

油槽船 船首部の 耐衝突 構造設計에 關한 研究 - 理想化 모델의 衝突舉動 分析(1)

신영식 · 박명규
현대중공업 · 한국해양대학교

A Study on the Crashworthiness Design of Bow Structure of Oil Carriers - Collision Behaviour of Simplified Models(1)

YOUNG-SIK SHIN AND MYUNG-KYU PARK
Hyundai Heavy Ind. co. and Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

KEY WORDS: Bow collision 선수충돌, Collision behaviour 충돌거동, Collision bulkhead 충돌격벽, Penetration depth 관입량, Absorbed energy 흡수에너지, Dynamic time integration explicit solution 동적시간적분 양의해

ABSTRACT: The potential pollution problems resulting from tanker collision necessitate the requirement for an effective structural design and the development of relevant safety regulations. During a few decades, the great effort has been made by the International Maritime Organization and the Administration, etc, to reduce oil spillage from collision accidents. However there is still a need for investigation in the light of structural evaluation method for the experiments and rational analysis, and design development for an operational purpose of ships. This study aims for investigating a complicated structural response of bow structures of simplified models and oil carriers for assessing the energy dissipation and crushing mechanics of the striking vessels through a methodology of the numerical analysis for the various models and its design changes. Through these study an optimal bow construction absorbing great portion of kinetic energy at the least penetration depth prior to reach to the cargo area and an effective location of collision bulkhead are investigated. In order to obtain a rational results in this study, three stages of collision simulation procedures have been performed step by step as follows;

- 1) 16 simplified ship models are used to investigate the structural response against bow collision with variation of primary and secondary members. Mass and speed are also varied in four conditions.
- 2) 21 models consisted of 5 sizes of the full scaled oil carriers are used to perform the collision simulation with the various sizes and deadweight delivered in a recent which are complied with SOLAS and MARPOL.
- 3) 36 models of 100k oil carrier are used to investigate the structural response and its influence to the collision bulkhead against bow collision in variation with location of collision bulkhead, primary members, framing system and colliding conditions, etc.

By the first study using simplified models the response of the bow collision is synthetically evaluated for the parameters influencing to the absorbed energy, penetration depth and impact force, etc.

1. 서 론

1.1 연구배경

유조선들의 충돌 사고는 해양 오염의 주요 원인 중의 하나이며 그 영향은 매우 심각하게 나타나고 있다. 선박충돌에는 기본적으로 두 가지 경우가 있는데, 하나는 충돌선(striking ship)이 피충돌선(struck ship)에 충돌하는 선박간 충돌(ship to ship collision)이고 또 하나는 충돌선이 해상 시설물 즉 교량, 해안 안벽, 압초 및 해양 플랫폼 등에 강체충돌(ship to rigid body)하는 경우이다. 두 경우의 충돌거동은 그 양태가 많이 다르게 나

타난다. 만일 이러한 각각의 충돌에 대한 구조적 거동과 붕괴메카니즘을 감안하여 선체의 구조배치 및 설계가 이루어진다면 충돌 후 선박의 손상복원성을 높이고 또한 해양오염도 상당히 감소시킬 수 있을 것이다. 선박 충돌에 의한 붕괴거동과 파괴형태는 충돌선의 크기, 충돌 속도 및 각도, 충돌선의 선수구조 및 피충돌선의 선측 구조형태, 충돌위치, 흘수, 화물 적재여부, 해상상태 등 여러 요소들에 의해 영향받으며 또한 충돌현상도 다르게 나타난다. 충돌은 기본적으로 비선형 문제이므로 충돌현상으로부터 국부적 또는 전체적으로 동적거동과 파괴특성의 영향을 검토하여 구조부재의 충돌저항을 정확히 예측한다는 것은 매우 어

려운 일이다. 선박의 충돌현상을 구현하기 위한 방안으로는 실선 충돌시뮬레이션이나 축소모형 또는 기본단위 구조부재들의 실험 등이 있으나 복잡하고 거대한 실선 구조의 충돌현상을 나타내기에는 적절하지 못하다. 이러한 측면에서 볼 때 유한요소법이 유용한 방안으로 제시 될 수는 있으나 모델링 및 수치계산에 방대한 시간이 소요되고 실선의 구조설계 조건을 만족하기 어려운 점이 있다. 그러나 유용한 정보와 높은 정도를 갖는 점에서 하나의 방안이라고 볼 수 있다. 충돌거동 해석에 동적 시간적분 양의해 방법(dynamic time integration explicit solution method)의 비선형 유한요소법이 이용되고있으며 본 연구에서도 이러한 해석적 방법을 활용하여 수행하였다.

본 연구에서는 실선 유조선의 크기, 속도, 구조형태에 따른 충돌거동과 응답성능을 예측하고 효과적인 내충돌 구조배치와 충돌격벽의 최적위치를 조사하기 위한 첫째 방안으로 이상화 모델을 이용하여 충돌선이 해상시설물 등의 강체에 충돌하는 경우 종 또는 횡 늑골구조 및 주 구조부재 형태, 질량 및 충돌속도 등의 변경을 통해서 선수구조의 붕괴거동과 응답성능, 즉 구조배치별 충돌에너지 흡수능력, 압괴거리, 충돌하중 및 충돌후 속도 등을 검토하였다.

1.2 충돌 관련 국제법규

1.2.1 1974년 해상에서의 인명안전 국제협약

(International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, SOLAS)

이 협약에 의해 적용을 받는 모든 선박들은 선수부 충돌격벽의 위치를 이 규칙에 따라 결정하여야 한다. 충돌격벽의 위치는 여객선은 제2-1장 규칙 10, 화물선은 규칙 11에 따라 결정된다. 이들 규칙에서 규정하는 설치 위치는 Fig. 1.1~1.2에 나타내었다. 만일 구상선수가 있는 경우 충돌격벽의 위치는 Fig. 1.2에서와 같이 거리가 최소가 되는 점(RP)으로부터 측정하여 충돌격벽의 위치를 결정한다.

이와 같이 SOLAS에서 요구하는 충돌격벽의 위치규정들은 오랜 기간 변경 없이 적용되어 왔으며 현재와 같이 선박들의 크기 및 속도 등 운항성능이 크게 발전되어 왔으나, 아직 이러한 요소들이 충분히 고려되어서 충돌격벽의 위치가 결정되지는 않고 있다.

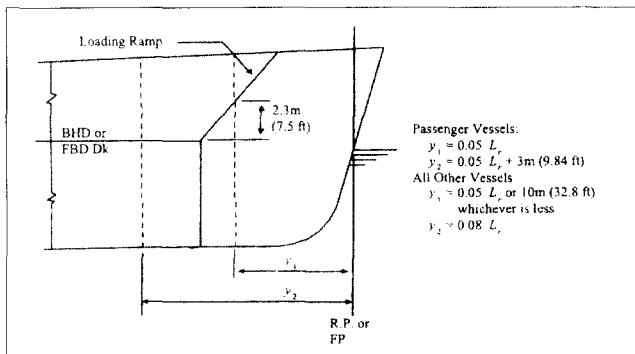


Fig. 1.1 Location of collision bulkhead

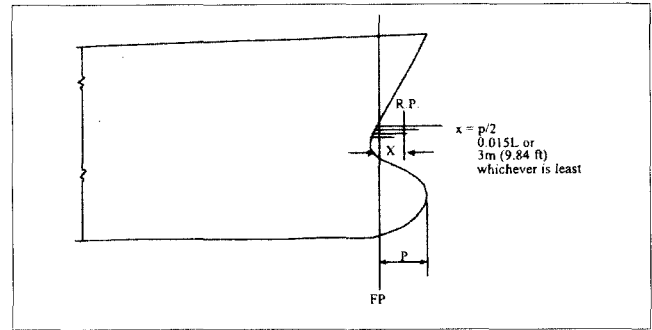


Fig. 1.2 Location of reference point (R.P)

Table 1.1 Double hull and bottom arrangement by MARPOL

	5,000 DWT and above	Below 5,000 DWT
Wing tanks	$w = 0.5 + \frac{DWT}{20,000}$ or 2.0 m whichever is the lesser (min. w = 1.0 m)	$w = 0.4 + \frac{2.4DWT}{20,000}$ m or tank cap. not over 700 m ³ (min. w = 0.76 m)
Double bottom tanks	$h = \frac{B}{15}$ or 2.0 m whichever is the lesser (min. h = 1.0 m)	$h = \frac{B}{15}$ m (min. h = 0.76 m)
Turn of bilge	1.5 h above base lines	Parallel to the flat bottom

1.2.2 1973년 선박으로부터의 오염방지를 위한 국제협약

(International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, MARPOL)

선박으로부터의 해양오염방지에 관한 국제협약으로 주요개정 사항 중의 하나가 부속서 I, 제2장, 규칙 13F 및 13G에 의한 1992년 유조선의 이중선체(double hull and bottom) 규칙 도입이다. MARPOL의 이중선체규정은 "Exxon Valdez"호 좌초사고 이후 유조선의 사고에 의한 오염방지를 주목적으로 규정되었으므로 충돌 및 좌초 사고시 기름오염 방지를 최소화하기 위해 Table 1.1에서와 같이 이중선체로 화물구역과 선측 사이를 발라스트 전용 또는 공간을 두어 선박의 크기에 따라 일정한 간격을 갖도록 해서 충돌 및 좌초 사고시 화물창을 보호하는데 있다. 이러한 구조 형태는 주로 피충돌선의 조건이 된다.

1.3 연구동향

처음 선구자적인 연구는 Minorsky(1959)에 의해 발표되었다. 그는 26척의 선박간 충돌사고 자료를 근거로 충돌시 손상된 강재 체적과 충돌 흡수에너지간의 선형적 관계를 제안하였다. 초기 실험으로는 GKSS에서 Woisin(1976)이 1/12와 1/7.5 축척의 선수와 선측 모형을 제작하여 수행한 충돌실험이 있다. Akita and Kitamura(1972)는 1/10 비율의 원자력 추진선의 축소 선측모델과 일반 상선의 축소 선수모델을 이용하여 준정적 압괴 실험을 수행하였다. 6개의 다양한 강도의 선수구조의 모형실험

을 통하여 선박간 충돌에서 충돌선의 선수부 구조형태가 매우 중요한 역할을 한다는 것을 확인하였다. Ohnishi 등(1982)은 탱커 선과 컨테이너선의 선수모형을 1/10 비율로 제작하여 정적 붕괴 실험을 수행하여 충돌선 선수구조가 붕괴할 때 하중과 붕괴량의 관계를 구하고 구조해석을 수행하여 실험결과와 비교하였다. Valsgard and Pettersen(1982)은 비선형적 해석 방법으로 모스형 천연가스 운반선 중앙부 선체에 충돌시 충돌선 선수와 선체의 손상관계 및 충돌하중, 흡수에너지등을 추정 할 수 있는 방안을 제시하였다. Yang and Caldwell(1988)은 복잡한 선수구조의 충돌에 대한 파손량의 추정을 위하여 선수구조를 에너지흡수 단위구조인 기본요소들로 구분하고 각각의 요소에 대한 압괴강도를 추정 할 수 있는 이론식을 제시하였다. Kierkegaard(1993)는 고에너지 선수충돌시 충돌하중-에너지흡수 관계를 계산 할 수 있는 수학적 방안을 제시하였다. 이에 대한 이론은 L, T 및 X 형과 같은 기본 구조요소들에 대한 축압과 메카니즘을 기본으로 하여 유도하였다. 이와 유사한 방법으로 Ohtsubo 등(1994)은 Yang and Caldwell의 평균 압괴강도 간이식을 수정 검증하고 선수구조에 적용하는 방안을 제시하였다. Amdahl(1995)은 선수충돌시 선수부 구조의 소성대변형으로 인한 충돌에너지 흡수관계를 계산하는 방안을 제시하였다. 유사한 방법으로 Pedersen(1995)은 선박이 해양구조물에 충돌시 선수부 구조의 에너지를 추정하는 간이식을 제시하였다. Chung(1996)은 선체를 구성하는 기본구조부재들을 정적 및 동적 압괴실험을 수행하고 간이식을 제시하였다. Lee 등(1997)은 수치해석적 방법으로 선박간 충돌에서 이중선체 구조의 내측 격벽이 파손되지 않는 임계충돌속도와 이때의 충돌하중 및 흡수에너지를 구하였다. Shin(2001)은 이상화 모델과 다양한 크기의 실선 유조선들로 73개의 시뮬레이션 해석모델을 구성하여 가상 충돌시나리오에 따라 동적 수치해석 시뮬레이션을 수행하고 선수부 구조의 내충돌 구조조건과 SOLAS에서 규정하는 충돌격벽 위치를 수정 제시하였다. 이들은 모델들의 질량, 충돌속도, 주 구조부재 및 늑골부재의 배치상태, 충돌격벽의 위치 및 충돌조건 등에 따른 선수부 구조의 충돌거동과 응답성능, 흡수에너지, 관통깊이, 충돌하중, 임계속도 등 및 충돌격벽의 위치에 따른 영향인자도 조사 검토하였다.

2. 이상화 모델의 동적충돌거동

2.1 모델의 개요

복잡한 선수부 구조의 충돌응답성능을 비교 분석하기 위한 방안으로 조건이 각기 다른 16개의 이상화 모델을 선정하고 이를 이용하여 동적 충돌거동해석을 수행하였다. 실선 선수부는 매우 복잡하므로 충돌응답성능을 비교 분석하기 위해서 구조배치, 치수 및 속도 등 여러 충돌 영향인자들을 다양하게 변경하면서 해석할 경우 방대한 모델링과 시간이 소요되는 제약이 있다. 이러한 실선 선수부 구조의 동적 충돌거동 해석 전에 기초적인 연구로 그 경향을 파악하거나 또는 유용한 충돌응답성능을 비교 분석하는 선행적 방법으로서 이상화 모델을 이용하였다.

2.2 모델의 조건

본 연구에서 이용한 이상화 모델은 Fig. 2.1에서와 같이 Akita

등(1972)이 수행한 준정적 압괴실험용 일반상선 선수 축소모델을 수정하여 거동해석에 이용하였다. 이들의 압괴실험 모델들은 일반상선, 내빙선 및 쇄빙선 선수구조에서 두께, 종 및 횡늑골 구조로 구분한 각기 다른 6개의 선수모형으로 구성되어있다.

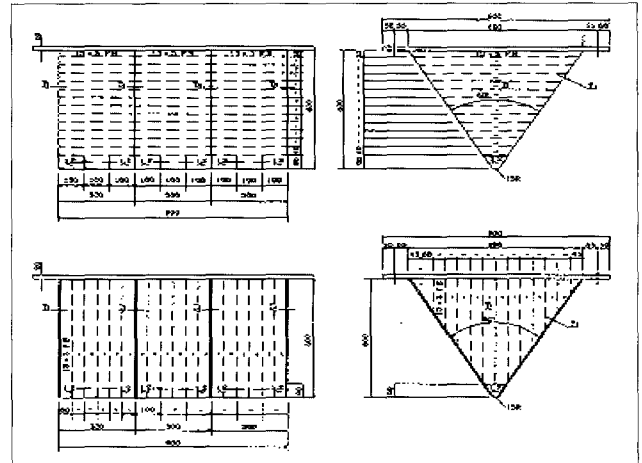


Fig. 2.1 Akita and Kitamura models

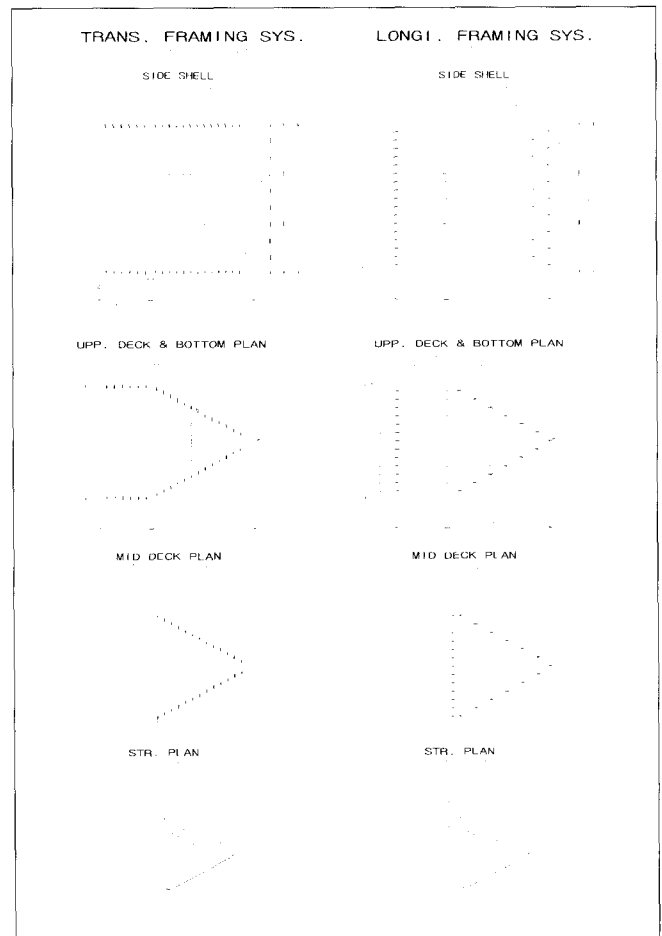


Fig. 2.2 Structural arrangement of simplified models.

2.3 구조배치

Fig. 2.1의 Akita 모델에서 Fig. 2.2에서와 같이 후부의 후판을 선수격벽으로 수정하고, 격벽 후방으로 300 mm를 연장하여 화물창 부분도 형성시키는 부분 수정을 하였다.

모델의 구조형태는 종 늑골형과 횡 늑골형 구조로 구분하였고, 상갑판과 선저 사이의 갑판은 두 개의 중간갑판형(mid deck type)으로 전체가 판으로 구성되어 있는 것과 스트링거형(stringer type)인 수평 웨브(web)구조 형태로 각각 구성하였다. 선수부 구조는 단순화시켜서 삼각형 타입으로 약 60°의 쉐기형이며 스템 전부는 수직하다.

모델 크기는 길이방향으로 선수부는 600mm, 화물창은 300mm로 전체 900mm이며, 모델의 깊이도 900mm이다.

스템부의 쉐기형 보강관(breast hook)은 100 mm 간격으로 부착되어 있고 골조부재는 13×3 FB이다.

2.4 가상 충돌시나리오 및 하중조건

충돌선이 강체에 정면으로 충돌하는 경우만을 가상하였다. 이러한 조건은 충돌에너지가 최대인 경우의 붕괴거동과 응답성능을 검토하기 위함이다. Table 2.1에 모델 및 하중조건을 나타낸 바와 같이 충돌선 모델은 각기 질량과 속도, 중간갑판형 및 늑골구조 형태에 따라 조합된 16개의 모델로 구성되었으며 각기 모델그룹 별로 동일한 조건하에서 충돌거동과 응답성능을 비교 검토하였다.

Fig. 2.3에는 유한요소 모델(FEM model)을 나타내었다. 정밀한 충돌거동 및 응답성능을 얻기 위해서 약 15,000개의 판요소(shell element)로 모델링 하였다. 충돌해석은 동적 비선형 유한요소법이 이용되었으며 계산 프로그램은 LS-DYNA로 본 연구의 충돌현상을 구현하였다.

Table 2.1 Model No. and loading conditions

Mass	5 ton							
Impact Speed	5 knots				10 knots			
	Stringer type		Mid deck type		Stringer type		Mid deck type	
Framing type	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Long.	Trans.
Model No.	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8
Mass	10 ton							
Impact Speed	5 knots				10 knots			
	Stringer type		Mid deck type		Stringer type		Mid deck type	
Framing type	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Long.	Trans.
Model No.	Model 9	Model 10	Model 11	Model 12	Model 13	Model 14	Model 15	Model 16

2.5 재료 물성치 (Material mechanical property)

본 모델에서는 전체 구조물을 연강 기준으로 하였으며 소성경화(plastic strain hardening)을 고려한 탄소성 재료를 적용하였다. 재료 물성치는 Table 2.2에서와 같다.

2.6 재료 변형속도 (Material strain rate)

충돌문제는 동적 현상이므로 변형속도의 영향을 받는 재료의 물성특성의 변화로 다루어야한다. 동항복응력 σ_{yd} 는 Cowper & Symonds가 제안한 식으로 표현하였다.

Table 2.2 Material mechanical property

Density (ρ)	7830 (kg/m ³)
Modulus of elasticity (E)	2.06 Gpa
Poisson's ratio (ν)	0.3
Yield stress (σ_y)	235 Mpa
Ultimate stress (σ_u)	420 Mpa
Failure plastic strain (ϵ_f)	0.2

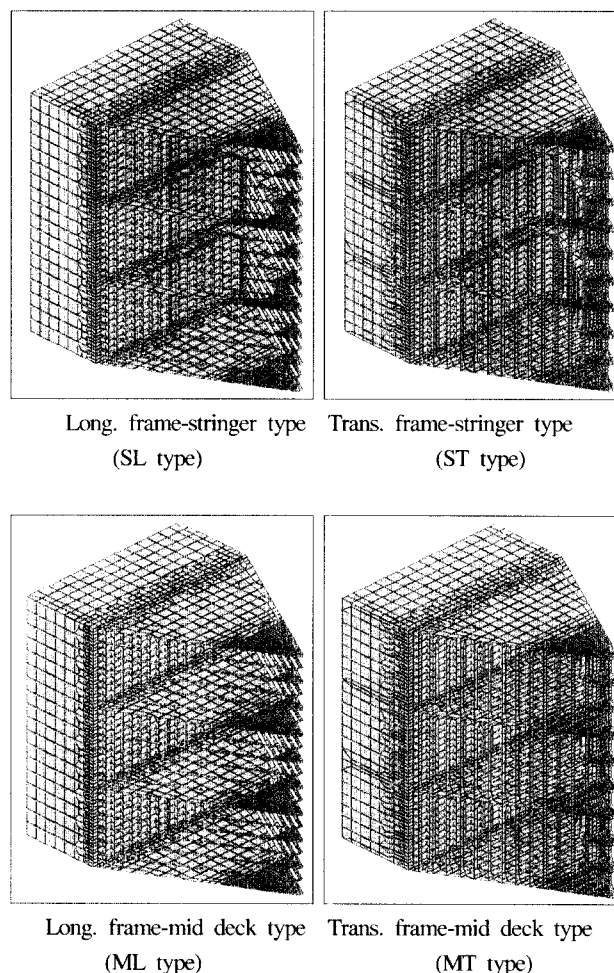


Fig. 2.3 FEM models

$$\frac{\sigma_{yt}}{\sigma_y} = 1 + (\dot{\epsilon}/D)^{1/p} \quad (1)$$

여기서 mild steel은 $D = 40.4$ $p = 5$

3. 동적 충돌거동 해석결과

3.1 Model 1, 2, 3 & 4의 충돌응답(질량 5톤, 속도 5노트)

기본모델로서 Fig. 3.1은 각 모델의 충돌후 잔류변형시의 소성 변형을, Fig. 3.2는 충돌시 압력에 의한 관통깊이-시간 및 흡수에너지-시간 관계를 나타내고 있다. 구조물의 변형과 손상상태는 비교적 저에너지 충돌현상으로 충돌부위인 스템부에 주로 발생하였으며 횡능골 구조형인 ST 및 MT형에서 종능골형인 SL 및 ML형보다 소성변형이 좀더 크게 발생하였다.

흡수에너지는 비교적 상호 유사하게 나타나 있으나 구조적 형태에 의한 강성 차이로 인해 관입량에서는 ST형은 97mm, MT형은 52mm, SL 및 ML형은 30mm로 동일 조건에서 관입량은 최대 3.3배 차이가 나타났다.

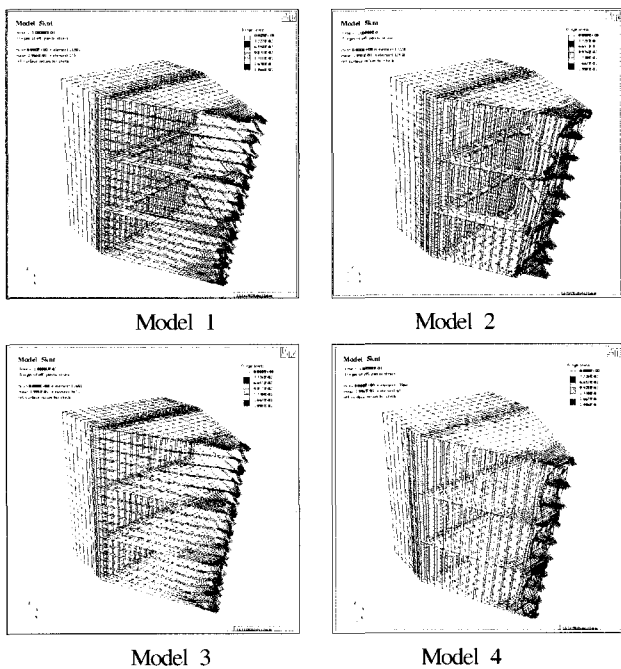


Fig. 3.1 Structural response of model 1, 2, 3 and 4

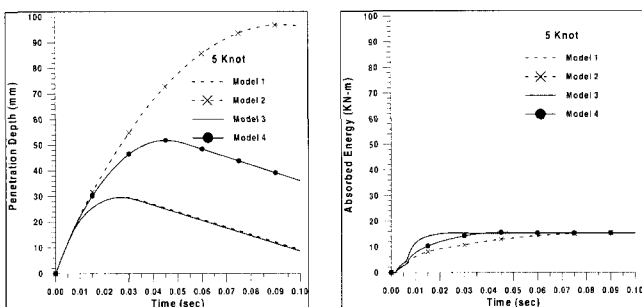


Fig. 3.2 Time history of penetration depth and absorbed energy

3.2 Model 5, 6, 7 & 8의 충돌응답(질량 5톤, 속도 10노트)

기본모델에서 속도만 10노트로 증가시킨 것으로 기본모델과 비교하면 손상규모가 훨씬 크고 구조물의 충돌거동과 응답성능은 구조 형태별로 확연히 구별되어 나타나고있다. Fig. 3.3은 각 모델의 충돌후 잔류변형시의 소성변형을, Fig. 3.4는 충돌시 압력에 의한 관통깊이-시간 및 흡수에너지-시간 관계를 나타내고 있다. 종능골 형인 SL 및 ML형에서는 스템부가 함몰되어 접혀 들어간 특이한 양상을 보이고 있는데 이는 종부재의 강성으로 인한 현상이라고 보며 또한 후부의 스트링거와 중간갑판에서도 소성변형이 크게 발생하였다. ST 및 MT형은 스템부에서 충돌에너지를 많이 흡수해서 발생한 압피 양상을 보이고 있고 상대적으로 후부의 스트링거나 중간갑판은 비교적 손상량이 적게 나타나고있다. 한편 관입량과 흡수에너지 그래프에서 보듯이 ST형은 기타형 들에 비해 충돌속도가 두 배로 증가해도 매우 우수한 에너지 흡수성능이 있음을 알 수 있다.

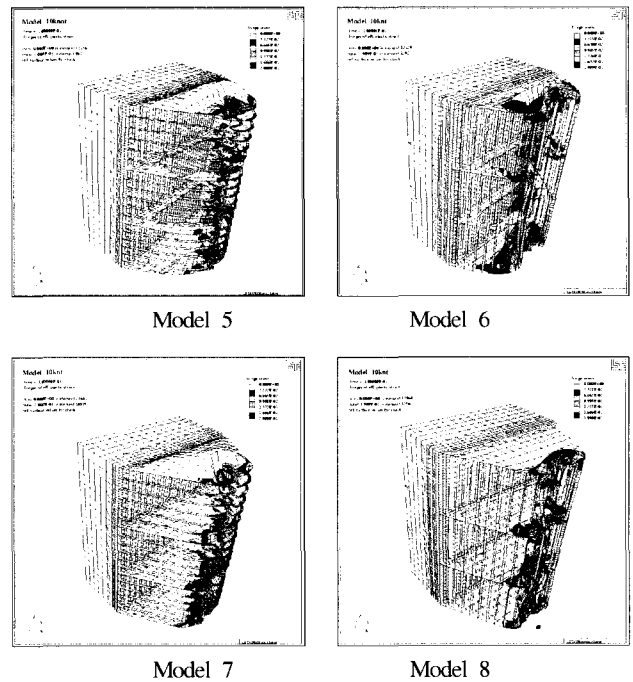


Fig. 3.3 Structural response of model 5, 6, 7 and 8

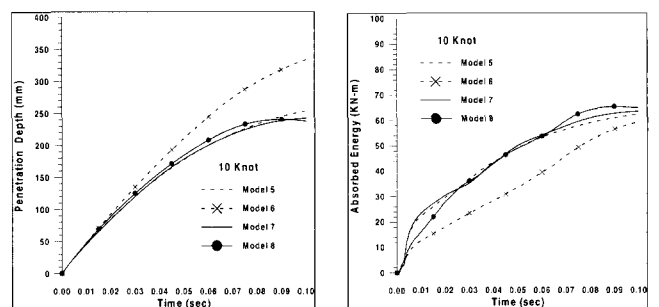


Fig. 3.4 Time history of penetration depth and absorbed energy

3.3 Model 9,10,11 & 12의 충돌응답 (질량 10톤, 속도 5 노트)

기본모델에서 질량만 10톤으로 증가시킨 경우로 충돌거동의 양태는 기본모델과 10노트 모델 경우의 중간적인 양태를 보이고 있다. Fig. 3.5은 각 모델의 충돌후 잔류변형시의 소성변형률, Fig. 3.6은 충돌시 압력에 의한 관통깊이-시간 및 흡수에너지-시간 관계를 나타내고 있다. 전체적으로 소성변형은 10노트 경우보다 적게 분포하고 있다. 10노트 경우와 비교하여 응력분포와 소성변형이 적게 나타나는 현상은 질량에 의한 영향이 속도보다 적다는 것을 의미한다. 흡수에너지는 기본모델에 비해 두배, 10노트 경우보다는 절반으로 나타나고 있다.

3.4 Model 13,14,15&16의 충돌응답(질량 10톤, 속도 10 노트)

기본모델에서 질량 및 속도를 각각 10톤 및 10노트로 증가시킨 고에너지 충돌현상으로 탄소성 대변형을 보이고 있으며 ML형에서는 충돌격벽까지 붕괴되는 양상을 보이고있다. Fig. 3.7은

각 모델의 충돌후 잔류변형시의 소성변형률, Fig. 3.8은 충돌시 압력에 의한 관통깊이-시간 및 흡수에너지-시간 관계를 나타내고있다. 소성변형에서 ST형은 강성이 적고 에너지 흡수가 많아서 충돌면이 평면처럼 압괴된 반면, SL형은 종부재의 강성으로 원호 양상의 현상을 보이고 있다. 특히 ML형은 강성이 크고 충돌에너지 흡수량이 적어서 구조물이 박리되는 현상을 보이고 있고 MT형에서는 중간갑판의 강성성분으로 ML형보다도 강성이 작으면서도 관입량이 적게 나타나고 있다.

Fig 3.8 및 Table 4.1에서와 같이 흡수에너지는 ML형의 708kN-m을 제외하고 평균 129kN-m로 각각 기본모델, 질량 10톤, 속도 10노트 모델보다 약 8.3배, 4.2배, 2배로 증가하였고, 관입량은 기본모델에서 상호 차이가 크지만 평균 약 11.6배, 3.27배, 1.85배로 증가하였다. 즉 흡수에너지는 구조형태에 관계없이 질량에 대해서는 2배, 속도에 대해서는 약 4배로 증가하였고, 관입량은 기본 모델을 기준으로 질량 10톤, 속도 10노트, 본 모델의 경우에서 종 늑골구조형은 각각 평균 3.3배, 8.2배, 16.3배이며, 횡 늑골구조형에서는 각각 평균 2.4배, 4배, 6.9배로 증가하

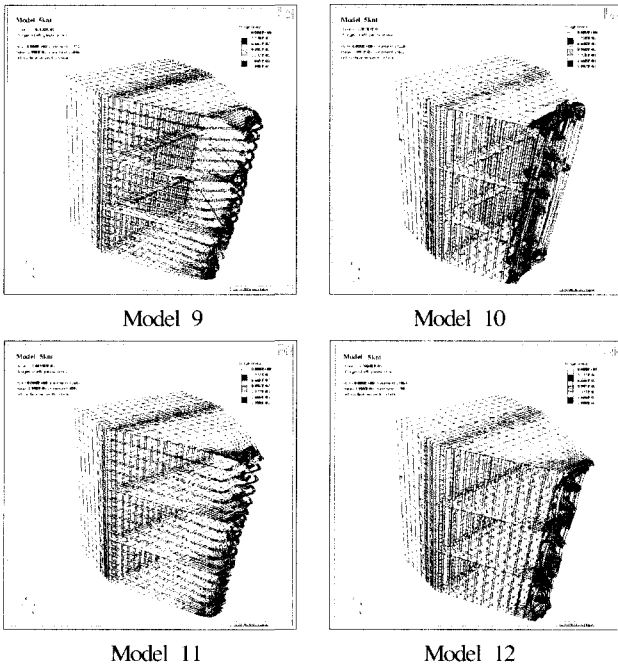


Fig. 3.5 Structural response of model 9, 10, 11 and 12

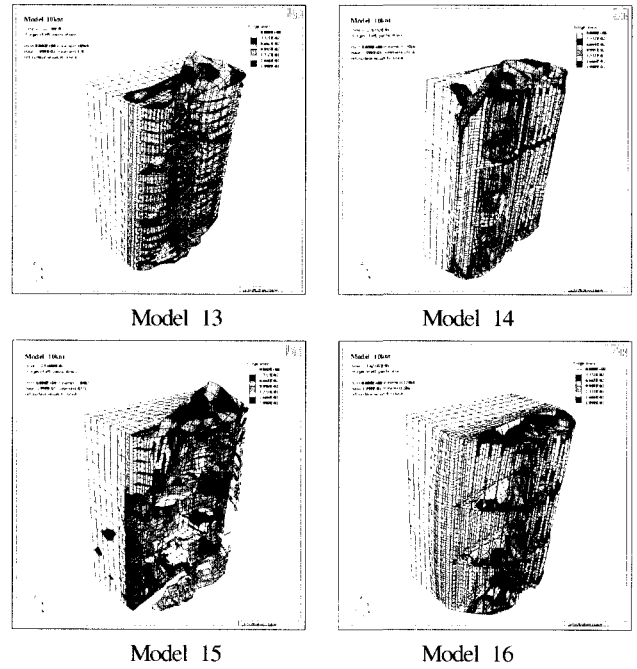


Fig. 3.7 Structural response of model 13, 14, 15 and 16

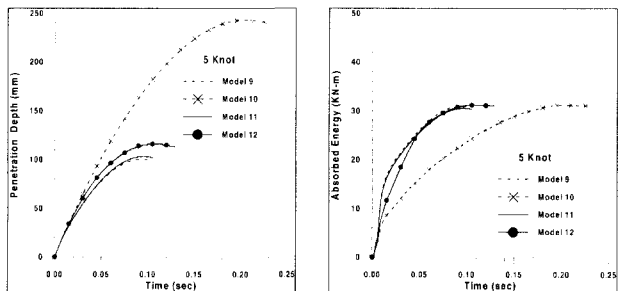


Fig. 3.6 Time history of penetration depth and absorbed energy

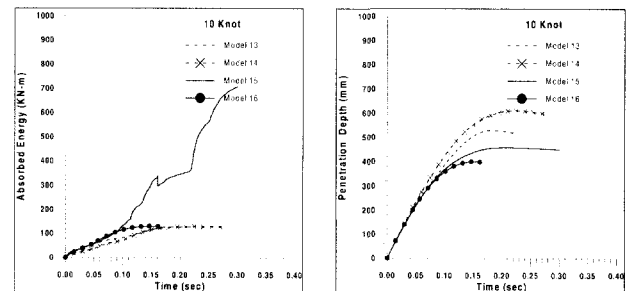


Fig. 3.8 Time history of penetration depth and absorbed energy

는 양태를 보이고있다. 이 결과에서 충돌에너지 흡수효과가 우수하면 질량 및 속도의 영향이 상대적으로 매우 적음을 알 수 있다.

고에너지 충돌 조건에서 타 구조형태에 비해 MT형이 관입량이 가장 적었고, 또한 격벽에서의 소성변형도 매우 적게 발생하였다. 이러한 현상은 저에너지 충돌에서는 ST형과 같은 구조배치가 효과가 있으나 고에너지 충돌에서는 MT형과 같은 구조배치가 더 효과적임을 알 수 있다.

4. 결 론

각 구조형태별 모델들의 충돌거동 및 응답성능 중에서 관입량 및 흡수에너지를 종합하여 Table 4.1에 나타내었다.

본 연구에서는 동적 충돌 수치해석 시뮬레이션방법을 이용하여 동일한 구조조건에서 질량과 속도 변화에 따라 이상화 모델들이 강체에 정면으로 충돌했을 때를 가정하여 수행하였다. 이는 추후 충돌을 고려한 설계와 충돌격벽의 위치를 제시할 수 있는 기초연구가 된다고 본다. 따라서 이러한 가정된 시나리오 범위 내에서 다음과 같이 결론을 제시하고자 한다.

- (1) 늑골구조의 배치형태가 충돌에너지 흡수성능에 큰 영향을 주며, 횡 늑골 구조배치가 종 늑골구조 보다 에너지흡수 효과가 매우 크다는 것을 확인하였다.
- (2) 중간 갑판의 구조형태도 충돌에너지 흡수성능에 영향을 주며 스트링거 구조처럼 주 구조부재의 강성이 적은 구조형태가 에너지 흡수효과가 크고 횡 늑골형과 조합되었을 때 가장 유연한 구조형태가 되었다.
- (3) 구조의 강성이 크면 압괴길이는 짧으나 후부로 많은 잔류

에너지가 전달되어 전체적으로 넓고 크게 탄소성 변형을 유발하는 것을 확인하였다.

(4) Table 4.1에서와 같이 충돌거동은 질량의 증가보다 충돌속도의 영향이 더욱 크게 나타났으며 구조적 형태에 따른 에너지흡수 성능도 비례하며 증가하는 것을 확인하였다.

(5) 강성이 큰 구조배치는 저에너지 충돌에서는 비교적 구조적 안정성이 유지되나, 고에너지 충돌에서는 에너지 흡수성능이 급격히 감소하므로 서 격벽을 포함하여 선수부 전체에서 탄소성 대변형이 발생하는 것을 확인하였다.

(6) 저에너지 충돌에서는 ST형과 같은 구조형태가 효과적이거나 질량과 속도가 큰 고에너지 충돌에서는 MT형에서와 같이 에너지 흡수성능이 우수하면서도 관입량이 크지 않는 구조형태가 효과적이었다.

참 고 문 헌

Akita, Y., Kitamura, K.(1972). "A study on collision by an elastic stem to a side structure of ships", J. of the Soc. of N.A of Japan, Vol. 131, pp 307~317.

Amdahl, J.(1995). "Mechanics of ship-ship collisions-Basic crushing mechanics", 22nd WEGEMT.

ABS Rules for Building and Classing Steel Vessels 2000, Part 3, Ch. 2,, Sec. 9, Fig. 1 and 2.

Chung, J.Y.(1996). "On the collision strength of ships' bow", Ph.D. Thesis, Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University.

International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended, Ch.II-1, Reg. 10 and 11. (SOLAS).

International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973/1978, Annex 1, Ch.II, Reg. 13F. (MARPOL).

Kierkegaard, H.(1993). "Ship bow response in high energy collision", Marine Structure 6, pp 359~376.

Lee, S.G., Chung, Y.G.(1997). "A study on the critical collisions speed of double hull VLCC", Proceeding of 7th Int. Offshore and Polar Engng. Conference, Honolulu, pp 416~423.

LS/DYNA User's Manual, V960, Livermore Software Tech.

Minorsky, V.U.(1959). "An analysis of ship collisions with reference to protection of nuclear power plants", J. of Ship Research, pp 1~4, Oct.

Ohnishi, T., Kawakami, H., Yasukawa, W., Nagasawa, H.(1982). "On the ultimate strength of bow construction", J. of the Soc. of N.A of Japan, Vol. 151, pp 174~186.

Ohtsubo, H., Suzuki, K.(1994). "The crushing mechanics of bow structure in head on collision (1st report) -The derivation of simplified equations and their verification", J. of Soc. of N.A of Japan, Vol. 176, pp 301~308.

Pedersen, P.T.(1993). "Bow crushing forces", 22nd WEGEMT, 1995 based on Pedersen, P.T., Valsgaard, S., Olsen, D., "Ship impacts-Bow collisions", Int. J. of Impact Engng., Vol. 13., No.

Table 4.1 Summary of penetration and absorbed energy

Model No.	Str. type	Mass (ton)	Speed (knot)	Time (sec)	Penetration (mm)	Absorbed energy (kN - m)
1	SL			0.027	30	15.49
2	ST	5	5	0.093	97	15.43
3	ML			0.026	30	15.41
4	MT			0.045	52	15.54
5	SL			0.100	253	62.19
6	ST	5	10	0.100	333	59.25
7	ML			0.100	242	63.37
8	MT			0.090	240	65.29
9	SL			0.089	100	30.90
10	ST	10	5	0.195	243	31.20
11	ML			0.093	103	30.60
12	MT			0.099	116	31.20
13	SL			0.177	529	128.00
14	ST	10	10	0.217	610	129.00
15	ML			0.300	450	708.00
16	MT			0.149	399	129.89

- 2, pp 163 ~ 187.
- Shin, Y.S.(2001). "A study on the crashworthiness design of bow structure of oil carriers", Ph.D. Thesis, Dept. of Naval Architecture, Korea Maritime University.
- Valsgard, S., Pettersen, E.(1982). "Simplified nonlinear analysis of ship/ship collision", Norwegian Maritime Research, No. 3, pp 2 ~ 17.
- Woisin, G.(1976). "Collision test of GKSS", Translation from Jahrbuch der Schiffbau Technischen Gesellschaft, Germany.
- Yang, P.D.C., Caldwell, J.B.(1988). "Collision energy absorption of ships' bow structures", Int. J. of Impact Engng, 7(2), pp 181 ~ 196.
-
- 2001년 6월 28일 원고 접수
2001년 8월 3일 수정본 채택