

油槽船 船首部の 耐衝突 構造設計에 關한 研究

신영식 · 박명규

현대중공업 · 한국해양대학교

A Study on the Crashworthiness Design of Bow Structure of Oil Carriers

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 behavior 충돌거동, Collision bulkhead 충돌격벽, Penetration depth 관통깊이, 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 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 is aimed at investigating a complicated structural response of bow structures of oil carriers for assessing the energy dissipation and crushing mechanics of striking vessel through a methodology of the numerical analysis for the various models and its design changes.

Through this study an optimal bow construction absorbing great portion of kinetic energy in 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 response analysis procedures are performed 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 two conditions.
- 2). 21 models consisted of 5 size of 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.

1. 서 론

1.1 연구배경

유조선들의 충돌 사고는 해양 오염의 주요 원인 중의 하나이며 그 영향은 매우 심각하게 나타나고 있다. 또한 충돌시의 구조적 붕괴로 인해서 침몰하는 경우도 보고되고 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 및 해양 플랫폼(offshore platform) 등에 강체충돌(ship to rigid body)하는 경우이다. 두 경우의 충돌거동(collision behavior)은 그 양태가 많이 다르게 나타난다. 만일 이러한 각각의 충돌에 대한 구조적 거동과 붕괴메카니즘을 감안하여 선체의 구조배치 및 설계가 이루어진다면 충

돌 후 선박의 손상복원성을 높이고 또한 해양오염도 상당히 감소시킬 수 있을 것이다. 이런 관점에서 볼 때 충돌현상을 조사하고 합리적인 방법으로 충돌을 감안한 설계개념을 정립하는 것이 매우 필요하다고 본다. 선박 충돌에 의한 붕괴거동과 파괴형태는 충돌선의 크기, 충돌 속도 및 각도, 충돌선의 선수구조 및 파충돌선의 선측 구조형태, 충돌위치, 흡수, 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 어려운 일이다.

따라서 선박의 충돌현상을 구현하기 위한 방법으로는 실선(full scaled ship)을 이용하여 충돌 시뮬레이션을 수행하고 그 결과로부터 최적의 내충돌 구조배치에 대한 데이터를 구하는 것이 필요하나 현실적으로 비용과 실험방법 및 장소 등의 커

다란 장애 요소로 실현성이 거의 어려운 실정이다. 한편 축소 모형을 이용하는 방법이 있으나 치수효과(scale factor)등의 문제로 그 정도가 매우 낮으며 국부적인 현상만을 나타내기 때문에 실제 충돌거동 및 응답현상과는 큰 차이가 있다. 또한 간이식들이 유도되어 이용되고 있으나 대부분 기본 단위구조 부재들을 실험한 결과를 근거로 도출되어서 복잡하고 거대한 실선 구조의 충돌현상을 나타내기는 적절하지 못하다. 이러한 측면에서 볼 때 유한요소법이 유용한 방법으로 제시 될 수는 있으나 모델링 및 수치계산에 방대한 시간이 소요되고 또한 평가 및 실선의 구조설계 조건을 작성하기 어려운 점이 있다. 그러나 유용한 정보와 높은 정도를 갖는 점에서 필요한 도구라고 볼 수 있다. 충돌거동 해석에 동적시간적분 양의해 방법(dynamic time integration explicit solution method)의 비선형 유한요소법이 이용되고 있으며 본 연구에서도 이러한 해석적 방법을 활용하여 수행하였다.

본 연구에서는 첫째 충돌선이 피충돌선에 충돌하는 경우와 둘째 충돌선이 해상시설물 등의 강체에 충돌하는 각각의 경우 충돌격벽(collision bulkhead)의 위치, 종 또는 횡능골(longitudinal or transverse frame)의 형태 및 주 구조부재(primary member), 질량, 충돌속도 및 치수(scantling) 등의 변경을 통해서 선구조의 붕괴거동과 파괴형태, 구조배치별 충돌에너지 흡수능력 및 압괴거리 등을 검토함으로써 원유운반선(crude oil carriers) 및 정유제품 운반선(product carriers) 등 이들 유조선(oil carriers)의 운항목적에 부합하는 효과적인 내충돌 구조배치와 충돌격벽의 최적위치를 조사하였다.

1.2 충돌 관련 국제법규

1.2.1 1974년 해상에서의 인명안전 국제협약 (International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974)

일명 "SOLAS" 로 통칭되고 있으며, 1960년 해상에서의 인명안전을 위한 국제협약 체결 후 발전된 사항을 참조하여 1974년 이 협약으로 대체하였다. 이 협약에 의해 적용을 받는 모든 선박들은 선수부 충돌격벽의 위치를 이 규칙에 따라 결정하여야 한다. 충돌격벽의 위치는 여객선(passenger ships)은 제2-1장 규칙 10, 화물선(cargo ships)은 규칙 11에 따라 결정된다. 이들 규칙에서 규정하는 설치 위치는 Table 1.1 및 Fig. 1.1~1.2에 나타내었다. 만일 구상선수가 있는 경우 충돌격벽의 위치는 Fig. 1.2에서와 같이 거리가 최소가 되는 점(reference point)으로부터 측정하여 충돌격벽의 위치를 결정한다.

이와 같이 SOLAS에서 요구하는 충돌격벽의 위치규정들은 오랜 기간 변경 없이 적용되어왔으며 현재 선박들의 크기 및 속도 등 운항성능이 크게 발전되었으나 아직 이러한 요소들이 고려되어서 충돌격벽의 위치가 결정되어지고 있지 않다.

1.2.2 1973년 선박으로부터의 오염방지를 위한 국제협약 (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973)

일명 "MARPOL"로 통칭되고 있으며, 1973년 선박으로부터 오염방지를 위한 국제협약에 관한 1978년 의정서로 수정된

Table 1.1 Location of collision bulkhead by SOLAS

Location	Passenger ships Chap. II-1, Reg.10	Cargo ships Chap. II-1, Reg.11
Not less than y_1 from F.P	0.05 Lr m	0.05 Lr or 10 m Whichever is less
Not more than y_2 from F.P	0.05 Lr+3 m	0.08 Lr m

Notes: Where a bulbous bow extends forward of the forward perpendicular, the distance stipulated in the table shall be measured from a point either :

1. at the mid-length of such extension; or
2. at a distance 1.5% of the length of the distance forward of the F.P; or
3. at a distance 3 m forward of the F.P

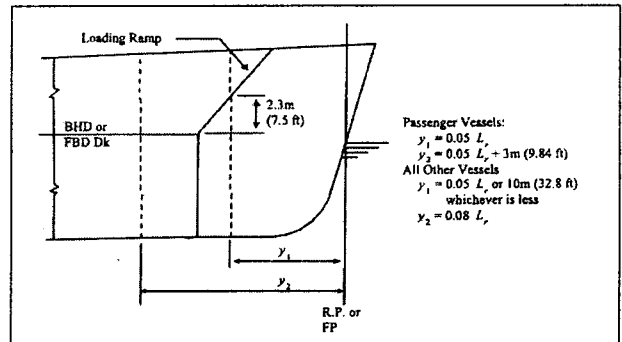


Fig. 1.1 Location of collision bulkhead

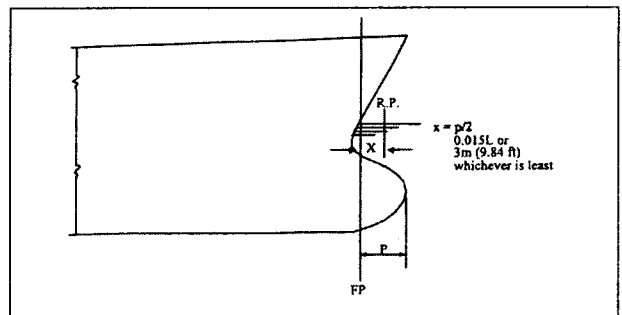


Fig. 1.2 Location of reference point (R.P)

"1973년 선박으로부터 해양오염방지 국제협약"은 1983년 발효되었으며, 6개의 부속서(Annex)로 이루어졌다. 이 협약의 주요 개정사항 중의 하나가 1992년 유조선의 이중선체(double hull and bottom) 규칙 도입이다.

이중선체규칙은 부속서 I, 제2장, 규칙 13F 및 13G에 의해 요구되고 있다. 규칙 13F는 1993.7.6일 이후 건조계약, 1994.1.6일 이후 용골거치 또는 1996.7.6일 이후 인도되는 유조선에 적용하고 13G는 13F의 규정된 날자 전에 계약, 용골거치 또는 인도된 선박에 적용하므로 신조 기름운반선은 13F만을 적용하여야 한다. 이 규칙은 재화중량 600톤 이상의 기름운반선에 적용한다. 또한 이 규칙은 충돌이나 좌초 사고시 적재한 기름유출에 의한 오염을 최대한 방지하기 위한 규정으므로 Table 1.2에서와 같이 이중선체로 탱크 구역을 보호하여야 한다.

MARPOL의 이중선체규정은 "Exxon Valdez"호 좌초사고 이

후 유조선의 사고에 의한 오염방지를 주목적으로 규정되었으므로 충돌 및 좌초 사고시 기름 오염 방지를 최소화하기 위해 화물구역과 선측 사이를 발라스트 전용 또는 공간(void space)을 두어 선박의 크기에 따라 일정한 간격을 갖도록 해서 충돌 및 좌초 사고시 화물창을 보호하는데 있다. 이러한 구조 형태는 주로 피충돌선의 조건이 된다.

Table 1.2 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

Notes : For tankers of 20,000 tons DWT and above, assumed bottom raking damage;

a) Longitudinal extent:

75,000 DWT and above : 0.6L measured from F.P
Below 75,000 DWT : 0.4L measured from F.P

b) Transverse extent : B/3 anywhere in the bottom

c) Vertical extent : breach of the outer hull

1.2.3 1972년 해상에서의 충돌방지를 위한 국제규칙 (The Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972)

일명 "COLREG"로 통칭되며 이 국제협약은 충돌예방을 목적으로 선박의 조종, 충돌회피 레이더 시스템, 항해규칙, 신호 등 및 배치, 음향신호 및 구난신호 등에 대해 규정한 규칙이다. 따라서 충돌을 예방하기 위한 항해상의 규칙과 설비에 대한 제반 사항을 규정하므로, SOLAS 및 MARPOL에서와 같이 직접적으로 충돌 또는 좌초사고를 대비하여 구조적 배치를 강제하는 규칙과 차이가 있다. 따라서 이 협약은 선박충돌에 대한 구조적인 요구조건과 직접적인 관련은 없다.

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. 대표적인 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 압괴실험을 수행하였다. 6개의 다양한 강도의 선수구조의 모형 실험을 통하여 선박간 충돌에서 충돌선의 선수부 구조형태가 매우 중요한 역할을 한다는 것을 확인하였다. 즉, 강성 선수구

조는 에너지 흡수가 적은 반면, 피충돌선의 선측에서 동적 에너지를 거의 흡수하며, 유연한 선수부 구조는 충돌에너지를 대부분 흡수하므로서 피충돌선의 선측 손상이 상대적으로 작다는 것을 확인하였다. Ohnishi등(1982)은 탱커선과 컨테이너선의 선수모형을 1/10 비율로 제작하여 정적 붕괴실험을 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 선측에 충돌시 충돌선 선수와 선측의 손상 관계 및 충돌하중, 흡수에너지등을 추정 할 수 있는 방안을 제시하였다. Lee(1983)는 등방성판의 에너지흡수 관계를 이론 및 실험적 방법으로 조사하여 충돌에너지를 효과적으로 흡수할 수 있는 유연한 선수구조의 조건을 제시하였으며 실험모델은 사각형, 사다리형, 삼각형 및 이들의 조합 부재로 하였다. Yang and Caldwell(1988)은 복잡한 선수구조의 충돌에 대한 파손량의 추정을 위하여 선수구조를 에너지흡수 단위구조인 기본요소들로 구분하고 각각의 요소에 대한 압괴강도를 추정할 수 있는 이론식을 제시하였고 이의 유용성을 검증하였다. 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 축압괴 메카니즘을 기본으로 하여 유도하였다. 이와 유사한 방법으로 Ohtsubo등(1994)이 있다. 이들은 Wierzbicki (1982)의 압괴메카니즘을 이용한 Yang and Caldwell의 평균 압괴강도 간 이식을 수정 검증하고 선수구조에 적용하는 방안을 제시하였다. Lehmann and Yu(1995)은 구상선수와 같은 원추형상의 접힘 현상을 수학적 방법으로 해석하고, 충돌하중과 변형을 계산하는 간이식을 제시하였다. Amdahl(1995)은 선수충돌시 선수부 구조의 소성대변형으로 인한 충돌에너지 흡수관계를 계산하는 방안을 제시하였다. 유사한 방법으로 Pedersen(1995)은 선박이 교각이나 해양구조물에 충돌시 선수부 구조의 에너지를 추정하는 방안을 제시하였다. 충돌시 선수구조 형태에 따라 압괴거리가 다르므로 압괴하중을 추정하는 간이식을 제시하고 이를 실선에 적용하여 유용성을 확인하였다. Chung(1996)은 선체를 구성하는 기본구조부재들을 정적 및 동적 압괴실험을 수행하고 선박 충돌시 선수부 손상 및 강도를 계산하기 위한 간이 해석법을 제시하였다. Lee등(1997)은 수치해석적 방법으로 선박간 충돌에서 35k, 70k 및 105k 충돌선이 각각 310k 피충돌선 선측에 충돌시 이중선체구조의 내측 격벽이 파손되지 않는 임계충돌속도와 이때의 충돌하중 및 흡수에너지를 구하고 충돌거동을 조사하였다. Shin(2001)은 이상화 모델과 다양한 크기의 실선 유조선들로 73개의 해석모델을 구성하여 가상 충돌 시나리오에 따라 동적 수치해석 시뮬레이션을 수행하고 선수부 구조의 내충돌 구조조건과 SOLAS에서 규정하는 충돌 격벽 위치를 수정제시하였다. 이들은 모델들의 질량, 충돌속도, 주 구조부재의 배치상태, 늑골부재의 배치상태, 충돌격벽의 위치 및 충돌조건 등에 따른 선수부 구조의 충돌거동과 응답성능, 흡수에너지, 관통깊이, 충돌하중, 임계속도 등 및 충돌격벽의 위치에 따른 영향인자도 조사 검토되었다.

2. 이상화 모델의 동적충돌거동

2.1 모델의 개요

복잡한 선수부 구조의 충돌응답성능(collision response capability)을 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 변경하면서 해석할 경우 방대한 모델링과 많은 시간이 소요되는 제약이 있다. 이러한 실선 선수부 구조의 동적 충돌거동 해석 전에 기본적인 연구로 그 경향을 파악하거나 또는 유용한 충돌응답성능을 비교 분석하는 선행적 방법으로 이상화 모델을 이용하였다. 따라서 이상화 모델을 이용하여 충돌응답성능에 영향을 주는 여러 영향인자들을 변경하면서 동적 충돌시뮬레이션을 수행하고 충돌거동과 응답성능을 단순 비교 분석하는 것이 필요하다.

2.2 모델의 조건

본 연구에서 이용한 이상화 모델은 Table 2.1 및 Fig. 2.1에서와 같이 Akita and Kitamura(1972)의 압괴실험용 선수모델을 수정하여 이용하였다.

Table 2.1 Comparison between mother ship and models

Items	Actual ship	Long. frame model	Trans. frame model
Shell plate thickness, mm	21.0	1.6	1.6
Deck plate thickness, mm	10.0	1.2	1.2
Breast hook thickness, mm	15.0	1.2	1.2
Frame spacing, mm	800	50	50
Section area/unit width, cm ²	3.08	0.24	0.24

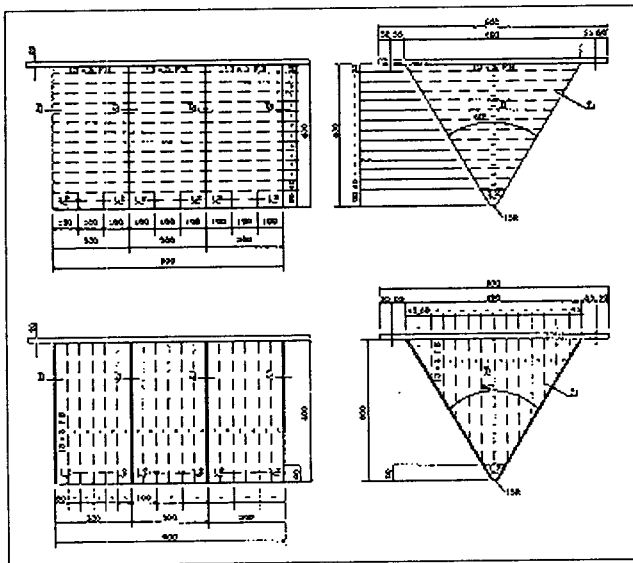


Fig. 2.1 Akita and Kitamura models

2.3 구조배치

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

모델의 구조형태는 크게 중늑골형과 횡늑골형 구조로 구분하였고, 상갑판과 선저사이의 갑판은 두 개의 중간갑판형(mid deck type)으로 전체가 박판으로 구성되어 있는 것과 스트링거형(stringer type)인 수평 웨브 구조(horizontal web frame) 형태로 각각 구성하였다. 선수부 구조는 단순화시켜서 삼각형 타입으로 약 60°의 쐐기형이며 스템 전부는 수직하다. 모델 크기는 길이방향으로 선수부는 600mm, 화물창은 300mm로 전체 900mm이며, 모델의 깊이는 900mm이다.

스템부의 쐐기형 보강판(breast hook)은 100 mm 간격으로 부착되어 있고, 골조부재는 13×3 FB이다. 동적 충돌붕괴거동과 응답성능은 중늑골 및 횡늑골 구조와 스트링거 및 중간갑판형 구조로 조합된 구조형태별로 검토되었다.

이들 구조 형태별로 압괴거리, 흡수에너지, 충돌하중 및 충돌속도 등을 비교하였으며 선수격벽 부근에서의 에너지 전달의 크기도 상호 비교하였다.

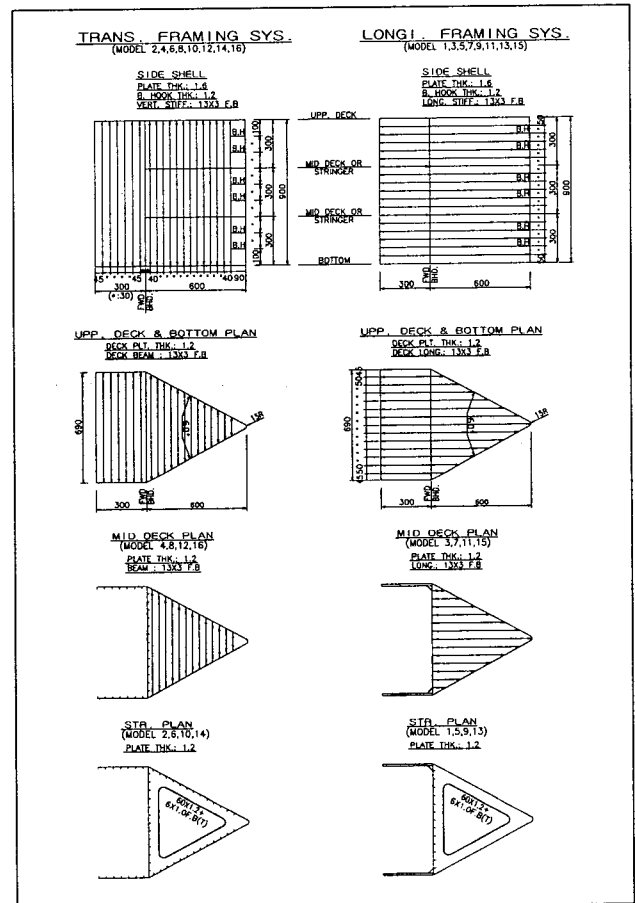


Fig. 2.2 Structural arrangement of simplified models.

2.4 가상 충돌시나리오 및 하중조건

충돌선이 강체에 정면으로 충돌하는 경우만을 가상하였다. 이러한 조건은 충돌에너지가 최대인 경우의 붕괴거동

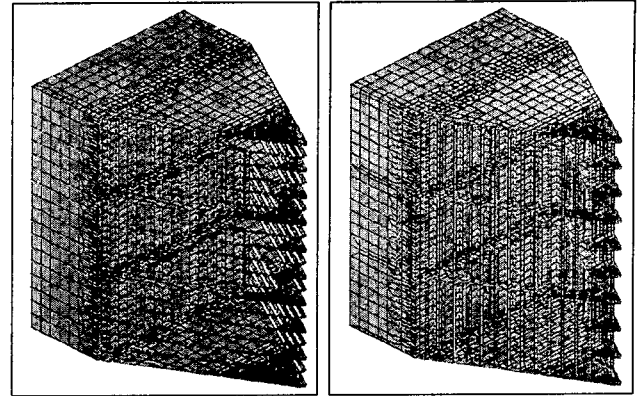
과 응답성능을 검토하기 위함이다. Table 2.2에 나타난 바와 같이 충돌선 모델은 각기 질량과 속도, 중간갑판형 및 늑골구조 형태에 따라 조합된 16개의 모델로 구성되었으며 각기 동일한 조건하에서 충돌거동과 응답성능을 비교 검토하였다.

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.

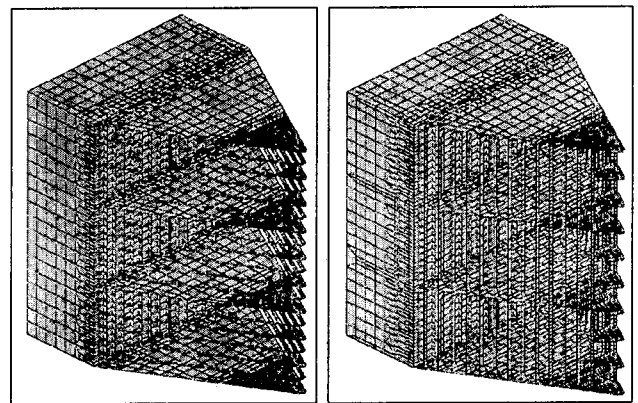
Table 2.2 Model No. and loading conditions

Mass	5 ton							
Impact Speed	5 knots				10 knots			
Deck type	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			
Deck type	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



Long. frame-stringer type (SL type) Trans. frame-stringer type (ST type)



Long. frame-mid deck type (ML type) Trans. frame-mid deck type (MT type)

Fig. 2.3 FEM models

2.5 재료 물성치 (Material mechanical property)

본 모델에서는 연강을 사용하였으며 소성경화(plastic strain hardening)을 고려한 탄소강 재료를 적용하였다. 재료 물성치는 Table 2.3에서와 같다.

Table 2.3 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

3.2 재료 변형속도 (Material strain rate)

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

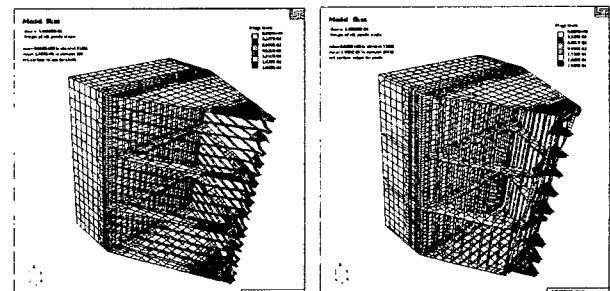
$$\frac{\sigma_{yd}}{\sigma_y} = 1 + (\dot{\epsilon}/D)^{1/p}$$

여기서 mild steel은 D = 40.4 p = 5

3. 동적 충돌응답 해석결과

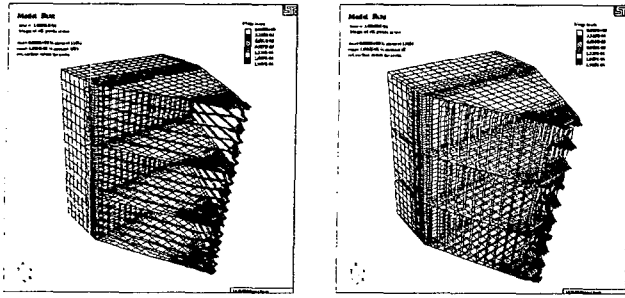
3.1 Model 1, 2, 3 & 4의 충돌응답(질량 5톤, 속도 5노트)

Fig. 3.1은 각 모델의 충돌후 잔류변형시의 소성변형을, Fig. 3.2는 충돌시 압력에 의한 관통깊이-시간 및 흡수에너지-시간 관계를 나타내고 있다. 구조물의 변형과 손상상태는 비교적 저에너지 충돌현상으로 충돌부위인 스템부에 주로 발생하였다. 횡늑골 구조형태인 ST 및 MT형에서 늑골형태인 SL 및 ML형보다 소성변형이 좀더 크게 일어났다.



Model 1

Model 2



Model 3

Model 4

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

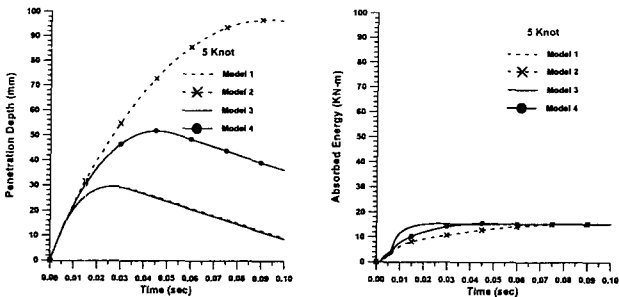
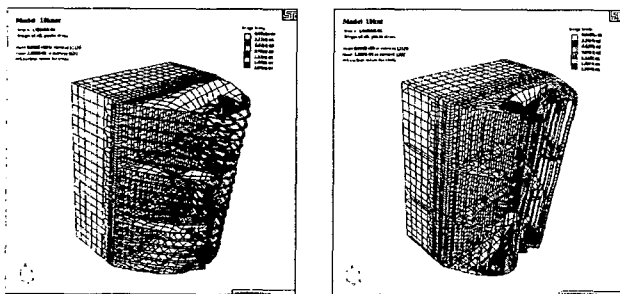


Fig. 3.2 Time history of penetration depth and absorbed energy

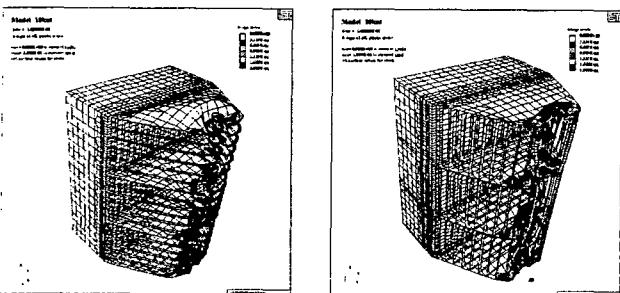
3.2 Model 5, 6, 7 & 8 의 충돌응답 (질량 5톤, 속도 10노트)

Fig. 3.3은 각 모델의 충돌후 잔류변형시의 소성변형을, Fig. 3.4는 충돌시 의한 관통깊이-시간 및 흡수에너지-시간 관계를 나타내고 있다. 기본모델에서 속도만 10노트로 증가되었으며 구조물의 충돌거동과 응답성능은 기본모델보다 손상규모가 훨씬 크고 구조 형태별로 확연히 구별되어 나타났다.



Model 5

Model 6



Model 7

Model 8

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

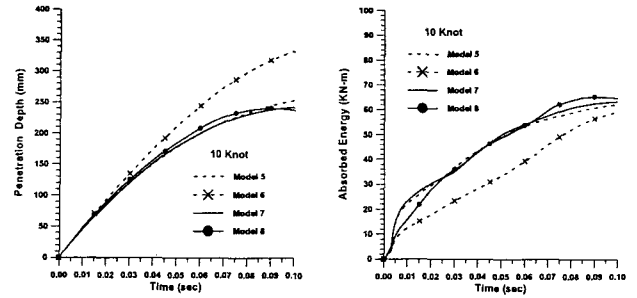
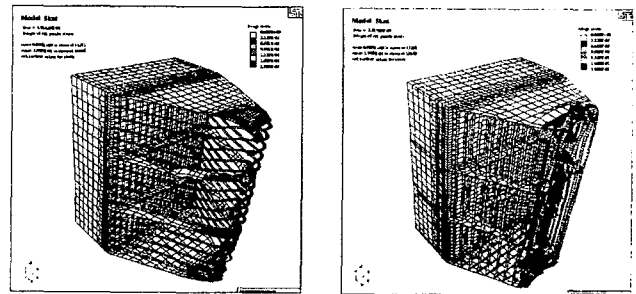


Fig. 3.4 Time history of penetration depth and absorbed energy

충돌을 형태인 SL 및 ML형에서는 스템부가 함몰되면서 접혀 들어가는 특이한 양상을 보이고 있고 그 반면 후부의 스트링거나 중간갑판 등에서는 변형이 크게 발생하였다. ST 및 MT형은 스템부에서 손상 변형이 더 큰 양상인데, 이는 강성이 적고 충돌에너지를 많이 흡수해서 발생한 현상이며 상대적으로 후부의 스트링거나 중간갑판은 비교적 손상량이 적게 나타났다.

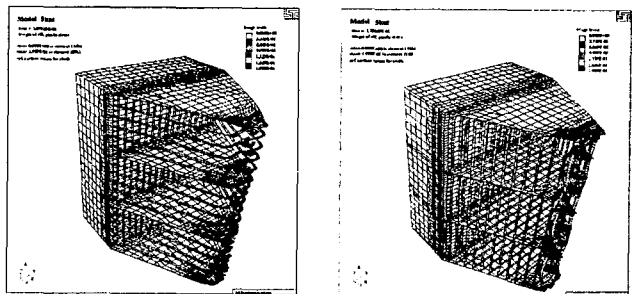
3.3 Model 9,10,11 & 12의 충돌응답 (질량 10톤, 속도 5노트)

Fig. 3.5은 각 모델의 충돌후 잔류변형시의 소성변형을, Fig. 3.6는 충돌시 압력에 의한 관통깊이-시간 및 흡수에너지-시간 관계를 나타내고 있다. 기본모델에서 질량만 10톤으로 증가시킨 경우로 충돌거동의 양태는 기본모델과 10노트 모델 경우의 중간적인 양태를 보이고 있다. 전체적으로 소성변형은 10노트 경우보다 적게 분포하고 있다. 10노트 경우와 비교하여 응력분포와 소성변형이 적게 나타나는 현상은 질량영향이 속도영향보다 적다는 것을 의미한다. SL 및 ML 형에서 스템부가 함몰된 모습을 보이고 있다.



Model 9

Model 10



Model 11

Model 12

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

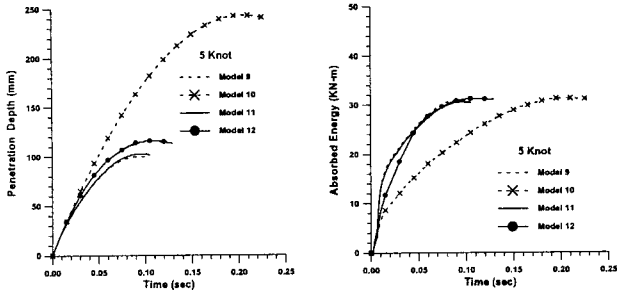


Fig. 3.6 Time history of penetration depth and absorbed energy

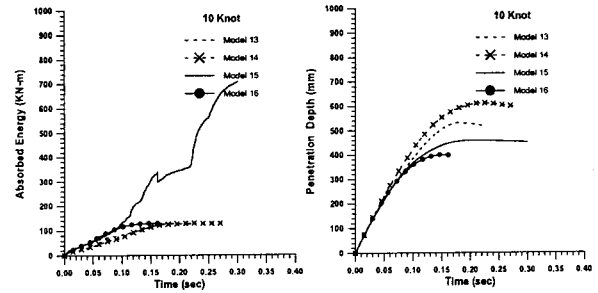


Fig. 3.8 Time history of penetration depth and absorbed energy

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

Fig. 3.7은 각 모델의 충돌후 잔류변형시의 소성변형률, Fig. 3.8은 충돌시 압력에 의한 관통깊이-시간 및 흡수에너지-시간 관계를 나타내고 있다. 기본모델에서 질량 및 속도를 각각 10톤 및 10노트로 증가시킨 경우이다. 고에너지 충돌현상으로 탄소성 대변형 모습을 보이고 있다. 특히 ML형은 강성이 크고 충돌에너지 흡수량이 적어서 구조물들이 파단되어 박리되는 현상을 보이고 있다. MT형에서는 중심부가 접혀 들어가면서 중간갑판의 강성 성분으로 원호형상의 변형을 보이며, 이는 SL형에서도 비슷하며 ST형에서는 강성이 적고 에너지 흡수가 많아서 충돌면이 평면처럼 접혀지는 현상을 보이고 있다. MT형을 제외하고 탄소성 대변형으로 선수부가 붕괴되어 접혀 들어가면서 선수격벽에 의해 지지되고 있으며 특히 ML형에서는 선수격벽까지 붕괴되어 박리 되는 모습을 보이고 있다. SL 및 ST형에서는 스트링거보다 상갑판 및 선저판의 충돌 저항이 매우 크므로 각각 상하부로 접혀진 모습을 보이고 있고 격벽 후부에서의 손상량은 별로 크지 않게 나타나고 있다.

MT형에서는 상갑판, 선저 및 중간갑판들이 아주 유사한 손상거동을 보이고 있고 타 구조형태에 비해 붕괴가 가장 적게 발생하여 격벽판에서의 소성변형이 매우 적게 발생하였다. 이러한 현상은 저에너지 충돌에서는 ST형과 같은 구조배치가 효과가 있으나 고에너지 충돌에서는 MT형과 같은 구조배치가 더 효과적임을 의미한다.

4. 결 론

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

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	5	5	0.027	30	15.49
2	ST			0.093	97	15.43
3	ML			0.026	30	15.41
4	MT			0.045	52	15.54
5	SL	5	10	0.100	253	62.19
6	ST			0.100	333	59.25
7	ML			0.100	242	63.37
8	MT			0.090	240	65.29
9	SL	10	5	0.089	100	30.90
10	ST			0.195	243	31.20
11	ML			0.093	103	30.60
12	MT			0.099	116	31.20
13	SL	10	10	0.177	529	128.00
14	ST			0.217	610	129.00
15	ML			0.300	450	708.00
16	MT			0.149	399	129.89

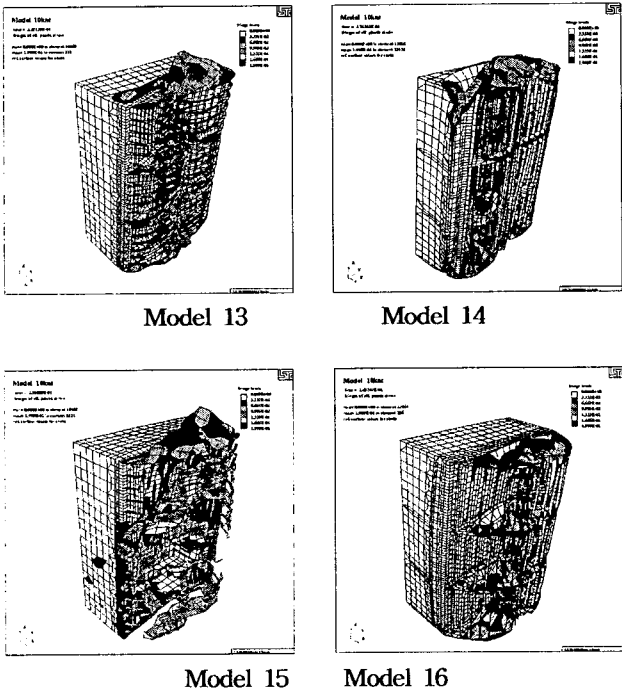


Fig. 3.7 Structural response of model 13, 14, 15 and 16

본 연구에서는 동적 충돌 수치해석 시뮬레이션방법을 이용하여 동일 조건에서 질량과 속도가 다른 이상화 모델들이 강체에 정면으로 충돌했을 때를 가정하여 수행하였다. 추후 충돌을 고려한 설계와 충돌격벽의 위치를 제시할 수 있는 기초연구가 된다고 본다. 따라서 본 연구결과는 이러한 가정된 시나리오 범위 내에서 다음과 같이 결론을 제시하고자 한다.

- 1) 늑골구조의 배치형태가 충돌에너지 흡수성능에 큰 영향을 주며, 횡늑골 구조배치가 종늑골구조 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 횡늑골형과 조합되었을 때 가장 유연한 구조형태가 되었다.
- 3) 구조의 강성이 크면 압괴길이는 짧으나 후부로 많은 잔류 에너지가 전달되어 전체적으로 넓게 탄소성변형을 크게 유발하는 것을 확인하였다.
- 4) Table 4.1의 시뮬레이션 결과에 의하면, 충돌거동은 질량의 증가보다 충돌속도의 영향이 더욱 크게 나타났으며 구조적 형태에 따른 에너지흡수 성능도 비례하며 증가하는 것을 확인하였다.
- 5) 질량과 속도가 큰 경우 에너지 흡수가 우수한 구조는 상대적으로 관입량이 많아지게 된다. 따라서 압괴거리가 제한되어 있는 경우는 MT 형에서처럼 에너지 흡수성능이 우수하면서 관입량이 크지 않는 구조형태가 효과적이었다.
- 6) 강성이 큰 구조배치는 저에너지 충돌에서는 비교적 구조적 안정성이 있으나 고에너지 충돌에서는 에너지 흡수성능이 급격히 감소하므로 선수부 전체에서 탄소성 대변형이 발생하게 된다.

참 고 문 헌

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

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

Colreg, International Regulation for Preventing Collision at Sea, 1972, Part A, Rule 1.

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

Woisin, G.(1976). "Collision test of GKSS", Translation from Jahrbuch der Schiffbau Technischen Gesellschaft, Germany.

Akiita, Y., Kitamura, K., "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, 1972.

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

Valsgard, S., Pettersen, E., "Simplified nonlinear analysis of ship/ship collision", Norwegian Maritime Research, No. 3, pp.2-17, 1982

Lee, J. W., "On the optimization design of soft bow structure", PRADS 83, pp. 429- 435, 1983

Yang, P.D.C., Caldwell, J.B., "Collision energy absorption of ships' bow structures", Int. J. of Impact Engng, 7(2) pp.181-196, 1988

Kierkegaard, H., "Ship bow response in high energy collision", Marine Structure 6, PP.359-376, 1993.

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

Wierzbicki, T., "Crushing behaviour of plate intersections", Chap.3 in Structural Crashworthiness, Eds. N. Jones and T. Wierzbicki, Butterworth, pp.66-95. 1982

Lehmann, E., Yu, X., "Progressive folding of bulbous bow", PRADS95, 2.1048-2.1059, 1995

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

Pedersen, P.T., "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. 2, pp.163-187, 1993 and Paik, J.K., Pedersen, P.T., "Ultimate and crushing strength of plated structure", J. of Ship Research, Vol. 39, No. 3, pp.250-261, 1995

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

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

Shin, Y.S., "A study on the crashworthiness design of bow structure of oil carriers", Ph.D. Thesis, Dept. of Naval Architecture, Korea Maritime University, 2001

MSC/DYTRAN User's Manual, V3.0, The MacNeal