

工學碩士 學位論文

接近手段 設置 規定을 考慮한 中型 油槽船의
中央 橫斷面圖 最適 構造 設計에 關한 研究

A Study on the Optimum Structure Design of Midship Section
for Panamax Oil Tanker considering the Regulation of
Means of Access

指導教授 朴 命 圭

2006年 2月

韓國海洋大學校 海事産業大學院

造船海洋建築工學科

申 星 光

本 論文을 申星光의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

主 審： 趙 孝 濟 (印)

副 審： 金 正 萬 (印)

副 審： 朴 命 圭 (印)

2006 年 2 月

韓 國 海 洋 大 學 校

海 事 產 業 大 學 院

목 차

목 차	i
List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vi
제1장 서 론	1
제2장 검사용 접근설비(PMA, Permanent Means of Access)	3
2.1 배 경	3
2.2 적용대상 및 적용시기	3
2.2.1 적용대상	3
2.2.2 적용시기	3
2.3 검사를 위한 접근수단에 대한 기술규정	4
2.4 유조선 밸러스트 탱크 및 화물 탱크의 접근수단	12
2.4.1 밸러스트 탱크, 화물유 탱크 갑판하 및 수직구조에 대한 접근	12
2.4.2 이중선측구조를 형성하는 폭 5m 미만인 선측 밸러스트 탱크, 빌지호퍼부 갑판하 및 수직구조에 대한 접근	14
제3장 선체 중앙 단면의 구조설계	18
3.1 일반 배치	18
3.2 중앙 단면 형상 결정	19
3.2.1 이중선체규정 적용	19
3.2.2 주요 선체 구조부재 배치	20
3.2.3 격벽 구조형상 및 배치	23
3.3 선체 구조강도 결정	24
3.3.1 Scantling	24
3.3.2 구조해석	25
제4장 접근수단 적용을 위한 최적설계	26
4.1 연구 배경	26
4.2 최적 구조형상 및 구조배치 특징	27
4.2.1 Double bottom 높이 및 Double side 폭 결정	27
4.2.2 Upper deck transverse web 구조배치 결정	27
4.2.3 Top side wing tank 구조형상 결정	29
4.2.4 중앙 중격벽 Vertical web의 구조형상 결정	30
4.2.5 Stringer 구조배치 결정	31

4.3 중앙 횡단면 최적 설계에 따른 기대효과	32
제5장 선급규칙에 의한 구조강도 평가	34
5.1 선급규칙에 따른 중강도(hull girder strength)	34
5.1.1 Wave bending moment	35
5.1.2 Hull girder section modulus	35
5.1.3 Minimum section modulus	35
5.1.4 Minimum moment of inertia	35
5.1.5 SafeHull phase-A 결과	36
5.2 선급규칙에 따른 중강도부재의 치수 계산	37
5.2.1 종보강판의 치수 결정	37
5.2.2 종보강재의 치수 결정	39
5.3 선급규칙에 따른 구조해석	42
5.3.1 구조의 모델링	43
5.3.2 하중조건	43
5.3.3 경계조건	44
5.3.4 해석결과	45
제6장 결 론	54
참고문헌	56
부 록	57

List of Tables

Table 3.1 Double hull tanker arrangement by MARPOL.....	20
Table 4.1 Expectation effect due to new design	32, 33
Table 5.1 Principal dimension.....	34
Table 5.2 Scantling of longitudinal plate	38, 39
Table 5.3 Scantling of longitudinal stiffener	40, 41
Table 5.4 Summary of loading conditions	44
Table 5.5 Summary of yielding assessment.....	46
Table 5.6 Summary of buckling assessment	50

List of Figures

Fig. 2.1	Sketch of the technical provision item 3.3	4
Fig. 2.2	Sketch of the technical provision item 3.4	5
Fig. 2.3	Sketch of the technical provision item 3.5	6
Fig. 2.4	Sketch of the technical provision item 3.6	7
Fig. 2.5	Sketch of the technical provision item 3.8	8
Fig. 2.6	Sketch of the technical provision item 3.10	9
Fig. 2.7	Sketch of the technical provision item 3.11.....	9
Fig. 2.8	Sketch of the technical provision item 3.13	11
Fig. 2.9	Sketch of the technical provision item 3.14	11
Fig. 2.10	Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-1.1.1)	12
Fig. 2.11	Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-1.1.2)	12
Fig. 2.12	Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-1.1.4)	13
Fig. 2.13	Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-1.1.5)	13
Fig. 2.14	Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-2.1.1)	15
Fig. 2.15	Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-2.1.2, 2.1.3)	15
Fig. 2.16	Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-2.2)	16
Fig. 2.17	Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-2.2.1)	16
Fig. 2.18	Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-2.2.2)	17
Fig. 2.19	Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-2.3)	17
Fig. 3.1	General arrangement of panamax tanker	18
Fig. 3.2	Sketch of midship section for double hull tanker	19
Fig. 3.3	Midship section of general design for panamax tanker	22
Fig. 3.4	Typical transverse bulkhead for panamax tanker	23
Fig. 4.1	Midship section of new design for panamax tanker	26
Fig. 4.2	Structural arrangement of double bottom height & double side width	27
Fig. 4.3	Structural arrangement of upper deck transverse web at the general design	28
Fig. 4.4	Structural arrangement of upper deck transverse web at the new design	28
Fig. 4.5	Structural arrangement of top side wing tank for general idea	29
Fig. 4.6	Structural arrangement of top side wing tank	29

Fig. 4.7	Structural arrangement of big bracket i.w.o vertical web for general idea	30
Fig. 4.8	Structural arrangement of vertical web	30
Fig. 4.9	Structural arrangement of stringer	31
Fig. 5.1	Sketch of local plate ID	37
Fig. 5.2	Sketch of local stiffener ID	39
Fig. 5.3	Flowchart of F.E. analysis	42
Fig. 5.4	3-D F.E. analysis model	43
Fig. 5.5	Loading conditions	43
Fig. 5.6	Sketch of boundary condition	44
Fig. 5.7	Deformed shape	45
Fig. 5.8	Yielding stress assessment for typical web frame	47
Fig. 5.9	Yielding stress assessment for fwd web frame	47
Fig. 5.10	Yielding stress assessment for no.1 stringer	48
Fig. 5.11	Yielding stress assessment for no.2 stringer	48
Fig. 5.12	Yielding stress assessment for no.3 stringer	49
Fig. 5.13	Buckling assessment for typical web frame	51
Fig. 5.14	Buckling assessment for fwd web frame	51
Fig. 5.15	Buckling assessment for no.1 stringer	52
Fig. 5.16	Buckling assessment for no.2 stringer	52
Fig. 5.17	Buckling assessment for no.3 stringer	53

A Study on the Optimum Structure Design of Midship Section for Panamax Oil Tanker considering the Regulation of Means of Access

by
Sung Kwang, Shin

Department of Maritime Engineering
Graduate School of Maritime Industrial Studies
Korea Maritime University

Abstract

Compulsory enforcement of double hull structure and a phase-out of single hull structure were introduced by IMO(International Maritime Organization) with the effectuation of OPA90(Oil Pollution Act 90) due to ocean pollution by marine accident of Exxon Valdez on Alaskan in 1989. After that, marine accident of Erika occurred in 1999. Under the circumstances, the plan to abolish single hull structure was advanced a date.

Besides, SOLAS Reg.II-1/3-6 that includes reinforcement of installation of means of access for inspection as a part of ESP(Enhanced Survey Program) for bulk carrier and oil tanker was established, it has been applied to those vessels built since 01 of January in 2005.

And IACS (International Association of Classification Societies) organized Joint Working Group with the classification society, shipping companies and shipyard of each country and developed the detail application standards for Technical Provision related to SOLAS Reg.II-1/3-6

In this study, Contents of the new compulsory SOLAS Reg.II-1/3-6 and Technical Provision have been investigated and applied to the double hull panamax oil tanker.

For effective means of access, new conceptual midship section is developed from the improvements of structural shape for the primary structure as well as the modified structural arrangements.

Additionally, structural stability for the developed midship section is carried out by SafeHull of ABS which is the program to calculate structure strength.

The scantling and structure analysis for the midship section introduced in this paper is carried out by STX shipbuilding and ABS(American Bureau of Shipping) together.

It is the first attempt that the above-mentioned midship section is applied to the panamax oil tanker with plane type bulkhead. Therefore the introduced midship section is expected that it is helpful for the design considered to install permanent means of access.

제1장 서론

80년대 중반이후 고장력강을 사용한 산적화물선들의 연이은 선체구조 손상에 의한 전손사고와 유조선 Erika호 및 좌초된 지 6일 만에 결국 두 동강이 난 채스페인 서쪽의 3,500m 해저로 침몰한 유조선 Prestige호로 인한 해양 오염사고는 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)가 그동안 기울여 온 해상인명과 재산 및 오염방지를 위한 노력의 효율성에 의구심을 불러왔다. 이러한 의구심은 각 회원국들에 대하여 철저한 규제와 훈련제공, 검사대행단체들의 업무와 기술개발에 대한 투명성 요구 및 기타 해사 관련단체들에게 기술적인 기여를 요구하고 있다.

최근까지 국제해사기구(IMO)의 입법은 사고가 난 후 이의 원인을 분석하고 재발방지를 위한 조치를 하는 개념에서 이루어져 왔다. 이는 적용되고 있는 안전법규 도입 시의 완벽성에 대한 막연한 신뢰와 자신에서 비롯되었다고 할 수 있으나, 선박의 수명에 비하여 비약적으로 발전되고 있는 설계개념, 첨단 기술 장비의 도입과 해상교통량의 증가 등 너무도 예측 불가능한 많은 요소들 때문에 사고를 방지하는 데에는 한계가 있었다. 이러한 현상을 인지하게 된 국제해사기구(IMO)는 정확한 허용가능 위험도(acceptable risk level)에 기초한 경제성 평가(formal safety assessment)를 통하여 위험요소를 사전에 제거하는 방향으로 선회하고 있다.

1989년 알라스카에서 Exxon Valdez호의 해난사고에 의한 해양오염에서 비롯된 미국의 기름오염 방지법안(Oil Pollution Act 90, OPA90) 발효는 국제해사기구(IMO)로 하여금 결국 이중선체 구조(double hull and bottom structure) 유조선의 강제화와 기존 단일선체 유조선의 단계적 폐지를 도입하였고(MARPOL 13G) 이후 1999년 Erika호 사고를 거치면서 폐지일정을 앞당기게 되었다.

또한, 최근 국제해사기구(IMO)에서는 해난사고가 잦은 유조선(oil tanker)과 산적화물선(bulk carrier)에 대하여 검사강화제도(Enhanced Survey Program, ESP)의 일환으로 해당 선박에 대해 효율적인 검사 수행을 위한 접근수단(means of access for inspection)의 설치를 강화하는 내용으로 SOLAS Reg.II-1/3-6을 신설하고, 2005년 1월 1일 이후 건조되는 유조선 및 산적화물선에 적용하도록 하였다. 그리고 국제선급연합회(International Association of Classification Societies, IACS)에서는 각국의 선급, 해운선사 및 조선소와 같이 Joint Working Group을 결성하여 SOLAS Reg.II-1/3-6 관련 Technical Provision의 문구에 대한 구체적인 적용 지침을 개발하였다.

따라서 본 연구에서는 정확한 접근수단(means of access) 설치를 위해 새로 개정되어 발효된 SOLAS Reg.II-1/3-6 규칙 및 부속되는 Technical Provision의 주요내용을 분석하고 이중선체구조를 갖는 중형 유조선((panamax oil tanker)에 적용하였다.

효율적인 접근수단 적용을 위해 주요부재 배치를 변경하는 것 이외에 주요부재의 구조형상을 제안하여 새로운 개념의 중앙 횡단면도(midship section)를 개발하였다. 또한 개발된 중앙 횡단면도의 구조안정성 평가는 미국선급(American Bureau of Shipping, ABS)의 전용 구조강도 계산 프로그램인 SafeHull을 사용하여 수행하였다.

제2장 검사용 접근설비 (Permanent Means of Access, PMA)

2.1 배 경

- 2000. 8. : MEPC 45차에서 보다 용이하게 선박을 검사할 수 있도록 SOLAS Reg.II-1/12-2의 요건을 재검토할 것을 바하마에서 제안 함.
- 2001. 3. : DE 44차에서 SOLAS Reg.II-1/12-2 개정안 마련됨.
- 2001. 6. : MSC 74차에서 검사를 위한 접근수단에 대한 기술규정 (technical provision)을 DE 45차에서 마련하기로 함.
- 2002. 3. : DE 45차에서 Technical Provision 마련됨.
- 2002. 12. : MSC 76차에서 SOLAS Reg.II-1/3-6 신설 및 Technical Provision 에 대한 Resolution MSC.133/4(76) 채택됨.
- 2003. 11. : 그리스 등에서 Resolution MSC.133/4(76)에 대한 개정안을 DE 47 차에 제출함.
- 2004. 3. : DE 47차에서 개정안 채택됨.
- 2004. 4. : Resolution MSC.133/4(76)에 대한 IACS 공통해석인 IACS UI SC190 제정됨.
- 2004. 5. : MSC 78차에서 SOLAS Reg.II-1/3-6 개정안 Resolution MSC.151/8(78) 채택됨.
- 2004. 11. : Resolution MSC.151/8(78)에 대한 IACS UI SC191 마련됨.

2.2 적용대상 및 적용시기

2.2.1 적용대상

- GT 500톤 이상 유조선 및 GT 20,000톤 이상 산적화물선

2.2.2 적용시기

- Resolution MSC.133/4(76)-2005년 1월 1일 이후 건조되는 선박 (용골거치 기준)
- Resolution MSC.151/8(78)-2006년 1월 1일 이후 건조되는 선박 (용골거치 기준)

2.3 검사를 위한 접근수단에 대한 기술규정

MSC에서 결의된 기술규정은 구역 및 선체 구조에 대한 현상검사, 정밀검사 및 점검을 수행하기 위한 접근수단에 대하여 기술하고 있다. 선체 구조에 대한 접근수단의 요건은 구역에 대한 접근용으로 항상 적합할 수는 없다. 그러나 구역에 대한 접근수단이 의도된 검사 및 점검을 위해 사용될 수 있다면 검사 및 점검용으로 인정될 수 있다.

본 연구에서는 기술규정의 내용을 언급하고 내용에 대한 이해를 쉽게 하기 위하여 가능한 한 그림을 삽입하여 도시하였다.

- 1) 이중저 구역(double bottom spaces)의 부재를 제외하고, SOLAS 제II-1장 제3-6규칙에 언급된 선체 구조에 대한 정밀검사 및 두께측정의 대상이 되는 구조부재에는 영구적인 접근수단이 제공되어야 한다. 광석운반선(ore carriers)의 선측 밸러스트 탱크(wing ballast tank)와 유조선은 선체 구조상 대체 수단을 안전하고 효과적으로 사용할 수 있는 경우에 승인된 대체수단을 영구 접근수단과 결합하여 사용할 수 있다.
- 2) 영구 접근수단은 자체의 견고함과 전반적인 선박 강도에 기여할 수 있도록 가능한 한 선박의 구조부재와 일체화하여야 한다.
- 3) 고가 통로(elevated passageway)가 설치된 경우에는 최소 600mm의 내부 폭, 수직 늑골을 돌아가는 경우는 최소 450mm의 내부 폭을 가지고 노출면(open side)의 전 길이에 걸쳐 가드레일이 제공되어야 한다. 접근수단의 경사진 부분은 미끄러지지 않는(non skid) 구조이어야 한다. 가드레일은 그 높이가 1,000mm이고 그 중간 횡 봉은 500mm 높이의 견고한 구조이어야 한다. 지지대(stanchion)는 3m 이하의 간격이어야 한다. 상기 언급한 기술규정 내용을 Fig. 2.1에 나타내었다.

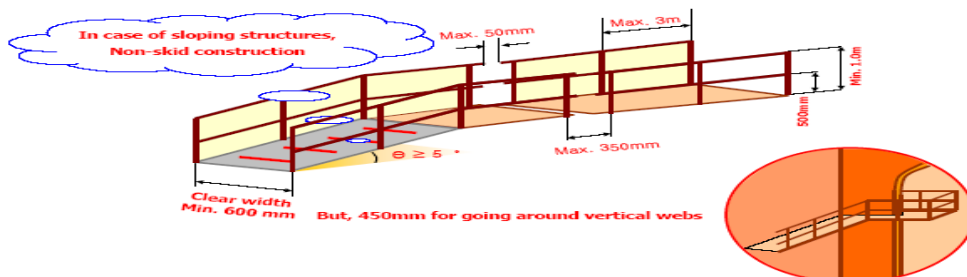


Fig. 2.1 Sketch of the technical provision item 3.3

- 4) 선저로부터 영구 접근수단 및 수직개구(vertical opening)는 쉽게 접근할 수 있도록 통로, 사다리 및 발판이 제공되어야 한다. Fig. 2.2에 나타난 바와 같이 발판은 측면 지지부(lateral support)가 있어야 한다. 사다리의 단(rungs)이 수직면에 설치되는 경우에는 단의 중앙점이 수직면으로부터 최소한 150mm 이상 떨어져 있어야 한다. 수직 개구(manhole)가 보행 위치(walking level)에서 600mm 이상 높이에 설치된 경우에는 양쪽에 플랫폼 랜딩(platform landing)을 가진 발판과 손잡이를 이용하여 접근할 수 있어야 한다.

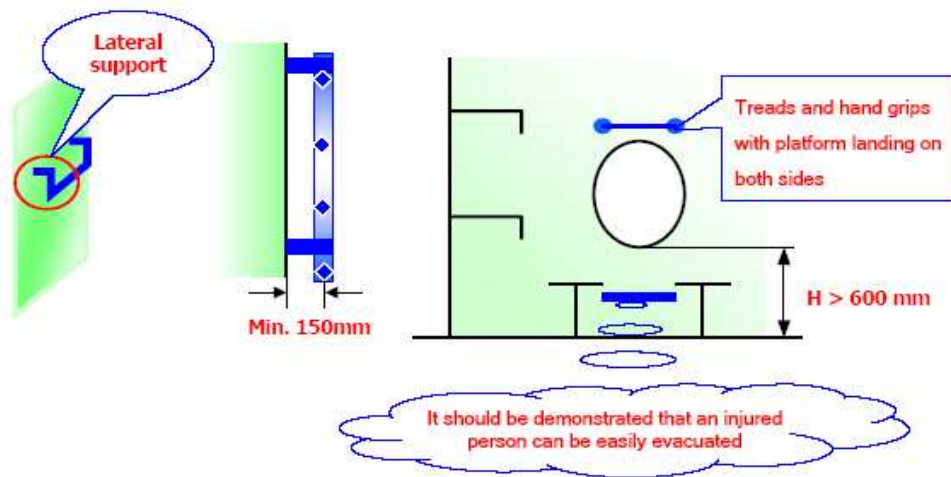


Fig. 2.2 Sketch of the technical provision item 3.4

- 5) Fig. 2.3에 나타난 바와 같이 상설 경사사다리(permanent inclined ladder)는 경사각이 70° 미만이어야 한다. 관통 개구를 제외하고 경사 사다리 면(face)으로부터 750mm 이내에는 장애물이 없어야 한다. 관통개구부에서는 600mm 까지 감소할 수 있다. 적당한 크기의 휴식용 플랫폼이 수직 높이 6m 이하 간격으로 제공되어야 한다. 사다리와 핸드레일은 강 또는 적당한 강도(strength) 및 강성(stiffness)을 가진 강과 동등한 재질로서 구성되어야 하며, 스테이(stay)에 의해 구조에 견고히 부착되어야 한다. 지지(support) 방법 및 스테이의 길이는 진동이 실질적으로 최소화 될 수 있도록 하여야 한다. 화물창 내의 사다리는 화물의 하역설비(cargo handling gear)에 의한 손상의 위험성을 최소화할 수 있도록 설계되고 배치되어야 한다.

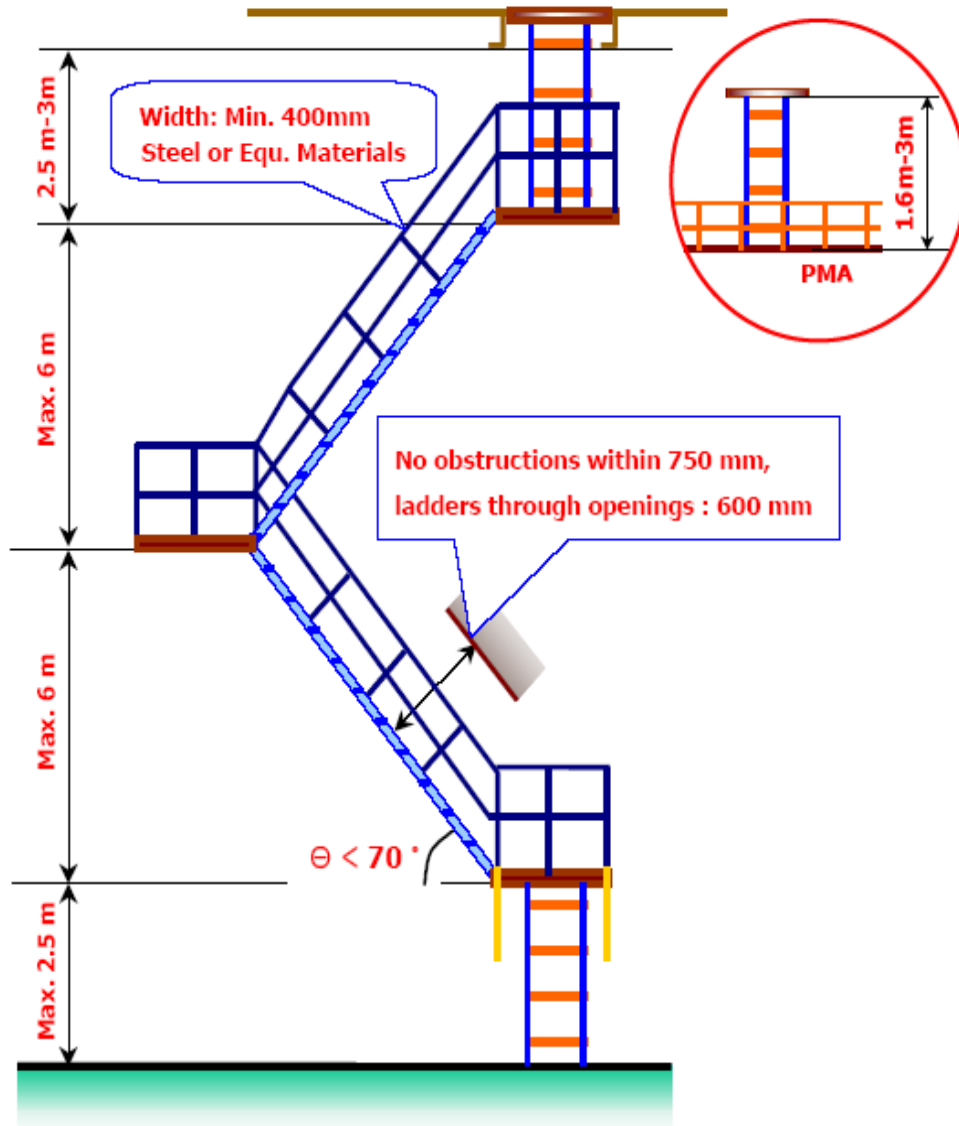


Fig. 2.3 Sketch of the technical provision item 3.5

- 6) Fig. 2.4에 나타난 바와 같이 스트링거(stringer) 사이의 경사사다리 폭은 400mm 이상이어야 한다. 발판(treads)은 동일한 간격으로서 발판사이의 수직 거리는 200mm 에서 300mm 사이여야 한다. 강(steel)이 사용되는 경우 발판은 단면이 22mm x 22mm 이상인 사각 봉(square bar) 2개로 구성되어야 하며, 모서리가 위를 향하게 하여 수평 발판을 형성하여야 한다. 발판은 사이드 스트링거(사다리 프레임)를 통해 지지되어야 하며 이중연속용접(double continuous welding)으로 부착되어야 한다. 모든 경사 사다리는 견고한 구조의 핸드레일이 발판으로부터 적당한 높이로 양쪽에 부착되어야 한다.

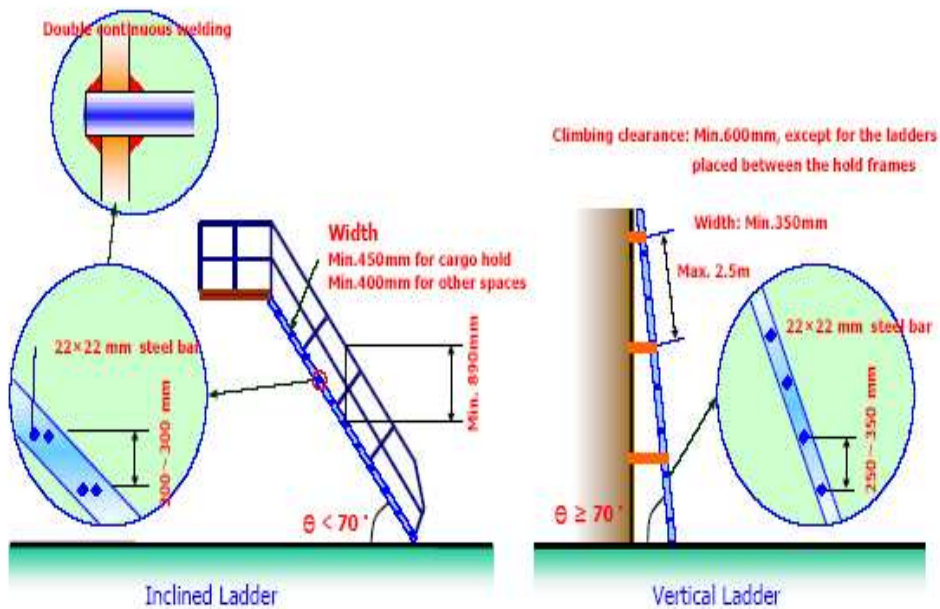


Fig. 2.4 Sketch of the technical provision item 3.6

- 7) 수직사다리 또는 나선형 사다리(spiral ladder)의 폭과 구조는 주관청(administration)이 인정하는 국제 표준 또는 국가 표준에 따라야 한다.

- 8) Fig. 2.5에 나타낸 바와 같이 자기 지지형 사다리(free-standing portable ladder)는 그 길이가 5m를 초과해서는 안 된다.

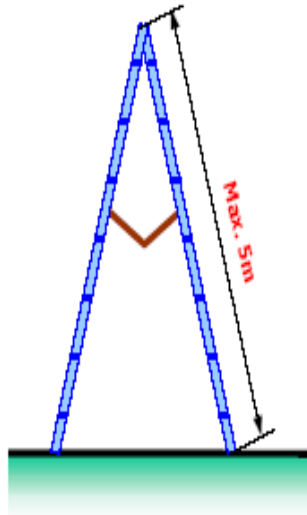


Fig. 2.5 Sketch of the technical provision item 3.8

- 9) 대체 수단(alternative means of access)은 아래에 기술한 것을 포함하되 아래에 기술된 것들로 제한하는 것은 아니다.

- 안전 받침을 가진 유압식 팔(hydraulic arm)
- 와이어 리프트 플랫폼 (wire lift platform)
- staging
- rafting
- 로봇팔(robot arm) 또는 원격 조작장치 (ROV; remotely operated vehicle)
- 상단부를 고정하기 위한 원격 조종 기계 장치를 가진 경우 5m 이상의 휴대식 사다리
- 주관청의 승인을 받거나 주관청이 인정한 기타의 수단

또한, 상기 대체 수단에 대한 안전한 사용 및 고착 방법은 선체구조검사 매뉴얼 (ship structure access manual)에 명확히 설명되어야 한다.

- 10) Fig. 2.6에 나타낸 바와 같이 수평 개구(horizontal opening), 해치(hatch), 맨홀(manhole)을 통과하는 출입구의 최소 크기는 600mm × 600mm 이상이어야 한다. 화물 해치를 통하여 화물창에 통행하는 경우 사다리 상부는 가능한 한 해치 코우밍(hatch coaming)까지여야 한다. 높이가 900mm를 넘는 통행 해치 코우밍은 사다리와 더불어 외부에 발판이 있어야 한다.

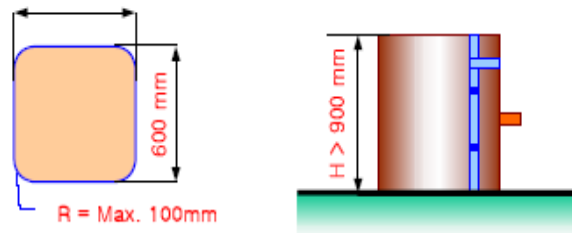


Fig. 2.6 Sketch of the technical provision item 3.10

- 11) Fig. 2.7에 나타낸 바와 같이 종 방향 또는 횡 방향 통행로를 제공하는 제수 격벽(swash bulkhead), 누판(floor), 거더(girder) 및 특설늑골(web frame)에 위치한 수직개구 및 맨홀의 크기는 600mm × 800mm 이상이어야 하며, 바닥으로부터 높이가 600mm이 넘는 경우에는 grating 또는 foot holds가 제공되어야 한다.

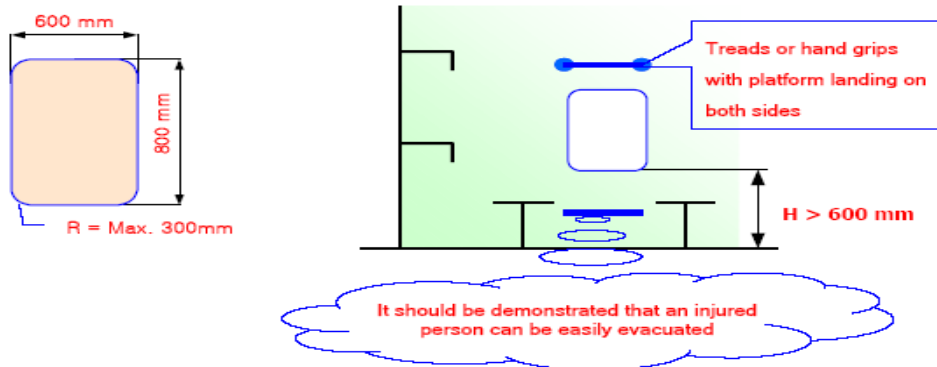


Fig. 2.7 Sketch of the technical provision item 3.11

- 12) 재화중량 5,000톤 미만의 유조선에 대하여 주관청은 특별한 경우에 10)항 및 11)항에서 언급한 최소 개구 크기보다 작은 치수를 인정할 수 있다. 단, 그러한 개구를 통과할 수 있거나 부상자를 이동시킬 수 있음이 주관청에 의해 인정되어야 한다.

13) 산적화물선(bulk carrier)에서 화물창이나 기타 구역으로의 접근 사다리는,

- ① 인접한 갑판의 상면 사이 또는 화물구역 바닥과 갑판 사이의 수직 거리가 6m 이하일 경우에는 수직 사다리 또는 경사 사다리어야 한다.
- ② 인접한 갑판의 상면 사이 또는 화물구역에서 갑판과 바닥사이의 수직 거리가 6m 이상일 경우에는 화물구역 한쪽 끝에 하나 또는 여러 개의 경사 사다리를 설치하여야 한다. 다만, 수직사다리에 연결되는 경사사다리의 수직 범위가 2.5m 이상인 경우에, 머리 위 장애물로부터 측정한 화물구역의 최상부 2.5m와 최하부 6m 는 수직사다리 설치가 가능하다.
화물구역 다른 쪽 끝에 두 번째 접근수단으로 여러 개의 교차된 수직 사다리를 설치할 수 있는데, 사다리간 연결 플랫폼은 수직으로 6m 이내 간격으로 설치되어야 한다.
인접한 사다리는 적어도 사다리 폭 만큼 떨어뜨려 설치하여야 한다. 직접 화물창에 연결되는 사다리의 최상부는 상부 장애물로부터 수직으로 2.5m 하방에 사다리 연결 플랫폼을 설치하여야 한다.
- ③ 갑판과 탱크의 중 방향 통행수단, 스트링거 또는 출입구 하방의 바닥 사이의 수직 거리가 6m 이하인 경우, 수직 사다리는 톱사이드 탱크(topside tank)의 접근수단으로 사용될 수 있다.
수직 사다리의 갑판으로부터 출입구 최상부는 동 수직거리 내에 중 방향 통행 수단, 스트링거 또는 바닥에 대한 발판이 없는 경우 상부 장애물로부터 수직으로 2.5m 하방에 사다리 연결 플랫폼이 설치되어야 한다.
- ④ 상기 ③에서 허용된 경우를 제외하고 갑판과 출입구 하방 스트링거 사이, 스트링거간, 갑판 또는 스트링거와 바닥 사이의 수직 거리가 6m를 넘는 경우에는 탱크 또는 구역의 통행을 위해 경사사다리 또는 사다리의 조합이 사용 되어야한다.
- ⑤ 상기 ④의 경우 갑판으로부터 사다리 최상부는 상부 장애물로부터 2.5m 하방에 랜딩 플랫폼(landing platform)을 통하여 경사사다리와 연결되어야 한다. 경사사다리의 실제 길이는 9m 이하이어야 하며, 수직거리로 6m 이하 이어야 한다. 사다리의 최하부는 수직거리로 2.5m 이상에 대해 수직으로 할 수 있다.
- ⑥ 폭이 2.5m 미만인 이중 선측 공간에서, 해당 구역의 통행은 수직으로 6m 이하의 간격으로 설치된 플랫폼으로 연결된 수직 사다리로 할 수 있다. 인접한 사다리는 적어도 사다리 폭 만큼 떨어뜨려 설치하여야 한다.
- ⑦ 나선형 사다리(spiral ladder)는 경사사다리의 대체 수단으로 간주될 수 있다. 이 경우에는 최상부 2.5m도 나선형 사다리로 할 수 있다.

상기 언급한 기술규정 내용을 Fig. 2.8에 나타내었다.

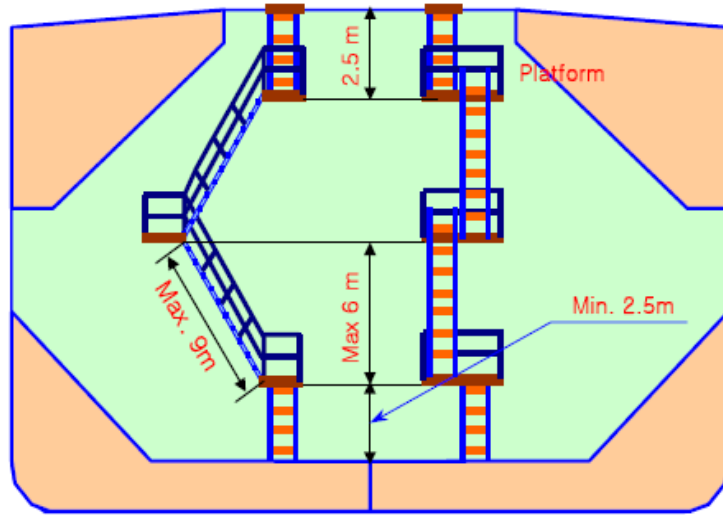


Fig. 2.8 Sketch of the technical provision item 3.13

- 14) Fig. 2.9에 나타낸 바와 같이 갑판으로부터 사다리의 최상부는 상부 장애물로부터 수직으로 2.5m 하방까지 수직이어야 하며 사다리 연결 플랫폼을 설치하여야 한다. 연결 플랫폼은 수직사다리의 한 쪽에 설치되어야 한다. 동 범위 안에 종 방향 또는 횡 방향 통행로가 위치하는 경우 수직 사다리는 갑판으로부터 1.6m - 3.0m 하방에 위치할 수 있다.

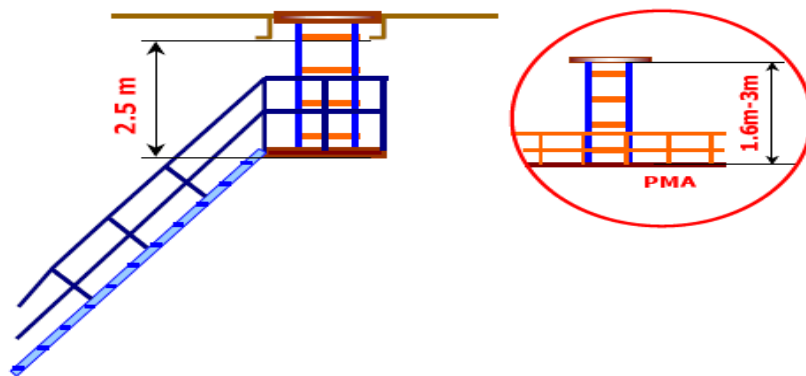


Fig. 2.9 Sketch of the technical provision item 3.14

2.4 유조선 벨러스트 탱크 및 화물 탱크의 접근수단

2.4.1 벨러스트 탱크, 화물유 탱크 갑판하 및 수직구조에 대한 접근

1) 내부 부재를 가지는 탱크로 높이가 6m 이상 경우에는 영구적인 접근 수단이 아래 ①항에서 ⑥항에 따라 제공되어야 한다.

① 각 횡 격벽(transverse bulkhead)의 보강면에는 Fig. 2.10에 나타난 바와 같이 갑판(deck)으로부터 최소 1.6m 에서 최대 3.0m 하부에 횡 방향으로 연속된 영구적인 접근수단이 설치되어야 한다.

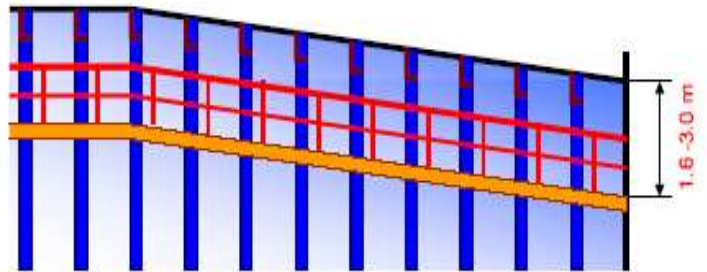


Fig. 2.10 Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-1.1.1)

② 탱크의 각 측면에 적어도 1개의 종 방향 영구적 접근수단이 설치되어야 하며, 하나는 갑판으로부터 최소 1.6m 에서 최대 6.0m 하부에 다른 하나는 갑판으로부터 최소 1.6m에서 최대 3.0m 하부에 설치해야 한다. 상기 언급한 접근수단을 Fig. 2.11에 나타내었다.

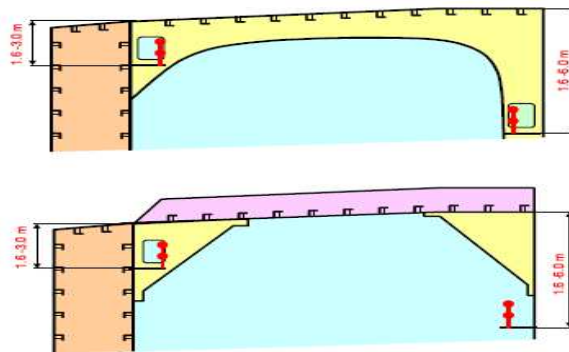


Fig. 2.11 Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-1.1.2)

- ③ ①항과 ②항 사이 접근수단 및 주갑판(main deck)으로 부터 ①항 또는 ②항 사이의 접근수단이 제공되어야 한다.
- ④ 중간 높이에 대한 검사를 위하여 상기 기술규정 9)항에 정의된 대체 수단을 사용할 목적으로 최상부 플랫폼에 영구 고정장치(permanent fitting)가 설치되지 않는 경우에는 Fig. 2.12에 나타낸 바와 같이 중 격벽 보강면에 구조부재화 된 중 방향 접근수단과 횡 격벽(Transverse bulkhead)에 설치되는 수평 거더는 가능한 한 일직선을 이루어야 한다.

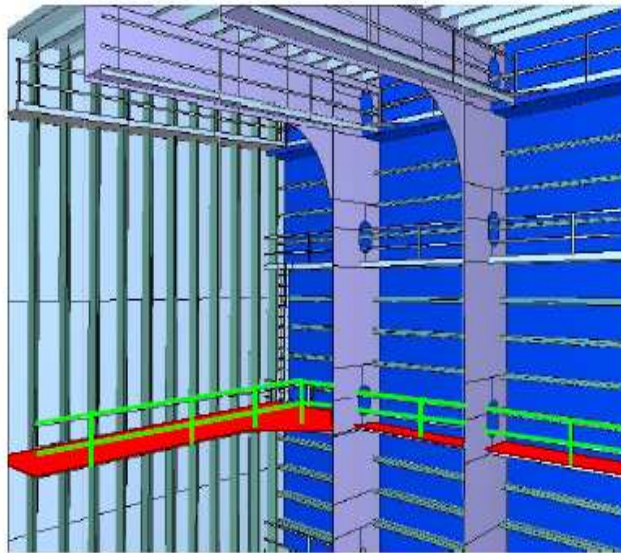


Fig. 2.12 Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-1.1.4)

- ⑤ 탱크 바닥으로부터 6m 이상에 설치된 크로스 타이(cross-tie)를 갖는 선박은 Fig. 2.13에 나타낸 바와 같이 탱크의 양쪽 타이 플레어링 브래킷(tie flaring brackets)을 검사하기 위하여 크로스 타이 상에 횡 방향 영구 접근수단이 설치되어야 하고 ④항의 중 방향 영구 접근수단중 하나와 연결되어야 한다.

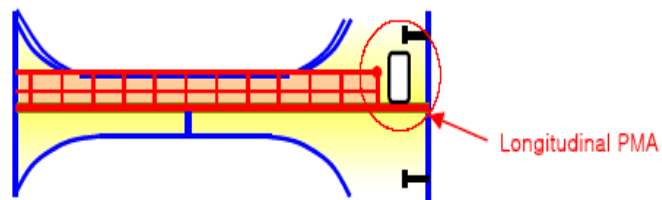


Fig. 2.13 Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-1.1.5)

⑥ 소형선에서 높이가 17m 미만인 유조화물탱크에는 대체수단으로서 상기 기술규정 9)항에 정의된 대체 수단이 제공될 수 있다.

2) 높이가 6m 미만인 탱크에는 영구적인 접근수단을 대신하여 상기 기술규정 9)항에 정의된 대체 수단 또는 휴대식 수단(portable means)이 사용될 수 있다.

3) 충돌격벽의 중심선에서 깊이 6m 이상인 선수탱크(fore peak tank)에는 갑판 하부부재(underdeck structure), 스트링거(stringer), 충돌격벽(collision bulkhead), 외판부재(side shell structure)등과 같은 취약지역에 대한 접근을 위하여 적당한 접근수단이 제공되어야 한다.

① 갑판으로부터 또는 상부 스트링거로부터 수직거리 6m 이내에 있는 스트링거는 휴대식 접근수단과 결합하는 접근수단을 제공한 것으로 간주된다.

② 갑판과 스트링거, 스트링거간 및 최하부 스트링거와 탱크 바닥 간의 거리가 6m 이상인 경우는 상기 기술규정 9)항에 정의된 대체 수단이 제공되어야 한다.

2.4.2 이중선측구조를 형성하는 폭 5m 미만인 선측 벨러스트 탱크, 빌지호퍼부 갑판하 및 수직구조에 대한 접근

1) 빌지호퍼부(bilge hopper section)의 상부 너클 포인트(upper knuckle point) 상부 이중 선측 공간에는 아래 ①항에서 ②항에 따른 영구 접근수단이 제공되어야 한다.

① 최상부 수평 스트링거와 갑판 사이의 수직 거리가 6m 이상인 경우에는 Fig. 2.14에 나타낸 바와 같이 1개의 연속된 종 방향 영구 접근수단이 탱크의 전 길이에 걸쳐서 제공되어야 하며 이들 접근수단은 갑판으로부터 최소 1.6m에서 최대 3.0m 하부에 트랜스버스 웨브(transverse web)를 통과하도록 설치되어야 하고 탱크 양단에 수직 접근 사다리를 갖추고 있어야 한다.

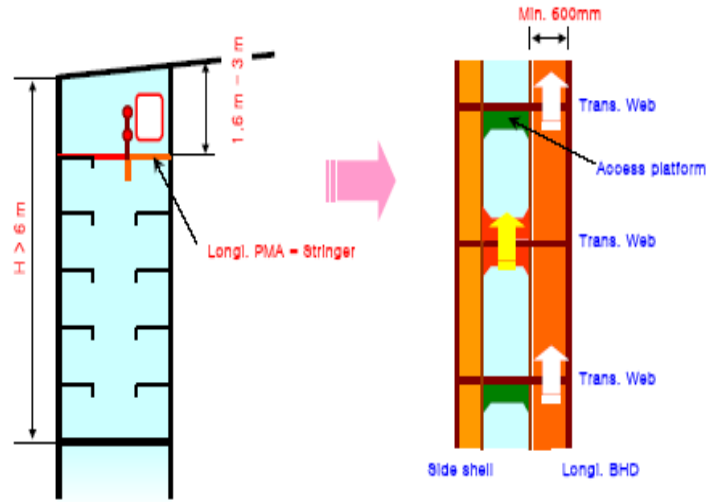


Fig. 2.14 Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-2.1.1)

- ② 구조부재와 일체화된 연속된 종 방향 영구 접근수단은 Fig. 2.15에 나타낸 바와 같이 수직거리로 6m 이하의 간격이어야 한다. 가능한 한 스트링거판은 횡 격벽의 수평 거더와 일직선이 되어야 한다.

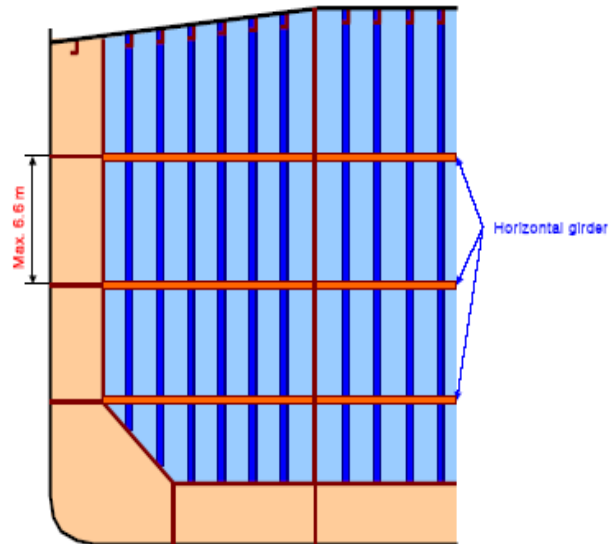


Fig. 2.15 Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-2.1.2, 2.1.3)

- 2) 탱크 바닥으로부터 상부 너클 포인트까지의 수직 거리가 6m 이상인 벌지 호퍼부에는 Fig. 2.16에 나타난 바와 같이 1개의 종 방향 영구 접근수단이 탱크 전 길이에 걸쳐 제공되어야 하며 탱크의 양 단부에서 수직 영구 접근수단에 의하여 접근 가능하여야 한다.

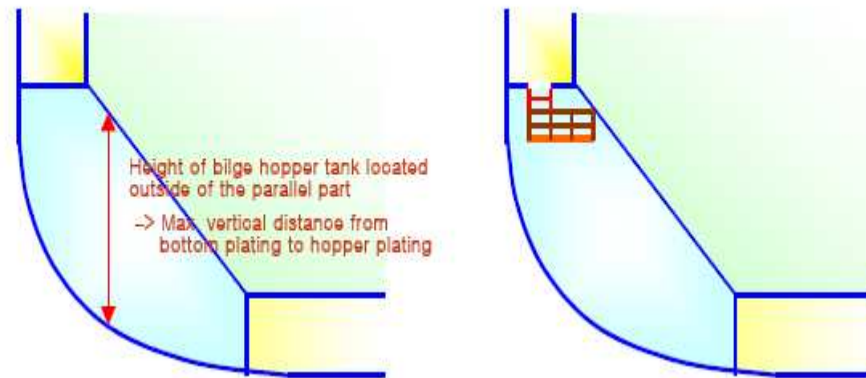


Fig. 2.16 Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-2.2)

- ① 연속된 종 방향 영구 접근수단은 Fig. 2.17에 나타난 바와 같이 벌지 호퍼부 상부로 부터 최소 1.6m에서 최대 3.0m 하방에 설치될 수 있다. 이 경우에는 식별된 취약구조구역(the identified structural critical area)을 접근하기 위하여 웨브프레임(web frame)에 연속된 종 방향 영구 접근수단을 연장시킨 플랫폼이 사용될 수 있다.

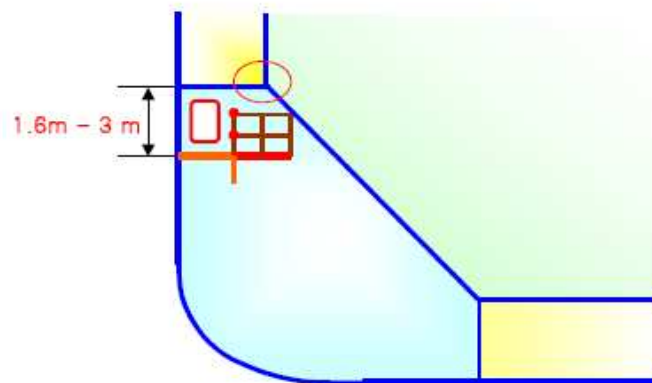


Fig. 2.17 Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-2.2.1)

- ② 차선책으로(alternatively), 식별된 취약구조구역을 접근하기 위하여 휴대식 접근수단을 사용할 수 있도록 연속된 종 방향 영구 접근수단은 Fig. 2.18에 나타낸 바와 같이 웨브링(web ring)의 개구 상단으로부터 최소1.2m 하방에 설치될 수 있다.

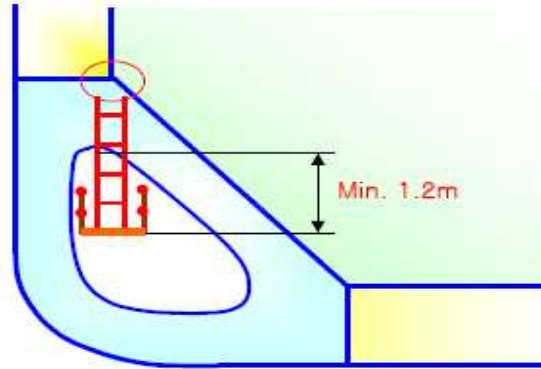


Fig. 2.18 Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-2.2.2)

- 3) 상기 2)항에 언급된 수직거리가 6m 미만일 경우에는 기술규정 9)항에서 정의된 대체 수단이 영구적 접근수단을 대신하여 사용될 수 있다. 대체 수단을 편리하게 사용하기 위하여 Fig. 2.19에 나타낸 바와 같이 수평 스트링거의 개구는 일직선상으로 배치되어야 한다. 개구는 적당한 지름을 가져야하며 적절한 보호 난간이 설치되어야 한다.

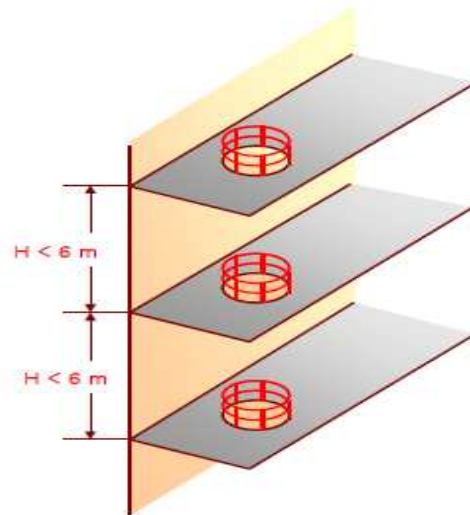


Fig. 2.19 Sketch of means of access for oil tanker(Table 1-2.3)

제3장 선체 중앙 단면의 구조설계

3.1 일반 배치

유조선(oil carrier)은 중동이나 남미지역 등에서 생산되는 석유를 수송하는 선박으로 수송 화물에 따라 원유운반선(Crude Oil Tanker, C.O.T), 정유운반선(Product Carrier, PC) 등으로 분류되고 있다. 세계적인 경제 활황에 힘입어 원유의 해상 운송량이 증가함에 따라 대량수송의 경제성을 추구하여 유조선의 대형화·고속화가 이루어졌으며 오늘날 30만 DWT를 넘는 초대형 유조선이 15노트 이상의 속력으로 운항되고 있다.

액체화물을 적재하는 관계로 내부 구조물에 압력수두가 직접 작용하기 때문에 만약의 경우 선체에 손상이 발생 시 기름 유출사고가 발생하여 경제적 손실은 물론 커다란 사회 환경적 문제를 유발시킨다. 초기의 유조선은 홑 구조(single hull)로 설계되어 선저(bottom) 혹은 선측 외판(side shell)에 파공이나 균열이 발생하면 곧바로 기름의 유출사고가 일어나도록 되어 있었으나, 90년대 초에 이중선체(double hull) 구조가 의무화 되어 이중선체 구조배치에 대하여 각 선급과 조선소별로 많은 연구가 이루어져 왔다. 그 결과 지금은 구조형상 및 배치가 거의 정형화 되었다고 할 수 있다. 가장 대표적인 이중선체 중형 유조선(panamax oil tanker)의 일반배치도(general arrangement)를 아래 Fig. 3.1에 나타내었다.

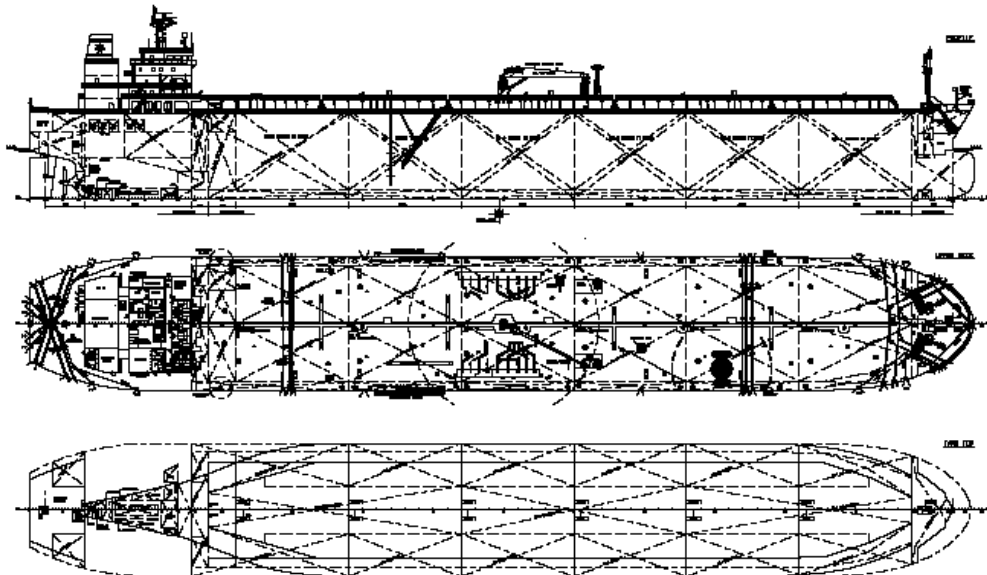


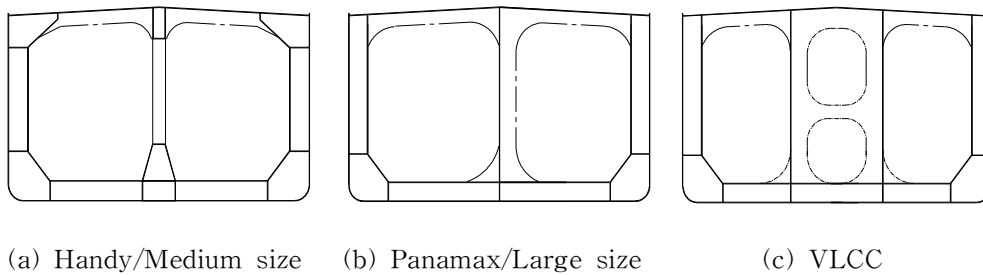
Fig. 3.1 General arrangement of panamax tanker

3.2 중앙 단면 형상 결정

이중선체 유조선은 선저와 선측을 이중 구조로 하기 때문에 기존의 단판 구조보다 강도가 커서 해상사고 시 손상될 확률이 작아 기름유출 방지효과가 크며 기존설계 개념을 크게 벗어나지 않기 때문에 설계자가 용이하게 설계를 수행할 수 있다. 반면에 불리한 점은 휘발성 가스 누출로 이중구조에 가스가 차서 폭발할 위험성이 많고, 사고 후 부력을 잃을 가능성이 높다.

일반적인 이중선체 유조선의 화물창은 선체의 크기와 화물의 종류에 따라 종격벽(longitudinal bulkhead)이 설치되어 좌우 Tank로 2구획 혹은 3구획으로 분리된다.

아래 Fig. 3.2은 이중선체 유조선의 크기와 종류에 따른 대표적인 중앙 횡단면 형상을 보여주고 있다.



(a) Handy/Medium size (b) Panamax/Large size (c) VLCC
Fig. 3.2 Sketch of midship section for double hull tanker

3.2.1 이중선체 규정 적용

MAPOL의 이중선체규정은 Exxon Valdes호 좌초사고 이후 유조선의 사고에 의한 오염방지를 주목적으로 규정되었으므로 규칙 13F에 따라 충돌 및 좌초 사고 시 기름 오염 방지를 위해 재화중량 5,000톤 미만은 이중저를, 5,000톤 이상의 모든 유탱커는 이중선체구조를 갖도록 의무화 하였다. 이는 화물구역과 선측 사이를 발라스트(ballast) 전용 또는 공간(void space)은 선박의 크기에 따라 일정한 간격을 갖도록 해서 충돌 및 좌초사고 시 화물창을 보호하는데 있다.

이중선체 규칙은 부속서 I, 제2장, 규칙 13F 및 13G에 의해 요구되고 있다. 규칙 13F는 1993년 7월6일 이후 건조계약, 1994년 1월6일 이후 용골거치 또는 1996년 7월6일 이후 인도되는 유조선에 적용된다. 13G는 13F의 규정된 날짜 전에 계약, 용골거치 또는 인도된 선박에 적용하므로 신조의 경우 규칙 13F만을 적용하여야

한다. 이 규칙은 재화중량 600톤 이상의 모든 유조선에 적용한다. 충돌이나 좌초 사고 시 적재한 기름유출에 의한 오염을 최대한 방지하기 위한 규정은 Table 3.1에 나타내었다.

Table 3.1 Double hull tanker arrangement by MARPOL

Item	5,000 DWT and above	below 5,000 DWT
Wing tanks	$w = 0.5 + \text{DWT}/20,000$ or 2.0 m whichever is the lesser (minimum $w = 1.0$ m)	$w = 0.4 + 2.4\text{DWT}/20,000$ m (minimum $w = 1.0$ m)
Double bottom tanks	$h = B/15$ or 2.0 m whichever is the lesser (minimum $h = 1.0$ m)	$h = B/15$ m (minimum $h = 0.76$ m)
Turn of bilge	1.5h above base lines	Parallel to the flat bottom

3.2.2 주요 선체 구조부재 배치

주요 구조부재 배치에 대한 기본적인 구조설계 개념은

- 1) 판 부재의 용접선(seam line) : 여러 가지 표준치수로 생산되는 판 중 판의 기준 폭이 얼마인 것을 사용해야 공작상 또는 배치상 가장 편리한 가를 생각하여야 한다. 이것은 선박의 크기에 따라 다르겠지만, 조선소의 크레인의 용량 및 가공상의 문제를 고려하여 가능한 한 용접선의 수를 줄이는 것이 바람직하다.
- 2) 종, 횡 늑골의 간격 : 선각 중량 및 건조비에 가장 큰 영향을 미치는 설계 변수이므로 여러 가지 간격에 대하여 검토하여야 한다.
- 3) 종 거어더 : 종 거어더는 횡 늑골을 지지해주는 역할을 하고, 또한 거어더의 적절한 배치는 부재의 치수를 감소시켜 준다. 특히 갑판의 격자(grillage) 구조를 경량화 하는 데에 중요한 역할을 한다.

이외에도 많은 것을 생각할 수 있지만 부재의 배치는 최적 설계 및 공작상의 관점으로 부터 선정되어야 하며, 또한 선체 전체의 구조적인 연결이 불연속이 되지 않도록 하여야 한다. 그러므로 부재의 배치는 중앙단면에서만 국한하여 생각하지 말고 일반배치도 등을 참고하여 선체 전체의 구조배치를 고려하여야 한다.

선체구조는 그 선박이 받게 될 모든 하중에 견딜 수 있는 강도(strength)와 강성(stiffness)을 가져야 하는데, 크게 종 부재와 횡 부재로 분류할 수 있다.

종 부재(hull girder)는 외판(shell plate), 갑판(deck plate), 내저판(inner bottom plate), 종 격벽(longitudinal bulkhead), 종 늑골(longitudinal stiffener) 및 Girder 등으로 이루어지는 구조로서 정수(still water)중 뿐만 아니라 동적인 모든 해상 조건에서의 외적하중 및 그 선박의 자중, 화물, 연료 및 Ballast 등으로 부터 오는 모든 내적 하중에 견딜 수 있는 강도를 가져야 한다. 또한 진수 및 입거 중에 발생하는 하중이나 온도변화로 인한 하중 등에도 견딜 수 있어야 한다.

횡 부재는 횡 격벽(transverse bulkhead), 횡 늑골(transverse web) 등으로 이루어지는 구조로서 외판으로부터 전달되는 유체압이나 파도에 의한 Hull girder의 비틀림 모멘트 및 선체 롤링운동에 의한 Racking 하중 등에 견딜 수 있어야 한다.

또한, 선체구조는 그 배가 계획된 기능을 발휘하는데 필요한 선각 의장품, 기관, 전장품, 거주구 등의 국부 지지대 역할도 해야 한다.

선체구조의 형식은 보강판 구조로 되어 있는데, 그 구성은 크게 평판, 늑골, 특설늑골로 구분할 수 있다. 평판이 받은 압력은 주변의 늑골에 힘으로서 작용하고 늑골에 가해진 힘의 합계는 특설늑골이 유지하게 된다. 그 위에 복수의 특설 늑골로 선체를 구성하고, 선박에 작용하는 전체의 힘은 선체의 외판과 갑판 및 격벽에 전달되어 전체의 화물중량과 선박자체의 중량 등으로 균형을 이루게 된다.

선각을 구조부재별로 구분하면 다음과 같다.

- 갑판구조: 갑판, 보, 횡 거어더 등으로 구성된다.
- 선측구조: 선측외판, 늑골, 횡 거어더 등으로 구성된다.
- 선저구조: 선저외판, 늑판, 늑골, 횡 거어더 등으로 구성된다.
- 격벽구조: 격벽판, 보강재, 보강 거어더 등으로 구성된다.

선체구조의 설계는 예상되는 모든 하중에 충분히 견딜 수 있는 강도(strength)와 강성(stiffness)을 가진 부재의 크기를 결정하고 적절히 배치하는 과정이다.

일반적으로 선체구조의 설계는 하나의 대표적인 횡단면, 즉 중앙단면을 중심으로 진행되며, 이 단면에서의 부재치수 계산(scantling)은 선체중앙부의 길이 방향으로 40~60%에 일정하게 연장된다.

선체 중앙단면에서의 설계가 이와 같이 선체구조 전체를 거의 지배하는 이유는 선체의 종굽힘 모멘트의 최대치가 중앙부에서 발생하고, 또한 선체의 여러 가지 강도들 중에서 중강도가 가장 중요시되기 때문이다. 그러므로 선체의 중앙단면 설계는 매우 중요한 의미를 가지게 되며 중앙단면의 설계에 의해 선각중량 및 중요한 강도들이 거의 결정되어 진다.

선체구조의 설계는 부재의 배치가 얼마나 적절하게 잘 되어 있는가에 달려 있다고 하여도 과언이 아닐 정도로 매우 중요하다. 왜냐하면, 부재의 치수를 결정하는 데에 필요한 설계하중과 허용응력은 하나의 설계기준으로 설정되는 것인데 반하여 부재의 기하학적 조건은 설계자에 의해 자유롭게 선택되어지는 것이기 때문이다.

중형 유조선의 중앙단면 구조배치는 1개의 중 격벽으로 구성되며 상갑판, 선측, 선저 및 종통 격벽 전체가 종식 구조 방식(longitudinal framing system)을 채택하고 있다. 종 늑골(longitudinal), 종 프레임(longitudinal frame)은 각각 Transverse web frame에 의하여 지지되며, 이 Web는 상갑판, 선저 및 종통 격벽에 설치되어 Trans-Ring 구조를 이루고 있다.

가장 일반적으로 채택되고 있는 중형 유조선의 중앙 횡단면 구조배치는 Fig. 3.3에 나타내었다.

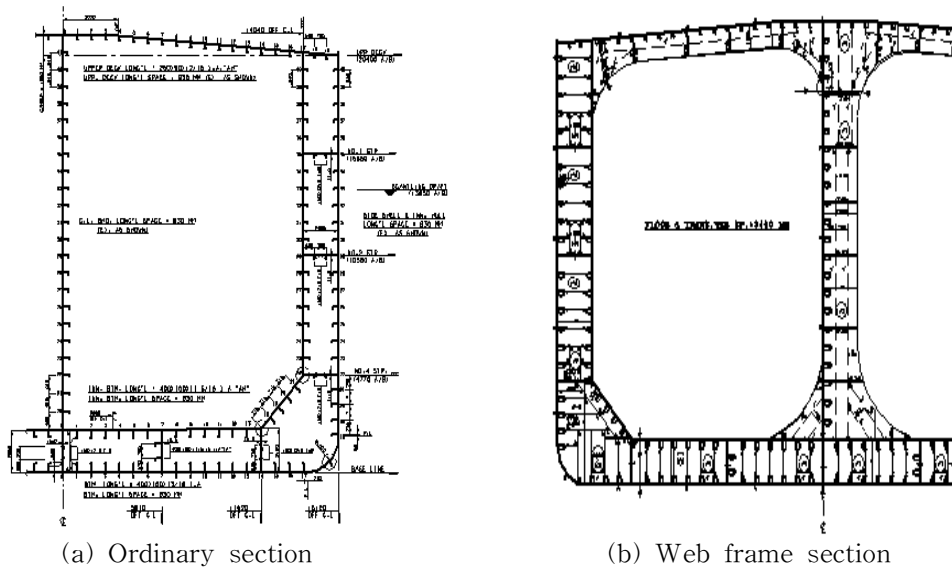


Fig. 3.3 Midship section of general design for panamax tanker

3.2.3 격벽(bulkhead) 구조형상 및 배치

격벽은 구조강도 목적 및 여러 종류의 화물을 분할 적재하는 목적과 손상 시에 복원력 보유를 위하여 화물탱크 내에 설정한다. 중형 유조선에서 격벽의 구조형상은 크게 평판형 격벽(plane type bulkhead)과 파형 격벽(corrugate type bulkhead)로 구별된다. 평판형 격벽은 Tank 내 액체 화물에 의해 면에 수직한 압력을 받지만 배 전체의 구조를 유지하기 위한 면내 하중도 받고 있으며 격벽의 보강을 위해 배의 Depth 방향으로 수직 보강재(vertical stiffener)를 설치하고 2-3개의 수평 거더(stringer)로 이를 지지해 준다.

파형 격벽은 일반적으로 PC선에서 많이 사용된다. 정유는 Naphtha나 Gasoline과 같이 깨끗하고 휘발성이 강한 기름으로부터 Tar와 같은 끈끈하고 검은 제품이르기까지 다양하다. 따라서 탱크 내부를 품질이 우수한 특수 페인트 코팅이 필요하고, 또 Cleaning을 용이하게 하기 위해 탱크 속의 구조 방식을 평탄면이 많도록 파형 격벽(corrugate type bulkhead) 형태의 부재 배치로 하는 것이 일반적이다.

가장 일반적인 중형 유조선의 격벽 배치는 중앙에 종 격벽 1개, 길이 방향으로 6개의 화물유 탱크를 배치하는데 이 경우 중앙 종 격벽에 선체 전단력이 상당히 크게 걸리므로 보강에 유의해야 한다. 지금까지 중형 유조선에서 일반적으로 채택되고 있는 횡 격벽의 구조형상 및 부재 배치를 Fig. 3.4에 구분하여 나타내었다.

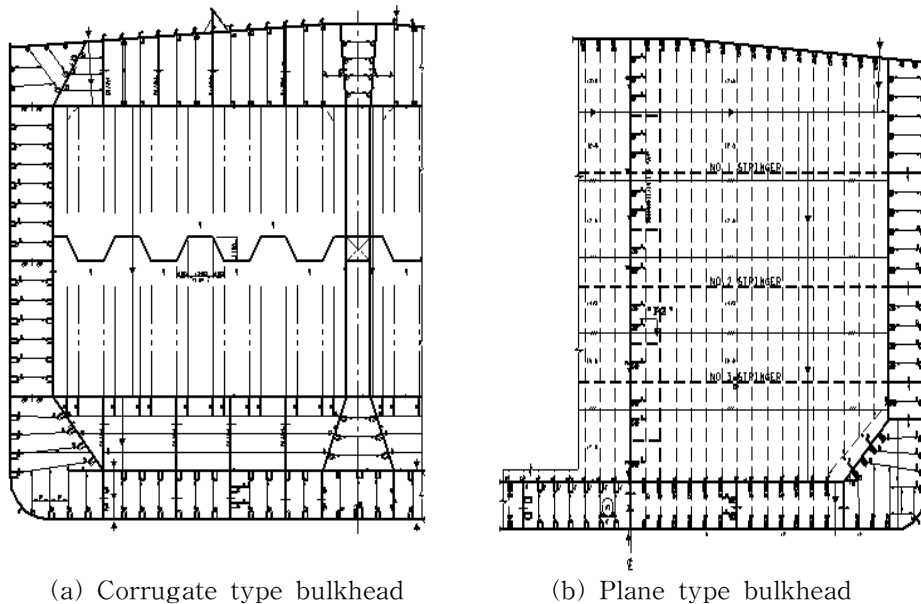


Fig. 3.4 Typical transverse bulkhead for panamax tanker

3.3 선체 구조강도 결정

선체구조의 설계에 있어서 설계자가 고려해야 할 선체강도로는 대략 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 종강도 (hull girder strength)
- 횡강도 (transverse strength)
- 국부강도 (local strength)

궁극적으로 도면이 구조설계의 최종 결과이지만, 이를 위해서는 강도계산이 수행되어야 한다. 구조에 대한 강도 계산은 크게 Scantling과 구조 해석으로 나눌 수 있다.

3.3.1 Scantling

부재 치수를 결정하는 과정 또는 결과치를 통칭하는(구조해석을 제외) 용어로서, 선급 규정에 따라 정하며(거의 모든 부재를 규정하고 있음), 규정되지 않은 사소한 부위는 조선소의 관례(yard's practice)를 따른다.

이를 또다시 Local strength와 Hull girder strength로 나눌 수 있다.

- 1) Local Strength : 판 및 보강재가 선체의 어떤 부위에서도 하중(화물 및 해수의 압력 등)에 항복(yielding)하거나, 좌굴(buckling)되지 않도록 선급 Rule에 규정된 대로 계산한다. 각 판(두께) 및 각 보강재(단면계수)에 대하여 아주 간단한 산식들로 열거되어 있으며 각 선급별 전용 Program을 이용하여 계산한다.
- 2) Hull Girder Strength : 선체와 같이 긴 구조물은 적재화물, 여타의 의장품을 포함한 선체의 자중과 해수압 등의 외력에 의해 길이방향의 굽힘모멘트와 전단력을 받게 되는데, 이러한 하중에 견딜 수 있는 강도를 종강도라 한다. 이러한 힘은 선박 자체의 Loading으로 인한 정수 중 굽힘모멘트(still water bending moment, S.W.B.M)와 파도에 의한 파랑 중 굽힘 모멘트(vertical wave bending moment, V.W.B.M)의 합력인데, 이것은 어떤 부위가 물이 새는지 하는 정도의 문제가 아니라 선체가 두 동강이 나느냐 아니냐 하는 중요한 문제이므로, 국제선급연합회(IACS)를 거쳐 요구치가 통일되어 있다.

이 현상은, 실제로 두꺼운 종이를 말아서 긴 원통형으로 만들어 실험해 보아도 알 수 있듯이, 한쪽(deck)은 압축력에 의해 좌굴(buckling)이 생기고 다른 한쪽(bottom)은 인장되어서 항복(yielding)하거나 찢어지는 형태로 나타난다. 이러한 현상에 대한 강도의 특성치를 선체 단면계수(hull girder section modulus)라 하는데, $Z = I/y$ ($I = \int y^2 dA$, $y = \sum y dA / \sum dA$)로 표현된다.

이 계산은 각 선급 전용 Program으로 수행할 수 있으며 계산 결과, 선급 요구치를 만족시키지 못하면 Scantling(판 두께 및 보강재의 단면적)을 증가시켜 가며 요구치를 만족시켜야 한다. 또한 이 현상 이외에 전단강도(hull girder shear strength)도 검토해야 한다.

이는, 원통실험에서 때로는 옆면(side shell)이 45° 각도로 비스듬하게 찌그러지는 경우를 볼 수 있는데, 바로 이 경우에 대하여도 계산하도록 규정되어 있다. 이것은 Side shell, Longitudinal bulkhead 등과 같이 수직 부재들의 두께가 충분한지 검토하는 것이며, Loading manual의 모든 Condition에 대하여 자세하게 계산되어져야 한다.

3.3.2 구조해석

Scantling은 판 또는 보강재와 같이 경계조건(boundary condition)이 정형화되어 있는 부재에 대하여 (판은 4변 고정, 보강재는 양단지지 또는 고정) 선급이 간단한 식으로 규정할 수 있기 때문에 가능하다. 그러나 Transverse web 또는 Longitudinal girder 등의 Primary member는 첫째, 서로 연결된 Ring 구조로서 고정 또는 지지라기보다는 어떤 제3의 중간 경계 조건이라는 점, 둘째, 부재 폭이 길이에 비하여 넓으므로 단순보 이론과는 차이가 많아 오차가 크다는 점 때문에 선급에서도 수식을 제시하는 대신 최소두께 규정과 함께 구조 해석에 의한 직접 강도 계산을 요구(또는 허용)하고 있다.

전산기가 발달하지 않은 수년전에는 조선업계 전반에 걸쳐 보(beam)해석에 의존하던 것이, 근래 들어 전산의 급속한 발전으로 보다 정확한 판(plate)이론에 근거한 FEM(finite element method)해석이 보편화되어 있다.

따라서, 각 선급에서는 선급별 기준을 정하고 (model, 하중조건, 허용기준) 이에 따라 조선소에서는 해석하여 도면 제출 시 참고 자료로 제출하고 있다. 또한 일정 크기 이상의 선박에 대하여는 선급에서 FEM 해석을 강제화 했으며 이는 근래의 많은 해상 사고와 관련한 해운, 조선업계 전반의 요구에 따른 반응이라 할 수 있다.

제4장 접근수단 적용을 위한 최적설계

4.1 연구 배경

2002년 말 MSC 76차에서 SOLAS Reg.II-1/3-6 신설 및 Technical provision에 대한 Resolution MSC.133/4(76) 채택됨에 따라 검사를 위한 접근수단(means of access for inspection)설치 요건은 조선소 설계요원들에게 상당한 혼란을 일으켰다. 특히 평판형 격벽(plane type bulkhead)을 가진 유조선의 화물창 내 접근수단 설치 요건은 의장품으로 제작 설치 시 액체화물에 의한 Sloshing으로 인한 구조 안전성 문제와 설치상의 어려움이 대두되었다. 따라서 Technical provision을 분석하여 설치요건을 만족하는 범위에서 접근설비를 선각화 하고 설치를 최소화 하는 최적설계 방안을 강구하게 되었다.

본 연구에서는 2005년 1월 1일 이후 건조되는(용골거치 기준) GT 500톤 이상의 이중선체 중형 유조선(panamax oil tanker)을 대상으로 접근수단(means of access for inspection) 의무 설치 요건인 SOLAS Reg.II-1/3-6 규칙을 만족하는 범위 내에서 접근수단 설치를 최소화할 목적으로 새로운 구조형상과 구조배치를 적용한 중앙 횡단면도(midship section)를 개발하였다. 상기 언급한 중앙 횡단면의 구조형상과 배치를 Fig. 4.1에 나타내었다

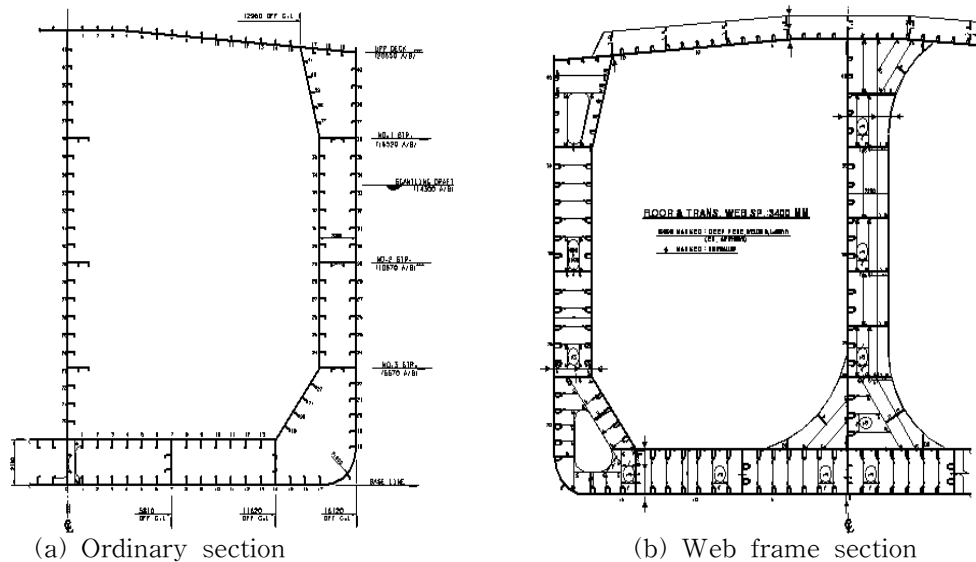


Fig. 4.1 Midship section of new design for panamax tanker

4.2 최적 구조형상 및 구조배치 특징

4.2.1 Double bottom 높이 및 Double side 폭 결정

IMO 규정에 따르면 Double bottom 높이 및 Double side 폭은 2.0 m 이상 되어야 한다. 또한 제3장에 나타난 MAPOL의 이중선체규정을 고려하여 Double bottom 높이 및 Double side 폭을 각각 2.15m와 2.08m로 결정하였다. 설계된 Double bottom 높이 및 Double side 폭은 Fig. 4.2에 나타내었다.

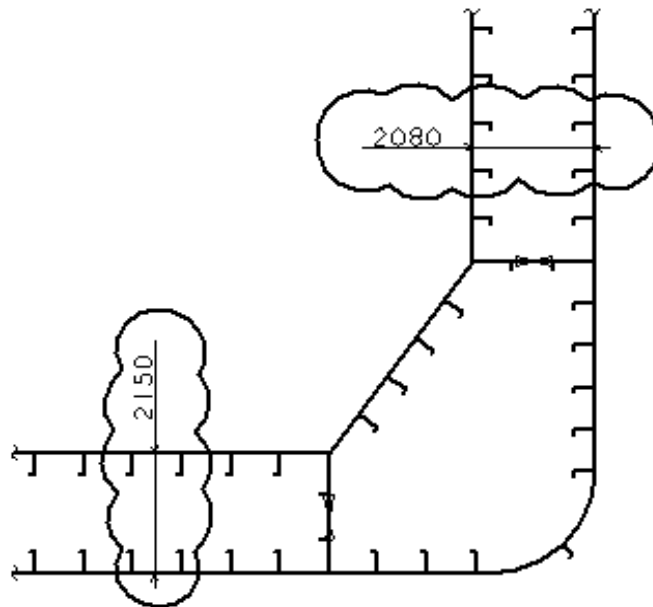


Fig. 4.2 Structural arrangement of double bottom height & double side width

4.2.2 Upper deck transverse web 구조배치 결정

가장 일반적인 중형 유조선의 중앙 횡단면 형상은 갑판(deck) Transverse web가 갑판 하부에 배치되며, 전체적인 횡단면 형상은 선저의 Floor, 선측의 Transverse web 그리고 중앙 종 격벽의 Vertical web가 Trans-Ring 구조를 이루고 있다. 그러나 유조선의 화물창 접근수단 설치규정에 따르면 내부 부재를 가지는 탱크로 높이가 6m 이상이고 갑판 하부에 Transverse web가 배치되면 갑판 하부에 종 방향 영구 접근수단이 제공되어야 한다. 또한 중앙 종 격벽 방향에도 종 방향 영구접근수단이 갑판으로부터 1.6m 에서 3.0m 이내에 설치되어야

한다. 상기 규정에 따라 종 방향 접근수단을 설치할 경우에는 구조배치에 있어 브래킷 형상이 상당히 커져야만 하고, Sloshing 하중에 의한 구조안정성을 확보하기도 현실적으로 매우 어렵다.

따라서 상기 언급한 종 방향 접근수단을 설치를 최소화하기 위하여 갑판 Transverse web 및 갑판 보강재(deck longitudinal)를 갑판 상부에 배치하였다. 중형 유조선에서 보편적으로 채택되고 있는 구조배치와 새로이 설계된 구조배치를 각각 Fig. 4.3와 Fig. 4.4에 구분하여 나타내었다.

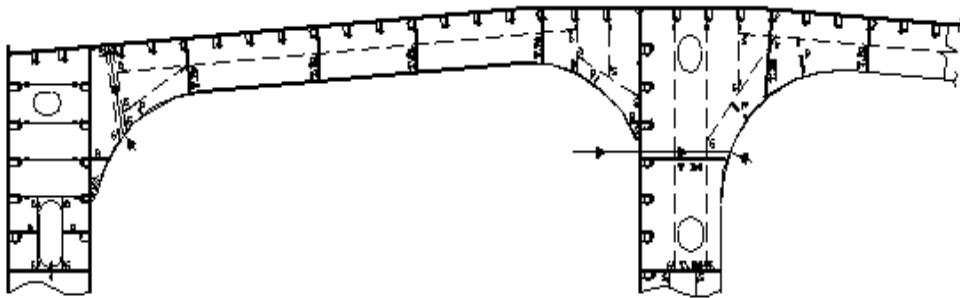


Fig. 4.3 Structural arrangement of upper deck transverse web at the general design

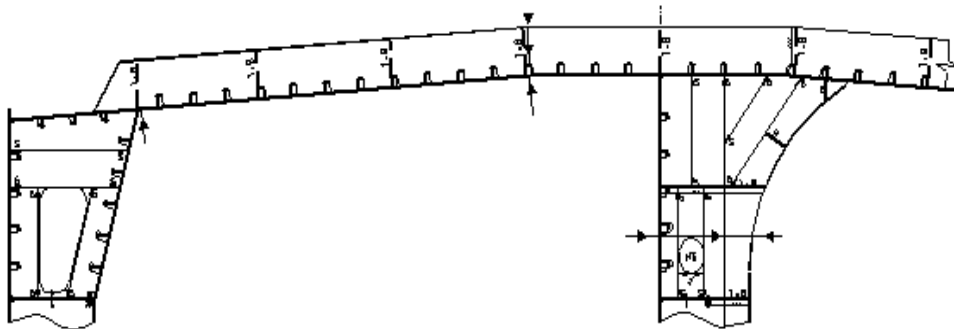


Fig. 4.4 Structural arrangement of upper deck transverse web at the new design

4.2.3 Top side wing tank 구조형상 결정

일반적으로 갑판위에 종 방향 통로를 확보한 후 갑판 Transverse web 및 갑판 보강재(deck longitudinal)를 갑판 상부에 배치하면 Fig. 4.5에 나타낸 것과 같이 선측 종 격벽(side longitudinal bulkhead) 상부 방향에 구조 불연속성 문제가 발생한다. 구조의 안정성을 확보하기 위해서는 갑판 하부에 적절한 크기의 브래킷 설치가 필수적이라고 할 수 있다. 그러나 갑판 하부에 큰 브래킷(bracket)이 설치될 경우에는 역시 내부재를 검사할 수 있도록 종 방향 영구 접근수단이 제공되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 선측 종 격벽 상부에 약간의 구배를 갖도록 설계하여 하부 브래킷 제거와 동시에 구조안정성을 확보하였다.

중형 유조선에서 일반적으로 채택되고 있는 Top side wing tank의 구조형상과 새로이 설계된 구조형상을 Fig. 4.6에 구분하여 나타내었다.

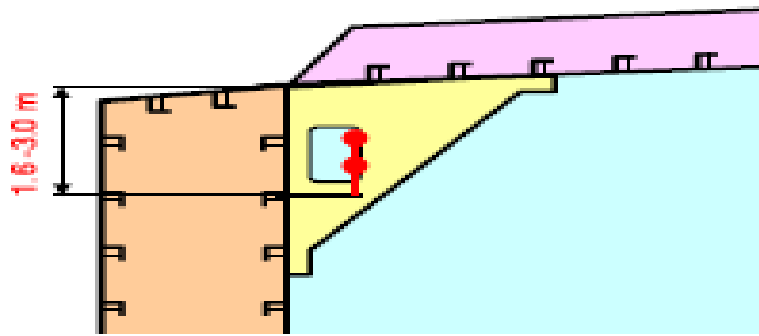
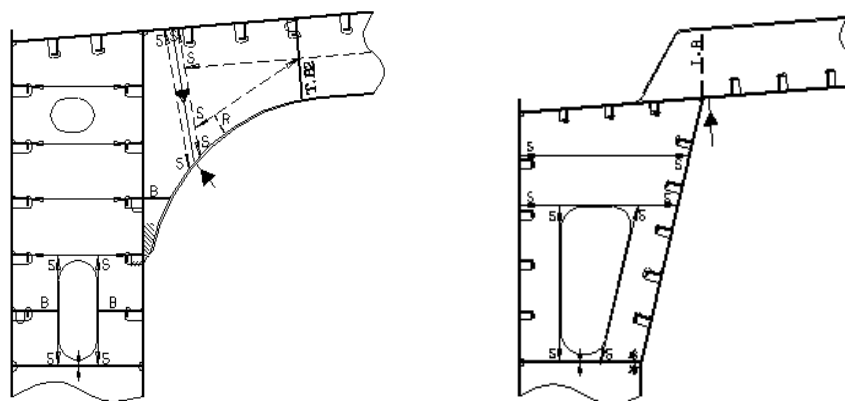


Fig. 4.5 Structural arrangement of top side wing tank for general idea



(a) General design

(b) New design

Fig. 4.6 Structural arrangement of top side wing tank

4.2.4 중앙 종 격벽 Vertical web의 구조형상 결정

일반적인 구조설계 개념은 갑판 Transverse web 및 갑판 보강재(deck longitudinal)를 갑판 상부에 배치하면 Fig. 4.7에 나타낸 것과 같이 Trans-ring 구조형상을 유지할 목적으로 중앙 종 격벽(center line longitudinal bulkhead) 상부에 적절한 크기의 브래킷을 설치한다. 그러나 갑판하부에 큰 브래킷(bracket)이 설치될 경우에는 내부재를 검사할 수 있도록 종 방향 영구 접근수단이 제공되어야한다. 따라서 본 연구에서는 중앙 종 격벽 상부에 설치된 브래킷(bracket) 중 좌현(port) 쪽을 제거하고 이에 따른 구조안정성 확보차원에서 기존 실적선과 대비하여 하부 브래킷을 약간 크게 설계하고, Vertical web의 폭도 약 200mm 증가 시켰다.

중형 유조선에서 일반적으로 채택하고 있는 Vertical web의 구조형상과 새로이 설계된 구조형상을 Fig. 4.8에 구분하여 나타내었다.

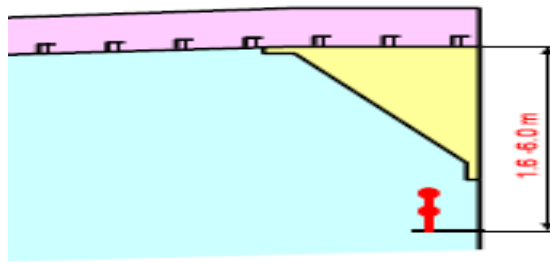


Fig. 4.7 Structural arrangement of big bracket i.w.o vertical web for general idea

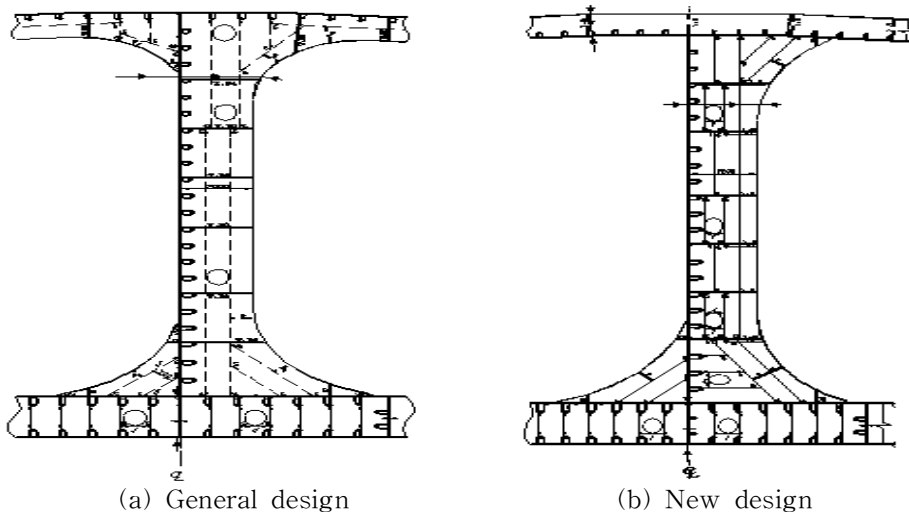


Fig. 4.8 Structural arrangement of vertical web

4.2.5 Stringer 구조배치 결정

밸러스트 탱크(ballast tank)내의 접근수단 설치 규정에 따라 최상부 수평 스트링거와 갑판 사이의 수직거리가 6m 이상인 경우에는 1개의 연속된 종 방향 영구 접근수단이 탱크의 전 길이에 걸쳐서 제공되어야 하며 탱크 양단에 수직 접근 사다리를 갖추고 있어야 한다. 또한 구조부재와 일체화된 연속된 종 방향 영구 접근수단은 수직거리로 6m 이하의 간격이어야 한다.

따라서 밸러스트 탱크내 갑판 하부 1.6m - 3.0m 내에 설치되어야 하는 종 방향 영구 접근수단을 제거하기 위하여 Fig. 4.9(a)에 나타난 것과 같이 스트링거 간격을 6m 이내로 하여 설계 하였다.

그리고 가능한 한 스트링거 판은 화물유 탱크내 횡 격벽의 수평 거더와 일직선이 되어야 하므로 Fig. 4.9(b)에 나타난 것과 같이 화물유 탱크의 스트링거 구조 배치도 6m 이내로 하여 설계 하였다.

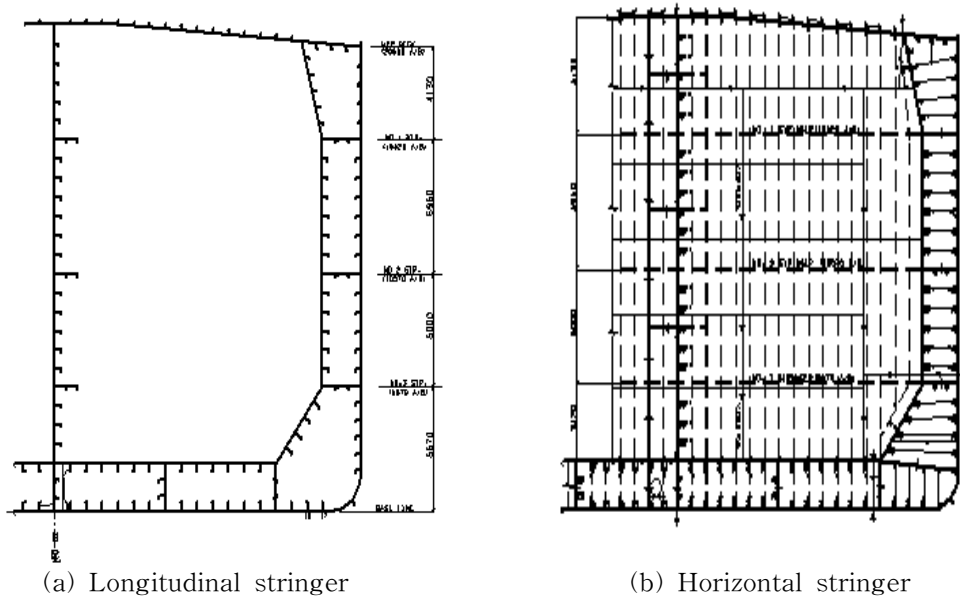


Fig. 4.9 Structural arrangement of stringer

4.3 중앙 횡단면 최적 설계에 따른 기대효과

2005년 1월1일로 발효된 영구적 접근수단 설치(permanent means of access, PMA) 규정은 조선소의 원가부담 및 설계와 생산 능률저하의 원인이 되고 있다.

따라서 제4장에서는 접근설비 설치 규정을 만족하는 범위에서 접근수단 설치를 최소화 할 수 있는 중앙 횡단면의 구조배치 및 구조형상 최적화 설계에 대하여 살펴보았다. 그 주요 변경사항으로 인한 기대효과를 Table 4.1에 나타내었다.

Table 4.1 Expectation effect due to new design

구 분	기 대 효 과	비 고
갑판 transverse web 및 보강재의 갑판 상부 배치	① 탐재시 용접면이 아래로 위치 하므로 용접이 용이하고, Cargo tank 안에 고소작업이 감소됨. ② 부재가 Deck 상부에 위치하므로 도장작업(특수도장)이 용이함. ③ 선박의 유지 보수시 Cargo tank 내의 Critical area 감소로 선체 검사가 용이함. ④ Cargo tank내 상부 부재를 검사 하기 위한 종 방향 접근수단 설치가 필요 없음. - Inner L/BHD : 2개 (좌현/우현)	
Top side wing tank 구조형상	① 하부 브래킷 제거로 탐재시 고소 작업 감소 및 도장작업 용이함. ② 하부 브래킷을 검사하기 위한 종 방향 접근수단 설치가 필요 없음. - Inner L/BHD : 2개 (좌현/우현)	Cargo Volume 감소(약 750 M ³)

Table 4.1 Expectation effect due to new design

<p>중양 종 격벽 Vertical web의 구조형상</p>	<p>① C.L. L/BHD 하부 브래킷 제거로 탑재시 고소작업 감소 및 도장작업이 용이함.</p> <p>② C.L. L/BHD 하부 브래킷을 검사하기 위한 종 방향 접근수단 설치가 필요 없음.</p> <p>- C.L. L/BHD : 1개 (좌현)</p>	
<p>Ballast tank 와 cargo tank내의 stringer 구조배치</p>	<p>① Ballast tank내 상부 부재를 검사하기 위한 종 방향 접근수단 설치가 필요 없음.</p> <p>- Inner L/BHD : 2개 (좌현/우현)</p> <p>② Ballast tank내 Bilge hopper부에 종 방향 접근수단 설치가 필요 없음.</p> <p>- Side shell : 2개 (좌현/우현)</p>	

제5장 선급규칙에 의한 구조강도 평가

지금까지 2005년 1월1일 이후 강제 적용하고 있는 SOLAS Reg.II-1/3-6 규칙에 대해 충분히 이해하고 검사를 위한 접근수단을 최소화 할 수 있는 최적의 중앙 횡단면 구조형상과 구조배치를 하였다. 새로운 개념의 중앙 횡단면도(midship section)는 STX조선(주)에서 개발되어 유럽선주에게 총 8척이 발주되었다.

현재까지도 선급규칙이 선박구조설계의 강력한 지침서이며 각 선급은 구조강도 평가를 위한 도구로서 전용 프로그램을 개발하여 사용하고 있다. 선급 전용 프로그램이 널리 이용되는 이유는 사용법이 간편하고 계산 후 결과에 대한 평가가 쉽게 이루어지기 때문이다.

따라서 제5장에서는 개발선에 대한 구조설계 과정의 일환으로 미국선급규칙(ABS rule)을 적용하여 구조강도 평가를 수행하였다. 구조강도 평가를 위해 사용된 프로그램은 미국선급(ABS)의 구조강도 평가 전용프로그램인 SafeHull을 이용하였으며, 종강도 및 Scantling 평가는 SafeHull Phase-A로 구조해석은 SafeHull Phase-B로 수행한 결과이다.

대상 선박의 주요 요목(principal dimension)은 Table 5.1에 나타내었다.

Table 5.1 Principal dimension

Length O. A	Abt.	228.00	M
Length B. P		219.00	M
Length Scant.		216.25	M
Breadth Mld.		32.24	M
Depth Mld.		20.65	M
Draft Design		12.22	M
Draft Scant.		14.30	M
Block Coefficient		0.870	
Speed		14.90	Knots

5.1 선급규칙에 따른 종강도(hull girder strength)

선체 구조부재의 치수 결정은 중앙단면의 계산으로부터 시작되고 중앙단면에서의 작업은 종강도를 만족하도록 각 부재의 설계를 반복하는 작업이기 때문에 선체에서 종강도는 강도 평가의 가장 중요한 척도가 되며 선급에서도 종강도에 관심이 크다. 종강도는 단순보 이론을 적용하여 응력해석을 수행하였을 때 이 응력의 상한치를 규정하고 있다.

미국선급 규칙(ABS rule)에서는 선박에 대한 종강도를 다음과 같은 기준을 만족하도록 요구하고 있다.

5.1.1 Wave Bending Moment M_w

$$M_{W_s} = -k_1 C_1 L^2 B (C_b + 0.7) \times 10^{-3} \quad (\text{kNm in sagging})$$

$$M_{W_h} = +k_2 C_1 L^2 B C_b \times 10^{-3} \quad (\text{kNm in hogging})$$

여기서, $k_1 = 100$

$$k_2 = 190$$

$$C_1 = 10.75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{1.5} \quad (90 \leq L \leq 300 \text{ m})$$

$$= 10.75 \quad (300 < L \leq 350 \text{ m})$$

$$= 10.75 - \left(\frac{L - 350}{150} \right)^{1.5} \quad (350 \leq L \leq 500 \text{ m})$$

$$L = \text{Length of vessel} \quad (m)$$

$$B = \text{Breadth of vessel} \quad (m)$$

$$C_b = \text{Block coefficient}$$

5.1.2 Hull Girder Section Modulus SM

$$SM = M_t / f_p \quad (cm^2 - m)$$

여기서, $M_t = -M_{sw} + M_w$

$$M_{sw} = \text{still-water bending moment} \quad (kN - m)$$

$$M_w = \text{maximum wave-induced bending moment} \quad (kN - m)$$

5.1.3 Minimum Section Modulus

$$SM = C_1 C_2 L^2 B (C_b + 0.7) \quad (cm^2 - m)$$

여기서, $C_2 = 0.01$

5.1.4 Minimum Moment of Inertia

$$I = L \cdot SM / 33.3 \quad (cm^2 - m^2)$$

여기서, $SM = \text{Required hull girder section modulus} \quad (cm^2 - m)$

5.1.5 SafeHull Phase-A 결과

◆ Still Water & Wave Bending Moments

Still Water Sagging BM (M_{sws}) = -137600.00 (tf-m)
 Still Water Hogging BM (M_{swh}) = 158800.00 (tf-m)
 ABS Vertical Wave Sagging BM (M_{ws}) = -265146.16 (tf-m)
 ABS Vertical Wave Hogging BM (M_{wh}) = 253653.98 (tf-m)
 Total Vertical Bending Moment (M_t) = 412454.00 (tf-m)

◆ Gross Nominal Section Modulus

SM deck = 180333.(m-cm²) Q_{deck} = 0.780
 SM bottom = 231196.(m-cm²) Q_{bottom} = 1.000

◆ Minimum Required Gross Section Modulus

SM deck = 184326.(m-cm²) Q_{deck} = 0.780
 SM bottom = 236316.(m-cm²) Q_{bottom} = 1.000

◆ Gross Sagging/Hogging Section Modulus

SM deck(sagging) = 179988.(m-cm²) Q_{deck} = 0.780
 SM bottom(hogging) = 236316.(m-cm²) Q_{bottom} = 1.000

◆ Hull-girder Gross Moment of Inertia

HGMI = 1534632. (m²-cm²)
 SMreq.(mild steel) = 236316. (cm²-m)

◆ Hull-girder Section Modulus

	Gross Required Section Modulus (cm ² -m)	Q-factor	Gross Design Section Modulus (cm ² -m)	SM Ratio SMA/SMR
Deck	184326.	0.780	225467.	1.223
Bottom	236316.	1.000	294742.	1.247

◆ Structure Material Ratio

MILD STEEL 39.80%
 HT STEEL 60.20%

5.2 선급규칙에 따른 종강도부재의 치수 계산

구조의 형태와 부재 배치가 결정되면 각 부재의 치수를 선급 규칙에서 제시한 식으로 계산한다. 이때 필요한 수식들은 미국선급 규칙 Part 3에서 규정하고 있다.

종강도 부재의 치수를 결정하기 위해 SafeHull Phase-A를 사용하여 Local scantling을 계산하였다. 계산을 위해 Model에 부여된 Local plate의 ID와 Local stiffener의 ID는 각각 Fig. 5.1과 Fig. 5.2에 나타내었으며, 선급 규칙에 의한 종보강판과 종보강재의 요구치와 실선에 적용한 값을 구분하여 각각 Table 5.2와 Table 5.3에 나타내었다.

5.2.1 종보강판의 치수 결정(Scantling of Longitudinal plate)

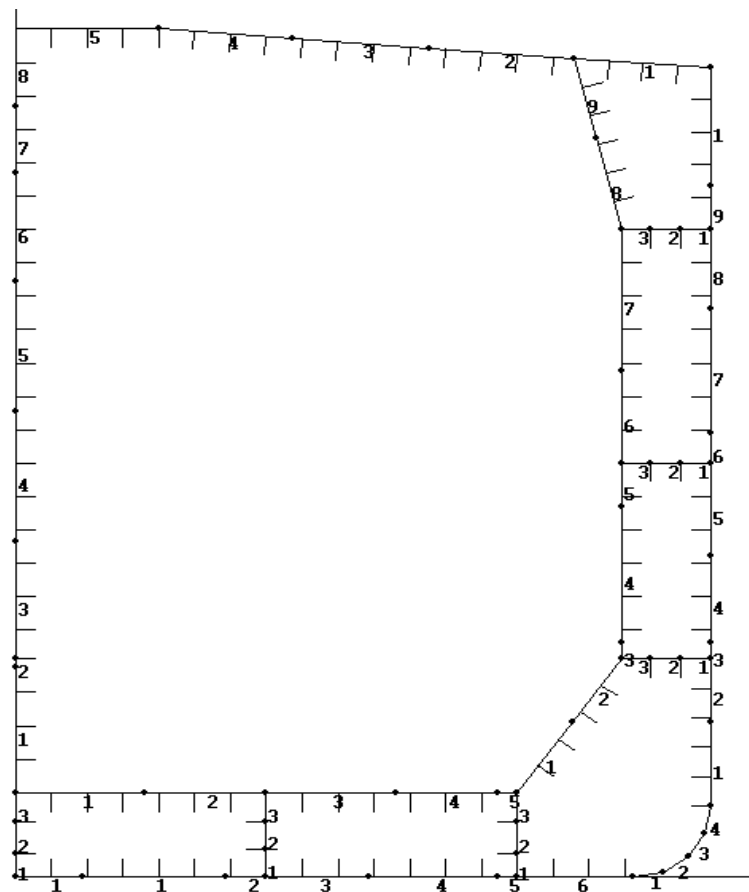


Fig. 5.1 Sketch of local plate ID

Table 5.2 Scantling of longitudinal plate

Location	Plate ID	Material	Required Gross t(mm)	Offered Gross t(mm)
keel plate	KPL-01	Mild	18.37	18.50
Bottom	BTM-01	Mild	16.87	17.50
Bottom	BTM-02	Mild	16.87	17.50
Bottom	BTM-03	Mild	17.26	17.50
Bottom	BTM-04	Mild	17.26	17.50
Bottom	BTM-05	Mild	17.26	17.50
Bottom	BTM-06	Mild	17.26	17.50
Bilge	BLG-01	Mild	17.26	17.50
Bilge	BLG-02	Mild	17.26	17.50
Bilge	BLG-03	Mild	17.26	17.50
Bilge	BLG-04	Mild	17.26	17.50
Side Shell	SHL-01	Mild	15.64	15.50
Side Shell	SHL-02	Mild	15.64	15.50
Side Shell	SHL-03	Mild	15.64	15.50
Side Shell	SHL-04	HT32	15.73	15.50
Side Shell	SHL-05	HT32	15.73	15.50
Side Shell	SHL-06	HT32	15.73	15.50
Side Shell	SHL-07	HT32	15.73	15.50
Side Shell	SHL-08	HT32	15.73	15.50
Side Shell	SHL-09	HT32	15.40	15.50
Shear Strake	SHS-01	HT32	15.40	15.50
Upper Deck	DEC-01	HT32	15.95	16.00
Upper Deck	DEC-02	HT32	15.65	15.50
Upper Deck	DEC-03	HT32	15.65	15.50
Upper Deck	DEC-04	HT32	15.65	15.50
Upper Deck	DEC-05	HT32	15.60	15.50
Inner Bottom	INB-01	HT32	15.82	16.00
Inner Bottom	INB-02	HT32	15.82	16.00
Inner Bottom	INB-03	HT32	15.82	16.00
Inner Bottom	INB-04	HT32	15.82	16.50
Inner Bottom	INB-05	HT32	15.82	16.50
Inner Skin	INS-01	HT32	16.45	18.00
Inner Skin	INS-02	HT32	15.16	16.50
Inner Skin	INS-03	HT32	13.04	16.50
Inner Skin	INS-04	Mild	16.09	16.50
Inner Skin	INS-05	Mild	14.88	15.00
Inner Skin	INS-06	Mild	14.45	15.00
Inner Skin	INS-07	Mild	13.51	14.00
Inner Skin	INS-08	Mild	12.04	13.00

Table 5.2 Scantling of longitudinal plate

Inner Skin	INS-09	HT32	12.41	13.00
C.L.BHD	CTR-01	HT32	14.55	15.50
C.L.BHD	CTR-02	Mild	15.13	15.00
C.L.BHD	CTR-03	Mild	14.98	15.00
C.L.BHD	CTR-04	Mild	13.99	14.00
C.L.BHD	CTR-05	Mild	12.75	13.50
C.L.BHD	CTR-06	Mild	11.37	13.50
C.L.BHD	CTR-07	HT32	10.50	15.50
C.L.BHD	CTR-08	HT32	14.92	15.50

5.2.2 종보강재의 치수 결정(Scantling of Longitudinal plate)

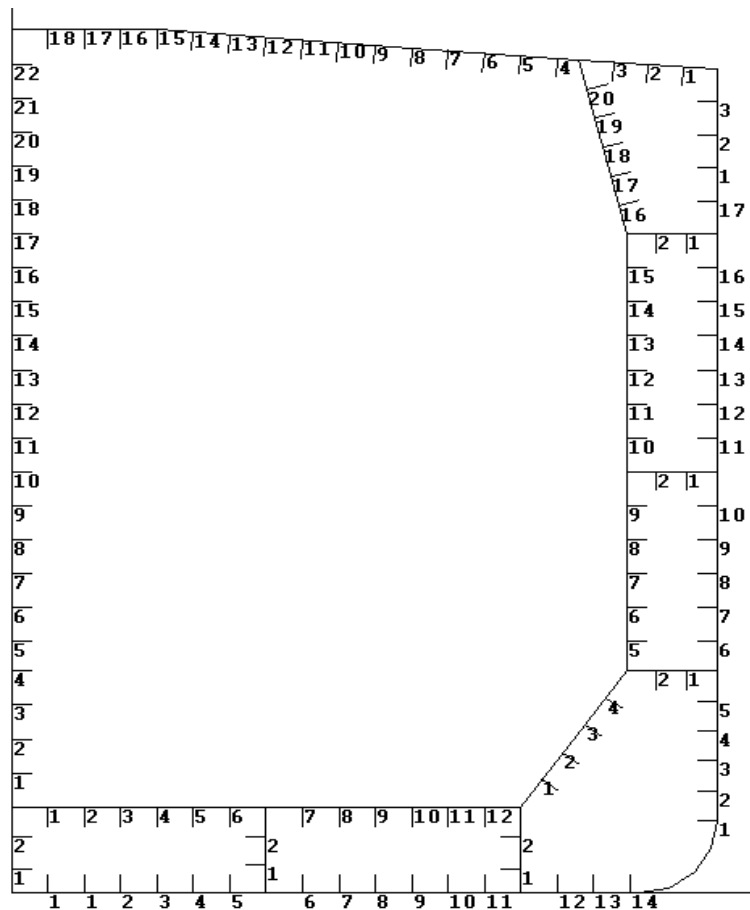


Fig. 5.2 Sketch of local stiffener ID

Table 5.3 Scantling of longitudinal stiffener

Location	Stiffener ID	Material	Required Gross SM (Cm3)	Applied Stiffener/ Offered Gross SM(Cm3)
keel plate	KPL-101	HT32	935	400x100x13/18IA(1185)
Bottom	BTM-101	HT32	935	400x100x13/18IA(1175)
Bottom	BTM-102	HT32	935	400x100x13/18IA(1175)
Bottom	BTM-103	HT32	935	400x100x13/18IA(1175)
Bottom	BTM-104	HT32	935	400x100x13/18IA(1175)
Bottom	BTM-205	HT32	935	400x100x13/18IA(1175)
Bottom	BTM-306	HT32	982	400x100x13/18IA(1175)
Bottom	BTM-307	HT32	982	400x100x13/18IA(1175)
Bottom	BTM-408	HT32	982	400x100x13/18IA(1175)
Bottom	BTM-409	HT32	982	400x100x13/18IA(1175)
Bottom	BTM-410	HT32	982	400x100x13/18IA(1175)
Bottom	BTM-411	HT32	982	400x100x13/18IA(1175)
Bottom	BTM-612	HT32	982	400x100x13/18IA(1175)
Bottom	BTM-613	HT32	982	400x100x13/18IA(1175)
Bottom	BTM-614	HT32	982	400x100x13/18IA(1175)
Side Shell	SHL-101	HT32	826	350X100X12/17IA(908)
Side Shell	SHL-102	HT32	777	350X100X12/17IA(908)
Side Shell	SHL-103	HT32	753	350X100X12/17IA(908)
Side Shell	SHL-204	HT32	732	350X100X12/17IA(908)
Side Shell	SHL-205	HT32	712	350X100X12/17IA(908)
Side Shell	SHL-406	HT32	756	350X100X12/17IA(912)
Side Shell	SHL-407	Mild	885	350X100X12/17IA(908)
Side Shell	SHL-408	Mild	840	350X100X12/17IA(908)
Side Shell	SHL-509	Mild	796	350X100X12/17IA(908)
Side Shell	SHL-510	Mild	751	350X100X12/17IA(908)
Side Shell	SHL-711	Mild	724	350X100X12/17IA(912)
Side Shell	SHL-712	Mild	643	350X100X12/17IA(908)
Side Shell	SHL-713	Mild	629	350X100X12/17IA(908)
Side Shell	SHL-714	Mild	612	300X90X13/17IA(704)
Side Shell	SHL-815	Mild	557	300X90X13/17IA(704)
Side Shell	SHL-816	Mild	476	300X90X13/17IA(704)
Side Shell	SHL-917	HT32	294	200X90X10/14IA(340)
Sheer Strake	SHS-101	HT32	255	200X90X10/14IA(340)
Sheer Strake	SHS-102	HT32	217	200X90X10/14IA(340)
Sheer Strake	SHS-103	HT32	176	200X90X10/14IA(340)
Upper Deck	DEC-101	HT32	210	200X90X10/14IA(341)
Upper Deck	DEC-102	HT32	207	200X90X10/14IA(341)
Upper Deck	DEC-103	HT32	204	200X90X10/14IA(341)

Table 5.3 Scantling of longitudinal stiffener

Upper Deck	DEC-204	HT32	196	250X90X10/15IA(478)
Upper Deck	DEC-205	HT32	240	250X90X10/15IA(478)
Upper Deck	DEC-206	HT32	236	250X90X10/15IA(478)
Upper Deck	DEC-207	HT32	233	250X90X10/15IA(478)
Upper Deck	DEC-308	HT32	230	250X90X10/15IA(478)
Upper Deck	DEC-309	HT32	227	250X90X10/15IA(478)
Upper Deck	DEC-310	HT32	224	250X90X10/15IA(478)
Upper Deck	DEC-311	HT32	220	250X90X10/15IA(478)
Upper Deck	DEC-412	HT32	217	250X90X10/15IA(478)
Upper Deck	DEC-413	HT32	214	250X90X10/15IA(478)
Upper Deck	DEC-414	HT32	111	250X90X10/15IA(478)

5.3 선급규칙에 따른 구조해석

본 연구에서는 미국선급(ABS)의 구조해석 프로그램인 SafeHull Phase-B를 사용하여 선급 기준에 따라 구조해석을 수행하였다.

구조해석은 선급별 기준(모델, 하중조건, 허용기준)에 따라 Primary 부재를 평가하기 위해 중앙부 2개 혹은 3개 Hold를 기준으로 구조해석을 실시한다. 또한, 특별히 상대변형에 의해 응력이 집중되는 Transverse bulkhead 하부의 Secondary 부재(중늑골)와 같은 연결부에 대한 해석도 수행하여 응력집중을 최소화 할 수 있는 적절한 구조형상을 검토하여야 한다. 그리고 선급 또는 구조의 특성에 따라 부위별로 Thickness Mesh 크기 혹은 100 x 100mm Mesh 크기 정도의 Very Fine Mesh 해석이 필요한 경우도 있다. 일반적인 구조해석 흐름도는 Fig. 5.3에 나타내었다.

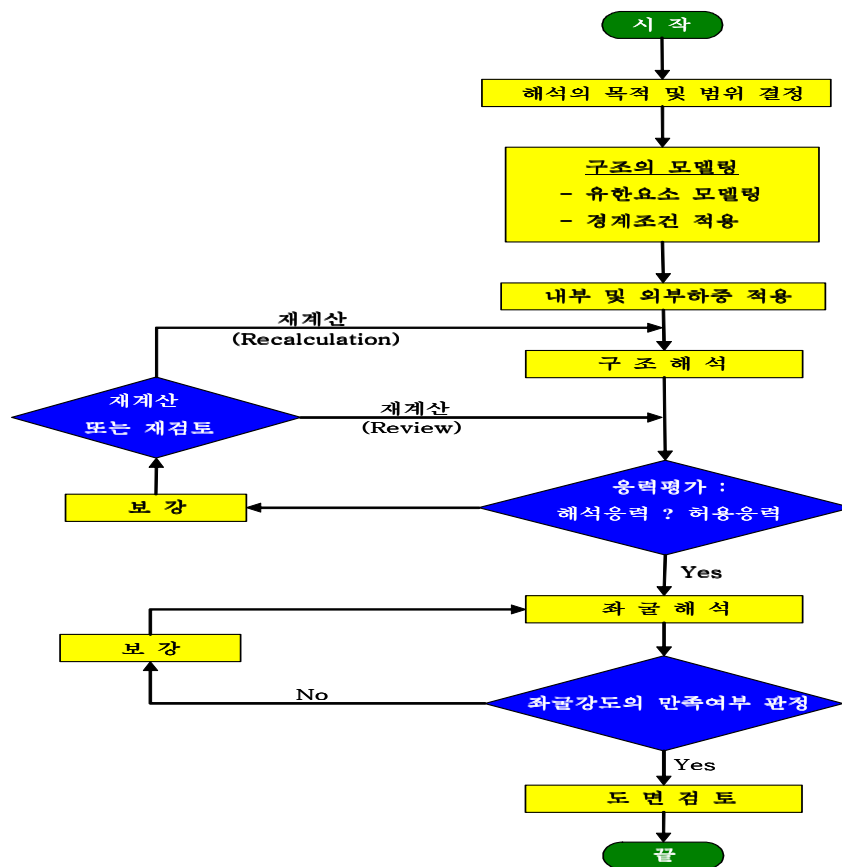


Fig. 5.3 Flowchart of F.E. analysis

5.3.1 구조의 모델링

해석대상의 범위는 중앙 평행부 3개의 화물류 탱크(cargo tank) 전폭으로 하였으며, 각 화물류 탱크사이의 중, 횡 격벽을 포함하였다. 구조해석을 위한 모델은 Fig. 5.4에 나타내었다.

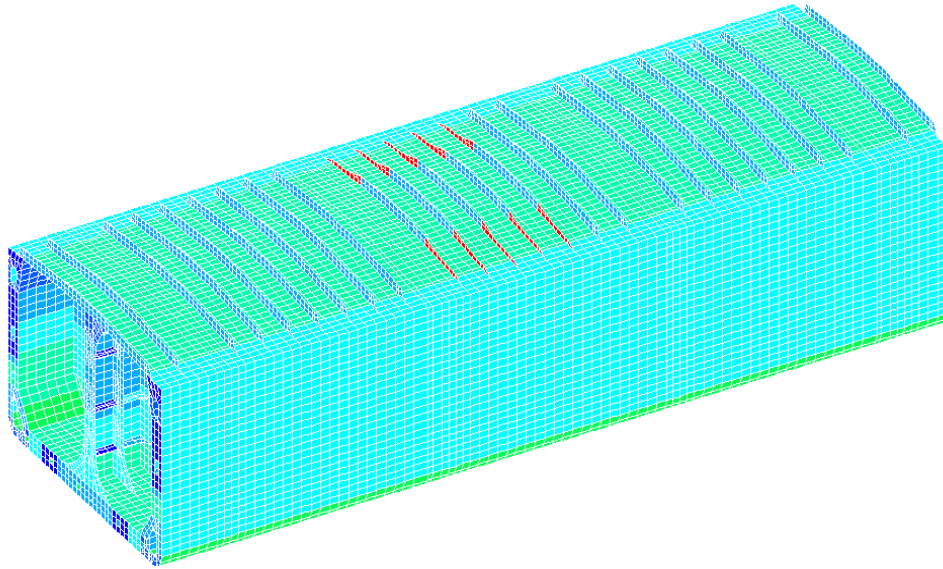


Fig. 5.4 3-D F.E. analysis model

5.3.2 하중조건

하중조건(loading conditions)은 미국선급(ABS)에서 요구하는 10개의 조건을 적용하였으며, Fig. 5.5와 Table 5.4에 정리하여 나타내었다.

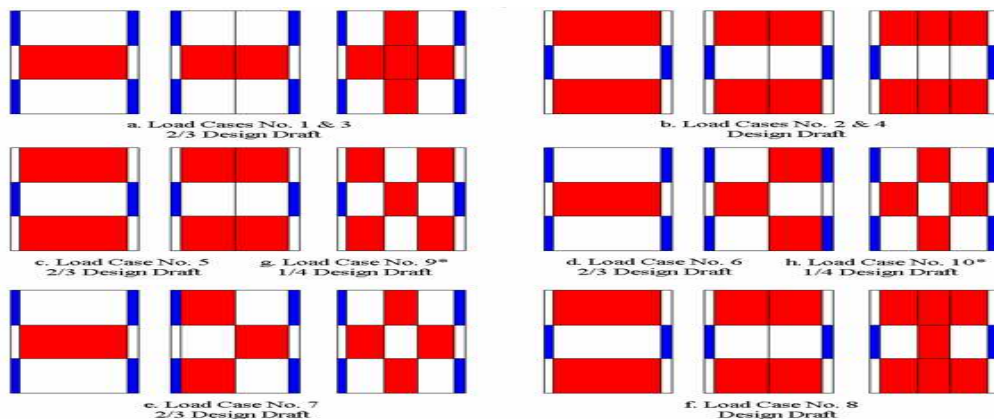


Fig. 5.5 Loading conditions

Table 5.4 Summary of loading conditions

	L.C.1	L.C.2	L.C.3	L.C.4	L.C.5	L.C.6	L.C.7	L.C.8	L.C.9	L.C.10
A. Hull Girder Loads (See ABS Rule 5-1-3/5)**										
Vertical B.M.	Sag(⊖)	Hog(⊕)	Sag(⊖)	Hog(⊕)	Sag(⊖)	Hog(⊕)	Sag(⊖)	Hog(⊕)	-	-
k_e	1.0	1.0	0.7	0.7	0.3	0.3	0.4	0.4	0.0	0.0
Vertical S.F.	(⊕)	(⊖)	(⊕)	(⊖)	(⊕)	(⊖)	(⊕)	(⊖)	-	-
k_e	0.5	0.5	1.0	1.0	0.3	0.3	0.4	0.4	0.0	0.0
Horizontal B.M.	-	-	-	-	(⊖)	(⊕)	(⊖)	(⊕)	-	-
k_e	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	1.0	1.0	0.0	0.0
Horizontal S.F.	-	-	-	-	(⊕)	(⊖)	(⊕)	(⊖)	-	-
k_e	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.5	0.5	0.0	0.0
B. External Pressure (See ABS Rule 5-1-3/5.5)										
k_e	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.0	0.0
k_{90}	-1.0	1.0	-1.0	1.0	-1.0	1.0	-1.0	1.0	0.0	0.0
C. Internal Tank Pressure (See ABS Rule 5-1-3/5.7)										
k_e	0.4	0.4	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0
w_y	0.75	-0.75	0.75	-0.75	0.25	-0.25	0.4	-0.4	0.0	0.0
w_l	Fwd bhd 0.25	Fwd bhd -0.25	Fwd bhd 0.25	Fwd bhd -0.25	-	-	Fwd bhd 0.2	Fwd bhd -0.2	-	-
	Aft bhd -0.25	Aft bhd 0.25	Aft bhd -0.25	Aft bhd 0.25	-	-	Aft bhd -0.2	Aft bhd 0.2	-	-
w_z	-	-	-	-	Port bhd -0.75	Port bhd 0.75	Port bhd -0.4	Port bhd 0.4	-	-
	-	-	-	-	Stbd bhd 0.75	Stbd bhd -0.75	Stbd bhd 0.4	Stbd bhd -0.4	-	-
c_{Pitch}	-1.0	1.0	-1.0	1.0	0.0	0.0	-0.7	0.7	0.0	0.0
c_{Roll}	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	-1.0	0.7	-0.7	0.0	0.0
D. Reference Wave Heading and Motion of Ship										
Heading Angle	0	0	0	0	90	90	60	60	-	-
Heave	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up	-	-
Pitch	Bow down	Bow up	Bow down	Bow up	-	-	Bow down	Bow up	-	-

5.3.3 경계조건

스프링 지지에 의한 경계조건은 Fig. 5.6에 나타내었다.

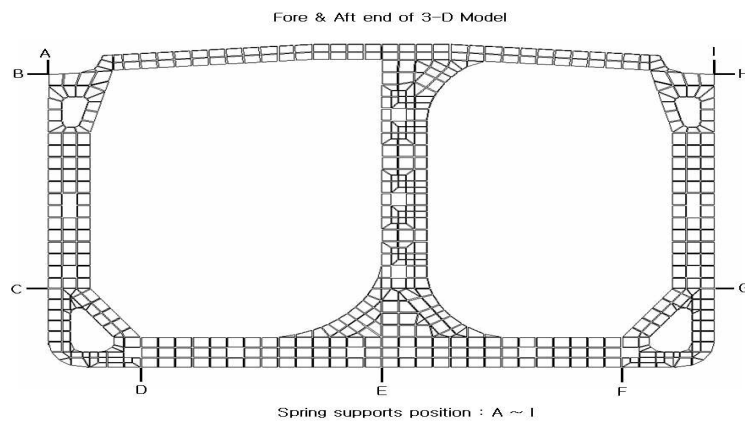


Fig. 5.6 Sketch of boundary condition

5.3.4 해석 결과

1) 변형 평가(deformation assessment)

강도평가에 우선하여, 해석이 바르게 수행되었는지를 검토하기 위하여 각 하중조건에 대한 선체변형을 Fig. 5.7에 구분하여 나타내었다.

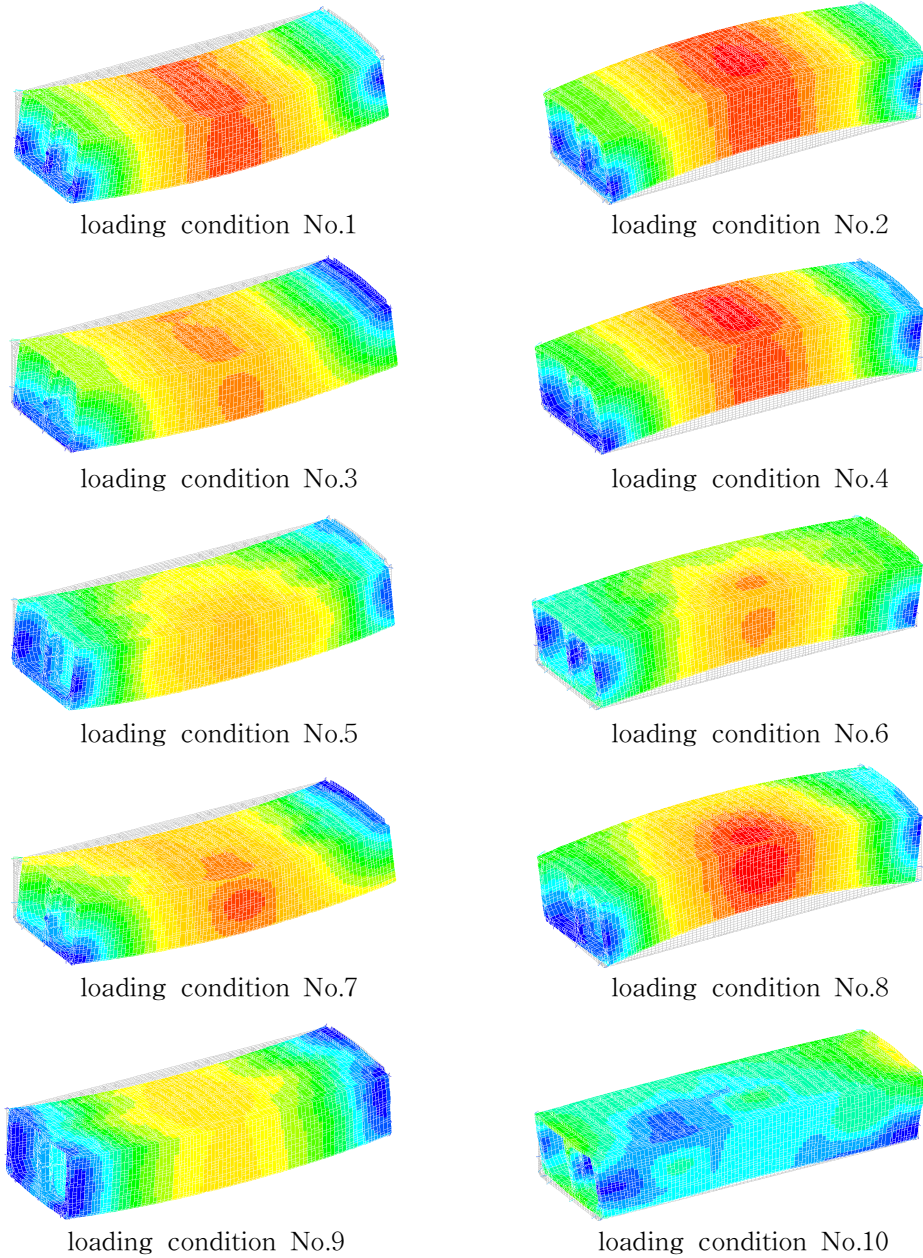


Fig. 5.7 Deformed shape

2) 응력평가(stress assessment)

검사용 접근설비 선각화로 인해 구조변경이 많은 Transverse web와 각 Stringer에 대하여 응력평가를 수행하였다.

미국선급의 응력평가 방법은 아래와 같으며, 최대응력에 대한 평가 결과는 Table 5.5에 응력분포는 Fig. 5.8에서 Fig. 5.12 까지 각각 구분하여 나타내었다.

$$f_i < S_m \cdot f_y$$

여기서,

f_i = Von-mises Stress

S_m = Strength reduction factor,

= 1.0 for Mild steel

= 0.95 for HT32 steel

f_y = Specified minimum yield point

또한, 허용응력(permissible von-Mises Stress)은 아래와 같다.

- Mild steel : 2400 kg/cm²

- HT32 steel : 3040 kg/cm²

Table 5.5 Summary of yielding assessment

Item	Load case	Material	Max. stress (kg/cm ²)	Perm. stress (kg/cm ²)	Safety factor
Typical web frame	L.C. 7	HT32	2720.6	3040	0.895
Fwd web frame	L.C. 10	Mild	2181.7	2400	0.909
No.1 stringer	L.C. 2	Mild	2113.6	2400	0.881
No.2 stringer	L.C. 7	Mild	2219.1	2400	0.925
No.3 stringer	L.C. 7	Mild	2247.6	2400	0.937

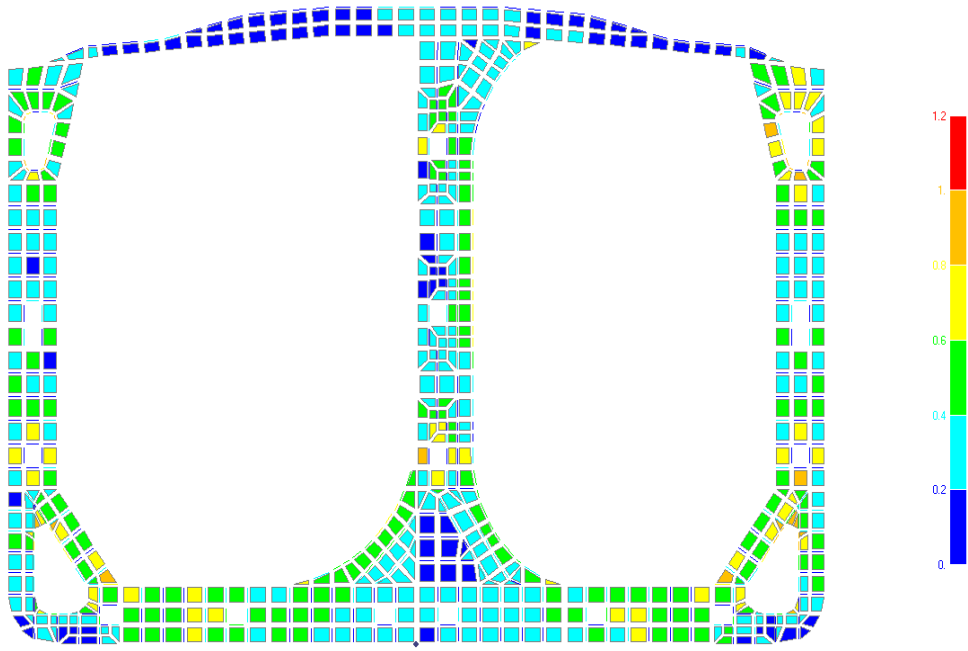


Fig. 5.8 Yielding stress assessment for typical web frame

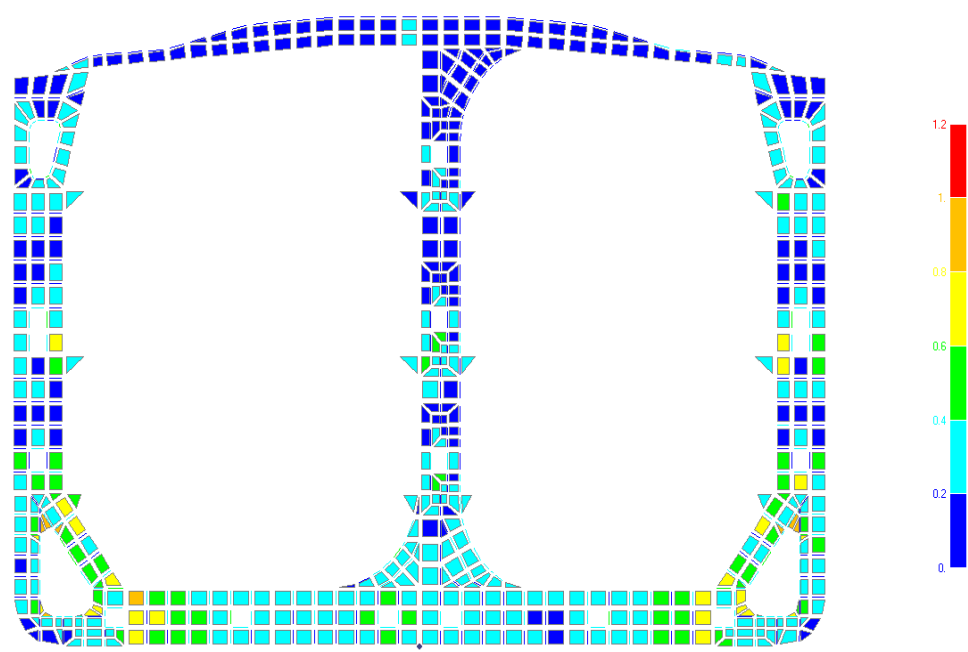


Fig. 5.9 Yielding stress assessment for fwd web frame

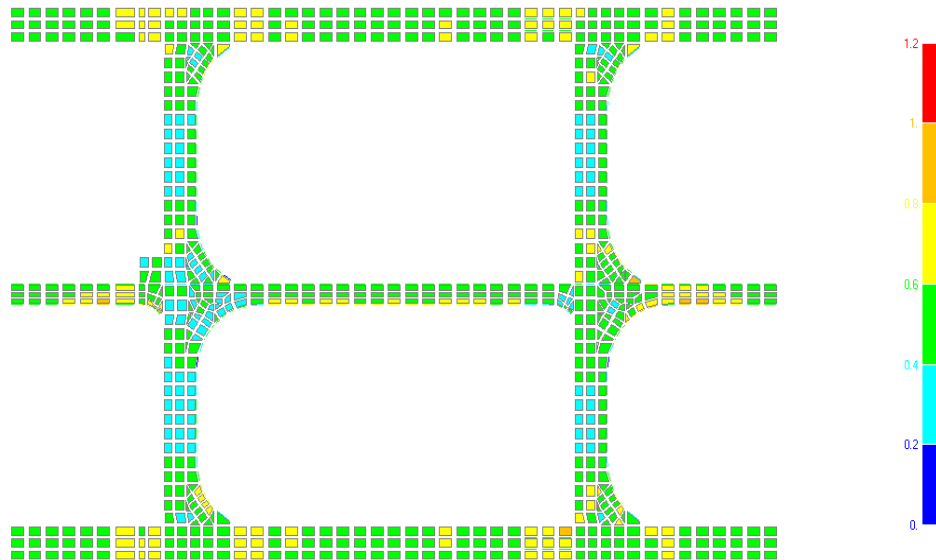


Fig. 5.10 Yielding stress assessment for no.1 stringer

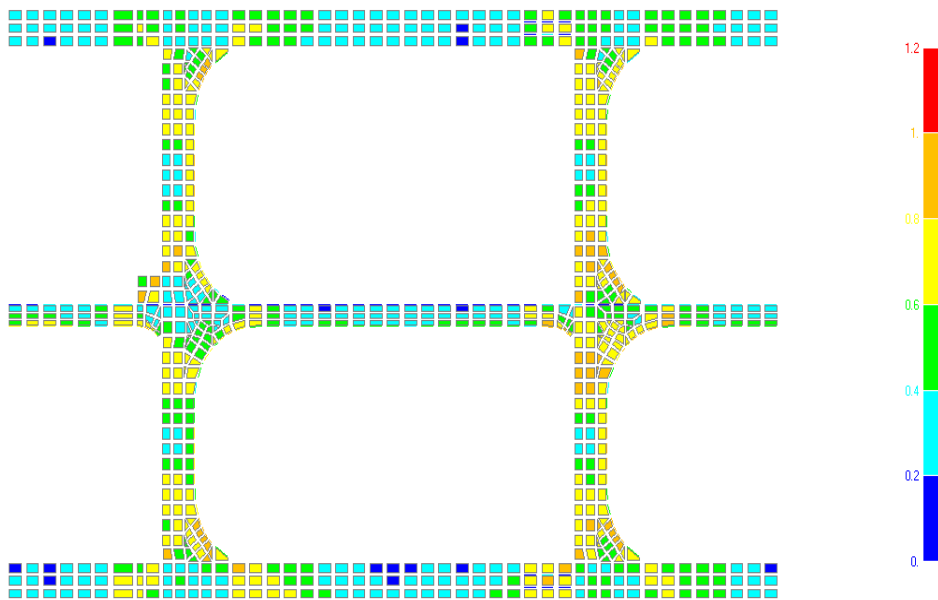


Fig. 5.11 Yielding stress assessment for no.2 stringer

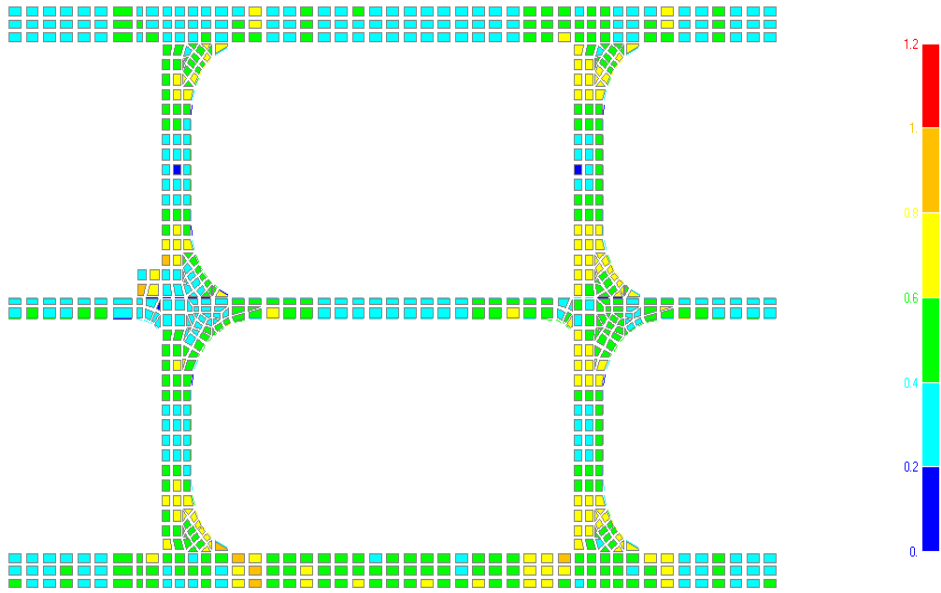


Fig. 5.12 Yielding stress assessment for no.3 stringer

3) 좌굴평가(buckling assessment)

해석 결과에 대한 미국선급의 좌굴평가 방법은 아래와 같으며, 최대 좌굴 평가 결과는 Table 5.6에 계산결과는 Fig. 5.13에서 Fig. 5.17 까지 각각 구분하여 나타내었다.

$$(fLb/fcL)^2 + (fb/fcb)^2 + (fLT/fcLT)^2 < S_m$$

여기서,

fLb = calculated uniform compressive stress, in kgf/cm²

fb = calculated ideal bending stress, in kgf/cm²

fLT = calculated total in-plane shear stress, in kgf/cm²

fcL, fcb and fcLT = critical buckling stresses with respect to uniform compression, ideal bending and shear, respectively, in kgf/cm²

S_m = strength reduction factor,

= 1.0 for Mild steel

= 0.95 for HT32 steel

Table 5.6 Summary of buckling assessment

Item	Load case	Material	fLb/fcL (kg/cm ²)	fb/fcb (kg/cm ²)	fLT/fcLT (kg/cm ²)	Safety factor
Typical web frame	L.C. 4	HT32	-1000.0/ 1067.9	-567.2/ 2787.9	273.8/ 1571.9	0.999
Fwd web frame	L.C. 4	Mild	-288.2/ 400.1	768.7/ 1404.0	450.6/ 1103.9	0.985
No.1 stringer	L.C. 7	Mild	0.0/ 746.8	-496.9/ 1576.0	-1158.6/ 1239.8	0.973
No.2 stringer	L.C. 7	Mild	0.0/ 1196.4	-807.8/ 2024.8	1173.3/ 1294.3	0.981
No.3 stringer	L.C. 8	Mild	-656.6/ 746.8	137.4/ 1576.0	529.3/ 1239.8	0.963

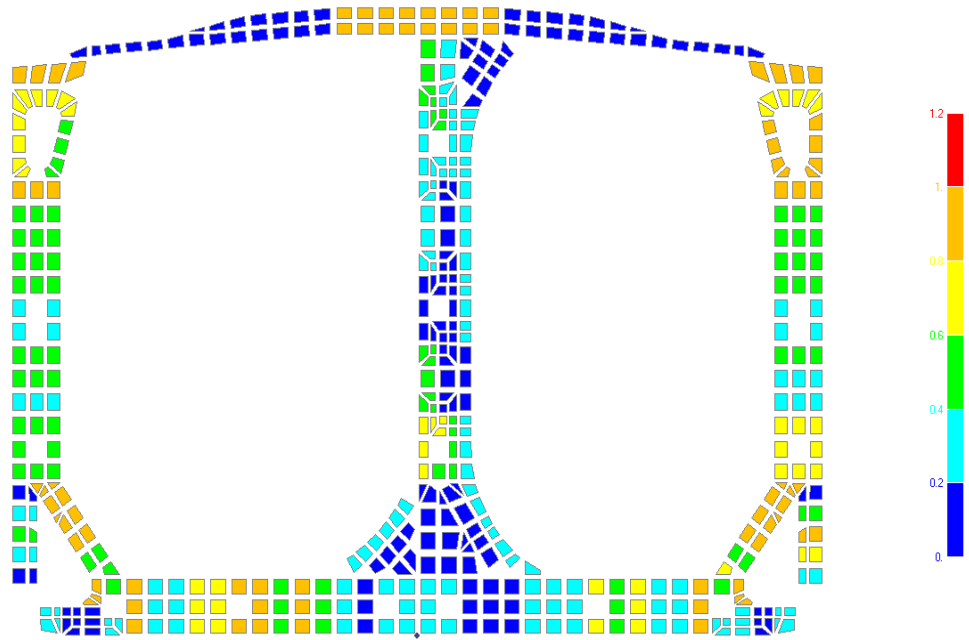


Fig. 5.13 Buckling assessment for typical web frame

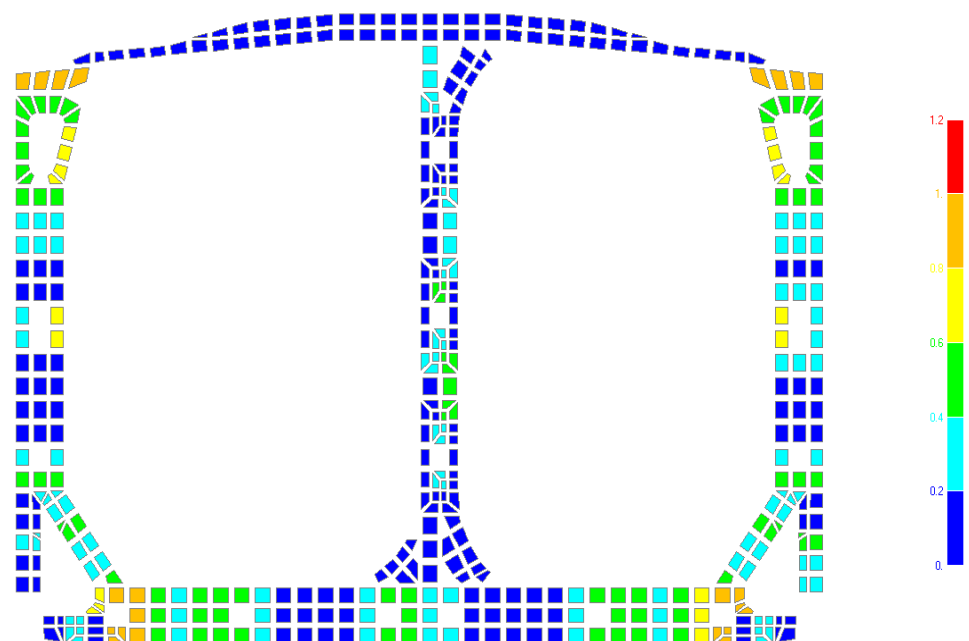


Fig. 5.14 Buckling assessment for fwd web frame

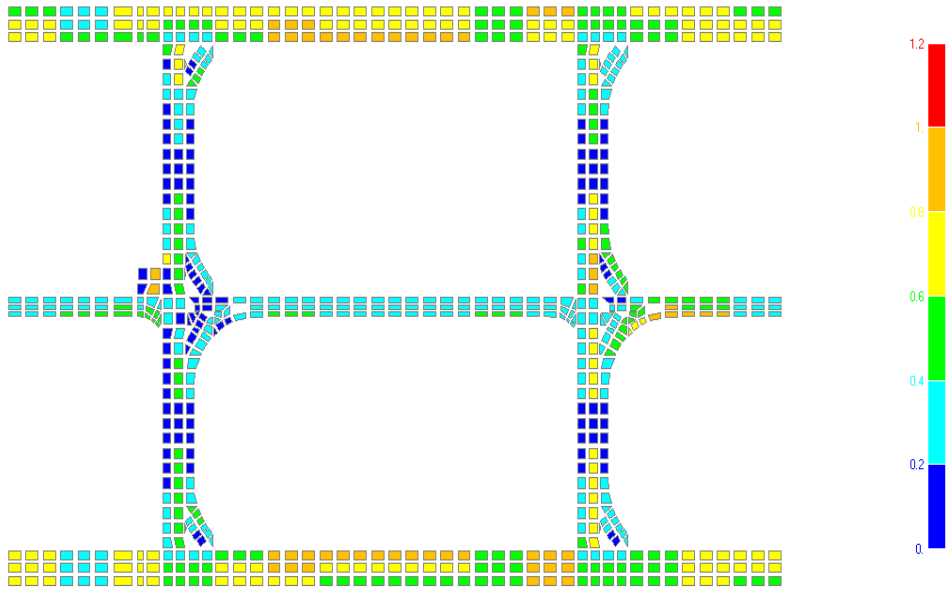


Fig. 5.15 Buckling assessment for no.1 stringer

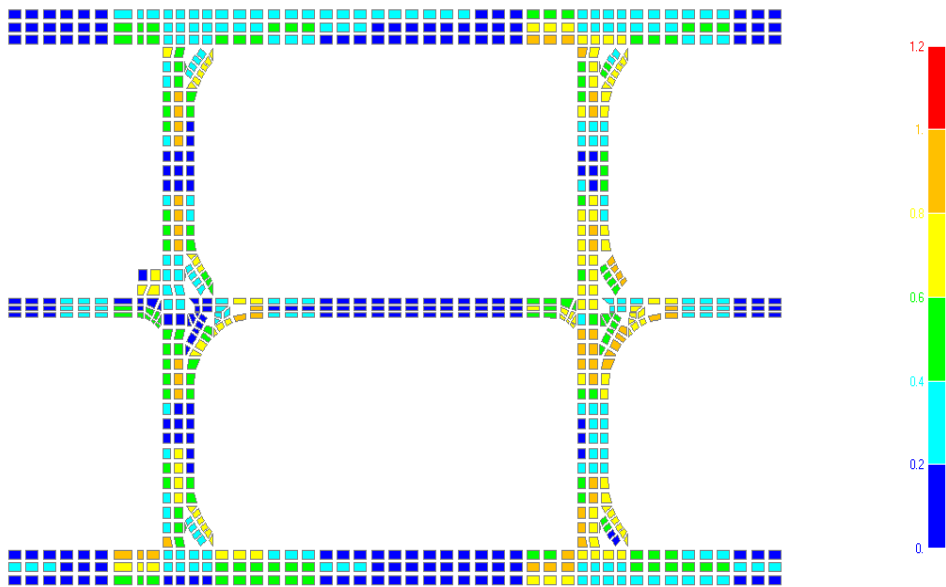


Fig. 5.16 Buckling assessment for no.2 stringer

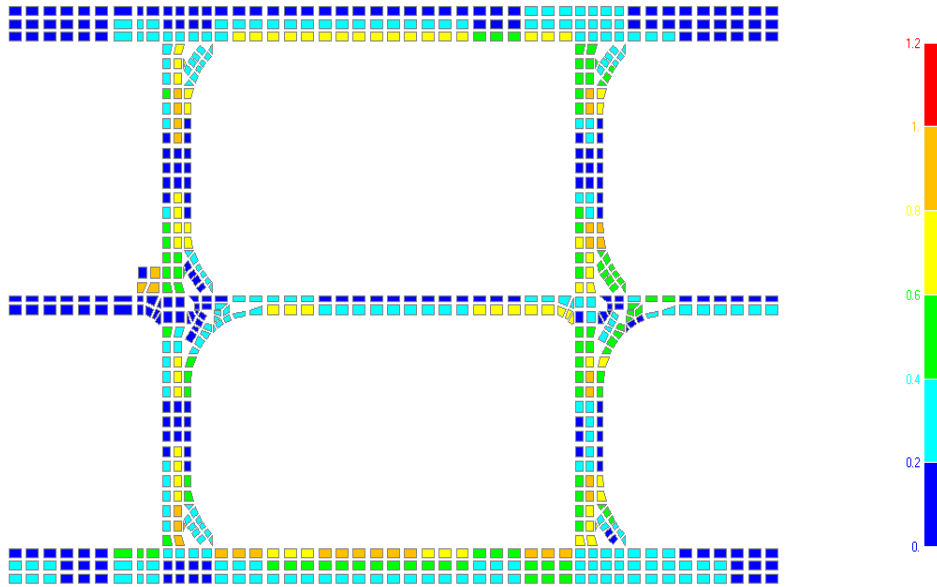


Fig. 5.17 Buckling assessment for no.3 stringer

제6장 결 론

지금까지 기술한 바와 같이, 선박의 안전운항과 해양오염에 대한 관심이 증대되면서 최근 IMO, SOLAS, IACS 그리고 Administration등은 기존 규칙의 개정 및 신규 규칙 제정을 너무 급속하게 진행하고 있다. 특히, PMA(permanent means of access), JTP(joint tanker project), JBP(joint bulker project), 그리고 FMA(Finish maritime administration)은 선체 구조설계에 가장 크게 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다.

또한, 최근 발효되거나, 발효 예정인 요구사항들은 조선소의 설계 및 생산능률 저하를 초래하여 원가부담을 가중시킬 것으로 판단되며, 이를 해결하기 위해 기본적인 설계개념에서 변화가 불가피하게 일어날 것으로 예상되고 있다.

따라서 본 연구에서는 상기 언급한 새로운 규칙 중 2005년 1월1일 발효되어 GT 500 Ton 이상 유조선에 적용하고 있는 영구적 접근수단 설치(permanent means of access, PMA)규정에 대한 주요 내용을 분석하고 최적화된 중형 유조선(panamax oil tanker)의 중앙 횡단면도를 개발하였으며 그 결과에 따라 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Deck transverse web를 갑판 상부에 배치하면 탑재 시 용접 작업이 용이하며, Cargo tank내의 도장 작업이 상당히 수월할 것으로 판단된다. 특히, Cargo tank 부분의 주요 구조부재가 갑판 상부에 위치하므로 구조부재를 검사하기 위한 종 방향 접근수단 설치를 최소화할 수 있다.
- 2) Top side wing tank 부분에 있는 선측 종 격벽(side longitudinal bulkhead)에 적절한 구배를 갖는 구조형상으로 설계하면 갑판 하부에 브래킷(bracket)을 제거할 수 있을 뿐만 아니라 하부에 설치된 브래킷(bracket)을 검사하기 위한 종 방향 접근수단 설치가 필요 없다.
- 3) 중앙 종 격벽(center line longitudinal bulkhead)에 있는 Vertical web 좌현(Port) 상단에 브래킷(bracket)을 설치하지 않으면 생산성 향상과 더불어 하부에 설치된 브래킷(bracket)을 검사하기 위한 종 방향 접근수단 설치가 필요 없다.
- 4) Ballast tank와 Cargo tank내의 Stringer 구조배치를 6m 이내로 설계하면 종 방향 접근수단 설치를 최소화 할 수 있으며, 주요 구조부재(primary member)가 연속성을 유지하여 구조 안전성을 확보할 수 있다.

본 연구에서 제시된 중앙 횡단면도의 구조안정성 평가를 위해 미국선급(ABS)과 STX조선(주)이 공동으로 Scantling 및 구조해석을 수행하였으며, 상호간의 충분한 검증 후 선급 및 선주 승인이 완료된 상태이다.

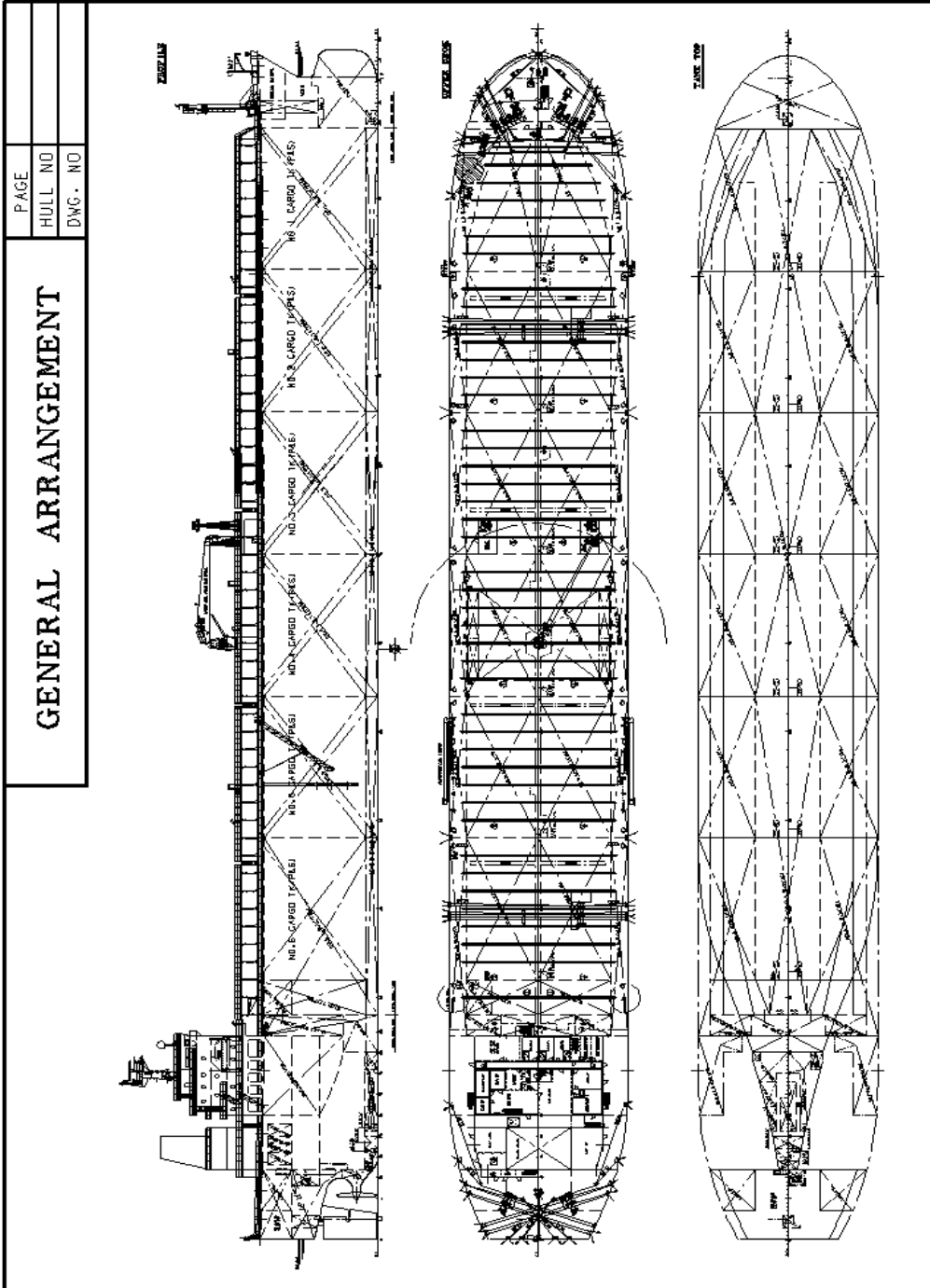
개발선은 평판형 격벽(plane type bulkhead)을 갖는 이중선체 중형 유조선에서 처음으로 적용되는 중앙 횡단면 구조형상이므로 앞으로 영구적 접근수단(permanent means of access, PMA) 설치를 고려한 중앙 횡단면도 설계에 많은 도움이 되리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] SOLAS, "Regulation II-1/3-6", Consolidated Edition 2006.
- [2] IACS, "IACS Unified Interpretation SC191", 2004.
- [3] 한국선급, "Guidance of Means of Access for Inspection", 2004.
- [4] 미국선급, "Rule for Building and Classing Steel Vessels Part 3, 5", 2005.
- [5] International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973/1978, Annex 1, Ch. II, Reg. 13F.
- [6] J. Harvey Evans, "Ship Structural Design Concepts", 1975.
- [7] J. Harvey Evans, "Optimized Design of Midship Section Structure", SNAME Vol. 71, 1963.
- [8] 전영기, "해양안전 관련 국제 해사법규 동향", 대한조선학회지, 제40권 제1호, 2003.
- [9] 해양수산부, "2004하반기 IMO 회의결과 설명회", 2004.
- [10] 안형준외, "Rule변경에 따른 Panamax Tanker 구조경향 분석", STX 기술 제1호, 2005.
- [11] (주)현대삼호중공업, "Design Notes For Chemical Tanker", 1996
- [12] 일본선급, "Tanker의 구조강도에 관한 가이드라인", 2001.
- [13] 한국선급, "직접강도계산지침", 1998.
- [14] 프랑스선급, "Guidance Note Oil Tanker", 2002.
- [15] 미국선급, "Technical Journal", 1998.
- [16] 노르웨이선급, "Casualty Information", 1999.
- [17] 영국선급, "Primary Structure of Tanker(Guidance on Direct Calculation)", 2002.
- [18] 신중계, "최적화기법을 이용한 선체중양단면의 최소중량설계", 대한조선학회지, 제17권, 1980.
- [19] 신영식, "유조선 선수부의 내충격 구조설계에 관한 연구", 공학박사학위논문, 2001.
- [20] 김정훈, "개정된 MARPOL Annex I, 제 13G 규칙(단일 선체구조 유조선의 조기 폐선)", http://www.kmst.go.kr/news/2001/spring/2001_1_32.htm
- [21] 박명규, "조선생산성 향상 및 선박건조 공기단축에 관한 고찰", 한국해양대학교 산업기술연구소 논문집, 제11집, 1993.

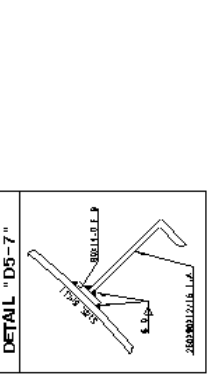
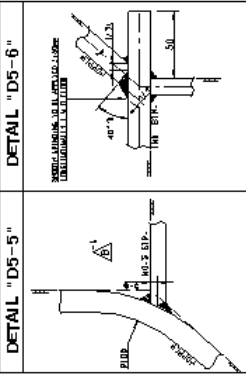
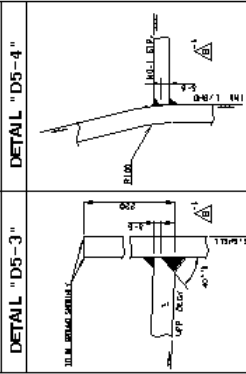
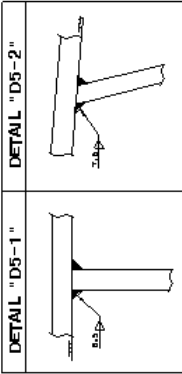
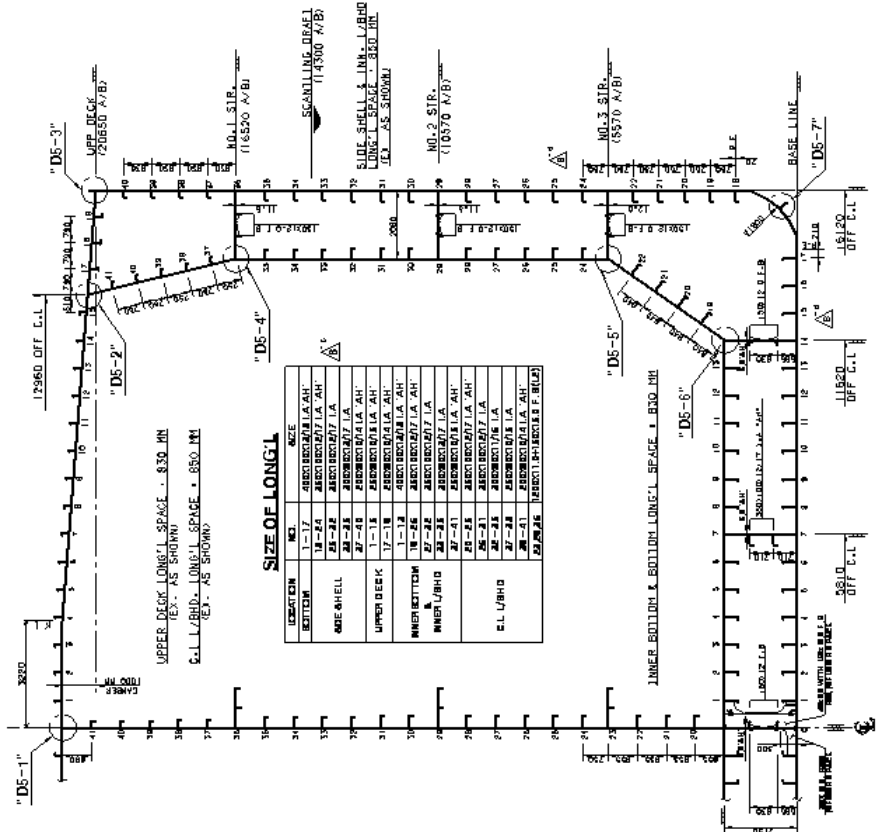
부록. 중형 유조선(Panamax Oil Tanker) 설계도면

- 일반배치도
- 중앙 횡단면도



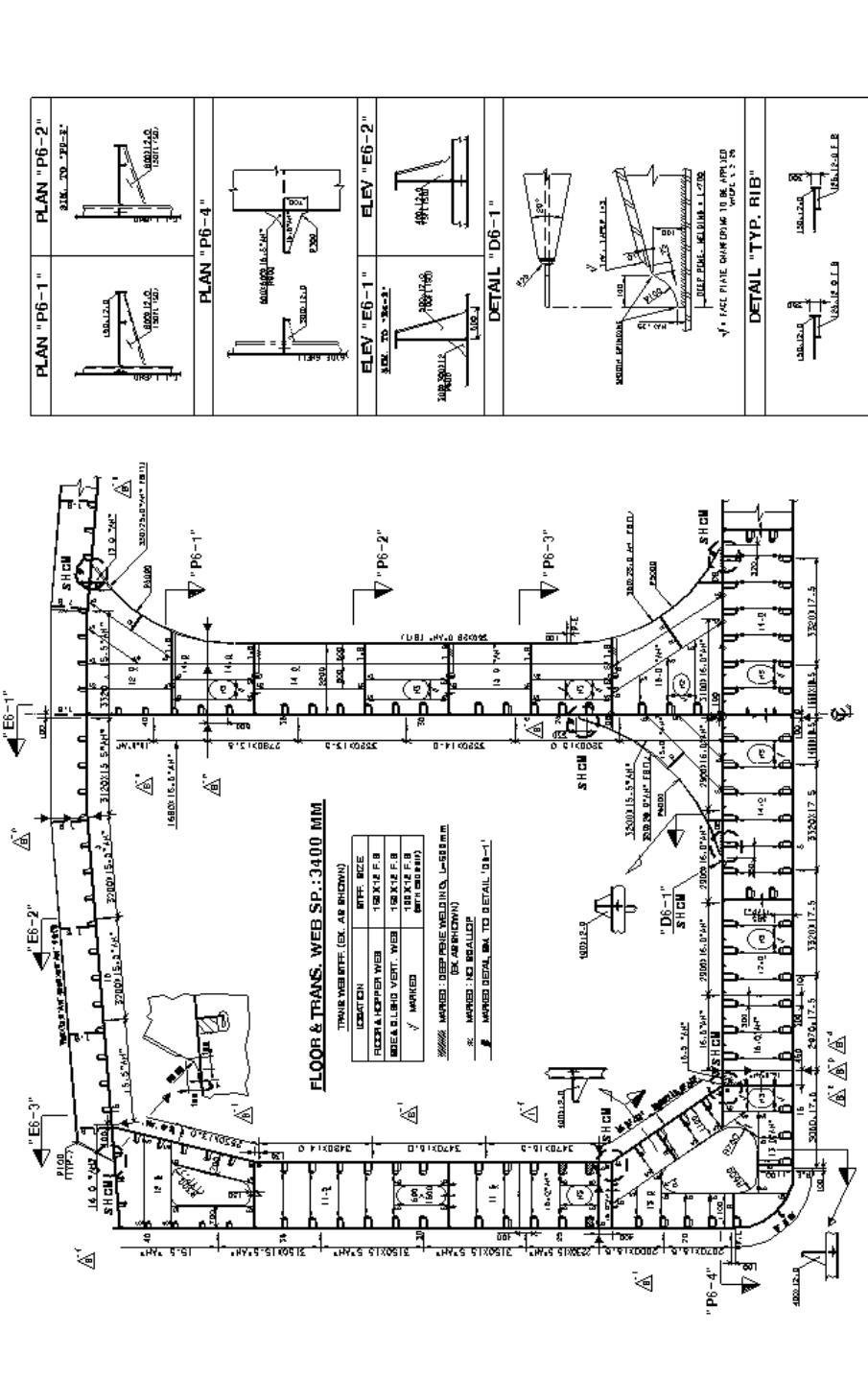
ORDINARY SECTION

PAGE
HULL NO
DWG. NO



WEB FRAME SECTION

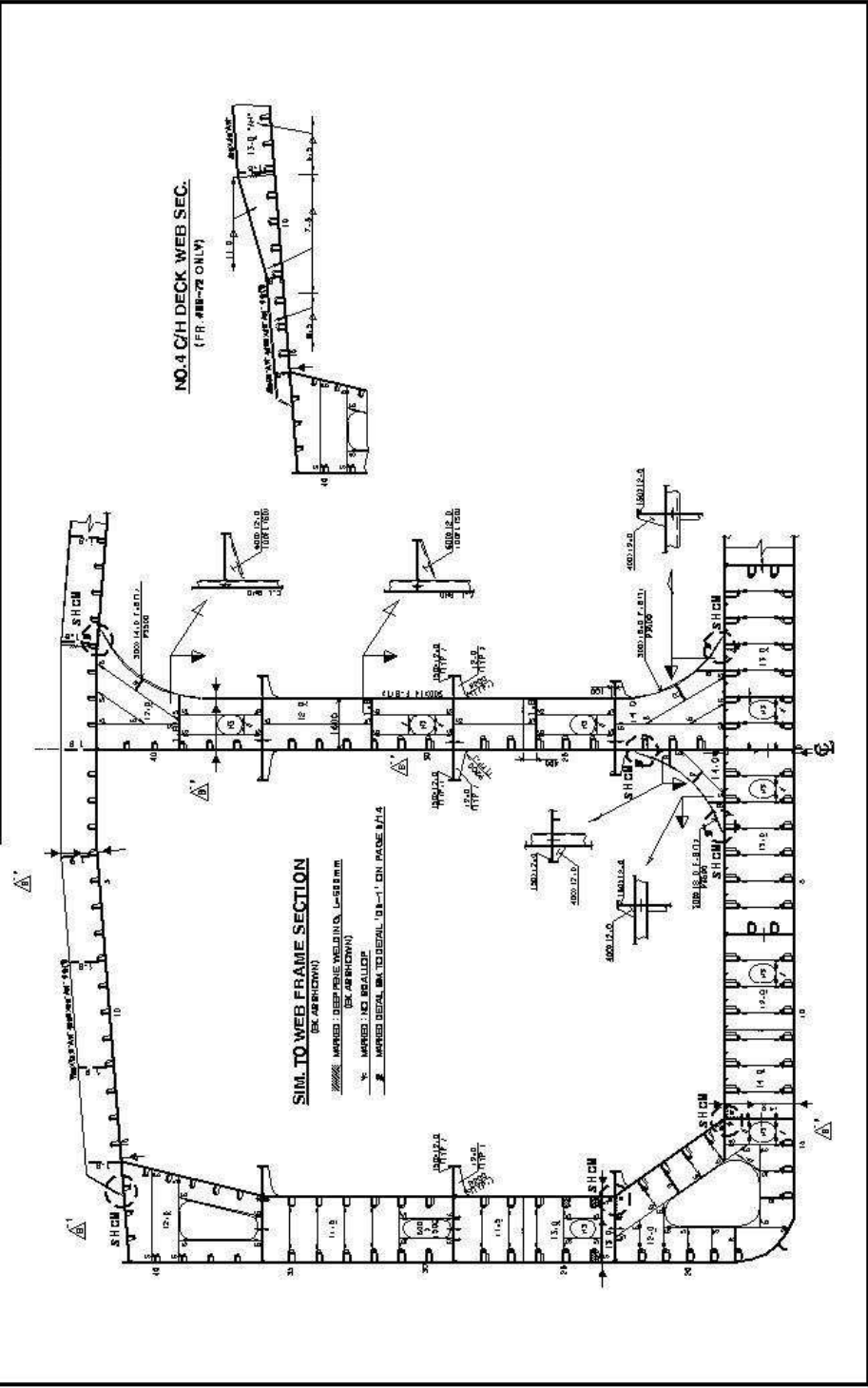
PAGE	
HULL NO	
DWG. NO	



PLAN "P6-1"	PLAN "P6-2"
PLAN "P6-4"	ELEV "E6-1"
ELEV "E6-2"	DETAIL "D6-1"
DETAIL "TYP. RIB"	

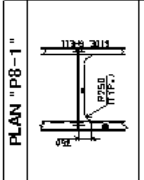
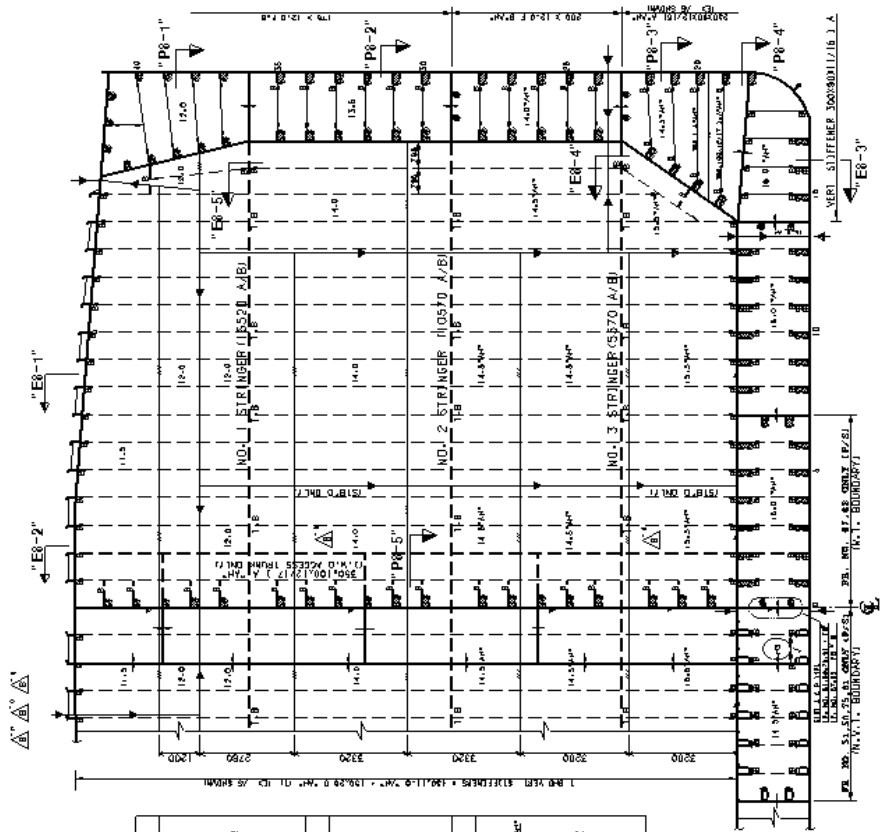
FWD SECTION OF O.T. BHD

PAGE
HULL NO
DWG. NO

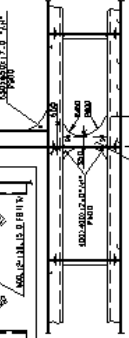
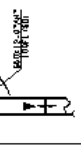
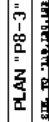


O.T. BHD SECTION

PAGE
HULL NO
DWG. NO

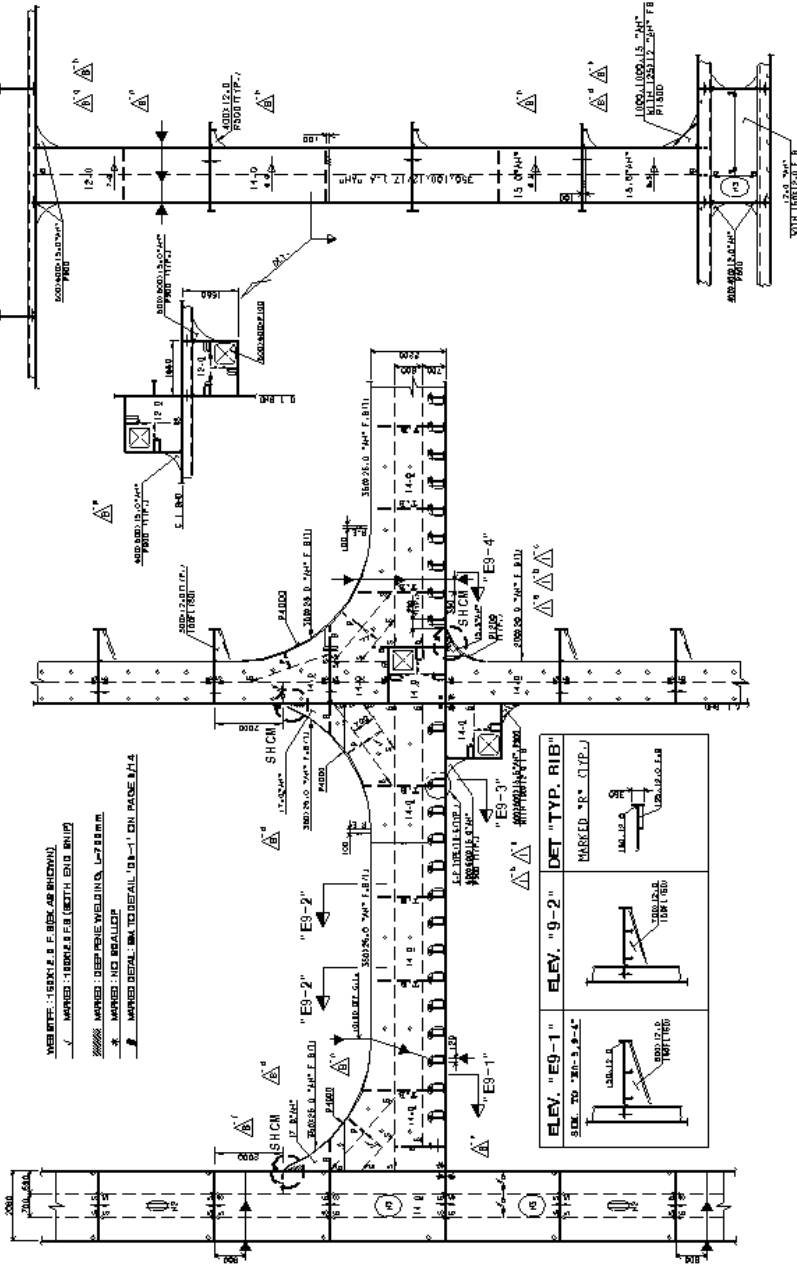


SLIP	6
WELD	100

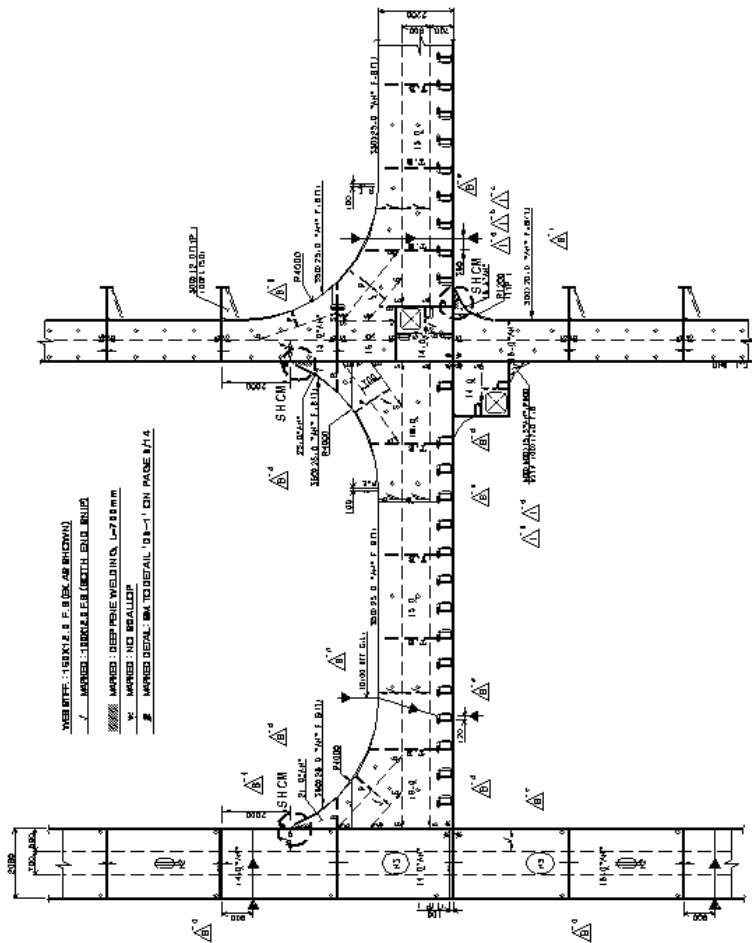


PAGE	
HULL NO	
DWG. NO	

NO.1 STR. PLAN(16520 A/B)

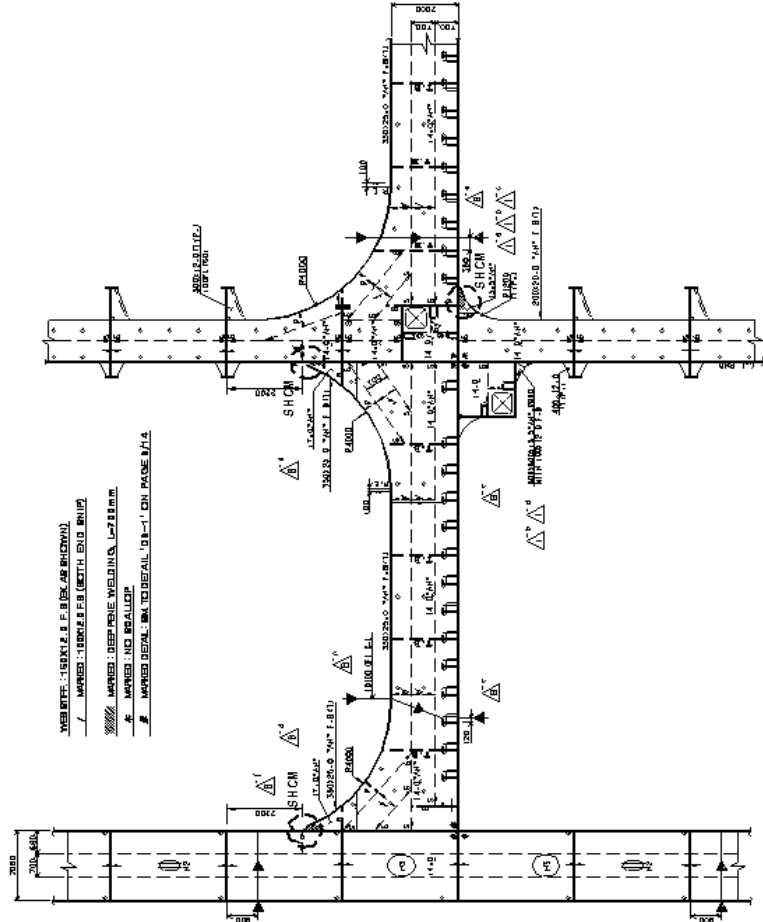


NO.2 STR. PLAN(10570 A/B)	PAGE
	HULL NO
	DWG. NO



PAGE	
HULL NO	
DWG. NO	

NO.3 STR. PLAN(5570 A/B)



- WELDED: 1. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 2. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 3. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 4. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 5. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 6. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 7. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 8. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 9. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 10. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 11. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 12. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 13. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 14. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 15. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 16. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 17. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 18. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 19. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 20. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 21. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 22. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 23. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 24. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 25. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 26. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 27. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 28. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 29. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 30. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 31. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 32. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 33. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 34. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 35. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 36. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 37. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 38. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 39. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 40. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 41. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 42. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 43. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 44. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 45. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 46. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 47. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 48. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 49. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 50. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 51. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 52. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 53. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 54. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 55. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 56. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 57. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 58. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 59. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 60. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 61. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 62. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 63. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 64. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 65. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 66. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 67. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 68. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 69. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 70. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 71. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 72. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 73. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 74. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 75. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 76. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 77. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 78. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 79. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 80. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 81. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 82. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 83. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 84. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 85. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 86. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 87. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 88. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 89. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 90. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 91. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 92. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 93. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 94. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 95. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 96. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 97. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 98. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 99. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)
- WELDED: 100. SEE J.F.F. (SEE AS SHOWN)

감사의 글

그 동안 과정을 돌이켜보면 많은 분들의 도움으로 뒤늦게 시작한 학업의 결실을 맺을 수 있었다고 생각합니다.

어려웠던 시기 학업의 기회를 마련해주시고 논문이 완성되기까지 많은 조언과 지도를 해주신 박명규 교수님께 깊이 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 중에도 미흡한 논문을 세심히 심사해주신 조효제 교수님, 김정만 교수님께 진심으로 감사드립니다.

직장생활을 하면서 학업을 계속할 수 있도록 기회를 주신 김성기 사장님, 신상호 전무님, 임호관 상무님, 고명섭 부상무님, 최의걸 팀장님 그리고 논문을 완성할 수 있도록 많은 자료를 제공해주신 안형준 팀장님, 한관호 과장, 정승규 과장께 깊은 감사를 드립니다.

여러 면에서 부족한 저에게 조선 구조설계 및 구조해석 분야의 실무를 익히며 눈을 뜨게 해주신 신영식 고문님, 영국선급 김영두 검사관님께 진심으로 감사드립니다.

지금까지 한마음 한뜻으로 건조선 구조설계 및 구조해석을 진행하며 본 논문이 완료될 수 있도록 많은 도움을 주신 구조진동파트 이상복 과장, 이규호 과장, 이병도 대리, 변수환 대리, 이정철 대리, 백중소 주임 그리고 소하영 주임에게도 감사를 드립니다.

마지막으로 멀리 일산에 계시며 항시 자식 걱정으로 마음 편할 날이 없으신 아버님, 어머님 그리고 두 누님과 자형들, 동생과 제수씨, 조카들 모두를 사랑하며 이 영광을 드립니다. 또한 직장생활과 학업을 계속하며 정성껏 뒷바라지 해준 아내, 아이들을 돌봐주시는 장모님 그리고 항상 밝고 건강하게 자라고 있는 영진이, 예진이 에게도 사랑한다는 말을 전하며 기쁨을 나누고자 합니다.

2005 년 12 월 하순