

## 이중 선체 화학 운반선의 충돌 강도 평가

백점기\* · 이제명\*\* · 이경언\*\*\* · 원석희\*\*\* · 김철홍\*\*\*\* · 고재용\*\*\*\*\*

\*부산대학교 조선해양공학과 교수, \*\*부산대학교 조선해양공학과 조교수, \*\*\*부산대학교 대학원, \*\*\*\*(주)현대미포조선,  
\*\*\*\*\*목포해양대학교 해양시스템 공학부

### Collision Strength Assessment for Double Hull Type Product Carrier Using Finite Element Analysis

Jeom-Kee Paik\* · Jae-Myung Lee\*\* · Kyung-Ern Lee\*\*\* · Suk-Hee Won\*\*\*

· Cheol-Hong Kim\*\*\*\* · Jae-Yong Ko\*\*\*\*\*

\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University  
\*\* Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University  
\*\*\* Graduate school of Pusan National University  
\*\*\*\* Initial Design Department, Hyundai Mipo Dockyard  
\*\*\*\*\* Faculty of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University

**요 약 :** 선박의 충돌·좌초 등과 같은 사고는 이들 사고의 방지를 위한 꾸준한 노력에도 불구하고 끊임없이 발생하고 있다. 환경오염방지와 해상에서의 안전성확보에 대한 요구가 지속적으로 증가함에 따라, 선박안전과 해양환경오염을 야기할 수 있는 잠재적인 위험을 최소화시키고 궁극적으로 사고발생확률을 경감시키고자 하는 노력이 아주 중요하게 되고 있다. 본 논문에서는, 본 연구실에 의해 수행된 선박의 좌초·충돌 문제에 대한 최근의 연구결과를 정리한다.(최, 1999; 백, 1999; 최, 1999; 연, 2003; 강, 2002; 연, 2002) 충돌·좌초사고 문제에 있어서 유용한 도구로 알려져 있는 유한요소법의 활용상의 주의점, 즉 사용요소의 크기와 파괴기준 그리고 해석에 사용되는 재료 물성치 설정에 대한 주의 깊은 고찰을 바탕으로 실제 충돌문제에 대한 수치시뮬레이션을 수행하였다. 실제 선박을 대상으로 하는 시리드해석 수행을 목표로, 46,000 dwt Product/chemical carrier를 대상으로 운항속도, 충돌각도, 적재조건 등의 변화를 고려한 충돌성능 분석을 비선형 유한요소해석법을 이용하여 수행하였다. 해석결과를 이용하여 사고 시나리오별 흡수에너지 진입량 관계를 정량적으로 도출하였고, 이를 근거로 하는 선박의 내충돌성능 평가용 설계기준을 제안하였다.

**핵심어 :** 선박 충돌·좌초, 비선형 유한요소법, 충돌성능

**Abstract :** Ship collisions and grounding continue to occur regardless of continuous efforts to prevent such accidents. With the increasing demand for safety at sea and for protection of the environment, it is of crucial importance to be able to reduce the probability of accidents, assess their consequences and ultimately minimize or prevent potential damages to the ships and the marine environment. Numerical simulations for actual collision problem are conducted with a special attention with respect to finite element size, fracture criteria and material properties, which require a careful consideration to improve the accuracy. A parametric analysis varying colliding speed, angle, design loading condition is conducted using nonlinear finite element analysis method for 46,000 dwt Product/chemical carrier. The relationship between the absorbed energy and indentation are derived quantitatively using the insights observed from this study, and a novel design concept for assessing the anti-collision performance are proposed.

**Key words :** Ship collisions · grounding, nonlinear finite element analysis, anti-collision performance

### 1. 서 론

최근, 충돌이나 좌초 사고로 인한 선박의 손실이나 해양 오염을 줄이기 위한 요구가 증가 하고 있다. 1989년 알래스카 연안에서 발생한 유조선 엑슨 발데즈호의 사고를 통해서 미국

영해를 운항하는 모든 유조선에 대하여 이중 선체 구조의 의무화를 규정한 “오염 방지법 ”을 제정, 발효 중에 있으며, 수많은 인명 피해를 낸 1982년 European Gateway호, 1987년 Herald of Free Enterprise호와 같은 Ro-Ro선의 사고나, 1994년 Estonia호의 참사를 계기로 하여 많은 나라에서 선박

\* 대표저자 : 백점기(정회원), jeompaik@pusan.ac.kr, 051)510 2429  
\*\* 정회원, jaemlee@pusan.ac.kr, 051)510 2342  
\*\*\* erni76@pusan.ac.kr, 051)510 2750  
\*\*\*\* tmddus@hmd.co.kr, 052)250-2837  
\*\*\*\*\* 정회원, kojy@mmu.ac.kr, 061)240 7129

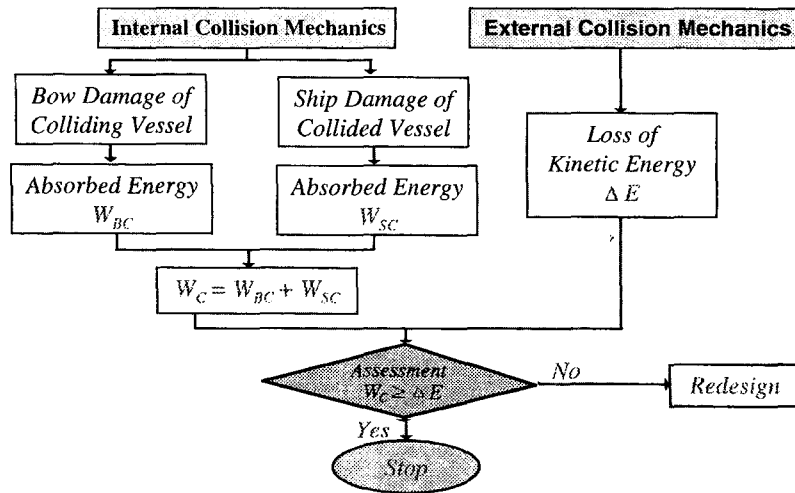


Fig. 1 충돌역학문제 해석 절차

$W_C$  : Total strain energy dissipated by structural damage

$W_{BC}$  : Strain energy components dissipated by damaged of the side structure of the struck ship

$W_{SC}$  : Strain energy components dissipated by damaged of the bow structure of the striking ship

$\Delta E$  : Total loss of kinetic energy during the collision of the two ships

의 충돌 사고 대비 안전성을 재검토하고 있다. 잠재적인 선박 사고에 의한 환경재난에 대처한다는 것은 어렵지만, 일반적으로 능동적 대책(active safety method)과 수동적 대책(passive safety method)으로 불리는 두 가지 방법을 통해 사고위험을 줄이려는 노력은 꾸준히 투입되고 있다. 능동적 대책이란, 사고 자체를 예방하는데 관심을 가지는 방법으로 자동항법장치, 승무원 교육 프로그램 및 항해 조종시스템 등과 같은 것을 통해 발생위험 자체를 최소화하고자 하는 방법이다. 이에 반하여 수동적 대책이란, 사고 발생 후의 효율적인 대처방법에 관한 내용으로 해수의 유입이나 위험 화물의 유출을 방지 혹은 최소화하기 위한 방법을 일컫는다.(Paik, 2003)

이 두 가지 방법 중에서 전자는 선박운용에 주로 관련되는 기술로서 항해, 조합 등과 같이 선박자체에 대한 기술 적용보다는 운항인프라, 선원교육 등에 집중되고 있으며 따라서 소위 조선해양공학계 집권으로는 그리 큰 기여를 기대할 수 없는 부분이다. 한편, 후자의 방법은 주로 선박구조의 내충돌강도 및 구난시스템 등을 개선하는데 관계되며 선박선계 및 강도해석 기술 향상 등과 같이 조선해양공학적인 접근이 직접 활용될 수 있는 분야이다.

본 연구는 수동적 대책을 통한 안전성 향상기법의 일환으로, 선박 충돌 사고 시의 내충돌 성능향상을 구조개발을 실현 시키는데 목적이 있다. 이를 위해 충돌 좌초문제에서 널리 사용되고 있는 범용해석코드인 LS-DYNA 3D를 사용하여 실제 선박의 충돌 메커니즘과 선박의 충돌 안전성 평가를 수행하였다.

## 2. 선박의 충돌성능 평가 및 설계기준 도출

### 2.1 충돌사고 시나리오의 정의

사고시나리오의 정의는, 충돌각도, 속도, 위치의 정의와 적체 화물상태, 충돌선 선수부의 기하학적 특성에 대한 분석을 바탕으로 설정된다. 이 과정에서 설정되는 사고 시나리오는 기존의 유사 사고사례에 대한 분석 및 자료들을 바탕으로 이루어져야 한다. 또한 해당선박에 대한 상세한 설계 자료를 바탕으로 다양한 하중 조건 등을 가정한 시나리오가 만들어진다.

### 2.2 충돌역학문제의 해석

역학문제의 해석에서는 크게 외부역학문제의 해석과 내부역학문제의 해석으로 분류될 수 있다. 외부역학문제는 충돌선의 운동에너지를 계산하는 과정을 통해 해석되어지며 이 경우 물의 부가질량등도 고려되어 진다. 내부역학문제는 충돌선과 피충돌선의 흡수에너지 분석을 통해 해석되어지며 대부분 유한요소 해석 등과 같은 수치 해석적 방법이 이용된다. 하지만 실선모델을 이용한 방대한 계산 특히 사고대상 선박의 실제 충돌속도를 고려한 동적거동해석이 요구되므로 엄청난 비용과 노력이 필요하다.

이러한 과정을 거쳐서 내/외부 역학문제에 대한 분석이 완료되면 해당 사고 시나리오에 대한 종합적인 분석이 가능하게 된다. Fig. 1은 상기과정에 대한 체계적인 수행절차를 흐름도를 이용하여 나타내고 있다.(Paik, 2001)

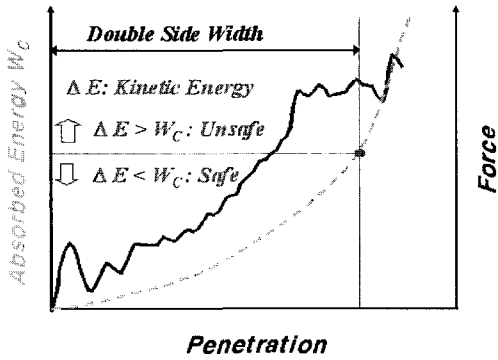


Fig. 2 안전성 평가용 설계 기준 개념도

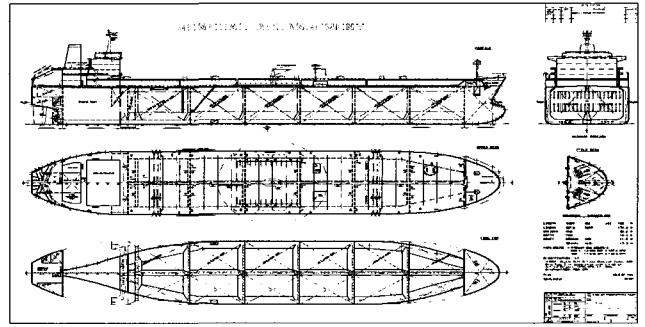


Fig. 3 적용대상 선박 일반배치도

### 2.3 사고대비 설계기준 도출

상기와 같은 과정을 거치게 되면 설계 자료를 바탕으로 하는 충돌성능 평가용 기준을 얻을 수 있다. 내부역학문제 해석에 의한 흡수에너지평가와 외부역학문제해석에 의한 운동에너지 평가결과를 토대로 외판 혹은 내판 파단을 주어진 설계 자료를 기준으로 분석할 수 있으며 화물유출 등과 같은 위험성 평가를 할 수 있게 된다. Fig. 2은 이 과정에 대한 개념도를 나타내고 있다.

## 3. 실제선박 적용 예

본 장에서는 전술한 바와 같은 절차를 따라 실제 선박을 대상으로 충돌성능평가를 실시한다. 초기 설계단계에서의 충돌성능평가를 위한 기술이지만, 본 장에서는 기 건조되어 운항하고 있는 선박을 대상으로 제한기술을 적용하여 해당 선박의 내충돌 안전성 평가를 시도하고 설계상의 문제점 분석 등에 활용한다. 구체적으로는, 해당선박에 대한 사고시나리오를 설정한 후, 해당 사고에 관한 내/외부 역학문제 해석을 중심으로 충돌역학 해석을 중점적으로 수행하고 이를 바탕으로 운항 중의 사고한계 상태를 가정한 안전성 평가의 가이드라인을 제시한다.

### 3.1 적용대상

Table 1은 본 연구의 해석대상 선박인 46,000 dwt Product/Chemical Carrier의 주요치수를 나타내고 있다. 위험화물 운반선인 이유로 선체구조는 이중선체형식을 채용하고 있으며 따라서 본 연구내용의 적용에 가장 적합한 선박이라고 볼 수 있다. Fig. 3은 적용대상 선박에 대한 일반배치도를 나타내었다.

Table 1 대상 선박의 주요 치수  
(46,000 dwt Product/Chemical Carrier)

LENGTH B. P.	174.00m
BREADTH (MLD.)	32.20m
DEPTH (MLD.)	18.80m
DRAFT (DESIGN)	11.00m
SPEED (DESIGN)	15.2knots

### 3.2. 충돌 시나리오

실제로 다양한 사고 상태를 가정한 시나리오를 설정하기 위해서는 여러 종류의 충돌속도, 충돌위치, 사고시의 운항 상태 등을 고려해야 한다. 본 연구에서는 우선 피충돌선은 정박 중에 있으며 충돌선의 속도가 3가지로 변하는 시나리오를 설정하였다.

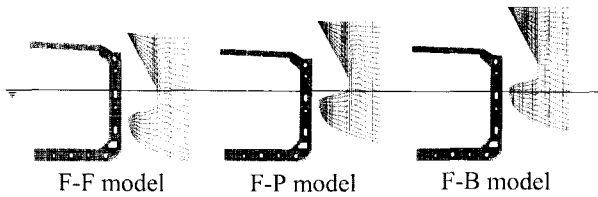
또한 해석의 편의를 고려하여 피충돌선과 충돌선은 일정속도하의 운항 상태가 보다 더 실제상황에 근접하겠으나, 평가 측면에서 보수적인 관점을 견지하기 위해 피충돌선은 정박 중, 즉 완전하게 고정되어 있는 것으로 설정하였다.

#### 3.2.1 적재조건

Table 2는 해당선박에 대한 설계시의 적재조건을 나타내고 있다. 총 8가지의 적재조건이 선박설계 시에 고려되는 적재조건이며 본 해석에서는 이 중에서 3가지 즉, 밸러스트상태(Ballast draught), 만재상태(Cargo loading draught), 부분적재상태(No.2 group loading)에 대하여 해석을 수행하였다. 각 적재조건에 해당되는 Trim위치를 실제로 해석모델 구축에 사용하였다. 즉, F-F모델은 충돌선, 피충돌선 모두 Table 2의 적재상태 중에서 만재 상태인 것을 의미하며, F-P모델은 피충돌선은 만재, 충돌선은 부분적재, F-B모델은 피충돌선은 만재, 충돌선은 밸러스트 상태임을 의미한다.

Table 2 Loading condition 및 해당 draft

Loading condition		Displacement	Percent (%)	Draft (Even keel)
Lightweight		10030톤		
Ballast draught	Departure	29552.7 톤	42.2%	6.81m
	Arrival	29750.4 톤	42.6%	6.85m
Cargo loading draught	Full	56277.9 톤	100.0%	12.2m
	No.1 group loading draught	Departure	30284.0 톤	43.8%
No.2 group loading draught	Arrival	31832.0 톤	47.1%	7.29m
	Departure	38971.3 톤	62.6%	8.78m
No.3 group loading draught	Arrival	39836.8 톤	64.5%	8.96m
	Departure	47467.9 톤	81.0%	10.49m
No.1+2 group loading draught	Arrival	43833.4 톤	73.1%	9.77m
	Departure	42187.4 톤	69.5%	9.44m
No.1+3 group loading draught	Arrival	42830.3 톤	70.9%	9.57m
	Departure	44373.7 톤	74.3%	9.88m
No.2+3 group loading draught	Arrival	42568.2 톤	70.4%	9.51m
	Departure			



F: Full loading condition, Cargo loading condition  
 P: Partial loading condition, No.2 group loading condition (Departure)  
 B: Ballast loading condition, Ballast draft (Departure)

Fig. 4 적재상태별 Draft 및 대상 모델링 결과

본 논문에서는 Fig. 4에 정의한 해석모델명을 사용하여 정리한다.

### 3.2.2 충돌속도

충돌속도를 5, 10 그리고 15 노트를 기준으로 하여 시리즈 해석을 각각 수행하였다. 해당선박의 설계 운항속도가 15.2 노트인 관계로 15노트를 최대속도로 설정하였으며 이를 기준으로 세 종류의 속도범위를 설정하였다. 전체적으로는 상기의 세 종류의 속도를 대상으로 시리즈해석을 수행하였으나 필요에 따라 2노트에 해당되는 속도가 추가되기도 하였다. 해당속도로 운항하는 충돌선의 속도가 LS DYNA 3D를 이용한 해석에서 실시간으로 입력되었다.

### 3.2.3 충돌각도

본 논문에서는 충돌거동의 기초특성 평가를 위해 가장 간단한 직각 충돌을 우선 고려대상으로 삼고 있다.

### 3.2.4 충돌위치

충돌선과 피충돌선의 충돌위치에 따른 영향을 분석하기 위하여 피충돌선의 횡프레임 상에 충돌선의 선수가 충돌하는 경우와 횡프레임 사이에 충돌선의 선수가 충돌하는 두 가지 경우를 대상으로 시리즈 해석을 수행하였다.

횡프레임에 충돌하는 경우를 OW 모델이라 하고, 횡프레임 사이에 충돌하는 경우를 BW 모델로 정의한다. 본 논문의 전반에 걸쳐 충돌위치에 관한 표기는 상기 표현을 따른다.

## 3.3 해석대상 모델링

### 3.3.1 유한요소 모델링

피충돌체는 해석 대상 선박의 선체중양부를 포함하는 한 개의 화물창을 선택하여, 설계 자료를 바탕으로 실선모델링을 수행하였다. 피충돌체의 총 요소수는 대략 14만개이고 요소 크기는 100 ~ 150mm이다. 충돌체는 같은 선박의 선수부를 강체로 가정하여 해석하였다.(Wierzbicki, 1983)

본 논문에서 피충돌선의 전폭을 해석대상으로 삼지 않은 이유는 계산모델의 방대함에 따른 계산효율 저하를 방지하기 위

함이며 충분한 사전해석을 통해 충돌에 의한 영향을 받지 않는 부분을 제외한 최대 폭을 기준으로 모델링 작업을 수행한 결과이다. 또한 충돌선의 선수부분 모델링에 있어서는, 선수격벽까지를 모델링 대상으로 삼았으며 해석대상 선수구조는 전혀 변형을 일으키지 않는 강체로 설정하였다.

### 3.3.2 경계조건

해석대상인 화물창의 횡격벽이 지나가는 부분은 고정으로, 중앙 종격벽과 만나는 부분에서는 단순지지 설정하였다. 이는, 일반적인 선박에서 횡격벽은 매우 고강성의 부재이며 따라서 횡격벽의 기여도를 약간 과도하게 설정함으로써 실제 현상과 근접한 효과를 주기 위함이다.

## 4. 시리즈 해석 결과

### 4.1 F-F 모델

#### 4.1.1 해석결과

Fig. 5은 F-F 하중조건인 OW 모델에서의 충돌 거동 즉, 하중-진입량 관계를 나타낸다. 각 변형 단계별 특징을 요약하면 다음과 같다.

- OA 단계 : 초기에 충돌체의 선단이 피충돌체의 횡프레임에 작용하기 때문에 하중이 급격하게 증가한다.
- AB 단계 : A점에서 횡프레임들이 항복되어서 하중이 감소되다가 천천히 증가된다.
- BC 단계 : B점에서 외판의 파단이 시작되어 하중이 일시적으로 감소하다가 충돌체의 선수 플레어가 선측의 상갑판에 작용하면서 하중이 급격하게 증가한다.
- CD 단계 : 충돌체가 계속 진입하게 되어 인접한 횡프레임에 접촉하게 되고, 하중이 증가한다.
- DE 단계 : 내판의 파단이 시작되고 하중이 감소한다.

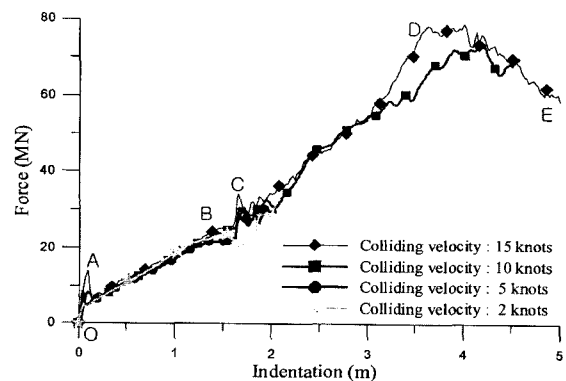


Fig. 5 OW 모델의 하중-진입량 관계 곡선

Fig. 6은 F-F 하중 조건인 BW 모델의 충돌 거동을 나타내고 있으며, 각 변형 단계별 특징을 요약하면 다음과 같다.

- OA 단계 : 초기에 충돌체의 선단이 피충돌체의 횡프레임

사이에 작용하기 때문에 하중이 천천히 증가한다.

- AB 단계 : 충돌체의 크기와 형상에 의해 하중은 증가한다.
- BC 단계 : B점에서 외판의 파단이 시작되어 하중이 크기가 줄어들다가 충돌체의 선수 플레어가 선측의 상갑판에 작용하면서 하중이 급격하게 증가 한다.
- CD단계 : 충돌체가 계속 진입하게 되어 인접한 횡프레임에 접촉하게 되고, 하중이 증가한다.
- DE단계 : 내판의 파단이 시작되고 하중이 감소한다.

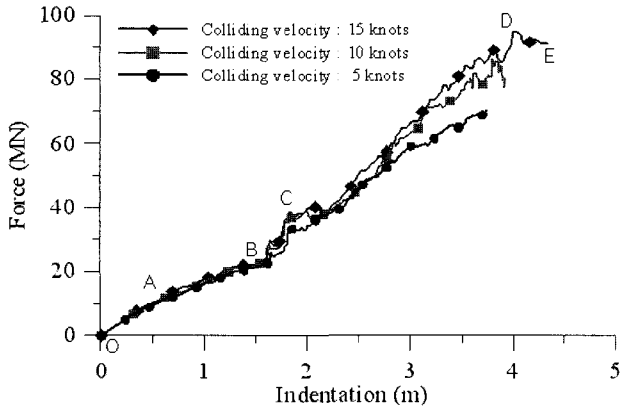


Fig. 6 BW 모델의 하중-진입량 관계 곡선

Fig. 5와 6에서 확인할 수 있듯이, 충돌 속도가 크면 피충돌체의 반력은 그에 비례하며 크게 됨을 알 수 있다. 또한 동일한 충돌속도의 경우, BW 모델이 OW 모델보다 충돌 반력의 크기가 더 크게 나타남을 알 수 있다. 프레임 상에 충돌하는 OW 모델은 일정 진입시기까지는 웹 프레임의 역할에 의하여 반력이 크지만 웹 프레임이 좌굴·붕괴에 이르러 지지 역할을 상실한 이후부터는, 인접한 웹 프레임에 의한 지지 영향이 나타나는 BW 모델의 반력이 더 크게 됨을 의미한다.

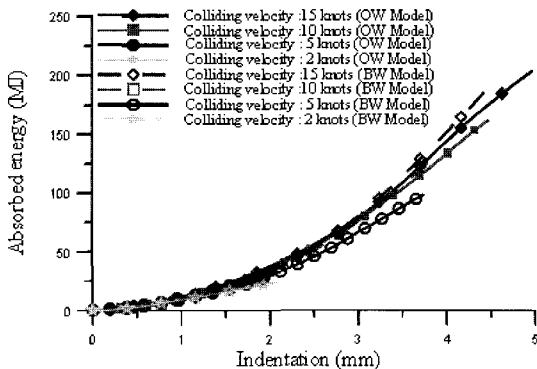


Fig. 7 F-F 모델의 에너지-진입량 관계 곡선

따라서, 직관적으로 짐작되는 프레임 상에 충돌이 일어나는 경우가 지지효과가 더 클 것이라는 사실이 항상 허용되는 것은 아니라는 것을 알 수 있다. 물론 이 경우 프레임 사이의 간격에 의해, 즉 인접프레임의 영향이 나타나는 적정 프레임간격

에 대한 체계적인 분석이 이루어져야 함은 인식되어야 한다.

Fig. 7은 F-F 모델의 경우, 충돌속도와 충돌위치를 변화시켜가면서 수행한 시리즈해석결과를 흡수에너지를 이용하여 정리하고 있다.

#### 4.1.2 해석결과 충돌형상

다음은 유한요소해석 결과로 얻은 충돌형상을 정리하고 있다. 그중에 대표적인 모델로서 F-F 하중조건에서 OW 모델(왼쪽)과 BW 모델(오른쪽)의 충돌형상을 보여주고 있다.

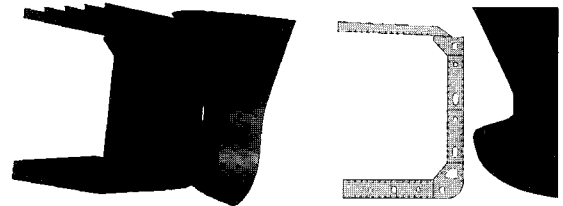


Fig. 8 충돌하기 전의 형상

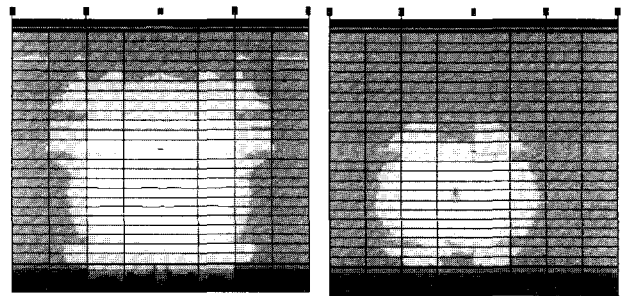


Fig. 9 충돌 직후 외판 변형 형상

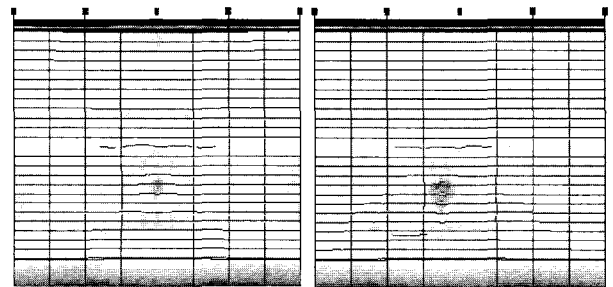


Fig. 10 외판 파단 발생 시점

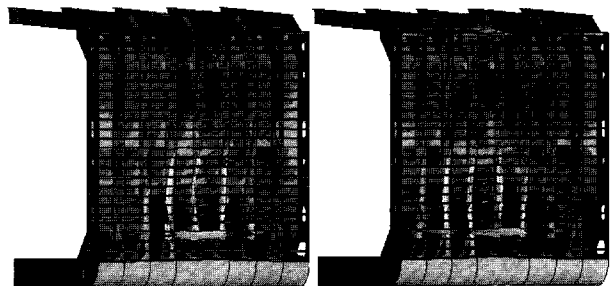


Fig. 11 외판 파단 발생시점에서의 이중선측 내부 변형 상태

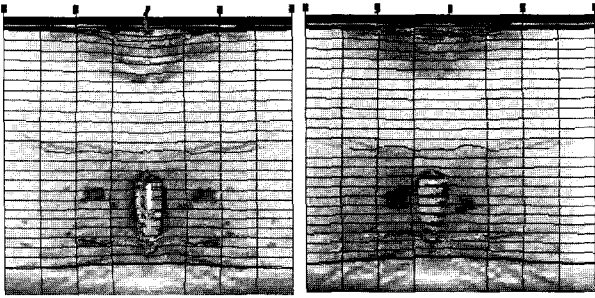


Fig. 12 내판 파단 발생 시점의 변형 형상

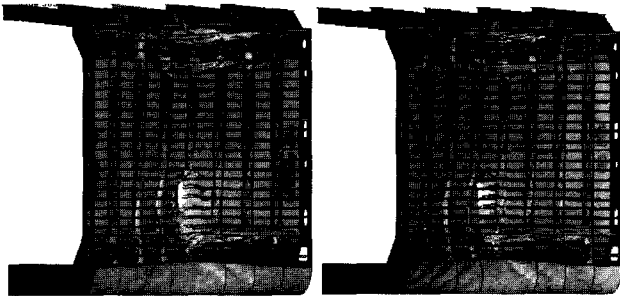


Fig. 13 내판 파단 발생시 이중선체 내부구조 변형 형상

Fig. 8은 충돌하기 전의 충돌체와 피충돌체의 형상을 표현하고 있다. Fig. 9는 충돌체가 피충돌체의 외판에 충돌하는 순간의 형상을 보여준다.

Fig. 10은 외판에 파단이 생기기 시작한 순간의 파단 형상을 나타내었다. Fig. 10으로부터 확인할 수 있듯이 선수부가 프레임 사이에 충돌하여 외판의 변형이 진행되고 일정시점에서 외판에 파단이 발생하고 있다. Fig. 11은 같은 시점에서의 내부구조의 변형형상을 보여주고 있다.

Fig. 12는 내판에 파단 되기 시작할 때의 피충돌체의 파단부를 나타내었고, Fig. 13은 그 시점에서의 피충돌체의 내부형상을 보여준다.

### 4.1.3 고찰

상기와 같은 해석 결과를 바탕으로 하여 에너지 진입량 관계가 정리되면, 진입량에 해당되는 흡수에너지를 얻을 수 있다. 즉, 임의의 설계 자료만 주어진다면 이중 선체의 이중구조 폭만큼 진입하는데 필요한 흡수에너지를 얻을 수 있게 된다. 또한, 해당사고에 대한 운동에너지가 이러한 과정을 거쳐 얻어진 흡수에너지보다 작다면 이중선체의 내판까지 충돌선의 선수가 진입하지 않는다는, 즉 내판의 파단은 일어나지 않는다는 잠정적인 결론을 얻을 수 있게 된다.

본 연구에서는 각 속도에서 계산되어진 흡수에너지를 기준으로 하여 속도의 변화에 따른 흡수에너지를 정리하였다.

각 속도에 대해서,

- 외판에 파단이 발생하는 시점

- 2m(이중 선체 폭)에 해당되는 시점

- 내판에 파단이 생기는 시점

에서의 피충돌체 흡수에너지를 정리하였다.

얻어진 데이터로부터 속도에 따른 흡수에너지를 도시하여 그 관계를 Fig. 15에서처럼 추정하였다. Fig. 14는 내판에 찻김이 생기는 시점과, 이중선체 폭(2m) 및 외판 파단 시점 세 경우에서 각 속도에 따른 흡수에너지간의 관계를 위의 해석 결과 데이터로 확인하여, Fig. 15와 같이 선박의 속도에 따른 충돌강도 특성을 예측하였다.

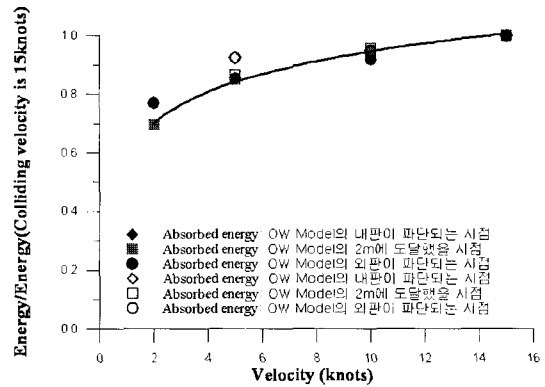


Fig. 14 F-F 모델의 에너지 속도 관계 곡선

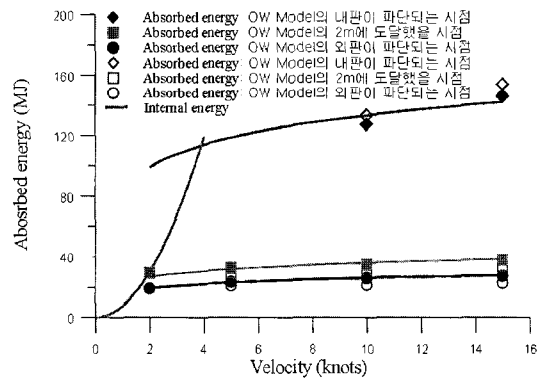


Fig. 15 F-F 모델의 에너지 속도 관계 곡선

Fig. 15와 같이 충돌체의 운동에너지와 피충돌체의 흡수에너지가 얻어지면 다음과 같이 해당선박의 충돌 안전성을 검토할 수 있다.(Paik, 1999)

$$\Delta E > W_C : \text{Unsafe}$$

$$\Delta E < W_C : \text{Safe}$$

$\Delta E$  : Kinetic energy,  $W_C$  : Absorbed energy

### 4.2 F-P 모델

F-F 모델의 해석 결과 중에서 충돌위치에 의한 영향분석에 의하면, OW 모델(프레임상에 충돌)이 BW 모델(프레임 사이에 충돌) 보다 내판 파단시점에 대응되는 흡수에너지가 더 작다는 것을 알 수 있었다. 따라서 보수적인 설계를 위한 측면에

서는 OW 모델을 이용하여 시리즈해석을 수행하는 것이 타당할 것이다. 본 절에서는 상기와 같은 이유로 OW 모델만을 대상으로 충돌속도의 변화를 고려한 시리즈해석을 수행하고 관련 결과를 정리한다.

#### 4.2.1 해석결과 및 고찰

Fig. 16에서 나타내고 있는 F-P모델의 하중 곡선에서의 OA 단계, AB단계, BC단계, CD단계, DE단계 및 EF단계는 앞에 기술한 F-F모델의 하중 특성과 유사한 거동, 즉 지지부재의 저항유무에 따라 하중과 흡수 에너지의 변화가 확인되었다.

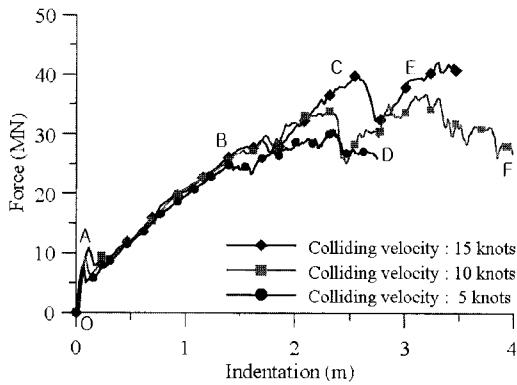


Fig. 16 F-P 모델의 하중 진입량 관계 곡선

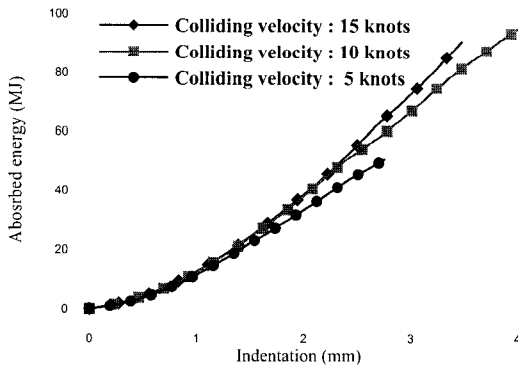


Fig. 17 F-P 모델의 에너지 진입량 관계 곡선

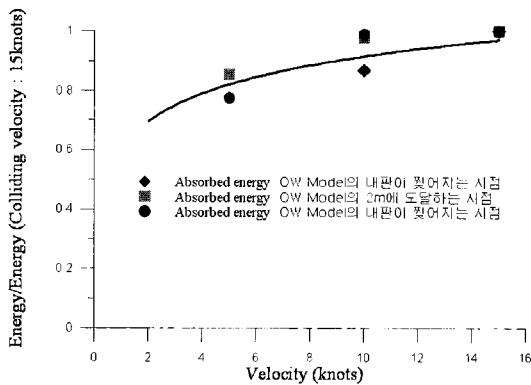


Fig. 18 F-P 모델의 에너지 속도 관계 곡선

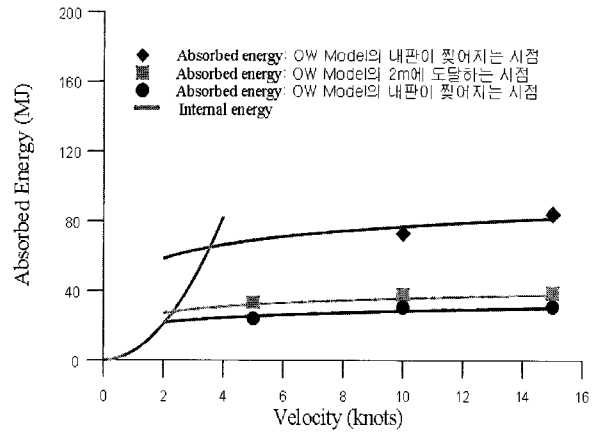


Fig. 19 F-P 모델의 에너지-속도 관계 곡선

Fig. 17은 각 속도별 흡수에너지와 진입량의 관계를 정리하여 나타내었다. 위에 기술한 F-F 모델과 동일한 정리를 거쳐 각 속도별 피충돌선 흡수에너지와 충돌선 운동에너지를 비교 정리한 결과를 Fig. 18, 19에 나타내고 있다. 동일하게 이들 결과를 이용하여 해당 충돌시나리오에 대한 안전성을 평가할 수 있다.

#### 4.3 F-B model

##### 4.3.1 해석결과 및 고찰

Fig. 20에서 나타내고 있는 F-B모델의 하중 곡선에서의 OA 단계, AB단계, BC단계, CD단계, DE단계 및 EF단계는 앞에 기술한 F-F모델의 하중 특성과 유사한 거동, 즉 지지부재의 저항유무에 따라 하중과 흡수 에너지의 변화가 확인되었다.

Fig. 21에는 각 속도별 흡수에너지와 진입량의 관계를 정리하여 나타낸다. 위의 동일한 정리를 거쳐 각 속도별 피충돌선 흡수에너지와 충돌선 운동에너지를 비교 정리한 결과를 Fig. 22, 23에 나타내고 있다. 동일하게 이들 결과를 이용하여 해당 충돌시나리오에 대한 안전성을 평가할 수 있다.

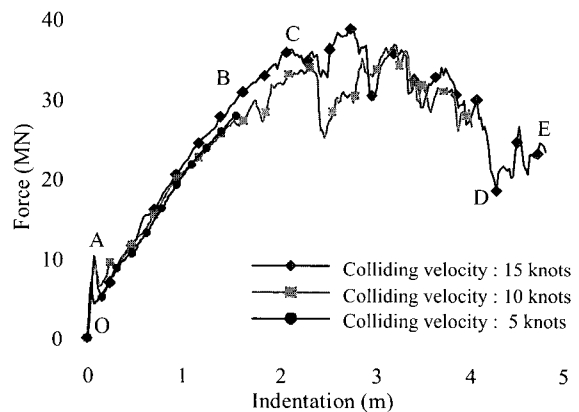


Fig. 20 F-B 모델의 하중-진입량 관계 곡선

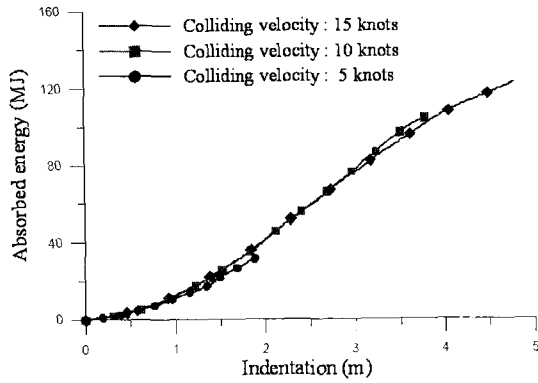


Fig. 21 F-B 모델의 에너지 진입량 관계 곡선

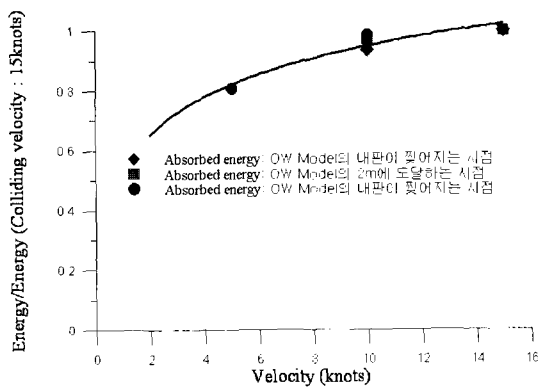


Fig. 22 F-B 모델의 에너지-속도 관계 곡선

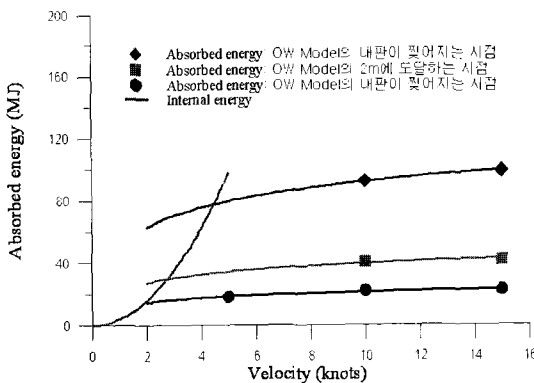


Fig. 23 F-B 모델의 에너지-속도 관계 곡선

### 5. 결론

본 연구에서는 이중선체 선박의 충돌시 내충돌 강도를 평가하기 위해 앞서 서론에서 거론했듯이 46,000 dwt Product/Chemical Carrier 실선을 대상으로 적재상태별, 운항속도별, 충돌속도별 시리즈 해석을 수행하여 피 충돌선의 흡수에너지를 분석하고 이들 결과들을 설계 기준용 가이드라인으로 정리할 수 있는 기초를 확립하였다. 따라서 흡수에너지 분석만 성공적으로 이루어지면 내충돌 설계용 지침 제시는 가능하리라 판단된다.

또한, F-F 모델에서의 시리즈 해석 결과에서 볼 수 있듯이, 프레임 상에 충돌이 발생하는 경우보다 프레임 사이에 충돌이 발생하는 경우 최종적인 충돌하중 내하력은 더 큼을 확인할 수 있었다. 따라서, 직관적으로 짐작되는 프레임 상에 충돌이 일어나는 경우가 지지효과가 더 클 것이라는 사실이 항상 허용되는 것은 아니라는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 하여 효과적인 프레임배치를 통하여 충돌성능향상효과를 줄 수 있다고 판단된다.

위와 같은 해석 결과를 얻기 위하여 막대한 시간과 비용을 투자한 방대한 계산이 수행되었지만, 설계단계에서 이들 계산을 매번 수행하기는 어려우므로 동일한 정량적 신뢰성을 갖는 간이 해석기법의 개발이 필수 불가결하다.

선박의 충돌문제에 있어서는 충돌에 의한 피충돌선의 운동도 고려되어야 하므로, 충돌 후의 충돌선, 피충돌선과 유체와의 연계효과를 고려한 해석기술 개발 및 적용성에 대한 차후에의 연구가 필요하다. 또한, 본 연구를 수행하다 보니 현실적으로 충돌선 선수부의 파단현상까지 분석하기 위한 모델링은 무리가 있음으로 판명되었다. 일반적으로 선박에서 가장 강성이 높은 부분으로 알려져 있는 선수부라 하더라도 어느 정도 충돌에 의한 에너지소산은 있을 것으로 판단되므로, 현실적인 제한범위 내에서 이에 대한 고려를 할 수 있는 방법이 필요하다.

본 연구를 통하여 얻어진 위의 결과들은 해양 오염 및 인적, 물적 손실을 방지하기 위하여 이중선체 구조의 합리적인 설계에 유용하게 사용되리라 사료된다.

### 6. 참고 문헌

- [1] 강호윤, 백점기, 이제명, (2002), “충돌, 좌초 유한요소해석을 위한 재료 특성모델개발”, 대한조선학회 추계학술대회 논문집, 7-8, November, pp. 462-465
- [2] 백점기, 정장영, 백영민, 김봉주, 김영한, 김규성, 오민한, 박영일, 최익홍, A.K. Thayamballi, (1999), “이중선체 구조의 충돌강도 모형실험”, KSSC Trans. Vol.13, No.1, pp.85-99
- [3] 연정흠, 백점기, 이제명, (2003), “이중선체 구조의 충돌강도 실험 및 수치 시뮬레이션”, 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, 17-18, April, pp. 465-470
- [4] 연정흠, 백점기, 이제명, (2002), “충돌, 좌초 유한요소 해석을 위한 구조 모델링 기법에 관한 고찰”, 대한조선학회 추계 학술대회 논문집, 7-8, November, pp. 470-473
- [5] 최익홍, 최병기, 김외현, 백점기, (1999), “이중선체 유조선의 선측 충돌 강도 특성 연구”, 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, 22-23, April, pp. 377-380
- [6] 최익홍, 김재현, 김외현, 정장영, 백점기, (1999), “이중선체 유조선구조모형의 충돌강도 수치해석”, KSSC Trans. Vol.13, No.1, pp.101-113



- [7] Paik, J.K and Thayamballi, A.K.(2003), "Ultimate limit state design of steel-plated structure", John Wiley & Sons.
- [8] Paik, J.K., Choe, I.H. and Thayamballi, A.K.(2001), On accidental limit state design of spherical type LNG carrier structures against ship collisions, 2nd International Conference on Collision and Grounding of Ships, Copenhagen, Denmark, July 1-3.
- [9] Wierzbicki, T. and Abramowicz, W. (1983), On the crushing mechanics of thin-walled structures, J. of Applied Mechanics, ASME, 50, pp. 727-734.
- [10] Paik, J.K., Chung, J.Y., Choe, I.H., Thayamballi A.K., Pedersen, P.T. and Wang, G., On the Rational Design of Double Hull Tanker Structures against Collision, Presented at the 1999 SNAME Annual Meeting, October, Baltimore, Trans. SNAME, Vol. 107.

---

원고접수일 : 2004년 5월 14일

원고채택일 : 2004년 7월 27일