

중형 LPG/암모니아 운반선의 CARGO TANK 구역에 대한 IGC 손상복원성 검토

박영호(현대중공업㈜), 김시원(현대중공업㈜)

1. 개 요

일반적으로 액화암모니아, LPG, 메탄, 부탄 등을 운송하는 가스운반선은 가스를 비등점 이하의 온도로 낮춰서 액화하여 운송하는 선박으로, 가스의 비등점이 -30°C 에서 -40°C 내외의 저온이므로 대기압 상태에서는 냉각되어 액화상태 약 -48°C 유지로 화물탱크에 저장 운반되어야 하는 여러 가지 제약 조건이 따른다. 이러한 가스를 보관하는 탱크는 주로 저온에 강한 니켈강을 쓰게 되며 완벽한 고도의 용접기술을 필요로 하고, 저온상태의 화물 저장 운송을 위해서는 대형 냉동기와 보온설비도 필요하다.

가스운반선은 가스를 액화시키는 방법에 따라 가압식 가스선과 저온식 가스선이 있다. 가압식은 선체에 설치된 압력용기에 상온의 가압된 액화가스를 운송하는 것으로 연안수송에 이용되며, 수천 m^3 급 이하의 소형선에 주로 이용된다. 한편 저온식은 대기압과 거의 같은 압력에서 냉각시켜 운송하는 것으로 대량수송에 적합한 방식이다. 오늘날 2만5천에서 3만5천 m^3 급의 중형 가스선 이상에서 대량의 수송능력을 가진 저온식 가스운반선이 많이 취항하고 있으며, 최근에는 8만 m^3 급 이상의 대형 선박으로 건조되고 있는 추세이다.

한편, 가스운반선은 화물 특성상 선박이 외부로부터 손상을 입었을 때 이를 극복할 수 있는 손상복원성이 그 어느 선박보다 중요하게 취급된다. 이로 인하여 SOLAS 에서는 가스 운반선에 대한 손상복원성 계산법을 IGC Code(Gas Carrier Code)에

서 별도 Code집으로 정의하여 모든 가스선에 의무적으로 적용하게 하고있다.

2. 본 론

본 고에서 기술하는 선박은 2003년 건조하여 인도된 3만5천 m^3 급 LPG/암모니아 운반선으로 저온식 액화방법을 위해 3개의 Cargo Tank 구획을 Prismatic Type으로 채택하여 Center Bulkhead에 의해 Port와 Starboard로 분리된 격벽구조로 설계되어 있는 중형급 가스 운반선으로써 IGC Code 분류에 의한 2G Ship Type으로 IGC Code 손상복원성을 충족시키는 Subdivision을 고려하여 계획하였으나 LPG/암모니아 Cargo Discharge Operation 과정에서 Cargo Tank Bottom에 남아있는 액화상태의 화물을 원활히 배출하기 위해 Bottom Well에 Heating Pipe를 설치하고 양 현 Tank Bottom에서 Common Pipe화로 서로 관통하게 설계하였다. 이로 인하여, 설계된 Cargo Tank 구조에 대하여 IGC Code 손상복원성을 검토하게 되었다.

본 보고에서는 손상복원성 측면의 IGC Code분류에 의한 Ship Type 및 이에 대응하는 Cargo Tank의 위치를 소개하고, Cargo Tank의 Bulkhead가 Pipe에 의해 관통되었을 때의 손상복원성 만족을 위한 세부 검토사항을 소개하고자 한다.

3. 가스운반선의 특징

가스운반선은 Leakage가 발생했을 때 선체의 파괴뿐만 아니라 증발가스의 확산으로 주위 환경에

대한 중대사고가 초래되므로 일반화물선과는 달리 화물의 적납 및 취급에 대한 구조설비의 특별한 규정이 필요하며 다음과 같은 주요 특징이 있다.

- 저온의 액화화물을 적재할 수 있는 용기의 필요성과 저온성 재료
- 저온의 액화화물을 적하와 양하를 하는데 필요한 Cargo Handling System (Compressor, etc.)
- 폭발 가능성을 감소시키기 위한 안전 대비 장치(Common or 각각의 Vent Riser)
- Boil Off Gas의 손실을 막기 위한 재액화 장치
- Cargo Control을 항해 중에 완전 자동화하고 Gas 누출 감소 및 안전을 위한 각종 장치
- Sea Trial후 Cargo System관련 Gas Trial의 필요성(적하 양하시 액화화물 저장운송)
- 주요 규정으로 IMO 및 USCG 등 적용

4. 가스운반선의 Ship Type 분류

선체 손상에 의한 침수시의 생존(Survival)가능성과 적재 화물의 위험도에 따라 Cargo Tank와 선체 외관간의 최소 거리를 규정하고 있다.

1) 일반적인 분류

Cargo Tank 보호 및 화물 유출시의 위험도에 따라 선박의 Type이 다음과 같이 결정된다.

(1) Type "1G"

- 가스누출을 방지할 수 있는 최대(Maximum)량의 Cargo를 운송 할 수 있도록 요구되는 가스운반선(가장 위험하다고 간주되는 화물을 운송하는 가스 운반선이며 화물 탱크는 외관으로부터 선 내측에 최대규정 거리에 배치되어야 한다).

(2) Type "2G"

- Type 1G 보다 One(1) Grade 낮은 가스 누출을 방지할 수 있는 상당(Significant)량의 Cargo를 운송 하도록 요구되는 가스운반선.

(3) Type "2PG"

- Type 2G에 해당하는 길이 150m 보다 작은 가스운반선으로, 운송하는 Cargo는 독립된 Type "C" Cargo Tank로 구성되고 7 Bar Gauge 이상이고 -55°C 이상의 액화화물 운송이 가능한 가스운반선.

(4) Type "3G"

- Type 2PG 보다 One(1) Grade 낮은 가스 누출을 방지하는 적당(Moderate)량의 Cargo를 운송 하도록 요구되는 가스운반선.

◆ Note

- ◆ "A" Type Cargo Tank ; Cargo Tank 형상이 독립된 Prismatic Type 구조로 중형급 이상 가스 운반선에서 주로 적용.
- ◆ "C" Type Cargo Tank ; Cargo Tank 형상이 독립된 Cylindrical Type 구조로 주로 소형 가스 운반선에서 적용.

2) Ship Type별 손상 침수의 기준

(1) Type "1G"

- A type 1G Ship should be assumed to sustain damage anywhere in its length ; 선체의 크기에 관계없이 선측 및 선저 손상에 의한 기관실 주위벽을 포함하여 선체 각 부의 손상에 의한 침수.

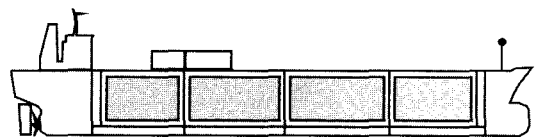


Fig.1. Type 1G, Type 2G & L > 150m : Damage anywhere

(2) Type "2G"

- A type 2G Ship of more than 150m in length should be assumed to sustain damage anywhere

in its length ; 선측 및 선저 손상에 의한 기관실 주위벽을 포함하여 선체 각 부의 손상에 의한 침수.

- A type 2G ship of 150m in length or less should be assumed to sustain damage anywhere in its length except involving either of the bulkheads bounding a machinery space located aft ; 기관실 주위벽을 제외한 선측 및 선저 손상에 의한 침수.

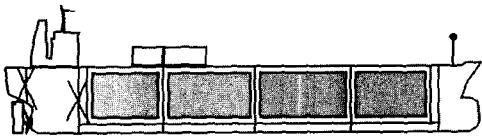


Fig.2. Type 2G & L ≤ 150m : As Fig.1, except E.R. bulkheads

(3) Type “2PG”

- A type 2PG ship should be assumed to sustain damage anywhere in its length except involving transverse bulkheads spaced further apart than the longitudinal extent of damage ; $1/3Lf^{2/3}$, 또는 14.5m중 큰 값 이상 떨어져 배치된 주횡격벽을 제외한 선측 및 선저 손상에 의한 침수.

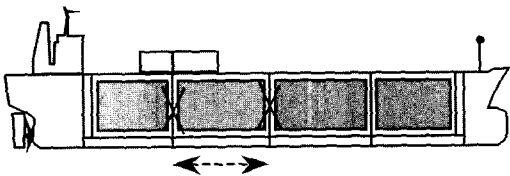


Fig.3. Type 2PG, Type 3G & L > 125m : As per type 1G, except bulkheads spaced

(4) Type “3G”

- A type 3G ship of 125m in length or more should be assumed to sustain damage anywhere in its length except involving transverse bulkhead spaced further apart than the longitudinal extent

of damage.

$1/3Lf^{2/3}$, 또는 14.5m중 큰 값 이상 떨어져 배치된 주횡격벽을 제외한 선측 및 선저 손상에 의한 침수.

- A type 3G ship less than 125m in length should be assumed to sustain damage anywhere in its length except involving transverse bulkheads space further apart than the longitudinal extent of damage. and except damage involving the machinery space when located aft. However, the ability to survive the flooding the machinery space when should be considered by the Administration ;

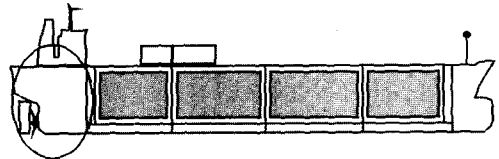


Fig.4. Type 3G & L ≤ 125m : As per Type 2PG and no damage in E.R.

3) Ship Type별 화물탱크의 위치

(1) Type of 1G Ship

Cargo Tank는 선측 및 선저 손상범위 바깥에 위치하며, 최소한 Side Shell로부터 760mm 안쪽에 배치해야 한다.

(2) Type 2G, 2PG, 3G Ship

Cargo Tank는 선저 손상범위 바깥에 위치하며, Side Shell로부터 760mm 안쪽에 배치한다.

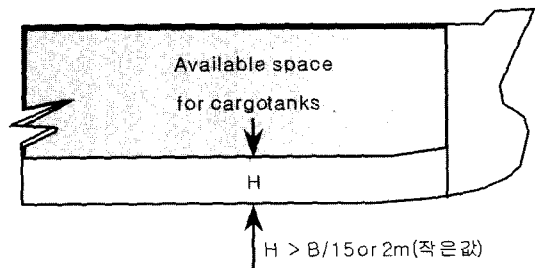


Fig.5. All Types of Ships

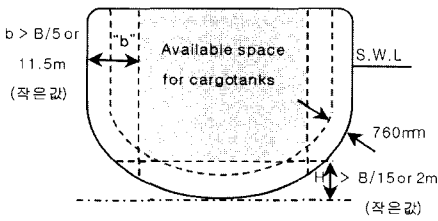


Fig.6. Type 1G ship

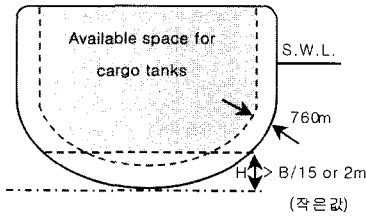


Fig.7. Type 2G,2PG & 3G ships

- LBP ----- 165.00 m
- Breadth ----- 28.00 m
- Depth ----- 17.80 m
- Scantling draft ----- 10.40 m

◆◆ Note

Cargo Tank가 3개의 Prismatic 형상으로 구성된 "A" Type Cargo Tank 및 2G Ship Type 가스운반선임.



Fig.8. 당사건조 3만5천m³급 LPG/암모니아 운반선

(3) 멤브레인 AND 세미멤브레인 탱크

멤브레인이나 세미멤브레인 탱크의 경우 선저 손상의 수직 방향은 Inner Bottom 까지이고, 선측 손상의 횡방향 범위는 중통격벽까지로 한다. 기타의 경우는 선저 손상의 수직방향 범위는 화물 탱크의 저부까지이며 횡방향 범위는 화물탱크의 측부까지 측정한다. 그리고 Internal Insulation Tank의 경우 Supporting Tank Plating까지 측정한다.

(4) Tank Bottom Well 형상

Type 1G 선박을 제외하고 화물탱크의 Suction Well 은 선저 손상범위 내로 돌출 될 수 있다.

Double Bottom Depth 25% or 350mm중 작은 것. 이중저가 없는 Independent Tank인 경우 선저 손상범위 아래로 350mm를 넘어서는 안된다.

5. 가스운반선의 Cargo Tank (P&S)가 Pipe 에 의해 관통 되었을 때의 손상복원성 검토 및 만족을 위한 조치사례

1) 3만5천m³급 LPG/암모니아 운반선 주요 Dimension

- Type 2G Ship

2) Damage Extent 및 Cases

- (1) IGC Code에 규정된 손상가정(Damage Assumption) 및 이에 따른 3만5천m³급 LPG/암모니아 운반선의 손상복원성 계산을 위한 최대손상범위(Maximum Extent)는 Table.1과 같이 그 값이 얻어진다.
- (2) Table.1보다 작은 손상범위의 손상에 대한 손상복원성도 검토가 필요하며, Type 1G, 2G Ship 은 Side Shell에서 760mm 이상의 손상에 대해서도 검토가 필요하다.

3) 3만5천m³급 LPG/암모니아 운반선 Damage Case

150m 이상의 Freeboard Length를 갖는 2G Ship Type 가스 운반선의 경우 손상복원성 계산을 위한 Damage Cases는 1G Ship Type의 가스 운반선과

Table 1. IGC Code규정에 따른 손상복원성 계산을 위한 손상가정(Damage Assumption) 규정 및 3만5천m³급 LPG/암모니아 운반선의 최대손상범위 적용 예

	SIDE DAMAGE	BOTTOM DAMAGE 0.3L From F.P	Elsewhere
Longitudinal Extent	1/3 Lf ^{2/3} or 14.5 m, Whichever is less	1/3 Lf ^{2/3} or 14.5m, Whichever is less	1/3 Lf ^{2/3} or 5.0m, Whichever is less
	*10.149m (1/3 Lf ^{2/3})	*10.149m (1/3 Lf ^{2/3})	*5.0 m
Transverse Extent	B/5 or 11.5m, Whichever is less	B/6 or 10m, Whichever is less	B/6 or 5m, Whichever is less
	*5.60m (B/5)	*4.667m (B/6)	*4.667m (B/6)
Vertical Extent	From the base line upward without limit	B/15 or 2m, Whichever is less measured from the moulded line of the bottom shell plating at center line	B/15 or 2m, Whichever is less measured from the moulded line of the bottom shell plating at center line
		*1.867 m (B/15)	*1.867 m (B/15)

같은 수준의 Damage Case를 요구하고 있다. 즉 Table 1의 최대손상 범위 내에서 어느 곳에 선체의 손상을 받더라도 생존(Survival) 가능성이 존재하여야 한다. 이에 본 3만5천m³급 LPG/암모니아 운반선은 위의 규정에 맞게 설계하기 위하여 많은 Case에서 손상복원성을 검토하게 되었다. 다음에 열거된 Case는 Side Damage Case와 Bottom Damage Case의 많은 예 중 Cargo Tank의 손상을 포함한 대표적인 손상복원성 계산을 위한 Case를 그림과 함께 열거 했다.

(1) Side Damage Case (Typical)

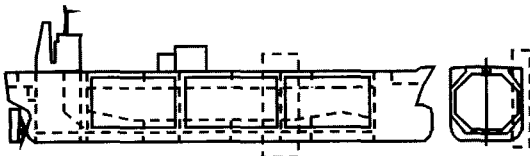


Fig. 9. Damage Tanks : NO.1 & 2 CARGO TK(S), NO.1 & 2 HOLD SPACE, NO.2 D.B.W.B.TK(S), NO.2 T.S.W.B.TK(S)

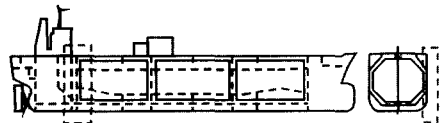


Fig.10. Damage Tanks ; NO.3 CARGO TK(S), NO.3 HOLD SPACE, NO.4 D.B.W.B.TK(S), NO.4 T.S.W.B.TK(S), ENGINE ROOM, NO.1 & 2 H.F.O.TK, HFO SERV.TK, M.D.O. STOR.TK, M.D.O.SERV.TK

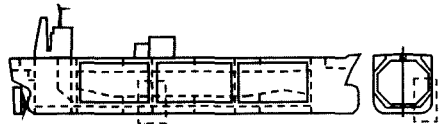


Fig. 11. Damage Tanks ; NO.2 & 3 CARGO TK(S), NO.2 & 3 HOLD SPACE, NO.3 D.B.W.B.TK(S)

(2) Bottom Damage Case (Typical)

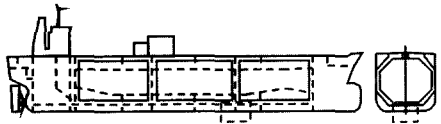


Fig.12. Damage Tanks ; NO.1 & 2 HOLD SPACE, NO.1 D.B.W.B.TK(P&S), NO.2 D.B.W.B.TK(P&S)

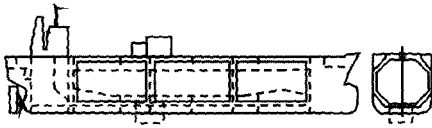


Fig. 13. Damage Tanks ; NO.2 & 3 HOLD PACE, NO.3 D.B.W.B.TK(P&S), NO.4 D.B.W.B.TK (P&S)

4) 손상복원성 검토용 Cargo Tank 형상

초기 Side Damage에 의한 선폭 방향의 Flooding Extent를 고려하여 Center Bulkhead를 배치하여 손상복원성을 만족시키기 위해 양 현으로 분리시키는 것을 기본 계획으로 하였다. 그러나 위에서 언급한 바와 같이 LPG/암모니아 Cargo Discharge Operation 과정에서 Cargo Tank Bottom에 남아있는 액화 상태의 화물을 원활히 배출하기 위해 Bottom Well에 Heating Pipe를 설치하고 양 현 Tank Bottom에서 Common Pipe화 하여 서로 관통되게 설계하였다. 이로 인해 Cargo Tank가 분리되지 못하고 Fig. 14와 같이 One Center Tank로 취급된다.

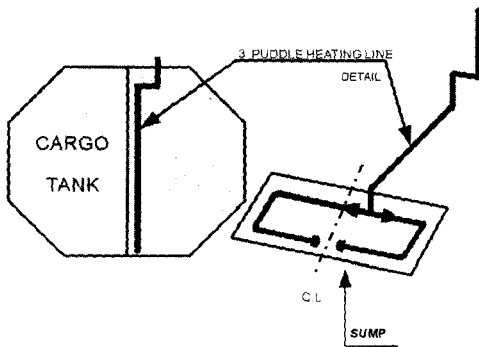


Fig. 14. 3" Puddle Heating Line에 의해 양 현이 관통된 Cargo Tank 개략도

5) Cargo Tank(P&S)가 Pipe에 의한 관통시 손상 복원성 만족을 위한 조치 사례

(1) 손상복원성 계산

Cargo Tank 손상을 가정한 Damage Case 중 Cargo Tank의 Port와 Starboard가 동시에 손상되는 것으로 가정하여 손상복원성을 계산 하였다.

(2) 손상복원성 계산 결과

- No.1 & 2 Cargo Tank(P&S)가 동시에 침수 되는 것으로 가정한 Damage Case에서는 충분한 G' M(복원력)값을 확보하지 못해 손상복원성을 만족하지 못함 (Minus G' M).
- No.2 Cargo Tank(P&S)가 동시에 침수되는 경우 손상복원성을 만족함.
- No.3 Cargo Tank(P&S)가 동시에 침수되는 경우 선미쪽 Tank의 Progressive Flooding 현상으로 인해 손상복원성을 만족하지 못함.

◆ Note

침수의 가상(손상복원성 계산)

- ① 모든 적재 상태에서 Draft, Trim, 적재화물, 비중 및 자유표면효과 등을 고려하여 계산한다.
- ② 액체화물 적재 Tank가 손상되는 경우 액체화물과 해수가 최종 흡수까지 완전히 치환되는 것으로 간주한다.
- ③ 손상범위와 손상기준 범위내의 수밀구획도 손상되는 것으로 간주한다.
- ④ Valve 또는 Cross-Leveling장치가 부착되는 경우 이러한 장비는 횡경사 감소와 잔존 복원력의 확보를 목적으로 사용되어서는 안되며 모든 침수단계에서도 충분한 잔존 복원력을 확보할 수 있어야 한다.

※ 참고로 아래의 Table 2는 선박이 침수 되었을 때 IGC Code에서 정의한 선박의 잔존조건을 보여 주고 있다.

(3) 손상복원성 만족 위한 조치사항

- ① No.1 & 2 Cargo Tank(P&S)가 동시에 침수 되어 복원력(G' M)값을 충분히 확보하지 못하여 손상복원성을 만족하지 못하는 Case에서는 No.1 Cargo Tank용 Puddle Heating Line을 Fig.15에서 보는 바와 같이 Port와 Starboard로 별도

Table 2. 침수시 선박의 잔존조건

잔존조건	
침수의 모든단계	최종상태
1. 개구(공기관, Door, 창구)가 홀수선 상방에 위치	1. 복원성 범위가 20도 이상일 것.
2. 비대칭 침수에 의한 최대 횡경사가 30도를 넘지 않을 것.	2. 최대 복원정이 100mm 이상일 것.
3. 주관량이 충분하다고 인정하는 복원성 기준을 만족할 것.	20도 범위내에서 복원정 Curve하의 면적이 0.0175m ² /rad 이상일 것
	3. 보호되지 않는 개구가 규정의 복원범위(20도) 내에서 침수하지 않을 것.
	4. 구명설비는 최종 횡경사각 내 측면으로부터 조작가능 할 것.
	5. 비상용 동력이 최종의 횡경사각에서 조작가능 할 것.

분리설치하여 No.1 Cargo Tank 손상시 한쪽 Tank만 손상을 입는 것으로 가정함으로써 손상복원성을 만족할 수 있도록 조치하였다. 단, No.2 Cargo Tank는 Heating Line을 한 쪽만 배치하여 양 현 Tank가 동시에 손상을 입는 것으로 가정하였다.

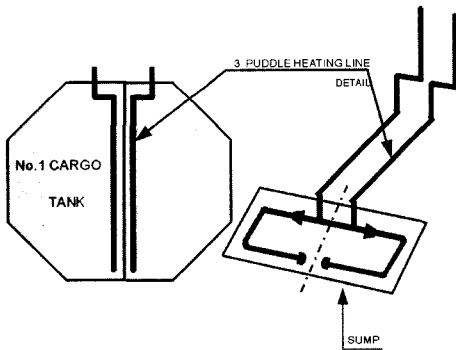


Fig. 15. No.1 Cargo Tank내 Puddle Heating Line을 Port와 Starboard로 분리 설치한 개략도

② No.3 Cargo Tank(P&S) 및 Engine Room이 동시에 침수되어 Progressive Flooding현상에 의해 손상복원성을 만족하지 못하는 Case에서는 No.3 Cargo Tank내의 Puddle Heating Line을 분리 설치하지 않고 Fig.16과 같이 Steering Gear Room과 Engine Room 사이의 Door를 Watertight Door로 교체하여 선미쪽에서 Progressive Flooding이 발생하더라도 Engine Room에 영향이 없게 하여 손상복원성을 만족

할 수 있도록 조치하였다.

③ 상기 ①②항 들을 본선에 적용 후 손상복원성을 계산하여 선급승인 득하고 본선 인도를 완료하였다.

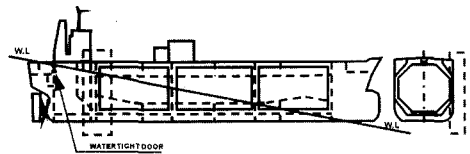


Fig.16 No.3 Cargo Tank(P&S)와 Engine Room 등 침수시 Water Line 형성 및 Engine Room 과 Steer Gear Room 사이의 Water Tight Door 설치도.

6. 맺은말

본 보고에서 기술한 손상복원성 계산에서 적용된 사례와 같이 Center Bulkhead로 분리된 Prismatic Cargo Tank Type의 가스운반선에서는 Port와 Starboard에 별도로 Puddle Heating Line을 설치하는 것을 원칙으로 하되, 선박건조의 경제성 및 Cargo Discharge Operation의 편의성을 고려하여 Common Heating Line 적용시, 손상복원성을 충분히 검토하여 이를 만족하는 Cargo Tank가 있다면 설계 계획시 이를 검토하여 Common Type으로 적용 하여도 무관하리라 사료된다.

오늘날 2만5천 또는 3만5천m³급의 중형 가스 운반선에서 점차 6만 또는 8만m³급의 대형 가스 운반선으로 변화하는 과정에서 고려되어야 할 여러

가지 요인들 중에 선박의 안전성이 최우선적으로 고려 되어야 함은 아무리 강조하여도 지나치지 않을 것이다. 그러므로 선박을 건조하는 Yard에서는 배의 경제성, 운항효율성과 더불어 선체 손상시 대형사고를 미리 예방하기 위해 충분한 손상복원성을 갖도록 하기 위한 세밀한 검토가 설계 초기단계부터 필요하다 하겠다.

후 기

본 내용은 현대중공업(주)에서 2003년 건조하여 선주에게 성공적으로 인도한 3만5천m³급 LPG/암모니아 운반선 건조 중 실제로 경험 적용한 내용을 서술하였음을 밝힌다. ∩

박 영 호 | 현대중공업(주)



- 1955년생
- 1982년 부산대 조선공학과 졸업
- 현 재 : 현대중공업(주) 조선사업
본부 선체설계 1부, 부장
- 관심분야 : Gas Carrier 기본설계
선박 조종성능
- 연 락 처 : 052-230-3622
- E-Mail : parkho@hhi.co.kr

김 시 원 | 현대중공업(주)



- 1970년생
- 1993년 충남대 선박해양공학과 졸업
- 현 재 : 현대중공업(주) 조선사업
본부 선체설계 1부, 과장
- 관심분야 : 신기술 / 신선형 개발
선박 조종성능
- 연 락 처 : 052-230-3623
- E-Mail : swon1013@hhi.co.kr