
메탄올 연료추진 13K급 Product/Chemical Tanker 표준선형 기술개발 보고서

2023. 08.

친환경선박설계기술사업단

REPORT

친환경선박설계기술사업단

ADDRESS

Busan-postoffice 12F,
63 Jungang-daero, Jung-gu,
Busan, 48931, KOREA

TEL

051-260-7802

E-MAIL

jjoong.kim@kriso.re.kr

Report Number

ED-SHIP AR2023-01

Total Number of Pages

124

Title

메탄올 연료추진 13K급 Product/Chemical Tanker
표준선 기술개발

Worked by

김정욱, 한준선, 고은민, 상병주, 이충호, 황석면,
황영석, 이홍석, 여진규, 윤상규

Verified by

옥군도

Approved by

김정중

Date

June 30, 2023

Keywords

메탄올 연료 선박, CFD, Rudder Bulb, LFSS, Methanol Fuel Preparation Room

요약문

- 차세대 친환경 연료인 메탄올 추진 화학제품운반 표준선 개발
- 저인화점 연료공급시스템을 적용한 13,000톤급 메탄올 연료 추진선 설계기술력 확보
- 노후 화학제품운반선의 친환경선박 교체 신조에 대비한 중소조선소 적합형 친환경 연료 표준선 기본 설계
- 배기가스, 연료소비율, 초기투자비 및 운항비 측면에서 비교 우위 엔진 선택
- 중소조선소 건조 적합형 표준선형 개발
- 최적 제원 산정과 연료탱크 용적 및 배치 최적화로 동급 재화중량 확보
- 선형 개발과 반류개선장치 및 rudder bulb 적용으로 성능경쟁력 우위 확보
- 수주 영업용 기본도면 생성
- 일반배치도, 계류배치도, 기관실배치도, LFSS Process Flow Diagram 등 작성
- 선급 기본도면승인 획득을 통한 기술적인 검증 확인

“친환경중소형선박 기술역량 강화사업” 의 중소형선박 기본설계 엔지니어링 수행을 통한 기술지원의 일환으로 엔지니어링 완료보고서를 제출합니다.

친환경선박설계기술사업단 책임자:

(서명)



목 차



1. 개요	4
가. 기술개발 목적	
나. 기술개발 요약	
2. 기술개발 history	6
3. 기술개발 목표	7
4. 기술개발 내용	8
가. 최적설계	8
나. 성능개발	25
다. 친환경추진설계	47
5. 기술개발 결과	102
6. 부록	103
7. 첨부	124

가. 기술개발 목적

- 글로벌 선박시장에서 친환경 연료에 대해서 지속적인 모멘텀이 유지되고는 있으나, 국제해사기구의 온실가스 규제 강화로 가장 시장 지배적이었던 LNG 연료에 대한 긍정적인 면이 후퇴하고 차세대 선박연료에 대한 관심이 고조되고 있음
- 대체 연료 각각의 장단점이 극명하지만, 메탄올은 운송 편의성과 기존 인프라 사용이 용이하며 특히 현재 선박 엔진 상용화는 메탄올 추진선 뿐이라는 점에서 메탄올 연료 선박에 대한 미래 시장성이 강화되고 있음. 메탄올 연료 추진선의 발주현황을 보면 2021년 47척, 2022년 82척, 2023년 5월 기준 42척으로 확대 중에 있음
- 메탄올 연료 선박에 대한 발주는 글로벌 해운 선사가 대형선에 집중하면서 비교적 소형 선까지 영향이 미치지 못하고 있었으나, 16K급 케미컬 탱커도 최근 발주가 이루어지고 있어 향후 시장 확대가 예상됨. 그동안 이중연료 투자가 없던 탱커시장이 일부 회복되고 있어 정유운반선의 시장으로 확대가 기대됨
- 본 프로젝트는 친환경중소형선박 기술역량 강화사업의 일환으로 진행되었으며, 과거 한국 중형조선소의 대표선종인 13,000톤급 화학제품운반선에 저인화점 연료공급시스템을 적용한 메탄올 연료추진 표준선 개발을 통해서 중소조선소의 수주 경쟁력 강화에 기여하기 위함.
- 주요 기본도면에 대한 선급 기본인증 (AIP) 획득을 통하여 기술적인 검증을 확보하여 국내 중소형 조선소의 수주 영업단계에서 차별화된 경쟁력을 확보하는데 기여할 것으로 기대함
- 당 사업단에서는 2021년 동급 LNG 연료 추진선박에 영국선급 기본설계인증을 득한 바 있어 본 과제를 통해 가장 경쟁력 있는 2개의 대체 연료 선박에 대한 시장 옵션 강화에 목적을 둠

나. 기술개발 요약

중소조선소 건조 적합 사이즈에 대한 업계 피드백 결과를 바탕으로 선박의 주요치수를 추정함. 메탄올 연료 탱크용량과 배치 위치에 따른 케이스 스터디를 통해서 주요 치수를 결정함. 또한 동급 병카유 선박을 대상선으로 참조하여 중형조선소 도크 병렬 배치 건조를 고려하여 선폭을 결정하고, 메탄올 연료탱크는 화물구역에 배치되는 기준으로 일반배치도를 작성함. 국제 규정 및 선급 규칙에 따라서 선박의 손상·비손상 복원성, 건현 및 에너지효율지수를 작성함

기존 비교 대상선 선형의 성능을 우선 검토하여 개발 선형에 대한 목표값을 설정하고 CFD 결과를 해석·평가함. 수치해석 결과 만재홀수에서 NCR power 기준일 때, 비교실적선 12.12 노트, 개발선 13.0 노트로 개발 선형의 속도 성능 향상됨. 유효동력 기준 약

12 % 성능개선이 확인됨. 에너지 절감 및 선미 유효반류의 추가적인 개선을 위해 rudder bulb, 반류개선장치 (Wake Equalizing Device) 최적화 설계를 수행함.

선박 추진엔진을 결정하기 위해 배기ガ스, 연료소비율, 초기투자비 및 운항비 등을 비교하여 우위 성능의 엔진을 선택함. 개발선에서는 메탄올 이중연료 엔진 중에서 Wartsila 6L32M 엔진을 선택함. 의장수계산서, 계류/선실/기관실 배치도 등이 작성됨.

저인화점 연료의 공급시스템 설계를 위한 연료계통도를 작성하고, 주요 장비 용량과 파이프 및 밸브 사양 등을 결정함. HYSYS를 사용하여 주요 장비에 대한 용량 검증을 수행함. 주요 장비 설치공간 및 유지·보수를 고려하여 상갑판 위 cargo manifold 후방에 연료준비실을 설치함.

개발된 선박과는 별도로 연료탱크가 직육면체형상의 독립형 탱크로 형성될 경우 부재 치수 결정을 위한 계산 쉬트를 제공함.

2

기술 개발 history

일 자	내 용
2023.01.06	프로젝트 착수회의
2023.02.15	주요 제원 결정 회의
2023.04.17~18	모형시험
2023.04.24	일반배치도 검토 회의
2023.05.10	기본설계 ABS AIP 계약 체결
2023.05.16	Progress meeting, outline specifications 작성 지침 공유
2023.06.13	Outline Specifications 작성
2023.05.10	ABS AIP 계약
2023.06.20	ABS AIP Kick-off meeting
2023.08.04	ABS AIP 획득
2023.08.22	보고서 외부 평가

3

기술개발 목표

항목	요구조건
중소형 조선소 건조 적합 제원 산정 (3사 이상 적합 제원 비교)	
- 소형조선소 건조적합성 검토	조사서
- 중형조선소 Aframax Tanker 병렬 건조 검토	선폭 21m 이하
화물 적재용량	
- DWT	$\geq 13,000$ ton
연료탱크 용량 및 배치	
- EEDI Phase III 만족 Cruising Range 별 연 료탱크 용량 비교	검토 결과서
- 연료탱크 용량별 탱크 배치 및 적합성 비교	검토 결과서
소요마력 절감	
- 추진효율 향상을 위한 선형개발	소요마력
- 비교 실적선 대비 소요마력 2% 절감	소요마력
친환경 연료 추진 시스템	
- 연료 및 엔진조합 등 비교분석	검토 결과서
- LFSS 건전성 평가	검토 결과서
기본설계 선급 기본승인 (AIP)인증	
- 기본설계 도면 및 LFSS PFD 도면 인증	ABS 선급 AIP 획득

가. 최적설계

가-1. 기본설계

1. 기본제원 검토

1.1. 주요제원 경향분석

 실적선 대비 주요제원의 경향분석

- Clarksons Research를 통해 10~20K급 Chemical Tanker의 건조 및 발주 현황에 대해 조사함. 조사 결과 2007~2010년 사이에 가장 많은 발주가 이루어 졌고 이후로는 발주량이 다소 감소함을 알 수 있음
- 길이 (LOA)의 경우 주로 120~130m에 분포하는 것으로 나타났으며, 한·중·일 건조실적을 비교한 결과 한국은 13K급, 일본은 12K, 19K급을 다량으로 건조함을 알 수 있음. 이를 참고하여 개발선의 LOA를 130m 미만으로 제한하였으며, Feasibility study를 통하여 DWT 13,000 ton에 적합하도록 LBP 122.0m, Breadth 21.0m, Depth 11.8m, Draft 8.55m로 결정함

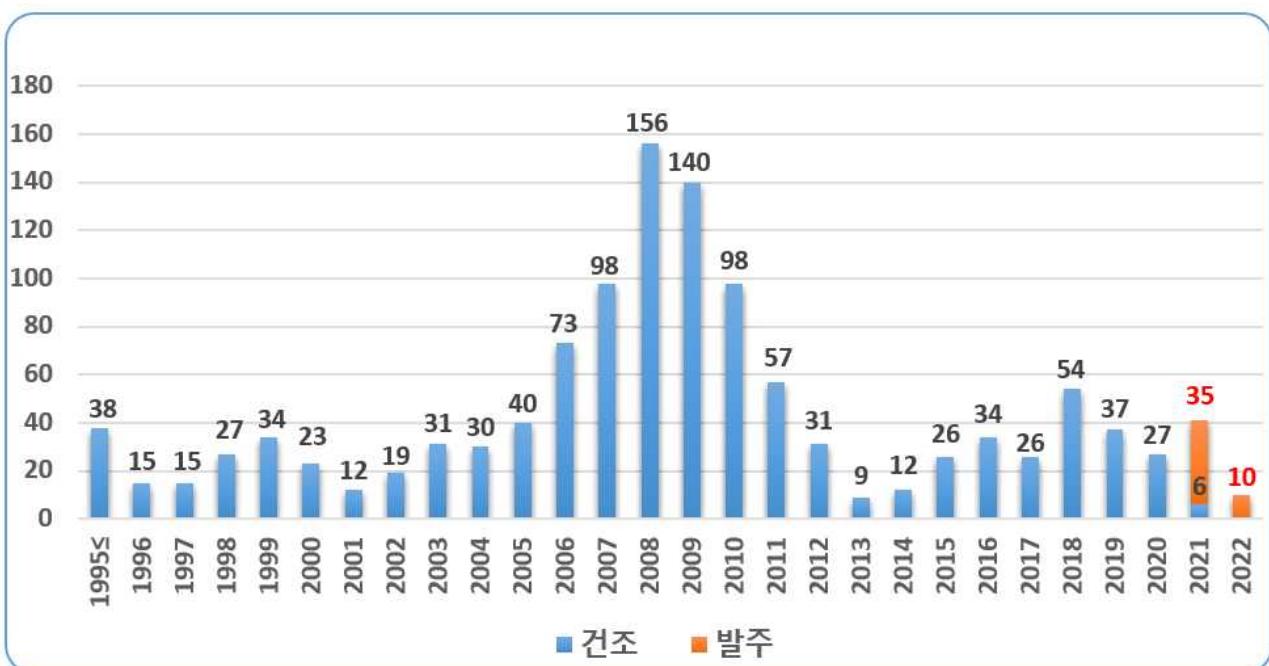


그림 1 10~20K급 화학제품 운반선 연도 별 건조 및 발주 현황



그림 2 선박 길이별 한·중·일 건조실적

1.2. Basic Scheme 비교

□ 참고선 대비 Basic Scheme 비교

- 개발선의 경우 Liquified Fuel Supply System (LFSS)와 Methanol fuel tank의 On Deck 탑재에 대한 feasibility study 결과 (후술)와 In Hold 배치 시의 cargo hold 용량 감소 및 speed 성능을 고려하여 참고선 대비 폭 (Breadth) 0.6m, 길이 (LBP) 1.6m, 높이 (Depth) 0.3m 증가시킴
- 개발선의 methanol fuel tank 용량은 초기에 항속거리 4,700 N.M 기준으로 선정한 용량이나, 실제 모형시험 결과와 엔진 사양 update를 반영하여 항속거리가 5,400 N.M로 증가함

	표준선	Reference Vessel
	KRISO, 2023	A사, 2023
LOA/LBP/B/D [m]	129.9 / 122.0 / 21.0 / 11.8	128.6 / 120.4 / 20.4 / 11.5
Ts [m]	8.55	8.7
Cb at Ts	0.782	0.796
Methanol Fuel Tank [m^3]	490	-
M/E type	W6L32M 4-strokes	6S35ME-B9.5 2-strokes
DWT at Ts [ton]	13,044	13,000
SMCR	3,000 kW / 125.9 RPM	3,700 kW / 148.0 RPM
NCR	2,700 kW / 121.6 RPM	3,330 kW / 142.9 RPM
Speed at Ts [knots]	13.0	13.0
Cargo Capacity [m^3]	14,080	14,200
BW/HFO/MGO/FW [m^3]	5,200 / - / 195/170	5,400/600/70/160
Propeller(Dia./Blade)	4.80m / 4	4.50m / 4
Propeller type	CPP	FPP

표 1 참고선 대비 Basic Scheme 비교

1.3. 주기관 선정

- 선박의 추진 엔진으로는 경제성 측면을 고려하여 일반적으로 엔진의 효율이 가장 높은 2-stroke 엔진을 사용하게 되는데, 현재까지 개발이 완료된 methanol DF (Dual Fuel) engine들 중에서는 본 13K급 Product/Chemical Tanker에 사용이 가능한 엔진이 없는 것으로 확인되었으며 개발 계획도 없는 것으로 확인함.

이에 따라, 본선은 methanol 추진 13K급 Product/Chemical Tanker의 propulsion engine 으로 적용 가능한 4-stroke methanol DF (Dual Fuel) engine인 Wartsila 6L32M 엔진과 Hyundai 6H32DFP-LM 엔진에 대해 case study를 수행하였고, 연료소모량 측면에서 6 % 가량 우수한 Wartsila 6L32M을 선정하여 본선에 적용함

(Case study 상세 내용은 [다. 친환경추진설계 4. Propulsion System Case Study](#) 참조)

Item	Unit	Wartsila 6L32M	Hyundai 6H32DFP-LM
Service Speed	Knots	13.0	13.0
NMCR	kW x rpm	3,480 x 750	3,000 x 750
SMCR	kW x rpm	3,000 x 125.9	3,000 x 125.9
NCR	kW x rpm	2,700 x 121.6	2,700 x 121.6
Fuel Mode	-	Diesel and/or Methanol	Diesel and/or Methanol
SFOC at Tier II (Diesel Mode NCR)	g/kWh	182.4	188.8
SFMC at Tier II (Methanol Mode NCR)	g/kWh	337.4	359.0
SPOC at Tier II (Methanol Mode NCR)	g/kWh	20.5	22.6
Total Energy Consumption at Tier II (Methanol Mode NCR)	kJ/kWh	7,591	8,107

MGO 일일 연료소비량 at NCR (ton/day)	Diesel Mode	11.8	12.2
Pilot Oil(MGO) 일일 연료소비량 at NCR (ton/day)	Methanol Mode	1.3	1.5
Methanol 일일 연료소비량 at NCR (ton/day)	Methanol Mode	21.9	23.3

표 2 엔진 주요 성능 비교표

1.4 선박 최적화를 위한 Feasibility study

- Methanol fuel tank (MFT) 용량과 배치가 main dimension에 영향을 미치는 바, MFT 용량과 배치 (OnDeck vs InHold) 검토를 선 진행 하였고, 해당 결과와 speed 성능(estimated)을 고려하여 main dimension을 결정하였으며, 추가적으로 EEDI를 향상시키기 위한 방안을 검토하여 본선에 적용하였음

1.4.1 운항거리 및 Methanol Fuel Tank (MFT) 용량 결정

- 실제 운항 구간 분석: 중국~베트남, 중국 북부~중국 남부, 중국~싱가포르, 캄사르~푸 앵트누아르 구간 검토하였으며, 중국~동남아 구간 기준으로 목표 운항거리를 결정함 (태평양 ~ 수에즈운하 통과 구간은 편도기준 10,000 NM 이상으로 본선 수용 불가하여 제외함)

- 중국 텐진 ~ 베트남 하이퐁 운항 구간 (편도 기준 2,200 NM)



그림 3 실적선의 중국 텐진 ~ 베트남 하이퐁 운항 구간

- 중국 텐진 ~ 싱가포르 운항 구간 (편도 기준 1,700 NM ~ 3,300 NM)

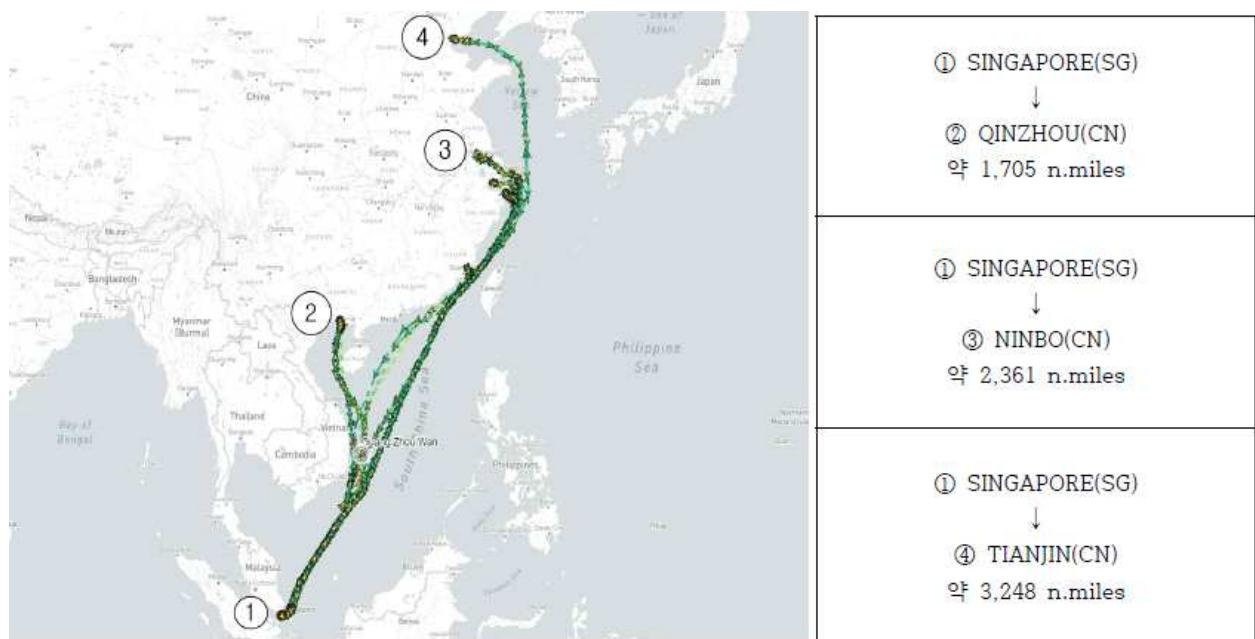


그림 4 실적선의 동남아 운항 구간

- 상기 결과를 바탕으로 methanol fuel에 의해 상기 운항구간을 왕복운항이 가능한 최소 사양으로서 4,700 NM (MGO fuel 포함 시 8,500 NM 이상)으로 설정함
- 4,700 NM 항해를 위해 대략 470 m³ 이상의 Methanol Fuel tank가 요구됨

1.4.2 Methanol Fuel Tank (MFT) 위치 결정

- 메탄올 연료탱크의 배치 위치에 따라, OnDeck 및 InHold 배치가 가능하여 하기와 같이 최적 dimension을 도출하기 위해 LBP와 B를 변경해가며 검토함

	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5
MFT location	OnDeck	OnDeck	OnDeck	OnDeck	InHold
LBP (m)	120.0	120.0	120.0	122.0	122.0
B (m)	21.0	20.8	20.6	21.0	21.0
D (m)	11.7	11.7	11.7	11.8	11.8
Ts (m)	8.70	8.70	8.70	8.55	8.55
C_B	0.7800	0.7873	0.7946	0.7822	0.7822
GM (m)	0.155	0.150	0.151	0.154	0.415
MFT (m3)	350	223	77	419	490
MGO vol (m3)	350	325	300	350	190
Cargo vol (m3)	14,500	13,900	13,300	14,600	14,000
Speed est. (knot)	12.97	12.93	12.89	13.00	13.00
LWT est. (ton)	4,506	4,459	4,410	4,605	4,560

표 3 Main Dimension Feasibility Study

- MFT를 OnDeck 배치 시 MARPOL worst possible condition의 GM 최소 요구치 0.15 m 와 1.4.1 methanol fuel tank 용량 (470m3)을 동시에 충족시키지 못함
- 또한, 선폭을 줄일 경우, DWT 13,000 ton 이상을 확보하기 위해 C_B 가 증가되어야 하며, C_B 증가분에 의한 영향이 선폭을 줄인 영향보다 speed 성능에 악영향을 줌
- 따라서, LWT가 다소 증가하는 영향이 있으나, 선박길이와 선폭을 CASE 4 & 5와 같이 조정하고, 충분한 용량의 MFT를 확보하기 위하여 MFT를 CASE 5와 같이 InHold에 배치함
- MFT의 InHold 배치 시 소실되는 cargo hold volume을 만회 목적으로 최소한의 length (2m)와 depth (0.1m) 증가를 반영하였음
- 길이와 폭 증가 영향으로 적정 DWT (13,000 ton 이상)를 보유하기 위해 scantling draft (Ts)를 8.55m로 설정함 (Ts를 8.7m로 유지하고 C_B 감소시키는 것이 speed 성능에 유리하나, 적절한 cargo hold configuration을 위해 해당 안은 배제함)

1.4.3 중소형 조선소 건조 적합성

- 국내 선박 건조 시설로서 드라이도크 (dry dock), 부유식 도크 (floating dock) 및 육상 건조시설 (berths) 시설에서 선박이 건조되고 있으며, 조선소별로 운용 가능한 시설을 아래와 같이 조사함

L x B x D (m)	Dry dock	Floating dock	Berths
대선조선	109.0 x 19 x 7.7	190.9 x 34.4 x 15.2	102.6 x 25
HJ중공업	232.5 x 35 x 9.0	-	150 x 24
	301.8 x 50 x 11.5		100 x 36
	301.8 x 50 x 11.5		-
케이조선	385.0 x 74 x 11.0	-	-
대한조선	460.0 x 72 x 10.0	-	-

표 4 조선소 별 건조시설

- 본 개발선은 길이 122 m, 선폭 21 m로서, 상기 언급된 모든 조선소에서 건조 가능함 (대선조선의 경우 floating dock에서 건조 가능)
- 하기와 같이 폭 70 m 이상의 드라이도크를 보유한 중형조선소 중 폭이 작은 72 m 기준으로 아프라막스 탱커 (선폭 44 m)와 병렬배치 건조를 검토했. 도크 외벽과 선박간의 고소차 활용을 고려하여 2.5m의 여유 공간을 확보함을 가정하고 접근하였으며, 이 경우 선박과 선박 사이의 공간이 2.0 m로 형성되는 부분이 있기는 하나 큰 무리 없이 병렬배치 건조가 가능할 것으로 보임

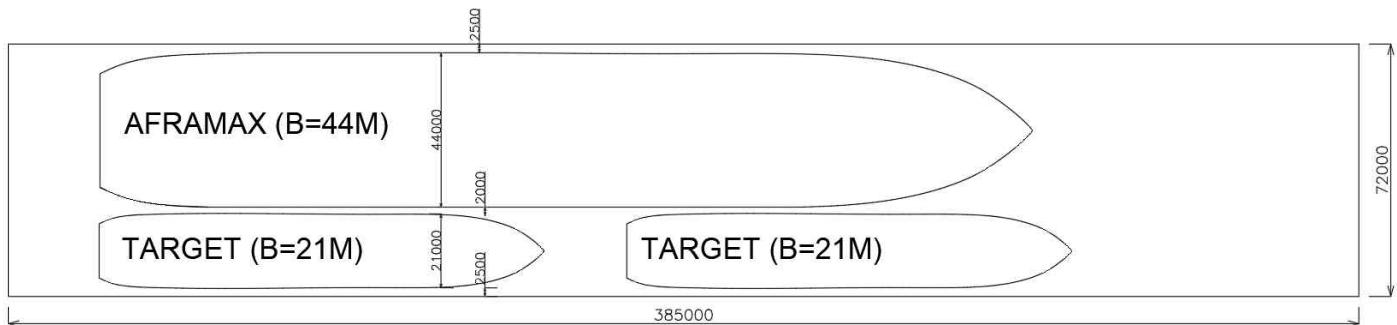


그림 5 도크 폭 72 m 기준 병렬 배치 안

1.4.4 EEDI 향상을 위한 고려 사항

- Methanol fuel은 친환경성을 확보하기 위한 목적으로 적용되며, 이에 대한 바로미터인 EEDI 성능을 최대한 향상시킬 수 있도록 cargo volume 최대화와 methanol fuel이 EEDI 계산 상 primary fuel이 되도록 하여야함 (EEDI 목표 치: 8.58, phase 0 대비 50 % 이하, 5.에너지효율지수 참조)
- EEDI 목표 치: 8.58, phase 0 (11.96) 대비 CO₂ 배출량 50 % 저감된 수치임
- Chemical tanker는 EEDI 계산 상 cargo volume을 산식에 반영하며, cargo volume이 클 수록 EEDI 성능이 향상됨 (cargo vol. 목표치: 14,000 m³)
- Primary fuel of methanol 요건: MGO 용량의 2.51배 이상인 경우 methanol이 primary fuel이 되며 하기는 운항거리 별 해당 요건에 부합하는 methanol과 MGO의 용량을 나타냄

운항거리	Methanol	MGO	Remark
8,000	407	162	
9,000	457	182	
9,500	490	195	설계치

표 5 운항거리 별 적정 MFT & MGO Tank 용량

2. 일반배치도

2.1. 일반배치도 검토

□ 13K DWT Product/Chemical Tanker 일반배치도

- 기본제원 검토 결과에 따라 소형 화학제품 운반선 표준선 개발을 위한 일반배치도 작성함

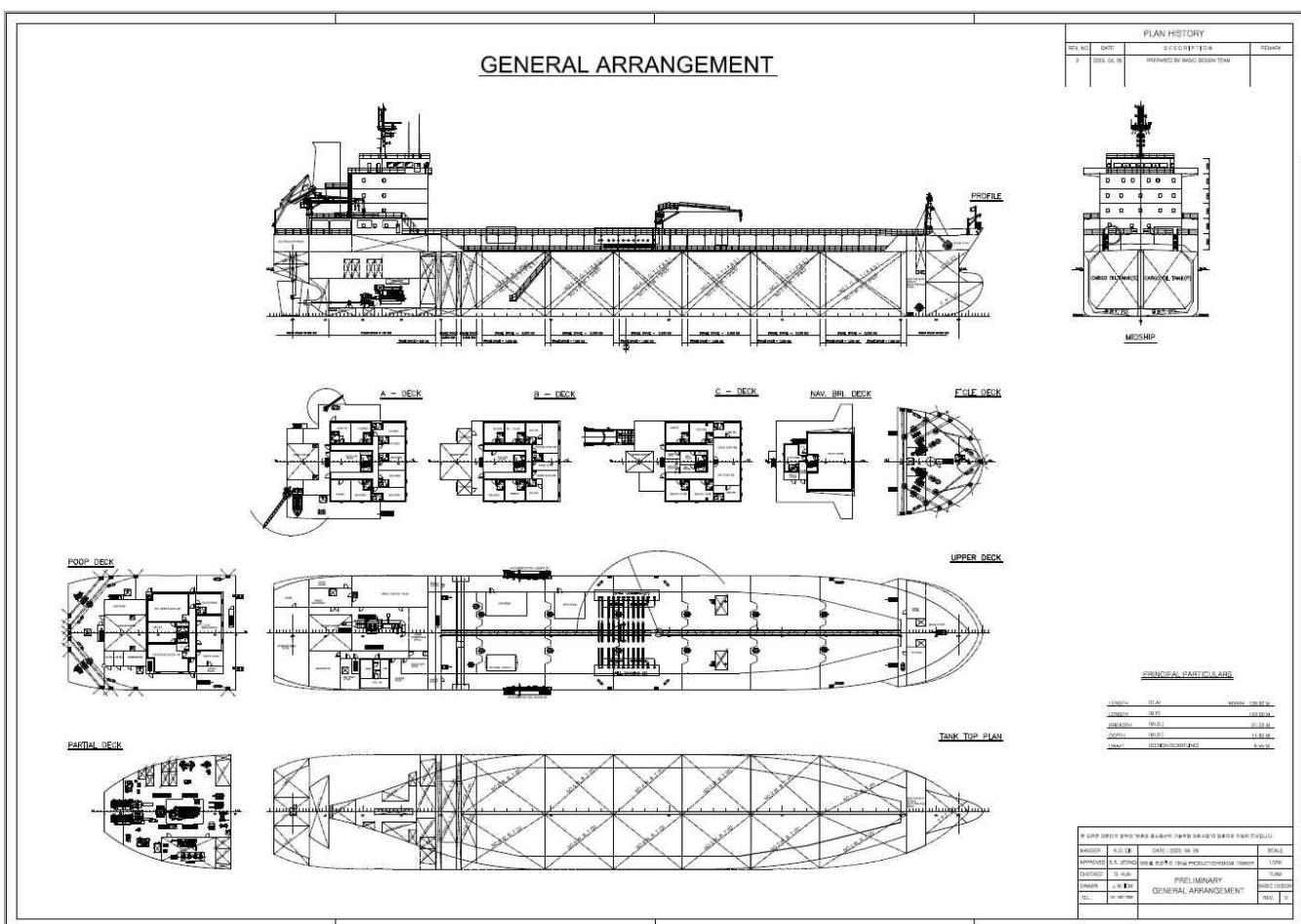


그림 6 일반배치도

2.2. 일반배치도 주요 설계사항

□ Methanol fuel tank 설치 관련 규정 검토

- 현 IGF code에서는 LNG 연료 추진 선박으로 그 적용을 한정하고 있으나, “MSC.1/Circ.1621 : Interim guidelines for the safety of ships using methyl/ethyl alcohol as fuel (7 Dec. 2020)”에서 메탄올/에탄올 등 다양한 low Flash point liquified fuel 연료 추진 선박에 확장하여 적용할 수 있도록 보완하고 있음
- 상기의 Interim guidelines와 선급 별 interpretations에 따라 methanol fuel tank를 배치함

□ Methanol fuel tank 배치 검토

- Engine room 전단격벽에서 선수 방향으로 배치하였으며, 과도한 free surface effect 방지 차 양현으로 나누어 배치함
- Methanol fuel tank 내부에는 zinc silicate coating을 위해 구조 부재를 두지 않고 corrugated BHD를 설치함
- Methanol fuel tank 배치 관련 조항에 따라 engine room, cargo hold 및 ballast tank와의 접촉을 피하기 위하여 methanol fuel tank와 접하는 모든 면에 cofferdam을 설치함

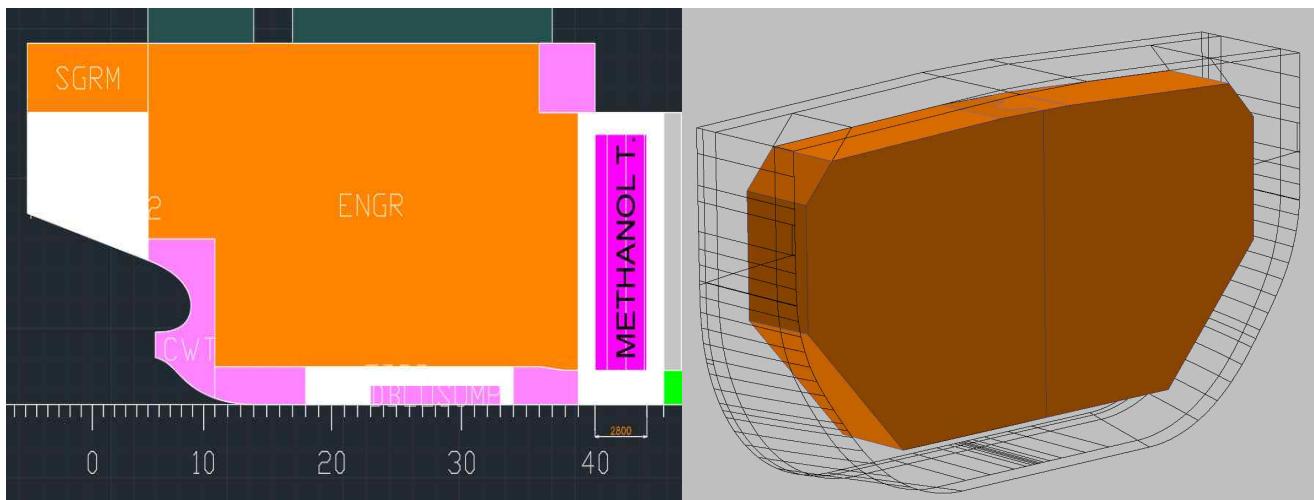


그림 7 Methanol Fuel Tank 배치

□ Liquified Fuel Supply System (LFSS) Room & Methanol Service tank 배치 검토

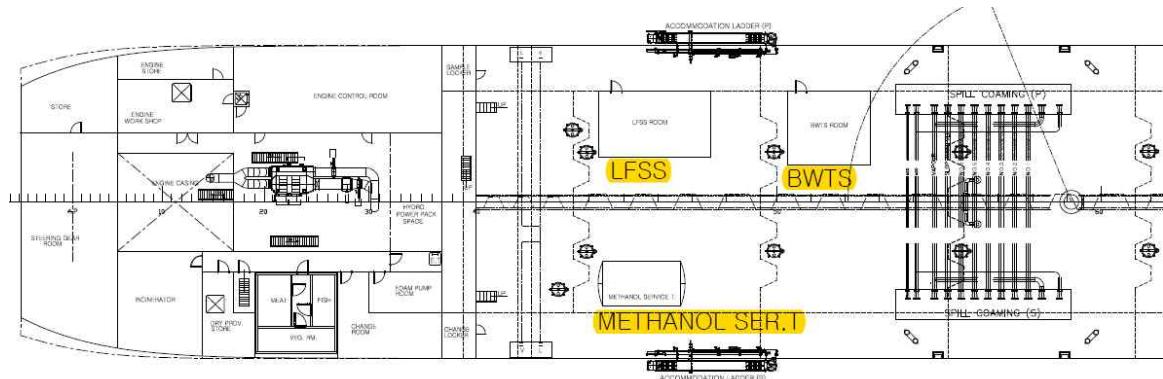


그림 8 LFSS, BWTS 및 Methanol service tank 배치

- LFSS room은 methanol fuel & service tank에 인접 배치하여 운영을 원활히 하고자 함
- Methanol service tank는, engine room 내부 port side에 위치한 LO tanks로 인한 heeling을 상쇄시키기 위하여 starboard side에 배치함

3. 비손상 복원성 (Intact Stability)

HULL & STABHULL 설계

- 비손상 복원성 (Intact Stability) 계산을 위한 HULL & STABHULL 정의를 수행함

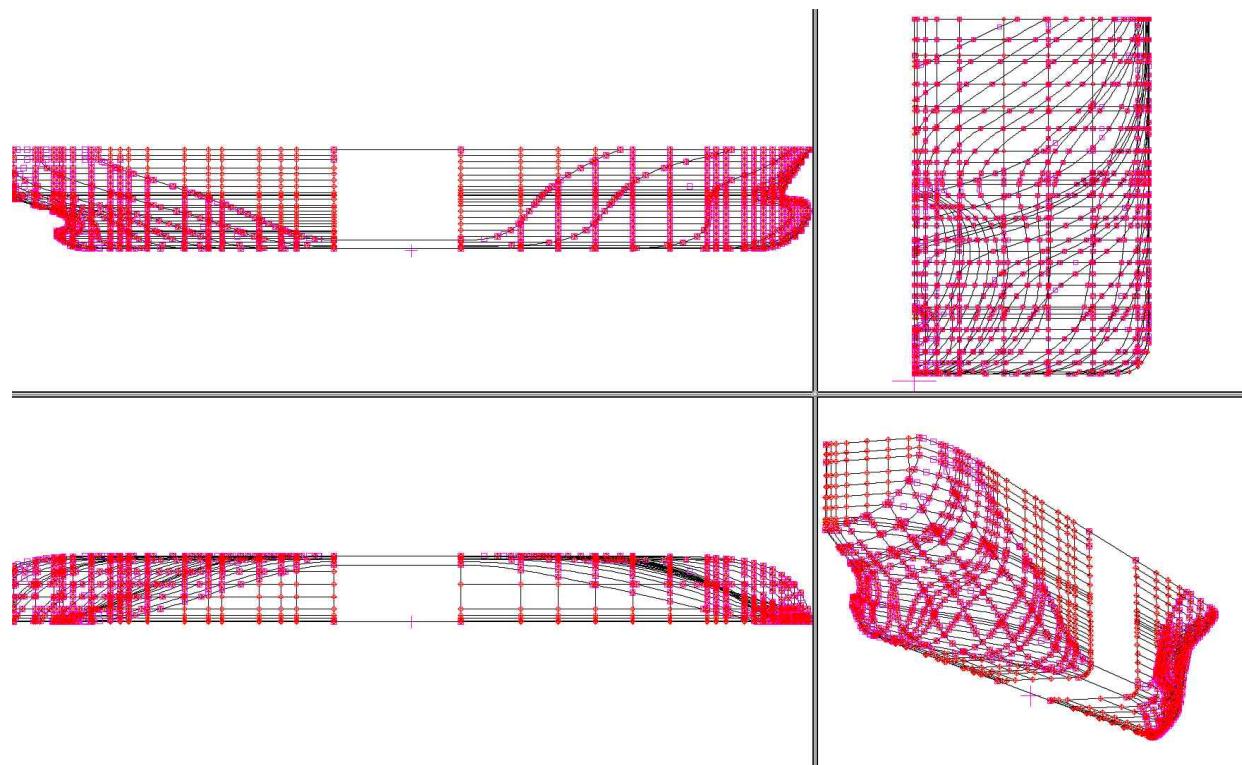


그림 9 HULL 정의

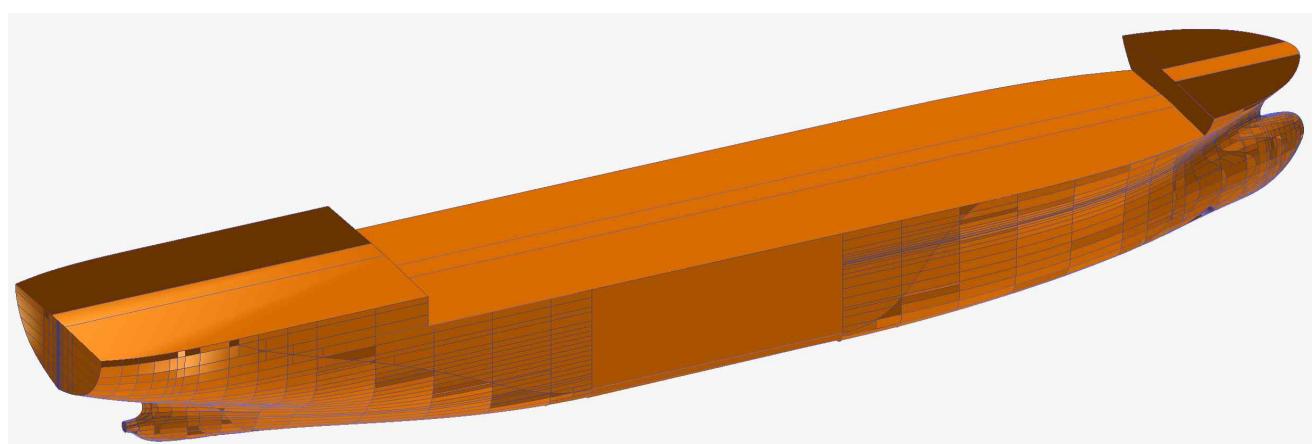


그림 10 STABHULL 정의

□ 구획배치 설계

- 비손상 복원성 계산을 위하여 구획 (compartment : cargo tank, engine room, MGO, methanol fuel tank, fresh water tank etc.) 배치 유관 부서와 협의하여 설계를 수행함

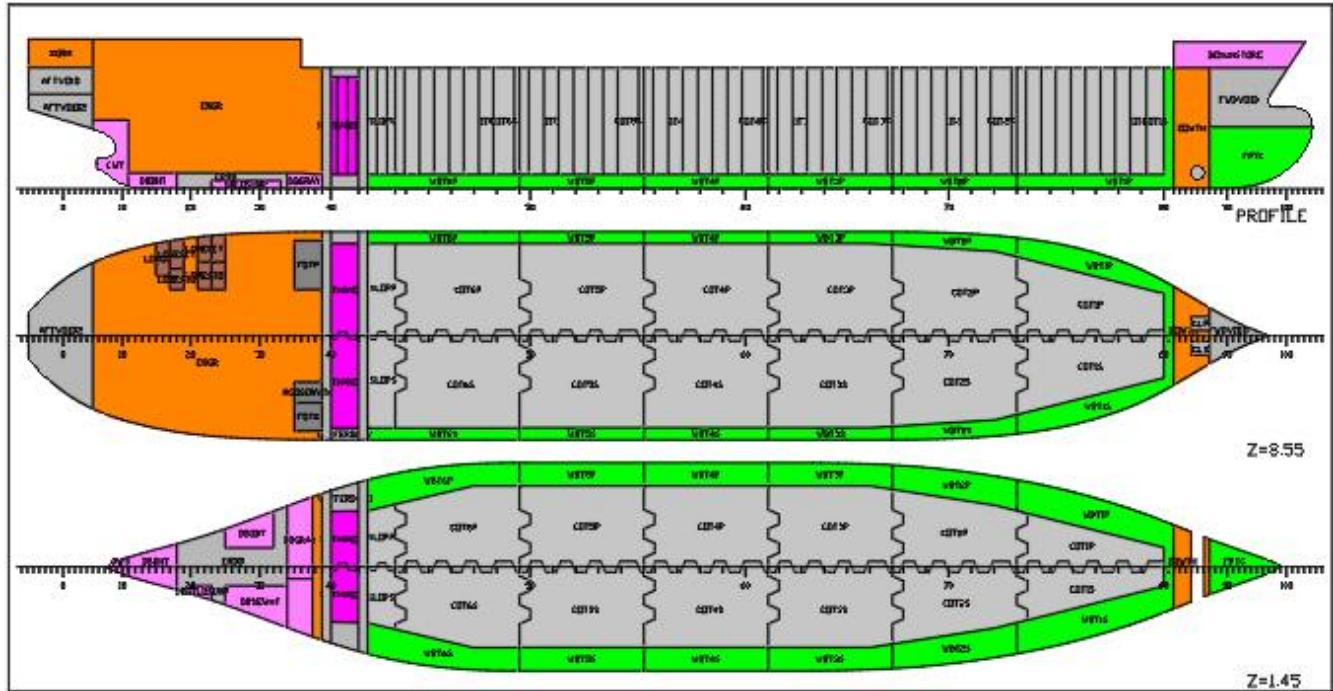


그림 11 초기 Compartment 설계 및 정의

□ 경하중량 추정

- 실적선의 LWT, LCG 및 VCG를 분석하여 본선에 적정한 하중분포를 도출함.
Total weight 4,560 ton, LCG 50.6 m (8.5%), VCG 9.2 m (78%)로 추정함

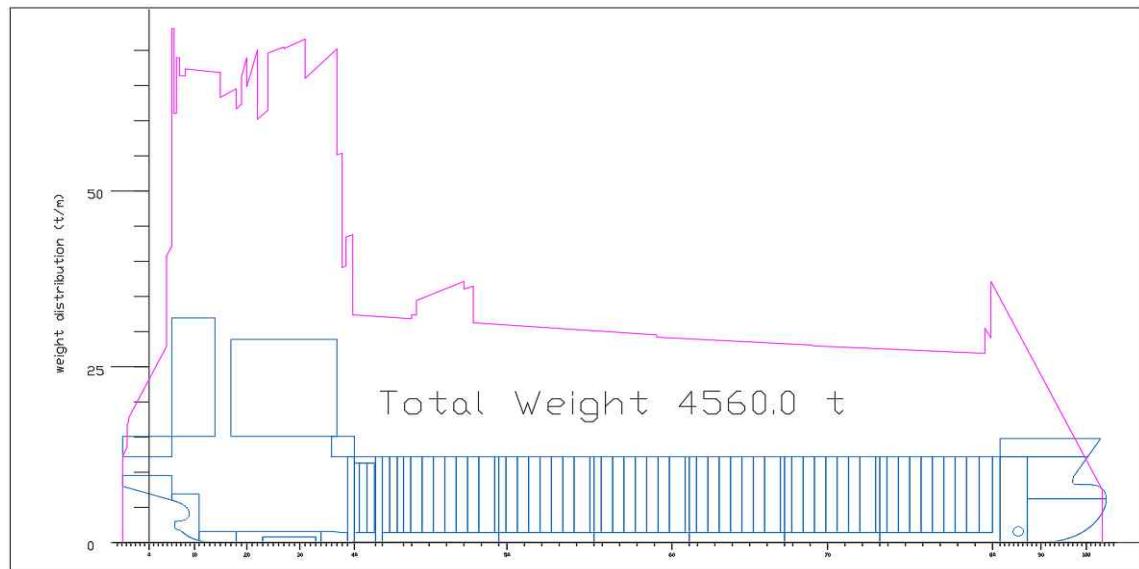


그림 12 초기 Light Weight Distribution

□ Loading Condition에 따른 비손상 복원성 계산

- 비손상 복원성은 IS Code 2008에 따라서 적재상태 (Loading Condition)를 ballast, homo scantling draft, full loaded ($SG=1.53/0.9/1.025$), homo loaded ($SG=0.7/0.8$), group loaded 및 tropical load line condition의 계산을 수행함. 그 결과 2008 IS Code의 Min. GM 값인 0.15m 대비 GM range가 0.92~2.06 m로 충분한 복원성이 있는 것으로 판단함
- 또한, MARPOL에서 요구하는 비손상 복원성인 worst possible condition에 따라서 계산을 수행한 결과 Min. GM 값인 0.15m 대비 GM이 0.415m로 복원성을 충분히 만족함

CONDITION		INITIAL			
		BALLAST DEP./ARR.	HOMO. SCANT. DEP./ARR. (S.G.=0.878)	FULL LOADED DEP./ARR. (S.G.=1.53)	HOMO LOADED DEP./ARR. (S.G.=0.700)
DRAFT (EXT., m)	F.P.	4.584 / 4.867	8.110 / 8.471	8.115 / 8.469	6.314 / 6.670
	A.P.	5.760 / 5.733	8.922 / 8.100	8.919 / 8.102	8.545 / 7.701
	DEQ.	5.156 / 5.288	8.550 / 8.272	8.550 / 8.272	7.490 / 7.206
KMT(m)		9.461 / 9.352	8.937 / 8.846	8.939 / 8.846	9.006 / 8.911
KG(m)		6.921 / 6.538	7.344 / 7.290	5.864 / 5.753	7.460 / 7.402
GM(m)		2.183 / 2.061	1.298 / 1.250	2.211 / 2.199	1.261 / 1.211
TRIM(-:by stern, m)		-1.175 / -0.865	-0.813 / 0.371	-0.804 / 0.367	-2.231 / -1.031
DISPLACEMENT(ton)		9,982 / 10,263	17,604 / 16,954	17,604 / 16,954	15,143 / 14,492

표 6 Trim & Stability 계산 결과 (1)

CONDITION		INITIAL			
		HOMO LOADED DEP./ARR. (S.G.=0.800)	FULL LOADED DEP./ARR. (S.G.=0.900)	FULL LOADED DEP./ARR. (S.G.=1.025)	GR LOADED DEP./ARR. (S.G.=0.7/1.53)
DRAFT (EXT., m)	F.P.	7.305 / 7.660	8.110 / 8.471	8.111 / 8.470	7.879 / 8.226
	A.P.	8.047 / 7.937	8.923 / 8.101	8.922 / 8.102	9.118 / 8.313
	DEQ.	8.087 / 7.807	8.550 / 8.273	8.550 / 8.272	8.550 / 8.273
KMT(m)		8.942 / 8.847	8.937 / 8.846	8.937 / 8.846	8.961 / 8.868
KG(m)		7.391 / 7.335	7.258 / 7.201	6.842 / 6.769	6.669 / 6.620
GM(m)		1.260 / 1.209	1.351 / 1.305	1.563 / 1.526	1.697 / 1.662
TRIM(-:by stern, m)		-1.461 / -0.277	-0.812 / 0.370	-0.811 / 0.368	-1.239 / -0.097
DISPLACEMENT(ton)		16,523 / 15,872	17,604 / 16,954	17,604 / 16,954	17,604 / 16,954

표 7 Trim & Stability 계산 결과 (2)

CONDITION		INITIAL		
		GR LOADED DEP./ARR. (S.G.=1.53/0.7)	TROPICAL LOAD LINE DEP./ARR.	WORST POSSIBLE
DRAFT (EXT., m)	F.P.	8.076 / 8.433	8.361 / 8.727	6.303
	A.P.	8.951 / 8.133	9.052 / 8.218	8.527
	DEQ.	8.550 / 8.272	8.737 / 8.454	7.479
KMT(m)		8.940 / 8.849	8.953 / 8.862	9.007
KG(m)		6.700 / 6.621	7.344 / 7.290	7.438
GM(m)		1.697 / 1.664	1.314 / 1.270	0.415
TRIM(-:by stern, m)		-0.875 / 0.299	-0.691 / 0.509	-2.224
DISPLACEMENT(ton)		17,604 / 16,954	17,604 / 16,954	15,118

표 8 Trim & Stability 계산 결과 (3)

4. 손상 복원성(Damage Stability)

Loading Condition에 따른 손상 복원성 계산

- Loading condition 중에서 full loaded (SG=0.9) condition at dep.에서 GM excess가 0.579 m로 가장 worst한 값이 도출되었으며, 이는 설계 목표치인 Min. GM excess 0.5m 이상을 상회하는 결과로서 충분한 손상복원성을 가지는 것을 확인함
- Worst case는 side damage 중 engine room과 steering gear room 등이 손상되는 case (SDAM11)와 NO. 1 & 2 COT(S) & WBT(S)가 손상되는 case (SDAM03)이며, 모든 조건에서 손상 시 요구사항을 만족함
- SDAM11 case에서 steering gear room과 engine room을 동시에 손상시키는 경우를 고려하였고, 이를 만족시킴으로써 이 두 room 사이의 watertight door 설치를 배제함

CONDITION	INITIAL			
	HOMO. SCANT. DEP./ARR. (S.G.=0.878)	FULL LOADED DEP./ARR. (S.G.=1.53)	HOMO LOADED DEP./ARR. (S.G.=0.700)	HOMO LOADED DEP./ARR. (S.G.=0.800)
WORST CASE*	SDAM11 / SDAM11	SDAM03 / SDAM03	SDAM11 / SDAM03	SDAM11 / SDAM03
HEELING to deck immersion (°)	0 / 4.18	14.61 / 14.00	5.58 / 20.59	2.22 / 17.07
TRIM (- : by stern, m)	-7.514 / -5.736	0.150 / 1.516	-7.844 / 0.2	-7.650 / 1.073
DRAFT at EQ (m)	9.727 / 9.349	8.706 / 8.484	8.483 / 7.342	9.179 / 7.966
OPENING IMMERSION(m)	0.62 / 0.95	3.00 / 2.83	1.73 / 3.49	1.09 / 2.69
GM EXCESS(m)	0.598 / 0.675	1.206 / 1.195	0.983 / 0.943	0.766 / 0.825

표 9 초기 Damage Stability 계산 결과 (1)

CONDITION	INITIAL				
	FULL LOADED DEP./ARR. (S.G.=0.900)	FULL LOADED DEP./ARR. (S.G.=1.025)	GR LOADED DEP./ARR. (S.G.=0.7/1.53)	GR LOADED DEP./ARR. (S.G.=1.53/0.7)	TROPICAL LOAD LINE DEP./ARR.
WORST CASE*	SDAM11 / SDAM11	SDAM11 / SDAM03	SDAM11 / SDAM11	SDAM03 / SDAM03	SDAM11 / SDAM11
HEELING to deck immersion (°)	0 / 4.17	0 / 13.99	0 / 3.00	14.00 / 13.30	0 / 4.18
TRIM (- : by stern, m)	-7.520 / -5.740	-7.509 / 1.669	-8.197 / -6.387	0.595 / 2.001	-7.514 / -5.736
DRAFT at EQ (m)	9.727 / 9.350	9.727 / 8.474	9.765 / 9.388	8.780 / 8.543	9.727 / 9.349
OPENING IMMERSION(m)	0.62 / 0.96	0.65 / 2.38	0.45 / 0.90	2.24 / 1.97	0.62 / 0.95
GM EXCESS(m)	0.579 / 0.657	0.731 / 0.797	0.835 / 0.917	0.805 / 0.826	0.598 / 0.675

표 10 Damage Stability 계산 결과 (2)

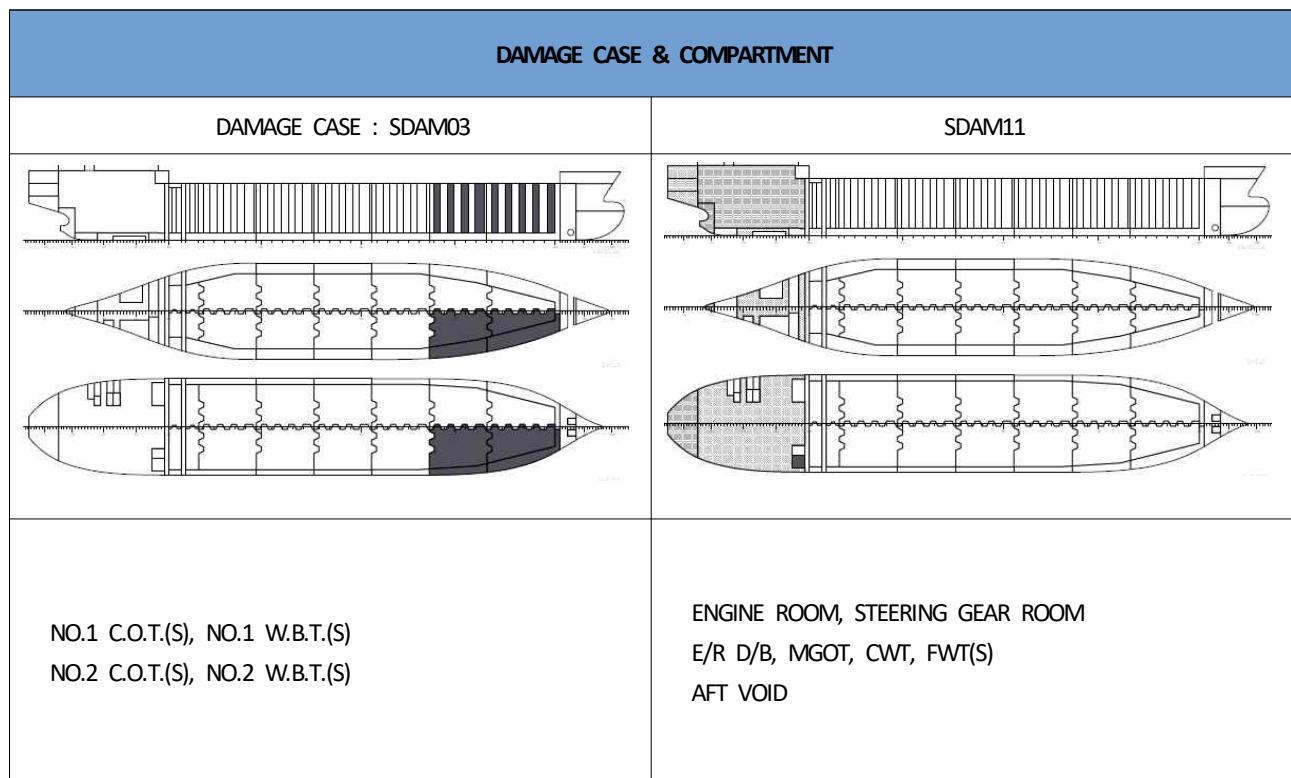


그림 13 Damage Case and Compartment

5. 에너지효율설계지수 (EEDI, Energy Efficiency Design Index)

메탄올 연료 추진 13K Class Product/Chemical Tanker EEDI 계산

- RESOLUTION MEPC.308(73)에 따라 EEDI를 계산하였으며, 최근 지속적인 친환경 규제 강화 기조에 맞추어 EEDI Phase III 대비 두 단계 상위 (Phase 0 대비 CO₂ 50% 저감 기준, 8.58) 조건을 만족하도록 설계함

Main Particulars

- Ship Type : Chemical Tanker
- LBP : 122.0 m
- Breadth : 21.0 m
- Draught(Scantling) : 8.55 m
- EEDI Draft : 8.55 m
- EEDI Speed : abt. 12.9 knots at 75% SMCR (2,250 kW) without sea margin

Main Engine

- TYPE : W6L32M
- SMCR : 3,000 kW x 125.9 rpm
- NCR : 2,700 kW (SMCR 90.0%) x 121.6 rpm
- SFCME (MGO) : 191.6 g/kWh (Incl. Tolerance 5%)
- SFCME (METHANOL) : 351.0 g/kWh (Incl. Tolerance 5%)

EEDI Calculation Result

- EEDI 계산 결과 required EEDI는 8.58이고, attained EEDI는 7.66로 CO₂ 50% 저감 기준을 만족함 (10 % 이상의 margin 확보됨)

Attained EEDI value =	$f_j \times PMELPG \times (fDFgas \times (CFPilot \times SFCMIPilot + CFLPG \times SFCDLPG) + fDFliquid \times CFMGO \times SFCDMGO) + PAE \times (fDFgas \times (CFAEPilot \times SFCAEPilot + CFLPG \times SFCAELPG) + fDFliquid \times CFMGO \times SFCAEMGO)$	7.66
	$f_i \times f_c \times f_l \times Capacity \times f_w \times Vref$	

표 11 Attained EEDI 계산 결과

Phase	Phase 0	Phase 1	Phase 2	Phase 3	CO ₂ -40% (예상)	CO ₂ -50% (예상)
Reference line value	na	11.96	11.96	11.96	11.96	11.96
Required EEDI	na	11.28	10.61	9.93	9.26	8.58
Attained EEDI	-	-	-	-	-	7.66
Result	Satisfied	Satisfied	Satisfied	Satisfied	Satisfied	Satisfied

표 12 EEDI 계산 결과 비교

□ Reference Line & Attained EEDI

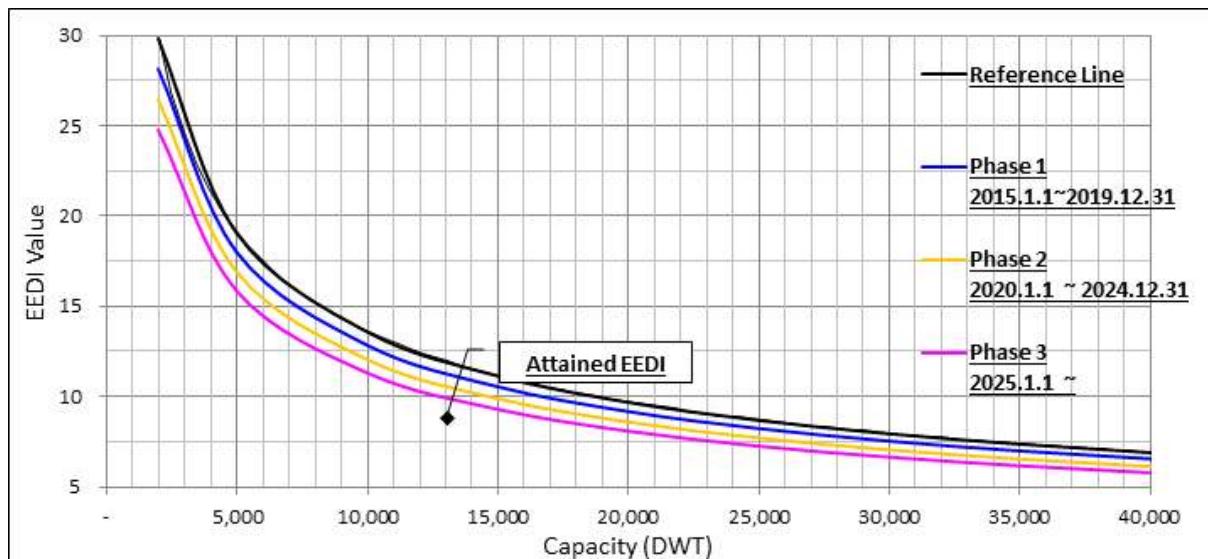


그림 14 친환경 소형 Chemical Tanker Attained EEDI

6. 건현 (Freeboard)

6.1 건현

- 건현 (Freeboard)은 선체 중앙부 현측에서, 갑판 윗면으로부터 만재흘수선 (Load Line) 마크 윗 단까지의 수직거리를 말함
- 만재흘수선 규정은 충분한 복원성을 확보하기 위한 규정이며, 국제해사기구 (IMO)에서 1966년에 새로운 만재흘수선에 관한 국제 협약 (International Convention on Load Lines, ICLL, 1966)을 채택하였고, 각기 다른 지역과 계절에 따른 잠재적인 위험에 대해 고려하였으며 선체 중앙부 양 현측에 지정된 건현을 만재흘수선 마크로 표시도록 함
- 이는 선박에 필요한 최소 건현을 지정하여 바다 위에서의 내항성을 확보하기에 충분한 예비 부력을 보유하는데 그 목적이 있음

*Type A

- (a) 산적 액체 화물만을 운송하도록 설계된 것
- (b) 수밀 가스켓이 붙은 강 또는 동등 재료로 된 덮개에 의하여 폐쇄되고 갑판에서 화물 구획으로 통하는 작은 출입구만이 존재하여 노출된 갑판이 고도의 완전성을 가진 것
- (c) 적재된 화물구획의 낮은 침수율을 가진 것

*Type B

- (a) Type A선박에 관한 규정에 해당하지 아니하는 모든 선박은 Type B선박으로 간주함

6.2 Freeboard 계산

- ICLL 2019 / ANNEX I / Reg. 27~40에 의거하여, 본선은 액체 화물을 운반하는 바, type A에 대한 전현계산을 수행하여야 하며, 이와 더불어 type A보다 큰 예비부력을 요구하는 type B를 추가적으로 계산 수행함

Main Particulars

- LBP : 122.0 m
- Breadth(mld) : 21.0m
- Depth(Upper deck) : 11.8 m
- Depth(Freeboard deck) : 11.8 m
- Scantling draft(mld) : 8.55 m
- 0.85 Depth : 10.03 m
- Freeboard Length(Lf) : 122.53 m
- Depth for freeboard (Df) : 11.813 m

Summary

- Type A, B에 대한 Freeboard 요구 높이는 각각 2.562 m, 2.823 m로 계산되었으며, 설계된 Freeboard 높이는 3.263 m로서 Type A, B 둘 다 만족함

	Freeboard Type	Type-A [mm]	Type-B [mm]
1)	Tabular freeboard	1503	1740
①	Correction for block coefficient	152	176
②	Correction for depth	911	911
③	Correction for block recess	0	0
④	Correction for superstructure	-331	-331
⑤	Correction for sheer	327	327
⑥	Correction for minimum bow height	0	0
2)	Calculation Summer Freeboard(ICLL) (①+②+③+④+⑤+⑥)	2562	2823
3)	Wanted Summer Freeboard (OWNER)	3263 (margin 701)	3263 (margin 440)

표 13 Freeboard 계산 결과

나. 성능개발

1. 기술개발 목적

- 본 Project는 친환경선박설계기술 경쟁력 강화사업의 일환으로 진행되었으며, 중소형 조선소의 영업 수주 경쟁력 강화를 위하여 최신 경향을 반영한 선형을 개발하고, 에너지 절감 장치를 개발하며 개발된 선형 및 에너지 절감 장치에 대한 성능을 CFD를 통해 확인하고, 모형시험을 통하여 검증하고자 함

1.1 기술개발 요약

- 기존 비교 대상선의 선형에 대해 선형성능을 우선적으로 검토하고, 그에 따른 목표값을 설정함. 개발과정에서 CFD를 통해 선수 wave와 선미 선체표면의 압력 및 wake 분포 등을 해석하고 평가하였으며, 에너지 절감 및 선미 유효 반류의 추가적인 개선을 위해 에너지 절감 장치 중 rudder bulb, WED (Wake Equalizing Device) 최적화 설계를 수행하여 적용함
- 기존 비교 대상선 대비 연료유의 변화 (methanol fuel)에 따른 수선간장 (LBP)의 변경 및 선폭, 계획흘수 (design draft)가 변경되어 이에 따른 최적화가 필요함
- 선수 선형 설계 시, 기존 비교 대상선의 선형 및 모형시험 결과 검토를 통하여 여러 저항 성분 중 선수 bulb 의 형상이 middle bulb type으로 설계되어 조파 성능의 개선 여지가 있어 이를 우수하도록 저항 성능을 개선하는 방향으로 선수 선형 개발을 완료하였음. 도출된 최적화 선수 선형은 초기 선수 선형에 비하여 측면의 wave profile 및 선체 주위의 자유수면 파계가 전반적으로 개선된 것을 확인함
- 선미 선형 설계 시 기존 비교 대상선의 선미부는 과거 전통적인 형상인 U-type 선미형상을 보유하고 있었으며, 선미 profile의 형상도 개선 여지가 있을 것으로 판단됨. 또한, M/E의 변경에 따른 추진기가 가변 피치 프로펠러 (Controllable Pitch Propeller)로 변경이 되어 선미 형상에 대한 최적화가 가능하도록 선미 선형 개발을 완료함
- CFD를 통하여 확인한 기존 실적 선형과 최종 개발 선형의 선형 비교 결과 기존 비교 대상선의 속도성능은 target NCR에서 약 12.12 knots의 선속이 확인되었으며, 최종 개발된 선형은 Target NCR에서 약 13.00 knots로 확인됨 (NCR : 2,700 kW)
- 모형 시험을 통하여 선형 비교 결과 bare hull 기준으로 기존 비교 대상선 선형의 유효 마력 (EHP)은 13 knots에서 1,870 kW로 확인 되었고, 개발 선형은 1,625 kW로 도출되어 약 13 %의 개선 효과가 있는 것으로 확인됨
- 본 보고서에서는 개발 초기단계의 성능 검토에서부터 최종선형의 성능 평가 등에 대한 전반적인 내용을 수록함

항목	요구조건
DWT 13K급 Product/Chemical Tanker의 성능 경쟁력 차별화	
-성능 경쟁력 확보	계약속도 만족
	초기선형 대비 유효동력 감소

표 14 개발요구조건

1.2 대상선 성능 검토

1.2.1 주요 제원

- 사업단이 보유한 기존 비교 대상선의 제원은 아래 표 15와 같음.

Ship Type	Unit	기본제원
LOA / LBP	m	127.86 / 120.4
B / D	m	20.4 / 14.7
Td / Tb	m	8.7 / 5.475
L/B	-	5.902
B/Td	-	2.345
Cb at Td	-	0.796
NCR Power	kW	2,977
Propeller Type	-	FPP
Target Speed *	knots	13.0 (Fn = 0.192)

*추정값

표 15 대상선 Main Particulars

1.2. 성능검토

Speed-Power Estimation

- 기존 비교 대상선의 선형에 대해 성능 검토를 실시함
- 사업단 보유 유사선 정보를 활용하여 통계 추정 프로그램에 의한 speed-power 추정을 수행한 결과, 목표선형의 성능 수준은 다음 표 16과 같을 것으로 판단됨

Item	Unit	비교대상선	개발선
LBP/B/Td	m	120.4 / 20.4 / 8.7	122.0 / 21.0 / 8.55
L/B	-	5.902	5.809
B/T	-	2.345	2.456
Cb	-	0.7960	0.7820
Propeller Type	-	FPP	CPP
LCB	%	0.72	0.99
Cr $\times 10^3$	@13.0kts (Fn=0.1906)	-	1.160*
PE		kW	1,823
ETAD		-	0.636
ETAT		-	0.99
PB		kW	2,895
* 추정값			

표 16 Powering Prediction

2. 비교 대상 선형 평가

2.1 수치해석 조건

- 수치해석 프로그램은 선체주위 유동해석에서 많이 사용되는 유한체적법 (FVM) 기반의 상용코드인 Star-CCM+ (Ver.11.06)을 사용하였으며, 수치해석 조건은 표 17과 같음

Mesh Model	▪ Prism Layer Mesher
	▪ Surface Remesher
	▪ Trimmer
Physics Model	▪ Time : Implicit Unsteady
	▪ Governing Equation : RANS Equation
	▪ Turbulence Model : Reynolds Stress Turbulence (Linear Pressure Strain)
수치해석 조건	▪ Geometry : Hull
	▪ w/ Motion(Free, Equilibrium)
	▪ w/ Free Surface

표 17 수치해석 환경

2.2 비교 대상 선형의 정의

- 비교 대상선의 선형(Compare Hull form)을 CFD 성능해석을 위해 3차원 캐드작업용 선형 복원을 완료하였음
- 복원된 선형의 Cp curve 형상과 선박의 단면 형상은 아래 그림 15과 그림 16과 같음

- Cp Curve 형상

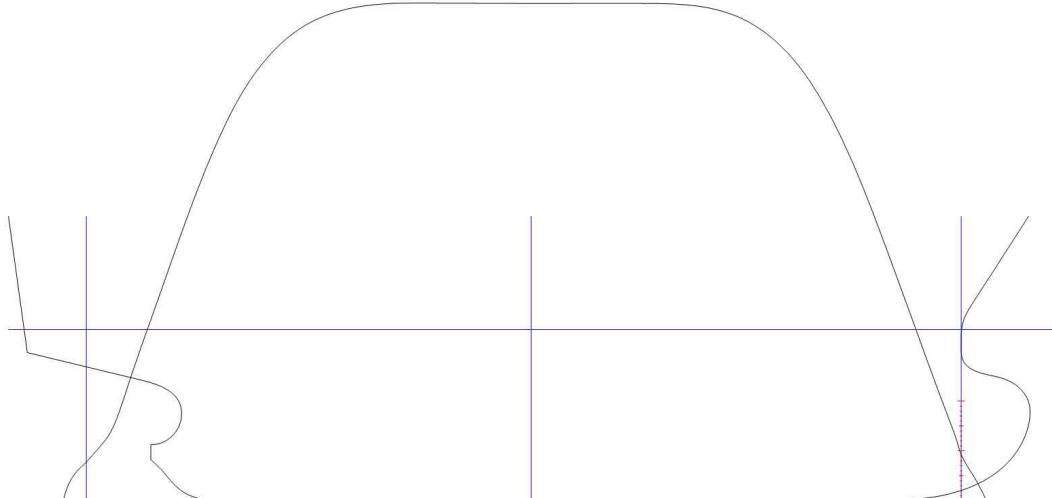


그림 15 Cp Curve

- Section Shape

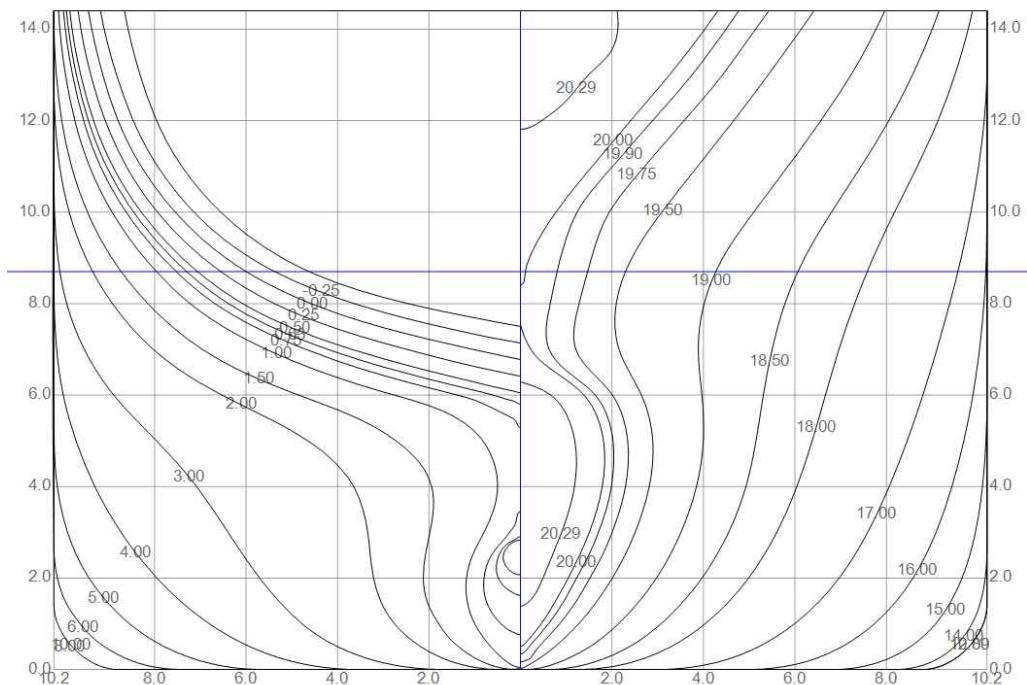


그림 16 Section Curve

2.3 비교 대상 선형의 CFD 결과 분석

○ Wave Profile 형상

- 비교 대상선의 선형 성능 분석을 위해 선형을 복원하고 아래 그림과 같이 CFD 해석을 수행함
- CFD해석을 통해 선측 wave profile의 형상을 분석한 결과는 다음과 같음
- 선수 선형의 형상이 middle bulb type으로 인해 선측 wave의 파저점이 급격하게 내려가는 현상을 확인할 수 있음
- 선수 선형의 형상적 특징으로 인하여 15 station부터 5 station까지의 wave의 변동의 폭이 큼
- 또한 선수 어깨 부분의 형상으로 인해 발산파의 파정과 파저가 조밀하며, 변동폭이 과도함
- 따라서 선형 변화를 통해 wave 변동폭을 줄여 저항을 개선하는 효과를 목표로 하였음

○ Wave Pattern

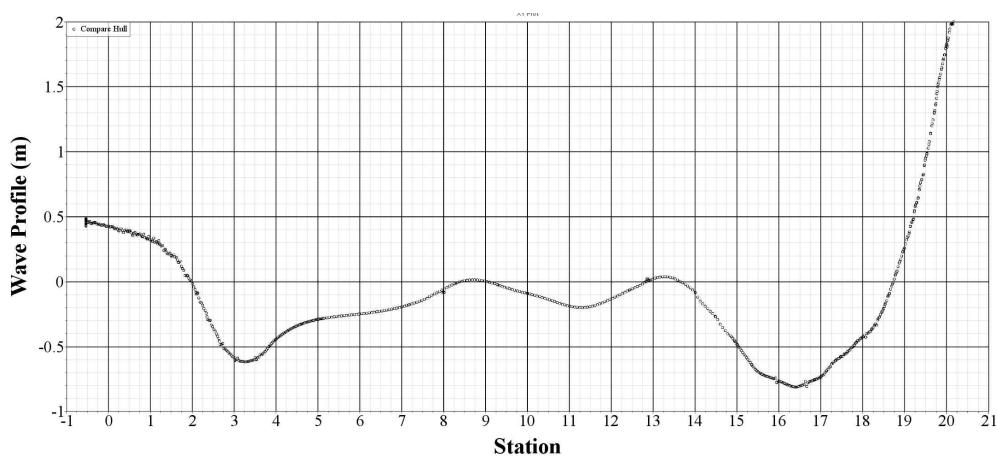


그림 17 CFD를 통한 초기선형의 선측 Wave Profile 분석

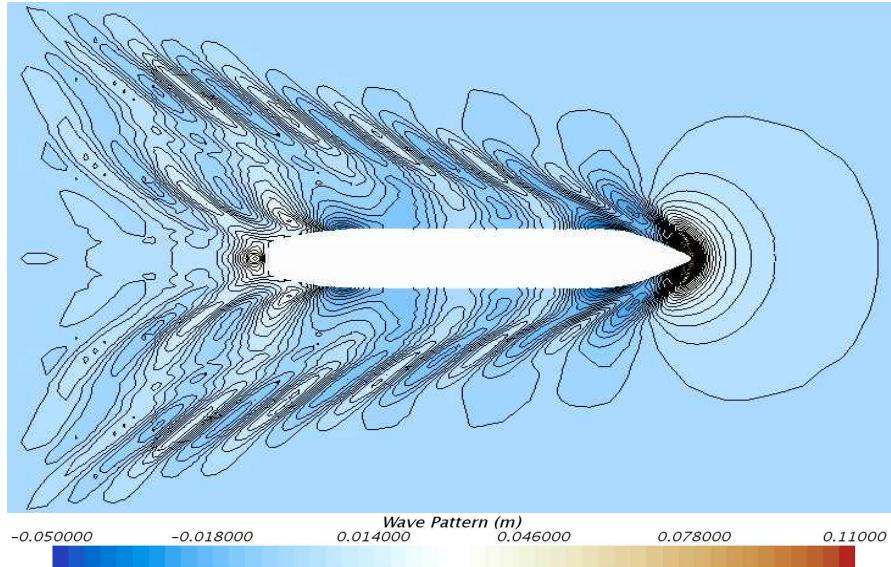


그림 18 Wave Pattern (13.0 knots)

- 선수/선미 Pressure Distribution

- 그림 5는 pressure distribution을 나타낸 것이며, CFD 해석 결과 pressure 분석에서도 선수미의 선체표면의 음압분포 영역을 축소시키고, 압력분포가 균일할 수 있도록 설계하고자 함

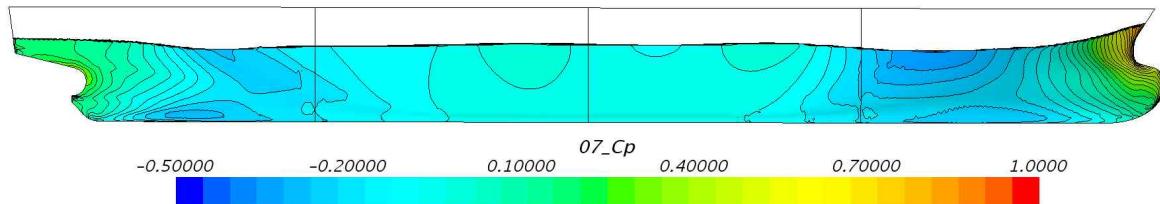


그림 19 비교 대상선 선형의 Pressure Distribution _ Side View

- 선수/선미 Streamline

- 아래 그림 20은 초기선형의 streamline을 나타낸 것이며, 선수 및 선미부 유선의 흐름이 매끈하고, 전반적인 기울기가 완만하여, 성능 관점에서 비교적 양호한 것으로 판단되나, 추가적인 선형성능 개선을 위해 선형 변환 이후, 유선의 흐름상 저항 증가성분으로 판단되는 와류나 부자연스러운 유선의 형상이 생성되는지를 확인하고, 초기선형과의 비교를 위한 기준으로 삼고자 함

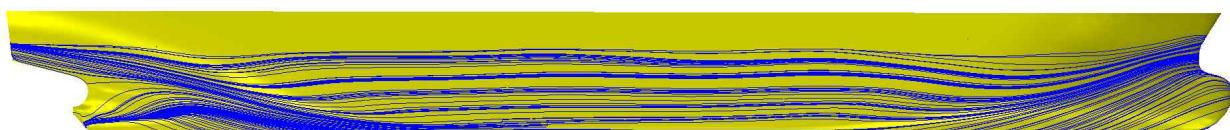


그림 20 비교 대상선 선형의 Streamline _ Side View

- 선미 Wake Distribution

- 선미 반류분포는 Propeller 설계 및 변동압력 관점에서 프로펠러면 상부의 유속이 빠르면 빠를수록 좋다고 말할 수 있으나, 이 경우 저항이 증가하므로 적정한 수준에서 타협하는 것이 가장 중요함
- 비교대상선의 반류분포의 경우 프로펠러의 약 0.7R 부근에서 축 방향 유속이 감소되는 hook shape의 반류 형태를 나타내고 있음
- 따라서, 저항 증가를 최소화하면서 향후 프로펠러 설계를 고려하여 변동압력 관점에서 유리한 반류 분포를 가지도록 설계하고자 함

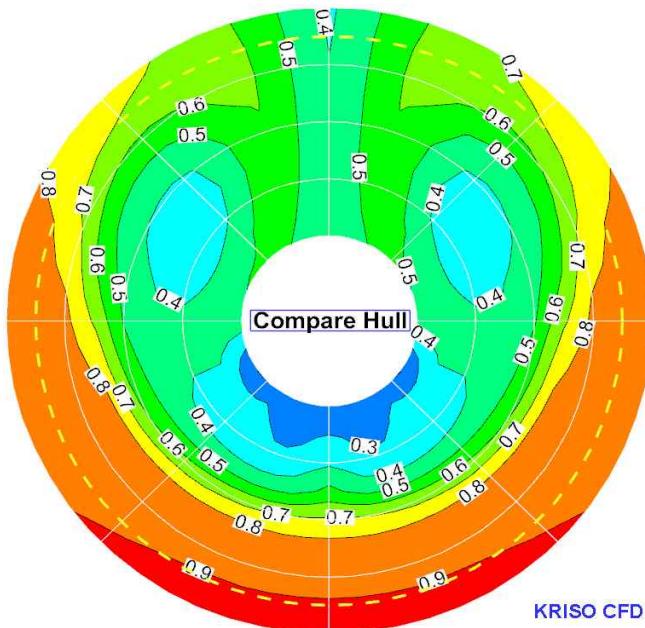


그림 21 비교 대상 선형의 Wake Distribution

- 비교 대상선 결과 정리

Item	Unit	Initial	Target	Remarks
Vs	knots	13.0		
Cr x 1,000	-	1.153	0.882	0.271
PE	kW	1,837	1,696	7.68 %

표 18 저항 결과 비교

- 초기 선형의 저항성능 해석 결과, wave profile 형상 등 선형변경을 통해 개선이 가능할 것으로 판단되는 부분을 확인할 수 있음
- Wake 분포의 경우는 프로펠러면 상부의 유속이 다소 느리고 프로펠러 캐비테이션 거동

및 변동압력과 관련하여 문제 발생의 소지가 있다고 판단되어 개선이 필요할 것으로 판단됨

- 보증속도 만족을 위해 유효동력 기준 약 7.68 %의 성능 개선이 필요한 상황으로, 초기 선형 선수/선미의 국부적인 변화를 통한 최적화 작업에 착수함

3. 선형 최적화

3.1 개발 사항

- 선수 Section 최적화 : section 및 waterline shape study, bulb study → wave profile 및 저항성능 개선
- 선미 Section 최적화 : 선미부 center contour 및 run angle 최적화, propeller hub 고려 → 선미 저항성능 개선 (wake 분포 고려)

3.2 최종 선형

- 최종 선형의 비교는 아래 그림과 같음

선형 비교

Cp Curve 비교

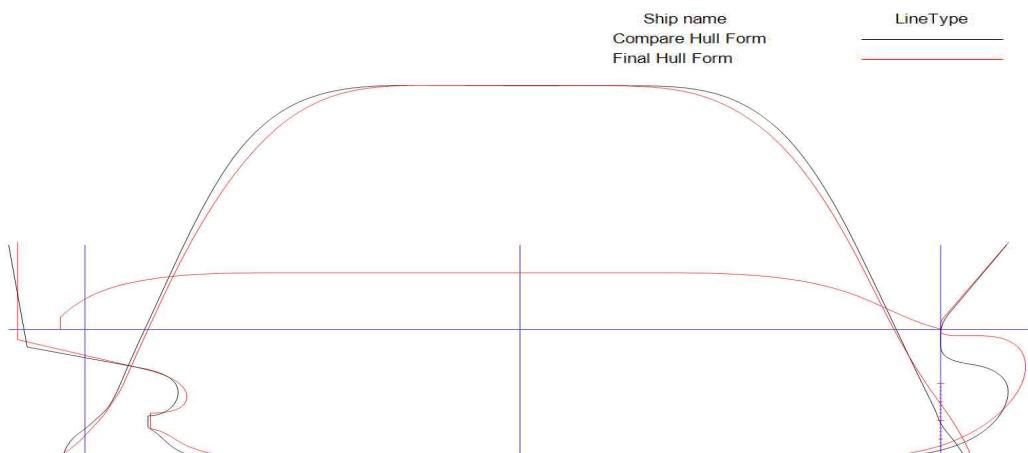


그림 22 비교 대상 선형과 최종선형의 Cp Curve비교

- Section 비교

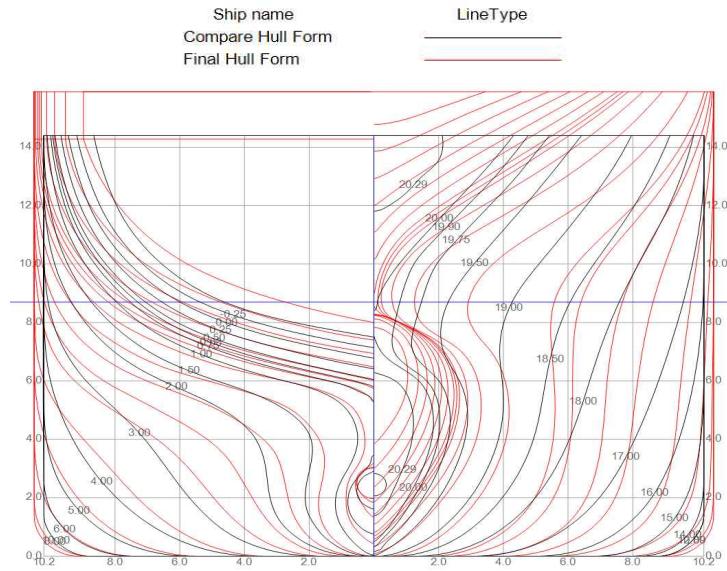


그림 23 비교 대상 선형과 최종선형의 Section
비교

- CFD 결과 비교

- 정성적 해석 결과

- a. Wave Profile 형상

- CFD해석을 통한 초기선형의 분석과정에서 목적하였던 바와 같이, 선측 wave profile의 형상을 그림과 같이 변경함에 따라, 조파저항이 크게 개선될 것으로 판단함

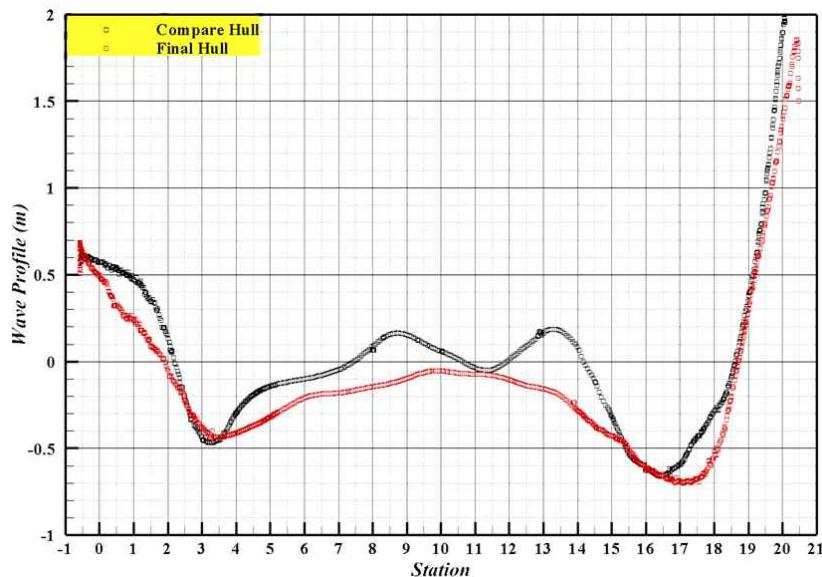


그림 24 비교 대상 선형과 최종선형의 Wave Profile 비교

b. Wave Pattern

- CFD 해석 결과, wave pattern의 경우도 초기선형과 비교하여, 전체적인 파의 형상이나 파의 깊이 및 파의 깊이에 따른 범위 등이 개선된 것을 확인함
- 기존 비교 대상선 대비 선수 어깨 부분의 형상을 최적화하여 발산파의 파정과 파저의 간격을 수정하였고, 변동 폭이 개선되었음

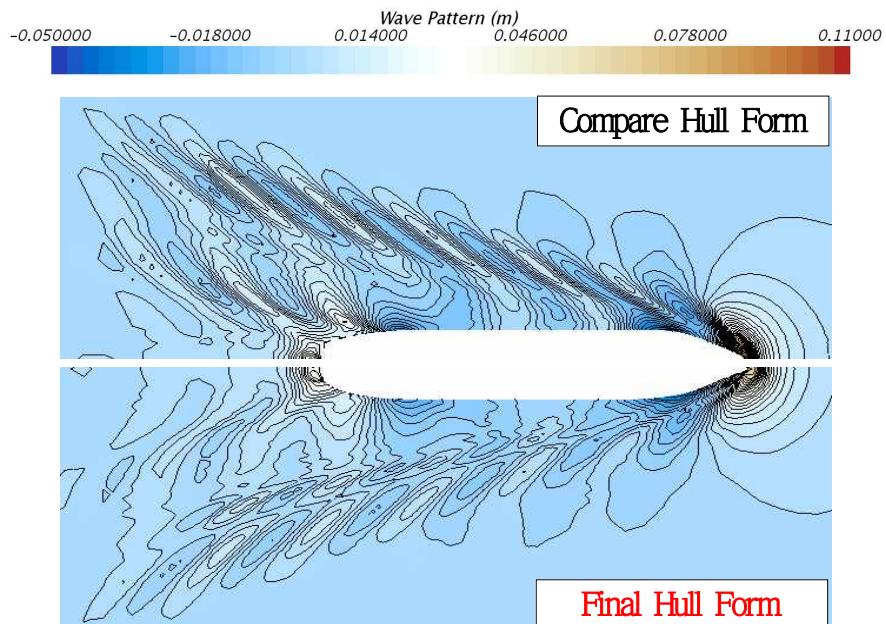


그림 25 비교 대상 선형과 최종선형의 Wave Pattern 비교

c. Pressure Distribution

- 선수 선체표면 압력분포의 경우 비교대상 선형과 비교하여 bulb 최적화를 통하여 압력 구배의 분포를 수정하였고, 음압분포 영역의 범위가 축소되어 선형의 저항감소 측면에서 긍정적인 영향을 줄 것으로 판단됨

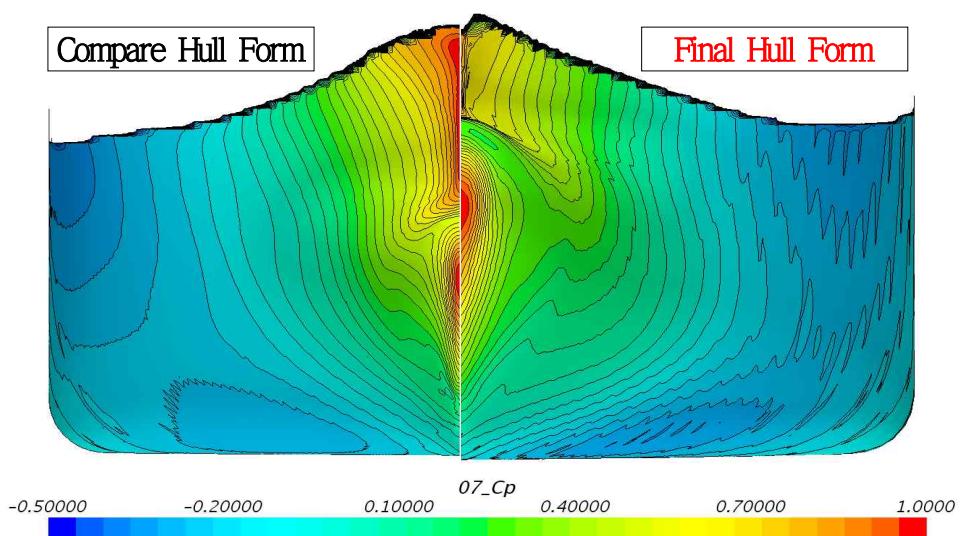
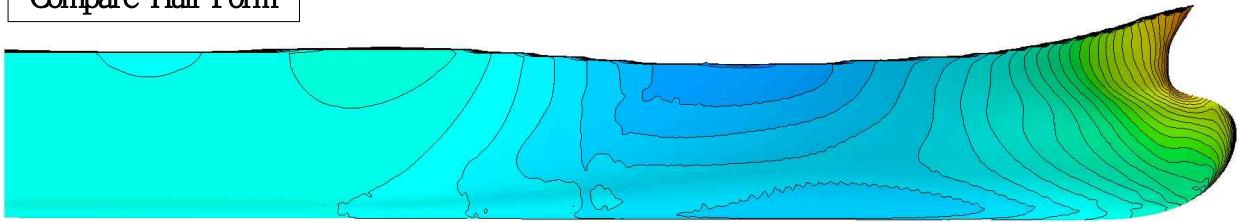


그림 26 선수 Pressure Distribution 비교 _ Projection View

Compare Hull Form



Final Hull Form

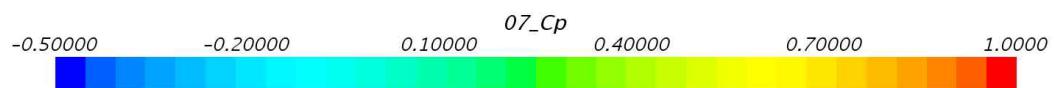
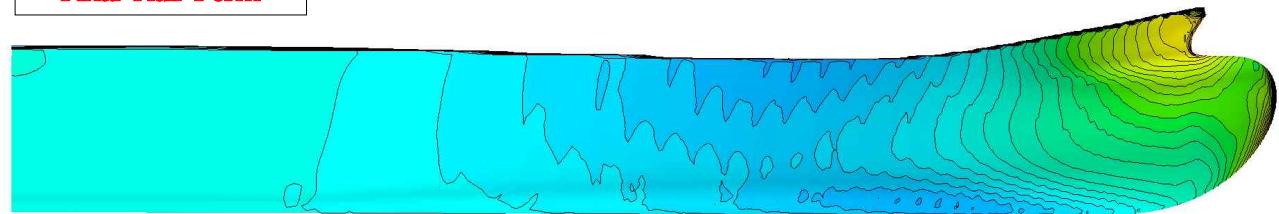


그림 27 선수 Pressure Distribution 비교 _ Side View

Compare Hull Form

Final Hull Form

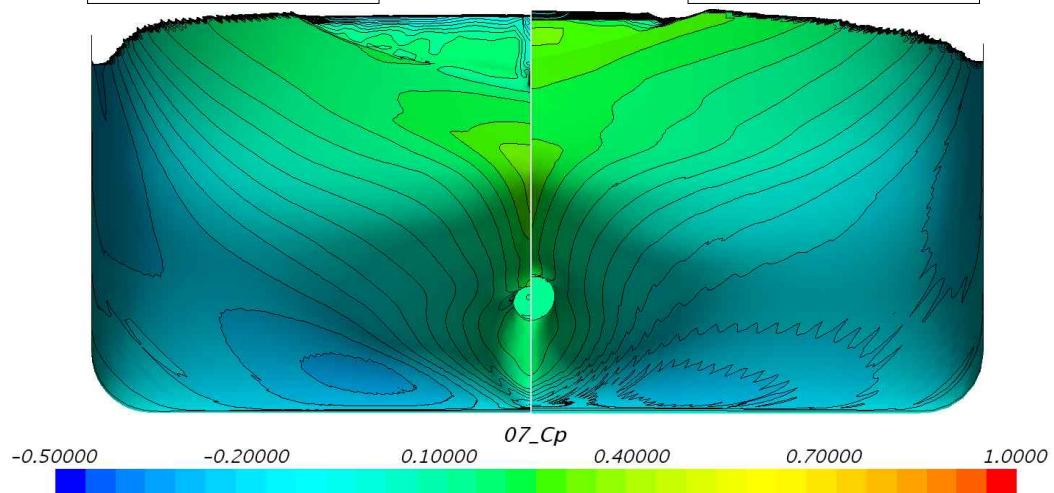


그림 28 선미 Pressure Distribution 비교 _ Projection View

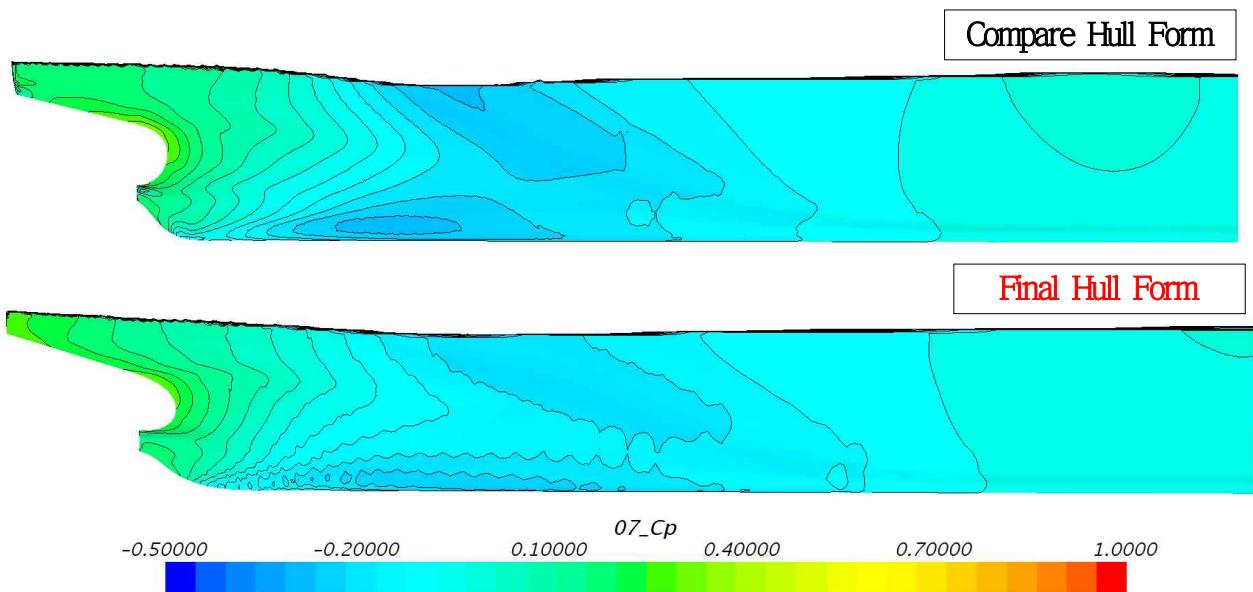


그림 29 선미 Pressure Distribution 비교 _ Side View

d. Streamline

- 선수/선미부 유선의 형상 및 흐름도 매끈하고, 전반적인 기울기가 완만하여 최적화가 잘 진행된 것으로 판단됨

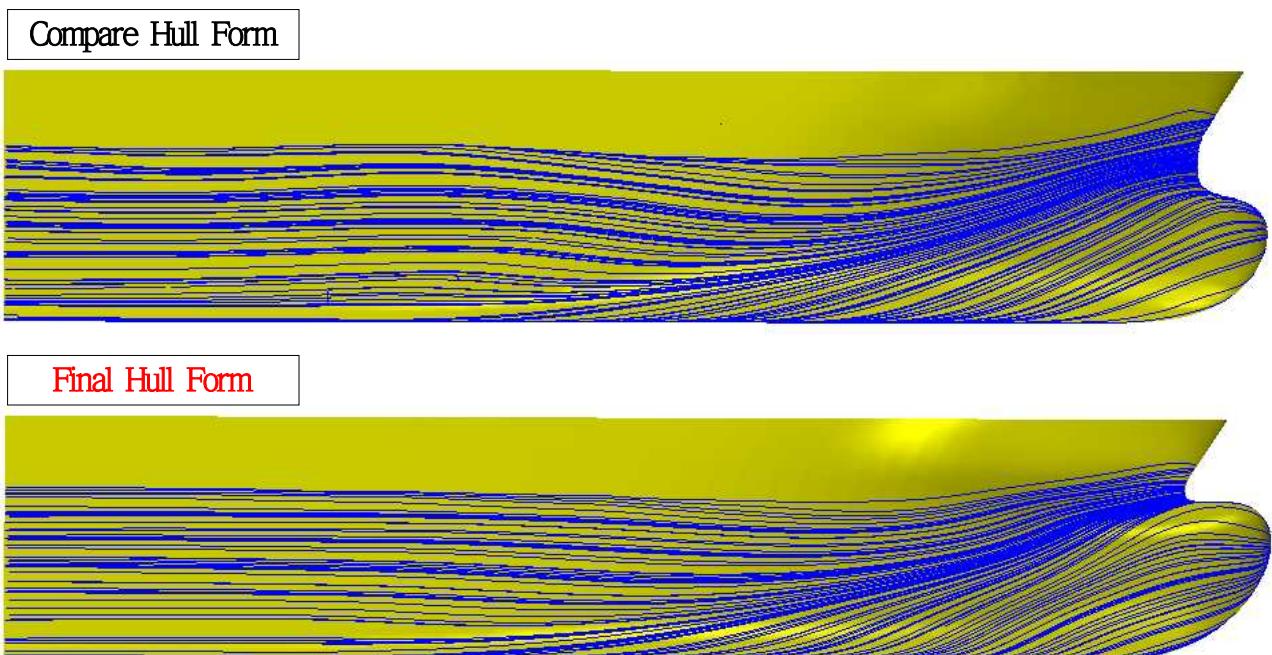
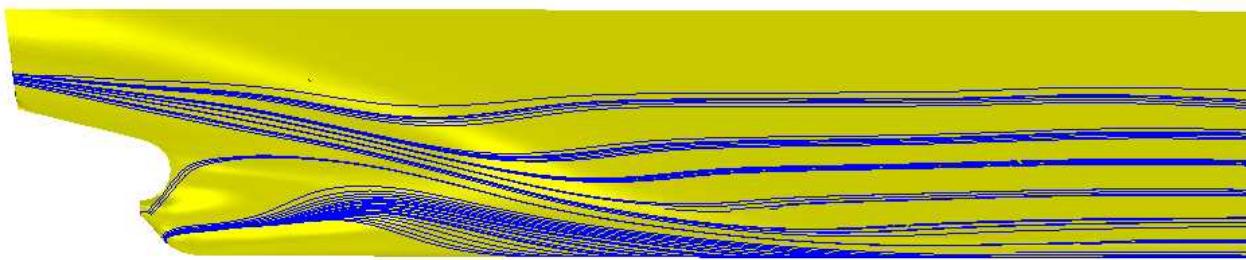


그림 30 선수 Streamline 비교 _ Side View

Compare Hull Form



Final Hull Form

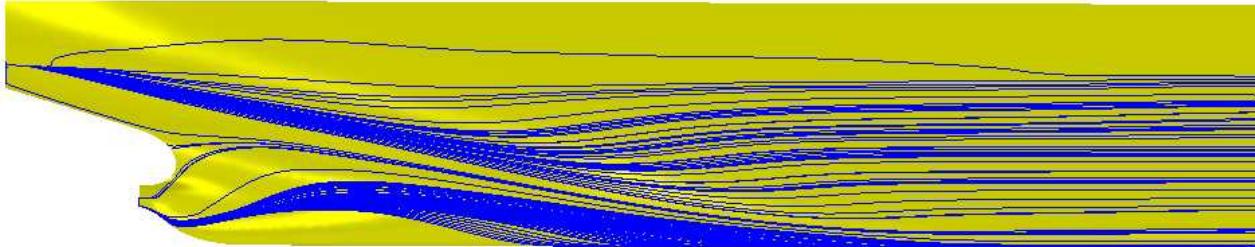


그림 31 선미 Streamline 비교 _ Side View

e. Wake Distribution

- 선미 선형의 경우 성능에 대한 개선 목표량을 낮게 가져가고, wake 분포 및 main engine arrange를 우선적으로 고려하여 최적화를 진행함. 또한, M/E의 변경에 따른 추진기가 가변 피치 프로펠러 (Controllable Pitch Propeller)로 변경이 되어 선미 형상의 변화를 우선적으로 고려하여 최적화를 진행함
- 그림과 같이 0.7R 부근에서 축 방향 유속이 감소되는 hook shape의 반류 형태가 사라진 것을 확인 할 수 있으며, 전체적인 Wake형상도 많이 개선됨을 확인함

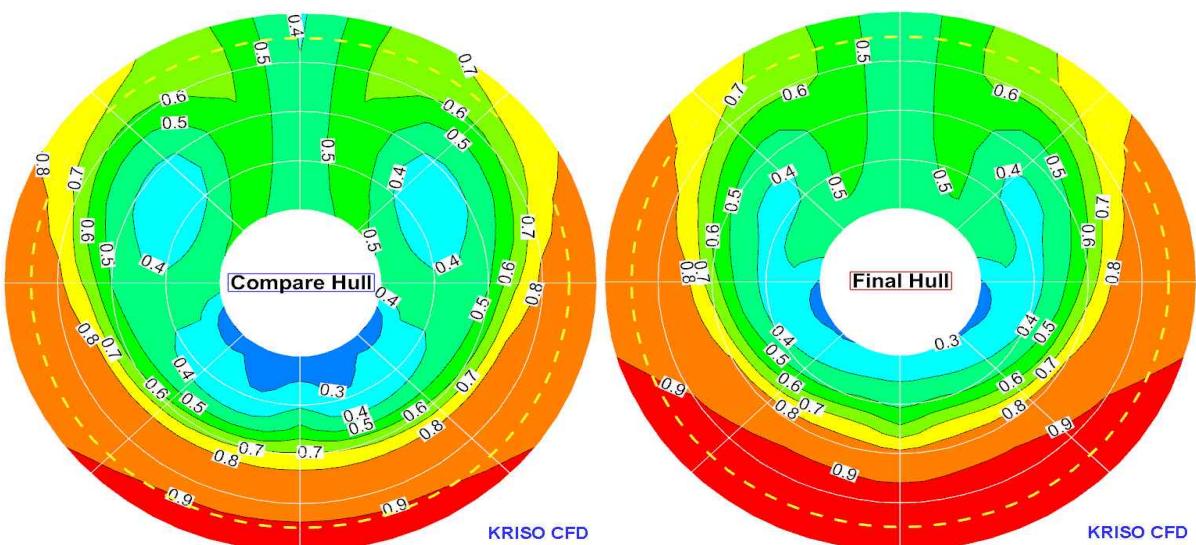


그림 32 비교 대상 선형과 최종선형의 Wake분포 비교

○ 정량적 해석 결과

- Final Hull Form의 Star-CCM+(Ver.11.06) 계산 결과를 가지고 ITTC 1957 모형선-실선 확장법을 이용하여 실선에서의 속도를 추정하였으며, 그 결과는 아래 표와 같음
- Final hull form의 경우 initial hull form과 비교하여 설계흘수인 design draft에서 유효 동력 기준 약 12.03 % 성능이 개선됨을 확인함
- 따라서 CFD해석결과, design draft에서 NCR power (w/ 15 % S.M)기준 보증속도인 13.00 knots를 만족시킬 것으로 예상함 (NCR : 2,700 kW x 121.6 RPM)

Item	Unit	Final Hull Form	Initial Hull Form	Remarks
Vs	knots	13.0		
Cr x 1,000	-	0.789	1.153	
PE	kW	1,616	1,837	12.03 % ↓
ETAD	-	0.707	0.636	
ETAT	-	0.97*	0.99	* CPP 기준
PB	kW	2,356	2,917	23.81 % ↓

표 19 Speed Power Estimation

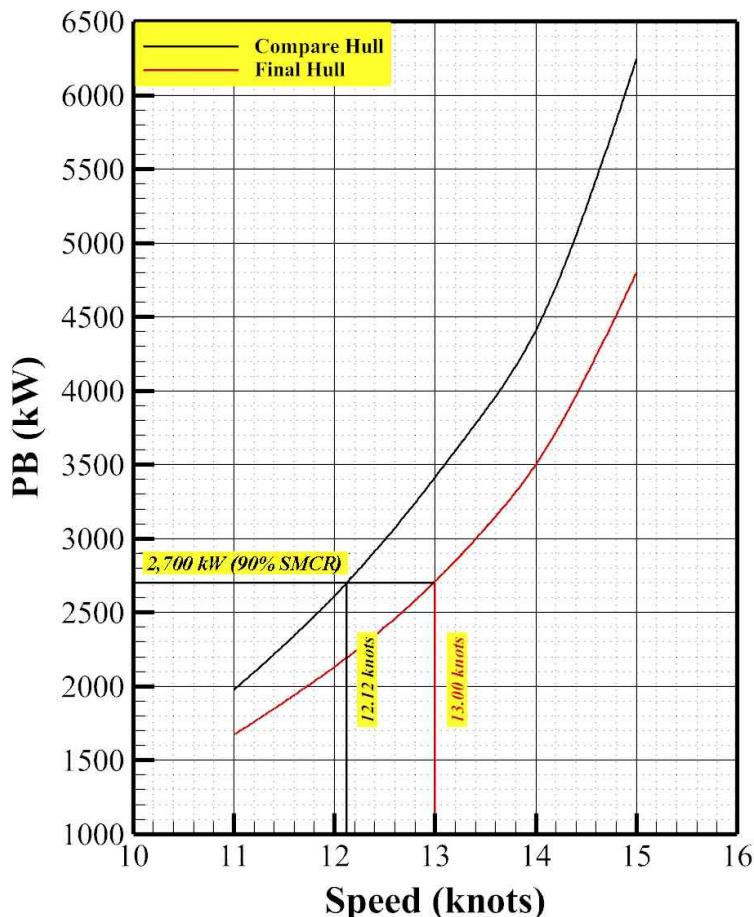


그림 33 Speed Power Estimation Curve (Service Speed)

4. 반류개선장치 (WED) 최적화

4.1 기술개발 요약

- 부기물을 통한 선체저항 최소화 및 반류 분포 개선
- 반류 분포 개선을 통해 선체 진동 최소화 및 추진효율 향상
- 본 선박에는 두 쌍 이상의 반류개선장치 (WED, Wake Equalizing Device)를 부착하여 저 항성능 및 추진효율을 개선하고자 하였으며, 1st 및 2nd Device에 대해서 위치 및 크기 그리고 각도에 대해서 최적화를 수행함

4.2 수치해석 (CFD) 방법 및 조건

- 수치해석 프로그램은 선체주위 유동해석에 많이 사용되는 유한체적법(FVM) 기반의 상용코드인 STAR-CCM+ (Ver.11.06)을 사용하였으며, 수치해석을 위한 방법 및 조건은 아래의 표 20과 같음

Mesh Model	▪ Prism Layer Mesher
	▪ Surface Remesher
	▪ Trimmer
Physics Model	▪ Time : Steady
	▪ Iteration : 2000
	▪ Governing Equation : RANS Equation
	▪ Turbulence Model : Reynolds Stress Turbulence
Cal. Condition	▪ Geometry : Hull + Rudder / Scale : 32.0
	▪ w/o Motion(Fixed condition)
	▪ w/o Free Surface (Double Body)

표 20 수치해석 방법 및 조건

4.3 선미 고정형 W.E.D 최적화 결과

- 1st device와 2nd device까지 설계한 결과에서 반류분포 형상을 고려하여 WED 최적화의 결과는 아래의 표와 같음

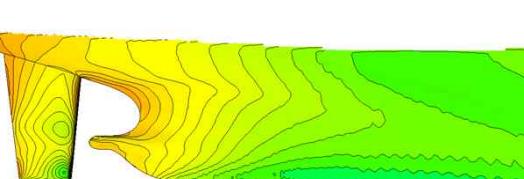
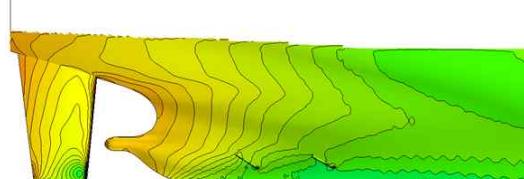
	w/o Device	w/ Device(1 st + 2 nd)
위치(ST-WL)	-	1 st : 2.5ST-1.50WL 2 nd : 1.750ST-1.50WL
크기(L×H)	-	1 st : 1.50×0.20m 2 nd : 1.50×0.20m
PE(%)	-	abt. -2.4%
Wn(%)	0.389	0.372(93.06%)
반류 분포		
압력 분포		

표 21 1st 및 2nd W.E.D. 최적화 결과 및 형상 정보

- 최종 선정된 device의 형상 정보는 아래의 그림에 정리하여 나타내었음

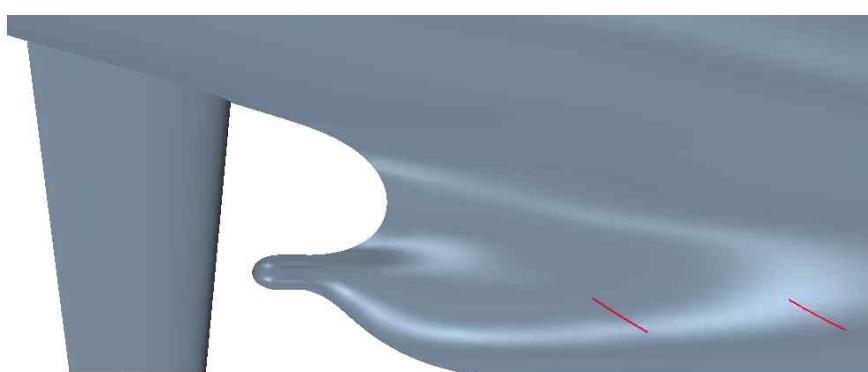


그림 34 W.E.D Geometry _ Side View

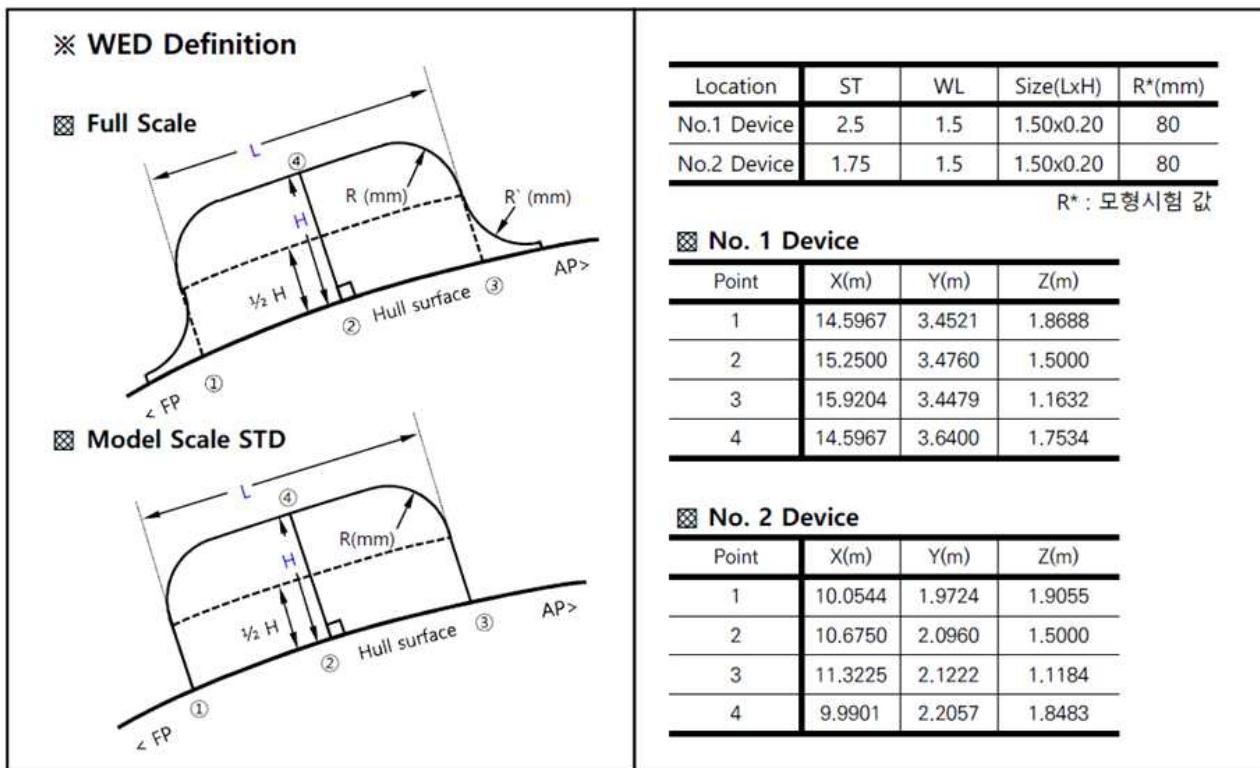


그림 35 W.E.D Definition

- WED의 갯수, 위치, 크기 등의 최적화 결과에 따라 최종 device에 대한 속도별 수치해석을 수행하고, 그 결과를 아래의 표에 나타냄
- 최종 WED에 의한 저항감소 효과는 아래의 표에서와 같이 속도 구간에서 약 2 % 이상의 효과를 보이고 있으며, 목표 속도 13 노트에서는 약 2.4 %의 마력 절감효과를 보이고 있음

Vs(knots)	Bare PE(kW)	WED PE(kW)	DIF.(%)
10.0	727	710	2.33
11.0	956	932	2.53
12.0	1,238	1,205	2.68
13.0	1,596	1,559	2.36
14.0	2,165	2,114	2.36
15.0	3,159	3,103	1.78

표 22 속도별 유효마력 결과 비교

5. Rudder Bulb 최적화

- 본 선박에 적용한 러더 별브의 형상 및 주요 설계 변수는 아래의 그림과 같음
- 아래 그림에 나타낸 H는 propeller hub의 직경, D는 rudder bulb 높이 방향 길이, W는 rudder bulb의 폭 방향 길이이며, rudder bulb 끝단과 propeller hub 끝단의 간격은 clearance로 표기함



그림 36 Geometry and definition of design variables for rudder bulb

- Rudder bulb의 주요 설계 변수의 수치는 아래의 표에 표기함.

H [mm]	D [mm]	W [mm]	Clearance [mm]
816.00	756.56	915.97	150.00

표 23 Design conditions of rudder bulb

Mesh Model	▪ Prism Layer Mesh
	▪ Surface Remesher
	▪ Trimmer, Polyhedral
Physics Model	▪ Time : Implicit Unsteady
	▪ Governing Equation : RANS Equation
	▪ Turbulence Model : Reynolds Stress Turbulence
Condition	▪ Geometry : Hull, Propeller, Rudder, Rudder bulb
	▪ MRF(Moving Reference Frame), Sliding Mesh
	▪ w/o Free Surface, w/o Motion

표 24 수치해석 방법 및 조건

- 수치 계산 비용을 고려하여 MRF 방법과 sliding mesh 방법을 혼합하여 사용함. 또한 선박의 자세와 자유수면은 고려하지 않음

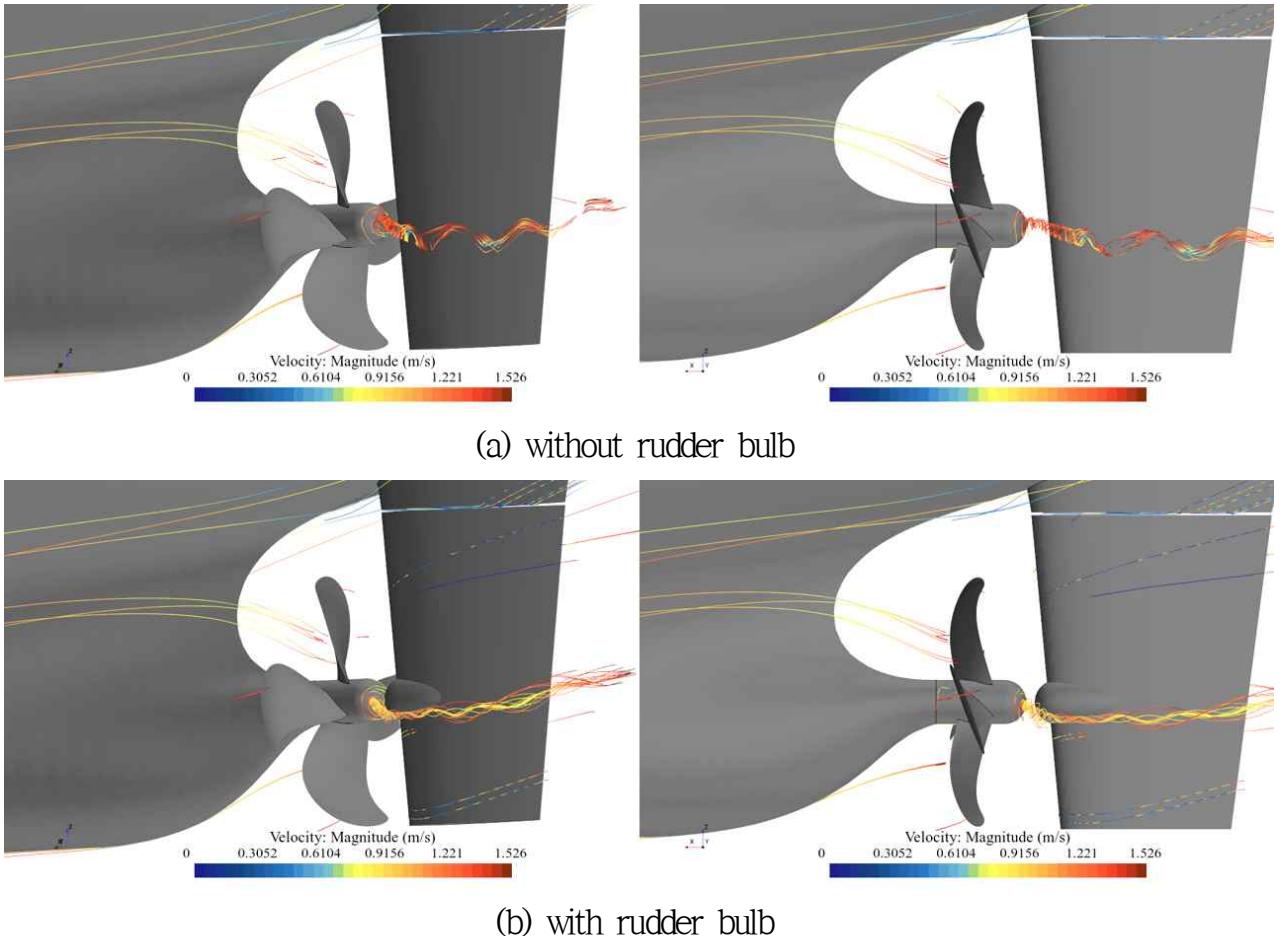


그림 37 Comparison of streamline

- 러더 별브를 적용하지 않은 경우, 프로펠러 허브에서 강한 보오텍스가 발생함. 이는 타 주변의 유동을 복잡하게 만들고 회전 에너지의 손실을 야기함 (그림 (a))
- 러더 별브를 적용한 경우, 별브 형상에 의해 회전류가 감소되며, 러더 별브를 지나간 이후 비교적 유선이 곧게 뻗어나가는 것을 확인할 수 있음 (그림 (b))
- 따라서 회전 에너지를 회수함으로써 동일한 추력을 발생시킬 때 요구되는 회전수와 토크 가 감소하게 됨. 이로 인해 전달동력 기준으로 약 0.45 %의 연료절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단됨

6. 모형시험 결과 검토

6.1 모형시험 일정 및 수행 항목

- 일정 : 2023.04.17.(월) ~ 2023.04.18.(화)
- 장소 : 선박해양플랜트연구소
- 시험항목 : 2흘수 (Scantling / Ballast Draft) 저/자항 with Stock Propeller
: with WED, without WED
- 부기물 : Rudder Bulb, WED

6.2 저/자항 시험결과

- Design Draft w/ Stock Propeller, Without WED

Vs [kts]	Fn	Rtm [N]	Cr e+03	PE [kW]	EtaD	PB [kW]	RPM
11.0	0.161	36.04	0.789	998	0.735	1399	93.61
12.0	0.176	42.26	0.779	1282	0.737	1793	101.91
13.0	0.191	49.15	0.788	1625	0.737	2273	110.35
13.5	0.198	53.11	0.816	1834	0.735	2572	114.89
14.0	0.205	57.69	0.874	2085	0.732	2938	119.84
15.0	0.220	70.22	1.146	2809	0.717	4041	131.92

표 25 모형시험 결과(Design Draft, Without W.E.D)

- Design Draft w/ Stock Propeller, With WED

Vs [kts]	Fn	Rtm [N]	Cr e+03	PE [kW]	EtaD	PB [kW]	RPM
11.0	0.161	35.23	0.697	964	0.734	1355	92.92
12.0	0.176	41.49	0.706	1247	0.733	1753	101.40
13.0	0.191	48.22	0.712	1579	0.733	2222	109.77
13.5	0.198	52.07	0.738	1781	0.731	2511	114.23
14.0	0.205	56.56	0.795	2025	0.728	2869	119.12
15.0	0.220	69.03	1.074	2742	0.714	3961	131.29

표 26 모형시험 결과(Design Draft, With W.E.D)

- WED 유무에 따른 PB 차이는 약 2.24 %로 확인됨

- Speed at NCR w/ 15% S.M. : 13.22 knots

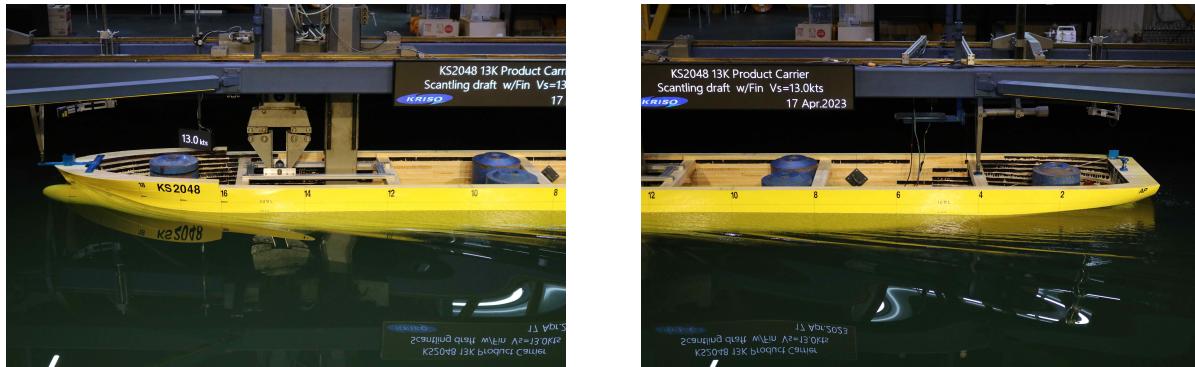


그림 38 Model Test at Design Draft

- Ballast Draft w/ Stock Propeller, With WED

Vs [kts]	Fn	Rtm [N]	Cr e+03	PE [kW]	EtaD	PB [kW]	RPM
11.0	0.163	28.97	1.028	850	0.761	1152	87.56
12.0	0.178	35.22	1.168	1149	0.756	1565	96.76
13.0	0.193	42.27	1.309	1518	0.750	2087	106.14
14.0	0.208	49.88	1.426	1956	0.745	2705	115.41
15.0	0.223	58.16	1.533	2472	0.741	3441	124.72
16.0	0.238	68.23	1.708	3142	0.733	4420	134.91

표 27 모형시험 결과(Ballast Draft, With W.E.D)

- Speed at NCR w/ 15% S.M. : 13.44 knots

6.3 모형시험 결과 분석

- 본 모형시험은 M/E 특성상 가변 피치 프로펠러로 고려되었음. Stock propeller의 제한적 선택 여건에 따라 아래 그림과 같이 boss end에서의 단차로 인한 영향을 최소화하고자 stern boss의 diameter만 변경되어 모형시험을 수행함 (propeller hub 0.22 → 0.17)

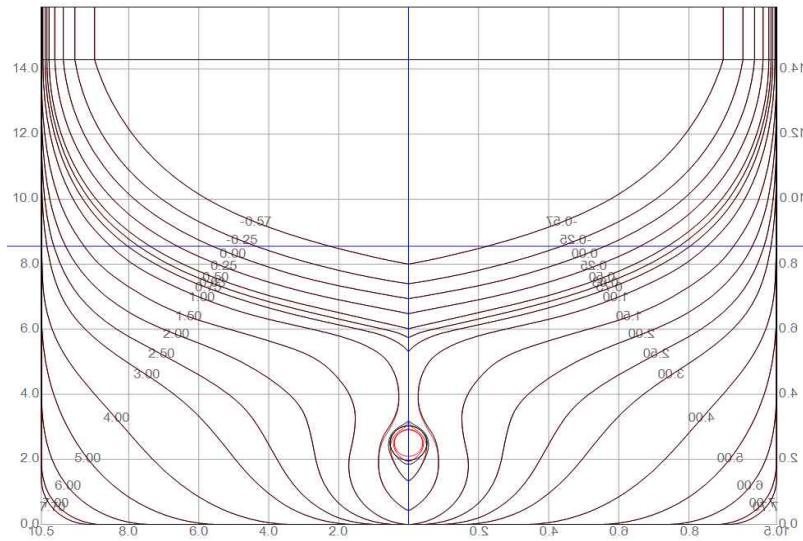


그림 39 최종선형의 Hub 비교

- 본 모형 시험의 결과는 가변피치 프로펠러의 EtaT는 0.97로 적용하였으며, 추후 가변 피치로 적용할 경우의 EtaD의 감소가 우려되지만 선속 기준 0.2 knots의 여유가 있어 충분히 만족할 것으로 판단함
- WED의 효과는 약 2.24 %로 확인 되었으며, 이는 저항 감소로 인한 에너지 저감에 효과 적일 것으로 판단됨

다. 친환경추진설계

1. 의장수 계산서 (Equipment Number Calculation)

1.1 도면 목적 및 진행 일정

1) 도면 목적

- 의장수는 선박의 크기 및 항로 등에 따라 안전한 묘박 (Anchoring) 및 계류/계선 (Mooring)을 위한 의장품 (앵커, 앵커체인, 로프 등)의 용량, 수량, 강도 및 배치 등을 위해 계산 되어야 하며, 의장수 계산서 (Equipment Number Calculation)는 선주 및 선급의 승인이 요구됨
- 본 도면은 미국선급협회 (ABS) 규정 Pt.3 Ch5 Sec.1 및 국제선급협회 (IACS) 규정 UR A1 (Anchoring equipment) 및 IACS A2 (Mooring/towing)에 의거하여 작성함

2) 진행 일정

- 2023년 1월 25일에 착수
- 2023년 2월 20일 작성 완료

1.2 주요 작성 내용

1) 기본 제원

- 의장수 계산서에 사용되는 주요 인자인 선박 주요 제원은 아래 표와 같음

기본 제원	사양
Length Overall (LOA)	abt.129.90 m
Length Between Perpendicular (LBP)	122.00 m
Moulded Breadth (B)	21.00 m
Moulded Depth (D)	11.80 m
Moulded Scantling (Summer) Draft (d)	8.55 m
Moulded Displacement (Δ) at d	17,600 ton

표 28 선박 주요 제원

2) 주요 내용

- 선박 주요 제원과 더불어 일반배치도를 기반으로 선급의 의장수 계산식에 따라 배수량, 선박의 폭, 유효높이, 측면적, 정면적을 하기와 같이 계산함

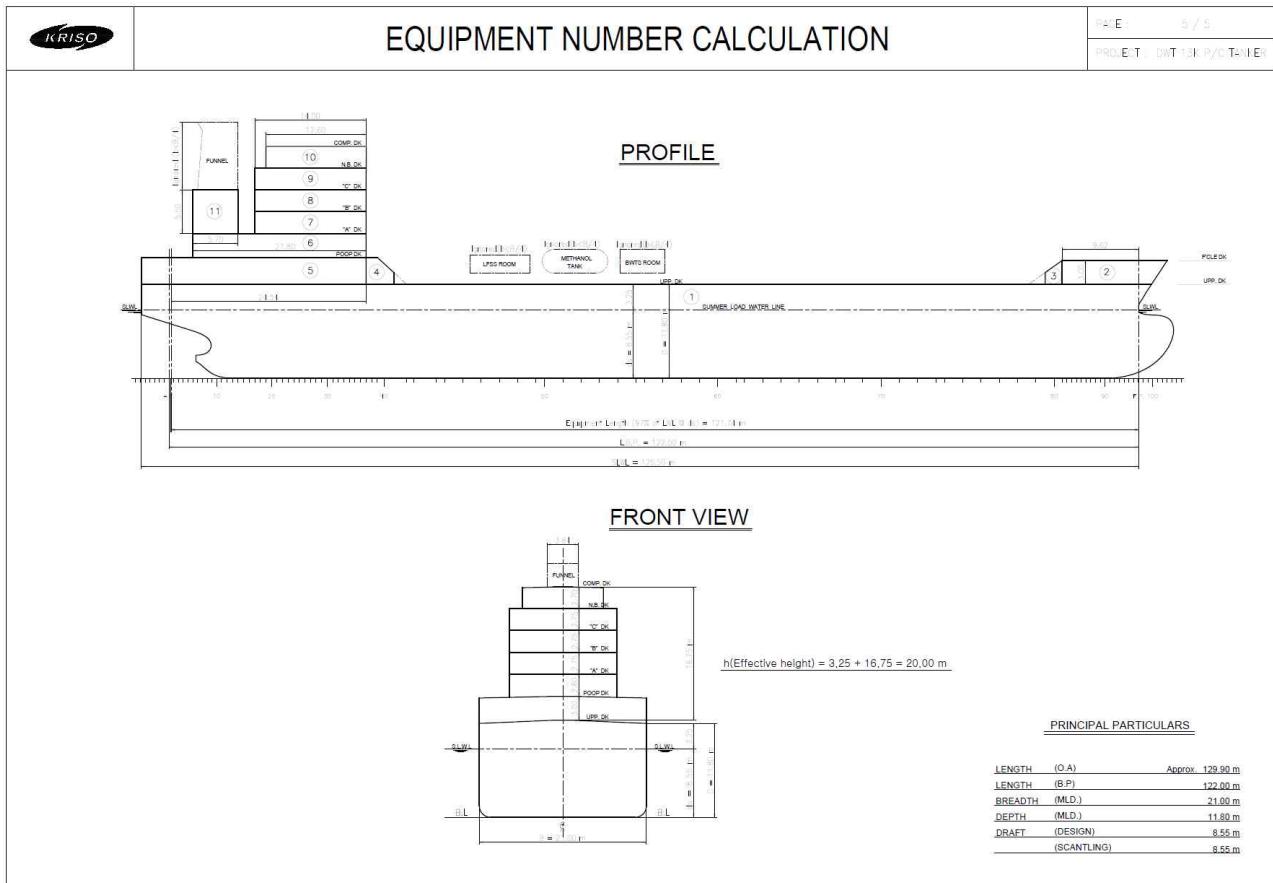


그림 40 선박의 주요 제원 및 치수

- 의장수 (Equipment Number) 계산식

$$EN = \Delta^{2/3} + 2(Bh + S_{fun}) + 0.1A$$

Δ : 하기만재흘수선에 대한 형배수량 (t)

B: 형폭 (m)

h: 하기 만재흘수선으로부터 갑판실 상부까지의 유효 높이 (m)

S_{fun} : 연돌의 유효 전면 투영면적(m^2)

A: 측면투영면적(m^2)

- 상기 계산식에 따른 의장수

$$\begin{aligned} EN &= \Delta^{2/3} + 2(Bh + S_{fun}) + 0.1A \\ &= 17,600^{2/3} + 2 \times (21.00 \times 20.00 + 0) + 0.1 \times 754.65 \\ &= 1,592 \end{aligned}$$

3) 의장품의 결정

- ① 의장수 값이 2,000 이하로 선급협회의 의장수표에 따라, anchor, anchor chain, towing rope, mooring rope의 최소한 요구되는 강도, 개수, 길이가 결정됨
- ② 공급되는 의장품의 사양은 상기 ①의 최소 요구 사양 및 배치 등을 고려하여 결정함
 - Anchor는 고파지력 (high holding power type)을 적용하여 중량 25 % 감량함

- Anchor chain은 grade 3, diameter 54 mm 적용함
- Mooring rope는 OCIMF에서 추천하는 UHMPE rope diameter 40 mm를 적용하고, 개수는 계류배치도에 따라 8 line을 공급함

Equipment Number (EN) = 1592 [Equipment Letter: U30 (1570 < EN ≤ 1,670)]		
Stockless bower anchors	Number	2
	Mass per anchor [kg]	4,890 kg
	Mass per HHP anchor [kg]	3,667.5 kg
Stud link chain cables for bower anchors	Total Length [m]	550 m
	Diameter [mm]	Ø 70 mm
		Ø 62 mm
Tow line	Grade 1	Ø 54 mm
	Grade 2	
	Grade 3	
Mooring line	Min. Length per line [m]	220 m
	MBL _{SD} [kN]	941 kN
Mooring line	Number	5
	Min. Length per line [m]	190 m
	MBL _{SD} [kN]	362 kN
Actual Equipment [Reference]:		
Stockless bower anchor	Type	HHP (AC14)
	Number X Mass per anchor	2 x 3,667.5 kg
Stud link chain cables for bower anchor	Total Length [m]	550 m
	Grade X Diameter [mm]	3 X Ø 54 mm
Tow line	Type	IWRC (6x37)
	MBL X Length per line	941 kN X 220 m
Mooring line	Type	UHMPE, Ø 40 mm
	Number X MBL X Length per line	8 X 362 kN X 190 m
Note:		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Specifications of Actual Equipment described above are for reference only, but shall be decided at the detailed design stage. 2. MBL : Minimum Breaking Load 3. MBL_{SD} : Ship Design Minimum Breaking Load 		

표 29 의장품의 최소 및 실제 공급 사양 요약표

2. 계류배치도 (Mooring Arrangement)

2.1 목적 및 진행 일정

1) 일반 사항 및 목적

- 본 도면의 목적은 선박이 상업 활동 (화물 및 사람의 이동 등)을 안전하고 원활하게 수행 할 수 있도록, 파도, 조류 및 바람 등의 영향으로부터 선박이 부두, 안벽, 잔교 또는 다른 선박 등에 안전하게 고박할 수 있도록 계류도면을 제공함
- 선박은 종류, 크기 및 활동 영역 등에 따른 선급규칙 및 각종 국내외 단체의 요구 및 지침에 따라 계류장비 및 장치를 선정하고 배치하여 그 안전성 보장함
- 본 도면은 선주 및 선급 승인을 반드시 받아야 하는 주요 도면이며 특히 선주가 의도하는 상업 활동 및 지역의 특성에 맞추어 설계되어야 하며, 초기 개발 단계에서는 일반 배치도, 거주구 배치도, 화물구역 배치 등과의 호환성과 간섭 등을 고려하여 효과적이고 안전 한 계류 장비 및 선원들의 안전한 계류 작업 공간을 확보하여야 함
- 주요 규정 및 적용 지침
 - ① 기술 사양 (Technical Specification)
 - ② 의장수 계산서 (Equipment Number Calculation)
 - ③ 선급 규칙 (Rule of Classification Societies) 및 각종 규칙
 - ④ 항로 및 활동 지역
 - ⑤ 그 외 요구 사항 (조선소 및 설계회사 표준 등)
- 사업단은 상기의 규정 및 지침에 따라 작성된 도면을 기반으로 보고서를 작성함

2) 진행 일정

- 2023년 2월 2일 착수
- 2023년 3월 6일 완료

2.2 주요 검토 사항

1) 검토를 위한 선박의 주요 제원

- 선박의 종류 : DWT 13,000 MT Class Product Oil / Chemical tanker
- L.O.A. / L.B.P. : 약 129.90 / 122.00 m
- Breadth : 21.00 m
- Depth : 11.80 m
- Scantling draft : 8.55 m

2) 주요 장비 사양

- ① Windlass combined mooring winch
 - 형식 : Electro-hydraulic, high pressure type

- 개수 및 용량 : 2조, 14.2 / 10.0 ton x 9 / 15 m/min
- 장비의 구성 : 1 x C/lifter + 2 x M/Drum + 1 x W/head

(3) Mooring winch

- 형식 : Electro-hydraulic, high pressure type
- 개수 및 용량 : 2조, 10.0 ton x 15 m/min
- 장비의 구성 : 2 x M/Drum + 1 x W/head

(4) Anchoring / Mooring equipment

- Bower anchor : Stockless HHP type, 2 조 x 3,667.5 kg
- Anchor chain : Grade 3, Dia 54 mm x 550 m
- Mooring line : 8 lines x 190 m X MBL 362 kN
- Tow line : 220 m x MBL 941 kN

3) 주요 적용 사항

① 선급 규정 및 의장수

- : 선급 규정에 따라 계산된 의장수 계산서 (Equipment Number)에 따른 mooring rope 및 towing rope의 최소 요구 사항 (강도, 길이, 강도)
- : 선급 규정에서 요구되는 mooring 의장품의 안전사용하중 (Safety Working Load) 및 하부 선체지지 보강 강도

② 비상예인장치 (Emergency Towing Arrangement)

- : 비상시 탱커를 돋는 비상예인장치 (SOLAS II-1 Reg.3.4.1)는 선박의 재화중량이 20,000 톤 이상인 탱커선에 적용되므로, 본 선박에는 적용의무가 없음

③ 일점계류장치 (Single Point Mooring)

- : OCIMF가 탱커선에 추천하는 일점계류장치는 소형 탱커선에서 적용하는 사례가 희박하므로 본 선박에 적용하지 않음

④ 파나마운하 통과 규정

- : 통상 국제항해 선박은 단거리 항로를 위한 파나마 운하 통과 규정 (Panama Canal Vessel Requirements)를 적용함. 이 규정은 선박의 크기 (길이 및 폭)에 따라 Panama Chock의 위치를 정하고 있음

⑤ 선원 안전 및 효율적인 계류를 위한 장비 및 Mooring Fitting 등의 배치

- : 선원들의 안전한 작업을 위하여 선급에서는 하기의 그림과 같이 towing bitt와 towing chock간의 거리를 최소 2m 유지함
- : 무어링 로프 (Spring Line)의 효율적인 배치 및 선수루의 안전한 통로 확보를 위해 경사 사다리를 배치함

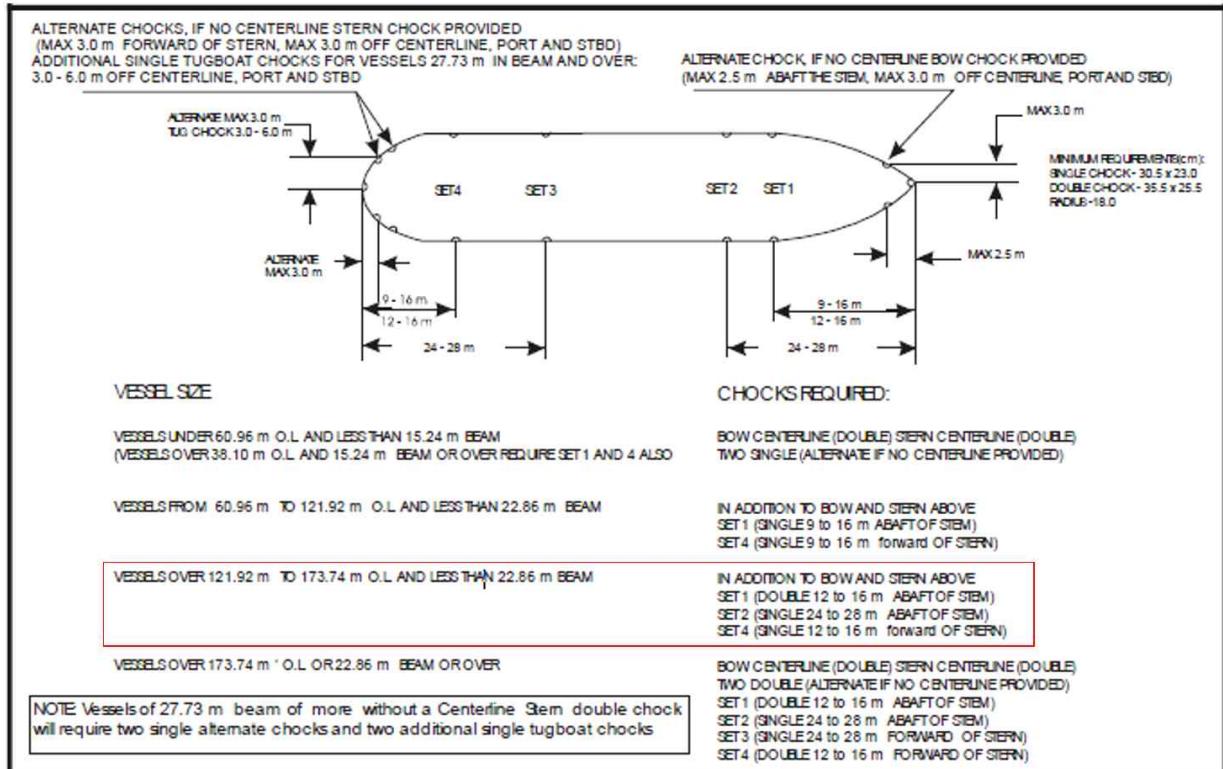


그림 41 파나마운하 통과를 위한 Panama Chock 위치 및 크기

4) 계류 배치도 및 계류 예시도

① 하기 사항들을 고려하여 선수부 계류배치에 필요한 장비 및 의장품을 배치함

- Windlass combined mooring winch 2조 배치
- 파나마운하 규정에 따른 Panama chock (Bow, Set 1, Set 2) 배치
- 안전한 계류 및 선원들의 안전한 통행을 고려한 위한 mooring rope 및 의장품 배치

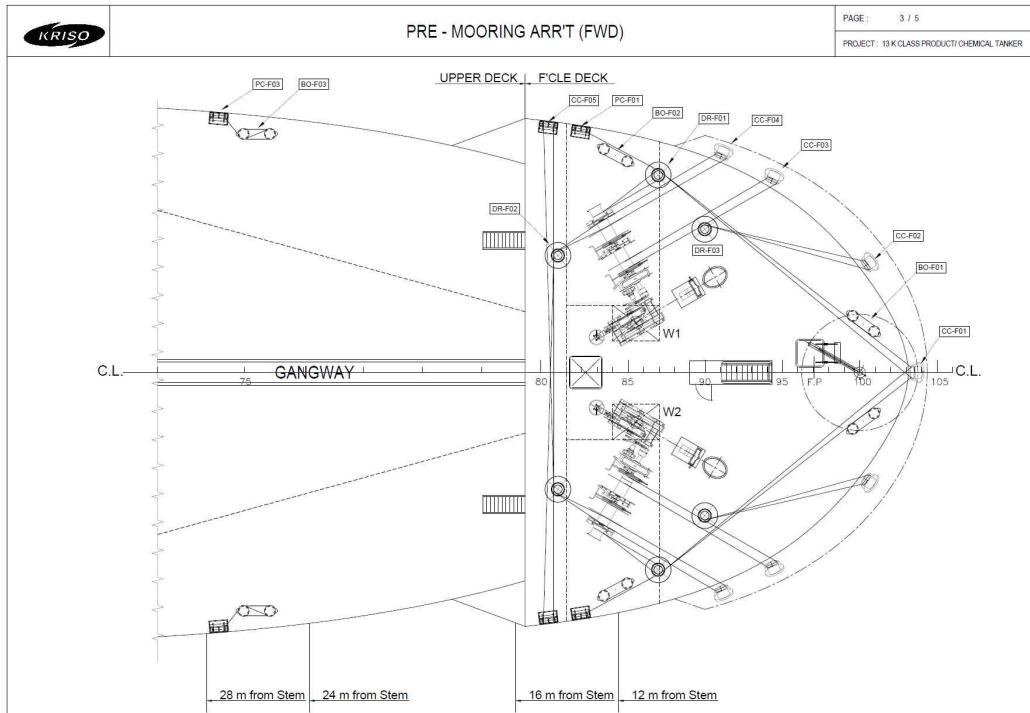


그림 42 선수부 계류 배치도

SYMBOL	FITTING NAME	SIZE [MM]	Q'TY	LOCATION	PURPOSE
CC-F01	CLOSED CHOCK	500 X 250	1	FCLE DECK	MOORING / TOWING / PANAMA CANAL TRANSIT
CC-F02	CLOSED CHOCK	300 X 250	2	FCLE DECK	MOORING
CC-F03	CLOSED CHOCK	300 X 250	2	FCLE DECK	MOORING
CC-F04	CLOSED CHOCK	300 X 200	2	FCLE DECK	MOORING
PC-F01	PANAMA CHOCK	355 X 250	2	FCLE DECK	MOORING / PANAMA CANAL TRANSIT
CC-F05	CLOSED CHOCK	300 X 200	2	FCLE DECK	MOORING
PC-F02	PANAMA CHOCK	305 X 230	2	UPP. DECK (FORE)	MOORING / PANAMA CANAL TRANSIT
BO-F01	BOLLARD	DIA. Ø350	2	FCLE DECK	MOORING / TOWING / PANAMA CANAL TRANSIT
BO-F02	BOLLARD	DIA. Ø300	2	FCLE DECK	MOORING / PANAMA CANAL TRANSIT
BO-F03	BOLLARD	DIA. Ø300	2	UPP. DECK (FORE)	MOORING / PANAMA CANAL TRANSIT
SR-F01	DECK STAND ROLLER	DIA. Ø300	2	FCLE DECK	MOORING
SR-F02	DECK STAND ROLLER	DIA. Ø300	2	FCLE DECK	MOORING

표 30 선수부 계류 의장품

② 하기 사항들을 고려하여 선미부 계류배치에 필요한 장비 및 의장품을 배치함

- Mooring winch 2조 배치
- 파나마운하 규정에 따른 Panama chock (Set 3, Stern) 배치
- 안전한 계류 및 선원들의 안전한 통행을 고려하기 위한 mooring rope 및 의장품 배치

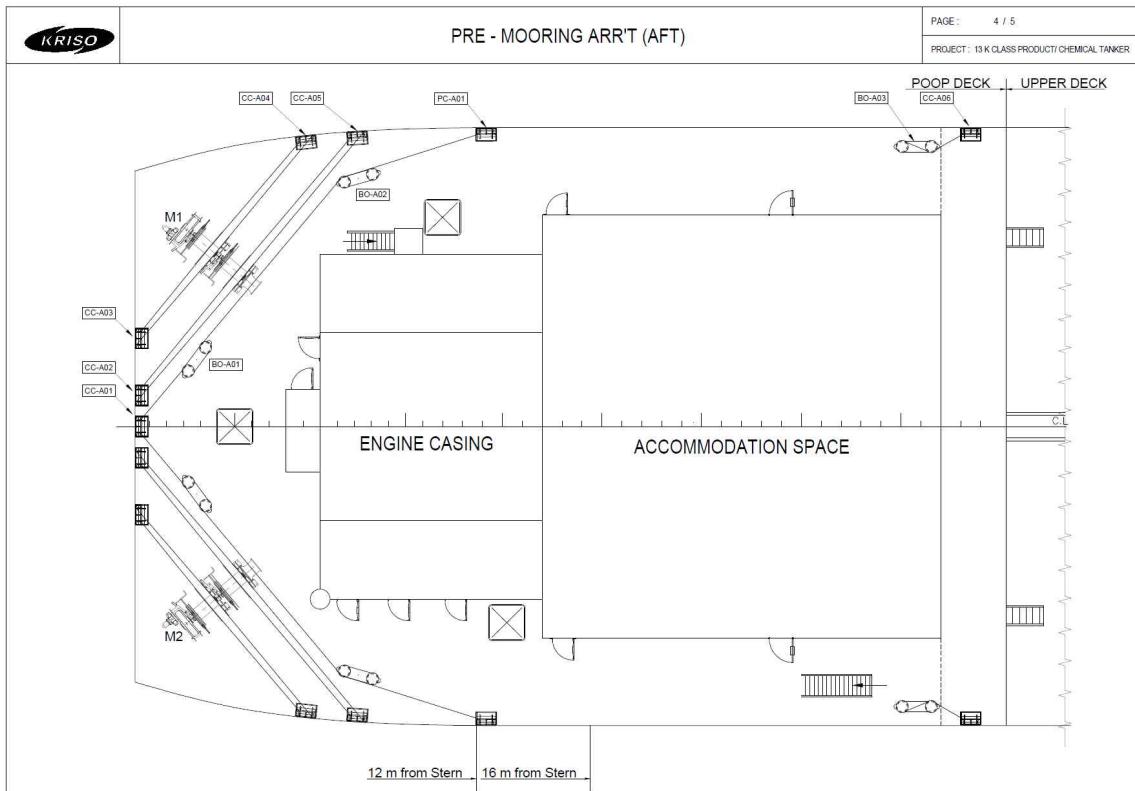


그림 43 선미부 계류배치도

SYMBOL	FITTING NAME	SIZE [MM]	Q'TY	LOCATION	PURPOSE
CC-A01	CLOSED CHOCK	500 X 250	1	POOP DECK	MOORING / TOWING / PANAMA CANAL TRANSIT
CC-A02	CLOSED CHOCK	300 X 250	2	POOP DECK	MOORING
CC-A03	CLOSED CHOCK	300 X 250	2	POOP DECK	MOORING
CC-A04	CLOSED CHOCK	300 X 250	2	POOP DECK	MOORING
CC-A05	CLOSED CHOCK	300 X 250	2	POOP DECK	MOORING
PC-A01	PANAMA CHOCK	355 X 255	2	POOP DECK	MOORING / PANAMA CANAL TRANSIT
CC-A06	CLOSED CHOCK	300 X 250	2	POOP DECK	MOORING
BO-A01	BOLLARD	DIA. Ø350	2	POOP DECK	MOORING / TOWING / PANAMA CANAL TRANSIT
BO-A02	BOLLARD	DIA. Ø300	2	POOP DECK	MOORING / PANAMA CANAL TRANSIT
BO-A03	BOLLARD	DIA. Ø300	2	POOP DECK	MOORING

그림 44 선미부 계류 의장품

- ③ 선수/선미 계류배치도를 바탕으로 계류배치도를 예시도를 작성하여 건전성을 평가함
- 선수 / 선미 삭 (Head/Stern line): 2 + 2 line 배치 함
: 정박시설 밖의 방향 및 선수미 방향으로 선박을 구속함
 - 스프링 삭 (Spring line): 1 + 1 line 배치함
: 선박과 거의 평행하게 배치된 계류삭으로, 선수미 방향으로 선박을 구속함

- 브레스트 삭 (Breast line): 1 + 1 line 배치함
: 선박에 수직으로 배치된 계류삭으로, 정박시설 바깥쪽 방향으로 선박을 구속함

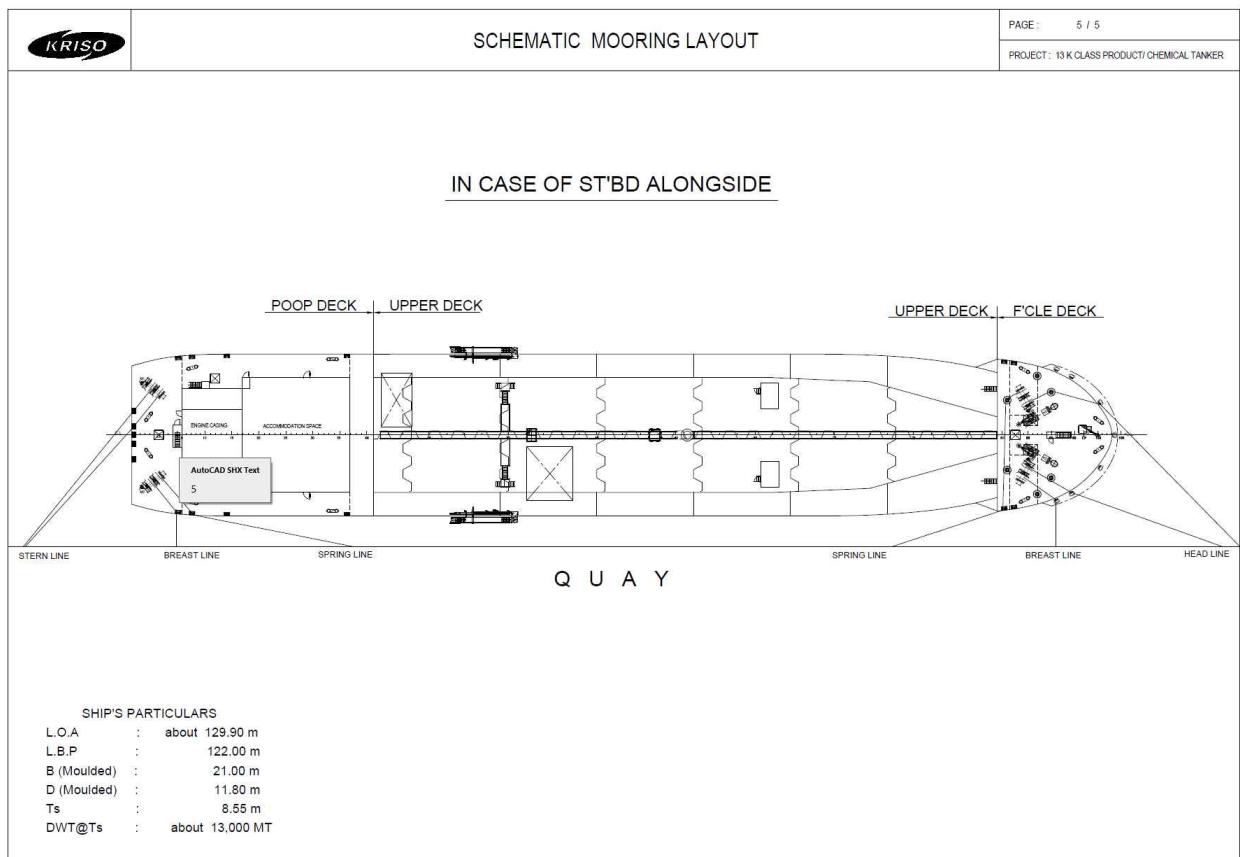


그림 45 계류배치 예시도

3. 초기 거주구 배치도 (Accommodation Arrangement)

3.1 도면 목적 및 진행 일정

1) 도면 목적

- 거주구 배치도 (Accommodation Arrangement)는 선박 내 거주구역인 개인 침실, 공용실, 사무실, 항해 구역, 통로, 취사실, 기계실, 위생실, 저장실, 기타 구역을 각 층 (Deck)별로 건조 사양서, 국제 협약 및 적용 법규에 맞도록 배치하고, 또한 선원 및 여객들이 보다 안전하고 편리한 선상 생활을 영위할 수 있도록 설계 기준서에 따라서 각 구획 (Layout)을 배치함
- 본 도면은 선급의 승인이 필요한 주요 도면으로, 초기 개발 단계에서 일반배치도 (General Arrangement)를 작성하는데 주요한 업무 목적이 있음
- 주요 규정 및 적용 지침
 - ① 한국선급 (KR)
 - ② 적용 Rule & Regulation
 - ③ 사양서 요구 사항

2) 진행 일정

- 본 프로젝트의 도면 진행 일정은 설계예정공정표를 기준으로 그림 46과 같이 진행함



그림 46 업무흐름도 및 진행 일정

3.2 세부 검토 항목

1) 거주성

거주성의 정의

- 거주성의 근본적인 목적은 선원의 주된 업무를 수행하기 위하여 선내에서 준비태세를 유지하고 즉각적인 업무활동이 가능 할 수 있도록 준비하는데 있음
- 이러한 목적 달성을 선내 선원에 의해 좌우되므로 선원의 최대 임무 수행 능력을 유지

시키기 위하여 선원의 안전, 건강, 안락성 등을 위한 충분한 수준의 주거 및 작업 조건을 반드시 갖추어야함

- 거주성 설계는 선원의 욕구 충족에 관하여 선내의 물리적 환경을 설계하는 것이며 거주 인원 또는 거주시설 (Accommodations)이라 함은 선내 거주구역에서 영구히 지원되는 선원의 설비 및 장비를 말하며, 거주 시설은 선내 선원을 위한 시설을 의미함

거주구역 범위

- 본선의 선실구역 (Accommodation Spaces)은 다음과 같은 구역으로 분류됨
 - ① 침실 구역 (Living Space) : 침실, 집무실, Suez's crew room
 - ② 위생 구역 (Sanitary Spaces) : 개인 화장실, 공용 화장실, 세탁실 & 건조실, 탈의실
 - ③ 공용 구역 (Public Spaces) : 직원 식당 및 직원 휴게실, 선원 식당 및 선원 휴게실, 병실, 사무실 및 체육실, 취사장
 - ④ 저장 구역 (Provision Spaces) : 건 식량창고 및 냉동 식품창고
 - ⑤ 통행 구역 (Passageway Spaces) : 계단, 복도
 - ⑥ 제어 구역 (Control Spaces) : 조타실 (무선 및 해도실 포함), 기관 제어실 및 화재 제어실, Cargo control room
 - ⑦ 잡용 구역 (Sundry Spaces) : battery room, CO₂ room, bonded store, Em' cy generator room, air conditioner room, garbage store

인원 구성

- 본선의 거주성 설계는 사관급 10명, 선원급 11명을 충족하도록 하였음

천장 높이

- 내장되는 구역 내의 최소 천장 높이는 갑판피복재 상면에서 천장 판 하단까지 최소 2,100 mm를 유지해야함 (단, 천장형 air conditioner, light 등 국부적으로 돌출되는 항목 제외)
- Private toilet은 바닥의 갑판 피복으로부터 천장 하단까지 약 2,030 mm이어야함

2) 침실 구역

일반사항

- 침실은 기본적으로 직급별로 분리하여 배치하며 위치는 다음과 같음
 - ① Captain & chief engineer: captain's class의 개인 침실은 day room와 bed room을 분리 설치하며 “C” Deck에 위치함
 - ② Senior officer: senior officer's class의 개인 침실은 day room와 bed room을 분리 설치하며 “B” Deck에 위치함
 - ③ Junior officer: junior officer's class의 개인 침실은 1인 1실로 배치하며 “B”, “C” & Nav. Bri. deck에 위치함
 - ④ 선원들의 개인 침실은 1인 1실로 배치하며 “B” Deck & “A” deck에 위치함
- 침실은 최대한 편안함을 제공하고 수면 장소는 소음과 같은 방해 요소를 최대로 줄일

수 있도록 배치함

- 위생구역은 냄새와 이동에 따른 소음을 방지하고 보다 나은 수면 상태를 제공하기 위해 사용이 편리하도록 개인 침실 내에 배치함
- 거주 구역 내에는 특별히 중요한 장비를 제외하고 거주성에 기여할 수 없는 장비는 가능한 설치하지 않음
- 거주 구역 내 가구와 장비는 간결하고 튼튼하게 설계되어야 하고 기능상으로 최대의 효율을 갖도록 배치되어야 함
- 가구의 재질은 취사장의 catering furniture를 제외하고는 chipboard 또는 particle board로 하며 노출된 부분은 멜라민 필름으로 마감 처리함
- 거주구역 인근에 설치되는 통풍장치는 가능한 거주구역에 소음영향을 감소시킬 수 있도록 최대한 거주구역으로부터 멀리 배치하며, 소음 감소를 위하여 방음 처리된 트렁크 내에 설치 또는 노천갑판의 적정한 위치에 설치함
- 각각의 침대에는 밝기 조절이 가능한 조명등을 각 침대 머리 측에 설치함
- 소파와 의자의 Upholstery 재질은 선장실은 직물이며 그 외의 침실 및 공용구역은 비닐 가죽으로 하며 Stuffing 재질은 폴리우레탄 스폰지로 함
- 가구의 상세규격, 사양 및 수량 등은 설계 진행에 따라 확정함

침실 면적

- 침실 면적은 관련법규에 명기된 1인당 소요면적을 참고하여 배치하되 격실의 내부 형상 및 설비 배치를 고려하여 적절히 조정함
- 다음 표 31은 선원의 침실 면적을 나타내었음

구분		본선	MLC 2006 기준	선박 설비 기준	비고
Captain's Class	Day Room	22.4 m ²	10.0 m ²	5.5m ²	10,000톤 이상
	Bed Room	9.1 m ²		3.0m ²	
Senior's Class	Day Room	19.3 m ²	10.0 m ²	5.5m ²	10,000톤 이상
	Bed Room	9.1 m ²		3.0m ²	
Officer's Class	Cabin	11.2 ~ 14.1 m ²	10.0 m ²	10.0m ²	10,000톤 이상
Crew's Class	Cabin	10.1 ~ 12.2 m ²	7.0 m ²	7.0m ²	10,000톤 이상

표 31 침실 면적

□ 침실 구역 설비

- Captain's class 침실

① 침대

- 가) 침실에는 1단 침대 ($2000 \times 1200 \times 760$)를 설치함
- 나) 침대는 선체 횡 동요를 고려하여 선수/미 방향으로 설치함
- 다) 침대 하부는 개인용품 보관을 위해 서랍을 설치하고 서랍 사용에 지장이 없도록 정면은 최소 460 mm 이상의 공간이 확보함

라) 침대는 가능한 소음 원으로부터 멀리 떨어지게 배치함

마) 각 침대에는 개인용 밝기 조절이 가능한 조명등을 설치함

② 개인 의류 및 비품을 보관하기 위한 옷장 ($800 \times 600 \times 2000$) 1개를 침실에 설치함

③ 침실에는 침대 및 옷장 이외에 다음과 같은 설비품을 각 1개씩 설치함

가) Chest of Drawer

나) Stool

다) Bed Side Locker

④ 집무실에는 다음과 같은 설비품을 각 1개씩 설치함

가) 1P Desk(ㄱ-type), Revolving Arm Chair & Book Case

나) File Cabinet

다) Computer Table

라) LED TV

마) 소형 냉장고(100L)

바) Side Board with Book Case

사) Sofa (ㄱ - type)

아) Tea Table

자) Easy Chair

ㅊ) Coat Hook

- Senior's Class 침실

① 침대

가) 침실에는 1단 침대 ($2000 \times 1200 \times 760$)를 설치함

나) 침대는 선체 횡 동요를 고려하여 선수/미 방향으로 설치함

다) 침대 하부는 개인용품 보관을 위해 서랍을 설치하고 서랍 사용에 지장이 없도록 정면은 최소 460 mm 이상의 공간이 확보함

라) 침대는 가능한 소음 원으로부터 멀리 떨어지게 배치함

마) 각 침대에는 개인용 밝기 조절이 가능한 조명등을 설치함

② 개인 의류 및 비품을 보관하기 위한 옷장 ($800 \times 600 \times 2000$) 1개를 침실에 설치함

③ 침실에는 침대 및 옷장 이외에 다음과 같은 설비품을 각 1개씩 설치함

가) Chest of Drawer

나) Stool

다) Bed Side Locker

④ 집무실에는 다음과 같은 설비품을 각1개씩 설치함

가) 1P Desk(ㄱ - type), Revolving Arm Chair & Book Case

나) File Cabinet

다) Computer Table

라) LED TV

마) 소형 냉장고(100L)

바) Side Board

사) Sofa (ㄱ - type)

ㅇ) Tea Table

자) Coat Hook

- 사관원 침실

① 침대

가) 침실에는 1단 침대 ($2000 \times 1000 \times 760$)를 설치함

나) 침대는 선체 횡 동요를 고려하여 선수, 미 방향으로 설치함

다) 침대 하부는 개인용품 보관을 위해 서랍을 설치하고 서랍 사용에 지장이 없도록 정면은 최소 460 mm 이상의 공간이 확보함

라) 침대는 가능한 소음 원으로부터 멀리 떨어지게 배치함

마) 각 침대에는 개인용 밝기 조절이 가능한 조명등을 설치함

② 개인 의류 및 비품을 보관하기 위한 옷장 ($600 \times 600 \times 2000$) 1개를 침실에 설치함

③ 침실에는 침대 및 옷장 이외에 다음과 같은 설비품을 각 1개씩 설치함

가) 1P Desk, Revolving Arm Chair & Book Rack

나) Sofa

다) Tea Table

라) 소형 냉장고 (100L)

마) Coat Hook

- 선원실 침실

① 침대

가) 침실에는 1단 침대 ($2000 \times 1000 \times 760$)를 설치함

나) 침대는 선체 횡 동요를 고려하여 선수, 미 방향으로 설치함

다) 침대 하부는 개인용품 보관을 위해 서랍을 설치하고 서랍 사용에 지장이 없도록 정면은 최소 460 mm 이상의 공간이 확보함

라) 침대는 가능한 소음 원으로부터 멀리 떨어지게 배치함

마) 각 침대에는 개인용 밝기 조절이 가능한 조명등을 설치함

② 개인 의류 및 비품을 보관하기 위한 옷장 ($600 \times 600 \times 2000$) 1개를 침실에 설치함

③ 침실에는 침대 및 옷장 이외에 다음과 같은 설비품을 각 1개씩 설치함

- 가) 1P Desk, Revolving Arm Chair & Book Rack
- 나) Sofa
- 다) Coat Hook

3) 위생 구역

일반사항

- 선장급, 상급 사관실, 하급 사관실, 상급 선원실 및 선원실에는 개인용 화장실을 사용하며 화장실 설비는 대변기, 샤워, 세면기, Toilet Cabinet 및 각종 금물류 등이 설치되어야 함
- 개인 화장실의 설비는 제작사 표준에 따라 설치토록 하며 개인용 화장실 바닥은 방수 및 미끄럼 방지용 Non-slip Tile을 시공하며, 배수가 원활하도록 바닥을 Gutter Way쪽으로 경사지게 시공함
- 위생공간은 침실에서 직접 통행하게 위치토록 함
- 세면기와 대변기는 가능한 선, 수미 방향으로 설치함 (단 Unit Toilet는 제작사 표준)
- Poop deck에는 대변기, 세면기 및 거울이 설치된 공용 화장실을 설치하며 공용화장실 세면기에는 Phone Type Shower가 설치되어 겸용으로 사용 가능한 Faucet를 설치함
- 항해 선교 갑판의 조타실 후부 좌현에는 조타실용으로 공용화장실을 배치하여 조타실에서 근무하는 사관에게 편리함을 제공함

배치 기준

- 승조원의 개인화장실 배치는 다음 표 32과 같음

구 분	본 선	비 고
선장급 실	개인 화장실	MLC 2006: 국제항해에 종사하는 선박은 개별 욕실이 제공되지 않을 경우는 아래와 같다
상급 사관실	개인 화장실	1. 선원 6인마다 1개의 욕실 (대변기와 샤워설비)
하급 사관실	개인 화장실	2. 선원 6인마다 1개의 세면기
상급 선원실	개인 화장실	
선원실	개인 화장실	

표 32 개인 화장실 배치 기준

설비 기준

- 위생설비는 ” MLC 2006/TITLE 3/Regulation 3.1/Standard A 3.1 “에 따라서 최소 6인당 1개의 욕실과 세면기가 설치되어야 하며 본선은 각 선원실에 개인 화장실을 설치하여 편의성을 고려하였음
- 개인 화장실은 대변기, 세면기 및 Shower 설비를 갖추도록 함

- 공용 화장실에는 거울 및 Toilet Rack을 설하고 개인 화장실에는 거울 및 Toilet Cabinet 을 설치함
- 화장실내에는 사양서에 명기된 수량의 Paper Holder, Towel Bar, Storm Rail, Soap Dish 등의 금물류를 설치함

설비 배치

- 대변기 (Water Closet)

- ① 대변기실의 최소 공간은 760 mm 이상의 폭과 대변기 전부로 부터 도어까지 가능한 760 mm가 되도록 하고 가능하면 문은 내부로 개폐하여야 함 (단, 개인용 Unit Toilet 는 제외)
- ② 대변기는 도기 (Vitreous China) 재질이어야 함
- ③ 대변기의 형식은 진공식 (Vacuum Type)이어야 함
- ④ 진동이나 구조재의 굴절로 인한 파손을 방지도록 견고히 설치함
- ⑤ 휴지걸이, 손잡이 및 옷걸이 등과 같은 부속설비들을 설치함

- 샤워기 (Shower)

- ① Towel Bar, Soap Dish, Shower Curtain, Storm Rail, Pvc Grating등과 같은 부속 설비 들이 갖춰져야 함

- 세면기 (Wash Basin)

- ① 세면기는 백색 도기 (Vitreous China) 재질이어야 함
- ② 온수 및 냉수가 공급되어야 함
- ③ 세면기의 상면은 갑판피복 위에서 800 mm의 위치에 설치함
- ④ 세면기 전면 및 근처에는 Mirror, Toilet Rack, Soap Dish 및 Towel Bar등 부속설비를 설치함

배치 수량

분류	항목	개인 화장실	공용 화장실
Water Closet	1	1	
Wash Basin	1	1	
Shower	1	1	
Toilet Cabinet	1	-	
Toilet Rack	-	1	
Mirror	In toilet cabinet	1	
Storm Rail	2	2	
Towel Bar	1	1	
Paper Holder	1	1	
Soap Dish	2	2	
Receptacle for Razor	1	-	
Coat Hook	2	2	

표 33 배치 수량

4) 식당 및 취사 구역

일반사항

- 취사 및 식당구역은 식품재료의 저장, 취사, 배식, 식사 및 식기 세척 등의 일련의 과정이 상호 연관성 및 동선을 고려하여 최대의 효율을 발휘할 수 있도록 배치함
- 식당 내 설비는 식사 동안에 원활한 통행이 이루어져야 하고 회합 및 휴식, 오락 등 제2의 기능이 최대한 효율적으로 발휘되도록 배치함
- 식당은 승조원들의 접근이 용이하고, 취사장에서 준비된 식사 이동이 원활도록 Poop Deck상 취사장에 접하여 배치함
- Dresser는 가능한 최대의 크기로 구역 내 설치하고 바닥에서의 높이는 850 ~ 900 mm 정도로 함
- 장비들은 가능한 사용물 및 사용자가 배의 Rolling에 의한 피해를 최소화하도록 Foundation에 Bolt & Nut로 견고히 설치함
- 취사장 설비에 사용되는 재질은 녹과 부식에 강해야하며 음식의 맛에 영향을 주지 않아야 함. 날카로운 부분이 없도록 Corner는 Round되게 하고 연결 부위는 수밀 되어야 함
- 격벽과 인접한 발열장비는 격벽과의 사이에 최소한 80 mm이상의 공간을 두어야 함

면적

- 식당의 바닥면적은 선원정원 1인당 1제곱미터 이상이어야 하며 승조원들이 1번의 배식으로 식사가 가능토록 탁자 및 의자를 설치 할 수 있는 면적을 확보해야 함

설비 기준 및 배치

- 식당 (Mess Room)

① 식탁 및 의자

- 가) 식탁의 폭은 800 mm, 식탁 길이는 좌석 당 600 mm 이상을 확보토록 식탁을 설치
- 나) 식탁 및 의자는 배의 횡 방향 동요를 고려하여 사용자가 선수·미로 향하도록 배치
- 다) 승조원들이 1번의 배식으로 식사가 가능토록 탁자 및 의자를 설치함

② 식당 내에는 다음과 같은 설비를 각 1set 씩 설치함

가) Drinking Water Fountain

나) Sideboard

다) Refrigerator

라) Coat Hook

- 취사장 (Galley)

- ① 취사장내의 내장판과 천장판은 SUS304 재질로 설치함
- ② 취사장에 설치되는 장비 및 설비품은 준비, 조리, 배식, 세척단계 등의 동선이 원활하도록 배치함
- ③ 갑판에 설치된 모든 설비품의 Foundation 하부는 청소를 위해 최소한 200 mm의 여유가 있어야 함
- ④ 해충, 음식물찌꺼기, 기타 오물 등이 끼일 수 있는 틈이나 접근하기 곤란한 공간이 없어야 함
- ⑤ 취사용 가구에 사용되는 재질은 녹과 부식에 강한 SUS304를 사용하며, 음식물과 닿는 부분은 SUS304 재질로 하여야 함
- ⑥ 취사장 관련 설비는 다음과 같고 형식 및 규격은 진행에 따라 확정함
 - 가) Electric Cooking Range 1대
 - 나) Electric Soup Boiler 1대
 - 다) Washing Dish Machine 1대
 - 라) Electric Mixer 1대
 - 마) Potato Peeler 1대
 - 바) Meat Slicer 1대
 - 사) 음식물분쇄기 1대
 - 아) Refrigerator 1대
 - 자) 충분한 숫자의 Sink, Dresser, Rack등등
- ⑦ 취사장 바닥은 미끄럼 방지용 타일을 시공하며 배수가 원활하도록 SUS 재질의 Gutter Way를 설치함
- 식료품 저장 구역
 - ① 항해 및 정박 시 승조원의 건강한 식생활을 영위하기 위해서 건 식량 창고와 냉동고를 배치함. 건 식량창고와 냉동고는 Upper deck 후부 우현에 배치함
 - ② 본선에 배치된 식료품 저장구역의 냉동/냉장고의 용량은 아래와 표 34와 같음

구역	본선 용적(m³)	온도(℃)
어고 (Fish Room)	abt. 11.5 m³	-18 ℃
육고 (Meat Room)	abt. 12.6 m³	-18 ℃
야채고 (Vegetable Room)	abt. 20.3 m³	4 ℃
건 식량 창고	abt. 30.4 m³	Un-cooled

표 34 냉동/냉장고의 용량

③ 본선의 식료품 저장 구역의 설계 기준 (항해 일수 : 15일 / 승선 인원: 21명)

구역	용적(m³)	조선 설계 편람	최소기준(조선설계편람)
어고 (Fish Room)	abt. 11.5 m³	abt. 1.81 m³	0.00574 m³/인/일 이상
육고 (Meat Room)	abt. 12.6 m³	abt. 0.25 m³	0.0008 m³/인/일 이상
야채고 (Vegetable Room)	abt. 20.3 m³	abt. 3.07 m³	0.00975 m³/인/일 이상
건 식량 창고	abt. 30.4 m³	-	-

표 35 식료품 저장 구역의 설계 기준

5) HVAC SYSTEM

일반사항

- 거주구역, 공용 구역 및 제어구역에 고속형 중앙집중식 공조시스템을 본선에 공급하여 각 구역에 냉·난방을 함
- 냉매 : R-407C
- 신선공기 비율 : 50 %
- 난방은 steam식이며 습도 조절장치를 함께 공급함
- 온도조건은 다음 표 36과 같음

계절	외부공기		실내공기		해수온도
	온도	상대습도	온도	상대습도	
하기	35 ℃	70 %	27 ℃	50 %	32 ℃
동기	-15 ℃	-	22 ℃	50 %	-

표 36 온도 조건

Air Handling Unit

- A.H.U: one (1) x 100 %

Condensing Unit

- Condensing Unit: Two (2) x 50 %
- Compressor: Electric motor driven, piston type with auto-unloading
- Condenser: Horizontal straight, shell and tube type

Separated Air Conditioner

- Package Air Conditioner for E.C.R: one (1) x 100 %
- Package Air Conditioner for Galley: one (1) x 100 %

Mechanical Ventilation

- Galley: one (1) exhaust fan/one (1) supply fan
- Sanitary: one (1) exhaust fan
- Sundry Space: one (1) exhaust fan
- Hospital: one (1) exhaust fan
- Dry Provision Store: one (1) exhaust duct fan

4. Propulsion System Case Study

4.1 목적

- 최근 친환경 대체연료 중 하나인 methanol을 추진 엔진의 연료로 사용하는 methanol 추진선 발주가 활발하게 진행되고 있는 상황과 아울러 Product/Chemical Tanker 선 시장의 활황으로 기존 개발된 LNG추진 13K급 Product/Chemical Tanker 표준선형에 더하여 methanol 추진 13K급 Product/Chemical Tanker 표준선형 개발을 수행하게 되었음
- 본 Case Study는 강화되는 국제환경규제 (NO_x, SO_x, CO₂ 및 Particulate Matter 등) 및 친환경 선박 시장 증가에 요구되는 대체연료를 사용하는 선박의 추진시스템 계통에 대해, 추진시스템으로 적용 가능한 추진엔진의 configuration과 엔진의 연소 cycle에 따른 엔진 특성을 비교하여 엔진 특성에 따라 배출되는 환경 오염물질의 규제 만족 여부 및 저감율을 확인하고 최소의 환경 오염 물질을 배출하는 친환경 추진시스템을 선정하기 위함
- 선박의 특성상 추진시스템의 효율에 따른 추진엔진의 연료소모량이 선박 운전 비용의 대부분을 차지하게 되어 선박의 경제성에 결정적인 요소가 되므로 원가경쟁력 결정의 핵심 요소가 되며, 아울러 환경 오염물질의 배출량이 연료소모량에 비례하므로 최고의 경제성 확보 및 환경 오염물질 배출 최소화가 가능한 고효율 추진시스템을 선정하기 위함
- 추진엔진의 설치와 유지 보수를 위한 maintenance 필요 치수는 기관실 공간 설계의 핵심 설계 인자로서 추진엔진의 주요 제원에 따라 기관실 구역 크기 및 기관실 배치 최적화가 결정될 수 있으므로 주요 제원 검토를 통해 기관실 배치 최적화에 기여하고자 함
- 선박의 추진 엔진으로는 경제성 측면을 고려하여 일반적으로 엔진의 효율이 가장 높은 2-Stroke 엔진을 사용하게 되는 데, 현재까지 개발이 완료된 methanol DF (Dual Fuel) engine들 중에서는 본 13K급 Product/Chemical Tanker에 사용이 가능한 엔진이 없는 것으로 확인되었으며 개발 계획도 없는 것으로 확인함
 이에 따라, 본 case study는 methanol 추진 13K급 Product/Chemical Tanker의 propulsion engine으로 적용 가능한 4-stroke methanol DF(Dual Fuel) engine인 Wartsila 6L32M 엔진과 Hyundai 6H32DFP-LM 엔진에 대해 case study를 수행함

4.2 주요검토 내용

1) 기본 제원

- 본 propulsion system case study가 수행된 선박의 주요 제원은 아래 표와 같음

기본 제원	사양
Length Overall (LOA)	abt. 128.0 m
Length Between Perpendicular (LBP)	120.0 m
Breadth (B)	21.0 m
Depth (D)	11.8 m
Draft (Ts)	8.7 m
Deadweight on Ts	abt. 13,080 MT
Speed at Td (at NCR, 15% S.M)	13.0 kts

표 37 선박 주요 제원

2) 주요 검토 사항

○ 엔진 연소 Cycle 특성 및 Configuration 비교

- 양 사 엔진 모두 동일한 연소 cycle의 diesel 4-stroke DF 엔진으로 연소 cycle에 따른 엔진특성은 동일함
- 4-Stroke 엔진의 경우에는 엔진 자체에 역전 기능이 없으며, 엔진 회전수와 프로펠러 회전수 차이에 따라 감속기 (Reduction Gear)가 필요하므로 “엔진+감속기+프로펠러” 조합에 대하여 비교

Item	Wartsila 6L32M	Hyundai 6H32DFP-LM	비고
감속기(비역전식) + CPP 프로펠러	적용 가능	적용 가능	
감속기(역전식) + FPP 프로펠러	적용 불가	적용 불가	적용 가능한 감속기 없음

표 38 엔진 Configuration 비교표

○ 배기가스 중 배출 규제 대기 환경오염물질 (SOx & NOx) 규제 만족 여부 확인

- 대체연료 (methanol) 연소 시 엔진에서 배출되는 배기가스 중에 포함된 배출 기준을 규제하는 대기 환경오염물질인 SOx와 NOx의 배출 규제 만족 여부에 대하여 각 엔진의 만족 여부를 비교

Item	Unit	Wartsila 6L32M	Hyundai 6H32DFP-LM
SOx Compliance	-	만족 (Methanol)	만족 (Methanol)
NOx Tier III Compliance	-	만족 (SCR)	만족 (SCR)

표 39 NOx 및 SOx 규제 기준 만족 비교표

○ 대기 환경오염물질 (CO₂ & PM) 배출 저감 특성 비교

- 대체연료 (methanol) 연소 시 엔진에서 배출되는 배기ガ스 중에 포함된 대기 환경오염 물질 중 지구온난화 현상을 초래하는 온실가스인 CO₂와 사람의 인체건강에 나쁜 영향을 미치는 PM (Particulate Matter, 미세먼지) 성분에 대해 HFO 연소 기준 대비 배출 저감율을 비교

Item	Unit	Wartsila 6L32M	Hyundai 6H32DFP-LM
CO ₂ 배출저감율	%	5	5
PM 배출저감율	%	90	90

표 40 CO₂ 및 PM 배출저감율 비교표

○ 엔진 연비 포함한 주요 성능 비교

- 엔진의 연료 소비 효율을 나타내는 SFC (Specific Fuel Consumption)에 따라 연료소모량이 결정이 되는데, 연료 비용 측면에서 최고의 경제성과 환경 오염물질 배출 측면에서 오염물질 배출 최소화가 되도록 최소 연료소모량이 가능한 고효율 엔진을 선정하기 위하여 연비를 포함한 엔진의 주요 성능을 비교

Item	Unit	Wartsila 6L32M	Hyundai 6H32DFP-LM
Service Speed	Kts	13.0	13.0
NMCR	kW x rpm	3,480 x 750	3,000 x 750
SMCR	kW x rpm	3,000 x 125.9	3,000 x 125.9
NCR	kW x rpm	2,700 x 121.6	2,700 x 121.6
Fuel Mode	-	Diesel and/or Methanol	Diesel and/or Methanol
SFOC at Tier II (Diesel Mode NCR)	g/kWh	182.4	188.8
SFMC at Tier II (Methanol Mode NCR)	g/kWh	337.4	359.0
SPOC at Tier II (Methanol Mode NCR)	g/kWh	20.5	22.6
Total Energy Consumption at Tier II (Methanol Mode NCR)	kJ/kWh	7,591	8,107

표 41 엔진 주요 성능 비교표

○ 일일 연료소비량 비교

- 엔진의 운전 모드 (Diesel Mode & Methanol Mode) 별 일일 연료소비량을 비교

Item		Unit	Wartsila 6L32M	Hyundai 6H32DFP-LM
Diesel Mode	MGO 일일 연료소비량 (at NCR)	ton/day	11.8	12.2
Methanol Mode	Pilot Oil(MGO) 일일 연료소비량 (at NCR)	ton/day	1.3	1.5
	Methanol 일일 연료소비량 (at NCR)	ton/day	21.9	23.3

표 42 일일 연료소비량 비교표

○ Another Alternative Fuel LNG 엔진 적용 시 LNG 일일 연료소비량 비교

- 다른 대체 연료 엔진 중 개발이 완료되어 적용이 가능한 LNG 엔진 적용 시에 LNG 운전 모드에서 일일 연료소비량을 비교

Item	Unit	MAN-ES 5S35ME-C9.7-GI	비고
SPOC (at NCR)	g/kWh	10.09	Methanol 대비 0.49배
SFGC (at NCR)	g/kWh	134.9	Methanol 대비 0.40배
Pilot Oil(MGO) 일일 연료소비량 (at NCR)	ton/day	0.7	Methanol 대비 0.49배
LNG 일일 연료소비량 (at NCR)	ton/day	8.7	Methanol 대비 0.40배

표 43 LNG 엔진 적용 시 LNG 일일 연료소비량

○ 설치 및 유지보수 제원 비교

- 기관실 배치 최적화를 위해 엔진의 중량과 배치 및 유지보수에 필요한 공간을 고려한 설치 조건을 비교함

Item	Unit	Wartsila 6L32M	Hyundai 6H32DFP-LM
Net Engine Mass	ton	33.5	43.2
Minimum Length	mm	5,728	6,008
Width	mm	2,371	2,434
Overhaul heights	mm	3,240	3,204

표 44 Installation & Maintenance Condition 비교표

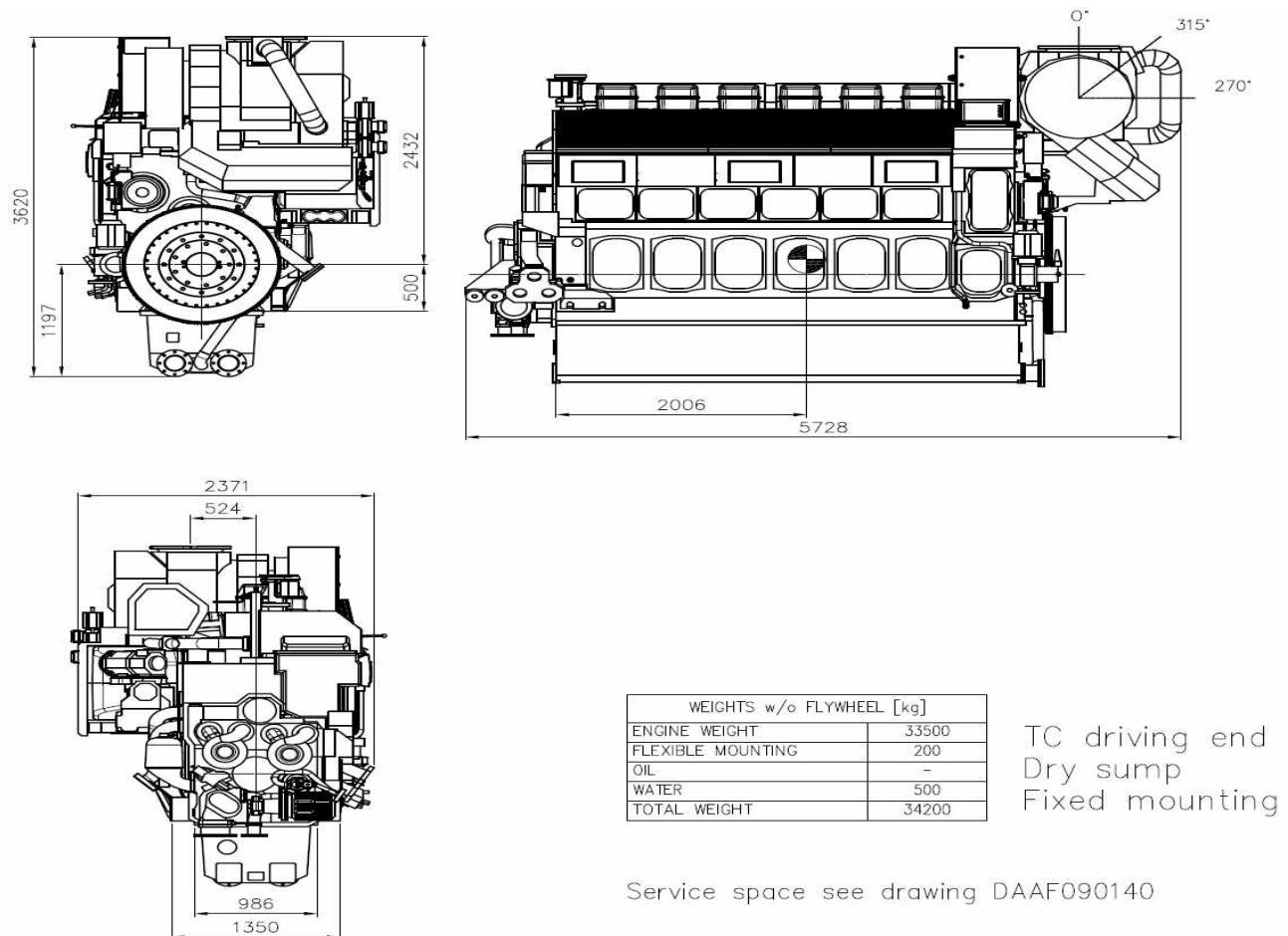


그림 47 Installation Data for Wartsila 6L32M

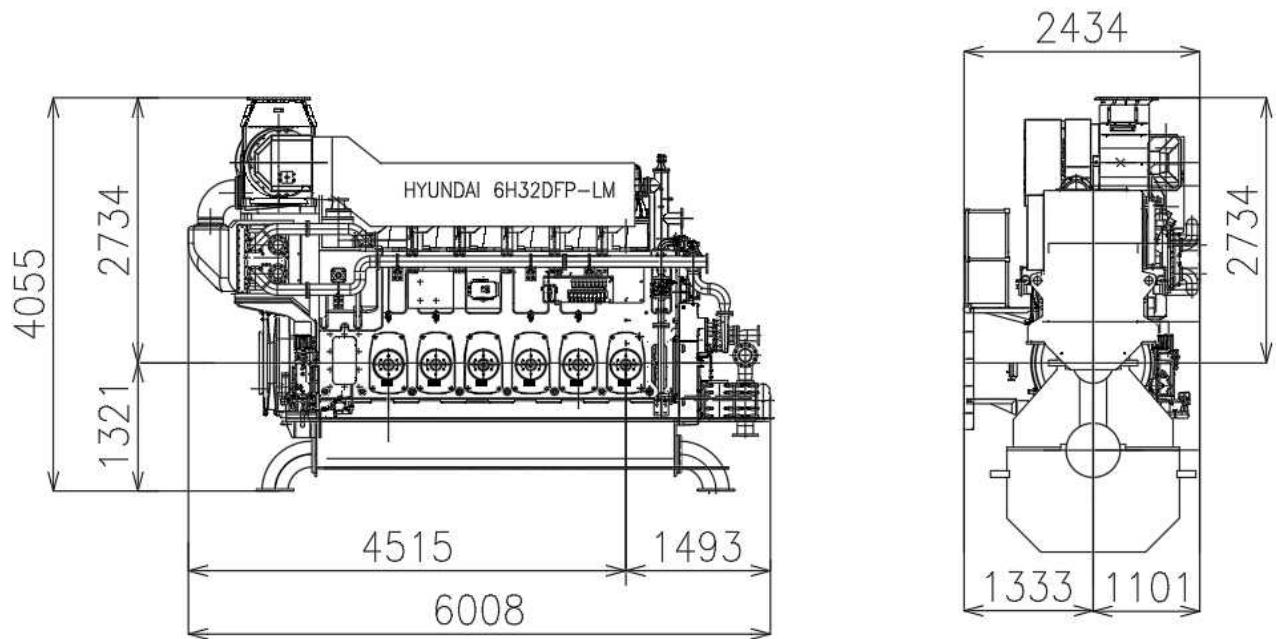


그림 48 Installation Data for Hyundai 6H32DFP-LM

4.4 Summary

- LNG 엔진의 경우는 methanol 엔진 대비 pilot oil (MGO) 연료소비량이 0.49배이고 LNG 연료소비량이 methanol 대비 0.40배 수준으로 연료비를 고려한 OPEX 측면에서 methanol 보다는 LNG를 연료로 사용하는 것이 훨씬 유리한 것으로 확인됨
- Methanol 사용 기준으로 OPEX, CAPEX의 경제성 측면과 emission 및 installation 측면을 포함하여 전체적으로 비교함

Item	Wartsila 6L32M	Hyundai 6H32DFP-LM	시사점
OPEX	MGO 일일 연료소비량 1.2ton Methanol 일일 연료소비량 21.9ton 총에너지소비량 7,591 kJ/kWh	MGO 일일 연료소비량 1.5ton Methanol 일일 연료소비량 23.3ton 총에너지소비량 8,107 kJ/kWh	1. 총에너지소비량 기준으로 Wartsila 엔진이 약 6.8% 우수함
CAPEX	Net Engine Weight 33.5 ton	Net Engine Weight 43.2 ton	1. Hyundai 엔진 중량이 Wartsila 엔진 대비 약 30% 정도 무거움
Emission	-SOx 규제 : 만족 -NOx 규제 : 만족 -CO2 Reduction : 5% -PM Reduction : 90%	-SOx 규제 : 만족 -NOx 규제 : 만족 -CO2 Reduction : 5% -PM Reduction : 90%	1. SOx, NOx 규제는 양사 모두 만족함 2. CO2 & PM 감소율은 양사 동등한 수준임
Installation	-Length : 5,728 mm -Width : 2,371 mm -Overhaul Height : 3,240 mm	-Length : 6,008 mm -Width : 2,434 mm -Overhaul Height : 3,204 mm	1. Wartsila 엔진이 길이 약 5%, 폭 약 3% 정도 작아서 설치 및 유지보수를 고려한 배치측면에서 Wartsila 엔진이 유리함

표 45 Summary

- 1) 경제성 관련하여 OPEX 측면에서는 Wartsila 엔진이 우수하며, CAPEX 측면에서도 엔진 중량을 고려하면 Wartsila 엔진이 우수할 것으로 판단됨
- 2) Emission 관련 SOx, NOx 규제 만족 부분은 양사 모두 만족함
- 3) Emission 관련 CO2 및 PM 배출량 측면에서는 양사 동등한 수준임
- 4) 설치 및 유지·보수를 고려한 배치 측면에서는 Wartsila 엔진이 유리한 것으로 판단됨

4.5 결론

- 1) 본 case study의 상기 summary 검토 결과로 판단해 보면 본 methanol추진 13K급 Product/Chemical Tanker 표준선의 main engine으로는 경제성, 배치측면 모두에서 우수한 Wartsila 6L32M 엔진이 적합한 것으로 판단됨
- 2) 다만 Hyundai 6H32DFP-LM이 개발이 진행 중인 점을 감안하여 추가의 효율 향상이 기대되므로 향후 동 엔진이 적용 가능하도록 표준선형의 기관실의 배치 설계 시 설치 공간의 여유를 확보하는 것이 바람직함

5. 기관실 배치도 (Machinery Arrangement)

5.1 도면 개요 및 일정

1) 도면 개요

- 기관실 배치도는 기관실 내 선박 추진용 주요 장비 및 보조 장비 배치도면으로 최적의 탱크 용량 산정 및 배치, 선원의 접근성과 유지 및 보수 공간 확보를 목표로 작성됨
- 초기 선박 개발 단계에서 일반배치도 작성을 위한 기관실 구역 확정과 선형 개발을 위한 주기관 배치 검토가 주요 업무임

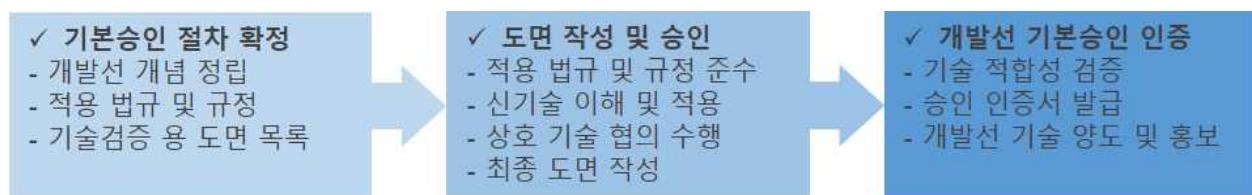


표 46 업무 진행 순서

- 도면에 적용된 규정으로는 국제해상안전협약, 해양오염안전협약의 요구사항과 ABS선급 규칙 및 지침임

2) 진행 일정

- 기관실 배치도는 2023년 2월 02일 접수된 선형으로 선미 선형 검토를 진행하였으며 2023년 3월 02일 최종 선형으로 도면 작업 진행하여 2023년 04월 28일 초기 Machinery Arrangement in Engine Room 작성 완료

5.2 주요 내용

1) 기본 제원

- 기관실 배치도 작성에 참고한 선박 주요 제원은 아래 표와 같음

기본 제원	사양
Length Overall (LOA)	abt.129.80 m
Length Between Perpendicular (LBP)	122.00 m
Moulded Breadth (B)	21.00 m
Moulded Depth (D)	11.80 m
Moulded Scantling Draft (d)	8.55 m

표 47 선박 주요 제원

- 본 프로젝트는 methanol 연료추진 방식의 4행정 주기관과 reduction gear를 통한 직접 추

진식의 축계시스템이 적용되었으며 기관실 내 설치되는 주요 장비 및 보조 장비의 기술 사양은 아래 표와 같이 결정

장비명	항목	기술 사양
주기관	모델	WÄRTSILÄ W6L32
	개수	1대
	유형	4행정기관
	SMCR ¹⁾	3,000 kW x 130.0 rpm (RG + CPP)
	NCR ²⁾	2,700 kW x 125.5 rpm (RG + CPP)
발전기	모델	HIMSEN 8H17/28
	개수	2대
	유형	4행정기관, 트렁크피스톤, 직렬형
	출력	2 x 800 kW x 900 rpm
증기발생기	유형	보조보일러
	개수	1대
프로펠러	1대	Controllable Pitch Propeller (CPP)

표 48 기관실 주요 장비 사양

- 기관실 데크 높이는 축계중심선, 주기관의 배치 및 중앙횡단면도를 참고하여 아래와 같이 최종 결정하였음

Deck 명칭	Deck 높이	높이 차이
E/R Tank Top	1,575 mm A/B	1,325 mm
E/R Floor Grating	2,900 mm A/B	4,020 mm
E/R Partial Deck	6,920 mm A/B	4,880 mm
E/R Upper Deck	11,800 mm A/B	2,800 mm
E/R Poop Deck	15,000 mm A/B	-

표 49 기관실 갑판 높이

2) 작성 내용

- 개발선의 기관실은 선미에 위치하고 있으며 Outline General Arrangement 기준으로 기관실은 선미 구획 배치하였으며 partial deck 하부의 길이 19.60 m (Frame #11 ~ #39)과

- 1) SMCR : Specified Maximum Continuous Rating
- 2) NCR : Normal Continuous Rating

partial deck 상부의 길이는 발전기 위치 보기장비 때문에 21.00 m (Frame #05 ~ #37)로 연장하여 결정함

- 기관실 deck 높이 검토

- 축계 중심 높이 (2,500 A/B) 확인 후 주기관 배치에 따라 floor grating 높이를 결정
- Partial deck의 경우 발전기가 있는 위치는 maintenance를 고려하여 6,920 mm A/B로 결정함

- 주기관 배치 검토

- 주기관 (W6L32) 기준으로 선수 측으로는 sea cross line, 각종 sea water pump 및 ballast water treatment 장비를 위한 공간을 check하고, 선미 측으로는 발전기 엔진 배치를 고려하여 주기관 위치 확정
- 주기관 위치 확정으로 초기 선미 선형 검토하였으며 주요 한계점을 아래 그림과 같이 검토
- 보조기관 발전기엔진 위치 확정으로 Deck Height, Passage를 고려한 각각의 발전기 사이 간격 검토

- 기관실 구획 배치 검토

- E/R workshop, E/R store, engine control room 등을 적절히 배치
- E/R lowest space escape trunk 구성하였고, engine control room 및 E/R workshop은 별도로 탈출구를 설치하여 설비 규정을 만족시킴
- Hydraulic power pack room을 삭제하여 원가 절감함

- 주요 시스템 및 장비 배치 검토

- 해수 냉각 시스템을 위해 기관실 선수 측 sea chest 및 sea cross line 구성
- Main engine connection 위치를 고려하여 보조 장비의 위치를 결정함
- Main engine NOx 저감을 위한 low pressure SCR을 적용함
- 오수, 빌지, 연료유, 윤활유 처리 장치 등은 연관된 탱크의 위치에 따라 적절히 배치함

- 주요 탱크 배치

- Tank top 상 중력으로 모이는 오수, 빌지 및 넘침 탱크 등을 배치함
- Midship의 주요부재와 주기관 용 연료유 및 윤활유 탱크구역과 align을 함으로써 철판 및 선각부재를 절감할 수 있도록 배치
- 연료유의 경우 단일 연료로 M.G.O. storage tank와 M.G.O. service tank를 배치하였으며 이에 따라 별도 연료유에 대한 가열 장치 및 시스템 미적용 됨
- 주기관 및 발전기엔진 NOx 저감을 위해 low pressure SCR을 적용하고, Urea tank를 steering gear room 내부에 배치함

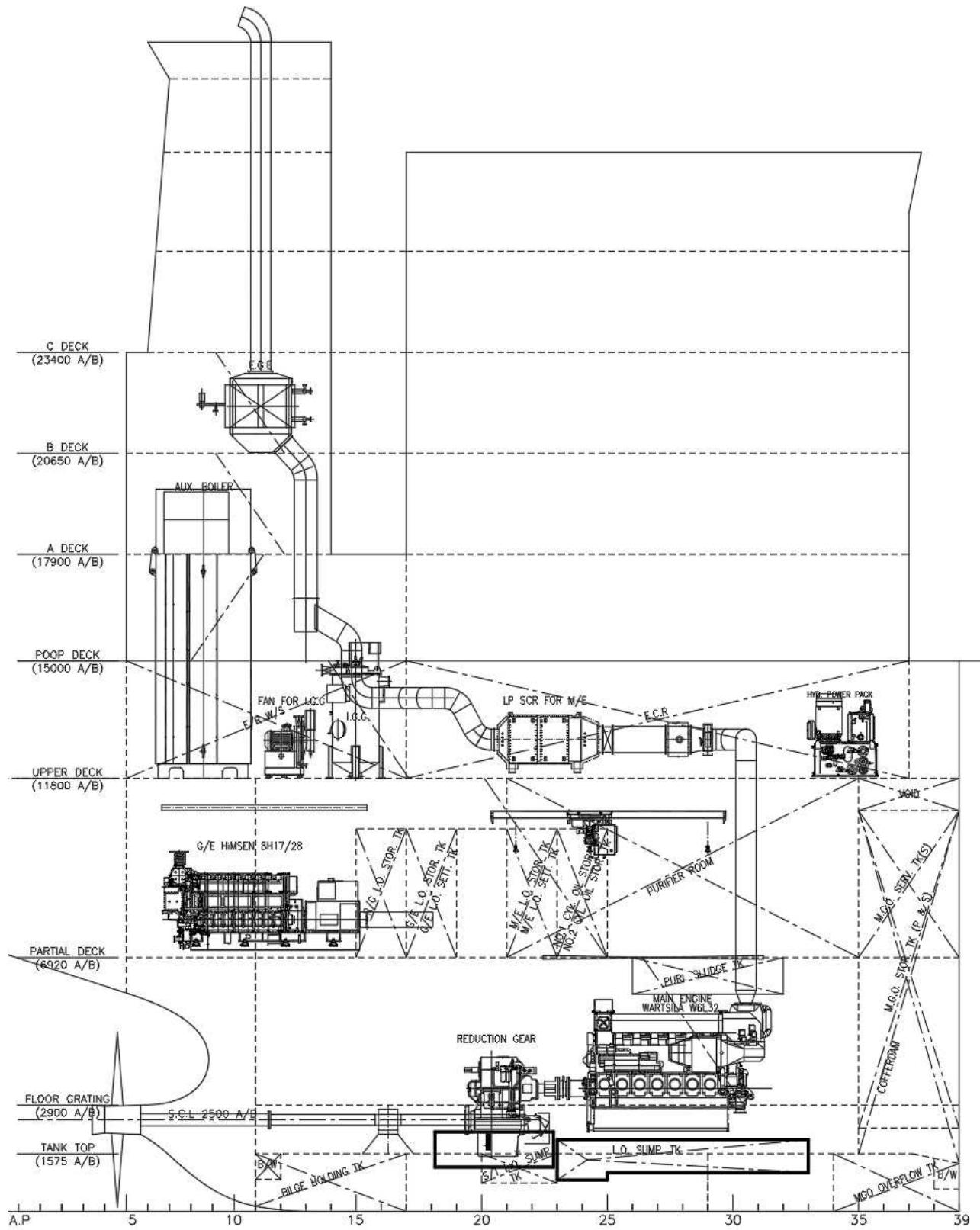


그림 49 기관실 배치도 측면도

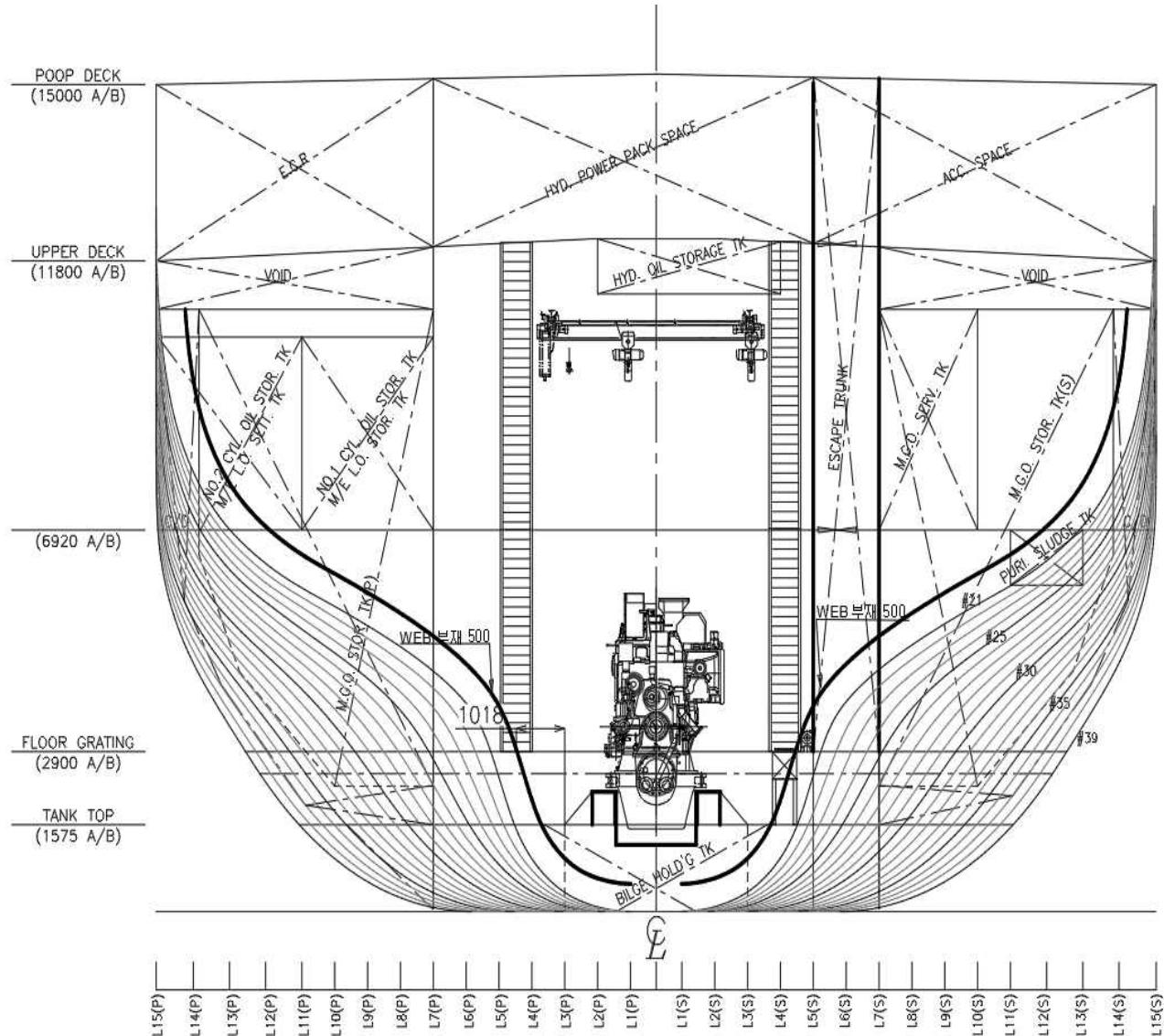


그림 50 초기 선미 선형 검토 내용

6. 전력조사표 (Electric load analysis)

6.1 도면 목적 및 도면 진행 일정

1) 도면 목적

- ① 본 도면은 선박 건조시 선주 및 선급 승인이 필요한 주요 도면으로서, 초기 개발 단계에서 선박의 발전시스템 및 배전시스템을 결정하는데 주요한 업무 목적이 있음
- ② 선박에서 전력이 필요한 모든 선내 장비들의 부하를 집계하고, 선박의 운항 모드 (항해시, 입출항시, 하역시, 정박시, 비상시)를 고려 각 장비의 적절한 운전대수 및 부하율을 적용, 합계 전력 용량을 산출하여 적합한 선박의 발전기 용량 및 수량을 결정하기 위하여 작성함
- ③ 해당 법규 및 규칙을 완전히 만족하고 선박의 신뢰성 및 경제성을 고려한 최적의 시스템 구성을 위함

2) 선박의 관련 시스템과의 연계

① 선박 전원 설비의 계획

- 선박의 종류, 주기형식을 고려, 전원시스템을 계획
- RULE 요구, 주전원, 비상전원을 고려한 전원구성 검토

② 선내 수요전력의 계산

- 전력을 필요로 하는 모든 장비들의 부하를 집계
- 선박의 운항모드에 따라 운전 대수 및 부하율을 적용
- 연속 운전되는 부하, 간헐 부하로 소요전력 구분 적용

③ 발전기의 구성

- 총 소요전력을 기준으로 신뢰성 및 경제성을 검토
- 최적 단위 용량을 기준 발전기 수량을 결정

④ 배전시스템의 구성

- 총 발전기 용량을 기준한 저압배전반 / 고압배전반 적용 검토
- 주배전반, 비상배전반, 발전기반, 동기반, 440V, 220V 급전반 적용 검토

3) 주요 규정 및 적용 지침

- ① 선급 (CLASS) 규칙
- ② 관련 Rule & Regulation
- ③ 사양서 요구 사항

4) 도면 진행 일정

- 본 도면은 2023년 05월 04일 작성하였음

6.2 주요 검토 사항

1) 검토를 위한 선박의 주요 제원

- 선박의 종류 : 13K Class Methanol Fueled Product/Chemical Tanker
- LOA / LBP / Breadth / Depth : 약 129.9 / 122.0 / 21.0 / 11.8 m
- Scantling draft : 8.55 m
- Main Engine : WARTSILA W6L32

2) 검토 내용

- 도면은 각종 장비의 수량 및 용량이 관련 도면과 함께 검토하여 작성하였으며, 규정 및 규칙 만족 여부도 함께 검토하였음

6.3 주요 사양

1) 초기 사양서 (Outline Specification)

- ELECTRIC SYSTEM

- ① Generator : A.C. 450V, 3PH, 60Hz
- ② Power circuits : A.C. 440V, 3PH, 60Hz, A.C. 220V, 3PH, 60Hz
- ③ Lighting circuits : A.C. 220V, 1PH, 60Hz
- ④ Inter-communication equipment : A.C. 220V, 1PH, 60Hz, D.C. 24V
- ⑤ Nautical and radio equipment : A.C. 220V, 1PH, 60Hz, D.C. 24V

- POWER PLANT

- ① 2 - Main generators (DG), abt. 900 kWe, A.C. 450V, 3PH, 60Hz
- ② 1 - Emergency generator (EG), 120 kWe, A.C. 450V, 3PH, 60Hz
- ③ 2 - Main transformers, 90 kVA, 3PH, 440/220V, natural air cooling
- ④ 2 - Emergency transformers, 30 kVA, 3PH, 440/220V, natural air cooling

2) Generator Operating Condition (초기 Electric Load Analysis)

Ship's Condition		Generator In Service
At Sea	Normal Sea-going	1 - D/G
Maneuvering	Used Bow thruster	2 - D/G
	Not Used Bow thruster	1 - D/G
Cargo Handling		2 - D/G
Rest In Port		1 - D/G

표 50 발전기 운전 상태

7. Low-flashpoint Fuel Supply System (LFSS) Process Flow Diagram

7.1 추진 개요

본 선박은 선박 온실가스 배출 규제가 강화되면서 탄소 함량이 낮은 메탄올 저인화점 연료를 엔진에 공급하기 위한 최적의 연료 공급 시스템을 설계하기 위하여 이에 따른 주요 장비의 용량, 파이프 및 밸브의 사양 등을 결정하며 또한 아래와 같은 작업을 수행하여 최적의 연료 계통도를 작성하는데 목적이 있음

- ▶ Methanol service tank 용량 및 사양 검토
- ▶ LFSS 주요 장비 용량 및 사양 결정
- ▶ LFSS process flow diagram 작성
- ▶ Pipe Specification 작성
- ▶ Pipe size 작성
- ▶ 관련 Rule & Regulation 정리

7.2 추진 목표

- 연료 공급 시스템은 기관실 내 선박 추진 엔진에 연료 (Methanol)를 공급하기 위하여 최적 용량의 methanol 연료 service 탱크 및 연료 준비실을 상갑판에 배치하며 연료 공급 주요 장비의 용량, pipe size · 사양서 및 연료 계통도를 작성 · 설계함을 목표로 함.
- 본 프로젝트는 친환경 선박 프로젝트 수주 빌률지원 사업의 일환으로써 LFSS process flow diagram 도면을 작성 후 ABS AIP (기본설계에 대한 인증)를 득할 예정이며 또한 연료공급 system에 대한 설계기준을 정립하여 중소형조선소에 제공함으로써 기술경쟁력과 원가경쟁력 향상에 기여하고자 작성됨

7.3 적용된 관련 규정

- Classification Society (ABS)
- ABS “Methanol and Ethanol Fueled Vessels” Jan, 2022
- MSC.1/Circ.1621, The intrim Guidelines for the Safety of Ships Using Methyl/Ethyl Alcohol as Fuel
- SOLAS Ch.2-1/Reg.56 “Ships using low-flashpoint fuels”

7.4 추진 일정

- 2023년도 표준선형을 기준으로 LFSS process flow diagram을 작성 하고자 함.
- ABS 기본도면 승인 (AIP) 획득을 목표로 작성함
- 작업기간 : 2023/02 – 2023/05

7.5 메탄올 연료의 장단점

장점 : 1) 상온에서 저장과 운송이 가능하며, 2) LNG 추진 대비 초기 구축비용이 저렴하며 (약 15%) 가격 경쟁력이 높음, 3) 해양에 배출하더라도 물에 녹아 오염을 거의 일으키지 않음, 4) LNG/LPG 연료 추진 대비하여 탄소 배출량이 약 10% 정도 적음

단점 : 1) 에너지 밀집도가 LNG보다 낮아 연료탱크가 커야 하며 병커유 보다는 2.2배의 탱크 용량이 필요함, 2) 아직까지 생산가격이 LNG 보다 높고 병커링 인프라가 부족함, 3) 인체에 유해한 독성이 있어 가스 배출을 차단하는 밀폐 저장장치가 필요함

7.6 추진 내용

1) Methanol service tank 용량 및 사양 검토

a) Cylindrical type Methanol fuel service tank 사양은 아래와 같음

종류	사양
Capacity (m3)	37
Material & coating	Steel with inorganic zinc
Design pressure (bar)	0.45
P/V valve setting (pressure/vacuum)	0.2 barG / 0.035 barG

표 51 Methanol fuel service tank 주요제원

b) Methanol fuel service tank 에 설치되는 장비는 아래와 같음

- Tank level transmitter
- Level alarm for high, high-high, Low level
- P/V valve
- Automatic filling system from methanol fuel storage tank to service tank
- Inert gas filling connection
- One (1) temperature sensor and one (1) pressure sensor

c) Methanol fuel service tank 용량 산정

- Methanol fuel service tank 용량은 “The daily fuel consumption of main engine (24 hours running)” 기준으로 함
- Methanol service tank 용량 계산은 아래와 같음 ($Q=26.96/0.796(\text{밀도}) = 33.9 \text{ m}^3$)

2) LFSS 주요 장비 용량 및 사양 결정

a) Methanol 연료 공급 시스템의 주요 장비는

- i) Methanol fuel storage tank (hull tank이며 slop tank 후방에 배치),

SMCR	3000	kW
SGC	374.5	g/kWh
Fuel gas consumption (24 hour running)	26.96	ton/day

Capacity of methanol service tank (24 hr 기준)	33.9	m3
	37	m3 (10% margin)

* Methanol service tank 용량기준 : The daily fuel consumption of main engine (24 hours running)

표 52 Methanol Service tank 용량 계산

d) Methanol fuel service tank 배치

- 위치는 upper deck cargo manifold 후방 starboard side에 배치함

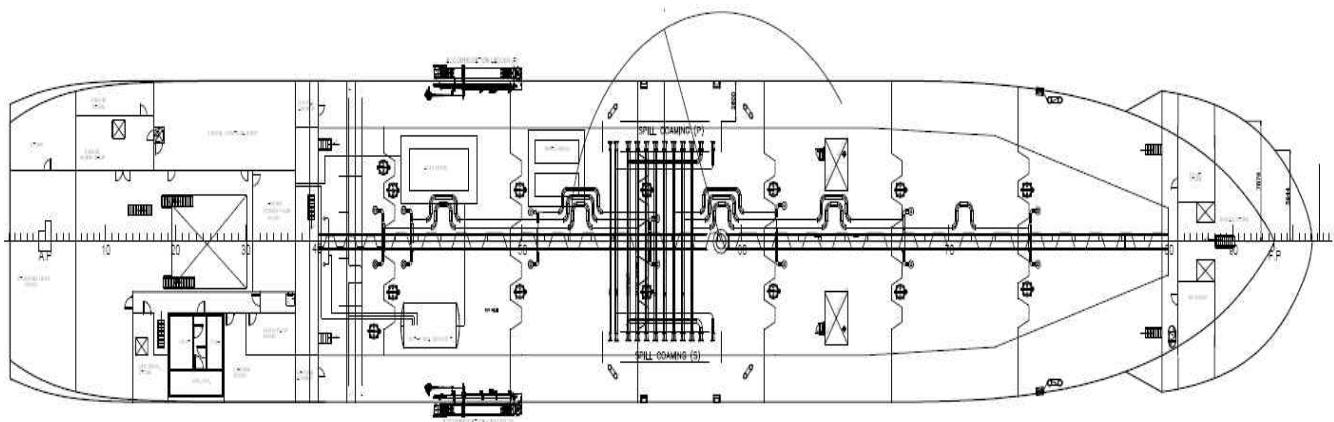


그림 51 Methanol fuel service tank 배치도

- ii) Main engine이 24시간 작동할 때 필요한 연료를 저장하는 methanol fuel service tank (upper deck상 cargo manifold 우현 후방에 배치),
- iii) Methanol fuel storage tank에서 methanol fuel service tank로 연료를 이송하는 methanol fuel transfer pump,
- iv) Methanol을 service tank에서 엔진으로 공급하는 methanol fuel supply pump,
- v) 연료 온도를 조절하는 heat exchanger,
- vi) 10 microns 이상의 불순물을 제거하는 filter,
- vii) 공급유량을 측정하는 flow meter가 있으며,
- viii) 압력과 온도를 조정하는 FVT,
- ix) Methanol를 loading하는 연결 장비인 methanol벙커링 스테이션으로 구성됨

이러한 주요 장비를 통합하기 위한 제어 시스템 (LFSS Control System)이 적용되며, 이를 통해 전체 LFSS 장비를 운전함

정리하면 low-flashpoint fuel supply system (LFSS)을 구성하는 주요장비는 아래와 같음

- Methanol fuel storage tank (about 450 m³) - hull tank로 구성
- Methanol fuel service tank (about 37 m³) - upper deck 위치
- Methanol fuel transfer pump (15 m³/hr)
- LP methanol fuel supply pump (1.63 m³/hr)
- HP methanol fuel supply pump (1.63 m³/hr)
- Glycol water system
- Heat exchanger
- Duplex filter
- Flow meter
- FVT (fuel valve train)

b) LFSS 설계 기준은 아래와 같음 (M/E에만 적용)

종류	사양	기타
Engine model	W6L32M	
Fuel supply pressure (barG)	13±0.5 barG	As per engine Maker's recommendation
Fuel temperature (°C)	25 - 50°C	
Filtering	Duplex filter at outlet of LFSS skid (10 μ)	

표 53 설계 기준

Main engine에 주입되는 연료 압력은 약 13 bar이며 온도는 25-50°C로 하며 이는 main engine maker의 recommendation에 따름

c) 본 시스템은 Main engine에만 Methanol 연료를 사용하는 기준으로 설계되었으며 upper deck상에 있는 Fuel preparation room 내 설치되는 LFSS 주요 장비 사양은 아래와 같음

Equipment	Type	Capacity	Q' t y (sets)
Methanol Fuel transfer pump	Submerged, Hyd-motor	Abt. 15 m ³ /hr x 26 mTH	2
LP methanol fuel supply pump	Centrifugal, El-motor (VFD control)	Abt. 1.63 m ³ /hr x 20 mTH	1
HP methanol fuel supply pump	Centrifugal, El-motor (VFD control)	Abt. 1.63 m ³ /hr x 188 mTH	1
Heat Exchanger	Shell & plate or equivalent	Maker's recommendation	1
Duplex filter	Metal mesh	10 μ	1
Flow meter	Coriolis	-	1

표 54 LFSS 주요 장비 사양

d) 장비 용량 계산식은 Excel sheet로 계산하였으며 아래와 같음

- Methanol service tank 용량은 main engine의 SMCR (3,000 kW) 에 SGC (374.5 g/kwh)을 곱하여 FGC (24 hr running)을 결정한 후 밀도 (0.796)를 나누어 용량을 산정함 (about 37 m³). - 표 52 참조
- Methanol fuel transfer pump는 methanol service tank 용량이 37 m³으로 filling time을 2.5 hr을 기준으로 하여 15 m³/hr로 결정하였으며 펌프는 Submerged type (Framo)이며 prime mover는 cargo pumping system의 hyd power pack으로 구동함
- LP/HP methanol supply pump는 main engine의 SMCR (3,000 kW) 에 SGC (374.5 g/kwh)을 곱하여 FGC을 결정하여 이를 바탕으로 pump capacity를 산정함 (1.63 m³/hr)

■ Methanol fuel transfer pump (to methanol service tank)

Methanol service tank capacity	37	m3	
Capacity of Methanol transfer pump (Sub.)	15	m3/hr	Filling time : 2.5 hr 가정
Head of Methanol transfer pump 계산	25.46	mTH	Static pressure - tank bottom to service tank top 까지 높이(Tank depth + Support + C-type dia) 15.27m Pipe/valve Friction loss - 5m Methanol 밀도 0.796 이므로 0.796로 나눠서 최종 Head 계산
Head of Methanol transfer pump	26.00	mTH	

■ LP/HP Methanol supply pump (for M/E)

M/E SMCR	3,000	kW	
SGC (Specific Gas Consumption)	374.5	g/kWh	
FGC/hr	1123.5	kg/hr	시간당 Fuel gas consumption
FGC/hr * 10% margin	1235.85	kg/hr	10% margin
Methanol LP/HP pump 용량	1300	kg/hr	십자리에서 올림
	1.3	ton/hr	
	1.63	m3/hr	밀도 0.796 나눔
Methanol pump discharge pressure (LP)	1.5	barG	Friction loss ; Heat exchanger(1bar), pipe/valve(0.5bar)
	19	mTH	Methanol 밀도 0.796 이므로 0.796로 나눠서 최종 Head 계산함
Methanol pump discharge pressure (HP)	15	barG	Friction loss ; Fuel supply pressure (13 bar), Filter (1.5 bar), Pipe/valve (0.5 bar),
	188	MTH	Methanol 밀도 0.796 이므로 0.796로 나눠서 최종 Head 계산함

표 55 장비 용량 계산 (Excel)

3) LFSS process flow diagram 작성

본 diagram은 Alfa-Laval “3-generation version” 기준으로 작성되었으며 추후 maker's recommendation에 따라 사양이 변경될 수 있음.

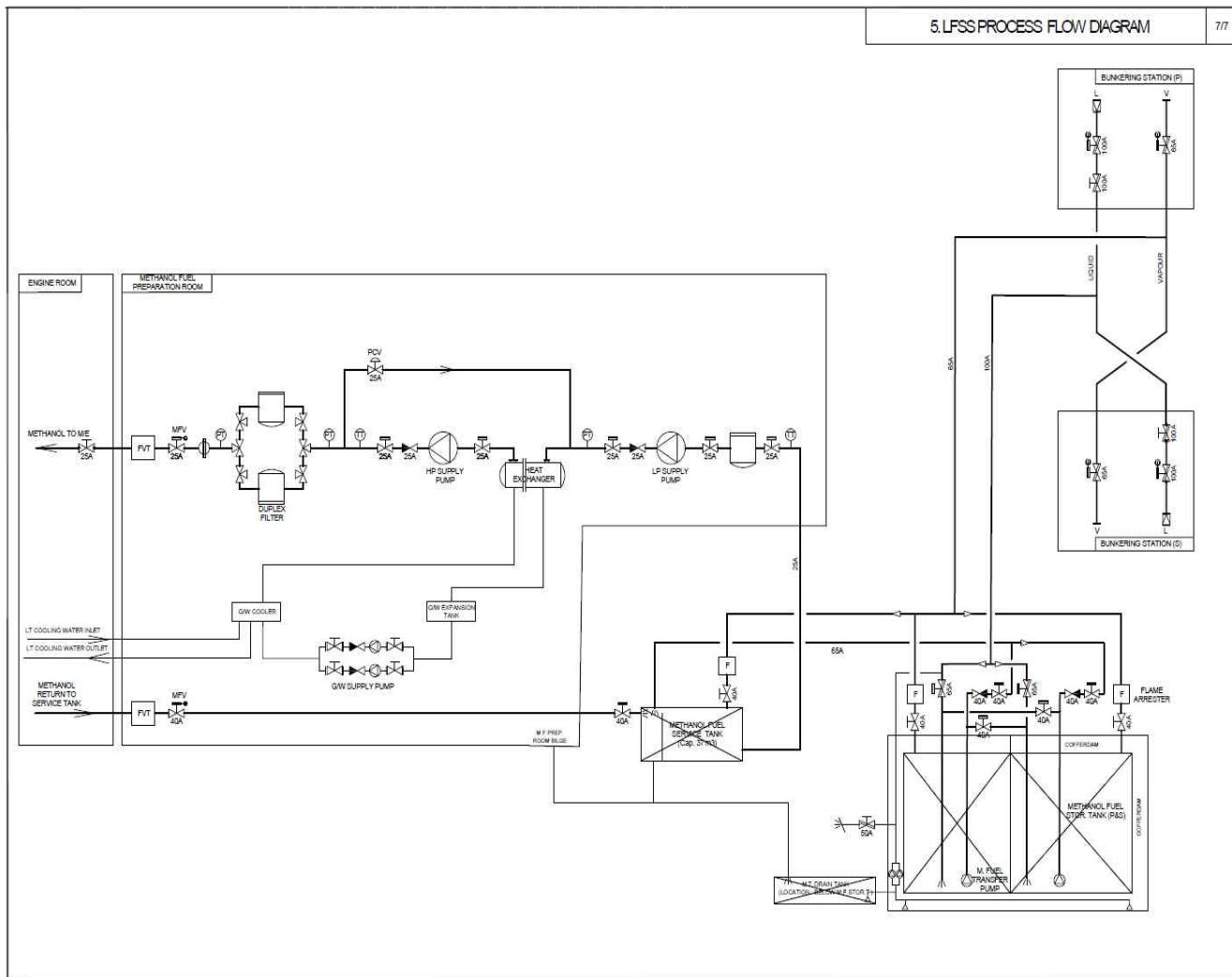


그림 52 LFSS Process Flow Diagram

◇ Fuel supply system for main engine

- Main engine에서 요구되는 methanol fuel을 공급하기 위해 methanol storage tank내의 methanol fuel transfer pump로 연료를 methanol fuel service tank로 이송함.
- Methanol service tank로 이송된 연료를 fuel preparation room내 LP methanol supply pump로 Heat exchanger 거친후 HP methanol supply pump로 filter 및 FVT를 거친 후 연료를 main engine에 공급함.
- Methanol 연료를 FVT (fuel valve train)으로 압력을 조절하여 main engine으로 연료를 공급 함.
- Methanol fuel은 상온의 액체 상태로 main engine에 공급됨.

◇ Methanol bunker station

- Methanol manifold : ND 100A with 1-manual & 1-remote ESD valve
- Vapour manifold : ND 65A with 1-manual valve

◇ Methanol service tank

- Tank 용량은 “The daily fuel consumption of main engine (24 hours running)” 기준으로 upper deck에 설치함 (37 m³)

◇ Flame arrester

- Methanol storage tank 및 methanol service tank의 vent line에 불꽃 침입을 막기 위한 flame arrester를 설치함

4) Pipe Specification 작성

System	ND(A)	Pipe material	Joint	Valve		Nominal Pressure of flange (K)
				Type	Body	
Methanol Fuel	All	SUS 316 ERW THK : Sch.10s No coating	Flange, Butt-weld	Butterfly, Ball, Globe	SUS 316L	5 : pump suction 10 : pump discharge
LT cooling water	All	ERW steel THK : Sch.40 No coating	Flange, Sleeve	Globe, Ball	Cast iron	5
Nitrogen purging line	All	SUS 304/304L	Butt-weld, Flange, Sleeve	Butterfly, Globe, Needle	ASTM A351 Gr. CF8M or SUS 316L	10

표 56 Pipe & valve 사양

Pipe 사양서는 표준으로 작성되었으며 선주요구에 따라 pipe schedule은 변경될 수 있음

5) Pipe size 결정

Methanol pipe 관내 유속 기준은 아래와 같이 적용하며 아래 명기된 유속 아래일 경우 만족하는 것으로 함

- Liquid line 유속 : Max. 8.2 m/sec,
- Vapour line 유속 : Max. 30 m/sec

LFSS process flow diagram 상의 각 line의 size는 아래 excel sheet를 참조 바람.

Pipe Material	SUS/ASTM	Sch.10s
Liquid line	8.2	m/sec (max)
Vapour line	30	m/sec (max)
Methanol storage tank	450	m ³
Methanol service tank	37	m ³
Methanol density	796	kg/m ³
Max LNG loading rate	180	m ³ /hr
Vapour discharge	225	m ³ /hr
M. fuel supply pump in tank	15	m ³ /hr
LP supply pump	1.63	m ³ /hr
HP supply pump	1.63	m ³ /hr

No	Item	Dia (A)	Sch	Inner dia(mm)	Vel (m/sec)	Capacity	적합성	상태
1	Methanol manifold	100	10S	108.2	5.44	180 m ³ /hr	OK	Liquid
2	Vapour manifold	65	10S	66.9	17.79	225 m ³ /hr	OK	Vapour
3	Disch of M. transfer pump	40	10S	42.76	2.89	14.92 m ³ /hr	OK	Liquid
4	Loading line to each M. storage tank	65	10S	66.9	7.12	90 m ³ /hr	OK	Liquid
5	Vapour line from each M. storage tank	40	10S	42.76	17.42	113 m ³ /hr	OK	Vapour
6	LP supply pump suc/disch line	25	10S	27.86	0.74	1.63 m ³ /hr	OK	Liquid
7	HP supply pump suc/disch line	25	10S	27.86	0.74	1.63 m ³ /hr	OK	Liquid

표 57 Pipe size 계산

6) Rule & Regulation 정리

아래는 ABS “Methanol and Ethanol Fueled Vessels“ Jan, 2022 기준으로 작성하였으며
상세 설계 시 참조함

a) Piping

- The inner piping, where a protective duct is required, is to be full penetration butt-welded and fully radiographed. Flanged connection to be permitted within tank connection space and fuel preparation space or similar ; (Sec 7.3.12.1)
- Butt-welding : 100% NDT, Sleeve weld : at least 10 % PT (liquid penetrate test) or MT (magnetic particle test) (Sec 7.3.12.4)

- Fuel pipes should not be located less than 800 mm from the ship's side (Sec 5.7.1)
- Fuel piping should not be led directly through accommodation, service space, electric equipment rooms or control station (Sec 5.7.2)
- Expansion of piping should normally be allowed for by the provision of expansion loops or bends in the fuel piping system. (Sec 7.3.12.6)
- The annular space between inner and outer pipe should have mechanical ventilation of underpressure type with a capacity of minimum 30 air changes per hour and be ventilated to open air. Approved means for detecting leakage into annular space should be provided. (Sec 9.4.2)
- All fuel piping should be arranged for gas freeing and inerting.(Sec 9.6.1)
- The following materials of construction for fuel tanks and associated pipelines, valves, fittings and other items of equipment normally in direct contact with the methanol liquid and vapour are not to be used as followings.
 → Galvanized steel, aluminium, lead, nickel, magnesium or alloy of these materials (Sec 7.4.4)

b) Fuel tank

- Fuel tank located on deck are not to be located less than 800mm from the vessel's side.(Sec 5.3.4)
- Fuel tanks on open deck should be surrounded by coaming, and spills should be collected in a dedicated holding tank (Sec 5.3.5)
- If located on an open deck, drip tray arrangement for leakage containment and water spray for emergency cooling (Sec 5.4.2)
- For fire integrity. the fuel tank boundaries should be separated from the machinery spaces of category A and other rooms with high fire risks by a cofferdam of at least 600 mm, with insulation of not less than A-60 class.(Sec 11.4.3)
 “Other rooms with high fire risk“ - a) cargo space except cargo tanks for liquids with flashpoint above 60°C, b) vehicle, ro-ro, c) service space-galley, saunas, d) accommodation space (Sec 11.4.3)

c) Fuel tank vent outlet

- Fuel tank vent outlets should be situated normally not less than 3 m above the deck or gangway if located within 4 m from such gangways. The vent outlets are also to be arranged at a distance of at least 10 m from the nearest air intake or opening to accommodation and service spaces and ignition sources. The vapour discharge should be directed upwards in the form of unimpeded jets.(Sec 6.4.7)

d) Bunker station

- Entrances, air inlets and openings to accommodation, service space and machinery space and control station should not face the bunkering station (Sec 8.3.1.2)
- Bunkering line should not be led directly through accommodation, control station or service spaces. Bunkering line passing through non-hazardous areas in enclosed spaces should be double wall or located gastight ducts. (Sec 8.3.1.4)
- Filters/strainers are to be fitted to prevent the transfer of foreign objects (Sec 8.4.2)
- Connections for methyl/ethyl vapour return lines are to be provided (Sec 8.4.3)
- Manifold valve : A manual valve + remote operated shutdown valve in series or A combined manually operated and remote shutdown valve (Sec 8.5.4)
- The remote operated valve is to be of fail closed type (closed on loss of actuating power) (Sec 8.5.4)

e) Fire fighting system

- Where fuel tanks were located on open deck, there should be a fixed fire fighting system of alcohol-resistant foam type (Sec 11.6.1)
- Where fuel tanks are located on open deck, there should be a fixed water spray system for diluting eventual spills, cooling and fire prevention. The system should cover exposed part of the fuel tank (Sec 11.6.4)
- The bunker station should have a fixed fire extinguishing system of alcohol resistant foam type and a portable dry chemical power extinguisher, located near the entrance of bunkering station (Sec 11.6.2)

f) Ventilation for double wall pipe

- Mechanical ventilation of the extraction type with 30 AC/hr, Ventilation inlet to be located in a non-hazardous area, in open air, away from ignition sources

8. Arrangement of Methanol Fuel Preparation Room

8.1 추진 개요

본 선박은 선박 온실가스 배출 규제가 강화되면서 탄소 함량이 낮은 메탄올 저인화점 연료를 엔진에 공급하기 위한 최적의 연료 공급 시스템의 주요 장비의 설치를 위한 공간 확보 및 선원의 접근성 및 유지, 보수 공간을 고려하며 아래와 같은 작업을 수행하여 최적의 fuel preparation room을 설계 하는데 목적이 있음

- ▶ 주요 장비 용량 결정
- ▶ LFSS room arrangement

8.2 추진 목표

기관실 내 선박 추진 엔진에 연료 (Methanol)를 공급하기 위한 연료공급 시스템을 설치하기 위하여 LFSS process flow diagram의 장비 skid 도면 바탕으로 하여 유지/보수 공간 및 선원의 접근성 등을 고려한 연료 준비실 배치도를 작성함에 있음

8.3 도면에 적용된 규정

- Classification Society (ABS)
- ABS “Methanol and Ethanol Fueled Vessels” Jan, 2022
- MSC.1/Circ.1621, The interim Guidelines for the Safety of Ships Using Methyl/Ethyl Alcohol as Fuel
- SOLAS Ch.2-1/Reg.56 “Ships using low-flashpoint fuels”

8.4 진행 일정

- 2023년도 표준선형을 기준으로 LFSS room 배치도를 작성하고자함.
- 작업기간 : 2023/02 – 2023/05

8.5 추진 내용

1) 주요 장비 용량 결정

- a) Methanol 연료 공급 시스템의 주요 장비는
 - i) Methanol을 저장하는 Methanol fuel storage tank (hull tank이며 slop tank 후방에 배치),
 - ii) Main engine이 24시간 작동할 때 필요한 연료를 저장하는 Methanol fuel service tank (upper deck상 cargo manifold 우현 후방에 배치),
 - iii) Methanol fuel storage tank에서 methanol fuel service tank로 연료를 이송하는 methanol fuel transfer pump,
 - iv) Methanol을 service tank에서 엔진으로 공급하는 methanol fuel supply pump,

- v) 연료 온도를 조정하는 heat exchanger,
- vi) 10 microns 이상의 불순물을 제거하는 Filter,
- vii) 공급유량을 측정하는 flow meter가 있으며,
- viii) 압력과 온도를 조정하는 FVT,
- ix) Methanol를 loading하는 연결 장비인 Methanol 병커링 스테이션으로 구성됨

이러한 주요 장비를 통합하기 위한 제어 시스템 (LFSS Control System)이 적용되며, 이를 통해 전체 LFSS 장비를 운전함

정리하면 Fuel Preparation room에 설치되는 주요장비는 아래와 같음

- Methanol fuel transfer pump (15 m³/hr)
- LP methanol fuel supply pump (1.63 m³/hr)
- HP methanol fuel supply pump (1.63 m³/hr)
- Glycol water system
- Heat exchanger
- Duplex filter
- Flow meter
- FVT (fuel valve train)

b) LFSS 설계 기준은 아래와 같음 (M/E에만 적용)

종류	사양	기타
Engine model	W6L32M	
Fuel supply pressure (barG)	13±0.5 barG	As per engine Maker's recommendation
Fuel temperature (°C)	25 - 50°C	
Filtering	Duplex filter at outlet of LFSS skid (10 μ)	

표 58 설계 기준

Main engine에 주입되는 연료 압력은 약 13bar이며 온도는 25-50°C로 하며 이는 Main engine maker의 recommendation에 따름

c) 본 시스템은 Main engine에만 Methanol 연료를 사용하는 기준으로 설계 되었으며 upper deck상에 있는 Fuel preparation room 내 설치되는 LFSS 주요 장비 사양은 아래와 같음

Equipment	Type	Capacity	Q' ty (sets)
Methanol Fuel transfer pump	Submerged, Hyd-motor	Abt. 15 m ³ /hr x 26 mTH	2
LP methanol fuel supply pump	Centrifugal, El-motor (VFD control)	Abt. 1.63 m ³ /hr x 20 mTH	1
HP methanol fuel supply pump	Centrifugal, El-motor (VFD control)	Abt. 1.63 m ³ /hr x 188 mTH	1
Heat Exchanger	Shell & plate or equivalent	Maker's recommendation	1
Duplex filter	Metal mesh	10 μ	1
Flow meter	Coriolis	-	1

표 59 LFSS 주요 장비 사양

d) 장비 용량 계산식은 아래와 같음

- Methanol service tank 용량은 main engine의 SMCR (3,000 kW)에 SGC (374.5 g/kwh)을 곱하여 FGC (24hr running)을 결정한 후 밀도(0.796)를 나누어 용량을 산정함 (about 37 m³)
- Methanol fuel transfer pump는 methanol service tank 용량이 37 m³이므로 filling time을 2.5 hr을 기준으로 하여 15 m³/hr로 결정하였으며 Submerged type (Framo)이며 prime mover는 cargo pumping system의 hyd power pack으로 구동함
- LP/HP methanol supply pump는 main engine의 SMCR (3,000 kW)에 SGC (374.5 g/kwh)을 곱하여 FGC를 결정하여 이를 바탕으로 pump capacity를 산정함 (1.63 m³/hr)

■ Methanol fuel transfer pump (to methanol service tank)

Methanol service tank capacity	37	m3	
Capacity of Methanol transfer pump (Sub.)	15	m3/hr	Filling time : 2.5 hr 가정
Head of Methanol transfer pump 계산	25.46	mTH	Static pressure - tank bottom to service tank top 까지 높이(Tank depth + Support + C-type dia) 15.27m Pipe/valve Friction loss - 5m Methanol 밀도 0.796 이므로 0.796로 나눠서 최종 Head 계산
Head of Methanol transfer pump	26.00	mTH	

■ LP/HP Methanol supply pump (for M/E)

M/E SMCR	3,000	kW	
SGC (Specific Gas Consumption)	374.5	g/kWh	
FGC/hr	1123.5	kg/hr	시간당 Fuel gas consumption
FGC/hr * 10% margin	1235.85	kg/hr	10% margin
Methanol LP/HP pump 용량	1300	kg/hr	십자리에서 올림
	1.3	ton/hr	
	1.63	m3/hr	밀도 0.796 나눔
Methanol pump discharge pressure (LP)	1.5	barG	Friction loss ; Heat exchanger(1bar), pipe/valve(0.5bar)
	19	mTH	Methanol 밀도 0.796 이므로 0.796로 나눠서 최종 Head 계산함
Methanol pump discharge pressure (HP)	15	barG	Friction loss ; Fuel supply pressure (13 bar), Filter (1.5 bar), Pipe/valve (0.5 bar),
	188	MTH	Methanol 밀도 0.796 이므로 0.796로 나눠서 최종 Head 계산함

표 60 장비 용량 계산

2) LFSS room arrangement

- General Arrangement 기준으로 fuel preparation room은 upper deck 상부 cargo manifold 후방 (Port side)에 위치하고 있으며 길이 7,500mm, 폭 4,400mm, 높이 2,130mm로 설계되었으며 아래 구성으로 배치 설계 되었으며 추후 상세설계 단계에서 Maker's recommendation에 따라 room size는 변경될 수 있음

- Methanol LFSS supply system Skid
- G/W supply system Skid
- Heat exchanger Skid
- Filter
- FVT Skid

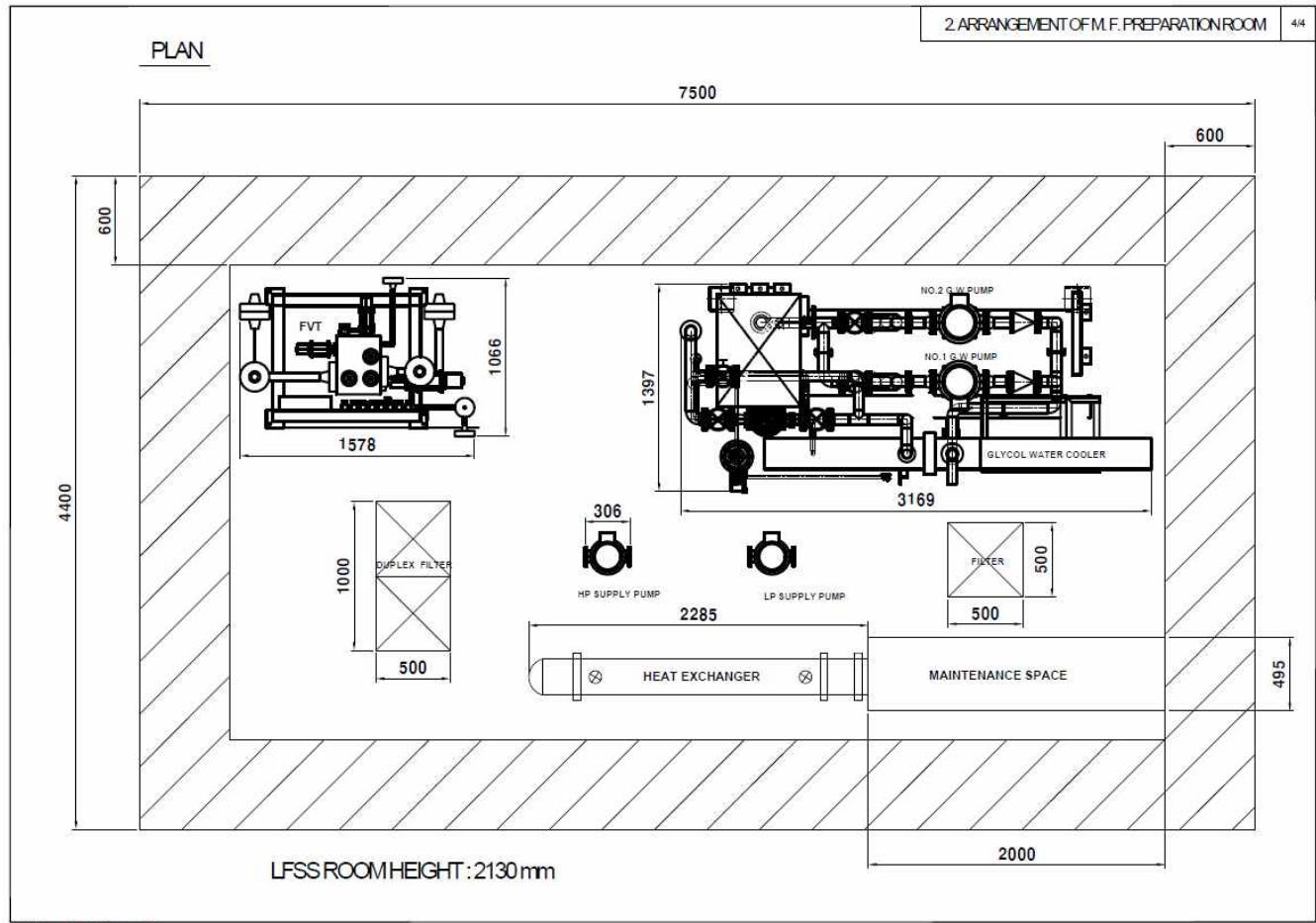


그림 53 Arrangement of methanol Fuel Preparation Room

상기 배치는 HHI-EMD 기준으로 배치 되었으며 일반적으로 중소조선소의 경우 설계능력과 기술적인 문제점으로 인하여 package로 공급 가능한 업체를 선호하고 있으며 업체로는 선보, S&SYS, Trans Gas Solution, DongHwa Entec 등이 있음

9. Methanol 연료 공급계통 안전성 및 건전성 해석 (Heat & Mass Balance Report)

9.1 추진 개요

HYSYS Program 실행으로 methanol fuel을 service tank에서 main engine까지 공급한 methanol fuel의 용량이 system에 만족하는지, 또한 기존 excel sheet 계산치와 부합하는지를 검증하기 위하여 아래 작업을 수행함

- ▶ 해석 조건 정의
- ▶ Normal sea going condition에서 HYSYS 실행
- ▶ Heat & Mass Balance 해석에 따른 LFSS 장비별 용량 선정
- ▶ Excel sheet 계산 vs HYSYS 결과 비교

9.2 추진 내용

1) 해석 조건 정의

- Normal sea going condition시에 67% load 운전으로 가정
- Generator engine 및 boiler는 메탄올 엔진을 사용하지 않아 제외됨.
- Methanol supply 온도는 64.148°C이며 Boiling point는 64°C로 진행함.
- Main engine supply 압력 13 barG, 온도 25-50°C으로 최대용량 계산을 위해 최저온도인 25°C 기준으로 용량 산정

Fluid Data

Isobaric Data for P = 1.0000 bar

Temperature (C)	Pressure (bar)	Density (mol/l)	Volume (l/mol)	Internal Energy (kJ/mol)	Enthalpy (kJ/mol)	Entropy (J/mol*K)	Cv (J/mol*K)	Cp (J/mol*K)	Sound Spd. (m/s)	Joule-Thomson (K/bar)	Viscosity (nPa*s)	Therm. Cond. (W/m*K)	Phase
0.0000	1.0000	25.271	0.039571	-5.3547	-5.3547	-17.549	63.381	76.933	1183.7	-0.035164	805.95	0.20496	liquid
5.0000	1.0000	25.125	0.039802	-4.9722	-4.9682	-16.146	64.146	77.685	1186.4	-0.034662	741.04	0.20401	liquid
10.0000	1.0000	24.979	0.040034	-4.5818	-4.5778	-14.755	64.945	78.480	1149.4	-0.034129	683.23	0.20306	liquid
15.0000	1.0000	24.833	0.040270	-4.1872	-4.1832	-13.374	65.777	79.345	1132.7	-0.033563	631.58	0.20211	liquid
20.0000	1.0000	24.687	0.040508	-3.7883	-3.7842	-12.001	66.638	80.253	1116.2	-0.032962	585.30	0.20116	liquid
25.0000	1.0000	24.540	0.040749	-3.3847	-3.3806	-10.636	67.527	81.212	1100.0	-0.032326	543.71	0.20021	liquid
30.0000	1.0000	24.394	0.040994	-2.9763	-2.9720	-9.2771	68.441	82.223	1084.0	-0.031854	506.22	0.19926	liquid
35.0000	1.0000	24.246	0.041243	-2.5624	-2.5583	-7.9234	69.377	83.284	1068.2	-0.030945	472.34	0.19830	liquid
40.0000	1.0000	24.098	0.041490	-2.1433	-2.1391	-6.5740	70.333	84.396	1052.5	-0.030198	441.64	0.19735	liquid
45.0000	1.0000	23.949	0.041755	-1.7184	-1.7143	-5.2280	71.307	85.556	1037.0	-0.029413	413.73	0.19639	liquid
50.0000	1.0000	23.799	0.042018	-1.2877	-1.2835	-3.8846	72.296	86.766	1021.5	-0.028587	388.29	0.19543	liquid
55.0000	1.0000	23.648	0.042281	-0.85075	-0.84652	-2.5428	73.299	88.024	1006.1	-0.027721	365.05	0.19447	liquid
60.0000	1.0000	23.494	0.042563	-0.40740	-0.40315	-1.2019	74.313	89.335	990.73	-0.026811	343.75	0.19350	liquid
64.148	1.0000	23.366	0.042798	-0.034546	-0.030266	-0.089518	75.162	90.451	977.93	-0.026023	327.40	0.19270	liquid
64.148	1.0000	0.037626	26.577	32.613	35.271	104.57	111.00	141.87	309.54	20.271	10.868	0.018929	vapor
90.0000	1.0000	0.033874	29.521	34.388	37.340	110.51	47.146	57.883	332.02	8.3633	11.701	0.021517	vapor
95.0000	1.0000	0.033346	29.989	34.626	37.625	111.29	45.787	56.068	334.73	7.2860	11.873	0.022043	vapor
100.0000	1.0000	0.032843	30.448	34.858	37.902	112.04	45.057	55.031	337.24	6.4661	12.045	0.022577	vapor

표 61 Isobaric Properties for Methanol

장비명		연료가스 소모량 / set	
Main Engine : Wartsila W6L32M		Max. 1,124 kg/hr at SMCR	
Fuel Consumer	Normal Seagoing		Maneuvering
	Load	연료소모량 (kg/h)	Load
Main Engine	67% (2,010 kW)	753.08	25% (750 kW)
Total	-	753.08	-
			281

표 62 Main engine 연료 소모량

2) Normal sea going condition HYSYS 실행

① Main Engine

- Main engine에서 요구되는 methanol fuel 용량을 공급하기 위해 methanol storage tank내의 methanol fuel transfer pump로 연료를 methanol service tank로 이송함
- Methanol service tank로 이송된 연료를 fuel preparation room내 LP methanol supply pump로 Heat exchanger 거쳐 HP methanol supply로 main engine에 연료를 공급함
- Methanol 연료를 FVT (fuel valve train)으로 압력을 조절하여 main engine으로 연료를 공급함

② HYSYS Program 실행 결과 methanol Fuel을 service tank에서 main engine까지 이송한 methanol fuel의 용량이 system에 만족하는 결과치를 나타냄

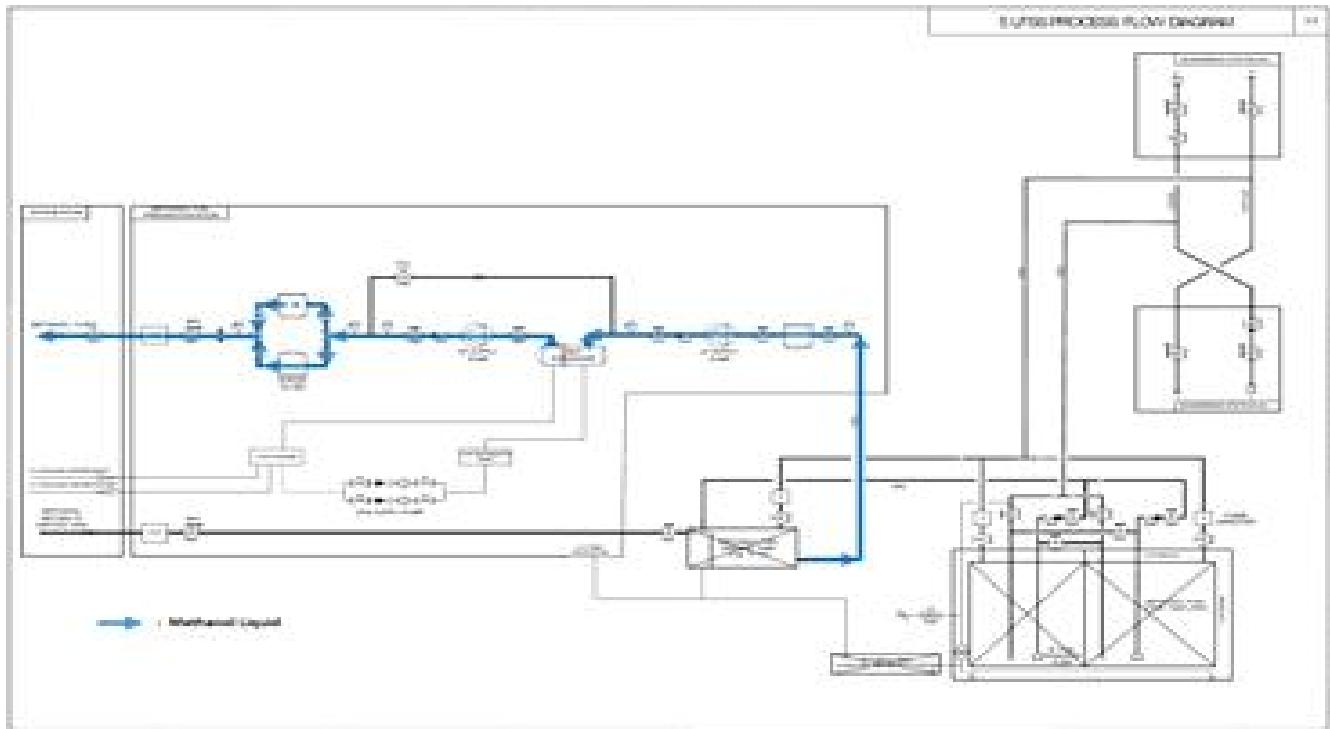


그림 54 Normal Sea Going condition

LFSS에 포함된 주요 장비의 용량 검정을 위해 methanol fuel supply 시나리오에 대해서 해석 실시 (HYSYS)

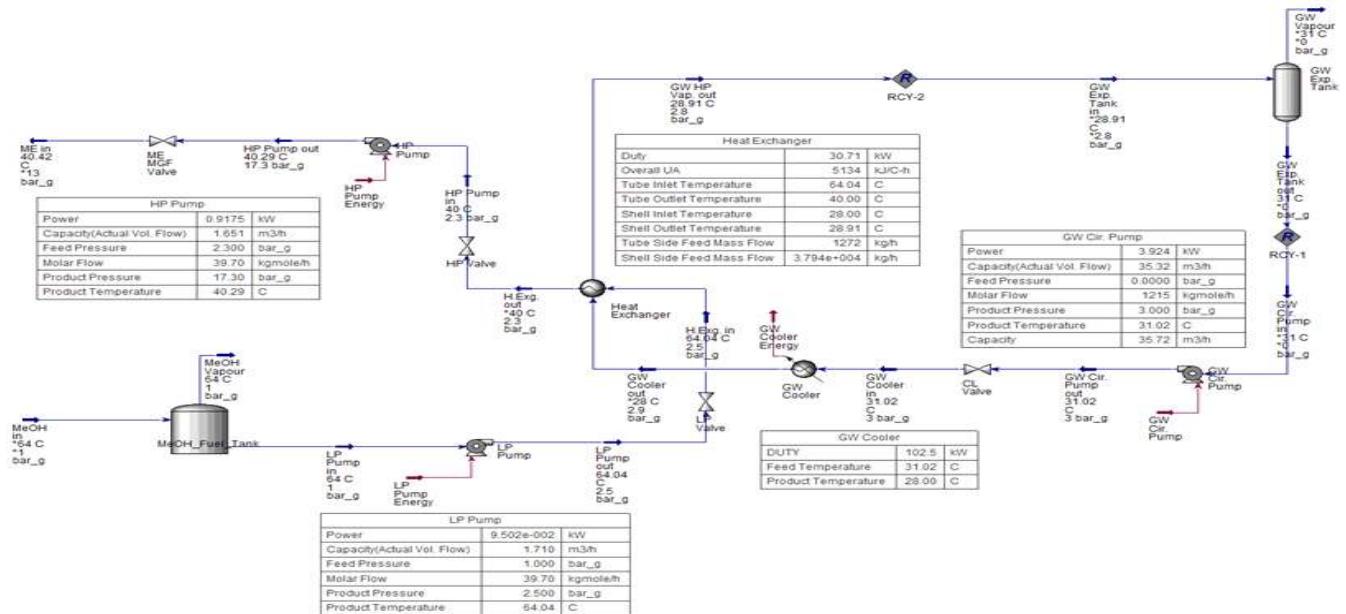


그림 55 Normal Sea Going condition

3) Heat & Mass Balance 해석에 따른 LFSS 장비별 용량 선정 (검토)

장비명	해석							열량 및 유량 (설계 적용)		
	온도(deg C)		압력(bar g)		열량 및 유량					
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	kW	kg/h	m3/h	kW	kg/h	m3/h
LP Pump	64.00	64.04	1	2.5	-	1272	1.625	-	1272	1.78
Heat Exchanger	64.04	25.00	2.5	2.3	49.42	1272	-	51.40	1272	-
HP Pump for M/E	25.00	25.25	2.3	17.3	-	1272	1.618	-	1272	1.68
Glycol Water Pump (E.Glycol Water)	31.00	31.02	0	3	-	37940	35.32	-	37940	36.73
Glycol Water Cooler (E.Glycol Water)	31.02	28.00	3	2.9	102.5	37940	-	106.6	37940	-

표 63 Heat & Mass Balance해석에 따른 장비 용량 검토 결과

4) Excel sheet 계산 vs HYSYS 결과 비교

장비	Excel sheet 계산	HYSYS 해석	만족 여부
LP Methanol supply pump	1.63 m3/hr	1.625 m3/hr	OK
HP Methanol supply pump	1.63 m3/hr	1.618 m3/hr	OK

표 64 Excel sheet 계산 vs HYSYS 결과 비교

HYSYS program 해석으로 LP/HP methanol supply pump 용량 검토 결과 excel sheet 용량 계산값과 비슷한 결과치를 보여주고 있음

10. Heat Balance Calculation

10.1 계산 목적

선박의 열전달과 열 소스 및 열 소비자 간의 열균형을 평가하는 것을 Heat Balance Calculation이라 함. 열 소스에 해당하는 열원에서 발생하는 열이 열 소비자인 냉각장치로 효율적으로 전달되는지 확인하여 에너지 이용을 최적화할 수 있음. 해수냉각시스템은 열 원인 페인 엔진, 보조 엔진 및 보조 기기류를 냉각시키기 위하여 sea chest로부터 해수를 흡입하여 순환시키는 시스템으로 기기를 냉각시킨 후 해수는 다시 선측 연결부를 통하여 배출됨. 일반적으로 이 시스템은 주 해수냉각시스템, 보조 해수냉각시스템 및 해수서비스 시스템으로 나누어지며 선박의 운항 조건에 따른 기기들의 냉각수 요구량을 계산한 heat balance³⁾에 따라 해수·청수 냉각펌프 및 cooler 용량을 결정하기 위해 계산됨

10.2 주요 작성 내용

- 1) 기관실에 설치되는 주요 장비
 - 기관실 내 주요장비는 표 48을 참조
- 2) 계산서 작성 내용
 - Central cooler : 발열량은 M/E MCR condition, G/E는 전력 계통도에 표기된 normal sea going시 condition 및 각종 기기의 발열량을 합산하여 cooler 크기를 결정함
그리고 cooler 수량은 50 % x 2 세트로 하여 원가를 줄이고, 기관실 floor에 적절히 설치할 수 있도록 함
 - 청수펌프 : 냉각을 필요로 하는 장비 (ex. M/E)의 water량을 합산하여 펌프 용량을 결정하고, pump head는 펌프의 설치 위치, 각종 장비의 설치 위치, 파이프 및 장비의 마찰손실을 감안하여 결정하고, 수량은 100 % x 2 세트로 함
 - 해수펌프 : 용량은 청수펌프 용량의 1.2배로 하고, pump head는 pump의 설치 위치, cooler의 설치 위치, 파이프 및 냉각기 (cooler)의 마찰손실을 감안하여 결정하고, 수량은 100% x 2 세트로 함
 - 기기 및 엔진의 발열을 냉각하기 위해서 일정한 온도 (36 ~ 38 °C)의 냉각수를 공급하는데, 냉각수 온도를 일정하게 유지하기 위해서 냉각수 라인에 온도제어밸브를 설치함.
냉각수 라인에 설치되는 온도제어밸브의 설정값은 38 °C로 하면 기존 36 °C일 때보다 cooler 내부의 열전달 면적이 줄어들고 cooler size도 작아지기 때문에 원가를 줄일 수 있음
- 3) Heat balance : 설비에서 발생하는 혹은 투입되는 열에너지는 장치에 주어지는 열량의 합계와 손실된 열량의 합과 같으므로 열량을 계산하여 도식화, 테이블화 하여 효율성과 손실량을 파악하여 상태나 개선점을 확인할 수 있게 하기 위함

CALCULATION OF COOLING HEAT BALANCE					PAGE : 2/3 PROJECT : 13K Product Tanker
NO.	CONDITION	S.W / F.W TEMP(°C)	LOAD		REMARK
			M/E(%)	G/E(% x Set)	
1	MAX. DESIGN CONDITION	32 / 38	100	70.5 x 1	
2	NORMAL SEA GOING (WITHOUT TK CLEAN)	32 / 38	90	69.4 x 1	
3	NORMAL SEA GOING (WITH TANK CLEAN)	32 / 38	90	70.5 x 1	
4	MANEUVERING(WITH THRUSTER)	32 / 38	50	61.3 x 2	
5	CARGO HANDLING	32 / 38	0	77.5 x 2	
6	IN HARBOR	32 / 38	0	54 x 1	

3. PUMP FOR ON-BOARD INSTALLATION					
NO.	DESCRIPTION	Q'TY SHIP	CAPACITY (m³/h)	TOTAL HEAD (mTH)	REMARK
1	MAIN C.S.W PUMP	2	630 (each 100%)	24	
2	L.T C.F.W PUMP	2	480 (each 100%)	25	
3					

4. COOLER AND A.T.M CONDENSER FOR ON-BOARD INSTALLATION					
NO.	DESCRIPTION	Q'TY SHIP	HEAT DISSIPATION (Mcal/h)	FLOW (m³/h)	REMARK
1	L.T.F.W COOLER	1	3,155,000 (each 50%)	FW: 240.0 SW: 315.0	
2	ATM CONDENSER	1	741,000.0	FW: 47.0	

Note : The capacity of L.T cooler is 100% of system required.

5. MAIN EQUIPMENT

1) MAIN ENGINE	
TYPE	: WARTSLA 6L32M
NO. OF SET	: ONE (1)
NCR(75% of SMCF	: 2,700 kW x 125.5 rpm
SMCR (83% of NM)	: 3,000 kW x 130.0 rpm
2) DIESEL GENERATOR ENGINE	
TYPE	: HIMSEN 8H17/28
NO. OF SETS	: TWO (2)
MCR	: 1,075 kW x 900 rpm

그림 56 Heat balance calculation (data)

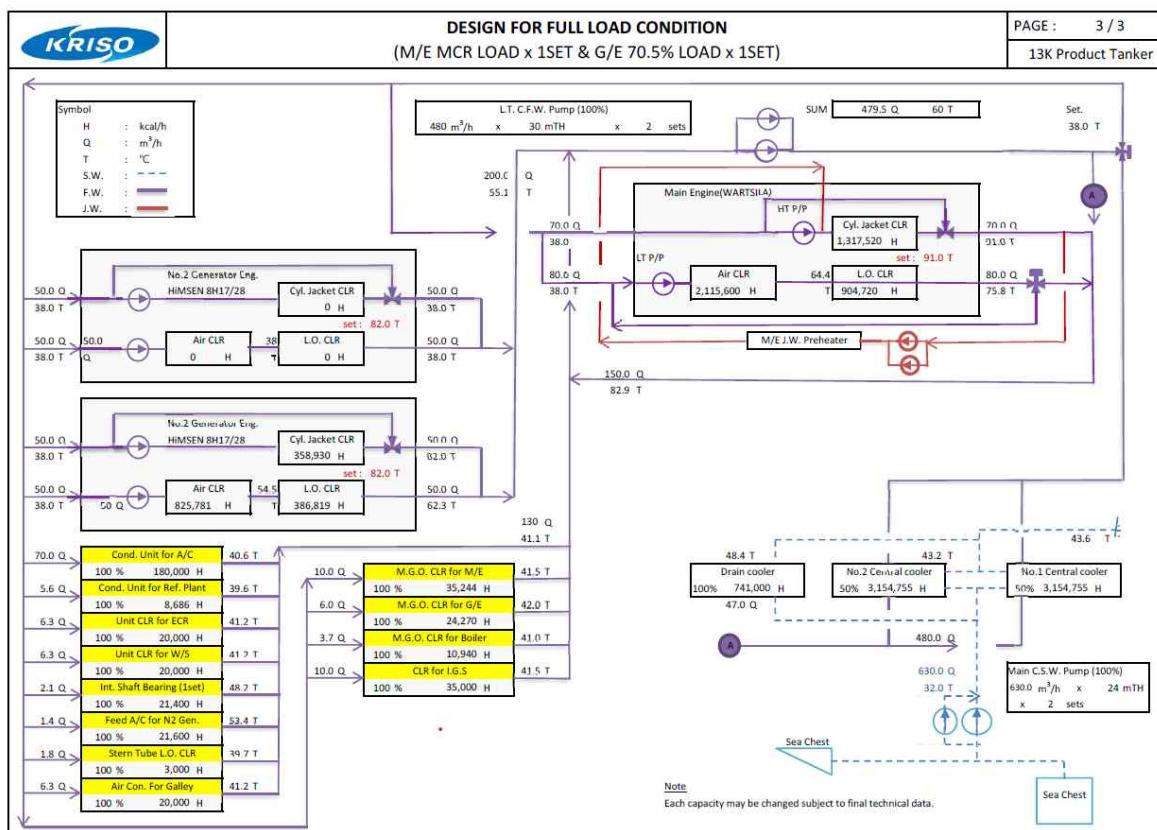


그림 57 Flow chart for heat balance calculation

5

기술개발 결과

항목	요구조건	결과
중소형 조선소 건조 적합 제원 산정 (3사 이상 적합 제원 비교)		
- 소형조선소 건조적합성 검토	검토 결과서	○
- 중형조선소 Aframax Tanker 병렬 건조 검토	선폭 21.0m 이하	선폭 21.0
화물 적재용량		
- DWT	$\geq 13,000 \text{ ton}$	13,045
연료탱크 용량 및 배치		
- EEDI Phase III 만족 Cruising Range 별 연료 탱크 용량 비교	검토 결과서	○
- 연료탱크 용량별 탱크 배치 및 적합성 비교	검토 결과서	○
소요마력 절감		
- 추진효율 향상을 위한 선형개발 (비교선 대비)	반류개선	○
- 비교 실적선 대비 소요마력 절감	2 % 절감	13 % 절감
친환경 연료 추진 시스템		
- 연료 및 엔진조합 등 비교분석	검토 결과서	○
- LFSS 건전성 평가	검토 결과서	○
기본설계 선급 기본승인 (AIP)인증		
- 기본설계 도면 및 LFSS PFD 도면 인증	선급 AIP 획득	○

■ 직육면체형 독립형 탱크의 구조설계

1. 개요

1.1 배경 및 목적

- 메탄을 탱크의 배치를 두고 케이스 스터디 단계에서 메탄을 연료탱크를 상갑판에 설치되는 안이 검토되었으나, 선박 복원성에 문제가 있어 홀드 내로 배치하게 됨. 복원성능에 문제가 없는 경우 상갑판 상에 직육면체 형태로 연료탱크를 배치하는 설계가 유리함
- 직육면체 형상의 독립형 탱크 (Independent tank) 구조설계를 위한 Tool 개발과 건조 원가 절감과 화물창 용량을 증대시키기 위한 방법으로 수행함. 선박의 상갑판 상에 독립형 연료탱크를 설치함으로써, 화물창에 화물을 보다 많이 적재할 수 있으며, 화물창 구역에 별도의 연료탱크를 두지 않음으로써 선박의 scantling length를 줄일 수 있음
- 추가로 개발한 구조설계 Tool을 이용하여 메탄을 연료탱크와 엔진사이에 메탄을 준비하여 공급하는 독립형 서비스 탱크를 설계함
- 본 연구를 수행한 보다 큰 이유는 대형조선소와 중소형 조선소의 선장/기장 설계부에서 다양한 용도의 직육면체 형상의 독립형 탱크를 설계하여 선박에 장착하고 있지만 구조 강도 측면에서의 이론적 근거가 부족한 표준으로 설계하고 있어 이를 개선하고자 수행함. 또한 간편히 사용 가능한 탱크의 scantling 계산 시트를 개발함으로써 적재 화물의 종류/설계 하중 계산/부식여유 선정 등을 잘 고려하여 설계 정확도를 향상 시키고자 함
- 향후, 중소형 조선소에서 선박에 사용하고 있는 수십 여개의 Portable 독립형 탱크들의 설계도면을 본 연구 방법과 비교/검토를 수행하고 구조 경량화를 추구할 필요가 있음. 본 연구는 기존에 사용하던 근거가 부족한 설계표준을 개선하는데 기여할 것으로 판단됨

1.2 적용 규칙 및 참고 문헌

- 국제선급협회(이하 IACS, International Association of Classification Societies)의 2020년 CSR-H (Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers)의 선수의 충격 외압 (Pt.1, Ch10, Sec.1)을 받는 판부재의 치수 식을 사용함
- 최신 건축·토목 구조 매뉴얼 (이엔지북, 2008년 1월)을 인용하여 보강재의 배치에 따른 요구 단면 계수 계산식을 체계화하고 재정립하여 적용하였음

2. 주요 제원

2.1 탱크 배치 검토

- 선급규정과 새로이 정립한 설계식을 이용하여 개발한 간이 엑셀 시트를 이용하여 메탄올 탱크 설계를 진행함
- 최적설계팀 (기본)에서 stability 측면과 필요 설치공간을 고려하여 설계 가능한 메탄올 탱크의 배치 정보와 용량을 확정함
- 일반배치도 (General Arrangement) 상에 나타낸 개념적인 메탄올 탱크와 서비스 탱크의 배치는 아래 그림과 같음. 즉, 현재 고려하는 메탄올 연료탱크 (주황색으로된 표시한 부분)를 선수부 2번 화물창의 상갑판상에 빨간색으로 표시된 독립형 탱크로 재배치함. 기존 주황색의 메탄올 탱크는 향후 화물창으로 사용함으로써 적재용량 증가를 이루고자 함
- 선미부 6번 화물창의 상갑판상에 표시된 서비스탱크 ($35m^3$)에 대한 설계를 위한 scantling 계산을 수행함

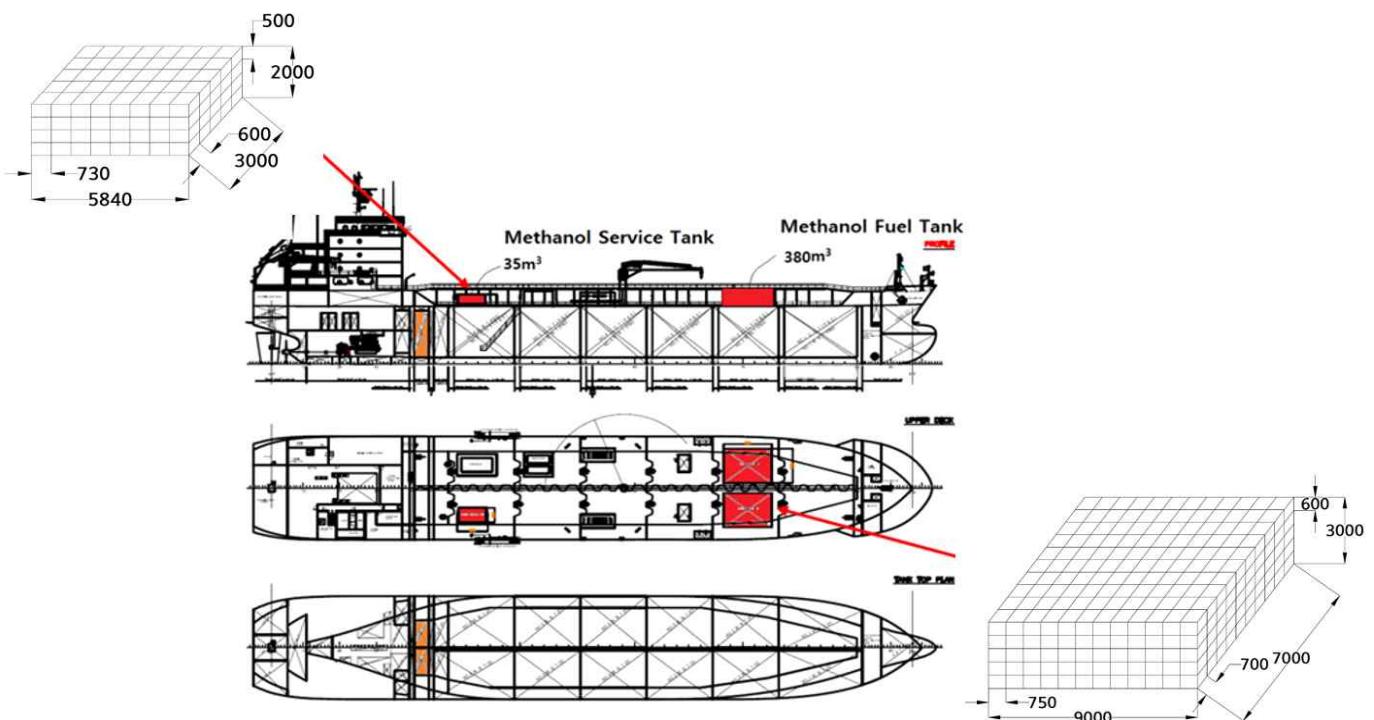


그림 58 일반배치도 상의 독립형 메탄올 서비스 탱크 및 연료탱크 설치 위치

- 최적설계팀(기본)에서 제시한 독립형 메탄올 연료탱크 배치 가능 위치와 용량은 아래와 같음

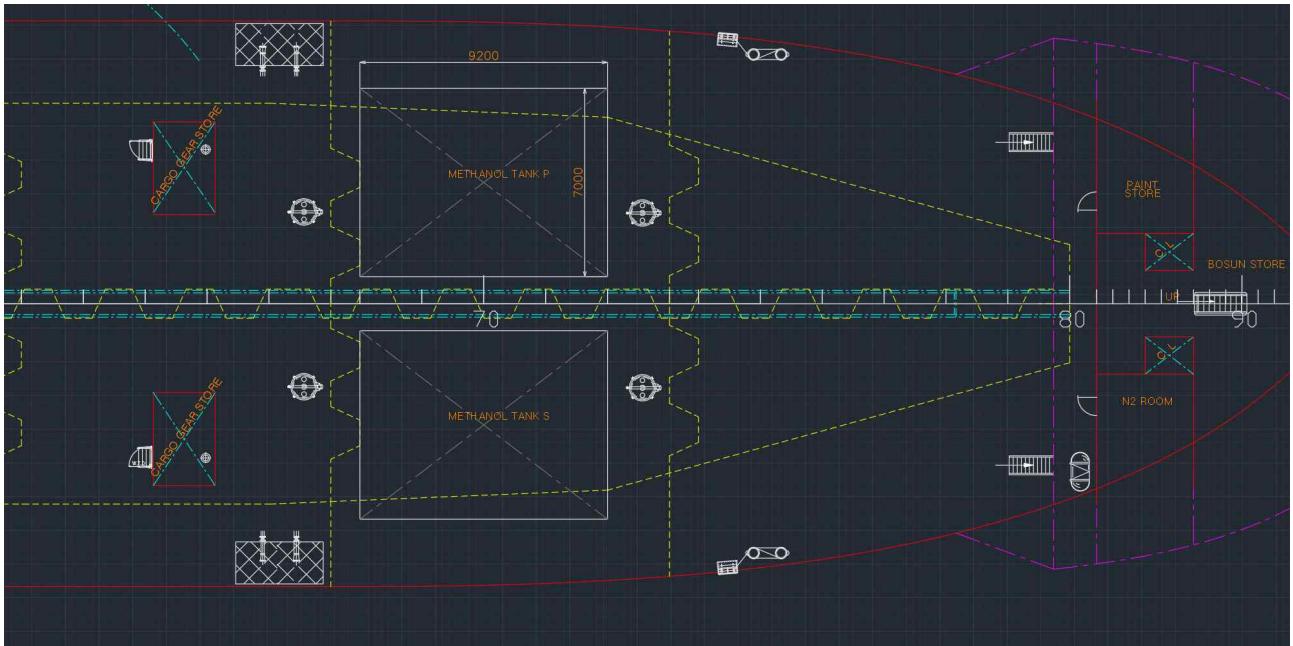


그림 59 독립형 메탄올 연료탱크 설치 위치(Plan view)

	Methanol Tank S	Methanol Tank P
X Position (Fr.)	Fr.68 ~ 72	Fr.68 ~ 72
Y Position (m)	1 ~ 8	-8 ~ -1
Z Position (m)	14 ~ 17	14 ~ 17
Capacity (m^3)	190	190

표 65 독립형 메탄올 연료탱크 설치 탱크 설치 위치

2.2 탱크 제원

- 용량을 만족하는 탱크 사이즈 및 보강재 개수 선정

1) 메탄올 연료 탱크

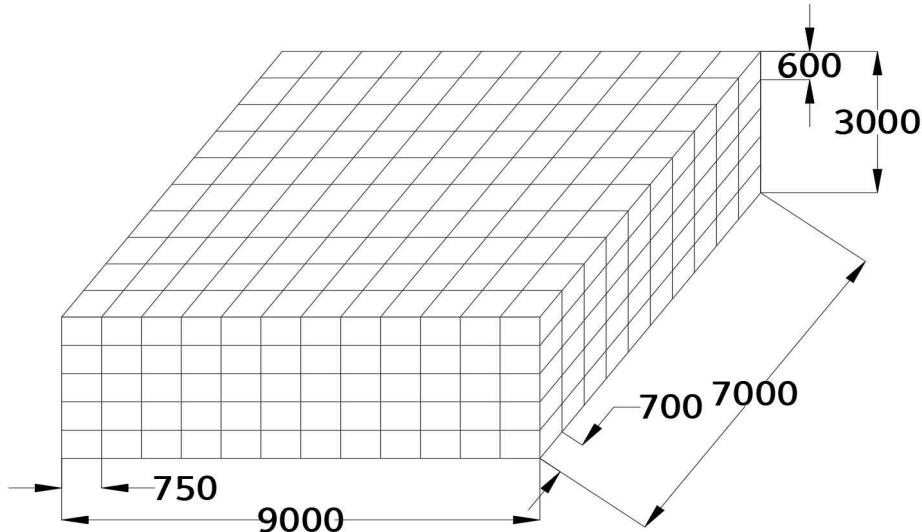


그림 60 메탄올 연료 탱크 치수

목표 탱크 용량 (m ³)	탱크 사이즈 (m)		단위 길이 (mm)	
190	L	7.00	l_L	700
	B	9.00	l_B	750
	H	3.00	l_H	600

표 66 독립형 메탄올 연료탱크 제원 및 보강재 배치

2) 메탄올 서비스 탱크

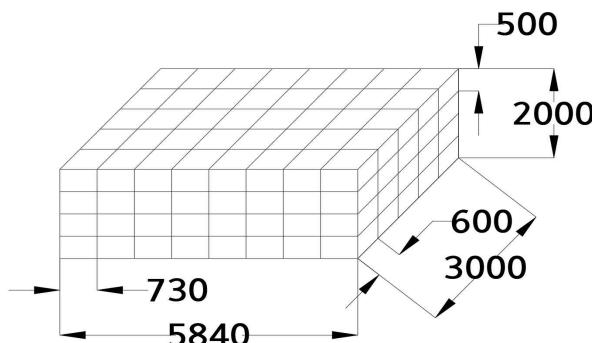


그림 61 메탄올 서비스 탱크 치수

목표 탱크 용량 (m ³)	탱크 사이즈 (m)		단위 길이 (mm)	
35	L	3.00	l_L	600
	B	5.84	l_B	730
	H	2.00	l_H	500

표 67 독립형 메탄올 서비스 탱크 제원 및 보강재 배치

3. 개발 내용

- 본 보고서에 기재하지 않은 강도평가 이론 및 개발 프로그램 사용 방법은 첨부 “ED-SHIP-AR2023-01-직육면체 독립형 탱크에 대한 연구”를 참고할 것
- 개발한 간이 엑셀시트는 크게 매개변수를 기입하는 입력 (Input)과 결과를 계산한 결과가 나오는 출력 (Output)으로 나뉨
- 탱크 치수 설계 및 중량 산출 가능

3.1 메탄올 연료 탱크 설계

3.1.1 설계 1안 (통상적인 구조부재 배치)

- 통상적인 Portable Tank 설계 방법으로 판과 보강재만으로 설계를 수행함

1) 바닥판

Liquid	Type of contents	Methanol	
Dimension	Target structures	Bottom(BxL)	
Global geometry			
Length of tank	L	=	7 m
Breadth of tank	B	=	9 m
Height of tank	H	=	3 m
Height of air vent or pressure relief valve	$H_{air\ vent}$	=	2.5 m
Selection of stiffener arrangement(See Figure)			NxN
No. of stiffener	$N_{Stiffener_B}$	=	9 EA
	$N_{Stiffener_L}$	=	11 EA
Plate			
Length of B side (0xN : Stiffener length)	l_B	=	750 mm
Length of L side	l_L	=	700 mm
Stiffener			Flat bar Internal
Shapes			
Arrangement in tank			
Web height	H_w	=	450 mm
Web thickness	t_w	=	29 mm
Flange width	w_f	=	mm
Flange thickness	t_f	=	mm
Load	Density of liquid	ρ	= 1.024 ton/m ³
	to the top of overflow ($H+H_{air\ vent}$)	h_1	= 5.5 m
	to 2.4m(oil) or 0.9m(water) above top of tank	h_2	= 3.9 m
	Safety factor	SF	= 1
	Design pressure of max(h_1, h_2)	P	= 0.0552 MPa
Material	Kind of material	=	SS275
	Allowable stress		220 MPa
Corrosion	Young's modulus	E	= 206000 MPa
	Poisson's ratio	v	= 0.3
	Corrosion margin for plate	$t_{c,pl}$	= 1.00 mm
	Corrosion margin for stiffener	$t_{c,stf}$	= 1.00 mm

그림 62 바닥판의 두께와 보강재 계산 위한 설계 조건 입력

Result (Output)					
Plate	Assumption: Panel is used as rectangular type, ultimate strength design.				
Coefficient for the plate aspect ratio	a_p	=	0.756		
Coefficient for allowable bending stress	C_a	=	1		
Calculated thickness	t_{net1}	=	3.7	mm	
Slenderness requirement for plate	t_{p1}	=	6.1	mm	
Minimum Gross thickness with corrosion margin	t_{min}	=	8.0	mm	
Design thickness ($t_{gross} \geq t_{min}$)	t_{gross}	=	8.0	mm	
Stiffener	Assumption: used each formulation				
Required net section modulus	Z_{req}	=	1180.98	cm ³	
Actual section modulus	Z_{act}	=	1190.08	cm ³	
Required minimum web thickness	t_{w1}	=	0.217	mm	
$t_w \geq t_{w1}$			OK		
Slenderness requirement for web	t_{w2}	=	22.13	mm	
$t_w > t_{w2}$			OK		
Slenderness requirement for flange ($t_f/t_{fl} \geq 1$)	t_{fl}	=	-	mm	
$t_f \geq t_{fl}$			-		
Length Ratio (L/B or B/L)			1.29		
Correction Factor (K)	K		1.05		
Average M_B, M_L	M_{AVG}	=	222.97	Nm	
Evaluation ($Z_{act}/Z_{req} \geq 1$)		=	1.01		OK

그림 63 바닥판 계산 결과

2) 측면판 (HxL)

Liquid	Type of contents	Methanol		
Dimension	Target structures	Side(HxL)		
	Global geometry			
	Length of tank	L	=	7 m
	Breadth of tank	B	=	9 m
	Height of tank	H	=	3 m
	Height of air vent or pressure relief valve	$H_{air\ vent}$	=	2.5 m
	Selection of stiffener arrangement(See Figure)	NxN		
	No. of stiffener	$N_{Stiffener_H}$	=	9 EA
		$N_{Stiffener_L}$	=	5 EA
Plate				
	Length of H side (0xN : Stiffener length)	l_H	=	500 mm
	Length of L side	l_L	=	700 mm
Stiffener		Flat bar Internal		
	Shapes			
	Arrangement in tank			
	Web height	H_w	=	220 mm
	Web thickness	t_w	=	12 mm
	Flange width	w_f	=	mm
	Flange thickness	t_f	=	mm
Load	Density of liquid	ρ	=	1.024 ton/m ³
	to the top of overflow ($H+H_{air\ vent}$)	h_1	=	5.5 m
	to 2.4m(oil) or 0.9m(water) above top of tank	h_2	=	3.9 m
	Safety factor	SF	=	1
	Design pressure of $\max(h_1, h_2)$	P	=	0.0368 MPa
Material	Kind of material		=	SS275
	Allowable stress		=	220 MPa
Corrosion	Young's modulus	E	=	206000 MPa
	Poisson's ratio	v	=	0.3
	Corrosion margin for plate	t_{c_pl}	=	1.00 mm
	Corrosion margin for stiffener	t_{c_stf}	=	1.00 mm

그림 64 측면판(HxL)의 두께와 보강재 계산 위한 설계 조건 입력

Result (Output)					
Plate	Assumption: Panel is used as rectangular type, ultimate strength design.				
Coefficient for the plate aspect ratio	α_p	=	0.860		
Coefficient for allowable bending stress	C_a	=	1		
Calculated thickness	t_{net}	=	2.5	mm	
Slenderness requirement for plate	t_{pl}	=	4.3	mm	
Minimum Gross thickness with corrosion margin	t_{min}	=	6.0	mm	
Design thickness ($t_{gross} \geq t_{min}$)	t_{gross}	=	7.0	mm	
Stiffener	Assumption: used each formulation				
Required net section modulus	Z_{req}	=	129.59	cm ³	
Actual section modulus	Z_{act}	=	145.05	cm ³	
Required minimum web thickness	t_{w1}	=	0.184	mm	
$t_w \geq t_{w1}$			OK		
Slenderness requirement for web	t_{w2}	=	10.82	mm	
$t_w > t_{w2}$			OK		
Slenderness requirement for flange ($t_f/t_{fl} \geq 1$)	t_{fl}	=	-	mm	
$t_f \geq t_{fl}$			-		
Length Ratio (L/H or H/L)			2.33		
Correction Factor (K)	K		0.68		
Average M_B, M_L	M_{AVG}	=	37.93	Nm	
Evaluation ($Z_{act}/Z_{req} \geq 1$)		=	1.12	OK	

그림 65 측면판(HxL) 계산 결과

3) 측면판(BxH)

Liquid	Type of contents	Methanol		
Dimension	Target structures	Side(BxH)		
Global geometry				
Length of tank	L	=	7	m
Breadth of tank	B	=	9	m
Height of tank	H	=	3	m
Height of air vent or pressure relief valve	$H_{air\ vent}$	=	2.5	m
Selection of stiffener arrangement(See Figure)			NxN	
No. of stiffener	$N_{Stiffener_B}$	=	5	EA
	$N_{Stiffener_H}$	=	11	EA
Plate				
Length of B side (0xN : Stiffener length)	l_B	=	750	mm
Length of H side	l_H	=	500	mm
Stiffener			Flat bar	
Shapes			Internal	
Arrangement in tank				
Web height	H_w	=	220	mm
Web thickness	t_w	=	12	mm
Flange width	w_f	=		mm
Flange thickness	t_f	=		mm
Load	Density of liquid	ρ	=	1,024 ton/m ³
	to the top of overflow ($H+H_{air\ vent}$)	h_1	=	5.5 m
	to 2.4m(oil) or 0.9m(water) above top of tank	h_2	=	3.9 m
	Safety factor	SF	=	1
	Design pressure of $\max(h_1, h_2)$	P	=	0.0368 MPa
Material	Kind of material		=	SS275
	Allowable stress		=	220 MPa
Corrosion	Young's modulus	E	=	206000 MPa
	Poisson's ratio	v	=	0.3
	Corrosion margin for plate	$t_{c,pl}$	=	1.00 mm
	Corrosion margin for stiffener	$t_{c,stf}$	=	1.00 mm

그림 66 측면판(BxH)의 두께와 보강재 계산 위한 설계 조건 입력

Result (Output)				
Plate	Assumption: Panel is used as rectangular type, ultimate strength design			
Coefficient for the plate aspect ratio	α_p	=	0.883	
Coefficient for allowable bending stress	C_s	=	1	
Calculated thickness	t_{cal}	=	2.6	mm
Slenderness requirement for plate	t_{p1}	=	4.3	mm
Minimum Gross thickness with corrosion margin	t_{\min}	=	6.0	mm
Design thickness ($t_{\text{gross}} = t_{\min}$)	t_{gross}	=	7.0	mm
Stiffener	Assumption: used each formulation			
Required net section modulus	Z_{req}	=	137.86	cm ³
Actual section modulus	Z_{act}	=	145.05	cm ³
Required minimum web thickness	t_{w1}	=	0.296	mm
$t_w \geq t_{w1}$			OK	
Slenderness requirement for web	t_{w2}	=	10.82	mm
$t_w > t_{w2}$			OK	
Slenderness requirement for flange ($t_f/t_{f1} \geq 1$)	t_{f1}	=	-	mm
$t_f \geq t_{f1}$			-	
Length Ratio (H/B or B/H)			3.00	
Correction Factor (K)	K		0.52	
Average M_b, M_c	M_{AVG}	=	52.47	Nm
Evaluation ($Z_{\text{act}}/Z_{\text{req}}$)		=	1.05	OK

그림 67 측면판(BxH) 계산 결과

4) 간이 엑셀 시트의 Scantling 결과

- 간이 엑셀 시트의 계산 결과는 아래 표 16와 같음

mm	Plate	Stiffener (mm)
BTM(BxL)	8	F.B 450x29
Side(HxL)	7	F.B 220x12
Side(BxH)	7	F.B 220x12

표 68 개발한 간이 엑셀시트의 탱크 부재 치수 계산 결과

5) 유한요소 해석에 의한 Scantling 결과 검토

- 개발한 간이 엑셀시트의 신뢰성을 확인하기 위하여 바닥판에 대하여 해석 실행

- 하중이 가장 큰 바닥판에 대하여 판 두께와 보강재의 사이즈로 해석 진행

- 유한 요소 해석 소프트웨어

- FEGate for Ship (조선 전용 Pre/Post processor) 사용

- 유한 요소 모델

- 단순지지 (Simple Support)로 경계 조건 반영

- 탱크 판에 대해서는 쉘 (shell)요소로, 보강재는 빔 (beam)요소로 표현함

- 탱크 구조 재료로는 고장력강인 SS275를 사용하였으며 탄성계수 206,000 N/mm², 밀도는 7.85 x 10⁶ kg/mm³ 그리고 포아송 비는 0.3의 성질을 가짐

- SS275의 항복응력은 275 MPa이고, 허용응력은 항복응력의 90 %인 247.5 MPa 임

- 메탄올은 1.024 ton/m³ 밀도를 가지며 그에 따른 압력은 0.055 MPa 임

• 유한 요소 해석 결과

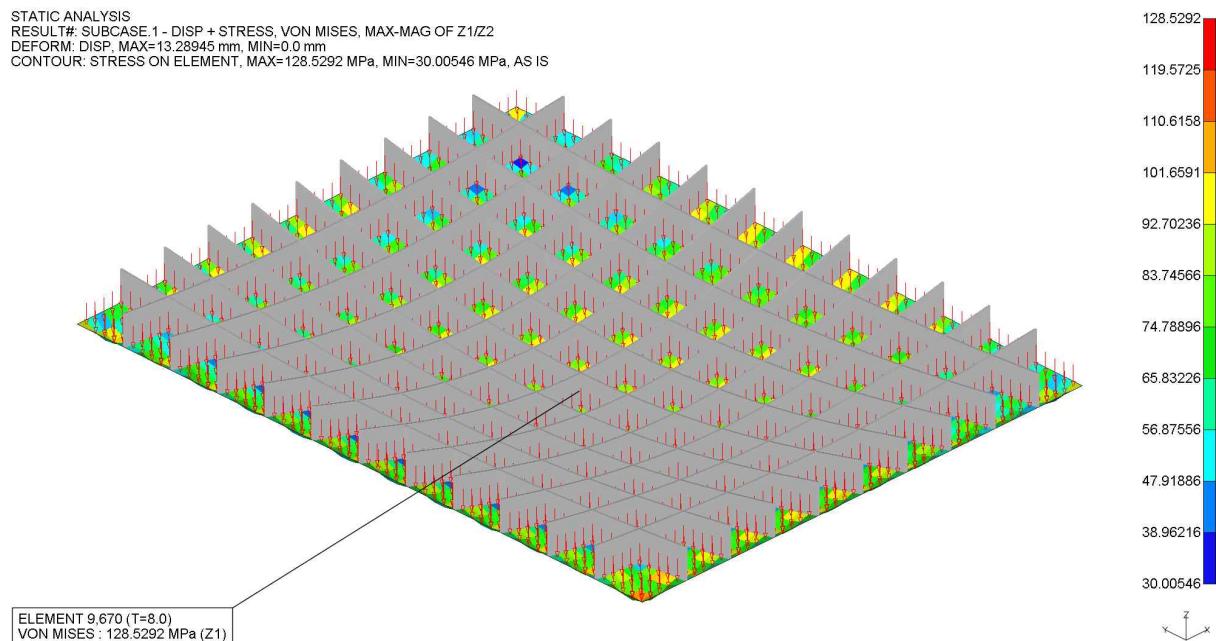


그림 68 판 요소의 von-Mises 등가응력 (MPa)

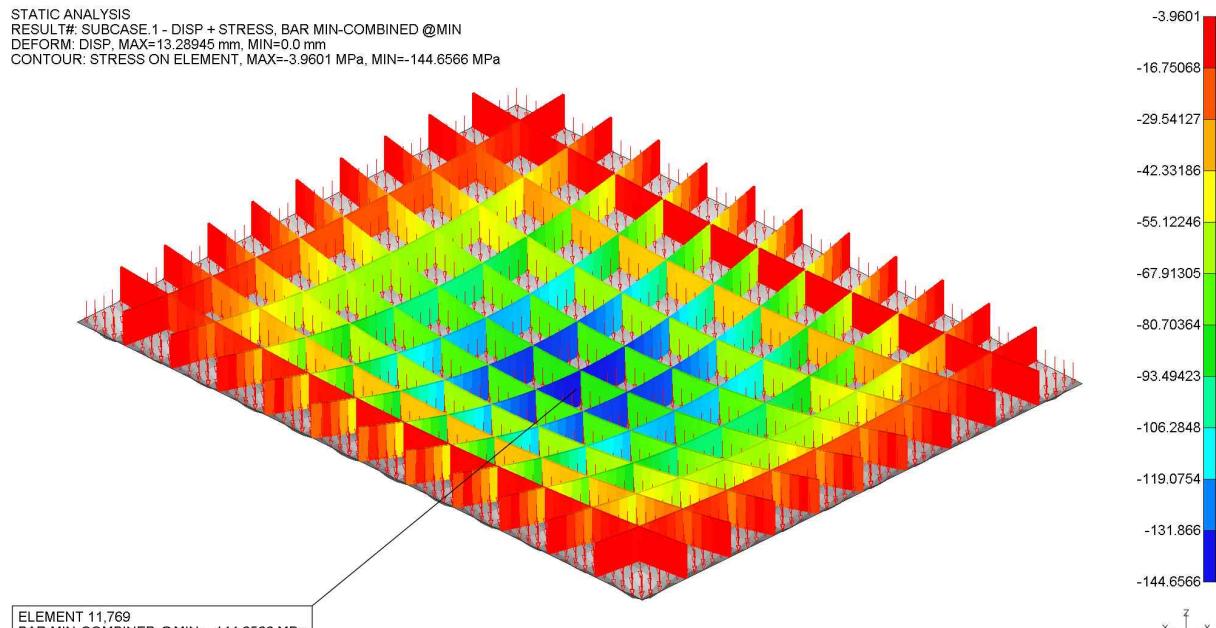


그림 69 보강재 요소의 굽힘과 축응력 (MPa)

6) 간이 엑셀 시트와 유한 요소 해석 결과 비교

- 개발한 엑셀시트와 유한 요소 해석 모두 허용 응력을 만족함을 확인

- 개발한 엑셀시트에서 판 두께는 설계식의 최소값으로 계산됨
- 해당 탱크의 보강재 배치는 NxN 타입으로 설계 불확실성으로 인하여 경계조건을 단순화시킨 이론을 채용하여 허용 응력 대비 24 % 정도의 여유 차를 가져감
- 보강재의 유한 요소 해석 결과는 허용 응력 대비 약 58 % 수준으로 여유차를 많이 가짐

허용응력 (Allowable Stress, 247.5 MPa)	엑셀 시트 (σ_p , MPa)	유한요소해석 (σ_{FEA} , MPa)	비교 결과
Plate (von-Mises stress)	최소 요구 두께	128.53	-
Stiffener (Bending + axial stress)	187.36	144.66	약 23 % 차이

표 69 유한 요소 해석 결과

3.1.2 설계 2안(판, 보강재, 거더 부재 배치)

1) 판과 보강재 치수 결정

- 거더 위치까지의 치수와 보강재 개수를 기입하고 거더 위치를 경계조건으로 보고 계산 실행

Liquid	Type of contents	Methanol	
Dimension	Target structures		Bottom(BxL)
	Global geometry		
	Length of tank	L	= 3.5 m
	Breadth of tank	B	= 4.5 m
	Height of tank	H	= 3 m
	Height of air vent or pressure relief valve	H _{air vent}	= 2.5 m
	Selection of stiffener arrangement(See Figure)		NxN
	No. of stiffener	N _{Stiffener,B}	= 4 EA
		N _{Stiffener,L}	= 5 EA
Plate			
	Length of B side (0xN : Stiffener length)	I _B	= 750 mm
	Length of L side	I _L	= 700 mm
Stiffener			Flat bar Internal
	Shapes		
	Arrangement in tank		
	Web height	H _w	= 260 mm
	Web thickness	t _w	= 15 mm
	Flange width	w _f	= mm
	Flange thickness	t _f	= mm
Load	Density of liquid	ρ	= 1,024 ton/m ³
	to the top of overflow ($H+H_{air\ vent}$)	h ₁	= 5.5 m
	to 2.4m(oil) or 0.9m(water) above top of tank	h ₂	= 3.9 m
	Safety factor	SF	= 1
	Design pressure of max(h_1, h_2)	P	= 0.0552 MPa
Material	Kind of material		SS275
	Allowable stress		= 220 MPa
Corrosion	Young's modulus	E	= 206000 MPa
	Poisson's ratio	v	= 0.3
	Corrosion margin for plate	t _{c,pl}	= 1.00 mm
	Corrosion margin for stiffener	t _{c,st}	= 1.00 mm

그림 70 바닥판 계산 설계 조건 입력

Result				
Plate	Assumption: Panel is used as rectangular type, ultimate strength design			
Coefficient for the plate aspect ratio	α_0	=	0.756	
Coefficient for allowable bending stress	C_s	=	1	
Calculated thickness	t_{eff}	=	3.7	mm
Slenderness requirement for plate	t_{pl}	=	6.1	mm
Minimum Gross thickness with corrosion margin	t_{min}	=	8.0	mm
Design thickness ($t_{gross} \geq t_{min}$)	t_{gross}	=	8.0	mm
Stiffener	Assumption: used each formulation			
Required net section modulus	Z_{eq}	=	246.65	cm ³
Actual section modulus	Z_{act}	=	247.41	cm ³
Required minimum web thickness	t_{w1}	=	0.376	mm
$t_w \geq t_{w1}$			OK	
Slenderness requirement for web	t_{w2}	=	12.78	mm
$t_w > t_{w2}$			OK	
Slenderness requirement for flange ($t_f/t_{fl} \geq 1$)	t_{fl}	=	-	mm
$t_f \geq t_{fl}$			-	
Length Ratio (L/B or B/L)			1.29	
Correction Factor (K)	K		1.05	
Average M_s, M_i	M_{AVG}	=	46.57	Nm
Evaluation ($Z_{act}/Z_{eq} \geq 1$)		=	1.00	OK

그림 71 바닥판 계산 결과

Liquid	Type of contents	Methanol		
Dimension	Target structures	Side(HxL)		
Global geometry				
Length of tank	L	=	3.5	m
Breadth of tank	B	=	4.5	m
Height of tank	H	=	3	m
Height of air vent or pressure relief valve	$H_{air\ vent}$	=	2.5	m
Selection of stiffener arrangement(See Figure)	NxN			
No. of stiffener	$N_{Stiffener,H}$	=	4	EA
	$N_{Stiffener,L}$	=	5	EA
Plate				
Length of H side (0xN : Stiffener length)	l_H	=	500	mm
Length of L side	l_L	=	700	mm
Stiffener				
Shapes	Flat bar			
Arrangement in tank	Internal			
Web height	h_w	=	205	mm
Web thickness	t_w	=	12	mm
Flange width	w_f	=		mm
Flange thickness	t_f	=		mm
Load	Density of liquid	ρ	=	1,024
	to the top of overflow ($H+H_{air\ vent}$)	h_1	=	5.5
	to 2.4m(oil) or 0.9m(water) above top of tank	h_2	=	3.9
	Safety factor	SF	=	1
	Design pressure of $\max(h_1, h_2)$	P	=	0.0368
Material	Kind of material		=	SS275
	Allowable stress		=	247.5
Corrosion	Young's modulus	E	=	206000
	Poisson's ratio	v	=	0.3
	Corrosion margin for plate	$t_{c,pl}$	=	1.00
	Corrosion margin for stiffener	$t_{c,stf}$	=	1.00

그림 72 측면판 (HxL) 계산 설계 조건 입력

Result				
Plate	Assumption: Panel is used as rectangular type, ultimate strength design			
Coefficient for the plate aspect ratio	α_p	=	0.860	
Coefficient for allowable bending stress	C_y	=	1	
Calculated thickness	t_{cal}	=	2.5	mm
Slenderness requirement for plate	t_{pl}	=	4.3	mm
Minimum Gross thickness with corrosion margin	t_{min}	=	6.0	mm
Design thickness (t_{gross}, t_{min})	t_{gross}	=	7.0	mm
Stiffener	Assumption: used each formulation			
Required net section modulus	Z_{eq}	=	93.00	cm ³
Actual section modulus	Z_{act}	=	127.53	cm ³
Required minimum web thickness	t_{w1}	=	0.198	mm
$t_w \geq t_{w1}$			OK	
Slenderness requirement for web	t_{w2}	=	10.08	mm
$t_w > t_{w2}$			OK	
Slenderness requirement for flange ($t_f/t_n \geq 1$)	t_n	=	-	mm
$t_i \geq t_n$			-	
Length Ratio (L/H or H/L)			1.17	
Correction Factor (K)	K	=	1.06	
Average M_b, M_c	M_{AVG}	=	17.38	Nm
Evaluation ($Z_{act}/Z_{eq} > 1$)		=	1.37	OK

그림 73 측면판(HxL) 계산 결과

Liquid	Type of contents	Methanol			
Dimension	Target structures			Side(BxH)	
Global geometry					
Length of tank		L	=	3.5	m
Breadth of tank		B	=	4.5	m
Height of tank		H	=	3	m
Height of air vent or pressure relief valve		$H_{air\ vent}$	=	2.5	m
Selection of stiffener arrangement(See Figure)				NxN	
No. of stiffener		$N_{Stiffener_B}$	=	5	EA
		$N_{Stiffener_H}$	=	5	EA
Plate					
Length of B side (0xN : Stiffener length)		l_B	=	750	mm
Length of H side		l_H	=	500	mm
Stiffener					
Shapes				Flat bar	
Arrangement in tank				Internal	
Web height		H_w	=	205	mm
Web thickness		t_w	=	12	mm
Flange width		w_f	=		mm
Flange thickness		t_f	=		mm
Load	Density of liquid	ρ	=	1,024	ton/m ³
	to the top of overflow ($H + H_{air\ vent}$)	h_1	=	5.5	m
	to 2.4m(oil) or 0.9m(water) above top of tank	h_2	=	3.9	m
	Safety factor	SF	=	1	
	Design pressure of max(h_1, h_2)	P	=	0.0368	MPa
Material	Kind of material		=	SS275	
	Allowable stress			247.5	MPa
Corrosion	Young's modulus	E	=	206000	MPa
	Poisson's ratio	v	=	0.3	
	Corrosion margin for plate	$t_{c,pl}$	=	1.00	mm
	Corrosion margin for stiffener	$t_{c,aff}$	=	1.00	mm

그림 74 측면판 (BxH) 계산 설계 조건 입력

Result				
Plate	Assumption: Panel is used as rectangular type, ultimate strength design			
	Coefficient for the plate aspect ratio	α_p	=	0.883
	Coefficient for allowable bending stress	C_s	=	1
	Calculated thickness	t_{net}	=	2.6 mm
	Slenderness requirement for plate	t_{pl}	=	4.3 mm
	Minimum Gross thickness with corrosion margin	t_{min}	=	6.0 mm
	Design thickness ($t_{gross} \geq t_{min}$)	t_{gross}	=	7.0 mm
Stiffener	Assumption: used each formulation			
	Required net section modulus	Z_{req}	=	124.02 cm ³
	Actual section modulus	Z_{act}	=	127.53 cm ³
	Required minimum web thickness	t_{w1}	=	0.318 mm
	$t_w \geq t_{w1}$			OK
	Slenderness requirement for web	t_{w2}	=	10.08 mm
	$t_w > t_{w2}$			OK
	Slenderness requirement for flange ($t_f/t_n \geq 1$)	t_n	=	- mm
	$t_i \geq t_n$			-
	Length Ratio (H/B or B/H)			1.50
	Correction Factor (K)	K	=	1.00
	Average M_b, M_t	M_{AVG}	=	24.68 Nm
	Evaluation (Z_{act}/Z_{req})		=	1.03 OK

그림 75 측면판 (BxH) 계산 결과

2) 거더 치수 결정

- 보강재 치수 결정식과 동일한 이론으로 0xN, 1xN, NxN 으로 나누어짐
- 단위길이 l_B, l_L 은 굽힘 모멘트 계산시 필요한 값으로 거더와 거더 사이의 길이임
- 바닥판과 측면판에 동일한 치수의 거더 사용 예정으로 거더의 단면 계수 계산 시 판 두께는 바닥판과 측면판 중 최소 두께로 계산

Liquid	Type of contents	Methanol	
Dimension	Target structures	Bottom(BxL)	
Global geometry			
Length of tank	L	=	7 m
Breadth of tank	B	=	9 m
Height of tank	H	=	3 m
Height of air vent or pressure relief valve	$H_{air\ vent}$	=	2.5 m
Selection of stiffener arrangement(See Figure)			1xN
No. of stiffener	$N_{Stiffener_B}$	=	1 EA
	$N_{Stiffener_L}$	=	1 EA
For Pressure			
Length of B side (0xN : Stiffener length)	l_B	=	4500 mm
Length of L side	l_L	=	3500 mm
Stiffener			
Shapes			T bar
Arrangement in tank			Internal
Web height	H_w	=	720 mm
Web thickness	t_w	=	16 mm
Flange width	w_f	=	200 mm
Flange thickness	t_f	=	25 mm
Load	Density of liquid	ρ	1.024 ton/m ³
	to the top of overflow ($H+H_{air\ vent}$)	h_1	5.5 m
	to 2.4m(oil) or 0.9m(water) above top of tank	h_2	3.9 m
	Safety factor	SF	1
	Design pressure of max(h_1, h_2)	P	0.0552 MPa
Material	Kind of material	=	SS275
Corrosion	Young's modulus	E	206000 MPa
	Poisson's ratio	v	0.3
	Corrosion margin for plate	t_{c_pl}	1.00 mm
	Corrosion margin for stiffener	t_{c_stf}	1.00 mm
Plate	Assumption: Panel is used as rectangular type, ultimate strength design.		
	Gross thickness with corrosion margin	t_{gross}	7.0 mm

그림 76 거더 치수 계산 설계 조건 입력

Result				
Girder	Assumption: used each formulation			
Required net section modulus	Z _{req}	=	3833.69	cm ³
Actual section modulus	Z _{act}	=	3876.81	cm ³
Required minimum web thickness	t _{w1}	=	4.891	mm
t _w ≥ t _{w1}			OK	
Slenderness requirement for web	t _{w2}	=	10.02	mm
t _w ≥ t _{w2}			OK	
Slenderness requirement for flange	t _{f1}	=	9.01	mm
t _f ≥ t _{f1}			OK	
Length Ratio (L/B or B/L)			-	
Correction Factor (K)	K	=	-	
Average M _B , M _L	M _{Avg}	=	-	Nm
Evaluation (Z _{act} / Z _{req}) > 1		=	1.01	OK

그림 77 거더 계산 결과

3) 유한요소 구조해석

- 허용응력은 CSR-H의 외판의 판 두께 치수식과 단면계수 식과 같이 항복응력의 90% 를 적용하였다.

STATIC ANALYSIS
 RESULT#: SUBCASE.1 - DISP + STRESS, VON MISES, LAYER=Z2
 DEFORM: DISP, MAX=12.52242 mm, MIN=0.0 mm
 CONTOUR: STRESS ON ELEMENT, MAX=158.0966 MPa, MIN=3.322718 MPa, AS IS

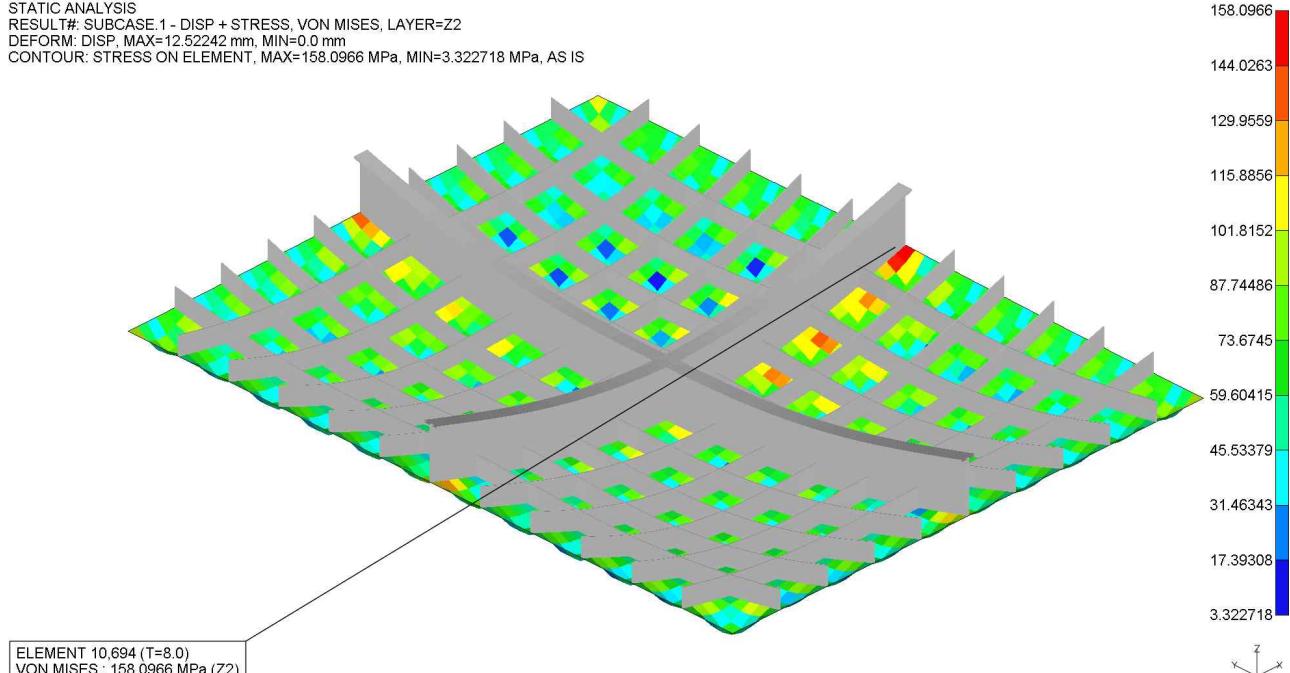


그림 78 판요소의 von-Mises 응력 (MPa)

STATIC ANALYSIS
RESULT# SUBCASE.1 - DISP + STRESS, BAR MIN-COMBINED @MIN
DEFORM: DISP, MAX=12.52242 mm, MIN=0.0 mm
CONTOUR: STRESS ON ELEMENT, MAX=2.286842 MPa, MIN=-137.3327 MPa

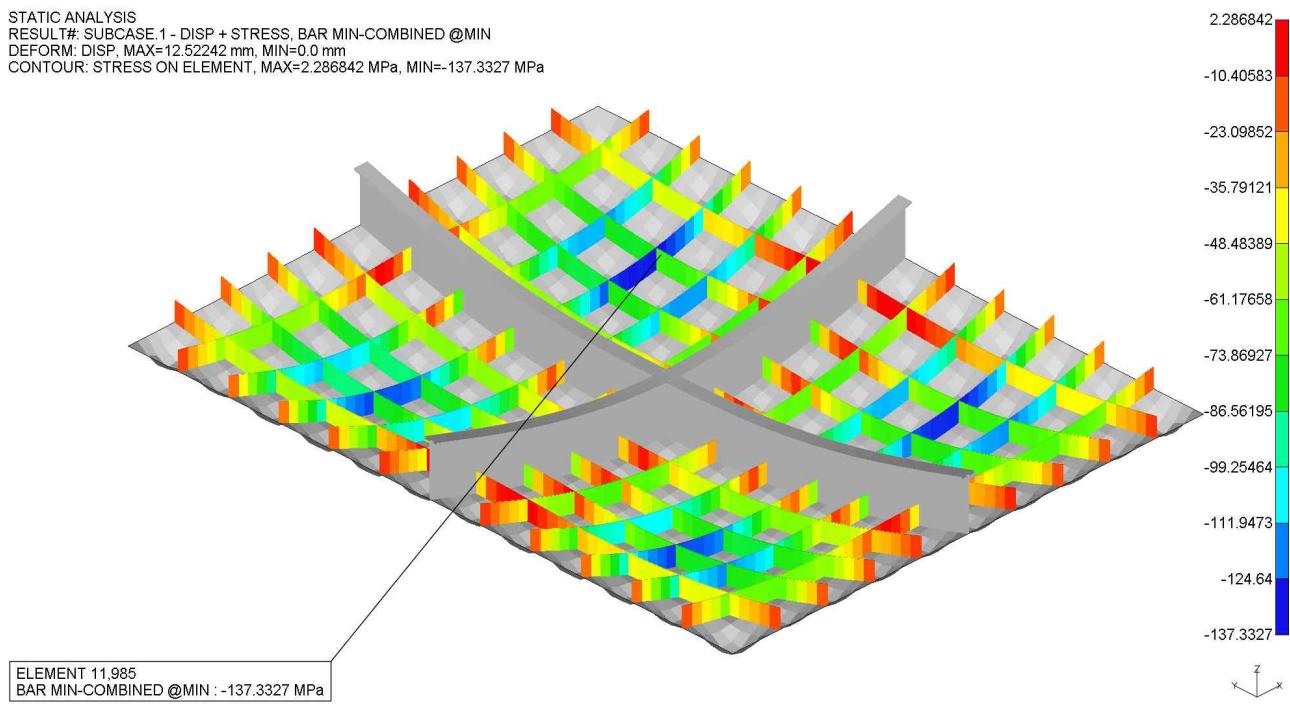


그림 79 보강재요소의 굽힘과 축응력 (MPa)

STATIC ANALYSIS
RESULT# SUBCASE.1 - DISP + STRESS, BEAM MIN-COMBINED @MIN
DEFORM: DISP, MAX=12.52242 mm, MIN=0.0 mm
CONTOUR: STRESS ON ELEMENT, MAX=-17.05711 MPa, MIN=-213.2098 MPa

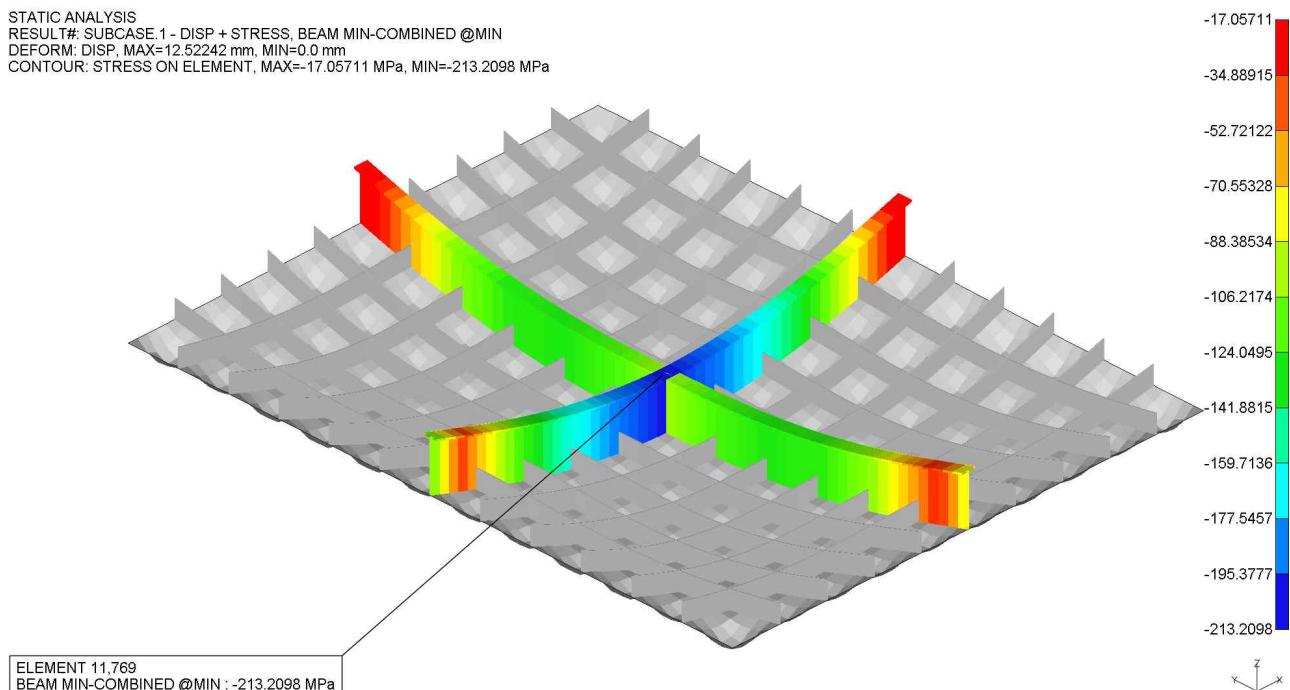


그림 80 거더요소의 굽힘과 축응력 (MPa)

4) 간이 엑셀 시트와 유한 요소 해석 결과 비교

- 보강재의 경우, 3.2.1절에서 언급한 것과 같이 경계조건을 단순지지인 이론을 채용하여 허용 응력 대비 24% 정도의 여유치를 가져감
- 보강재의 개발한 엑셀시트 계산 결과 허용응력의 76% 수준

- 보강재의 유한 요소 해석 결과는 허용 응력 대비 약 55 % 수준으로 여유 치를 많이 가져감으로 개발한 엑셀시트의 경계 조건을 고정지지 조건으로 조정 필요하여 유한요소해석 필요 rev.02에 반영 예정임
- 해당 탱크의 거더 타입은 1xN 타입으로 개발한 엑셀시트에서 적용된 경계조건이 고정지지 조건임. 개발한 엑셀시트의 결과는 허용응력에 가까운 값인 240.12 MPa로 도출되었고 유한요소 해석과의 차이는 11 % 정도로 유사함을 확인함

허용응력 (Allowable Stress, 247.5 MPa)	엑셀 시트 (σ_p , MPa)	유한요소해석 (σ_{FEA} , MPa)	비고
Plate (von-Mises stress)	최소 요구 두께	158.10	-
Stiffener (NxN) (Bending + axial stress)	188.22	137.33	약 27 % 차이
Girder (1xN) (Bending + axial stress)	240.12	213.21	약 11% 차이

표 70 거더 추가 시 유한 요소 해석 결과

3.1.3 설계 1안과 2안의 결과 비교

- 비교 결과 추가로 거더 설치 시 처짐, 탱크 용량 및 중량에 유리한 것을 확인
- 탱크 사이즈가 크거나 압력이 크게 작용하는 경우 거더를 추가 설치하는 것을 추천. 본 계산에서는 설계 1안 대비 38 % 정도의 중량 경감이 되어 19.6톤 정도 강재 중량이 줄어 들음

	설계 1안	설계 2안	비고
Bottom Plate(mm)	8	8	
Stiffener(mm)	450x29 (F.B)	260x15 (F.B)	
Girder(mm)	-	720x16+200x25 (T)	
Displacement(mm)	13.29	12.52	2안 유리
Tank capacity(m ³)	182.26	184.83	2안 유리
Tank Steel Shelf Weight(ton)	50.61	31.05	2안 유리

표 71 거더 설치 유무에 따른 결과 비교

3.1.4 독립형 탱크 설치 시 경제성 평가

- 상갑판상에 메탄올 독립형 탱크를 설치하는 것에 대한 경제성 평가를 아래의 표로 정리 함
- 메탄올 독립형 연료탱크를 상갑판상에 설치함으로써 계산되는 경제적 이득은 15억 원 정도로 추정됨

		계산 근거	단위 (천원)	비용(천원)
독립형 탱크 설계/제작 비용(A)	설계/해석 비용	사용 M/H : 100	M/H =100	10,000
	탱크 외주제작 비용	총 중량 : 32.7ton x 2EA	천원/ton =4,500	294,390
	선박에 설치비용(도장비 포함)	총 중량 : 32.7ton x 2EA	천원/ton =1,000	65,420
	소계			369,810
화물 수송비	화물창 용량 증가로 인한 수송비 이득	화물창 용량 : 185m ³ x 2EA	연간 4항차 기준 운송료 m ³ /year = 200	25yrs x =1,850,000
경제성 평가	운송비-제작비 =B-A			1,470,190

표 72 경제성 평가(독립형 탱크 설치 후)

3.2 메탄을 서비스 탱크 설계

1) 바닥판

Liquid	Type of contents	Methanol		
Dimension	Target structures	Bottom(BxL)		
	Global geometry			
Length of tank	L	=	3	m
Breadth of tank	B	=	5.84	m
Height of tank	H	=	2	m
Height of air vent or pressure relief valve	H _{air vent}	=	2.5	m
Selection of stiffener arrangement(See Figure)			NxN	
No. of stiffener	N _{Stiffener_B}	=	4	EA
	N _{Stiffener_L}	=	7	EA
Plate				
Length of B side (0xN : Stiffener length)	I _B	=	730	mm
Length of L side	I _L	=	600	mm
Stiffener				
Shapes			Flat bar	
Arrangement in tank			Internal	
Web height	H _w	=	230	mm
Web thickness	t _w	=	13	mm
Flange width	w _f	=		mm
Flange thickness	t _f	=		mm
Load	Density of liquid	ρ	=	1.024 ton/m ³
	to the top of overflow (H+H _{air vent})	h ₁	=	4.5 m
	to 2.4m(oil) or 0.9m(water) above top of tank	h ₂	=	2.9 m
	Safety factor	SF	=	1
	Design pressure of max(h ₁ , h ₂)	P	=	0.0452 MPa
Material	Kind of material		=	SS275
	Allowable stress		=	247.5 MPa
Corrosion	Young's modulus	E	=	206000 MPa
	Poisson's ratio	v	=	0.3
	Corrosion margin for plate	t _{c,pl}	=	1.00 mm
	Corrosion margin for stiffener	t _{c,stiff}	=	1.00 mm

그림 81 바닥판의 두께와 보강재 계산 위한 설계 조건 입력

Result (Output)				
Plate	Assumption: Panel is used as rectangular type, ultimate strength design			
	Coefficient for the plate aspect ratio	α_p	=	0.809
	Coefficient for allowable bending stress	C _a	=	1
	Calculated thickness	t _{net1}	=	3.1 mm
	Slenderness requirement for plate	t _{p1}	=	5.2 mm
	Minimum Gross thickness with corrosion margin	t _{min}	=	7.0 mm
	Design thickness (t _{gross} +t _{min})	t _{gross}	=	7.0 mm
Stiffener	Assumption: used each formulation			
	Required net section modulus	Z _{req}	=	164.96 cm ³
	Actual section modulus	Z _{act}	=	169.22 cm ³
	Required minimum web thickness	t _{w1}	=	0.330 mm
	t _w ≥t _{w1}			OK
	Slenderness requirement for web	t _{w2}	=	11.31 mm
	t _w >t _{w2}			OK
	Slenderness requirement for flange (t _f /t _{f1} ≥1)	t _{f1}	=	- mm
	t _f ≥t _{f1}			-
	Length Ratio (L/B or B/L)			1.95
	Correction Factor (K)	K	=	0.82
	Average M _B ,M _L	M _{Avg}	=	39.84 Nm
	Evaluation (Z _{act} /Z _{req})>1		=	1.03 OK

그림 82 바닥판 계산 결과

2) 측면판(HxL)

Liquid	Type of contents	Methanol		
Dimension	Target structures	Side(HxL)		
Global geometry				
Length of tank	L	=	3	m
Breadth of tank	B	=	5.84	m
Height of tank	H	=	2	m
Height of air vent or pressure relief valve	H _{air vent}	=	2.5	m
Selection of stiffener arrangement(See Figure)			NxN	
No. of stiffener	N _{Stiffener_H}	=	4	EA
	N _{Stiffener_L}	=	3	EA
Plate				
Length of H side (0xN : Stiffener length)	I _H	=	500	mm
Length of L side	I _L	=	600	mm
Stiffener			Flat bar	
Shapes			Internal	
Arrangement in tank				
Web height	H _w	=	150	mm
Web thickness	t _w	=	8	mm
Flange width	w _f	=		mm
Flange thickness	t _f	=		mm
Load	Density of liquid	ρ	=	1,024 ton/m ³
	to the top of overflow (H+H _{air vent})	h ₁	=	4.5 m
	to 2.4m(oil) or 0.9m(water) above top of tank	h ₂	=	2.9 m
	Safety factor	SF	=	1
	Design pressure of max(h ₁ ,h ₂)	P	=	0.0301 MPa
Material	Kind of material		=	SS275
	Allowable stress		=	220 MPa
Corrosion	Young's modulus	E	=	206000 MPa
	Poisson's ratio	v	=	0.3
	Corrosion margin for plate	t _{c,pl}	=	1.00 mm
	Corrosion margin for stiffener	t _{c,stf}	=	1.00 mm

그림 83 측면판(HxL)의 두께와 보강재 계산 위한 설계 조건 입력

Result (Output)				
Plate	Assumption: Panel is used as rectangular type, ultimate strength design			
	Coefficient for the plate aspect ratio	a_p	=	0.803
	Coefficient for allowable bending stress	C _x	=	1
	Calculated thickness	t _{cal}	=	2.1 mm
	Slenderness requirement for plate	t _{p1}	=	4.3 mm
	Minimum Gross thickness with corrosion margin	t _{min}	=	6.0 mm
	Design thickness (t _{gross} >t _{min})	t _{gross}	=	6.0 mm
Stiffener	Assumption: used each formulation			
	Required net section modulus	Z _{req}	=	34.75 cm ³
	Actual section modulus	Z _{act}	=	47.12 cm ³
	Required minimum web thickness	t _{w1}	=	0.190 mm
	t _w ≥t _{w1}			OK
	Slenderness requirement for web	t _{w2}	=	7.38 mm
	t _w >t _{w2}			OK
	Slenderness requirement for flange (t _f /t _n ≥1)	t _n	=	- mm
	t _f ≥t _n			-
	Length Ratio (L/H or H/L)			1.50
	Correction Factor (K)	K	=	1.00
	Average M _s ,M _L	M _{AVG}	=	6.91 Nm
	Evaluation (Z _{act} /Z _{req})>1		=	1.36 OK

그림 84 측면판(HxL) 계산 결과

3) 측면판(BxH)

Liquid	Type of contents		Methanol	
Dimension	Target structures		Side(BxH)	
Global geometry				
Length of tank	L	=	3	m
Breadth of tank	B	=	5.84	m
Height of tank	H	=	2	m
Height of air vent or pressure relief valve	H _{air vent}	=	2.5	m
Selection of stiffener arrangement(See Figure)			NxN	
No. of stiffener	N _{Stiffener_B}	=	3	EA
	N _{Stiffener_H}	=	7	EA
Plate				
Length of B side (0xN : Stiffener length)	l _B	=	730	mm
Length of H side	l _H	=	500	mm
Stiffener				
Shapes			Flat bar	
Arrangement in tank			Internal	
Web height	H _w	=	150	mm
Web thickness	t _w	=	8	mm
Flange width	w _f	=		mm
Flange thickness	t _f	=		mm
Load	Density of liquid	ρ	=	1.024 ton/m ³
	to the top of overflow (H+H _{air vent})	h ₁	=	4.5 m
	to 2.4m(oil) or 0.9m(water) above top of tank	h ₂	=	2.9 m
	Safety factor	SF	=	1
	Design pressure of max(h ₁ , h ₂)	P	=	0.0301 MPa
Material	Kind of material		=	SS275
	Allowable stress		=	220 MPa
Corrosion	Young's modulus	E	=	206000 MPa
	Poisson's ratio	v	=	0.3
	Corrosion margin for plate	t _{c,pl}	=	1.00 mm
	Corrosion margin for stiffener	t _{c,aff}	=	1.00 mm

그림 85 측면판(BxH)의 두께와 보강재 계산 위한 설계 조건 입력

Result (Output)				
Plate	Assumption: Panel is used as rectangular type, ultimate strength design			
	Coefficient for the plate aspect ratio	α_p	=	0.874
	Coefficient for allowable bending stress	C _b	=	1
	Calculated thickness	t _{calc}	=	2.3 mm
	Slenderness requirement for plate	t _{p1}	=	4.3 mm
	Minimum Gross thickness with corrosion margin	t _{min}	=	6.0 mm
	Design thickness (t _{gross} = t _{min})	t _{gross}	=	6.0 mm
Stiffener	Assumption: used each formulation			
	Required net section modulus	Z _{req}	=	44.49 cm ³
	Actual section modulus	Z _{act}	=	47.12 cm ³
	Required minimum web thickness	t _{w1}	=	0.337 mm
	t _w ≥ t _{w1}			OK
	Slenderness requirement for web	t _{w2}	=	7.38 mm
	t _w > t _{w2}			OK
	Slenderness requirement for flange (t _f /t _n ≥ 1)	t _{f1}	=	- mm
	t _f ≥ t _{f1}			-
	Length Ratio (H/B or B/H)			2.92
	Correction Factor (K)	K	=	0.54
	Average M _s , M _k	M _{avg}	=	16.44 Nm
	Evaluation (Z _{act} /Z _{req} ≥ 1)		=	1.06 OK

그림 86 측면판(HxL) 계산 결과

4) 간이 엑셀 시트의 Scantling 결과

- 간이 엑셀 시트의 계산 결과는 아래 표 73와 같음

		Plate	Stiffener (mm)
Tank Scantling	BTM (BxL)	7	F.B 230x13
	Side (HxL)	6	F.B 150x8
	Side (BxH)	6	F.B 150x8
Tank Steel Shelf Weight (ton)	3.59	3.00	
		6.59	

표 73 개발한 간이 엑셀시트의 탱크 부재 치수 계산 결과

4. 직육면체형 독립형 탱크 구조설계 결론

- 본 과제는 직육면체 형태의 독립형 탱크를 설계하고자 이론을 검토하고 정확하게 설계를 수행할 수 있는 새로운 표준을 정립하고자 수행함. 정확도 향상과 사용상 편리를 위하여 간이 계산 엑셀시트를 개발하였으며 다양한 액체 화물을 싣는 직육면체 독립형 탱크를 손쉽게 설계할 수 있도록 개발함
- 메탄올은 일반적인 대기압과 상온에서도 액체 상태를 유지하기 때문에 고압력 또는 극저온 압력용기가 아닌 부피 측면에서 유리한 직사각형 형태의 독립형 탱크로 설계가 가능함. 설치공간상의 제약을 극복할 수 있게 탱크의 사이즈를 조절하여 설계할 수 있으며 기관실에 국한되는 것이 아닌 데크 위에 추가적으로 탱크 설치 여부 고려가 가능함
- 현재의 개발한 엑셀시트는 version 0.1로 경계조건을 수정할 예정에 있음. 향후 호선에 적용하여 테스트 후 실무에 적용할 것을 권장
- 거더를 설치하면 보강재에 걸리는 하중을 경감하여 구조부재의 건전성을 유지할 수 있을 뿐 아니라 탱크의 중량도 경감할 수 있음
- 고압 탱크 또는 극저온 액체를 저장하는 경우, 압력과 열하중에 잘 견디는 구조인 보강원통 (Stiffened Cylinder) 형태로 설계하는 것을 추천함
- 본 계산결과에 의하면 13K급 Product/Chemical Tanker에 메탄올 독립형 연료탱크를 상갑판상에 설치할 때 예상되는 경제적 이득은 15억 원 정도로 추정됨

최적설계

- 첨부 01. ED-SHIP AR2023-01_일반배치도
- 첨부 02. ED-SHIP AR2023-01_비손상복원성계산서
- 첨부 03. ED-SHIP AR2023-01_손상복원성계산서
- 첨부 04. ED-SHIP AR2023-01_건현계산서
- 첨부 05. ED-SHIP AR2023-01_EEDI계산서

 성능개발

- 첨부 06. ED-SHIP AR2023-01_선형개발
- 첨부 07. ED-SHIP AR2023-01_Rudder Bulb & WED
- 첨부 08. ED-SHIP AR2023-01_모형시험

 친환경추진설계

- 첨부 09. ED-SHIP AR2023-01_의장수계산서
- 첨부 10. ED-SHIP AR2023-01_계류배치도
- 첨부 11. ED-SHIP AR2023-01_거주구배치도
- 첨부 12. ED-SHIP AR2023-01_기관실배치도
- 첨부 13. ED-SHIP AR2023-01_전력조사표
- 첨부 14. ED-SHIP AR2023-01_LFSS Process Flow Diagram
- 첨부 15. ED-SHIP AR2023-01_Methanol Fuel Preparation Room
- 첨부 16. ED-SHIP AR2023-01_Heat & Mass Balance.pptx
- 첨부 17. ED-SHIP AR2023-01_Heat Balance

 구조설계

- 첨부 18. ED-SHIP-AR2023-01_직육면체 독립형 탱크
- 첨부 19. ED-SHIP-AR2023-01_직육면체 독립형 탱크 강도평가