

컨테이너/로로 선 종격벽의 트레일러 충돌해석

강명훈^{1,†} · 송인¹ · 이상균¹ · 김상곤¹ · 조상래²
현대미포조선(주)¹
울산대학교²

Collision Analysis of Longitudinal Bulkhead of Container/RO-RO Ship with Trailer

Myung-Hun Kang^{1,†} · In Song¹ · Sang-Kyun Lee¹ · Sang-Kon Kim¹ · Sang-Rai Cho²
Hyundai Mipo Dockyard Co., Ltd.¹
University of Ulsan²

Abstract

In this paper, a collision accident of a container/RO-RO ship was numerically analyzed. A container trailer collided with a longitudinal bulkhead of the ship in the accident, which constituted a longitudinal wall of a heavy fuel oil tank. Due to the accident, the bulkhead plate was ruptured and the heavy fuel oil spilled out of the tank. The detailed information regarding the collision velocity and the mass of the trailer was not provided. Therefore, several collision accident scenarios were constructed based upon the arrangement of the ramp way. Each collision accident scenario was analyzed to predict the extents of damage using a commercial numerical package, ABAQUS. Based on the analysis results it is proposed how to minimize the extents of damage. Through the investigations performed in this study it was found that the understandings of various damages due to collision accidents and the developments of structural design guidance against collision are necessary for the betterment of Container/RO-RO ships' performance.

1. 서론

1.1 연구 배경

보통 선박의 충돌이나 좌초, 폭발 등의 돌발적인 사고는 엄청난 재산, 인명 피해와 함께 심각한 환경오염을 야기시킨다. 유조선 설계시 이중 선체 구조를 의무화 하고 선박에 대한 규제가 강화되는 등의 선박의 안전성을 확보하려 하고 있는 것이 이에 대한 대응책의 한 예이다.

최근에는 단순히 일반 규정을 넘어서 실제 선종마다 다양하고 합리적인 안전성 확보를 요구하고 있으며 발생할 수 있는 다양한 시나리오에 대한 충돌이나 좌초, 폭발 해석을 통해서 실제 충돌, 좌초, 폭발 상황에 대한 강도 평가에 관심을 모으고 있다.

1.2 연구 목적 및 내용

충돌 사고가 발생하게 되면 대부분의 경우 구조물의 소성 대변형을 동반하는 손상을 입게 된다.

충돌로 인해 선체 구조물이 손상을 입는 현상은 극히 짧은 시간에 일어나게 되고 통상 대변형과 재료의 파단을 동반하게 된다. 최근 컴퓨터 계산 속도가 매우 빨라지고 계산 비용이 낮아 졌으며 이와 함께 수치 해석 기법의 발달로 정적 구조 거동뿐 아니라 충돌 해석과 같은 동적 비선형 구조 거동도 해석이 가능하게 되었다. 이러한 구조 해석 방법은 해석 결과의 정확도에 대한 검증이 이루어지면 많은 유용한 정보를 경제적으로 얻어 낼 수 있다. 또한 이를 이용하여 효과적으로 설계안을 평가하고 보완할 수 있기 때문에 많은 관련 연구가 진행되고 있다.

충격하중을 받으면 구조물은 짧은 시간에 대변형이 발생하고 구조물의 변형거동은 변형률과 변형률속도에 의해서 현저한 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 선박해양 구조물의 질량충격하중에 대한 검토는 설계에서 상용 해석 프로그램을 많이 사용하고 있다. 이런 비선형 탄소성 문제는 재료의 변형률 경화(Strain Hardening), 변형률 속도(Strain rate) 그리고 파단 변형률(Rupture Strain)의 값에 결과가 좌우되며 각 값들은 제공된 실험 자료를 바탕으로 선택하여 해석을 수행하였다.

본 연구는 자동차, 컨테이너 및 트레일러가 선박 내에 적재되는 컨테이너/로로 선박에서 트레일러가 컨테이너 운반시 발생한 충돌 사고를 해석하였다. 트레일러가 선체 종격벽에 충돌 사고가 발생하여 기름이 유출된 사례에 대해 충돌 후 상황을 근거로 하

[†] 교신저자 : hun0514@hmd.co.kr 052-250-2337

여 구조역학적 측면에서 사고를 검토하는데 과학적이고 사실적인 근거를 제공하기 위하여 여러 가지 충돌 각도 및 차량의 충돌 속도에 대해 선체 충격벽에 발생하는 손상 정도를 알아보았다.

본 연구에서는 ABAQUS/Explicit를 사용하여 트레일러가 선체 충격벽에 충돌하는 해석을 수행하였으며 충돌은 정면 충돌이 아닌 경사 충돌(Oblique Collision)로 실제 상황을 구현하기 위하여 마찰계수를 고려하였다.

2. 충돌 모델

2.1 Con-Ro Ship

보통 Ro-Ro 선이라 하면 자동차처럼 스스로 이동할 수 있는 화물을 배에서 다리만 놓아 주고 자기 비퀴로 싣고 내리는 선박으로 보통 자동차 운반선을 일컫는다.

Ro-Ro선과 같이 자동차 및 트레일러를 실을 뿐만 아니라 컨테이너까지 적재 할 수 있는 다목적 선박을 Con-Ro 선이라 한다. Fig. 1에서 보여주는 선박이 Con-Ro선으로 국내 조선소에서 건조한 것으로 충돌 시도가 발생한 선박은 이와 유사한 선박이다.

트레일러가 컨테이너를 싣고 항구에서 선미 램프를 이용하여 이 선박의 주 갑판인 No.3 갑판으로 들어와 선측 우현에 위치한 고정 램프를 이용하여 이 선박의 내이중저(Inner Bottom) 위치한 No.1 갑판으로 내려가던 도중 고정 램프에서 트레일러가 미끄러지면서 충격벽과 충돌하여 충격벽에 손상이 발생한 것으로 추정된다.



Fig. 1 Con-Ro Ship

2.2 충돌 사고 사례

본 논문에서 다룬 선박의 충돌사고로 인하여 파단 손상이 발생한 충격벽을 Fig. 2에서 보여주고 있다. 실제 파단은 트레일러에

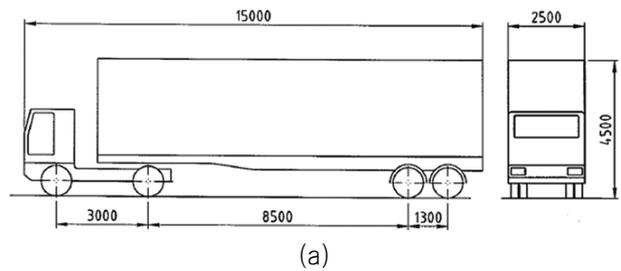
의한 충돌 후 컨테이너 화물에 의한 2차 충돌에 의해 일어난 것으로 추정된다.



Fig. 2 Damage due to Impact by Trailer and Container

2.3 충돌 차량 및 충격벽 구조

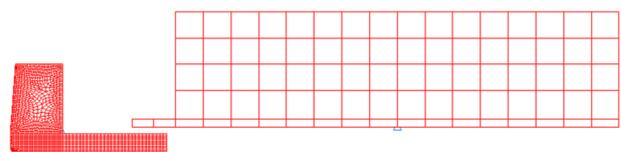
충돌 차량인 트레일러의 크기, 트레일러의 해석모델 그리고 트레일러와 컨테이너 해석모델을 Fig. 3(a), 3(b)와 3(c)에서 보여



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 (a) Dimensions of Trailer, (b) Analysis Model for Trailer, (c) Analysis model for Trailer and Container

주고 있다. 본래의 모델은 수많은 부품과 복잡한 자유 곡면으로 이루어져 있지만 구조 역학적 측면에서 해석시 결과에 영향을 크게 미치지 않는 부분은 단순화 하였고 컨테이너 화물에 대한 2차 충돌을 검토해 보기 위해 컨테이너 화물에 대한 모델도 추가하여 검토해 보았다.

트레일러가 충돌한 종격벽의 구조 해석 모델은 Fig. 4와 같으며 충돌사태를 고려하여 길이 방향으로는 4개의 횡늑골 간격을 그리고 높이 방향으로는 주갑판인 No. 3 Deck에서 이중내저판인 H.F.O. Tk까지 모델링 하였다.

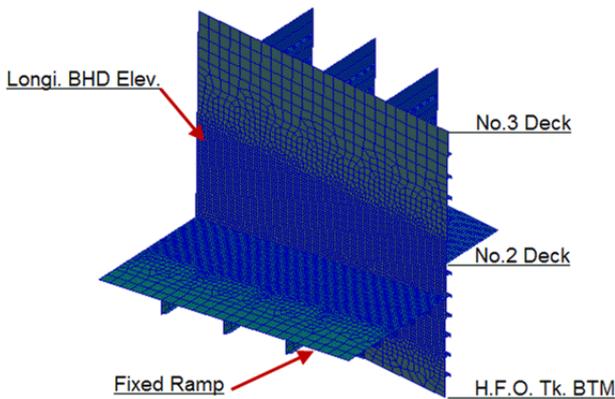


Fig. 4 Analysis Model of Longitudinal Bulkhead

2.4 유한요소 모델링

차량의 충돌해석을 수행하기 위하여 전, 후처리 프로그램은 MSC Patran & ABAQUS/Explicit를 사용하였고 유한요소 모델링의 절점의 수는 34486개이고, 요소의수는 34585개였다.

2.5 재료의 물성치

본 논문에서 고려된 재료의 물성치는 Table 1에 나타냈으며 일반적으로 사용되는 재료의 물성치를 충돌 해석에 적용하였다.

그리고 항복 응력(Yield stress)은 천세근(2010)이 제시한 강재 인증서(Mill Certificate) 조사결과를 따랐다.

Table1 Material Properties adopted in Analysis

Material	Mass Density (ton/mm ³)	Young's Modulus (MPa)	Poisson's ratio	Yield Stress (MPa)
Mild Steel	7.85E-09	206,000	0.3	304

3. 충돌 해석

3.1 충돌 상황의 구성

3.1.1 충돌 각도

충돌차량인 트레일러가 종격벽에 충돌하는 각도를 고려하면 실제 고정 램프에서 나올 수 있는 최대 각도는 17° 정도가 된다.

실제 상황을 구현하고 데이터베이스를 형성하기 위하여 충돌 각도를 10°, 15°의 2가지로 구성하였다(Fig. 5 참조).

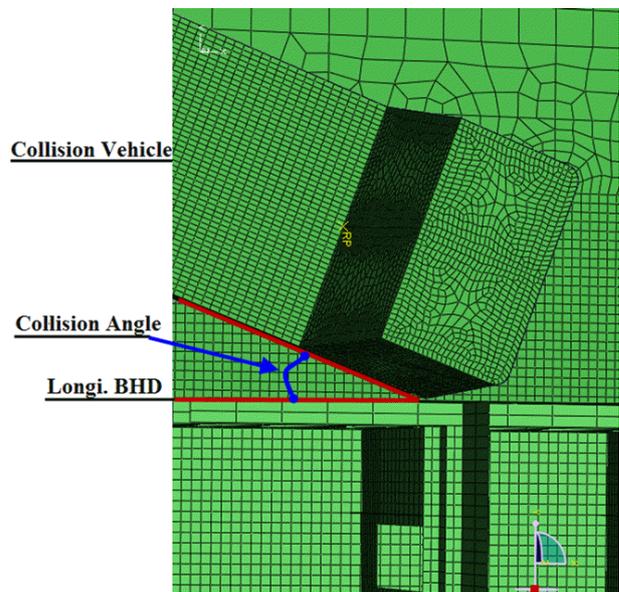


Fig. 5 Collision Angle between Longitudinal Bulkhead and Trailer

3.1.2 충돌 속도

차량 운전자가 사고가 발생된 종격벽의 고정 램프를 통과할 때 지켜야 할 안전 운행 속도는 20km/h이다. 그러나 충돌 사고가 발생한 상황의 속도는 알려지지 않았으나 알 수는 없지만 과속을 한 경우도 고려하기 위하여 충돌속도를 안전 속도인 20km/h에서 50km/h 까지 포함하였다.

Table 2는 해석하고자 하는 충돌 상황의 충돌 속도에 대한 요약을 보여주고 있는데 4가지 속도 단계로 구성되어 있다.

Table 2 Collision Angle and Velocity (Vx / Vy)

		unit: m/s			
Vel. Deg.	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h	
10°	5.471/ -0.965	8.207/ -1.447	10.942/ -1.929	13.678/ -2.412	
15°	5.366/ -1.438	8.049/ -2.157	10.733/ -2.876	13.416/ -3.595	

3.2 유한 요소 충돌 해석

3.2.1 해석 모델 형상

2.3절에서 언급하였듯이 충돌 해석시 해석결과에 영향을 미치지 않는 범위를 고려하여 아래 Fig. 6과 같이 4개의 횡늑골 간격으로 모델링 하였다.

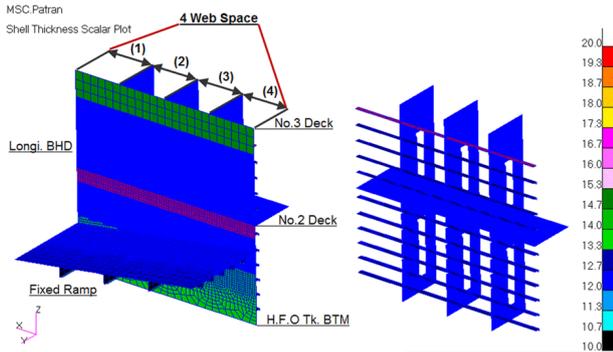


Fig. 6 F.E Model

3.2.1 경계조건

충돌 해석모델의 경계 조건은 아래 Fig. 7과 같이 횡 늑골 양 끝단 위치, No. 3 Deck, H.F.O Tank Bottom, 고정 램프 끝단의 병진변위 및 회전변위를 구속하였다.

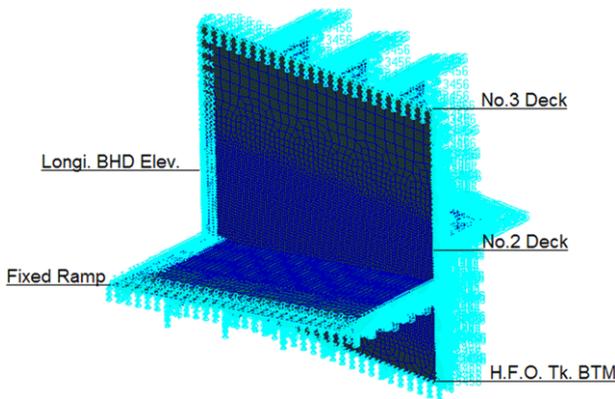


Fig. 7 Boundary conditions - All Fixed

3.2.2 충돌 해석 조건 설정

충돌 해석에 적용된 충돌 차량은 강체(Rigid Body)로 가정하였고 적용된 충돌 차량의 중량은 20ft 컨테이너 2개를 싣는 조건으로 58ton을 가정하였다.

충돌 속도와 각도는 Table 2에서 언급하였고, 충돌차량이 경사각을 가지고 비스듬하게 충돌하기 때문에 마찰력을 고려하지

않을 경우 종격벽의 변형이 선형단계에서 거동이 발생하였고 실제 변위가 너무 작아 마찰력을 고려해야 됨을 알게 되었다.

마찰력을 고려하기 위해 Table 3.2에서 언급된 마찰계수를 적용하여 충돌해석을 수행하였다.

충돌 상황은 보강이 충분한 장소에 맞추어 충돌 일어나는 것이 아니므로 충돌 위치에 맞추어 보강하기가 어려우므로 충돌 보강을 위하여 종격벽 판의 두께를 변화를 주어 충돌해석을 수행하였다. 충돌 해석을 통해 구현할 실제 사고 상황에 대하여 설정 및 가정한 내용을 정리하면 Table 3과 같다.

Table 3 Assumptions for F.E Analysis

Item	Assumption
Collision Vehicle	Rigid Body
Mass of Collision Vehicle (ton)	1) Trailer: 58 ton 2) Trailer: 5 ton, Container: 53 ton
Collision Velocity (km/h)	20, 30, 40, 50
Collision Angle(°)	10, 15
Strain Hardening	Linear Strain Hardening
Strain Rate Hardening	Cowper-Symonds; DCS = 40.4, qCS = 5
Rupture Strain	0.3
Frictional Coefficient	1) F1(Static:0.87, Kinetic:0.69) 2) F2(Static:0.74, Kinetic:0.57)
Thickness of Longitudinal Bulkhead (mm)	12.0, 16.0, 20.0, 24.0

4. 해석 결과

4.1 충돌 해석 결과의 정리

충돌해석 결과는 종격벽에 나타나는 결과로서 Point 1, Point 2와 Point 3으로 구분하여 정리하였으며 Point 1은 충돌이 최초로 일어난 위치 즉 시작 위치의 최대 변위와 영구 변위 값을 정리하였고 Point 2는 위치 차이는 있으나 변형률(Strain)이 제일 크게 나타나는 위치의 최대 변위 및 영구 변위 값을 정리하였고, Point 3은 컨테이너 화물이 충돌했을 때 변형률이 제일 크게 나타나는 위치의 최대 변위 및 영구 변위 값을 각각 무차원화하여 정리하였다.

해석결과 정리를 쉽게 하기 위해서 Table4에서 정의한 Symbol을 사용하였다.

Table 4 Symbols for the Analysis Results

Symbol	Meaning
F1, F2	Frictional Coefficient
D	Collision Angle
V	Collision Velocity
t	Plate Thickness of Longi. BHD

4.2 충돌 해석 결과

4.2.1 마찰계수가조건 1)이고 충돌각도가 10° 인 경우: Case F1_D10

1) Point 1(트레일러 최초 충돌 위치)

	최대 변위(Dis./t)				영구 변위(Dis./t)			
	t12	t16	t20	t24	t12	t16	t20	t24
V20	0.58	0.36	0.23	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
V30	1.28	0.81	0.57	0.33	0.76	0.38	0.25	0.11
V40	1.71	1.08	0.73	0.44	1.08	0.65	0.41	0.22
V50	2.38	1.78	0.94	0.61	2.08	1.15	0.69	0.37

2) Point 2(트레일러 충돌 후 변형률이 제일 큰 위치)

	최대 변위(Dis./t)				영구 변위(Dis./t)			
	t12	t16	t20	t24	t12	t16	t20	t24
V20	0.59	0.36	0.23	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
V30	1.90	1.29	1.02	0.69	1.37	0.92	0.69	0.46
V40	2.41	1.68	1.35	0.90	1.86	1.23	0.98	0.65
V50	4.10	2.76	1.85	1.25	3.55	2.29	1.48	0.94

3) Point 3(컨테이너 화물 충돌 후 변형률이 제일 큰 위치)

	최대 변위(Dis./t)				영구 변위(Dis./t)			
	t12	t16	t20	t24	t12	t16	t20	t24
V30	7.59	4.86	3.43	2.54	6.84	4.26	2.96	2.13
V40	9.66	6.26	4.42	3.38	8.94	5.65	3.92	2.96
V50	11.8	7.64	5.45	4.14	11.0	7.04	4.95	3.72

4.2.2 마찰계수가조건 1)이고 충돌각도가 15° 인 경우: Case F1_D15

1) Point 1(트레일러 최초 충돌 위치)

	최대 변위(Dis./t)				영구 변위(Dis./t)			
	t12	t16	t20	t24	t12	t16	t20	t24
V20	9.98	7.29	5.83	5.13	8.10	5.85	4.67	4.13
V30	14.6	10.8	8.48	6.92	12.8	9.32	7.33	5.92
V40	18.6	13.5	10.7	8.87	16.9	12.2	9.66	7.94
V50	21.6	15.8	12.4	10.3	20.1	14.5	11.4	9.36

2) Point 2(트레일러 충돌 후 변형률이 제일 큰 위치)

	최대 변위(Dis./t)				영구 변위(Dis./t)			
	t12	t16	t20	t24	t12	t16	t20	t24
V20	9.83	7.02	5.50	4.59	8.19	5.78	4.48	3.73
V30	14.1	10.0	8.30	6.65	12.5	8.79	7.24	5.74
V40	18.6	13.3	10.3	8.21	17.1	12.0	9.27	7.37
V50	23.5	15.8	12.3	9.95	22.0	14.6	11.3	9.09

3) Point 3(컨테이너 화물 충돌 후 변형률이 제일 큰 위치)

	최대 변위(Dis./t)				영구 변위(Dis./t)			
	t12	t16	t20	t24	t12	t16	t20	t24
V30	10.8	6.94	4.92	3.70	10.2	6.45	4.50	3.34
V40	13.6	8.91	6.35	4.81	13.1	8.37	5.91	4.43
V50	16.5	10.9	7.75	5.89	15.9	10.3	7.28	5.52

4.2.3 마찰계수가조건 2)이고 충돌각도가 10° 인 경우: Case F2_D10

1) Point 1(트레일러 최초 충돌 위치)

	최대 변위(Dis./t)				영구 변위(Dis./t)			
	t12	t16	t20	t24	t12	t16	t20	t24
V20	0.40	0.24	0.15	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
V30	1.29	0.88	0.64	0.42	0.53	0.38	0.28	0.17
V40	1.63	1.13	0.83	0.61	0.87	0.60	0.44	0.30
V50	2.19	1.48	1.10	0.79	1.38	0.89	0.62	0.44

2) Point 2(트레일러 충돌 후 변형률이 제일 큰 위치)

	최대 변위(Dis./t)				영구 변위(Dis./t)			
	t12	t16	t20	t24	t12	t16	t20	t24
V20	0.40	0.24	0.15	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
V30	1.71	1.26	1.13	0.83	1.17	0.86	0.79	0.59
V40	2.28	1.66	1.44	1.17	1.73	1.23	1.06	0.88
V50	2.86	2.08	1.75	1.42	2.23	1.59	1.33	1.09

3) Point 3(컨테이너 화물 충돌 후 변형률이 제일 큰 위치)

	최대 변위(Dis./t)				영구 변위(Dis./t)			
	t12	t16	t20	t24	t12	t16	t20	t24
V30	7.58	4.87	3.44	2.54	6.82	4.26	2.96	2.14
V40	9.68	6.26	4.48	3.36	8.94	5.67	3.98	2.93
V50	11.8	7.64	5.46	4.13	11.1	7.06	4.95	3.70

4.2.4 마찰계수조건 2)이고 충돌각도가 15° 인 경우:
Case F2_D15

1) Point 1(트레일러 최초 충돌 위치)

	최대 변위(Dis./t)				영구 변위(Dis./t)			
	t12	t16	t20	t24	t12	t16	t20	t24
V20	0.94	0.57	0.37	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00
V30	1.85	1.20	0.81	0.47	1.08	0.99	0.38	0.20
V40	2.53	1.63	1.06	0.88	1.68	0.99	0.61	0.56
V50	2.95	2.06	1.46	1.07	2.15	1.47	1.04	0.73

2) Point 2(트레일러 충돌 후 변형률이 제일 큰 위치)

	최대 변위(Dis./t)				영구 변위(Dis./t)			
	t12	t16	t20	t24	t12	t16	t20	t24
V20	0.94	0.57	0.37	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00
V30	2.51	1.76	1.35	0.99	1.86	1.28	0.94	0.68
V40	3.34	2.22	1.69	1.62	2.63	1.66	1.29	1.26
V50	3.59	3.94	1.80	1.85	3.02	3.04	1.42	1.48

3) Point 3(컨테이너 화물 충돌 후 변형률이 제일 큰 위치)

	최대 변위(Dis./t)				영구 변위(Dis./t)			
	t12	t16	t20	t24	t12	t16	t20	t24
V30	10.8	6.97	4.93	3.70	10.2	6.46	4.49	3.33
V40	13.7	8.96	6.35	4.81	13.2	8.44	5.91	4.42
V50	16.0	10.9	7.83	5.90	15.5	10.4	7.43	5.49

5. 충돌 사고 시나리오 및 검토

5.1 충돌 사고 시나리오

충돌 사고를 수치해석적으로 재구현하기 위해 ABAQUS/ Explicit 를 사용하여 실제 상황을 추정해 보았지만 실제 충돌로 인한 손상 부위의 정도를 알 수 가 없어서 추정하는데 시간이 많이 소요 되었다.

실제 상황을 재구현하기 위해서는 충돌 각도와 실제 충돌이 발생된 곳의 손상 부위의 정도를 알면 실제와 가깝게 충돌 속도를 추정할 수가 있으며 충돌 속도를 알고 충돌 각도를 모를 경우도 손상 부위의 정도를 알면 실제와 가깝게 충돌 해석을 통해 구한 이 가능할 것으로 판단된다.

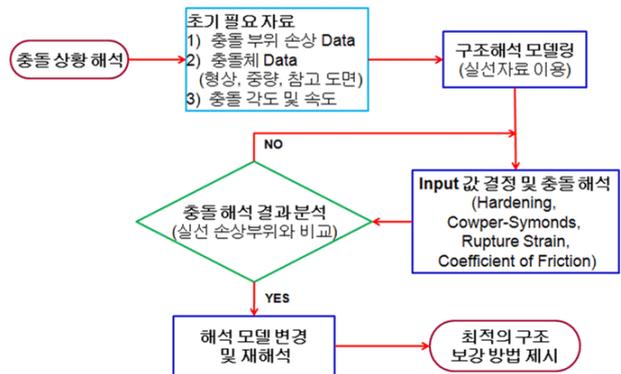


Fig. 8 Proposed Procedure for Optimum Structural Design against Collision

5.2 충돌 사고 검토

유한 요소 충돌 해석 결과를 정리한4장의 결과를 근거로 충돌 사고로 인해 종격벽에서 손상이 발생하여 판의 파단이 일어난 자료를 Fig. 9~Fig. 12에 나타내었다.

해석 결과에 의하면 종격벽의 두께가 커질수록 최대 변위 및 영구 변위는 작아 짐을 알 수 있었고 마찰계수의 영향은 종격벽의 두께가 작을수록 변위 결과 값의 변화가 큼을 알 수 있었다. 이는 마찰계수의 영향으로 판단되며 두께가 두꺼워 짐에 따라 마찰의 의한 변위 변화가 크지 않음을 알 수 있었다.

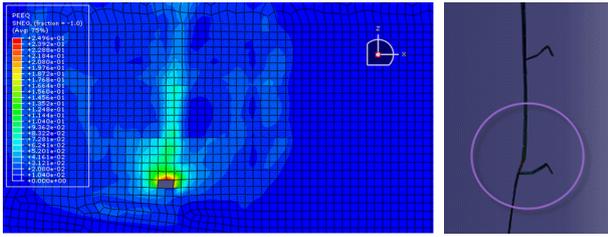


Fig. 9 Deformed Shape of Around Point 2 for Case F1_D15

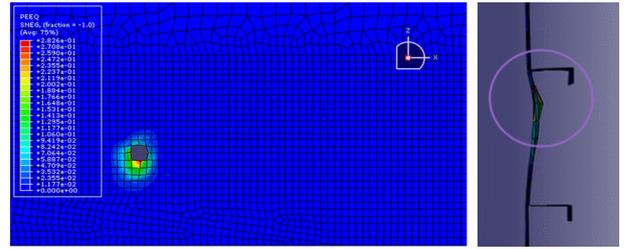


Fig. 11 Deformed Shape of Around Point 3 for Case F1_D15

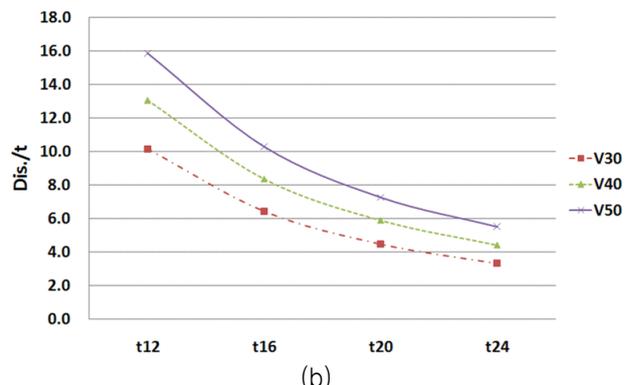
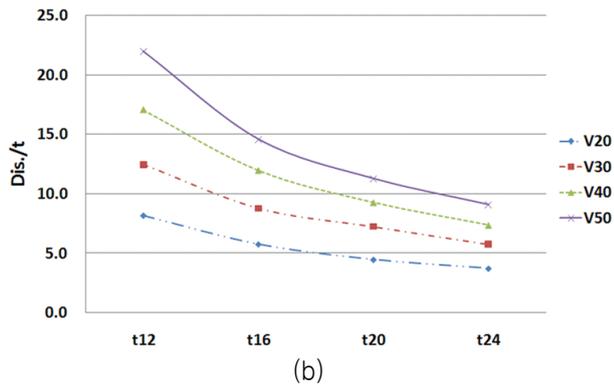
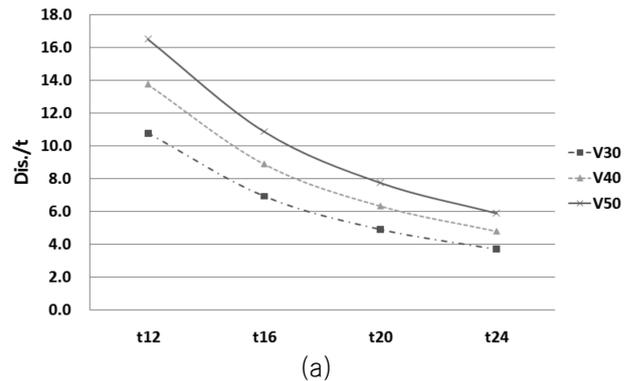
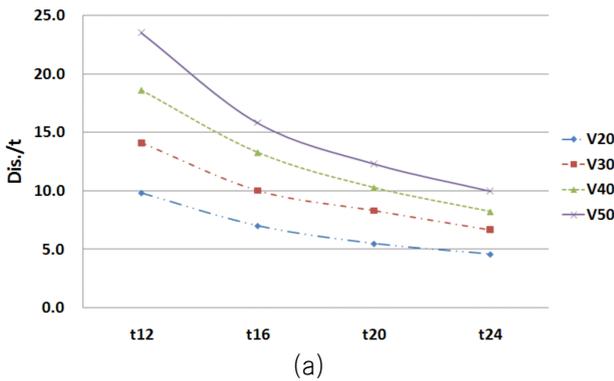


Fig. 10 Displacement of Point 2 for Case F1_D15: (a) Maximum Displacement, (b) Permanent Displacement

Fig. 12 Displacement of Point 3 for Case F1_D15: (a) Maximum Displacement, (b) Permanent Displacement

트레일러 충돌 결과에 따라 안전속도20km/h의 결과의 값이 작게 나와서 컨테이너 화물에 의한 2차 충돌 해석에서는 고려하지 않았고 30~50km/h에 대해서만 해석을 수행하였다.

최종 변형을 결과를 볼 때 컨테이너 화물에서 발생된 2차 충돌에서 종격벽의 판에서 파단이 발생된 것으로 예상되며 파단이 발생되지 않게 하기 위해서는 종격벽 판의 두께는 안전속도 20km/h에서 가속을 고려해도 2배인 40mm 이상의 속도는 발생되지 않는다는 전제로 하더라도 두께는 20mm 이상이 되어야 하는 결과가 나타났다.

컨테이너 화물 부위와 충돌이 발생한 곳은 속도가 50km/h인 경우 충돌 각도가 10°인 경우도 종격벽의 판에 파단이 일어나는 것을 알 수 있었다.

그리고 실제 충돌 사고가 일어난 당시의 충돌 속도를 예측해 보면 최소 40km/h 이상은 되며 충돌 각도는 약 15°로 예상되며 고정램프에서 나올 수 있는 최대 각도인 17°임을 고려하면 최대 각도에 가깝게 충돌이 발생한 것으로 예상이 된다.

그리고 해석 결과에서도 알 수 있듯이 경사 충돌 해석을 수행할 경우마찰에 의한 영향을 고려해야 충돌 후 영구 변형이 발생하는 것으로 판단이 되며 마찰을 고려하지 않고 해석을 수행하면 충돌 차량이 하중이 58ton임에도 불구하고 충돌에 의한 변형은 아주 미미했으며 선형 변형으로 충돌 후 영구 변형은 발생하지 않았다.

마찰계수를 F1과 F2로 구분하여 해석을 수행하였으나 컨테이너 화물의 충돌의 경우 충돌 부위의 모양을 날카롭게 하여 충돌

이 일어나게하면 접촉면이 작아 마찰에 의한 영향은 작음을 알 수 있었다.

6. 결론

본 논문에서는 충돌 사고 사례를 바탕으로 충돌 해석을 통하여 실제 충돌 상황을 추정하기 위한 연구를 수행하였다.

실제 상황을 구현하기 위해서 충돌 속도 4가지와 충돌 각도 2가지로 구분하여 총 8가지의 충돌 시나리오를 설정하고 충돌 해석을 실시하였다. 해석결과에 따르면 사고 사례의 충돌 속도는 약 40~50km/h로 추정되며 충돌 각도는 약 15°임을 알 수 있었다. 특히 컨테이너 화물에 의한 2차 충돌로 인한 전단 파단이 발생될 수 있음을 알게 되었다.

실적선 정보를 참고로 할 때 고정 램프에서 나올 수 있는 최대 각도는 17°이고 안전 속도는 20km/h지만 No. 3 갑판에서 No. 1 갑판으로 내려가는 상황이므로 트레일러 차량이 안전 속도로 운행하더라도 차량이 미끄러지게 되면 충분히 안전속도 이상의 속력을 가질 수 있다.

그러므로 초기 설계 단계에서 이를 고려하여 가능하다면 H.F.O. Tk와 같은 기름 탱크는 고정 램프 쪽으로 배치하지 않는 것이 좋을 것으로 판단되며 실적선과 같이 배치된다면 충돌 사고 상황 발생시 판의 파단이 생기지 않게 하기 위한 적절한 보강이 필요하다.

실적선에서 발생한 사고는 트레일러가 종격벽 충돌로 인해 판의 파단이 생긴 사례로 충돌되는 위치는 미리 예상하기 어려우므로 이를 보강하기 위하여 종격벽의 충돌 위치의 판의 두께를 증가시켜 이를 비교해 보고 실제 파단이 일어나지 않게 하기 위한 판의 두께를 추정하였고 두께는 속도가 40km/h가 넘지 않는다는 가정하에 20mm 이상은 보강되어야 판의 파단이 발생하지 않을 것으로 판단된다.

본 논문에서 다룬 것과 같이 선박 충돌 사고와 같은 사고 사례가 발생 될 경우 실제 상황을 구현하기 위해서는 필요한 초기 데이터 및 필요 자료를 바탕으로 하여 충돌 해석을 수행하여야 한다. 이 뿐만 아니라 이런 사고 사례들의 해석 결과를 바탕으로 충돌을 고려한 구조 설계 지침을 마련하는 것이 필요하다.

참고 문헌

- ABAQUS, 2008. ABAQUS/Explicit User's manual.
- Chae, G. I., 2008. Nonlinear structural behavior due to repeated interaction between ice breaking commercial ships and sea ice. MSc Thesis, University of Ulsan.
- Cheon, S. G., 2010. Ultimate strength assessment for foundation of bow chain stopper. MSc Thesis, University of Ulsan.
- Choung, J., Cho, S. R. & Kim, K. S., 2010. Impact test simulations of stiffened plates using micro-mechanical porous plasticity model. Ocean Engineering, 37, pp. 749-756.
- Jones, N., 1989. Structural Impact, Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Park, B. W. & Cho, S. R., 2006. Simple design formula for predicting the residual damage of un stiffened and stiffened plates under explosive loading. Internal Journal of Impact Engineering, 32, pp. 1721-1736.



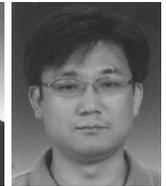
강명훈



송인



이상균



김상곤



조상래