한국항해항만학회지 제31권 제3호, pp. 213~221, 2007 (ISSN-1598-5725)
Journal of Korean Navigation and Port Research

LS-DYNA3D를 이용한 좌초 선박 손상평가

한대석* · 임채환** · 이탁기*** · † 이제명****

* 부산대학교 조선해양공학과 대학원, **한국기계연구원, ***, ****부산대학교 조선해양공학과 조교수,

A study for numerical simulation about grounding of 105k tanker

Dae-suk Han · Chae-Whan Rim** · Tak-Kee Lee*** · † Jae-Myung Lee****

*Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, Graduate school of Pusan National University, Pusan 627-706, Korea
**Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, Pusan National University, Pusan 627-706, Korea
, * Korea Institute of Machinery & Materials*

요 약 : 최근의 선박은 설계 단계부터 그 수명을 다할 때 까지 여러 가지 환경적인 측면이 중요하게 고려되어 제작되고 있다. 이 중 유조선의 좌초충돌에 의한 기름 유출사고는 심각한 해양오염의 일으키는 주요한 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 선박의 충돌해석코드를 이용한 시뮬레이션을 수행하여 선박이 어떠한 손상을 입게 되는지 알아보고자 하였다. 이를 위해서 105k 탱커모델을 구성하고 일련의 시리즈해석을 LS-Dyna3D로 해석을 수행하였다. 연구수행은 먼저, 요소크기의 수렴성을 확인 하여 요소크기를 결정하였고, 좌초시나리오를 구성하여 해석한 후, 결과를 분석하여 나타내었다.

핵심용어 : 전진형 좌초, 이중 선체구조, 기름 유출, 유한요소법, 수치해석법

Abstract : *Recently, environmental design are becoming a matter of grave concern in shipbuilding. Out of these concern , oil spilt which is induced by grounding accidents is very critical reason of the ocean pollution. Therefore, a series of quarter of 105k tanker model grounding simulations were conducted to analyze it's characteristics for the accident. ship get using LS-DYNA3D. In this paper, to conduct whole simulations, a meshsize convergence test was carried out to determine appropriate meshsize for grounding test. After the series analysis, These results were analyzed as each case.*

Key words : *Grounding, Double Hull structure, Oil spilt, Finite element method, Numerical Analysis*

1. 서 론

좌초 및 충돌 사고는 선박의 구조 안전성에 가장 현저하게 영향을 미치는 사고 중의 하나이다. 영국 로이드선급(1995)에 따르면, 선박전복의 50%이상이 좌초충돌사고에 기인하는 것으로 나타나고 있으며, 70%이상의 기름 유출오염이 이 좌초충돌에 의하여 이루어지고 있다.

최근 선박의 안전성 강화에 관한 다양한 규정들이 공표되고 있으며, 특히 인명사고 방지와 기름유출에 의한 해양오염 저감을 위하여 좌초사고에 대한 선박 안전성제고 방법으로 내충격 안전성 강화 설계를 통한 좌초 사고 시 선박손상 최소화 방안들이 모색되고 있다.

일반적으로 사고를 대비한 합리적인 설계안을 도출하는 방법에는 다양한 종류가 있다. 구체적인 사고에 대한 경험 자료를 이용하거나 직접 실험을 수행하여 사고 자체에 관한 정보를 얻어냄으로써 설계안에 대한 개선을 얻는 것이 가장 유용한 방법이며, 실제로 진보적인 설계를 위해 활용되는 방법으로 알려져 있다. 하지만 선박의 좌초사고와 같이, 실험 수행에 있어서 위험부담과 고비용이 수반되는 경우에 대해서는 매 경우별로 실험을 수행하기가 쉽지 않다. 따라서 유한요소해석 등을 통한 시뮬레이션 기반 (SBD: Simulation Based Design) 접근법이, 최근의 해석기술 및 전산기의 발전에 힘입어 실제로 실험을 수행하기 힘든 경우의 결과예측을 위해 자주 사용되고 있다.

수치해석을 이용한 구조물의 거동 분석에는, 해석 시 사용하는 가정이나 해석기법, 모델링 기법의 종류에 의해 다양한 편차들이 발생하며, 특히 동적 해석 등과 같이 비선형 문제의 경우 이러한 편차의 범위가 더욱 확대되기도 한다.

본 논문에서는, 선박의 좌초사고 시 발생 가능한 손상범위를 예측하는 해석기술의 검토와 실제 선박을 대상으로 하는 해석기술의 적용을 통하여 좌초사고 해석용 기술로서의 유용성을 검토한다.

* 대표저자 : 한대석(정회원), hds619@pusan.ac.kr 051)510-3986
** 정회원, cwrim@kimm.re.kr 042)868-7415
** 정회원, tklee@kimm.re.kr 042)868-7473
† 교신저자 : 이제명, jaemlee@pusan.ac.kr 051)510-2342

2. 유한요소해석

2.1 해석기술의 검증

본 연구에서는, 동적구조해석용 범용 유한요소해석코드 DYNA-3D를 이용하여 좌초 해석을 수행하였다. 전술한 바와 같이 범용해석코드를 사용할 경우, 구조이산화 기법 및 입력자료의 처리방법에 따라 결과의 편차가 발생할 수 있다. 이러한 경우, 가장 효과적인 방법은 실험 등에 의한 구체적인 검증용 결과가 존재하는 문제를 대상으로 적용하고자 하는 해석기술 검토를 우선적으로 수행하는 것이 요구된다.

따라서 본 연구에서는, NSWCCD (Carderock Devision of the Naval Surface Warfare Center)에서 수행된 1/5 축적의 유조선에 대한 시리즈 좌초 실험 (Rodd, 1965)을 대상으로 해석기술의 검증을 수행하였다.

좌초실험 모델은 기본적으로 보편적으로 사용되는 선저구조의 격자를 대신하여 단지 종방향으로만 이루어진 웹 혹은 거더들과 그 에 부착된 보강재로 구성하였으며, 구조의 단순화, 충돌 및 좌초에 대한 저항의 개선, 피로파괴에 대한 저항의 증가, 건조비 및 유지비의 절감이 가능하게 된 개선된 이중저 구조이다.

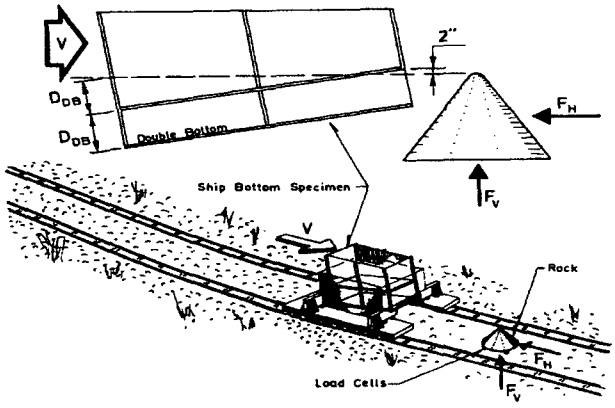

Fig. 1 Experimental set-up of the grounding tests conducted by the NSWC at the HI- Test Lab, Virginia, USA (Simonsen, 1997)

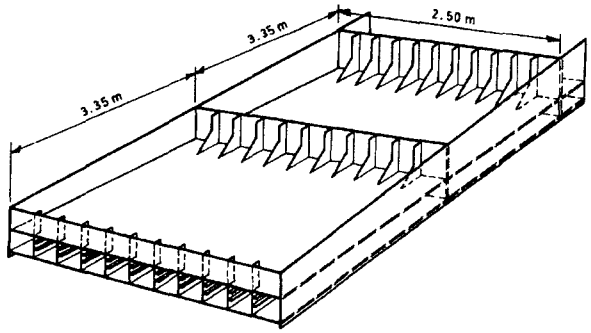

Fig. 2 Main characteristics of the ADH/PB structure (Rodd, 1995)

모형구조 좌초실험은 약 1/5의 축척모델을 이용하여 4만톤급 유조선의 좌초사고를 구현한 것이며 시험차량의 중량은 225톤,충돌 속도는 14knot까지 구현할 수 있게 하였다(이, 2006). Fig. 1은 실험의 개요를 나타내고 있다.

본 연구에서는, NSWC의 좌초 실험모델을 대상으로 DYNA-3D를 이용한 해석기법의 유용성을 검증한다. Fig. 2는 좌초시험 모델 (ADH/PB) 의 형상과 주요치수를 나타내고 있으며, Fig. 3 은 충돌해석용 모델을 나타낸다. 시험체에 사용된 재료는 ASTM 569 이며, 주요 재료물성치를 Table 1에 정리한다.

해석에 사용된 재료모델은 DYNA-3D에서 지원하는 이동경화 고려 소성모델이며, 해석에 사용한 요소는 4절점 2차 쉘요소이다. 재료의 비선형성을 구현하기 위해 Bilinear 모델을 이용하였고, tangent modulus는 인장응력 및 파단변형률을 고려하여 계산하였다. 재료의 변형속도 효과를 반영하기 위한 Cowper-symonds 식(Cowper and symonds, 1957)은 다음과 같으며 연강에 대한 식의 계수 C와 P를 각각 40.5와 5를 사용하였다.

$$\frac{\sigma_{yd}}{\sigma_y} = 1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{c}\right)^{\frac{1}{p}} \tag{1}$$

일반적으로 충돌/압괴 등과 같이 대변형을 수반하여 파손이 발생하는 강비선형 문제를 유한요소해석을 이용하여 다루고자 할 때는 채용하는 구조이산화 특성, 즉, 요소수에 따른 편차가 필연적으로 존재한다. 이 경우 요소수 변화에 따른 수렴성 평가를 수행하여 적정 수의 요소수를 선정하는 기법이 자주 채용된다. 한편, 수렴성 평가를 포함한 요소의존성 문제에 대한 실용적인 해법으로 압괴나 충돌등의 현상을 관찰하고 특정 구간에서의 권장 요소수를 결정하는 방법도 제안되어 있다.

본 연구에서는, 충돌/압괴 문제를 대상으로 제안되어 사용되고 있는 요소수 선정기법을 바탕으로 해석에 사용한 요소수를 결정하였다. (Wierzbicki, 1983)

$$H=0.983b^{2/3}t^{1/3} \tag{2}$$

여기서 H는 유효접힘 길이의 절반이며 b는 판폭, t는 판두께이다.

전술한 바와 같은 방법을 채용하여 결정된 총 요소 수는 약 23000여 개이며, 좌초사고에 의한 선저부 손상이 발생하고 선저외판의 찢김이 진행되다가 자중에 의해 자연정지하는 순간까지를 해석대상으로 삼았다. 해석에 사용한 좌초사고 시의 초기 속도는, 실험에서 설정된 초기속도와 같도록 암초에 부딪치는 순간 속도를 12Knot로 설정하였다.

Table 1 Material properties of ASTM 569

Yield strength (MPa)	283
Ultimate strength (MPa)	345
Young's modulus (GPa)	205.8
Poisson's ratio	0.3
Fracture strain	0.22

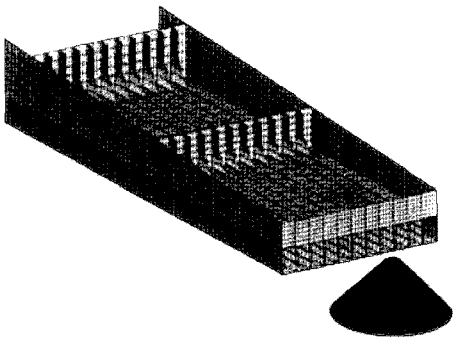

Fig. 3 FEA model for ADH/PB

좌초사고에 의한 대표적인 손상은 찢김현상으로 정의되는 부재의 파손이며, 이러한 현상을 DYNA3D를 이용하여 구현하고자 할 경우 필수적으로 요구되는 입력변수로 파단변형률이 있다. 즉, 해석에서 얻어진 누적 변형률의 크기가 입력된 파단변형률 이상이 되면 해당 요소는 제거되며 해석상에서의 찢김현상 구현 및 요소 재구성이 이루어진다. 본 연구에서는,

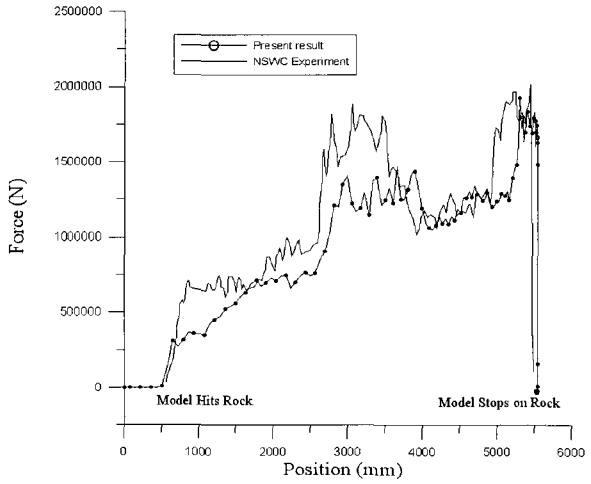

Fig. 4 Horizontal force vs. position for ADH/PB

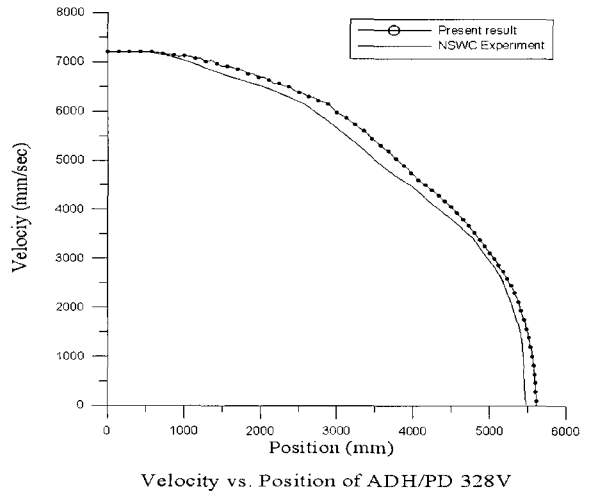

Fig. 5 Velocity vs. position for ADH/PB

해당 재료에 대한 파단변형률을 해석의 입력요소로 그대로 사용하였다. Fig. 4 에서는 해석에서 얻어진 반력과 실험에서 계측된 반력의 비교결과를 보이고 있으며, Fig. 5 에서 양자에서 얻어진 속도감소 특성을 비교하고 있다.

본 해석에서 얻어진 결과들은 실험결과를 매우 높은 수준에서 모사하고 있으며 채용한 해석기법의 유용성을 확인할 수 있다. 또한 종통부재 사이의 선저판은 종통부재 간격의 1/4 정도이면 충분한 것으로 판단되었다.

2.2 105k 탱커선 좌초손상해석

1) 좌초선박 및 사고 시나리오

전술한 바와 같이 좌초해석에 이용하는 해석기법의 검토를 수행한 결과, 모델링기법, 해석방법 등의 유용성을 검증하였다. 본 절에서는 실제 선박의 좌초사고 손상을 평가하기 위하여 105k 탱커선을 대상으로 좌초사고 손상 시뮬레이션을 수행한다. Table 2에 해석대상인 105k 탱커선 주요제원을 보인다.

실제 해석에서는 선체기본정보를 토대로 선수부로부터 약 67m를 모델링 하였는데, 이는 전선모델을 채용함에 따른 계산량의 급격한 증가와 좌초손상이 발생하지 않은 영역까지 모델링을 수행할 필요가 없기 때문이다.

좌초사고의 원인이 되는 암초는 높이 7.9m. 하단부 반경 1.2m. 선단각 90도 콘형이며, 강체 모델로 설정하였다. 해당선박의 재질은 실제 선박에 사용되는 A 등급 연강과 AH32급 고장력강을 대상으로 설정하였다. 각 재료에 대한 기계적 특성치는 DYNA-3D의 재료모델링 옵션 "*Mat_Plastic_kinematic"을 이용하여 구현하였다.

Table 2 Principal dimension of 105k tanker

Design speed	15 k not
L_{BP} (m)	248
B (m)	43
D (m)	21

Table 3 Mechanical properties of A and AH32 grade mild steel

Yield strength(MPa)	A grade mild steel	
	235	313
Tensile strength(MPa)	AH32 grade mild steel	
	400	440
Young's modulus	205800MPa	
Poisson ratio	0.3	
Fracture strain	0.2	
C	40.5	
P	5	
Material model	Plastic kinematic Bilinear	

해석 모델은 계산량을 고려하여 전체선박 길이의 1/4을 구성하였는데, 이것은 선체중앙부의 파단형상 및 충격반력특성을 나타낼 수 있는 최소한의 모델이며, 이를 통해 방대한 수치계산량을 줄이고자 하였다. 선각에 해당되는 요소는 주로 4절점 쉘요소를 이용하였고, 선수부 67m를 제외한 나머지 부분에 대한 고려를 위하여 해석모델 단부에 집중질량요소 배치하였다. 즉, Fig. 6에 나타내는 집중질량요소들에 부여된 총 질량이 67m를 제외한 선체 나머지 부분의 중량을 대표하게 된다. 해양환경에서의 부유체 효과는 일반적으로 부가질량을 고려하는 기법이 이용되지만, 본 연구에서는 부가질량에 대한 고려는 생략하였다.

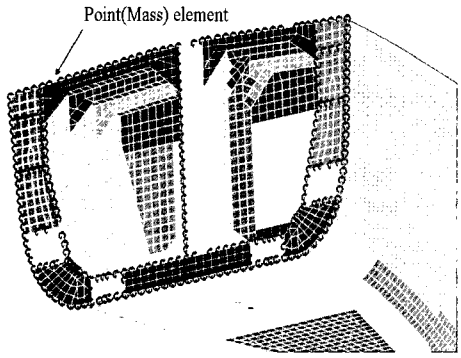

Fig. 6 Mass elements arrangement

Fig. 7에 나타내듯이 해석용 선체모델 최상부에 해당하는, 즉 갑판에 해당되는 요소들에 대해서도 질량을 부여함으로써 밸러스트 혹은 만재상태에 해당되는 하중조건을 설정하였다. 따라서 해석용 선체모델은 주어진 초기속도를 지닌 채로 자유항주를 하며 고정경계로 설정된 암초와 부딪히는 좌초사고를 경험하게 되고 운동에너지의 감소와 함께 정지상태에 이르는 각 해석시나리오별로 손상량을 계산할 수 있게 하였다.

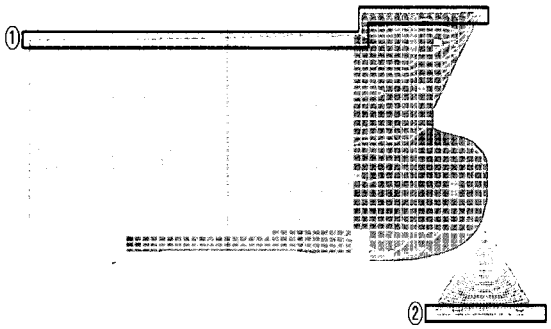

Fig. 7 Boundary condition of grounding simulation

2) 좌초사고 시나리오

좌초 시나리오는 암초의 위치, 하중상태, 항해속도를 기준으로 하여 Table 4와 같이 총 8개의 경우로 설정하였다. 암초의 횡방향 (선체 폭방향) 위치에 관해서는 선체 중심선을 따라 암초와 충돌이 일어나는 경우와 좌현으로부터 일정 거리를 둔 위치에서 암초와의 충돌이 일어나는 경우로 분류하였다. 종방향 (선체 높이방향)에 대해서는, 이중저 내판이 파단되어 화물유출의 위험성이 예견되는 경우라 할 수 있는 선저내판의 높이까지 암초위치를 설정하였다. 적재조건을 고려한 사고시나리오 설정을 위해 해당선박의 정보를 바탕으로 만재 상태와 밸러스트 상태로 구분하였으며, 암초충돌 초기속도는 설계 선속인 15knot와 비교용 속도 10knot로 구분하여 사고시나리오를 설정하였다. Table 4에 이들 사고 시나리오의 상세를 보인다.

Table 4 Scenario of grounding accident

scenario no.	rock position (horizontal)	rock position (vertical)	loading condition (weight)	intial velocity
1	중앙	선박의 기선으로부터 3m	Full (105 kton)	15 knot
2				10 knot
3			Ballast (4.5 kton)	15 knot
4				10 knot
5	중앙으로부터 좌현으로 7.5m		Full (105 kton)	15 knot
6				10 knot
7			Ballast (4.5 kton)	15 knot
8				10 knot

3) 요소크기에 따른 수렴성 평가

본 연구에서는, 전술한 바와 같이 실험정보가 입수된 모델시험결과를 이용하여 채용한 해석기법의 유용성을 검증하였다. 대규모 유한요소해석을 수행할 경우 해의 편차를 야기하는 요소의존성에 대한 검토를 통하여 일부 적정 수준의 요소수를 결정하였다.

본 장에서는, 기 검토된 요소 분할 (종통부재 간격의 1/4 크기의 요소 기준)을 기준으로 하는 경우와 보다 더 세밀한 요소분할을 수행한 경우 각각에 대하여 수렴성 평가를 수행하였다.

이는 검증용 해석에서 사용된 시험체와 본 장에서 적용하는 실선 구조는 기하학적으로 크기 차이가 상당히 존재하며, 따라서 일부 유용성이 검증되었다 하더라도 실선 구조에 그대로 적용하기에는 과대평가의 위험성이 다소 존재하리라 판단되었기 때문이다.

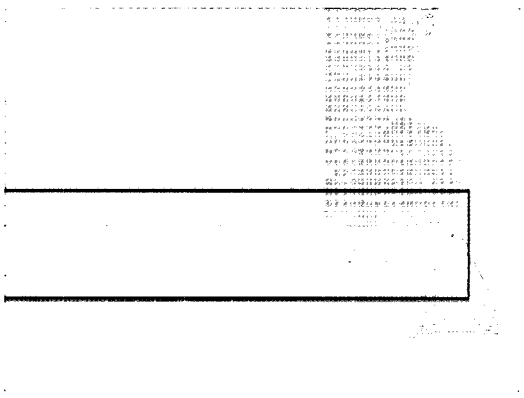

Fig. 8 Fine-meshes of grounding area

Fig. 8은 전술한 바와 같이 요소 수렴성 판정을 위해 선저부의 요소크기를 다르게 하여 모델링하였음을 보여주고 있다. 이러한 수렴성 판정을 위해 선저부의 요소 수렴성판정 해석을 하였는데, 초기 좌초해석모델은 검증용 모델의 요소크기의 기준에 따랐고, 요소 수렴성 판정을 위한 해석은 이보다 더 조밀한 요소 격자를 구성하여 그 결과의 추이를 보고자 하였다.

Table 5 Meshsize of convergence test model

case no.	meshsize of bottom(cm)	total element no.
case 1	80×80	29234
case 2	40×40	45242
case 3	20×20	95780
case 4	10×10	340988

Fig. 9 와 Fig. 10은 수렴성 평가결과의 대표 예로서, 사고시나리오 2의 경우에서 획득한 반력 및 손상량의 요소의존성 특징을 정리하고 있다. 반력은 좌초사고 발생 후 선박의 진행에 대한 암초의 저항력 혹은 선체의 반력을 의미한다.

분석 결과, 요소의 크기가 커질수록 전반적인 충격반력은 커짐을 확인할 수 있는데 이는 크기가 큰 요소일수록 요소강성이 크며 동일한 변형에 대응하는 반력이 클 수 밖에 없기 때문이다. 또한 이것이 에너지 소산을 빨라지게 만들어 해석상에서 정지상태에 이르는 시기를 빨라지게 한다. 즉, 요소 크기가 커질수록 손상량이 적게 평가되는 경향을 주게 된다.

상기와 같은 분석 결과, 예상하던 대로 요소크기 의존성이 상당히 존재함을 확인할 수 있었고 본 해석의 경우라면 최소한 20 cm 이하의 요소 크기를 선택하여야 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 전 장에서 검토한 요소 수 결정에 대한 근사기법이 본 해석 대상에서 그대로 적용할 수 없음을 확인할 수 있었으며 최소한의 수렴성 판정을 통한 적정 크기의 요소가 선택되어야 함을 알 수 있다. 본 연구에서 채용한 요소 분할 기준은 이러한 평가를 바탕으로 Table 5 의 Case 3의 모델을 사용하였다.

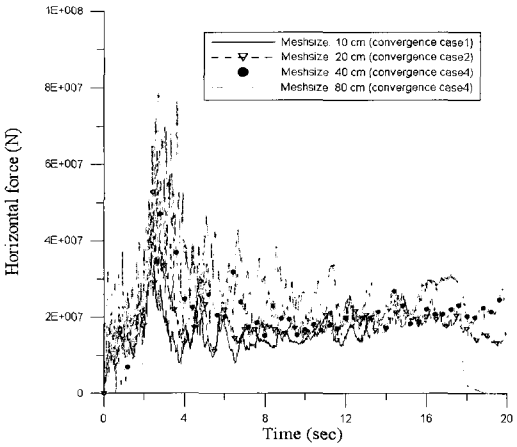

Fig. 9 Horizontal force vs. time for meshsize convergence test (10cm, 20cm, 40cm, 80cm)

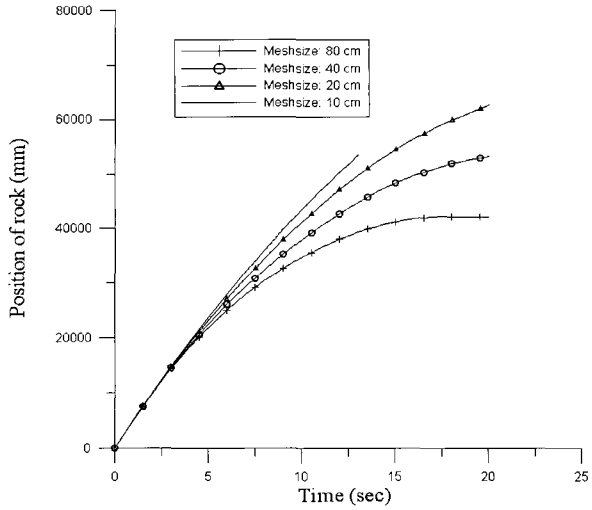

Fig. 10 Comparison of penetration length

3. 해석결과 및 고찰

각 설정 시나리오에 따른 선체 진행방향 반력과, 수직방향의 반력 결과들을 Fig. 10 ~ Fig. 22에 나타내고 있다.

Fig. 10과 Fig. 11은 암초가 선박의 중앙에 위치하여 좌초가 시작하는 case 1과 2에 대한 하중결과를 나타내고 있다. 속도가 15knot 인 case 1의 경우는 초기 선수부에서 충돌이 일어나고 2초 이내에 가장 큰 반력이 발생하고 속도가 10knot 인 case2의 경우, 4초 이내에 최대 반력이 발생한다. 그 이후로 수직반력은 일정량을 유지하게 된다. 그러나 수직 반력은 초기 충돌 이후 크게 증가하였다가 감소한 후 다시 증가하게 되는데 이는 선체구조상에서 bulkhead에 해당하는 부위에서 저항하는 힘이 커지기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 12와 Fig. 13은 case1, 2 와 같이 운동에너지가 크면서 선수부에서 좌초손상이 발생하는 경우의 선저와 웹 프레임의 손상형태를 나타내고 있다.

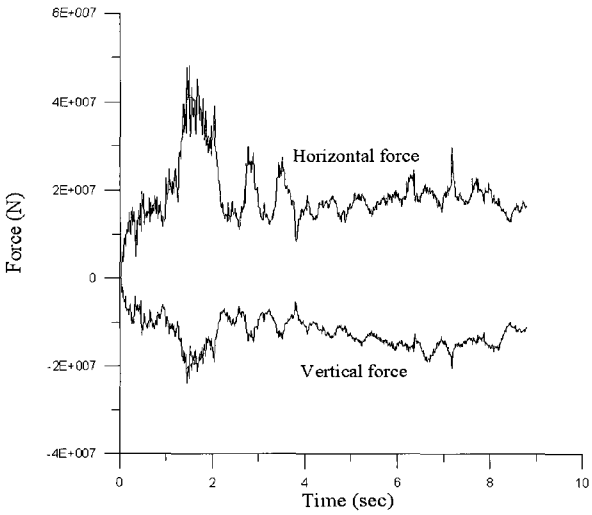

Fig. 10 Resultant force vs. time for case1 (full-loading, 15knot, rock: center)

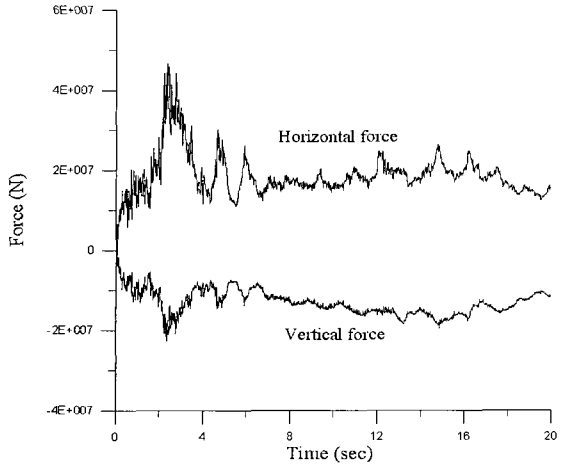

Fig. 11 Resultant force vs. time for case2 (full-loading, 10knot, rock: center)

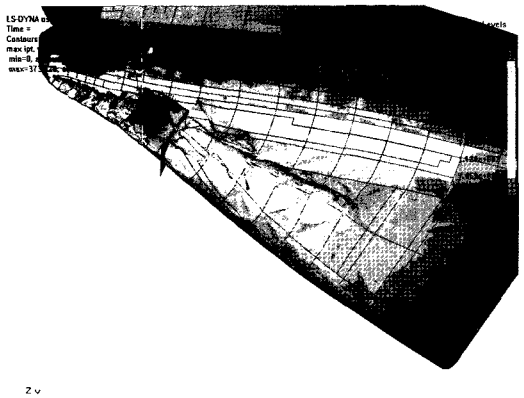

Fig. 12 Damaged shape of ship bottom for case 1,2

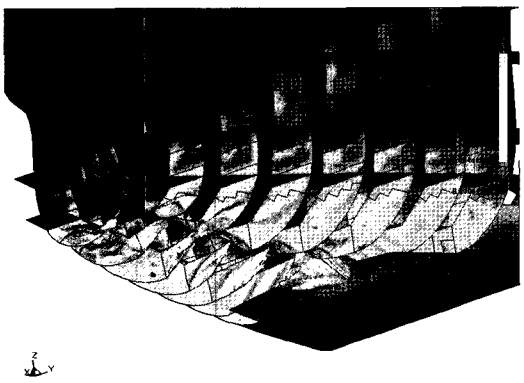

Fig. 13 Damaged shape of web frame for case 1,2

Fig. 14와 Fig. 15는 암초가 선박의 중앙에 위치하여 좌초가 시작하는 case3과 4에 대한 하중결과를 나타내고 있다. case 1과 2와는 달리 총질량의 ballast 상태로써 운동에너지가 1번과 2번에 비해 매우 적다. case 1, 2의 결과로써 나타난 양상과 같이 초기 속도가 좀 더 빠른 case 3에서 먼저 최대반력에 도달하고 진입이 멈춘다. 또한 수직 반력도 운동에너지가 적은 만큼 수평반력 결과와 비슷한 결과를 준다.

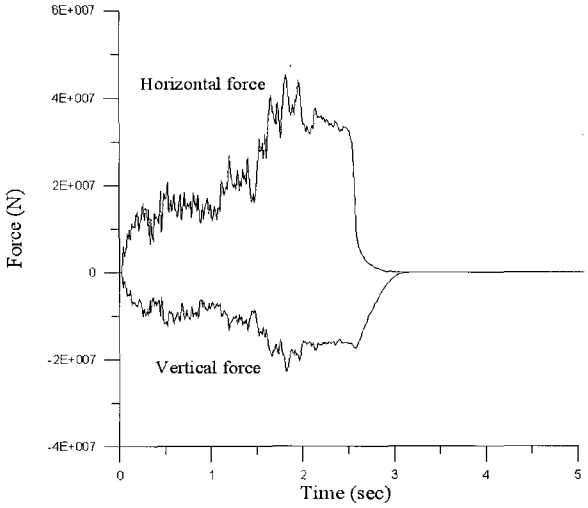

Fig. 14 Resultant force vs. time for case3 (ballast, 15knot, rock: center)

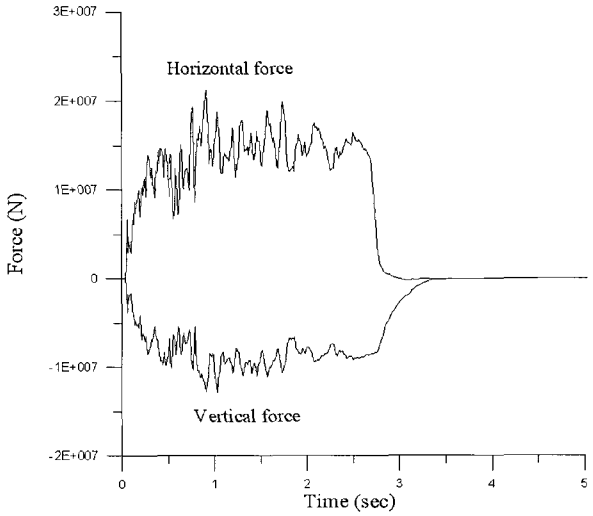

Fig. 15 Resultant force vs. time for case4 (ballast, 10knot, rock: center)

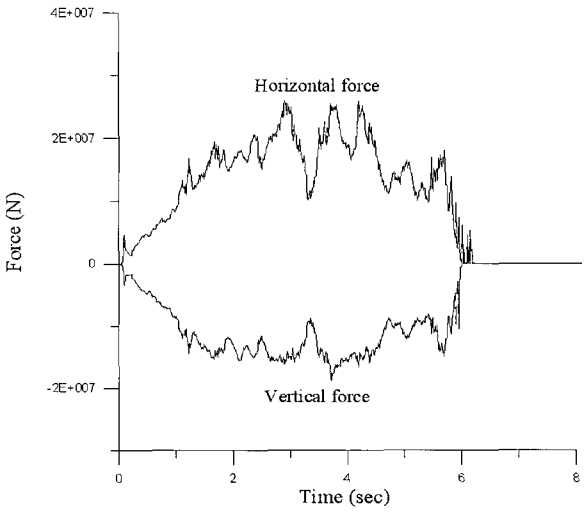

Fig. 16 Resultant force vs. time for case5 (full-loading, 15knot, rock: port)

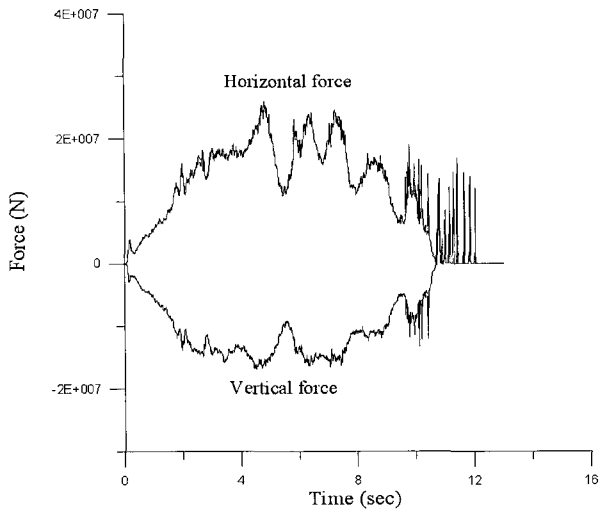

Fig. 17 Resultant force vs. time for case6 (full-loading, 10knot, rock: port)

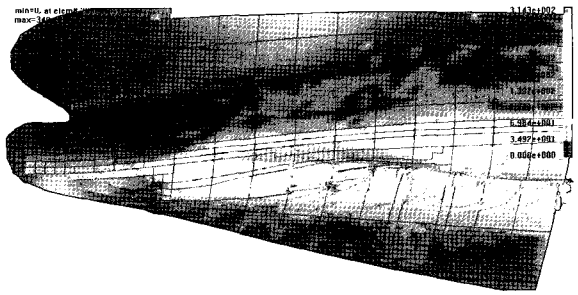

Fig. 18 Damaged shape of ship bottom for case 5,6

Fig. 16 과 Fig. 17은 암초가 선박의 좌현에 치우쳐져 위치하여 좌초충돌이 시작하는 case 5와 6에 대한 하중결과를 나타내고 있다. 각각의 적재조건은 만재시로써, 속도가 15knot 인 case5의 경우는 초기 선수부에서 충돌이 일어나고 3초 이내에 가장 큰 반력이 발생하고 속도가 10knot 인 case2의 경우, 4초 이내에 최대 반력이 발생한다. 그 이후로 수직반력은 일정량을 유지하지 않고 변동폭이 크게 나타나는데, 이것은 center bulkhead가 지지하는 중앙과는 달리 좌현에서는 종방향 이중선저가 찢겨나가면서 web plate가 구조적으로 배치되기 때문이라고 판단된다. 수직 반력의 양상도 수평반력의 결과와 비슷하게 나타나고 있다. Fig. 18은 좌현의 선저 손상을 Fig. 19는 웹 프레임의 손상형태를 나타낸다.

Fig. 19 Damaged shape of web frame for case 5,6

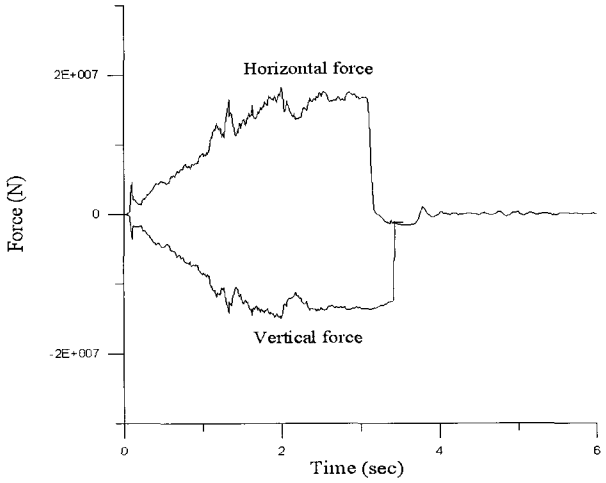

Fig. 20 Resultant force vs. time for case7 (ballast, 15knot, rock: port)

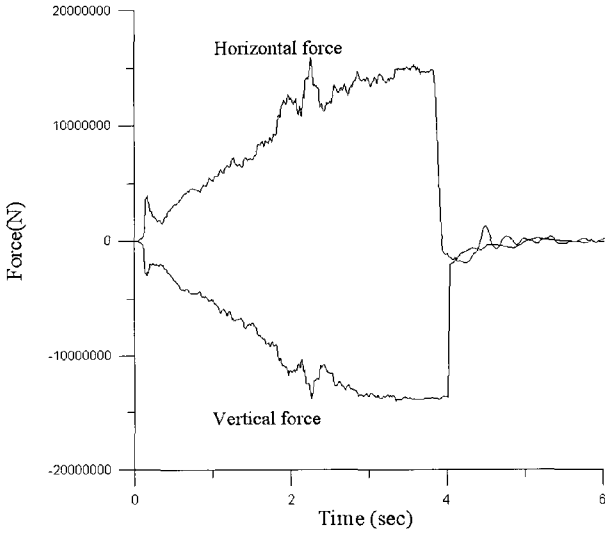

Fig. 21 Resultant force vs. time for case8 (ballast, 10knot, rock: port)

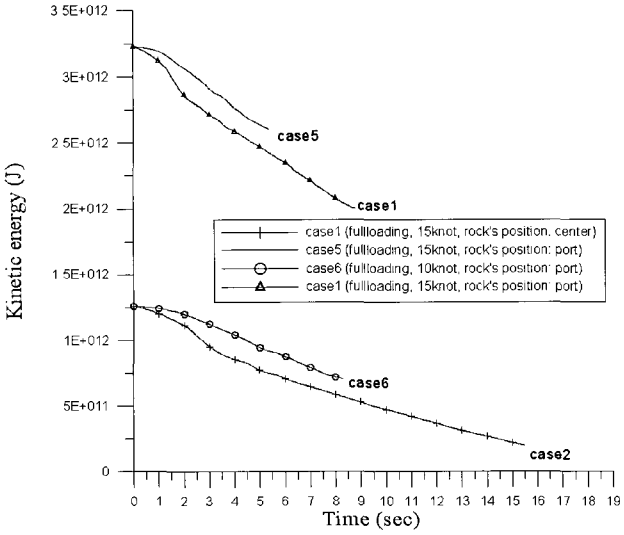

Fig. 22 Comparison of kinetic energy reduction (case 1,2,5,6)

Fig. 20 과 Fig. 21 역시 암초가 선박의 좌현에 치우쳐져 위치하여 좌초충돌이 시작하는 case 7과 case 8에 대한 하중결과를 나타내고 있는데, 5번 6번과는 달리 각각의 적재조건은 ballast 상태로써, 속도가 15knot 인 case 7의 경우는 초기 선수부에서 충돌이 일어나고 3.5초 이내에 가장 큰 반력이 발생하고 속도가 10knot 인 case 2의 경우, 4초 이내에 최대 반력이 발생한다. 이것은 중앙에서 좌초가 일어나는 case 3과 case 4에 비하여 좌현에서 좌초가 먼저 시작될 경우에는 그 암초의 진입각도가 좀 더 완만하기 때문이다.

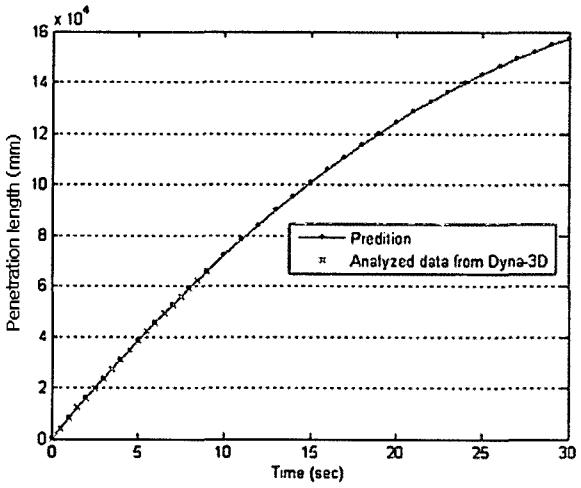

Fig. 23 Prediction of penetration length by quadratic-polynomial method

Table 6 Total result for grounding scenario

Case	bottom	bulkhead	frame	stringer	penetration length
1	Tearing	Local crushing	Fracture by tension	Distortion	142m
2	Tearing	Local crushing	Fracture by tension	Distortion	69m
3	Tearing	Local rushing	-	Distortion	13
4	Tearing	-	-	-	7.8m
5	Tearing	Local crushing	Local crushing, Fracture by tension	Distortion	150m
6	Tearing	Local crushing	Local crushing, Fracture by tension	Distortion	75m
7	Tearing	-	Local crushing, Fracture by tension	Distortion	16
8	Tearing	-	Local crushing	-	10.1

종합적으로 반력결과를 보면, 에너지의 감소가 암초의 선수 중앙으로부터 충격이 시작되는 경우, 더 많은 에너지의 소산을 일어났다. 그리고 운동에너지의 감소경향은 Fig. 22와 같이 선형적으로 일어나는 것을 알 수 있다. 또한, 전체적인 결과에서 속도 또는 총질량의 변수와는 상관없이 하중이 추이는 같은 위치에서는 비슷한 양상으로 나타나고 있음을 알 수 있다. Table 6에서 이러한 파손의 형태와 암초 진입량 결과 등을 정리 하였는데, 실제 case1,5,6 에서는 좌초해석의 암초진입량이 유한요소 모델을 넘어서기 때문에 암초 진입량을 계산된 변위량에 외삽법을 이용하여 추정하였다.

4. 결 론

본 연구에서 수행하여 분석한 결론은 다음과 같이 요약된다.

- 105k Tanker 의 좌초해석을 수행하여 하중, 에너지감소 등의 결과를 얻었다.
- 해석의 정확성과 경제성 고려한 요소의 크기는 20 cm 이하이며, 이는 Double bottom 높이의 1/10 이하이다.
- 각 부재의 대표적인 손상형태를 얻었으며, 좌초가 멈추는 순간까지의 암초 진입량등을 계산하는 기법을 제시하였다.
- 선수부 중앙에서 좌초가 시작되는 경우에 좀 더 급격한 운동에너지 감소를 일으키는 것을 확인 하였다.
- 향후 본 연구를 기반으로 하는 설계 가이드라인의 제시를 위해 보다 경제적으로 수치해석을 할 수 있는 이상화 기법의 연구 등이 필요하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 한국기계연구원(KIMM) 및 한국과학재단 우수연구센터 (ASERC) 지원과제 일부로 수행된 것으로, 위 기관들의 후원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] 이탁기, 한대석, 임채환, 김병현, 이제명(2006), "전진형 좌초실험에 대한 수치시뮬레이션" 대한조선학회 2006년도 춘계 학술대회 논문집, pp.1048-1053.

[2] 한대석, 이제명, 이탁기, 임채환, 김영환, 정홍집(2006), "105k tanker 의 좌초충돌 수치해석에 관한 연구", 대한조선학회 2006년도 추계 학술대회 논문집, pp. 522-529.

[3] Cowper, G. R, Symonds, P. S.(1957) "Strain hardening and strain-rate effects in the impact loading of cantilever beams" Brown University, Division of Applied Mathematics, Report No. 28.

[4] DYNA3D keyword User's Manual (version 97j0)

[5] Rodd, J. L. and Sikora, J. P.(1995) "Double Hull Grounding Experiments", Proc. of 5th ISOPE Conf., Hague, Netherlands, pp. 446-456.

[6] Rodd, J. L. (1966) "Large Scale Tanker Grounding

Experiments", Proc. of the 6th Int. Offshore and Polar Eng. conf., LA, USA, pp.1-12

[7] Rodd, J. L.(1966) "Observations on conventional and advanced double hull grounding experiments", Conf. of Designs and Methodologies for Collisions and Grounding Protection of Ships, San Francisco, USA, pp. 13.1-13.13

[8] Wierzbicki, T. and Abramowicz, W.(1983) "On th crushing mechanics of thin-walled structures", J. of Applied Mechanics, ASME, 50, pp. 727-734

원고접수일 : 2007년 1월 23일
원고채택일 : 2007년 4월 10일