increase in demands for LNG and the necessities of its economical transportation, sloshing impact loadings may become one of the most important factors in the structural safety of LNG Cargo Containment Systems (CCS). As the size of bow flare and the width of flat stern shape also grow in the modern large container ships for the extension of deck area and the improvement of propulsive efficiency, slamming impact loadings may be important factor in their structural safety assessment.

With the advent and ongoing advances in computational capabilities and its sophisticated tools, such as highly accurate dynamic nonlinear simulation code LS-DYNA, etc., shock response analyses, such as sloshing and slamming, have been actively carried out for more exact prediction of impact loadings together with tests and/or experiments, using Fluid-Structure Interaction (FSI) analysis technique.

In this study, to understand the characteristics of shock response behaviors of tank sloshing and wedge water entry problems and to enhance the shock response analysis technique, numerical simulations of 2D tank sloshing and 2D wedge slamming were performed using FSI analysis technique and ALE2D option of LS-DYNA code. Verifications were also carried out for the enhancement of simulation capability through the comparison of simulation results to experimental ones. Diverse parameters could be examined because of very efficient computational time using 2D simulation problems with recent R4.2.1 version of LS-DYNA ALE2D option. It could be confirmed that relatively good agreements of the analysis results were obtained compared to the experimental ones, and several parameters in

the coupling algorithm and the mesh size in the shock area greatly affected the shock responses.



1. 서 론

최근 LNG에 대한 수요 증가로 LNG 운반선이 대형화 되고 있고 LNG-FPSO, LNG RV 및 FSRU와 같은 새로운 개념의 선박 및 해양구조물들의 개발이 이루어지고 있다. 또한 LNG 화물창의 대형화, 부분 적재, 황천 운항 등으로 인해 슬로싱(sloshing) 충격하중을 고려한 LNG 단열화물창(CCS; Cargo Containment System)의 설계 및 구조 안전성 평가(structural safety assessment)에 대한 기술개발 요구가 증대되고 있어 슬로싱 수치해석이 매우 중요한 시점에 있다.

또한 대파고 파랑 중 발생하는 선박의 과도한 운동은 슬래밍(slamming) 현상을 동반하게 되며 이 때 선체에는 매우 큰 충격하중이 발생한다. 슬래밍 현상에 대한 많은 이론적, 실험적 및 수치적 연구가 von Karman(1929)과 Wagner(1932)의 선구적인 연구를 시작으로 해서 최근까지 지속적으로 수행되고 있다. 특히, 최근 컨테이너 운반선의 대형화 및 고속화로 인하여 컨테이너 운반선의 선수부 플래어 및 선미부는 슬래밍 충격력에 의하여 구조적으로 큰 손상을 받을 가능성이 크게 증가 되었으며, 정확한 구조적 안전성 평가를 위하여 정도 높게 슬래밍 충격력을 추정하고자 실험 및 수치 해석적인 연구가 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 슬로싱 문제의 수치 해석적 접근방법에서 계산영역(computational domain) 경계(boundary)의 움직임과 자유표면(free surface)의 비선형적인 거동의 정확한 포착에 대한 어려움이 있다. 여러 가지 방법들을 사용하여 슬로싱 문제에 접근하였다.

Nakayama and Washizu(1981)와 Faltinsen (1978)은 2차원 슬로싱 문제에 대하여 경계요소법을 이용하여 해석을 시도하였고, Wu et al.(1998)은 유한요소법을 이용하여 슬로싱 문제에 접근하였다. Kim(2001)은 유한차분법을 이용하여 3차원 탱크에 대한 충격하중을 계산하였고, Iglesias et al.(2004)과 Kim et al.(2007)은 SPH 방법을 사용하여 그리고 Jeong et al.(2005)는 밀도함수법(marker density method)을 사용하여 비선형 현상이 강하게 나타나는 경우에 대한 계산을 수행하였다.

Yang, K.K et al. (2009)는 CIP(constrained interpolation profile) 기법을 기반으로 하여 자유표면 문제를 물과 공기의 다상 문제(multiphase problem)로 해석하는 CCUP(CIP combined and unified procedure)과 tangent hyperbolic 함수를 이용한 THINC(tangent of hyperbola for interface capturing) 기법을 적용하여 강제 sway 및 roll 운동에 개한 슬로싱 문제를 해석하고 그 결과들을 비교하였다.

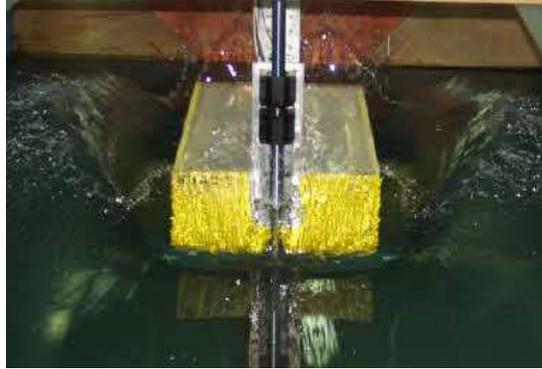
Aquelet et al.(2003 and 2006) 및 Souli et al.(2000)는 유체-구조 연성(FSI; Fluid-Structure Interaction) 해석기법 중 LS-DYNA code(LSTC 2007)의 ALE(Arbitrary Lagrangian Eulerian) 해석기법(Aquelet et al. 2003 and 2006, Souli et al. 2000)을 이용하여 슬래밍(slamming)과 슬로싱(sloshing) 문제에 적용하였다.

Yang et al.(2007)은 Fig. 1.1에서와 같이 대칭 웨지형 단면에 대한 수조에서의 수면낙하(wet drop) 실험을 수행하고 RANS 방정식에 기반한 CFD(Computational Fluid Dynamics) code인 FLUENT (2006)을 사용한 수치해석을 수행하여 결과와 비교 검토하였다.

FLUENT를 사용한 수치해석에서는 격자를 고정하고 압력을 밑에서 유입시켜 상부로 배출시켜 유체를 위로 이동시키거나, 웨지를 자유수면으로 낙하시켜 유체의 격자구조를 매 시간마다 재조정시키는 기법을 사용하였다(Yang et al. 2007, Lee and Rhee 2009, Yum and Yoon, 2008).



(a) experimental set-up installed in a water tank



(b) free surface of deformation during water entry

Fig. 1.1 Configuration of wet drop test of symmetric wedge (Yang et al. 2007)

최근에 출시된 LS-DYNA code의 R4.2.1 버전 ALE2D option(LSTC 2009)은 기존의 3차원 유체-구조 연성해석을 2차원으로 가능하게 하여 해석시간을 단축시키고 있다. 내충격 응답해석 기술의 향상을 위하여 이에 대한 검증과 내충격 응답해석 기술의 향상을 위하여 2가지 탱크 모델의 2차원 슬로싱과 대칭 웨지형 모델의 슬래밍 내충격 응답해석을 수행하여 실험결과와 비교 검토하였다(Arai et al. 1984, Yang et al. 2007).



2. ALE 해석기법

대변형(large deformation) 또는 유체-구조 연성 문제 등의 유한요소해석에서는 잘 알려져 있는 바와 같이 Lagrangian 방식과 Eulerian 방식의 2가지 관점에서의 정식화(formulation)가 가장 많이 사용되고 있다. Lagrangian 방식은 요소격자(mesh)가 대상체에 붙어 움직이면서 대상체와 같은 거동을 하는 것으로 구조 문제(structure problem)에 적합하다.

자유표면 등의 경계를 표현하는 것이 자유롭고 작은 변형률의 문제에 있어 빠른 수렴과 정확한 결과를 주는 반면, 대변형 또는 비선형 경계치 문제에서는 격자의 과도한 찌그러짐으로 인하여 오차가 증가하여 해석 결과의 정밀도가 저하되거나 계산 시간간격이 극도로 짧아짐에 따라 해석이 중단되기도 한다. 이를 해결하기 위하여 자동 요소격자 재생성 기법(automatic and rezoning technique of mesh) 등을 적용한 updated Lagrangian 방식도 개발되었으나 재생성 과정에서의 보간(interpolation) 자체가 정확성을 떨어뜨리는 결과를 가져온다.

Eulerian 방식에서는 검사체적(control volume)을 생성하여 체적내의 유동변화와 같은 경계 형상변화가 최소인 유체 문제(fluid problem)에 적합하고 효율적이지만 물질 유동이 많아 경계 형상변화가 과도한 경우에는 신뢰성이 저하되어 부적합한 것으로 평가된다. 여기서도 요소격자를 재생성 하는 기법들이 사용되지만 시행착오법에 기초한다.

계산 수행 중 과도한 요소격자의 변형이 발생했을 경우 계산을 중단하고 요소격자를 적절히 수정한 후 물성 데이터를 변형 요소에서 새롭게 수정된 요소로 변환하여 이동시켜 다시 계산을 수행하게 하는 ALE 기법이 제안되었다. 요소격자가 대상체에 붙어있는 Lagrangian 좌표계도 아니고 공간에 고정되어있는 Eulerian 좌표계도 아닌 새로운 기준(reference) 또는 ALE 좌표계에 의한 요소격자의 이동에 관한 smoothing 알고리즘과 데이터 변환과정인 advection 과정을 통하여 과도한 변형을 수반하는 문제와 연성문제에 있어 논리적인 해석방법을 제공하고 각 단계마다 다양하고 정밀도 높은 답을 얻을 수 있으나, 연산 분

해(operator split) 기법에 따른 Lagrangian과 Eulerian(advection)의 2개 단계를 거치면서 계산을 수행하므로 연산 시간이 늘어나는 단점이 있지만 최적의 형상과 조건을 유지하면서 해석을 수행할 수 있으므로 긍정적인 면이 더 크다고 할 수 있다.

구조물이 비압축성에 가까운 유체에 고속으로 충격을 가하는 슬래밍(slamming)이나 역으로 유체가 구조물에 고속으로 충격을 가하는 슬로싱(sloshing)과 같은 유체-구조 상호작용의 충격문제에 적합하고 LS-DYNA와 같은 explicit code에 사용 가능한 유체-구조 연성 알고리즘(fluid-structure coupling algorithm) 중에서 Fig. 2.1과 같은 Euler-Lagrange penalty coupling 알고리즘을 사용하는 것이 효율적이다.

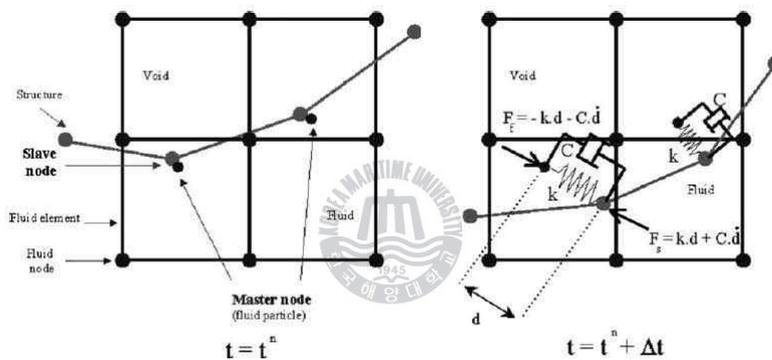


Fig. 2.1 Sketch of coupling algorithm with a dashpot (Aquelet et al. 2006)

이 알고리즘은 Fig. 2.2 에서와 같은 Lagrangian 해석에 주로 사용되는 penalty contact과 비슷한 penalty coupling 기법을 사용한다. 이러한 연성 알고리즘들에 적용되고 있는 penalty 스프링에 의하여 penalty force를 구하고, 특히 비압축성에 가까운 유체와의 충격에 의하여 고주파 진동을 유발하므로 유체와 구조의 상대속도에 따른 감쇠력(damping force)은 이러한 고주파 진동을 완하시킨다. 일반적으로 접촉면(contact interface)이 유체와 구조격자를 분리하여 유체-구조 연성문제를 취급하는 접촉문제와는 달리 유체영역의 Eulerian 또는 ALE 격자와, 구조물의 Lagrangian 격자의 2가지 요소격자를 중첩하여 취급한다. CFD와 구

조해석 코드와 같은 2개의 별개 코드들을 연성시키는 기존 알고리즘과는 달리 유체-구조 연성문제를 완전히 연성시킨다.

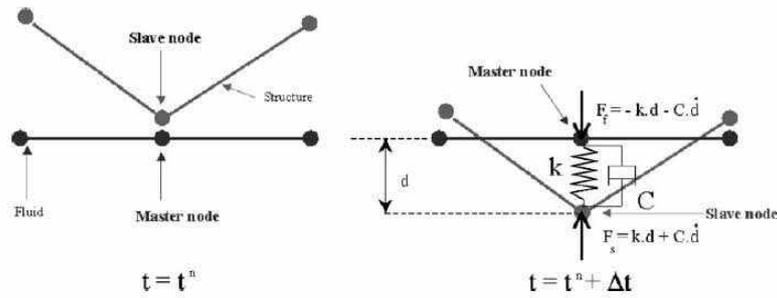


Fig. 2.2 Sketch of contact algorithm with a dashpot (Aquelet et al. 2006)



3. 2차원 탱크의 슬로싱 내충격 응답해석

LS-DYNA code에서는 유체-구조 연성해석을 수행하기 위해서는 3차원에 대한 option만 가능하였으나 최근 2차원 ALE2D option이 출시되어 (LSTC 2009) 기존의 3차원 시뮬레이션을 2차원으로 가능하게 하여 해석 시간을 단축시킬 수 있다. 여기서 solid 요소는 shell 요소로, shell 요소는 beam 요소로 사용한다. 실험결과가 있는 2가지 탱크 모델에 대한 2차원 슬로싱 내충격 응답해석 수행하여 비교 검토하였다.

Fig. 3.1 은 탱크 모델 1과 2의 형상과 제원을 보여주고 있다. 2가지 탱크 모델의 충격압력 측정 지점은 탱크 모형의 선수방향 전면의 P1, P2 및 P3이다. 모두 병진동요(sway)를 인 경우로 주기와 진폭은 각각 1초와 5.0mm이고 수심은 탱크 모델 높이의 0.5배이다.

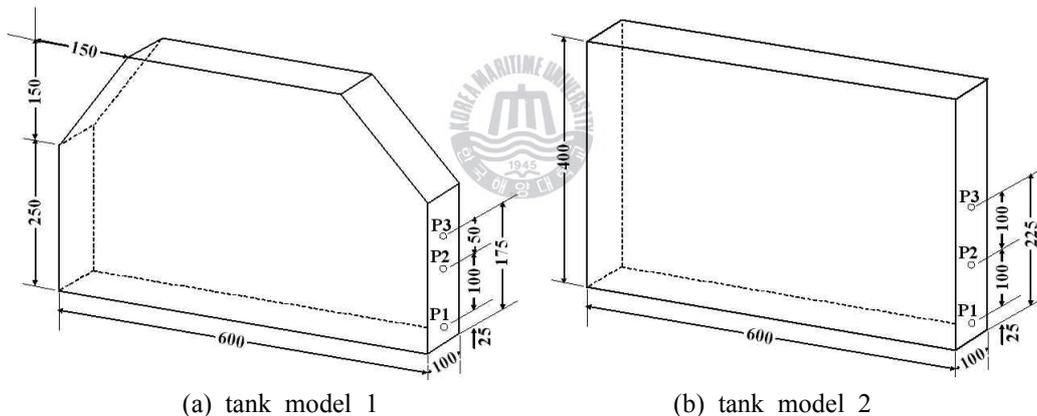
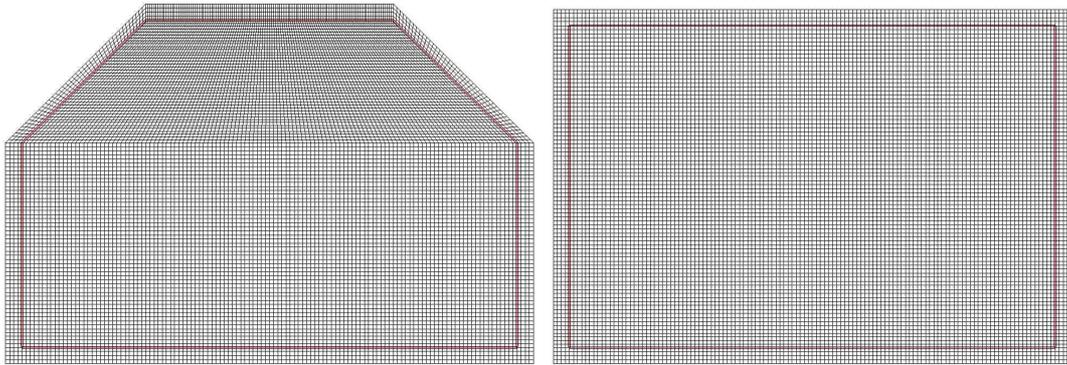


Fig. 3.1 Configurations and dimensions of tank models (unit : mm)

Fig. 3.2 는 탱크 모델 1과 2의 탱크 및 유체의 2차원 유한요소 모델을 보여주고 있다. 유한요소의 크기는 5.0mm 정도로 하였다. 공기와 청수는 Linear_Polynomial의 상태방정식(EOS; Equation of State)을 사용하였고 각 계수들은 Table 1에 정리되어 있다.



(a) tank model 1

(b) tank model 2

Fig. 3.2 Configurations of 2-D F.E. mesh of tank models

Table 1 EOS_linear_polynomial of fluid model

item	flesh water	air
density(kg/m ³)	1,000.000	1.225
C ₀ (Pa)	0	0
C ₁ (Pa)	2.002e9	0
C ₂ (Pa)	8.436e9	0
C ₃ (Pa)	8.010e9	0
C ₄	0.4394	0.4000
C ₅	1.3937	0.4000
C ₆	0	0
E ₀ (Pa)	2.086e5	2.500e5
V ₀	1	1

$$p = C_0 + C_1\mu + C_2\mu^2 + C_3\mu^3 + (C_4 + C_5\mu + C_6\mu^2)E \text{ (pressure in compression)}$$

$$p = C_1\mu + (C_4 + C_5\mu + C_6\mu^2)E \text{ (pressure in tension)}$$

where, $\mu = \rho/\rho_0 - 1$

E : unit of pressure

E₀ : initial internal energy per unit reference specific volume

V₀ : initial relative volume

Fig. 3.3와 3.4은 각 탱크 모델 1과 2의 탱크내의 유체 슬로싱 거동을 보여주고 있으며, 각 측정지점에서 충격압력의 응답 및 실험 결과를 Fig. 3.5과 3.6에 각각 나타내었다. 충격압력 수치해석 결과가 실험 결과에 대체로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

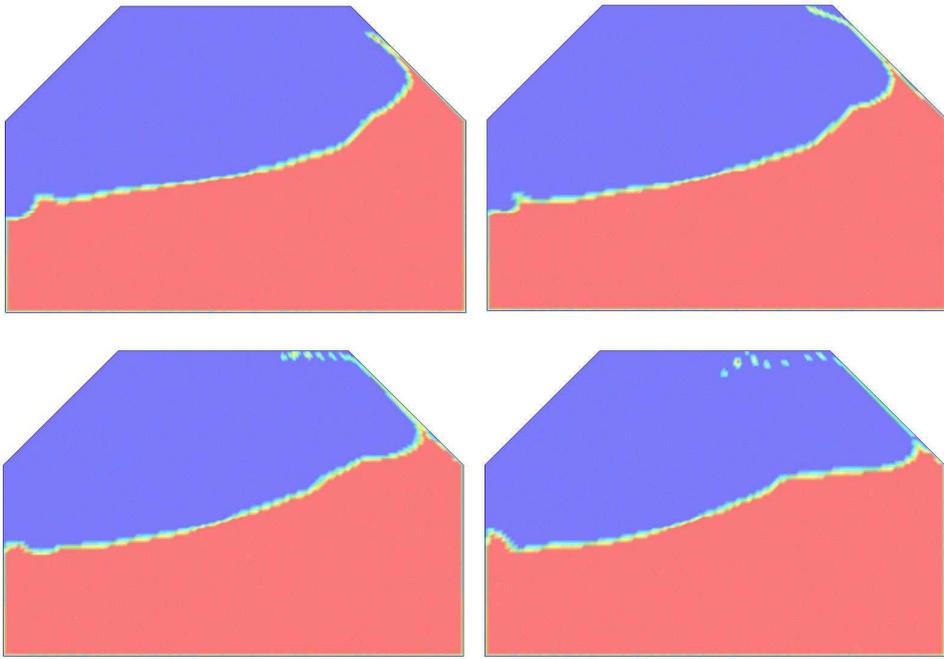


Fig. 3.3 Configuration of 2-D fluid sloshing behavior in tank model 1

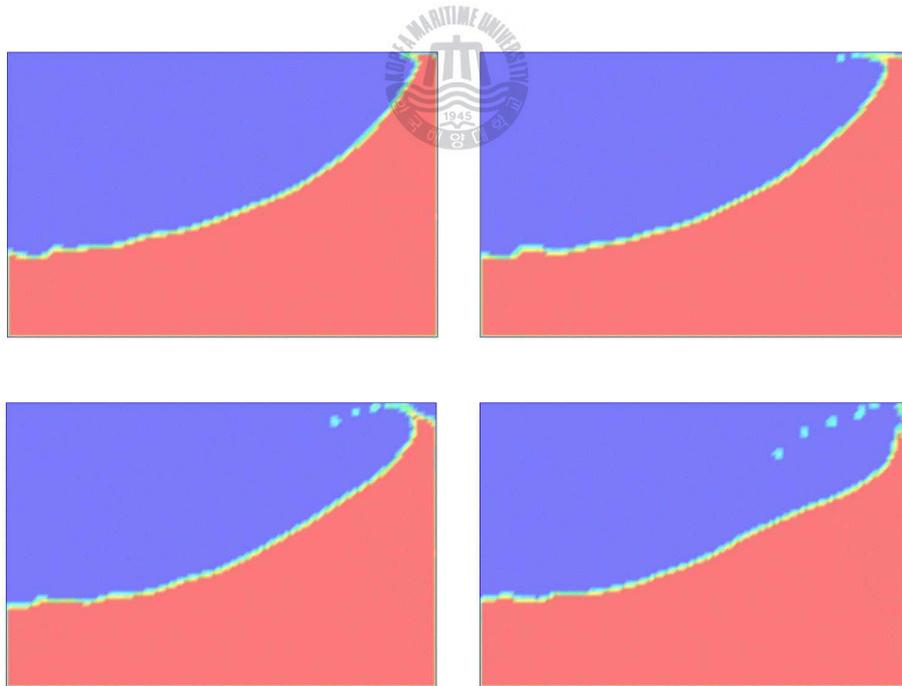


Fig. 3.4 Configuration of 2-D fluid sloshing behavior in tank model 2

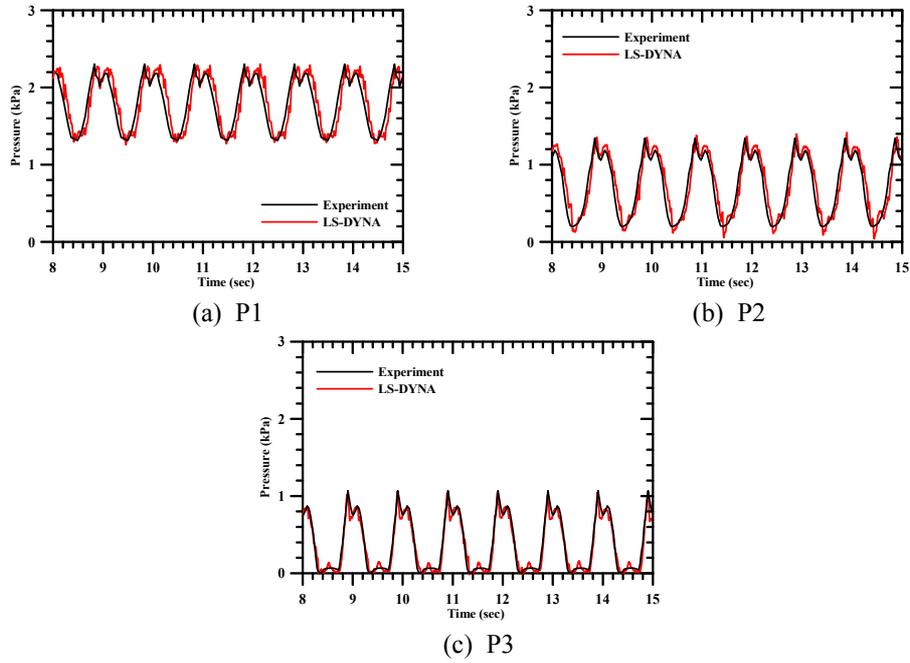


Fig. 3.5 Comparison of impact pressure of sloshing test and simulation in tank model 1

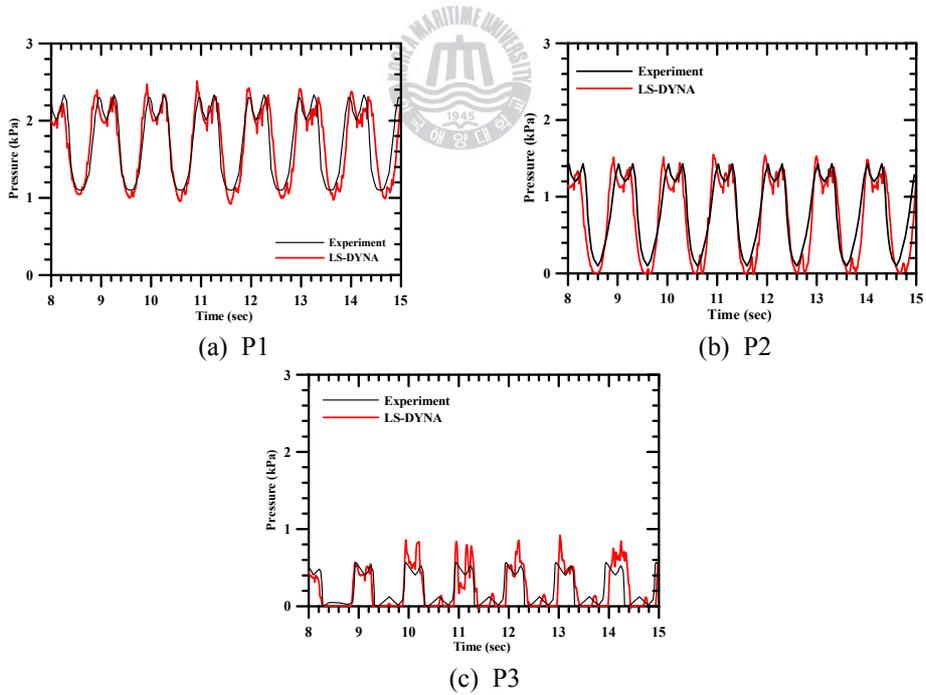


Fig. 3.6 Comparison of impact pressure of sloshing test and simulation in tank model 2

4. 2차원 웨지의 슬래밍 내충격 응답해석

4.1 내충격 응답해석 모델링 및 해석조건

Yang et al.(2007)이 수행한 대칭 웨지형 단면(길이 1.0m, 폭 0.6m, 깊이 0.4m)의 슬래밍 실험은 현대중공업 선박해양연구소(HMRI)의 작은 수조(길이 5.4m, 폭 2.5m, 최대깊이 1.8m)에서 수행되었으며, 압력계는 Fig. 4에서와 같이 웨지형 단면 모델의 중심에서 100mm 떨어진 위치에서 중심선으로부터 각각 50, 100, 150, 200 및 250mm 떨어진 지점에 심어져 있다. 본 연구에서는 60kg중의 중량의 10° 입수각도를 갖는 대칭 웨지형 모델이 높이 200mm에서 자유 수면낙하 하는 경우에 대하여 수치해석을 수행하였다. 이때 수조의 수심은 1.0m이었다.

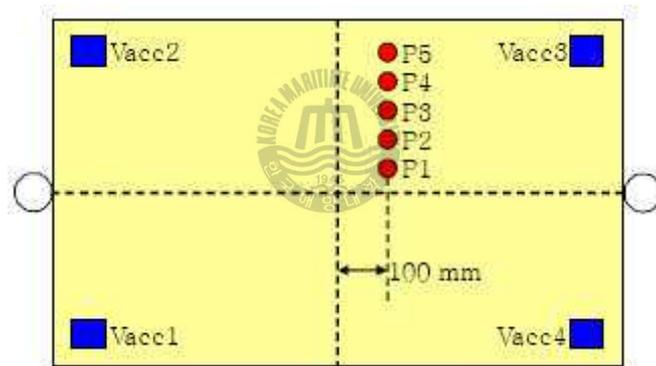


Fig. 4.1 Pressure sensors and accelerators on the model (Yang et al. 2007)

낙하높이 200mm에서의 이론적인 초기 입수속도는 1.981m/sec이지만 웨지형 모델의 낙하 가이드 레일 시스템에서의 마찰 등으로 인하여 실제 입수속도는 1.830m/sec로 측정되었다. 이것은 Fig. 4.1 에서의 웨지형 모델에 부착된 4개의 가속도계로부터 측정되었다. 본 수치해석에서는 2차원임으로 중력가속도를 고려하기 어렵기 때문에 해석의 편의를 위해 Fig. 4.2와 같이 측정된 속도이력을 입수직전 웨지형 모델에 적용시켰다.

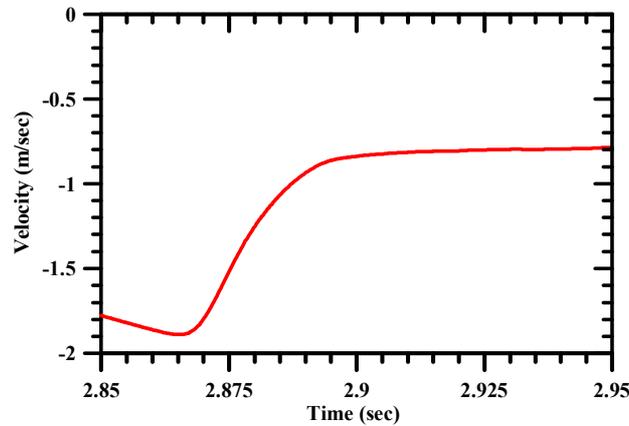


Fig. 4.2 Time history of vertical velocity of wedge model (Yang et al. 2007)

Fig. 4.3 은 2차원 웨지형 모델의 수면낙하 시뮬레이션을 위한 시나리오를 보여주고 있다. 공기와 청수의 유체는 자유수면(free surface)을 경계로 하고 있으며, 측면과 바닥은 실제 수조에서와 같이 구속하여 유체의 흐름과 압력이 반사되도록 하였다. 공기의 경계도 압력 유지를 위해 고정시켰으며 해석 편의상 대칭조건을 사용하였다. 그리고 웨지형 모델에서의 압력은 Fig. 4.4 에서와 같이 실험과 동등하게 측정하였다.

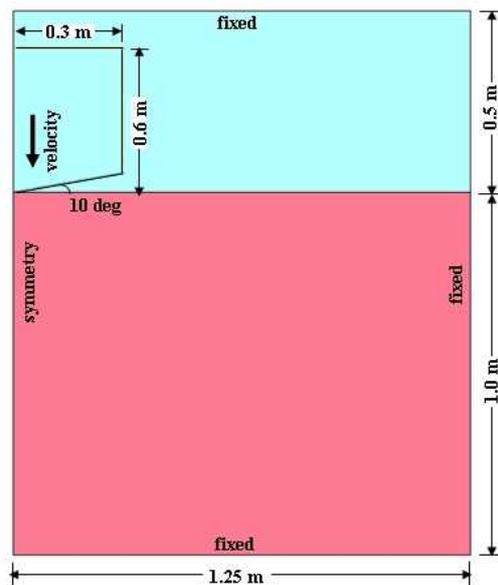


Fig. 4.3 Schematic view of simulation basin and a wedge model

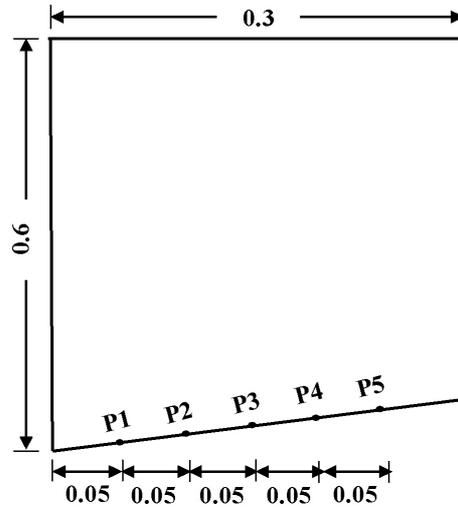


Fig. 4.4 Schematic view of pressure measurement on a wedge model
(unit : m)

Fig. 4.5 에서와 같이 웨지형 모델의 압력 측정 지점 중 가장 아래쪽에 있는 P1이 해석시간이 끝나는 0.05초까지 떨어진 거리 0.085m 만큼 유체 영역을 상세하게 모델링 하였고, 가장 위쪽에 있는 압력 측정 지점 P5에서의 압력의 극치(peak)가 수면 위로 0.015m 높이에서 발생하므로 0.02m까지 상세하게 모델링 하였다. 그리고 웨지형 모델 폭의 10%인 우측 0.3m까지 상세 모델링을 연장하였고 우측과 바닥의 경계까지는 상세 모델의 크기의 10배, 25배 및 50배까지 직선적으로 확대시켰고, 공기영역의 최상단까지는 이들의 확대비율의 절반으로 잡았다.

공기와 청수는 Linear_Polynomial 의 상태방정식(Equation of State; EOS)을 사용하였고 각 계수들은 Table 1에 정리되어 있다. Fig. 4.6 는 상세 모델링 영역은 유한요소 크기가 1.0mm이고 바깥 경계영역에서는 이들의 요소크기가 각각 10배, 25배 및 50배로 확대한 유한요소 모델링을 보여주고 있다. Fig. 4.7 은 상세 모델링 영역에서의 유한요소 크기에 대한 영향을 고려하기 위하여 0.5mm, 1.0mm 및 2.0mm의 유한요소 크기에 대한 모델링을 보여주고 있다. 이때 바깥영역에서의 요소는 상세 요소크기를 50배 확대하였다. 각 경우에 대한 유체영역의 유한요소 개수는 Table 2에 요약되어 있다.

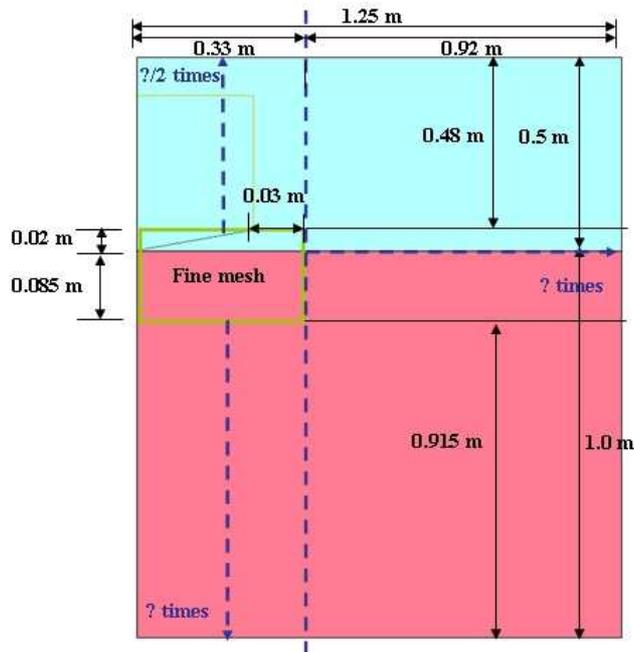
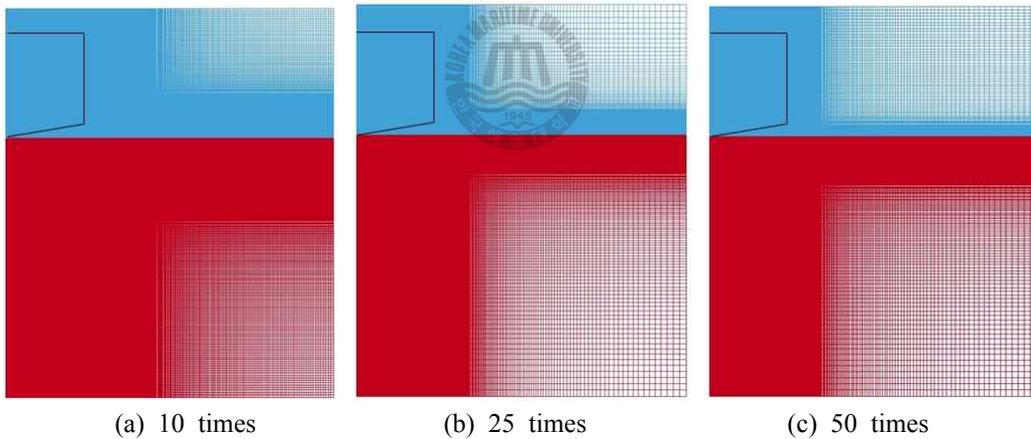


Fig. 4.5 Schematic view of finite element modeling in fluid domain



(a) 10 times (b) 25 times (c) 50 times
 Fig. 4.6 Configuration of F.E. mesh of fluid domain with fine mesh 1.0mm according to enlargement factors to boundary

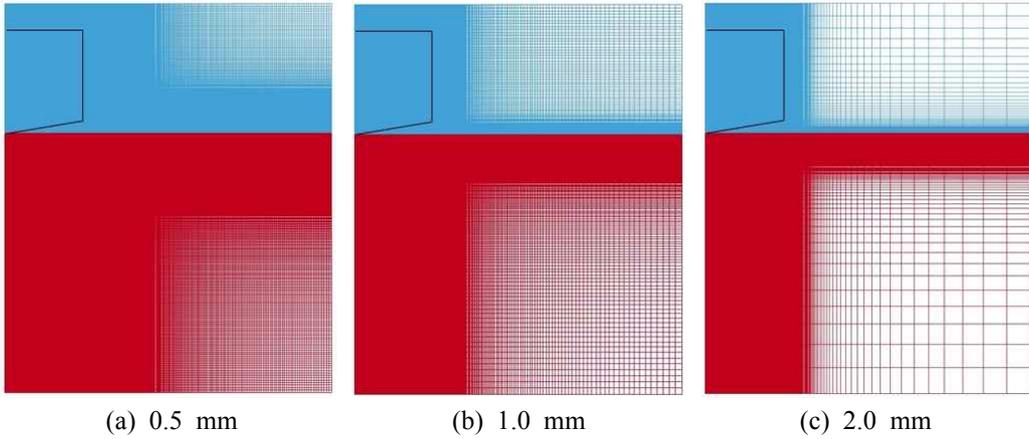


Fig. 4.7 Configuration of F.E. mesh of fluid domain with enlargement factor 50 to boundary according to fine mesh size

Table 2 Summary of the numbers of finite element mesh according to fine mesh size

fine mesh size	number of finite element mesh
0.5 mm	350,000
1.0 mm	90,000
2.0 mm	35,000

4.2 슬래밍 내충격 응답

Fig. 4.8 은 상세 모델링 유체영역에서의 유한요소 크기가 1.0mm이고 바깥 경계영역에서의 이들의 요소크기가 50배로 확대한 유한요소 모델링에 대한 2차 강체 웨지형 모델의 슬래밍 내충격 응답해석의 거동을 보여주고 있고, Fig. 4.9 는 웨지형 모델 부근의 확대된 거동을 보여주고 있다.

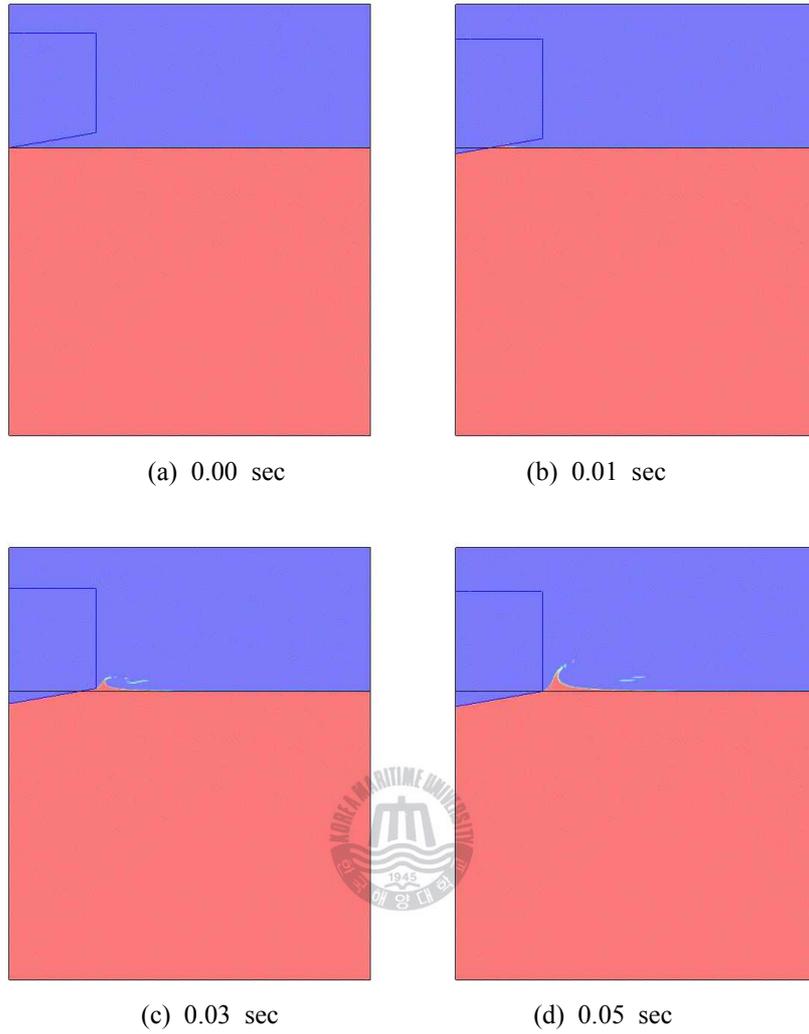
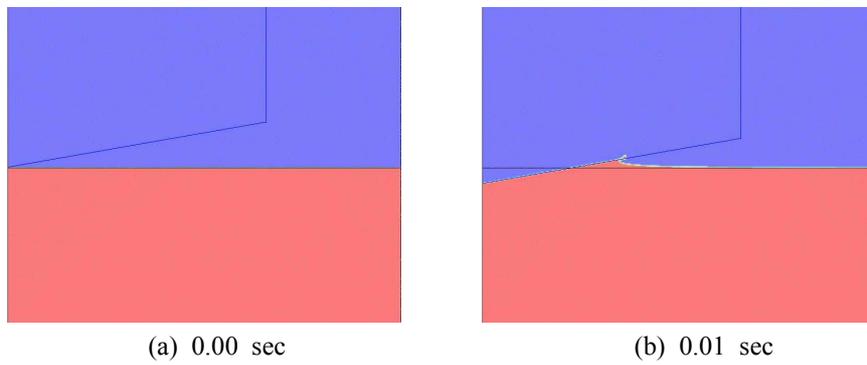


Fig. 4.8 Wedge slamming simulation response behavior with F.E. size 1.0mm and enlargement scale factor 50.0



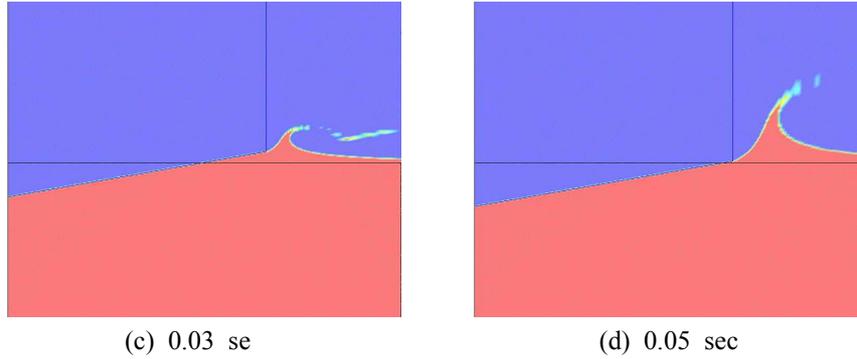
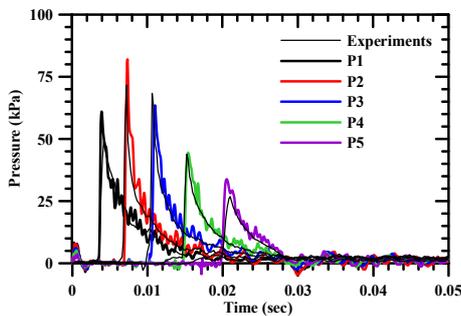
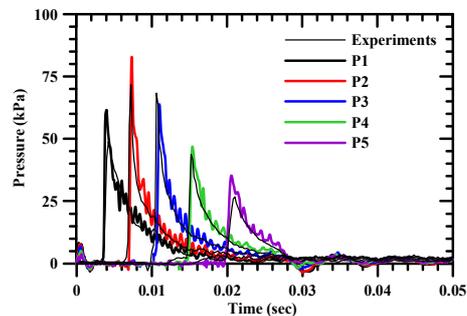


Fig. 4.9 Zoom view of wedge slamming simulation response behavior with F.E. size 1.0mm and enlargement scale factor 50.0

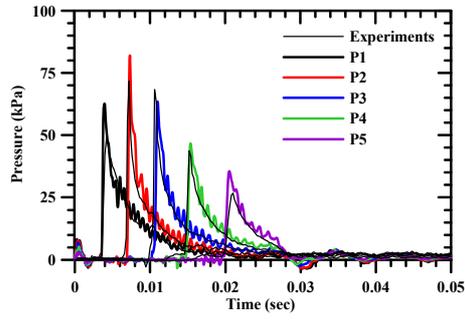
먼저 상세 모델링 유체영역에서의 유한요소 크기가 1.0mm이고 바깥 경계영역에서의 이들의 요소크기가 각각 10배, 25배 및 50배로 확대한 유한요소 모델링에 대한 2차 강체 웨지형 모델의 수면낙하 내충격 응답 해석의 응답은 실험결과와 비교하여 Fig. 4.10 에 나타나 있다. 전반적으로 실험결과와 매우 잘 일치하고 있고, 상세 모델링 영역에서 바깥 영역으로의 유한요소 모델링은 그렇게 크게 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 상세 영역에서의 유한요소 크기의 영향을 고찰하기 위한 바깥 경계영역에서의 이들의 요소크기를 50배로 확대한 유한요소 모델링에 대하여 살펴보았다. Fig. 4.11 는 상세 영역에서의 유한요소 크기 0.5, 1.0 및 2.0mm에 대한 2차 강체 웨지형 모델의 수면낙하 내충격 응답해석의 응답을 보여주고 있다. 요소크기가 작을수록 응답의 극치가 증가함을 알 수 있고, 본 연구의 시나리오에 따르면 요소크기는 1.0mm가 적당하다는 것을 알 수 있다.



(a) 50 times

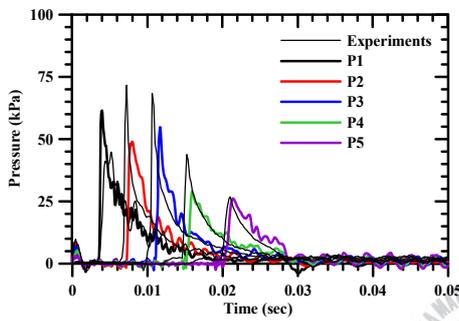


(b) 25 times

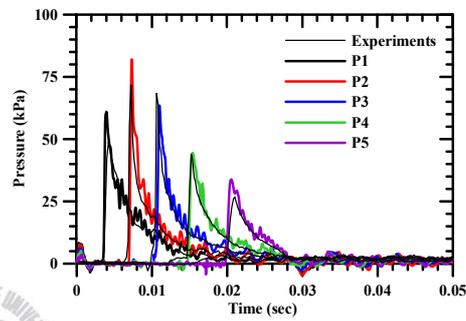


(c) 10 times

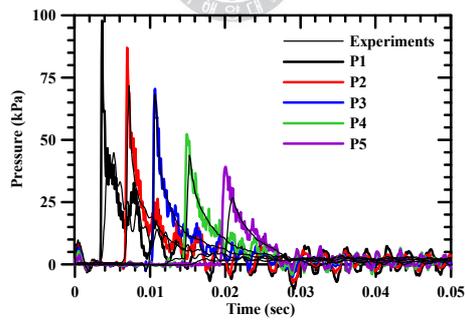
Fig. 4.10 Wedge slamming simulation response with F.E. size 1.0mm according to enlargement scale factor



(a) 2.0 mm



(b) 1.0 mm



(c) 0.5 mm

Fig. 4.11 Wedge slamming simulation response with enlargement scale factor 50 according to F.E. size

5. 결 론

본 연구에서는 슬로싱과 슬래밍의 내충격 응답거동 특성을 정확히 파악하고 내충격 응답해석 기술의 향상을 위하여 LS-DYNA code의 유체-구조 연성 해석기법과 ALE2D option을 사용하여 2차원 탱크의 슬로싱과 2차원 강제 웨지형 모델의 슬래밍 내충격 응답해석을 수행하고 실험 결과와의 비교 검토를 통하여 검증하였다. 실험 결과와 비교 검토를 통하여 내충격 응답해석 결과는 대체로 잘 일치하고 있으며 충격 영역에서의 유한요소 크기가 응답에 크게 영향을 주었다.

본 연구에서 수행한 2차원 탱크 슬로싱 내충격 응답해석에서 유체 모델링 기법을 개선시키고 탱크 모델의 두께 방향 치수가 미치는 영향과 치수효과를 고려하여 3차원 탱크 슬로싱 내충격 응답해석의 기술을 향상시키고, 또한 슬래밍 내충격 응답해석에서는 중력을 고려하는 3차원에 적용하여 실제 구조물의 수면낙하 내충격 응답해석의 기술을 향상시키고자 한다.



참 고 문 헌

- Aquelet, N, Souli, M., Gabryls, J. and Olovsson, L., 2003, "A new ALE formulation for sloshing analysis," Struct. Engrg. Mech. Vol. 16, No. 4, pp. 423 - 440.
- Aquelet, N, Souli, M. and Olovsson, L., 2006, "Euler - Lagrange coupling with damping effects: Application to slamming problems," Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 195, pp. 110 - 132.
- Chung, J.Y., Lee, J.H., Kwon, S.H., Ha, M.K., Bang, C.S., Lee, J.N. and Kim, J.J., 2006, "Wet Drop Test for LNG Insulation System," Proceedings of ISOPE, Vol. 3, pp. 199-204.
- FLUENT 2006, Fluent Ver.6.3.26 User's Manual.
- Lee, H.H. and Rhee, S.H., 2009, "Numerical Parameters Influencing Two Dimensional Water Entry Simulations," The Proceedings of the 19th ISOPE, Vol. 3, pp. 348-352.
- Lee, S.G., Hwang, J.O. and Kim, W.S., 2008a, "Wet Drop Impact Response Analysis of CCS in Membrane Type LNG Carriers I : Development of Numerical Simulation Analysis Technique through Validation," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 6, pp. 726-734.
- Lee, S.G., Hwang, J.O. and Kim, W.S., 2008b, "Wet Drop Impact Response Analysis of CCS in Membrane Type LNG Carriers II : Consideration of Effects on Impact Response Behaviors," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 6, pp. 735-749.
- LSTC, 2007, LS-DYNA User's Manual, Version 971, Livermore Soft Technology Corp., USA.
- LSTC, 2009, LS-DYNA User's Manual, Version 971 R4, Livermore

Soft Technology Corp., USA.

- Souli, M., Ouahsine, A. and Lewin, L., 2000, "ALE formulation for fluid-structure interaction problems," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 190, pp. 659-675.
- von Karman, T., 1929, "The impact of seaplane floats during landing," N.A.C.A. TN321, Washington.
- Wagner, V. H., 1932, "Über Stoss und Gleitvorgänge an der Oberfläche von Flüssigkeiten," *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, Vol. 12, pp. 193-215.
- Yang, S.H., Lee, H.H., Park, T.H., Lee, I.H and Lee, Y.W., 2007, "Experimental and numerical study on the water entry of symmetric wedges and a stern section of modern containership," *Proc. of Practical Design of Ships and Offshore Structures Symp.*
- Yum, D.J. and Yoon, B.S., 2008, "Numerical Simulation of Slamming Phenomena for 2-D Wedges," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 45, No. 3, pp. 631-681.

