

## 선수부 설계시 구조거동과 충돌격벽에 미치는 영향

신 영 식\* · 박 명 규\*\*

### Collision Response of Bow Structure and Its Affected Collision Bulkhead in Bow Design

*Y. S. Shin · M. K. Park*

**Key Words** : Bow Collision(선수 충돌), Structural Behavior(구조 거동), Collision Bulkhead(충돌격벽), Dynamic Time Integration Explicit Solution(동적 시간 적분 양의 해), Bulbous Bow(구상선수), Collision Critical Speed(충돌 임계 속도)

#### Abstract

In this paper a complicated structural behavior in collision and its effect of energy translation to the collision bulkhead was examined through a methodology of the numerical simulation to obtain a ideal bow construction and a location of collision bulkhead against head on collision. In the present the bow structure is normally designed in consideration of its specific structural arrangements and internal and external loads in these area such as hydrostatic and dynamic pressure, wave impact and bottom slamming in accordance with the Classification rules, and the specific location of collision bulkhead by SOLAS requirement.

By these studies the behavior of the bow collapse due to collision was synthetically evaluated for the different size of tankers and its operational speed limits, and by the results of these simulation it provides the optimal design concept for the bow construction to prevent the subsequent plastic deformation onto or near to the collision bulkhead boundary and to determine the rational location of collision bulkhead.

\* 현대중공업/울산과학기술대학

\*\* 정희원, 한국해양대학교 해양시스템공학부 교수

## 1. 서론

여러 가지 형태의 선박 충돌로 인해 과거 수많은 해양오염은 물론 귀중한 인명과 재산의 손실이 있어왔던 사례들을 기억하고 있다. 특히 유해 액체화물, 기름 및 방사선 물질 등을 운반하는 선박이 항구 또는 연 근해에서 충돌, 좌초 및 폭발 등의 원인으로 해당 화물이 유출되어 오염이 되었을 경우에는 사안에 따라 화물의 경제적 가치보다 적게는 수백 배에서 많게는 어느 한 국가에서도 감당하기 어려운 정도의 손실을 야기 할 수 있다. 가장 전형적인 대규모 오염사고는 미국 알래스카 해안에서 좌초한 유조선 Exxon Valdez호가 대표적 사례로 막대한 보상은 물론 이로인해 미국정부가 Oil Pollution Act 90(OPA 90)을 제정하게된 동기가 되었고 곧 이어서 IMO에서도 이중 선체구조의 유조선을 의무화하게 되었다. 이런 점에서 볼 때 충돌현상을 조사하고 합리적인 방법으로 충돌을 감한한 설계개념을 정립하는 것이 매우 필요하다고 본다. 충돌사고로 발생하는 이러한 해상오염을 방지 또는 최소화하기 위하여 충돌에 의한 붕괴거동과 파괴 형태, 구조 형태 별 충돌 에너지 흡수 능력을 검토함으로써 목적에 맞는 효과적인 내충돌 구조조건을 얻는 것이 중요하다.

본 논문에서는 우선 크기가 다른 유조선이 선수 충돌시 선수 부분의 구조적 붕괴 거동과 이 영향에 의한 충돌격벽(collision bulkhead)의 안전성을 검토하고 충돌에너지를 최대한 흡수할 수 있는 연성내 충돌 구조 설계의 응용과 SOLAS[19]에서 규정하고 있는 충돌격벽의 위치를 결정할 수 있는 자료를 얻기 위해 가상 충돌시나리오에 따라 수치해석 시뮬레이션을 수행하였으며, 현재 설계되어 있는 선박들이 충돌 시 발생하는 선수부의 구조적 거동을 살펴보고 기존 선박의 선수부 구조 설계의 방향을 제시하고자 한다.

## 2. 충돌조건 및 가상 시나리오

### 2.1 충돌선 모델

본 연구에서는 대상 충돌선으로 10.5k, 35k, 73k 및 100k DWT 정유운반선과 300k DWT 대형유조선을 각각 그 대상으로 하였으며, 그 주요 치수는 Table 1에서 보여주고 있다.

Table 1 Principal dimensions of striking ship models

	L <sub>bp</sub> (m)	B (m)	D (m)	Displacement (metric ton)
10.5k	107.0	18.2	10.7	13,349
35k	174.5	27.4	17.0	39,061
73k	219.0	32.24	19.7	87,274
100k	234.0	42.0	21.0	96,594
300k	314.0	58.0	31.0	342,917

대상 모델 선박 선정은 해양 환경을 극심하게 오염시킬 수 있는 유조선 및 정유 운반선으로 선정하여 각각 그 크기별로 대표할 수 있기 때문이며, 이 들로부터 충돌응답 현상의 유용한 자료를 얻을 수 있고 또한 이들 전후 비슷한 크기의 유조선들의 구조응답 경향도 예측할 수 있을 것이다.

이들 유조선은 MARPOL 규정[20]에 따라 이중 선체구조를 가지고 있으며 이에 따라 내측 충격벽이 설치되어 선수 충돌격벽과 그 전부의 선수구조가 상대적으로 견고하게 되어있다.

### 2.2 가상 충돌 시나리오

선박 충돌사고에 대한 충돌 시나리오는 현실적으로 무수히 많은 경우가 발생할 수 있겠다. 본 연구에서는 이들 선박이 만재 흡수 상태에서 설계 속도 15 knots의 속력으로 강체에 정면 충돌하는 경우만을 고려하였다. 이는 SOLAS 규정에 의한 충

돌격벽 위치까지 충돌에너지 영향을 조사 분석하기 위함이다. 따라서 사면 충돌의 경우는 정면 충돌에 비하여 그 손상 양태가 다르나 비교적 손상이 작으므로 본 연구에서 고려하지 않았다

Fig. 1은 선박의 선수 충돌 가상 시나리오를 분류한 것으로 type (a)는 선수부 후레이(flare), type (b)는 구상 선수(bulbous bow)부분, type (c)는 선수부의 후레이와 구상선수의 전반적인 부분이 모두 피충돌체에 충돌하는 경우를 보이고 있다.

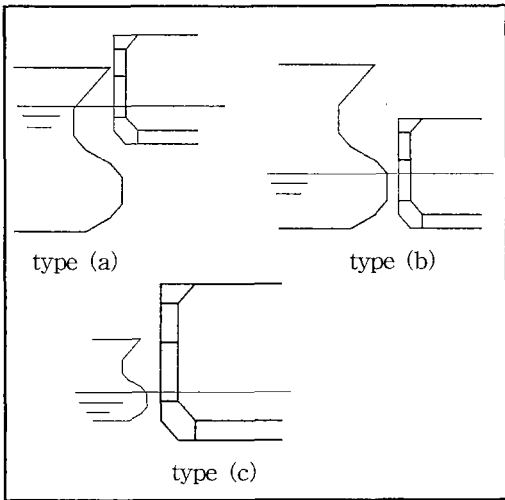


Fig. 1 Typical type of collision scenario

본 연구에서는 1차적 조사로서 충돌 가상 시나리오 중에서 선수하부, 즉 구상선수 부분이 충돌하는 경우를 주 관심 대상으로 하여 가상 충돌 시나리오에서 type (b)와 type (c)를 고려하였다. 이들 가상 시나리오는 실제 사고 데이터를 참고한 것으로 단독 또는 복합적 충돌 현상으로 나타난다.

Photo 1은 type (b)의 시나리오에 해당하는 실제 사고가 난 선박의 모습이며, 사진에서 보듯이 구상선수부 부위가 국부적으로 손상이 일어난 전형적인 구상선수 부분 충돌 붕괴 모습을 보여주고 있다.



Photo 1. Damaged bulbous bow after collision

선박의 충돌 양태는 동일 크기의 선박이 충돌하는 경우도 있겠으나 대부분 충돌선과 피충돌선의 크기와 운항 흘수에 따라 Fig. 1의 시나리오와 같이 각각 충돌 위치가 다르게 된다.

충돌선이 만재 상태로 운항 중 충돌할 경우는 비록 피충돌선이 소형이라 해도 type(a)와 같이 선수 후레이가 먼저 접촉되면서 구조저항에 따라 주변으로 소성 대변형이 발생된다. 발라스트 흘수에서는 대부분 구상선수가 충돌 접촉면이 될 것이다.

Type(b)처럼 구상선수가 충돌되는 경우는 구상선수 구조 자체가 원통형으로 내부 구조 부재들이 강 구조로 배치되어 있어서 기본적으로 내충돌 구조로 형성되어 있고 충돌저항이 크며 충돌거동은 비교적 강체 양상을 보이며 손상부위가 적게 나타난다. 선수 후레이와 구상선수의 돌출 길이는 비슷하나 일반적으로 구형선수가 300~1000mm 가량 더 돌출되므로 충돌선이 피충돌선보다 소형인 경우에는 충돌시나리오 type(c)가 적용될수 있으며 이 때 선수부 손상 상태는 구상선수와 후레이 부분이 거의 동시에 충돌하기 때문에 전체적인 양상을 보이게 될 것이다.

### 3. 수치 시뮬레이션 해석

선박 충돌 응답 해석을 위한 많은 간이식들이 개발되었으나 이중 유한 요소법은 가장 유용한 해석 방법중의 하나이며 정도도 높다. 그러나 모델링 및 수치계산에 방대한 시간이 소요되는 어려움이 있다. 따라서 지금까지 이러한 방법으로 크기별 다중 선박의 충돌현상을 정도 높게 시도한 바가 없었다. 다만 간략한 간이식들이 도출되어 사용되어져 왔으나 이에 대한 정도는 좀 애매모호한 점이 많았다. 한편으로는 실험적 방법으로 간이식을 도출하기도 하였으나 극히 국부적인 현상만을 나타내기 때문에 실제 충돌응답 현상과는 큰 차이가 있어왔다. 그래서 가장 바람직한 방법으로 유용한 정보를 얻고 높은 정도를 갖기 위해서는 해당 구조물에 대한 전선 모델과 수치계산을 수행하는 것이 매우 중요하다. 이러한 해석 방법으로 본 연구에서는 동적 비선형 유한 요소법 구조해석이 이용되었다. 본 해석은 이러한 방법을 이용하고 있는 상용 프로그램 MSC/DYTRAN[2]으로 본 연구인 충돌 현상을 구현하였다.

#### 3.1 수치 해석용 모델

Fig. 2는 수치해석 모델의 전체 구성을 보여주고 있다.

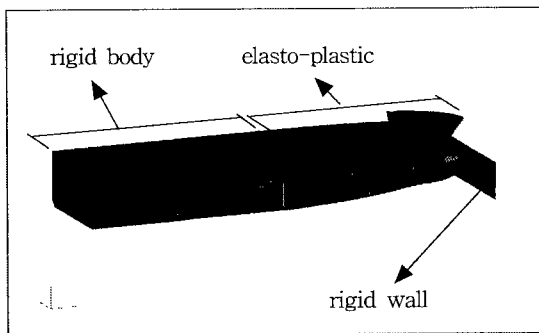


Fig. 2 Numerical analysis model

충돌하는 동안 접촉면의 선수 부분은 소성 대변형(plastic large deformation)을 유발하므로 탄소성 요소로써 상세 모델링 하였으며, 나머지 부위(No.1 hold 이후)는 강체 요소로 치환하였으며, 또한 피충돌체(rigid wall)는 단단한 강체로 보고 역시 강체 요소로 모델링 하였다.

선수 부분의 충돌 한계 조건은 충돌격벽까지 충돌에너지가 전달되어 주변의 구조 부재가 소성 변형하는 것까지를 기준으로 하였다. 이는 충돌격벽의 고유 목적에 반하는 구조응답이므로 충돌격벽의 위치를 조정하는 기준이 되기 때문이다. 선수구조는 강구조 형태의 구조부재들이 복잡하게 배치되기 때문에 강성 구조형태를 취하고 있다. 충돌 접촉이 일어나는 초기부터 압축력을 받으며 충돌격벽으로 에너지가 전달되어서 붕괴 부분이 적더라도 주변 구조부재에 상당히 많은 소성변형을 야기하게 된다. 이러한 충돌 응답성을 자세히 조사 분석하기 위해서는 최소한 충돌격벽 뒤 No.1 hold까지는 탄소성 모델링이 필요하다.

#### 3.2 재료 물성치

본 대상 선박은 연강 및 고장력강(high tensile steel)을 쓰며, 본 해석에서는 소성 경화(strain hardening) 현상을 고려한 탄소성 재료를 적용하였다.

재료물성치 값은 다음과 같다.

Mass density	$7.85 \times 10^5$ ton/mm <sup>3</sup>
Modulus of elasticity	$2.06 \times 10^5$ N/mm <sup>2</sup>
Poisson ratio	0.3
Yield stress of mild steel	235.0 N/mm <sup>2</sup>
higher tensile steel	315 or 355.0 N/mm <sup>2</sup>
Hardening modulus	$1.18 \times 10^3$ N/mm <sup>2</sup>
Rupture strain	0.2

#### 3.3 재료 변형속도(strain rate) 효과

선체 충돌문제는 동적 현상이므로 변형속도 영

향을 받는 재료의 물성 특성의 변화로 다루어야 한다. 동 항복응력  $\sigma_y$ 는 Cowper & Symonds[4]가 제안한 아래 식으로 표현할 수 있다

$$\frac{\sigma_y}{\sigma_{y0}} = 1 + (\dot{\epsilon}/D)^{1/p} \quad (1)$$

여기서,  $\sigma_y$  : 재료의 동적 항복 응력

$\sigma_{y0}$  : 재료의 정적 항복 응력

D, p : 재료에 따른 상수값

mild steel : D = 40.4

p = 5

high-tensile steel

: D = 335.

p = 5

### 3.4 부가질량(added mass)

충돌선의 감속에 의하여 유발되는 동적 유체 반력(dynamic water reaction)에는 해수의 부가질량 효과를 포함하며, 본 해석 시는 선체 질량의 20% 값을 부가질량으로 고려하였다.

## 4. 해석 결과

충돌 선박은 10.5k 정유운반선에서 300k VLCC까지의 선형별 유조선에 대하여 만재 상태에서 최대 15.0 knots의 속도로 충돌하는 것으로 해석하여 서로의 결과를 비교하였으며, 충돌 시나리오는 type (b)와 (c)로 구상선수가 충돌면에 접촉되어 붕괴되는 시나리오를 중심으로 해석하였다.

### 4.1 변형(deformation) 및 붕괴(collapse) 기구

#### (1) 10.5k 정유 운반선

Fig. 3 ~ 8은 10.5k 정유운반선이 강체에 정면 충돌한 후 1.0초 때의 변형된 모습을 충돌 시나리오 type (b) 및 (c)를 서로 비교하며 보여주고 있다.

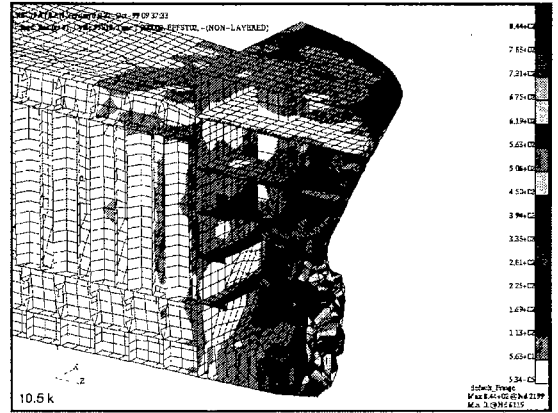


Fig. 3 Equivalent stress contour of 10.5k - type (b)

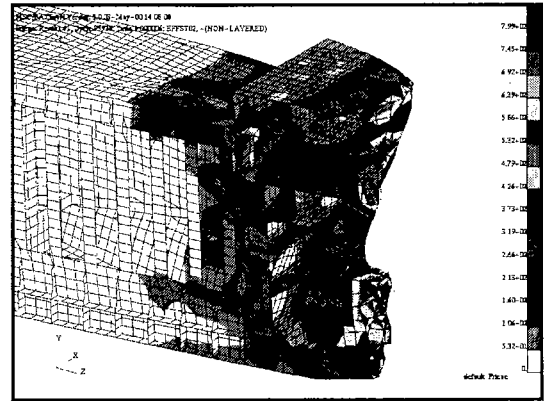


Fig. 4 Equivalent stress contour of 10.5k - type (c)

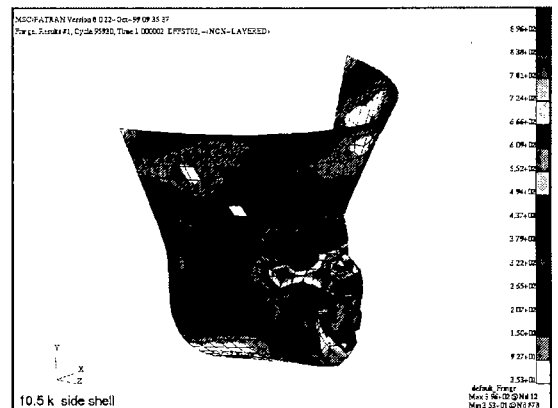


Fig. 5 Equivalent stress contour of side shell of 10.5k - type (b)

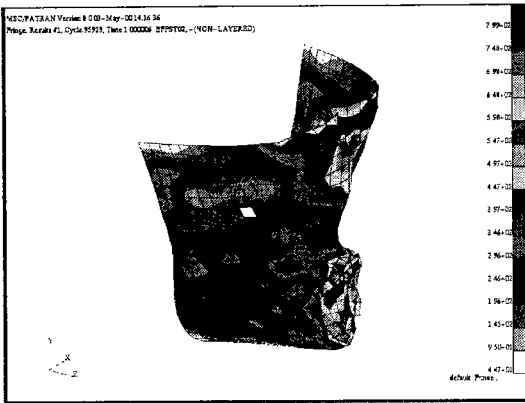


Fig. 6 Equivalent stress contour of side shell of 10.5k- type (c)

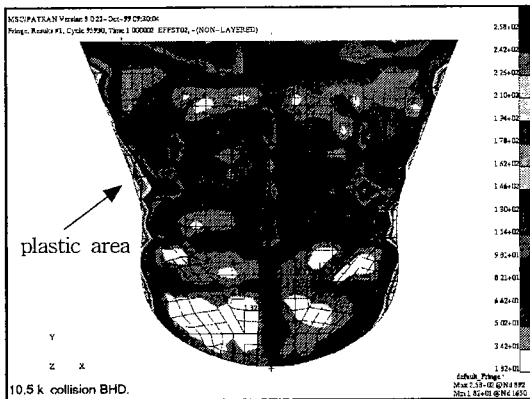


Fig. 7 Equivalent stress contour of collision bulkhead of 10.5k - type (b)

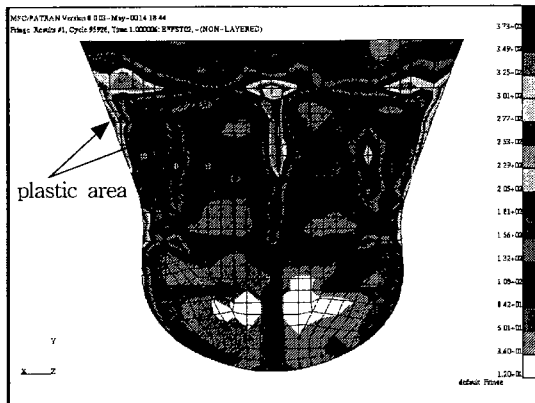


Fig. 8 Equivalent stress contour of collision bulkhead of 10.5k - type (c)

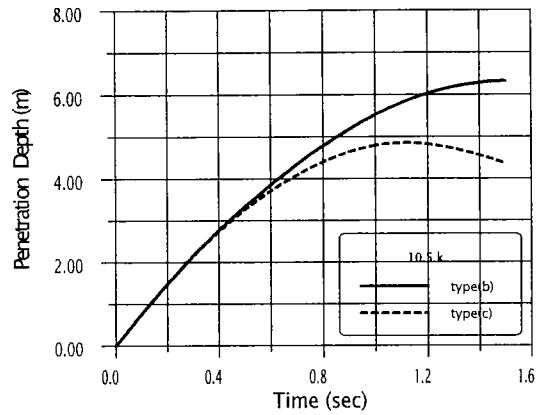


Fig. 9 Penetration depth and time history (10.5k)

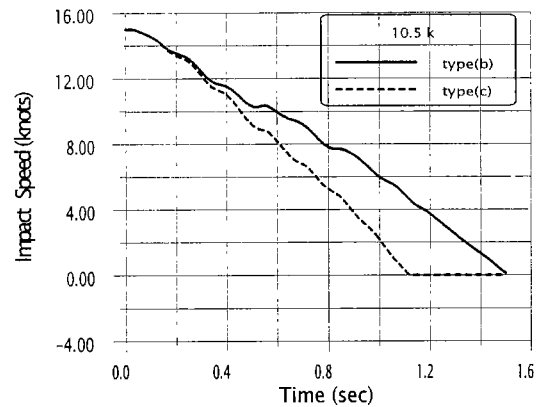


Fig. 10 Impact speed and time history after collision (10.5k)

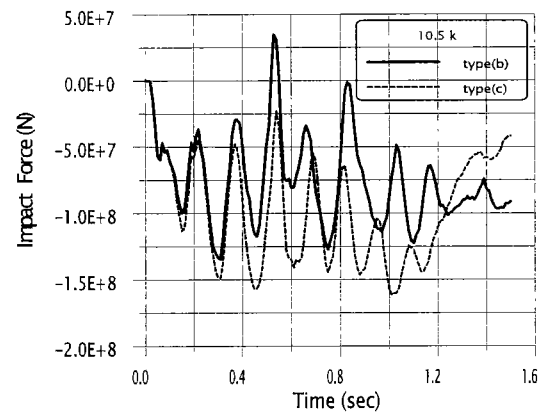


Fig. 11 Impact force and time history (10.5k)

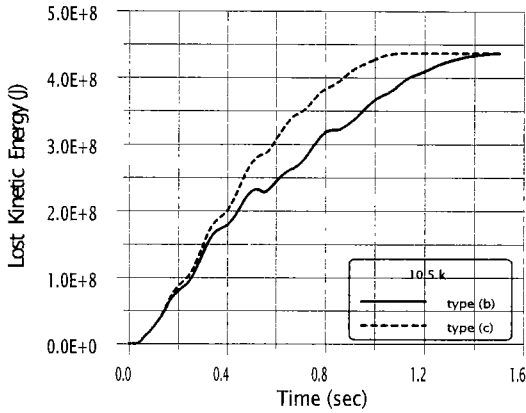


Fig. 12 Lost kinetic energy (absorbed energy) and time history (10.5k)

Fig. 9 ~ 12는 시간별 관입량(penetration depth), 충돌후의 선속의 변화, 충격력(impact force) 및 흡수에너지의 변화량을 보여주는 그래프이다.

Fig. 3에서 6을 보면 충돌후의 손상된 범위는 충돌체와 접촉이 되는 부위에 거의 국부적으로 붕괴 손상을 입고 있음을 알 수 있다. 이는 충돌후 시나리오 type (b)에 위한 구상선수의 충돌은 Woisin[4]의 실험결과와 유사한 양태를 보이며, 이는 소성 대변형에 의한 붕괴 범위는 구상선수 부분에만 국부적으로 영향을 주고 있음을 알 수 있고 Photo 1에서와 같이 실제 붕괴된 모습과도 유사함을 알 수 있다.

충돌격벽의 허용 응력

Fig. 7 및 8에서는 충돌 후 충돌격벽의 응력 분포를 보여 주고 있다. 여기서 충돌격벽의 허용 응력값을 정적 항복응력값으로 가정하였다.

보통 충돌 후 그 부재의 허용치를 판단 변형률(rupture strain)의 값으로도 판단할 수 있겠지만 그 부재가 아직 판단 변형값에 도달하지 않았다 할 지라도 그 재료가 소성상태가 되면 이미 그 재료는 본래의 구조적 역할을 할 능력이 상실되었다고 보며 이것이 설계하는 측면에서의 올바른 허용

기준이 될 것이다. 또한 충돌문제에서의 재료 소성 여부는 충돌 후의 동적 항복 응력값으로 소성 상태를 판단해야겠지만 실제의 선박 주 재료인 연강과 같은 금속에서의 strain rate의 값은 실험 결과 1.0의 값을 넘지 못하며 이는 충돌 후 재료의 항복응력 증가는 정적 항복응력값과 비교하여 약 20% 정도의 증가를 가져올 뿐이다. 일반적으로 충돌을 고려한 설계를 할 때 적용되는 안전도값이 2.0이라면 구조물의 허용 안전 기준값을 재료의 정적 항복응력값을 기준으로 하여도 무리가 없다고 판단하였다.

Fig. 7 충돌격벽의 응력 상태를 살펴보면, 초기 충돌 후 구상선수의 붕괴를 일으키고, 그후 여기서 흡수된 에너지가 구상선수와 충돌격벽 사이 부재들의 붕괴 없이 곧바로 선수부 외판을 타고 후방으로 전달되어 충돌격벽에 도달되며, 여기서 흡수된 에너지로 충돌격벽, 특히 외판과 충돌 격벽이 접하는 격벽의 가장자리 부분에서 소성이 발생되고 있음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 8의 충돌현상은 충돌 접촉면이 구상선수 뿐 아니라 상부 후레어도 접촉이 되는데 이 때문에 충돌후의 흡수에너지가 상갑판 및 중앙부 거어더등에 전달되어 충돌격벽의 가장자리 및 상갑판 위치의 상부 중앙부에서도 소성역이 발생하고 있음을 알 수 있다. 결국 선수 충돌의 흡수에너지는 주로 중 부재인 외판, 갑판 및 중앙 거어더가 흡수하여 후방의 충돌격벽에 전달됨을 알 수 있고, 또한 충돌 후 충돌 관입량의 값이 비록 최초 침착면에서 충돌 격벽의 위치까지의 길이보다 작더라도 충돌격벽은 이미 소성상태에 도달되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9 ~ 11을 보면 충돌 시나리오 type (c)가 type (b)에 비하여 충돌 관입량은 작고 또한 흡수 에너지의 값이 더 크므로, 이는 당연히 충돌 접촉부가 더 넓은 type (c)에서 충돌 에너지를 많이 흡수했음을 알 수 있으므로 앞으로의 충돌을 고려한 설계 관점은 주 부재들이 많은 양의 충돌 에너지를 흡수할 수 있도록 설계를 하여야 할 것이다.

(2) 35k 정유 운반선

Fig. 13 ~ 22는 35k 정유운반선이 강체에 정면 충돌한 후 충돌격벽에 처음 소성상태가 발생하는 0.4초 때 부재들의 변형된 모습과 그래프를 보여주고 있다.

그림과 그래프에서 보면 나타나는 붕괴 현상과 충돌격벽에서 발생하는 소성 부위의 범위는 10.5 k의 경우와 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 다만 처음 충돌격벽에 소성이 발생하는 시간이 차이가 있는데 이것은 충돌을 고려한 설계를 할 때 단순히 격벽에 발생하는 응력의 값으로만 허용 기준을 설정하면 안되며 시간적인 함수, 즉 처음 충

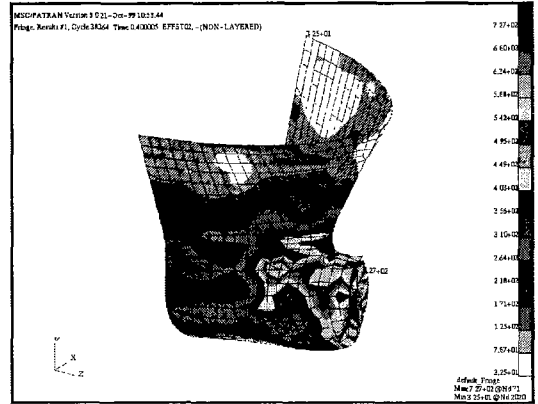


Fig. 15 Equivalent stress contour of side shell of 35k-type (b)

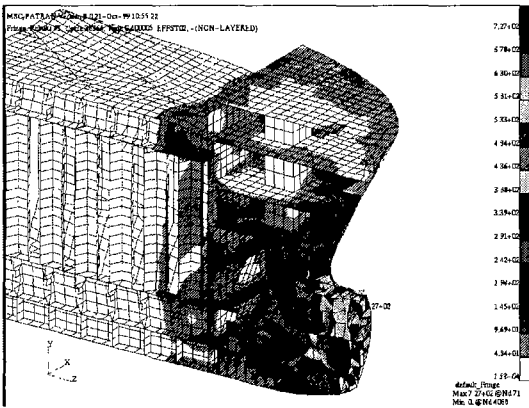


Fig. 13 Equivalent stress contour of 35k-type (b)

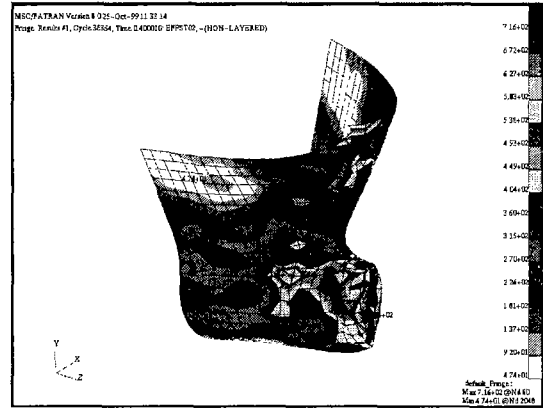


Fig. 16 Equivalent stress contour of side shell of 35k-type (c)

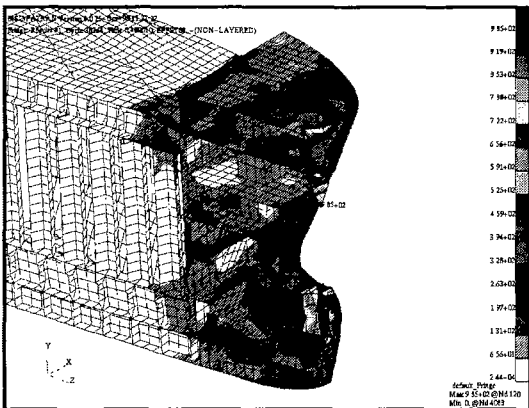


Fig. 14 Equivalent stress contour of 35k-type (c)

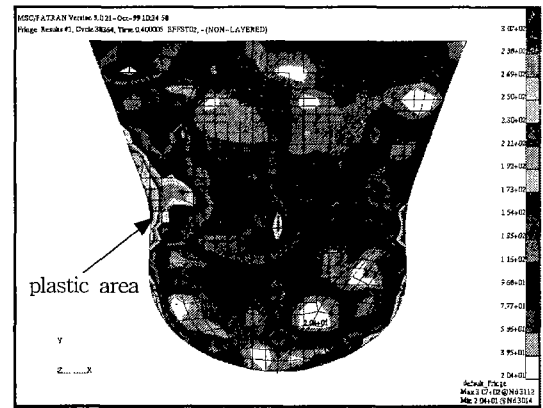


Fig. 17 Equivalent stress contour of collision bulkhead of 35k-type (b)



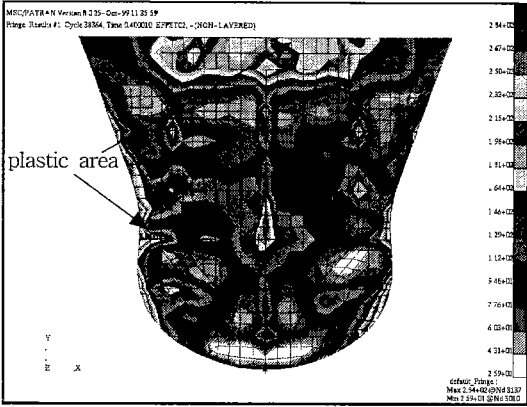


Fig. 18 Equivalent stress contour of collision bulkhead of 35k - type (c)

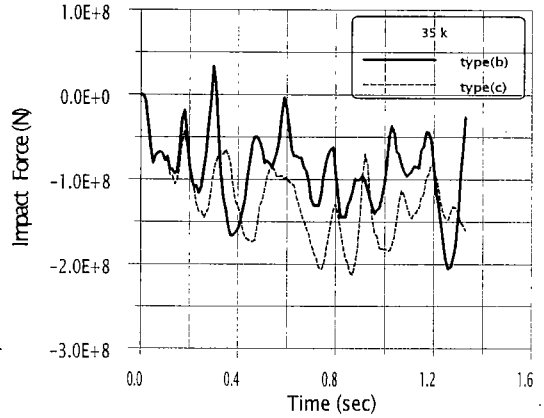


Fig. 21 Impact force and time history (35k)

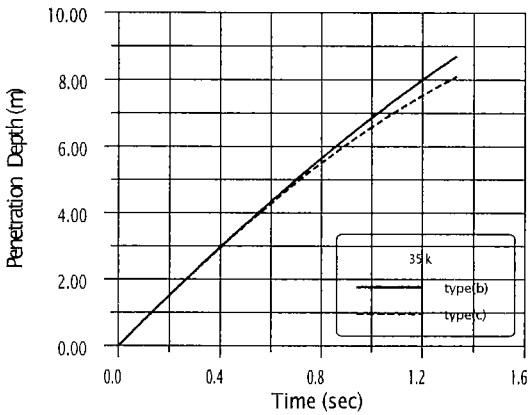


Fig. 19 Penetration depth and time history (35k)

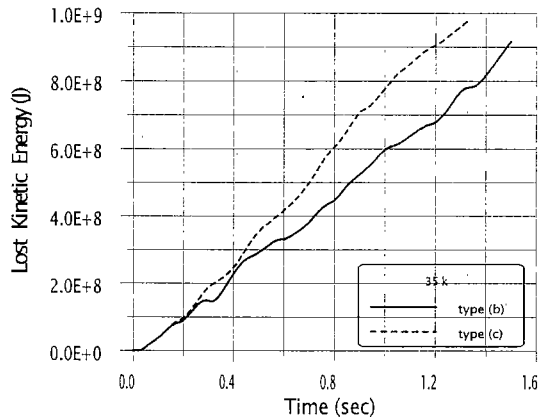


Fig. 22 Lost kinetic energy and time history (35k)

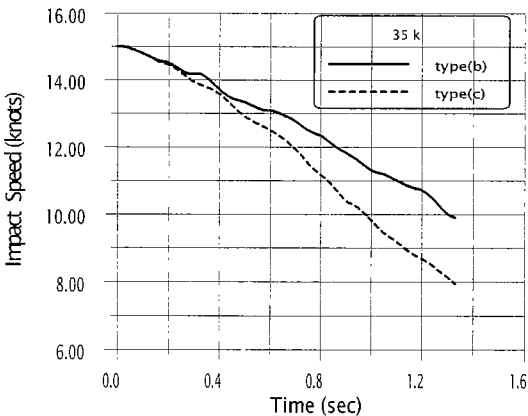


Fig. 20 Ship speed time history after collision (35k)

돌격벽에 소성이 발생하는 시간 때의 선박 충돌 속도값이 설계 기준의 중요한 요소가 될 것이며 바로 이러한 의미가 충돌 임계 속도의 정의가 될 수 있을 것이다.

3) 73k, 100k 정유 운반선 및 300k VLCC

Fig. 23 ~ 28은 73k 및 100k 정유운반선 그리고 300k VLCC가 강체에 정면 충돌한 후 충돌격벽에 처음 소성상태가 발생하는 1.1초 때 부재들의 변형된 모습과 그래프를 보여주고 있다.

이 들 중 · 대형선 급 선박의 충돌 후 변형된 모습은 소형선의 변형된 모습보다 구상선수 부위가

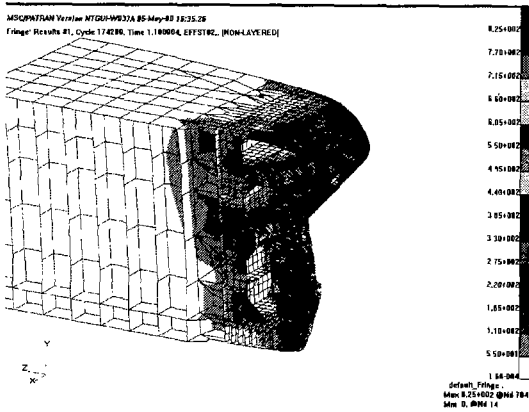


Fig. 23 Equivalent stress contour of 73k - type (b)

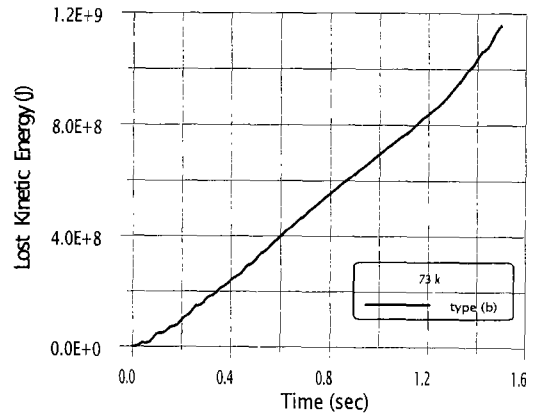


Fig. 26 Lost kinetic energy and time history (73k)

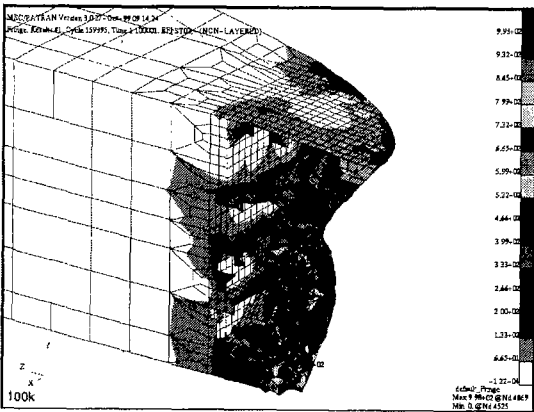


Fig. 24 Equivalent stress contour of 100k - type (b)

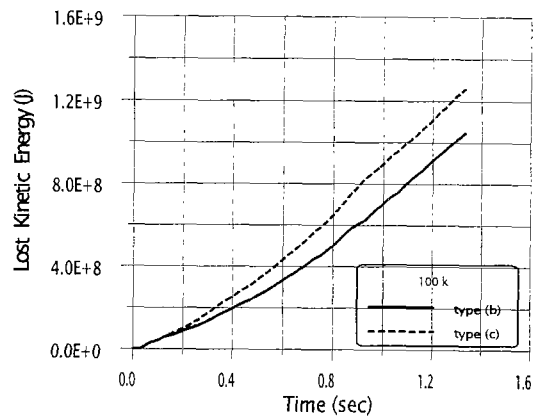


Fig. 27 Lost kinetic energy and time history (100k)

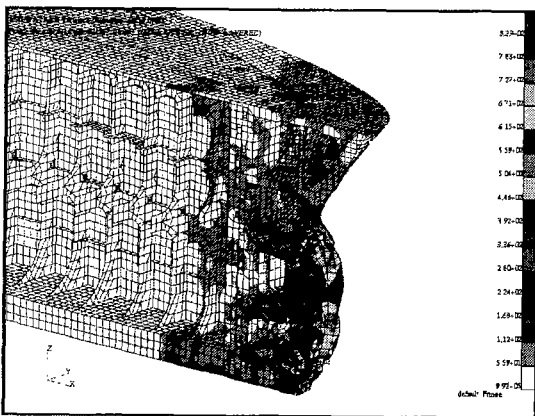


Fig. 25 Equivalent stress contour of 300k - type (b)

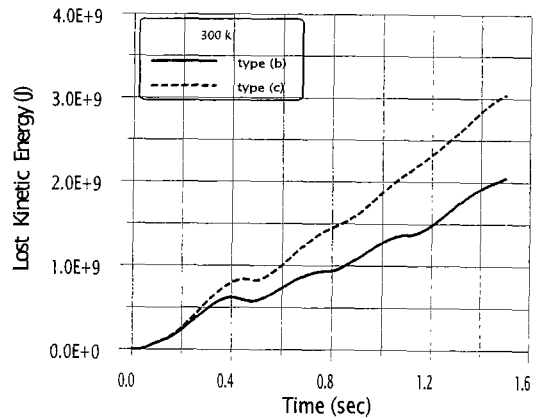


Fig. 28 Lost kinetic energy and time history (300k)

심하게 함몰되어 손상되어 있음을 알 수 있고 이는 중·대형선 급 선박의 구상선수의 모습이 소형선에 비하여 다소 돌출량이 적은 납작한 형태이며 이는 충돌시 초기에 구상선수가 충돌에너지를 어느 정도 흡수하는가에 따라 전체의 붕괴 거동에 다소의 차이를 보일 수 있음을 알 수 있다.

4.2 충돌 임계 속도(critical speed,  $V_{cr}$ )

충돌 문제에 있어서 충돌 임계 속도의 정의는 여러 가지 기준으로 하여 정의 될 수 있다. 예를 들어 고려되어야 할 중요 관심 부재가 파단이 일어났을 때 그 시간 때의 충돌 속도를 충돌 임계 속도로 정의할 수도 하지만 본 연구에서는 보다 안전한 설계측면에서 선수 정면 충돌시 화물의 유출이 야기될 수 있는 충돌격벽의 파손 여부에 기준을 두고, 비록 이 충돌격벽에 파단이 발생되지 않더라도 국부적으로 소성상태에 도달되면 허용 안전치를 초과하는 것으로 판단하여 충돌 임계 속도의 정의를 선박이 충돌 후 충돌격벽이 국부적이더라도 처음 항복 응력에 도달했을 때의 속도로 정의한다.

Minorsky[3]의 이론과 운동량 보존의 법칙으로 다음과 같이 충돌 임계속도( $V_{cr}$ )를 구할 수 있다.

$$V_{cr} = \sqrt{\frac{2E_{cr}}{m}} \quad (2)$$

여기서  $E_{cr}$  : 충돌 후 충돌격벽에 처음 항복응력이 발생한 시간에서의 흡수 에너지  
 $m$  : 부가질량을 포함한 충돌 선박의 중량

또한 충돌시의 흡수 에너지( $E_{cr}$ )는 충돌 후 속도 감소에 따른 손실 운동 에너지(lost kinetic energy,  $E_{kin}$ )로 모두 전환되는 것으로 가정한다.

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m(v_0^2 - v_x^2) \quad (3)$$

여기서  $v_0$  = 선박의 초기 충돌시 속도

$v_x$  = 충돌 후 충돌격벽에 처음 항복응력이 발생한 시간에서의 선박의 속도

충돌 격벽에 최초 항복응력이 발생한 시간 및 그때의 손실 운동 에너지, 그리고 충돌 임계 속도를 구하면 Table 2와 같다.

Table 2 Critical speed, time and lost kinetic energy

	임계 시간 (sec)	손실에너지 (J)	임계 속도 (knots)
10.5 k (type b)	1.0	$3.67 \times 10^8$	13.75
10.5 k (type c)	1.0	$4.28 \times 10^8$	14.84
35k (type b)	0.4	$2.27 \times 10^8$	6.06
35k (type c)	0.4	$2.47 \times 10^8$	6.38
73k (type b)	1.0	$6.95 \times 10^8$	7.08
100k (type b)	1.1	$8.093 \times 10^8$	7.27
100k (type c)	1.1	$9.755 \times 10^8$	8.09
300k (type b)	1.1	$1.37 \times 10^9$	5.04
300k (type c)	1.1	$2.12 \times 10^9$	6.26

위의 표에서 살펴보면 선박의 크기에 따라 임계 속도가 각각 차이가 있으며, 특히 10.5k 정유운반선이 여타 다른 선박에 비하여 선수 부분이 상대적으로 견고하게 설계되어 있음을 알 수 있다.

이와 같이 선박의 크기별로 충돌 임계속도가 약 5.0 ~15 knots까지 다양한 분포를 보였다. 이는 현재 선수부의 구조설계 개념이 충돌을 고려하지 못하고 있으며 보편적으로 일관성이 없이 설계되어 있다는 것을 알 수 있고, 그럼에도 불구하고 충돌격벽의 위치를 선박의 크기와 속도에 관계없이 일정하게 적용한 현재의 설계 방법은 다소 합리적이 못한 방법이라고 사료된다.

그러므로 충돌 격벽의 안전성 및 설계 측면에서 선수부의 구조가 선박의 선형, 선종 및 설계속도에

따라 적용할 수 있는 설계 개념과 적용 공식이 필요하며, 향후 이러한 관점에서 최적의 선수부 설계가 이루어질 수 있는 연구가 계속 진행될 것이다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 수치해석 시뮬레이션 방법을 이용하여 크기별로 유조선이 강체에 정면으로 충돌했을 때를 가정하여 수행하였다. 그리고 본 연구에서 제시하는 바는 현재의 기준을 비교하여 앞으로 충돌을 고려할 때 어떠한 방법으로 설계 시 적용할 것인가에 대한 기준을 마련하고자 하는 것이며, 현재의 설계 상태에서 충돌시 임계시간, 임계속도 등의 정량적인 절대치값을 제시하고자 하는 의도가 아니다. 다만 현재의 가정된 이론하에서 충돌시 발생하는 현상을 정성적으로 분석하여 각각의 결과치들을 비교하였다.

따라서 본 연구결과는 이러한 가정된 사나리오 범위 내에서 다음과 같이 결론을 제시하고자 한다.

- 1) 시나리오 type(b)에 보인 구상선수의 충돌은 Woisin[4]의 실험결과와 유사한 양태를 보이고 있다. 즉 소성 대변형에 의한 붕괴 범위는 주로 구상선수 부분에만 영향을 준다.
- 2) 충돌 압축력은 종방향 주 부재를 타고 후방으로 전달되며 충돌격벽에서의 최대 탄소성 응답은 외판과 충돌격벽이 접하는 부분에서 발생된다.
- 3) 화물의 유출 사고가 없는 임계 충돌 속도의 정의는 충돌 관입량의 함수가 아닌 충돌 격벽의 응력값이 소성에 도달할 때로 정의하는 것이 타당할 것이다.
- 4) 선박의 크기별로 관입량, 손실에너지, 임계 속도 등이 일관성이 없이 각각 다르므로, 이는 선수부의 설계가 충돌을 고려하지 않고 설계되어 있다는 것을 의미하며, 특히 IMO 충돌격벽의 위치를 선박의 선형, 선종 및 속도와 관계없이 일률적으로 적용하는 것은 모순된 방법이라고 사

료된다.

- 5) 충돌격벽의 위치는 선박의 크기, 충돌속도 및 선수부 부재의 배치 및 강성 등의 함수일 것이다. 충돌격벽의 위치를 결정하기 위하여, 먼저 적은 부재로써 최대의 에너지를 흡수할 수 있는 선수부의 최적 설계를 제시할 것이며, 또한 흡수된 충돌에너지가 후방으로 최소한으로 전달되는 구조 배치가 필요하며, 이는 수치 해석 또는 실험을 통하여 그 신뢰도를 검증할 것이다.
- 6) 이와같이 제시된 선수부의 내충돌 설계개념과 선박들의 선형 크기 및 설계 속도에 따라 충돌격벽의 위치를 결정하는 상관 관계식을 도출하고, 이를 유조선, 컨테이너선, 여객선, 살물선 등의 선박에 차등 적용하여 일반화된 식으로 검증할 수 있도록 연구되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- 1) Shin, Y. S., Park, M. K., "A study on the bow collapse of high-speed passenger craft in collision with bridge pier" J. of the Soc. of Maritime Safety", Vol. 5-1, pp. 1-9, 1999.
- 2) MSC/DYTRAN User's Manual, V3.0, The MacNeal Shuwendler Corp. USA
- 3) Minorsky, V. U., "An analysis of ship collisions with reference to protection of nuclear power plants", J. of ship Research, Vol. 3, No.1, pp. 1-4, 1959.
- 4) Woisin, G., "Collision test of GKSS", Translation from Jahrbuch der Schiffbau Technisch-nischen Gesellschaft, Germany, 1976.
- 5) Ohnishi, T, Kawakami, H., Yasukawa, W., Nagasawa, H., "On the ultimate strength of bow construction", J. of the Soc. of Naval Architects of Japan, Vol. 151, pp.174-186, 1982.

- 6) Chang, P. Y., Seibold, F., Thasanatorn, C., "A rational methodology for the prediction of structural response due to collisions of ships", SNAME Transactions, Vol. 88, pp. 173-193, 1980.
- 7) Kierkegaard, H., "Ship bow response in high energy collision", Marine Structures, Vol. 6, pp. 359-376, 1993.
- 8) Amdahl, J., Soreide, T. H., "Energy absorption in axially compressed cylindrical shells with special reference to bulbous bows in collision", Norwegian Maritime Research, No. 4, pp. 2-11, 1981.
- 9) Egge, E. D., Bockenhauer, M., "Calculation of the collision resistance of ships and its assessment for classification purposes", Marine Structures, Vol. 4, pp. 35-56, 1991.
- 10) Che, J.S., Jang, G. B., "Numerical simulation of structural response of D/H VLCC in collision", PRADS, pp. 2.1036-2.1047, 1995.
- 11) Ohtsubo, H., Suzuki, k., "The crushing mechanics of bow structure and its optimal design against head on collision", PRADS, pp. 2.1060-2.1071, 1995.
- 12) Lehman, E., Yu, X., "Progressive of folding of bulbous bows", PRADS, pp. 2.1048-2.1059, 1995.
- 13) Abramowicz, W., Jones, N., "Dynamic axial crushing of square tubes", Int. J. Impact Engng., Vol. 2, No. 2, pp. 179-08, 1984.
- 14) Pedersen. P. T., Valsgaard, S., Olsen, O., Spangenberg S., "Ship's impacts: Bow collisions", Int. J. Impact. Engng, Vol. 13, No. 2. pp. 63-187, 1993.
- 15) Wierzbicki, T., "Crushing behavior of plate intersections, in structural crashworthiness," Butterworth and Co., London 1983.
- 16) Jones, N., Birch, R. S., "Dynamic and static axial crushing of axially stiffened square tubes," J. of Mech. Engng. Science. Vol. 204, pp. 293-310, 1990.
- 17) Valsgard, S., Pettersen, E., "Simplifier nonlinear analysis of ship/ship collision" Norwegian Maritime Research, No.3, pp. 2-17, 1982.
- 18) Paik, J. K., Pedersen, P. T., "Collision strength analysis of double hull tanker", Trans. of the Soc. of Naval Arch. of Korea, Vol. 32, No. 1, 1995.
- 19) International Convention for the Safety of Life at SEA, 1974 as amended, Ch.II-1, Reg. 10 & 11
- 20) International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973/1978, Annex 1, Ch II, Reg. 13F