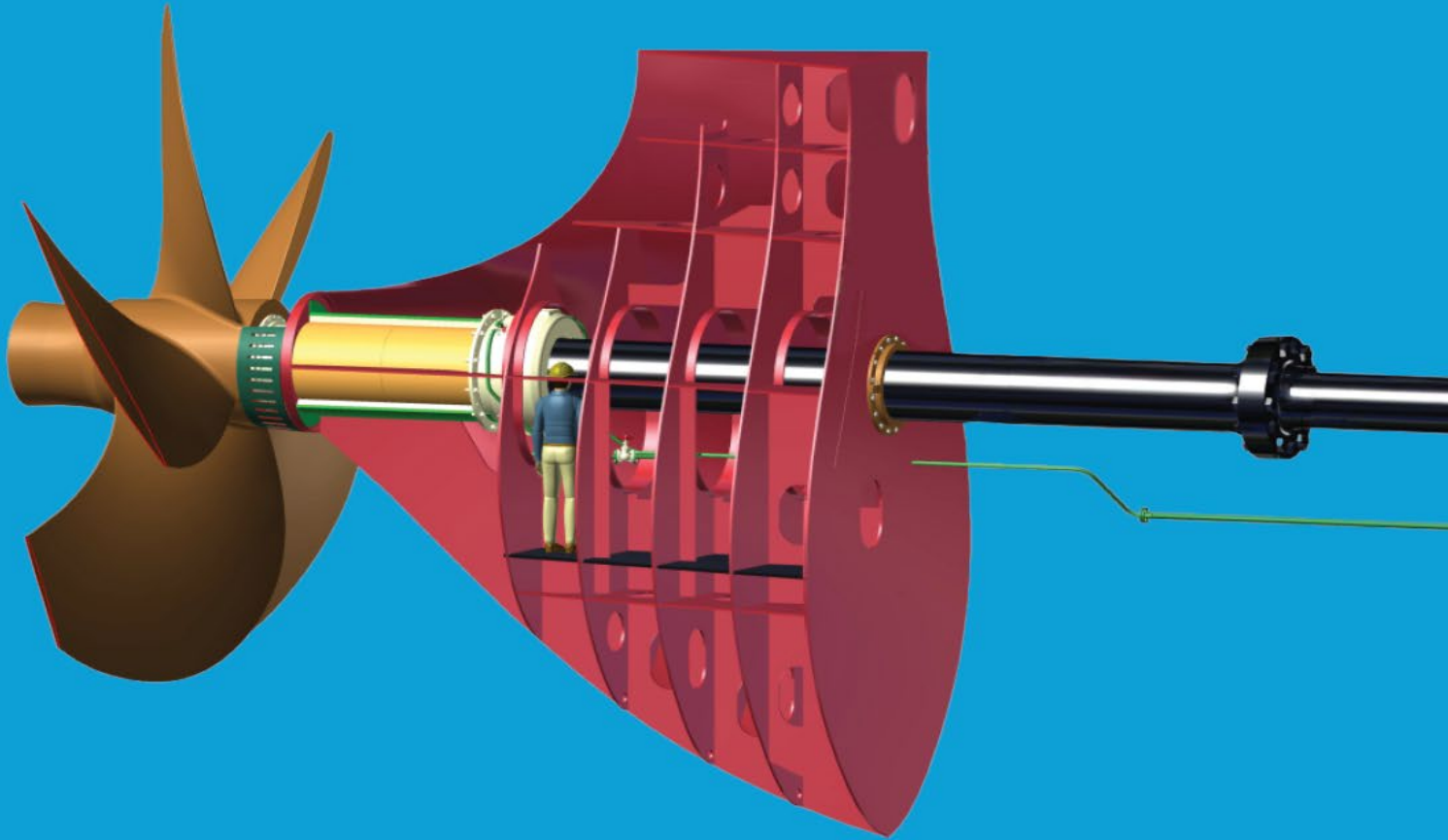




프로펠러 샤프트 지지용 배치 및 서비스 방법 — Wärtsilä 의 라이선스 하에, 특허 CN109641644(B), EP3475165(B1), KR101979186(B1)에 따른 기술.

157,000 DWT 수에즈막스 원유 운반선 신조선에 대한 기존 밀폐식 오일 윤활 스텐튜브 시스템과 T-BOSS® 스텐튜브리스 해수 윤활 샤프트라인의 사례 연구 — 자본적 지출 (CAPEX) 영향 분석

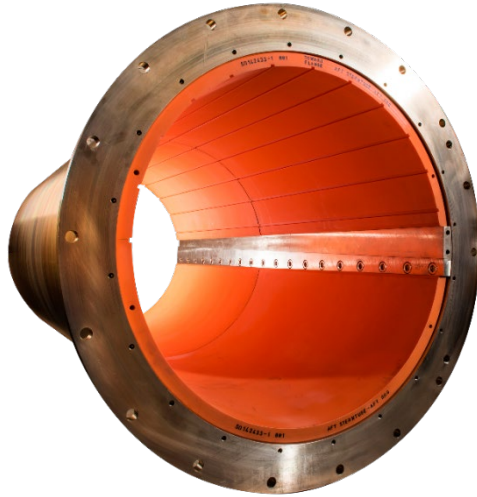
2026 년 1 월 20 일, Thordon Bearings Inc. 발행 백서 ©

목차

1. 요약 (Executive Summary).....	4
2. T-BOSS® 설계	6
3. 프로토타입 선박	7
4. 기술 비교	8
4.1 스텐튜브 썰 및 베어링 시스템	9
4.2 배관 시스템	9
4.3 구조적 개조	10
4.4 축계 개조	12
4.5 의장 개조	13
4.6 표면 처리 및 도장.....	13
4.7 전기 시스템 개조	14
4.8 시험/검사 절차.....	15
4.9 규제 측면	16
5. 추가적인 이점.....	18
5.1 스텐튜브 윤활유 비용 절감	18
5.2 축계 길이 감소	19
5.3 연료 절감 잠재력.....	22
5.4 검사, 유지보수 및 교체 용이성 향상	23
결론 및 종합 의견	25

1. 요약 (Executive Summary)

본 연구는 수에즈막스 프로토타입 선박을 사례로 하여, 신조선에 적용되는 T-BOSS® 스텐튜브리스 축계 솔루션과 기존 공기 밀폐식 오일 윤활 스텐튜브 시스템을 비교·평가한다. 비교 범위는 쉘 시스템, 배관, 구조 공사, 축계, 의장, 도장, 전기 시스템, 시험 및 규제 측면 등 선박 건조의 모든 분야를 포함한다.



브론즈 캐리어에 장착된 COMPAC 엘라스토머 폴리머 베어링

현재 분석에 따르면, 두 솔루션은 다음과 같은 결과를 보인다:

- T-BOSS® 설계 적용 시 조선 공정 인건비 및 설치 비용이 더 낮다
- 본 사례 연구에서 T-BOSS® 설계 적용 시 프로펠러 축 길이가 1.7m 감소한다

이러한 분야별 비교를 넘어, T-BOSS®는 설계 측면, 운용 측면 및 수명주기 경제성 측면에서 뚜렷한 이점을 제공한다:

스텐튜브 FWD 베어링 제거:

설계자/조선소는 축계를 단축할 수 있는 더 큰 유연성을 확보하게 되며, 기존의 제약 요소 중 하나를 제거함으로써 주기관을 선미 쪽으로 더 이동시킬 수 있다. 이는 화물 적재 공간 활용도를 향상시킬 수 있으며, 대상 선박의 경우 약 660 m³의 추가 용적 증가가 예비적으로 추정된다.

또는 주기관 후방에 확보된 공간을 활용하여 축발전기 설치가 가능하며, 이는 중간축 베어링 배치의 유연성 증가에 의해 지원된다. 이 옵션은 현대의 세장형 선체 설계에서 공간 제약이 더욱 엄격해지는 상황에서 특히 유용하다. 축발전기 설치에 이중연료선 및 기존 선박 모두에서 신조선에 점점 더 많이 채택되고 있으며, 이중연료 보조발전기의 신규 설치 또는 개조 필요성을 제거함으로써 비용 절감에 기여한다. 또한, 향후 탄소 포집 시스템(CCS) 적용에는 상당한 추가 전력이 요구되므로, 이러한 구성의 장점은 더욱 강화된다.

축계 윤활유 비용 절감:

선주는 윤활유 사용을 제거함으로써 초기 CAPEX 에서 약 미화 33,000 달러, 연간 OPEX 에서 약 미화 11,500 달러의 운영비 절감이 가능하다. 만약 선주가 EAL(환경친화형 윤활유)을 사용할 경우, 윤활 비용은 일반 오일 대비 8~10 배까지 증가할 수 있다.

검사 및 교체 간소화:

필요 시 스텐튜브 베어링 교체를 축계 또는 프로펠러를 제거하지 않고도 수상에서 수행할 수 있어, 드라이도킹을 회피할 수 있다. 일반적으로 약 미화 500,000 달러 규모의 수리 작업이 단 하루 만에 끝나는 수상 작업으로 대체된다. 조선소 보증 조건 하에서는 건조자에게도 상당한 이점이 된다.

환경 오염 및 쉘 손상 위험 방지:

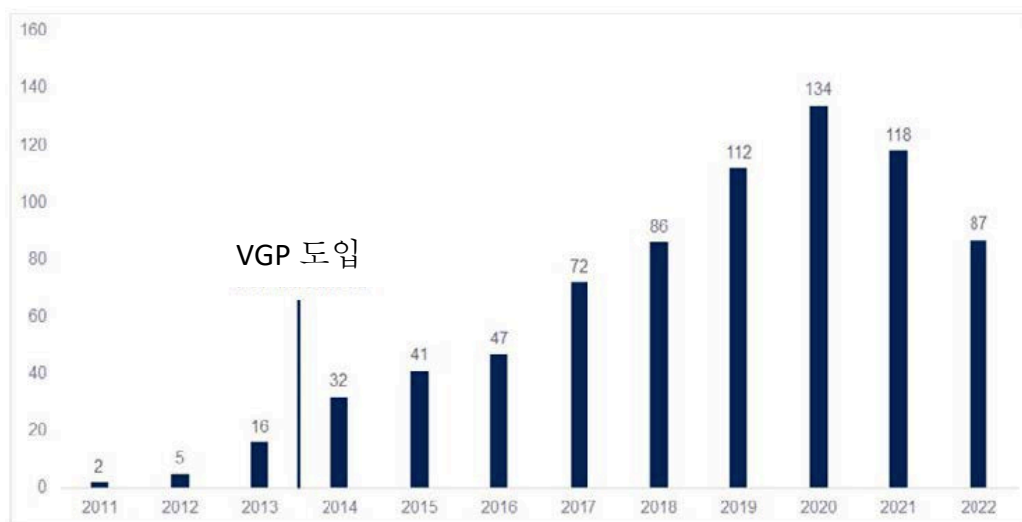
스텐튜브 내 윤활유 사용을 제거함으로써, T-BOSS® 설계는 해양 환경으로의 오일 누출 위험을 근본적으로 제거하며, MARPOL 및 U.S. Vessel General Permit(VGP) 등 환경 규제에 대한 리스크 없는 완전한 준수를 보장한다.

또한 Gard 의 보험 데이터(2023 년 분석)는 스텐튜브 관련 손상이 증가하는 추세임을 보여주며, 이는 오일 윤활 시스템의 환경적·운영적 위험성을 강조한다. 이러한 위험은 T-BOSS® 적용 시 본질적으로 회피된다.

Lloyd's Register 보고서에 따르면:

“지난 20 년간의 결함 통계에서 AFT stern bush 는 전체 축계 고장의 10%를 차지하며, FWD stern bush 는 4%를 차지한다. 특히 AFT stern gland (seal) 는 43%, FWD stern gland (seal) 는 24%의 고장을 각각 차지한다.”

요약하면, 직접적인 건조 비용 차이는 미미할 것으로 예상되나, T-BOSS® 스텐튜브리스 솔루션은 설계 유연성 향상, 기관실 공간 증가, 장기적인 비용 절감, 유지보수 및 수리 측면의 이점, 그리고 환경 오염 위험 감소를 제공하여 보다 친환경적이고 안전한 선박 설계로의 전환에 기여하는 중요한 솔루션이다.



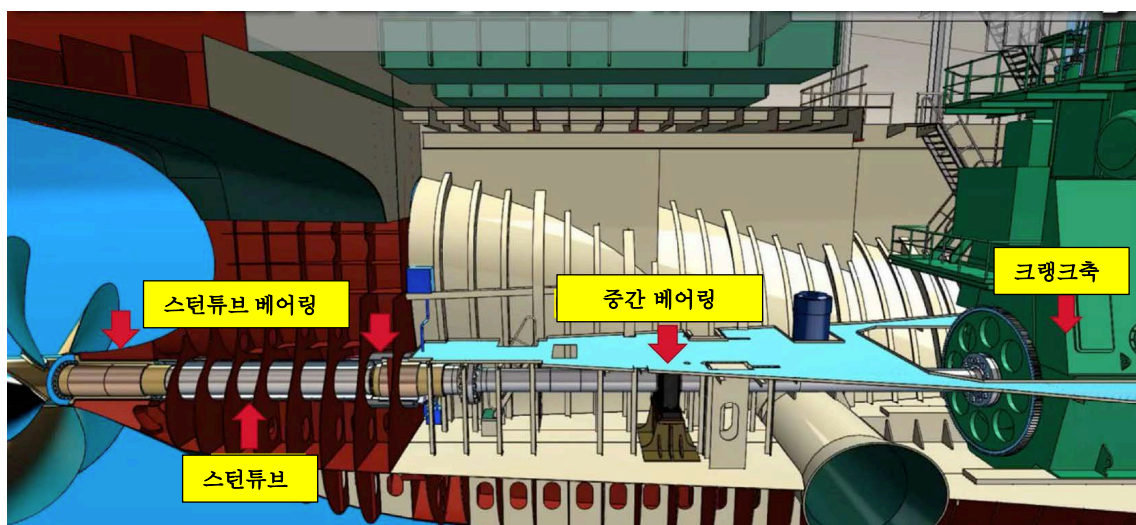
Gard 의 스텐튜브 관련 클레임 중 미화 5,000 달러를 초과하는 사례가 반영됨

2. T-BOSS® 설계

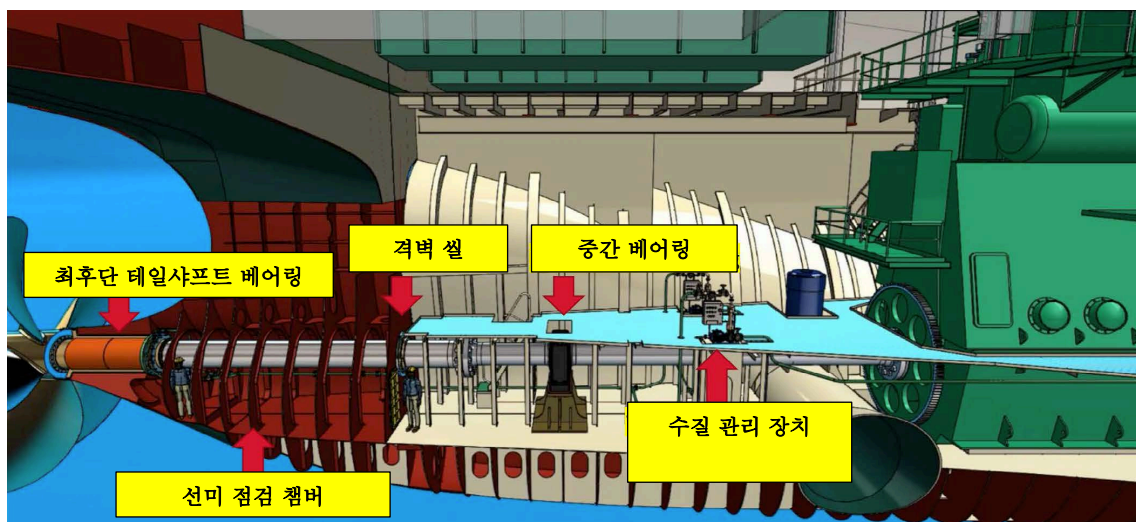
T-BOSS® (Thordon - Blue Ocean Stern Space) 는 다음 기관들이 공동으로 개발한 혁신적인 스텐튜브리스 축계 배치 방식이다:

- Thordon Bearings Inc.
- CSSC-Shanghai Merchant Ship Design and Research Institute
- American Bureau of Shipping
- Wärtsilä Shaft Line Solutions
- National Technical University of Athens

기존의 오일 윤활 스텐튜브 시스템이 스텐튜브, 복수의 베어링, 그리고 별도의 냉각 탱크를 필요로 하는 것과 달리, T-BOSS 설계는 건식 선미 점검 챔버 내에 해수 윤활 단일 AFT 베어링과 쉘을 통합한 구조를 갖는다.



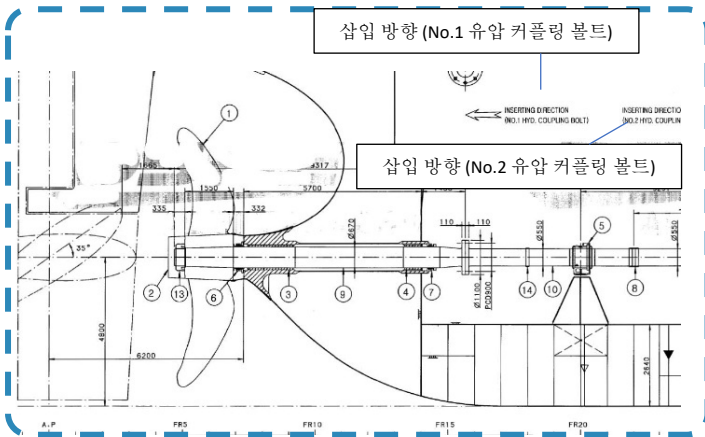
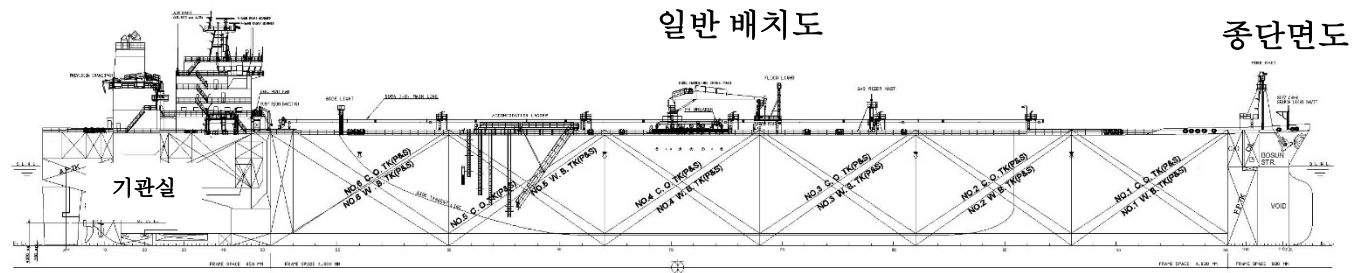
스텐튜브를 포함한 기존 축계



T-BOSS® 솔루션

프로펠러 축 지지 구조 및 정비 방법 — Wärtsilä로부터 라이선스를 허가받은 CN109641644(B), EP3475165(B1), KR101979186(B1) 특허 기술 적용.

3. 프로토타입 선박



축계 배치

자재 명세서			도면 번호		4/12	
			시트			
아니요.	설명	재질	수량		중량 (kg)	공급업체
			W	S		
1	고정 피치 프로펠러 (4 열, 직경 8.35 m)	G-CuAl10Ni Fe550	1	2/10	42,760	M.M.G
2	프로펠러 캡	G-CuAl10Ni Fe550	1	-	860	↓ KEMEL
3	선미 스팀튜브 베어링	백메탈이 적용된 주철	1	-	1,596	
4	선수 스팀튜브 베어링		1	-	588	
5	중간축 베어링		1	-	890	
6	선미 스팀튜브 셸 및 라이너 (AX-710)	VITON 크롬강	1	-	668	↓
7	선수 스팀튜브 셸 및 라이너 (AX-710)		1	-	490	
8	축 접지 장치	온 합금	1	-	11	K. C. LTD
9	프로펠러 축	온 합금	1	2/10	25,166	DSME
10	중간축	단조강	1	-	18,237	↓
11	No.1 유압 커플링 볼트 및 너트	합금강	8	1	-	SAMBOO
12	No.2 유압 커플링 볼트 및 너트		10	1	-	↓
13	프로펠러 너트	SF590	1	-	779	DSME
14	축 마력계	-	1	-	-	KYMA

프로토타입 선박	
선박 유형	원유 운반선
선박 크기 등급	수에즈막스
주요 치수	
전장 (Length overall)	274.0 m
수선간장 (Length between perpendiculars)	264.0 m
형폭 (Breadth, moulded)	48.0 m
형심 (Depth to upper deck, moulded)	23.7 m
구조 흘수 (Scantling draft, moulded)	17.0 m
재화중량톤수 (Deadweight)	157,430 t
축계 정보	
프로펠러 축 직경	ø 670 mm

4. 기술 비교

본 절의 목적은 신조선 조선소가 기존 선박 설계에 T-BOSS® 스텐튜브리스 솔루션을 적용하기 위해 고려해야 할 장비 요구사항 및 설계 변경 사항을 식별하고 문서화하는 동시에, 이에 수반될 수 있는 비용 차이를 평가하는 데 있다.

상기 평가는 프로토타입 선박을 대상으로 수행되었다.

평가된 조선 공정은 다음과 같다:

1. 스텐튜브 쉘 및 베어링 시스템
2. 배관 시스템
3. 구조
4. 축계
5. 의장
6. 표면 처리 및 도장
7. 전기
8. 시험
9. 선급 및 규제 사항

비용 차이(자재, 인건비 및 설치 포함)는 주로 중국의 유력한 신조선 조선소에서 제공된 정보를 기반으로 산정되었으며, Hydrus Engineering(그리스), JBL Tech Service PTE. Ltd.(싱가포르), Thordon Bearings Inc.(캐나다)의 데이터를 보완적으로 활용하였다.

4.1 스팀튜브 썰 및 베어링 시스템

각 스팀튜브 썰 시스템에 필요한 구성 요소는 아래 표에 제시되어 있다:

필요 구성 요소	스팀튜브 및 에어 썰이 적용된 밀폐식 오일 시스템		해수 윤활 COMPAC 베어링을 적용한 개방형 스팀튜브리스 설계	
	필수	공급업체	필수	공급업체
썰링 시스템				
스팀튜브 AFT 썰 어셈블리	✓	썰 제조사	✗	-
스팀튜브 AFT 베어링 어셈블리	✓	썰 제조사	✓	Thordon
FWD 썰	✓	썰 제조사	✓	Thordon
FWD 스팀튜브 베어링	✓	썰 제조사	✗	-
오일 순환 장치 (펌프 및 소형 탱크)	✓	썰 제조사	✗	-
공기 제어 장치	✓	썰 제조사	✗	-
윤활유 배출장치(탱크 포함)	✓	썰 제조사	✗	-
스팀튜브 윤활유 냉각기	✓	조선소	✗	-
스팀튜브 윤활유 펌프 (2 대) – 2 m³/h @ 2.5 bar	✓	조선소	✗	-
스팀튜브 윤활유	✓	조선소	✗	-
청동제 축 라이너	✗	-	✓	Thordon
Thordon 수질 관리 패키지 (2 세트)	✗	-	✓	Thordon
베어링 마모 모니터링	✓ 단순 수동 계측	-	✓ (원격)	Thordon

4.2 배관 시스템

각 스팀튜브 썰 시스템에 필요한 배관 범주는 아래 표에 제시되어 있다:

필요 구성 요소	스팀튜브 및 에어 썰이 적용된 밀폐식 오일 시스템		해수 윤활 COMPAC 베어링을 적용한 개방형 스팀튜브리스 설계	
	필수	공급업체	필수	공급업체
배관 시스템				
스팀튜브 윤활유 배관 (썰링 시스템)	✓	조선소	✗	-
제어 공기 배관	✓	조선소	✗	-
청수 배관 (CWT) 주입/배출	✓	조선소	✗	-
냉각 청수 배관 (스팀튜브 윤활유 냉각기)	✓	조선소	✗	-
스팀튜브 시스템 윤활유 벤트 배관	✓	조선소	✗	-
해수 윤활 베어링용 해수 공급 배관	✗	-	✓	조선소

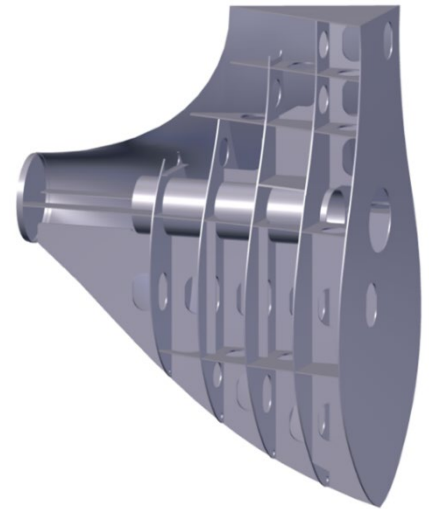
4.3 구조적 개조

기존 스팀튜브 냉각 탱크와 재설계된 선미 점검 챔버는 구조 중량 변화에 대한 정밀 평가를 가능하게 하기 위해 3D 모델로 개발되었다.

이 분석 결과는 아래에 제시되어 있다.

자재 목록 및 중량 추정

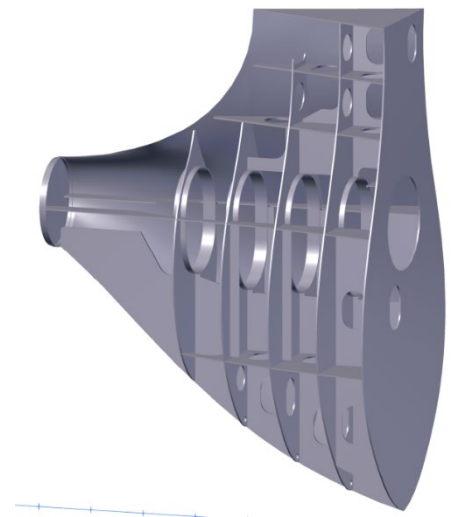
#	항목	체적 (m³)	중량 (t)
1	FB100 x10	0.0028	0.02
2	FB100 x15	0.0015	0.01
3	FB150 x15	0.0217	0.17
4	FB200 x15	0.0112	0.09
5	강판 15t	0.0806	0.63
6	강판 20t	0.3922	1.68
7	강판 25t B	1.7253	13.54
8	강판 30t D	0.1994	1.57
합계		2.4347 m³	17.71 t



기존 스팀튜브 CSW 탱크

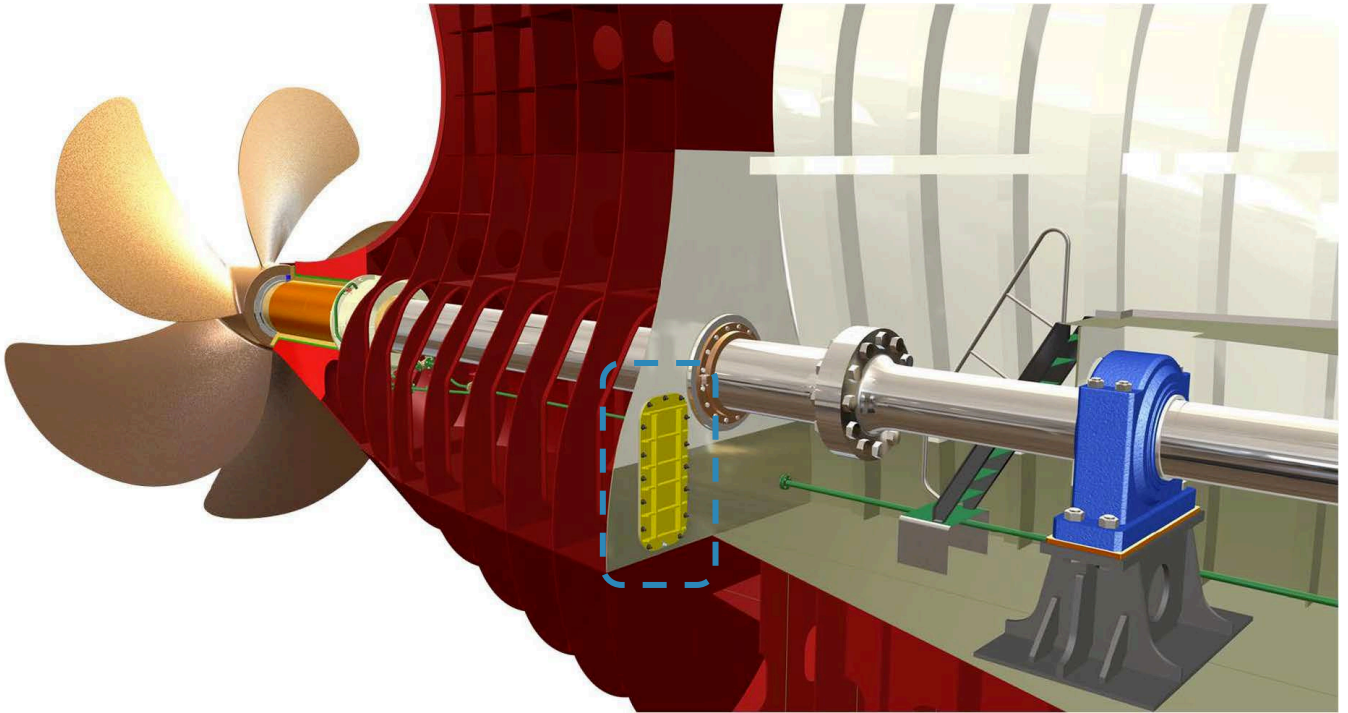
자재 목록 및 중량 추정

#	항목	체적 (m³)	중량 (t)
1	HP200 x12	0.0060	0.05
2	FB150 x15	0.0217	0.17
3	FB200 x15	0.0067	0.05
4	강판 15t	0.0806	0.63
5	강판 20t	0.2229	1.75
6	강판 25t B	1.7054	13.35
7	강판 30t D	0.1227	0.96
합계		2.166 m³	16.96 t



신규 선미 점검 챔버

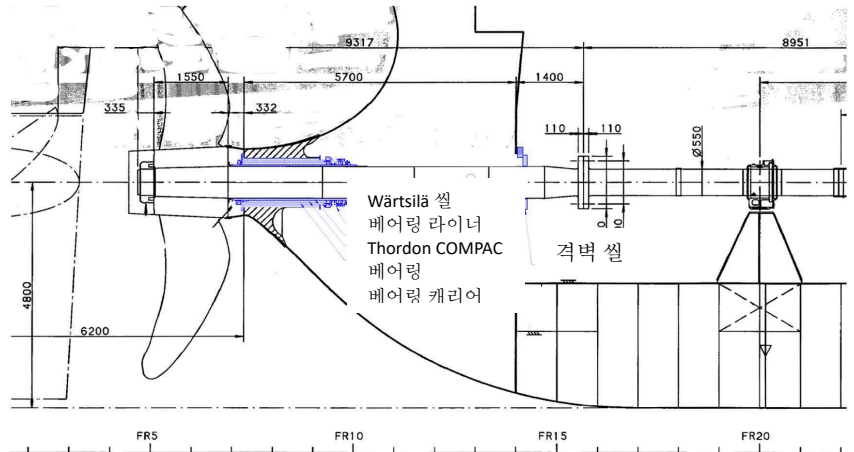
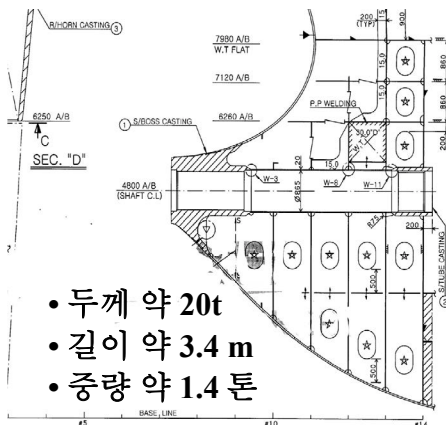
T-BOSS® 솔루션을 위한 또 다른 구조적 개조는 스턴튜브 점검 챔버에 대한 신규 출입용 해치의 추가이다. 해당 비용 또한 비용 비교 분석에 반영되었다.



신규 출입용 해치

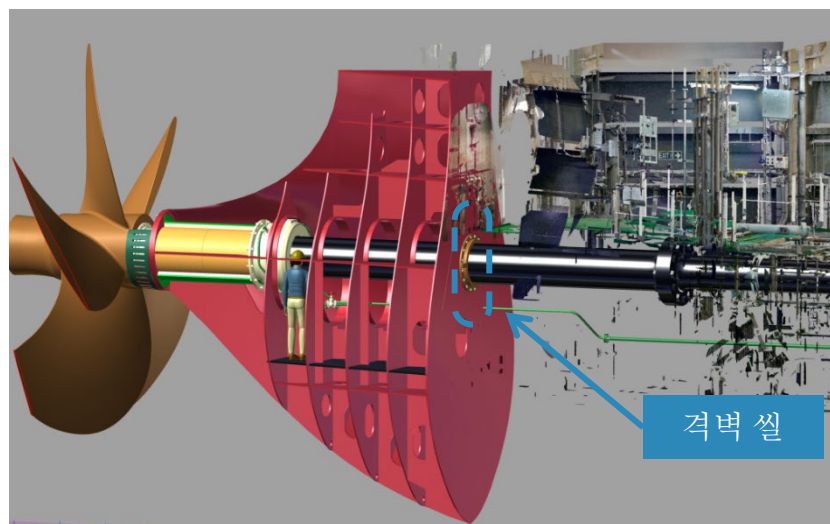
4.4 축계 개조

	스턴튜브 및에어셀이 적용된 밀폐식 오일 시스템		해수 유회 COMPAC 베어링을 적용한 개방형 스턴튜브리스 설계	
필요 구성 요소	필수	공급업체	필수	공급업체
배관 시스템				
스턴튜브 파이프	✓	조선소	✗	
격벽 셀	✗		✓	조선소



스턴튜브 재원

T-BOSS® 축계 배치도(업데이트됨)



격벽 셀

4.5 의장 개조

수유허 베어링을 적용한 스텐튜브리스 선박에 대한 American Bureau of Shipping(ABS) 요구사항(표기 “Sterntubeless-W”)에 따르면, 스텐튜브 점검 챔버에는 다음과 같은 설비가 설치되어야 한다:

- 전용 빌지 웰
- 독립된 빌지 수위 경보 2 식
- 인보드 베어링 쉘 하부의 해수 집수를 위한 드립 트레이
- 점검 및 유지보수 작업 중 인원이 챔버 내부에 있을 때 임시 환기를 제공하기 위한 이동식 환기 덕트

비용 산정을 지원하기 위해, 일반적인 이동식 환기 장치가 아래에 제시되어 있다.

4.6 표면 처리 및 도장

본 평가를 위해 표면 준비 및 도장에 따른 비용 차이가 산정되었으며, 그 결과는 아래 도면에 포함되어 있다.

도장 구역	샙 프라이머	S/P	도료의 브랜드명 및 색상			건조 도막 두께 (DFT, μm)	총 건조 도막 두께 (DFT, μm)	비고	일련 번호
			도장 횟수	브랜드명	색상				
S.T.C.W. 탱크	S	B1	1 차	Jotacote Universal 80	브론즈	150	300	(16)	190
			2 차	Jotacote Universal 80	알루미늄	150			

기존 스텐튜브 CSW 탱크 내부 면적: 약 260 m²

도장 구역	샙 프라이머	S/P	도료의 브랜드명 및 색상			건조 도막 두께 (DFT, μm)	총 건조 도막 두께 (DFT, μm)	비고	일련 번호
			도장 횟수	브랜드명	색상				
S.T.C.W. 탱크	S	P3	1 차	Jotacote Universal 80	알루미늄	150	150		191

신규 선미 점검 챔버(건식 공간) 내부 면적: 약 238 m²

기호	블록 단계에서 (용접, 절단 및 손상된 샙프라이머 도장면)	P.E. 및 선체 단계에서 (블록 접합부 및 열손상 부위)
P2	St 2 (QISSP DPt-2)	St 2 (QISSP DPt-2)
P3	St 3 (QISSP DPt-3)	St 3 (QISSP DPt-3)
B1	Sa 2½ (QISSP DGB-2½)	St 3 (QISSP DPt-3)
B4	Sa 2½ (QISSP DGB-2½)	Sa 2½ (QISSP DGB-2½) St 3 (QISSP DPt-3)

프로토타입 선박의 표면 처리 표

4.7 전기 개조

전기 개조와 관련하여 다음 항목들이 평가되었다:

- a) 기존 공기 썰 시스템 대비 T-BOSS® 솔루션의 경보 및 제어 시스템
- b) T-BOSS® 솔루션을 위한 Thordon 수질 관리 패키지(2 식)용 케이블링
(제거된 기존 스텐튜브 윤활유 펌프 전원 케이블과 동일함)
- c) 추가 빌지 수위 경보용 케이블링
- d) 스텐튜브 점검 챔버 내 조명용 케이블링
- e) 스텐튜브 점검 챔버용 추가 조명

상기 각 항목에 대해 상세 정보 목록 및 케이블 목록이 비용 비교를 용이하게 하기 위해 조선소에 제출되었으며, 그 결과는 아래에 설명되어 있다:

경보 및 제어

#	기존 시스템 경보 및 제어	T-BOSS® 시스템 경보 및 제어
1	스텐튜브 윤활유 탱크 high level	유량
2	스텐튜브 윤활유 탱크 Low Level	압력
3	스텐튜브 윤활유 드레인 탱크 high level	차압(필터)
4	스텐튜브 드레인 집수 유닛 high level	베어링 온도
5	스텐튜브 전방 썰 탱크 Low Level	마모량
6	전방 스텐튜브 베어링 Temp. High	수처리 시스템
7	후방 스텐튜브 베어링 Temp. High	펌프
8	공기 제어 장치 Low Pressure	전원 회로

케이블

#	설명	길이 (m)	유형 (참고용)
1	WQP No.1	55	3 × 2.5 mm ² (TPYCY-2.5)
2	WQP No.2	55	3 × 2.5 mm ² (TPYCY-2.5)
3	빌지 수위 경보 No.1	10	조선소 표준 (경보 신호용)
4	빌지 수위 경보 No.2	10	조선소 표준 (경보 신호용)
5	스텐튜브 점검 챔버 조명 No.1	10	2 × 2.5 mm ² (DPYCE-2.5)
6	스텐튜브 점검 챔버 조명 No.2	10	2 × 2.5 mm ² (DPYCE-2.5)
7	스텐튜브 점검 챔버 조명 No.3	10	2 × 2.5 mm ² (DPYCE-2.5)
8	스텐튜브 점검 챔버 조명 No.4	10	2 × 2.5 mm ² (DPYCE-2.5)

4.8 시험/검사 절차

일반적인 신조선 검사 시험 계획(Inspection Test Plan)을 기준으로 할 때, 기존 스텐튜브 썰 시스템에 요구되지만 T-BOSS® 솔루션에는 적용되지 않는 시험은 다음과 같다:

- a) 스텐튜브 윤활유 배관 설치 검사
- b) 스텐튜브 윤활유 배관 시스템의 설치 완전성 및 기밀 시험 (최종 시험)
- c) 스텐튜브 윤활유 배관의 수압 시험
- d) 마모량 게이지 측정
- e) 선수측 베어링 스텐튜브 압입 설치
- f) 스텐튜브 설치 검사 및 용접부 비파괴검사(NDT)
- g) 냉각수 탱크 (CWT) 2 차 도장층 도장 검사

관련 Sterntubeless-W 표기에 대한 ABS 요구사항에 따라, 다음 시험은 T-BOSS® 솔루션에만 적용된다:

- 1. 격벽 썰의 기밀성 확인을 위한 압력 시험
- 2. 선박이 수상에 떠 있는 상태일 때 선미 검사 챔버를 통한 베어링 교체 절차는 해상 시운전 전에 입회 검사관이 만족할 수 있도록 시연되어야 한다..

참고

선박의 검사 시험 계획에 따라, 기존 시스템과 T-BOSS® 시스템 모두에 적용되는 몇 가지 다른 시험이 존재한다. 이들 항목은 양 시스템에 공통적으로 적용되므로 비용 차이는 발생하지 않을 것으로 예상된다.

4.9 규제 측면

규제 관점에서 비용 비교를 추정하기 위해, 아래 검토 항목에서 발생할 수 있는 비용 차이에 대해 자문을 구하고자 ABS 와 공식적으로 협의하였다:

항목 1 – 기존 밀봉식 오일 윤활 시스템과 T-BOSS® 솔루션 간의 참고용 검토 비용

샤프트 정렬 및 스텐튜브 베어링 설계 검토 비용은 각 경우에 적용되는 상이한 요구사항 (multi-sloping 평가, ESA 표기 등)을 고려할 때 기존 밀봉식 오일 시스템과 T-BOSS® 솔루션 간에 차이가 있을 수 있다. ABS 는 “두 설계 간 비용 차이는 없다.” 고 자문하였다.

항목 2 – 국부 선체 강도 계산

ABS Sterntubeless-W 표기 Sec.2, par. 2.2 에 따라, 새로운 스텐튜브 설계(재료 선정 및 구조 부재 치수 포함)가 기존 주조 스텐튜브 구조를 적용한 선박과 동등한 강도를 가지는지를 검증하기 위해, 적용 가능 여부에 따라 국부 선체 강도 계산을 수행해야 한다.

ABS 는 “설계가 정형화된 방식일 경우 두 설계 간 비용 차이는 없다. 그러나 해당 선체 부분의 설계가 비정형일 경우, 표기 요구사항에 따라 FEA 모델링을 제출해야 하며, 검증 비용은 최대 미화 1,600 달러까지 발생할 수 있다.”고 자문하였다.

항목 3 – ABS 검사관 비용

기존 시스템과 비교하여 T-BOSS® 쉘 시스템 솔루션에 대해 추가 또는 감소된 검사 시간이 요구될 수 있다.

ABS 는 “ABS 측면에서 두 설계 간 비용 차이는 없다.” 고 자문하였다.

670mm 축 직경 기준 비용 (USD) 차이 표	스턴튜브 및 에어셀이 적용된 밀봉식 오일 윤활 시스템		해수 윤활 COMPAC 베어링이 적용된 개방형 스톤튜브리스 설계	
필요 구성 요소	인건비 / 설치 비용	구매 / 자재 비용	인건비 / 설치 비용	구매 / 자재 비용
1. 씰링 및 베어링 시스템	\$4,500	\$183,000 ¹	\$3,400	\$449,285
2. 배관 시스템	\$1,430	\$1,430	\$500	\$500
3. 구조 변경			- \$600 ²	- \$600 ²
4. 축계 변경			\$300	\$11,000 (격벽셀)
5. 의장 변경			\$450	
6. 표면 처리 및 도장			- \$300 ²	- \$900 ²
7. 전기 변경			\$30	\$30
8. 시험 / 검사			\$200	
9. 규제 측면			\$800	
총계	\$5,930	\$184,430	\$4,780	\$459,315

¹ 스톤튜브 및 초기 윤활유 비용 포함

² 스톤튜브, 금속 베어링 및 에어셀이 적용된 기존 밀봉식 오일 시스템과 비교

결론

- T-BOSS® 설계를 적용할 경우, 선박 건조 인건비 및 설치 비용이 전체적으로 약 1,150 달러 절감된다.
- 구매/자재 비용 관점에서 주요 비용 차이 (274,885 달러) 는 T-BOSS 시스템 (청동 재질) 의 자본적 지출 (CAPEX)에 기인한다. 그러나 선박 건조 비용 관점에서 보면, T-BOSS 구성은 단순화된 배치와 낮은 건조 복잡도로 인해 약 3,830 달러의 비용 절감 효과를 제공한다.
- 본 사례 연구에서 T-BOSS 설계는 프로펠러 축 길이를 1.7m 단축하게 해준다. 축계 단축에 따른 잠재적 비용 절감액은 비용 비교 표에서 의도적으로 배제되었다. 또한, 주기판의 선미 방향 이동 가능성과 이에 따른 화물 탱크 용적 증가 기회는 설계 변경이자 개념 설계 옵션으로, 주로 신조선 설계자를 위한 것이다. 이 옵션은 신조 설계 초기 단계에서 레이아웃 유연성을 향상시키기 위한 도구로 활용된다.

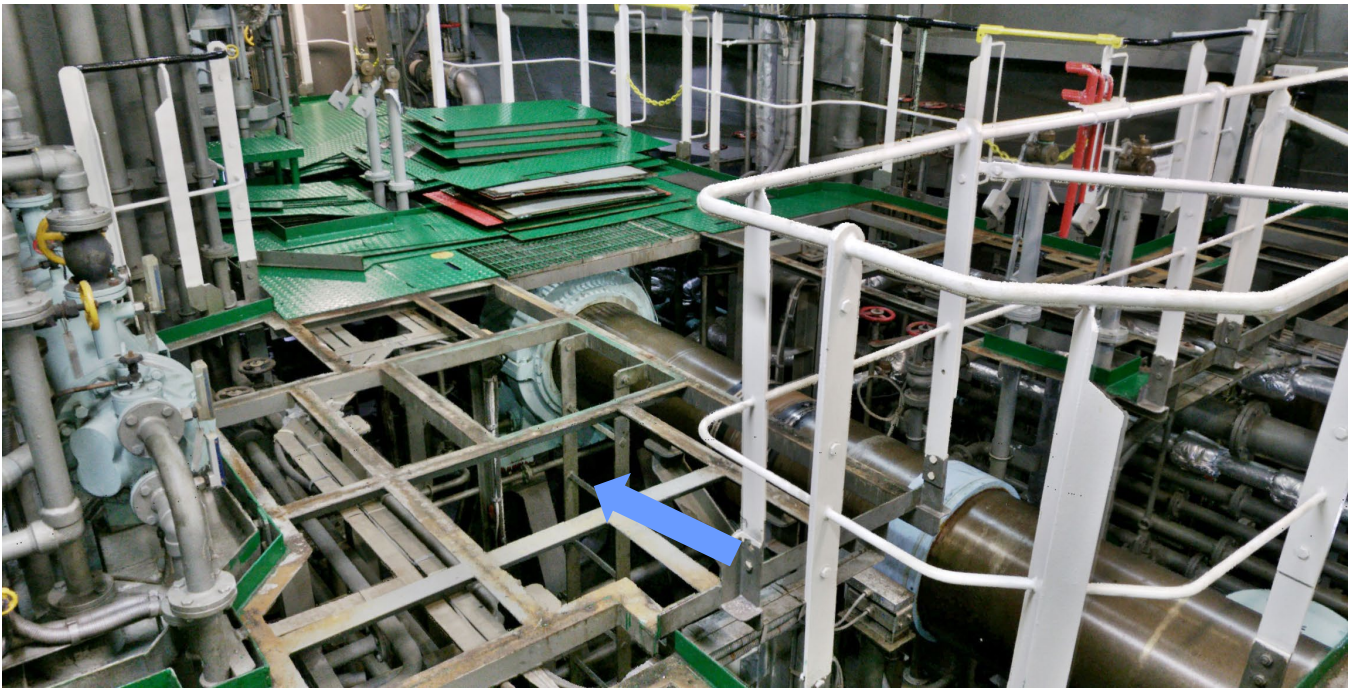
5. 추가 이점

5.1 스팀튜브 윤활유 비용 절감

주목할 만한 비용 요소 중 하나는 스팀튜브 윤활유 구매 비용으로, 이는 T-BOSS® 해수 윤활 솔루션을 채택할 경우 해당 비용이 발생하지 않는다.

프로토타입 선박의 경우, 관련 스팀튜브 쉘 OEM 에 따르면 일일 오일 소비량은 AFT 쉘에서 약 4 L/일, FWD 쉘에서 1 L/일로 추정되며, 총 소비량은 5 L/일, 즉 연간 약 1.8 m³에 해당한다.

또한, 해당 프로토타입 선박의 스팀튜브 윤활유 드레인 탱크 용량은 5.2 m³이다.



프로토타입 선박의 스팀튜브 윤활유 드레인 탱크 (5.2 m³)

윤활유 밀도 900 kg/m³ 및 시장 가격 \$7 USD/kg
(eni INTERNATIONAL PRICE LIST n° 43 기준)을 가정할 때,
절감 비용은 다음과 같이 추정된다:

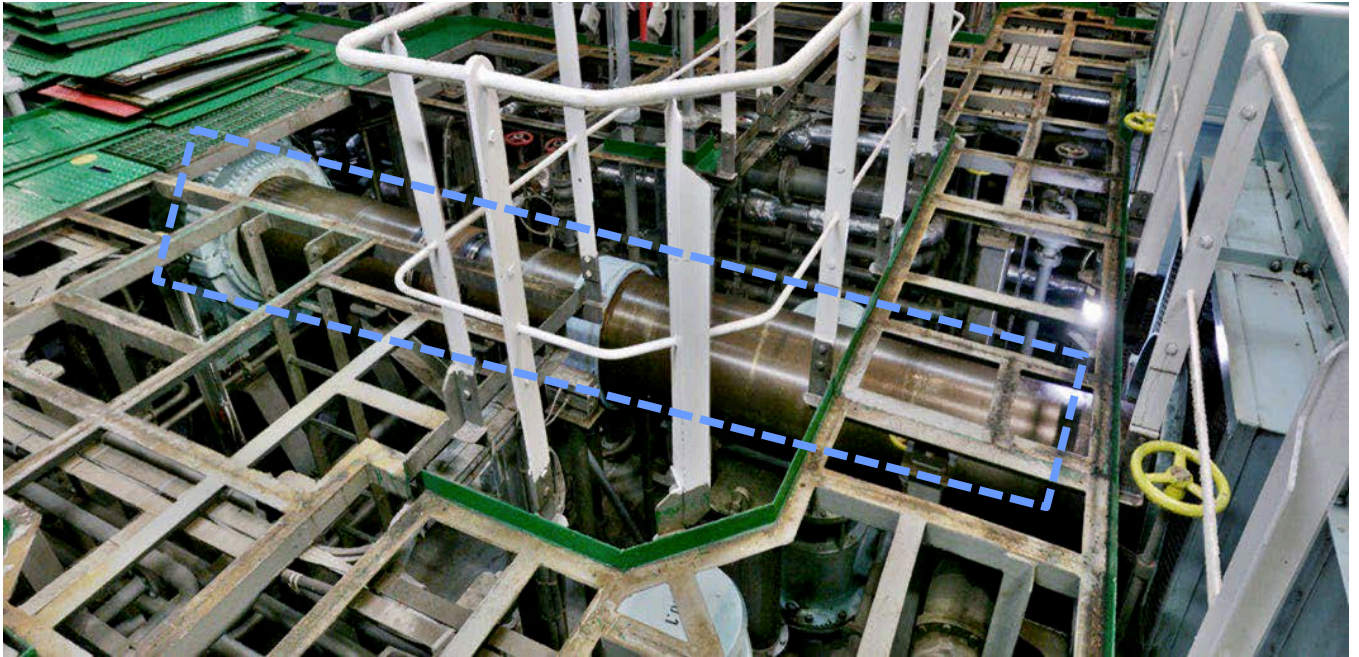
1. 초기 오일 구매 비용 절감: 약 US\$33,000
2. 연간 운영 비용 절감: 약 US\$11,500

5.2 축계 길이 단축

T-BOSS® 솔루션을 적용하면 선수축 스톤튜브 베어링이 필요 없어지며, 이에 따라 중간축 베어링을 선미축 기관실 격벽에 더 가깝게 재배치할 수 있다.

그 결과, 중간축 자체를 더 짧은 길이로 설계할 수 있어 주기관과 중간축 사이에 추가적으로 활용 가능한 공간이 확보된다. 다만, 축 길이 단축에 따른 비용 절감 효과는 본 비용 비교에서 의도적으로 제외되었으며, 이는 주기관의 재배치가 필요하고 본 연구 범위를 벗어나기 때문이다.

또한, 신조 설계의 경우 T-BOSS® 솔루션은 기관실 후방 경계를 선미 방향으로 이동시킬 수 있는 가능성을 제공하여, 주기관 후방 영역 배치에 대한 유연성을 더욱 향상시킨다.



프로토타입 선박의 중간축 및 베어링

이로 인해 새롭게 확보된 공간은 다음과 같은 두 가지 설계 기회를 제공한다:

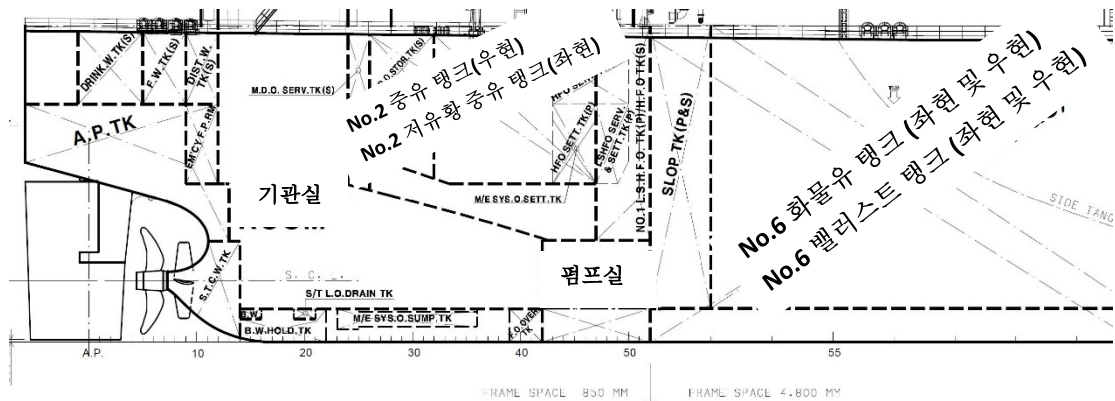
1. 주기관을 선미 쪽으로 더 가깝게 재배치하여 기관실을 보다 컴팩트하게 구성하고, 확보된 공간을 화물 적재 용적으로 전환할 수 있다.
2. 주기관의 기존 위치를 유지하면서, 새롭게 확보된 공간을 축 발전기 설치에 활용할 수 있으며, 이는 현대 선박 설계에서 타당성이 있는 것으로 평가되는 추세이다..

5.2.1 주기관 재배치

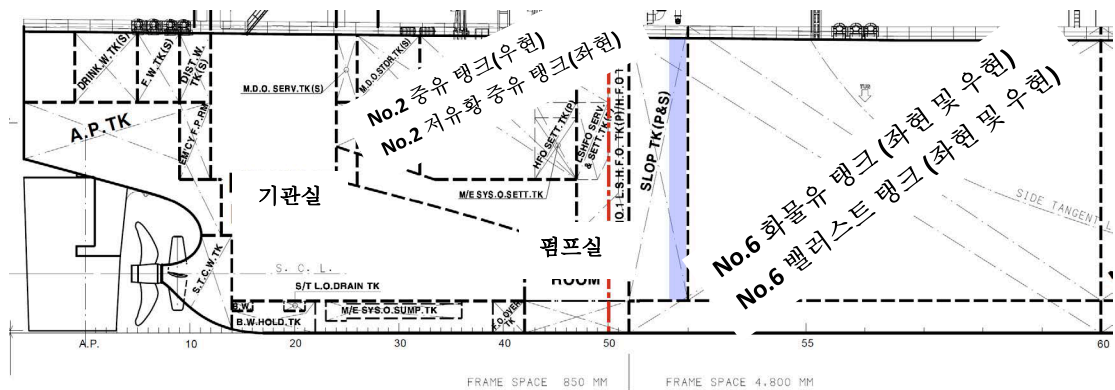
본 옵션에서는 주기관을 선미 방향으로 이동시키는 가능성을 개념적 수준에서 검토하였다. 본 평가는 확정된 제안을 제시하기 위한 것이 아니라, 주기관 위치 조정에 따른 유연성 확보 가능성을 시각적으로 보여주기 위한 것이다. 프로토타입 선박의 기관실 및 인접 구획 배치를 검토하였으며, 본 평가에는 다음과 같은 가정을 적용하였다:

가정

- 중간축 길이는 약 1,700 mm 단축(약 2 프레임 단축)
- 주기관은 해당 구역의 선형 제약 조건을 고려하여 선미 방향으로 재배치 가능
- 기관실 데크 내 잔여 장비 및 탱크는 재배치가 가능하며, 보다 컴팩트한 공간 내에 배치 가능
- 펌프룸 역시 재배치가 가능하며, 가용 공간이 줄어들더라도 배치 가능
- 선미 및 선수 슬롭 탱크의 경계를 선미 방향으로 이동하며, 선형 특성(슬렌더 형상)으로 인한 용적 감소는 허용 가능한 수준으로
- 간주



프로토타입 선박의 기존 경계



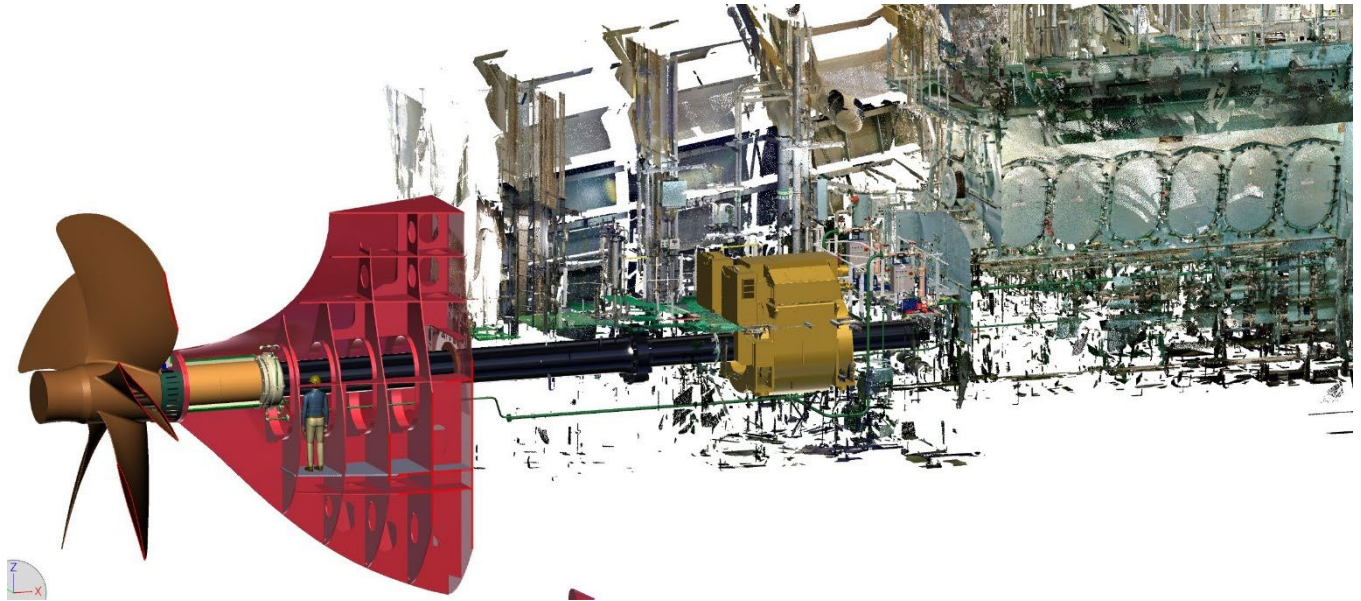
업데이트된 기관실 및 슬롭 탱크 경계

본 평가 결과, 약 660 m³의 화물 용적 증가 가능성이 있는 것으로 나타났다.

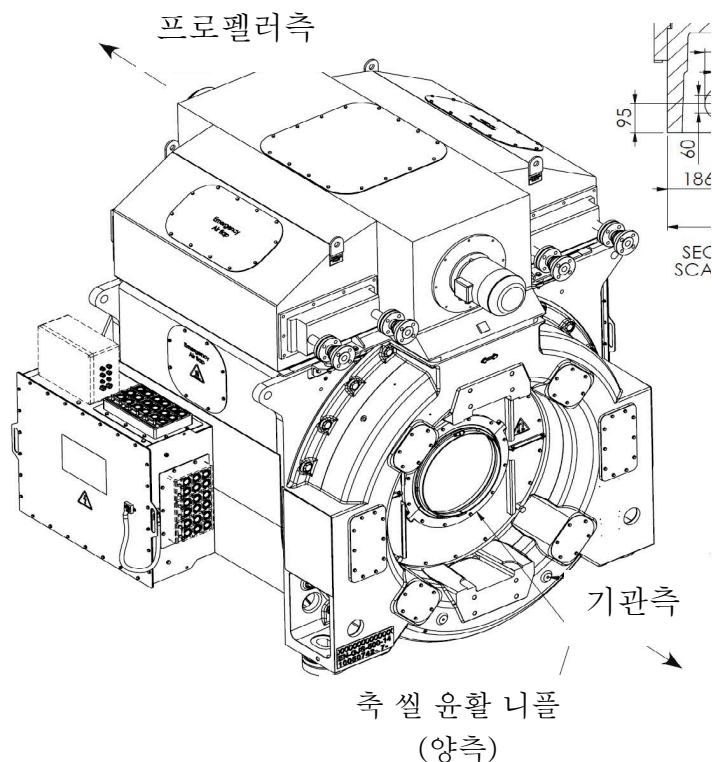
T-BOSS®는 신조선 설계자에게 더 큰 화물 적재 용량을 갖는 설계를 개발하고, 운송 화물 톤당 선박의 탄소 배출 지표를 개선하기 위한 추가적인 “도구”로 활용될 수 있다.

5.2.2 축 발전기 설치

중간축 베어링 배치의 유연성 증가와 기관실 후방 격벽의 선미 방향 이동 가능성이 결합되어, 축 발전기 통합을 용이하게 하고 축계 시스템을 최적화할 수 있는 추가적인 설계 “도구”를 제공한다. 이는 특히 현대 선박 설계에서 선미 선형이 더욱 날렵해짐에 따라 부피가 큰 축 발전기의 설치가 어려워지는 상황에서 더욱 중요한 의미를 갖는다.



프로토타입 선박 축 발전기 예상 위치



1,000 kWe PTO 용으로 설계된 축발전기

축 발전기 통합은 선주와 조선소 모두에게 다음과 같은 상당한 이점을 제공한다:

a. 효율성 향상:

전력 생산 효율을 개선하여 연료 소비를 절감하고, 관련 규제 준수 비용 (EU ETS, FuelEU Maritime, IMO GHG Framework) 을 낮춘다.

b. 이중연료 적용 시 비용 및 배출 절감:

이중연료 신조선에서 4 행정 이중연료 발전기에 따른 추가 CAPEX 및 잠재적인 배출 슬립을 방지할 수 있다.

c. 리턴던시 향상:

전력 생산의 이중화(레턴던시)를 강화하여 운용 신뢰성을 향상시킨다.

d. 전력 용량 확대:

신조 및 개조 시 GHG 저감 기술 (예: CCS, WAPS, 공기 유회 시스템) 에 필요한 추가 전력 수요를 충족할 수 있는 전력 용량을 제공한다.

e. 규제 성능 개선:

선박의 IMO EEDI 등급 향상에 기여하고 IMO CII 규정 준수를 지원한다.

f. 안전성:

선택적 PTI (Power Take-In) 기능 구현을 가능하게 한다.

5.3 연료 절감 잠재력

T-BOSS® 스톤튜브리스 설계는 기존 오일 유회 스톤튜브 시스템 대비 상당한 이점을 제공한다. T-BOSS® 스톤튜브리스 설계는 해수 유회 베어링 대비 오일 유회유의 마찰 저항으로 인한 손실 차이를 바탕으로 산출된 연료 절감의 잠재성을 제공한다.

Guojun Ren 박사의 논문 Hypo-elastohydrodynamic lubrication of journal bearings with deformable surface (Tribology International 175, 2022)에 제시된 공식을 적용할 경우 해수 유회 방식의 단일 엘라스토머 COMPAC 프로펠러축 베어링을 사용하는 본 사례 연구 선박의 연료 절감액은 연간 약 5,100 달러로 산출된다.

5.4 검사, 유지보수 및 교체성 향상

T-BOSS® 스텐튜브리스 설계는 기존 오일 윤활 스텐튜브 시스템 대비 쉘 및 베어링의 검사, 유지보수 및 교체 측면에서 상당한 이점을 제공한다. 주요 이점은 다음과 같다:

a) 건식 챔버 구성:

기존 스텐튜브 냉각 탱크를 건식 챔버로 대체하여, 선내에서 해수 윤활 단일 베어링 및 쉘의 검사, 유지보수 또는 교체가 가능하다.

b) 수상 베어링 교체:

선박 유형에 따라 전방 평형수 적재를 통해 프로펠러를 수면 위로 상승시켜, 수상에 떠 있는 상태에서 베어링 교체가 가능하다.

c) 축계 및 프로펠러 분해 불필요:

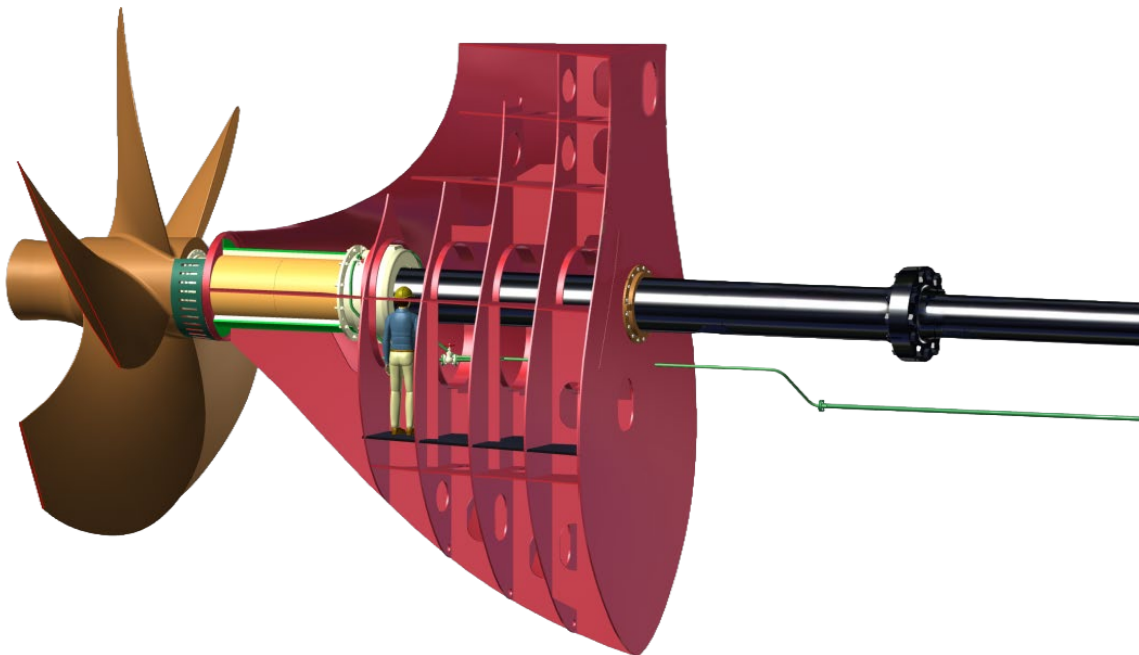
선미 베어링 교체 시 축계 분해나 프로펠러 탈거 없이 작업이 가능하다.

d) 도크 입거 불필요:

축계 유지보수 작업을 수상에서 수행할 수 있어, 비용과 시간이 많이 소요되는 도크 입거를 피할 수 있다.

e) 실시간 모니터링:

베어링 상태 모니터링 (BCM)을 통해 실시간 클리어런스 데이터를 지속적으로 제공하여, 운영자가 문제가 악화되기 전에 감지하고 대응할 수 있도록 한다.



프로토타입 선박에 적용된 T-BOSS® 설계

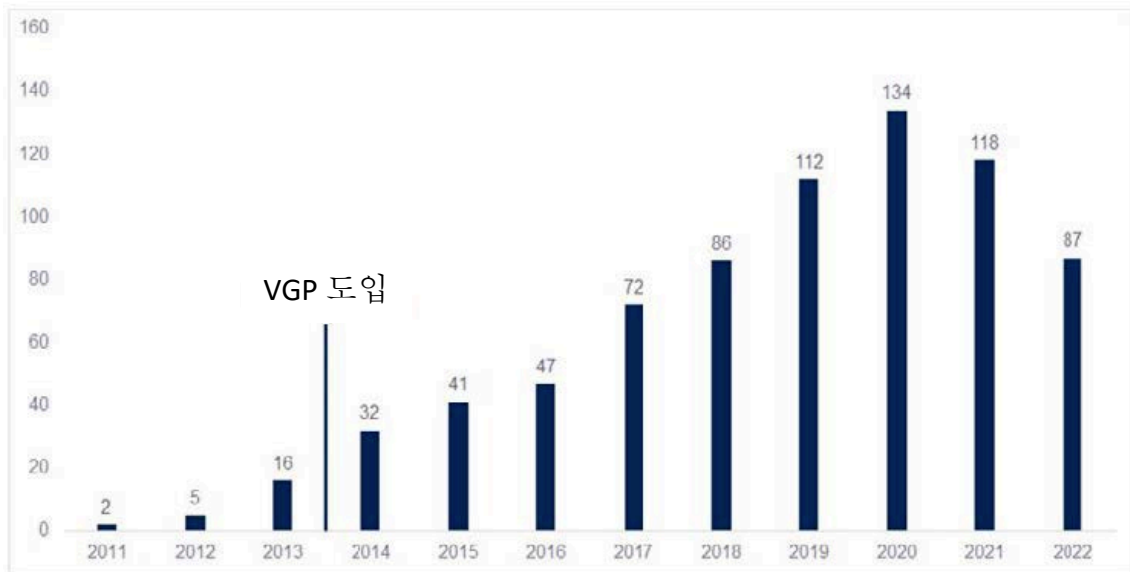
기존 시스템의 비용 영향

도크 입거 비용(예시):

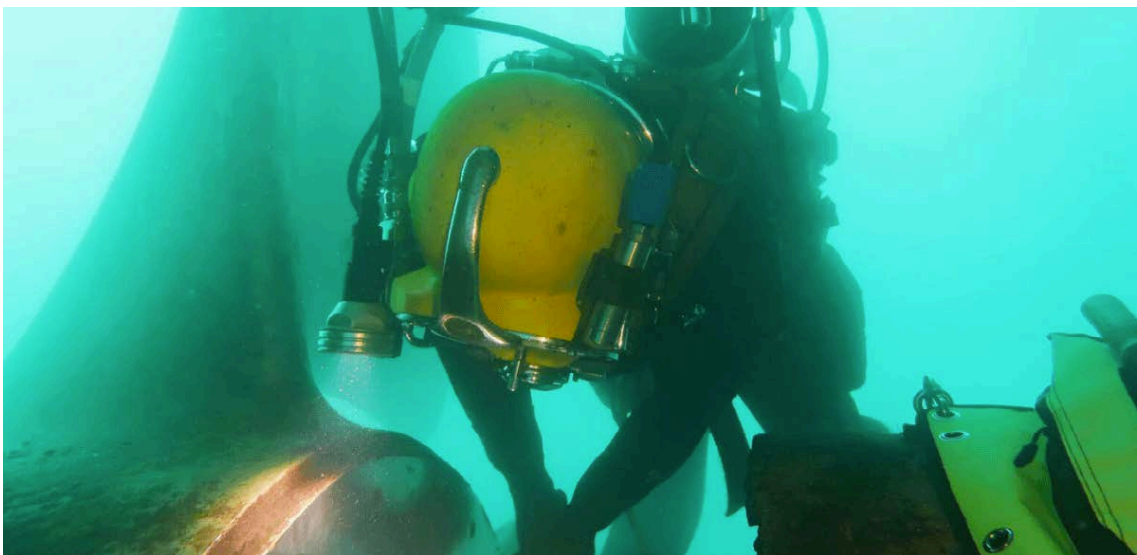
선주들에 따르면, 일반적으로 약 50 만 달러가 소요되는 2 주간의 축 정렬 작업은, 도크 입거 없이 수상에서 단 하루 만에 수행할 수 있다.

잠수 작업팀 비용(예시):

스칸디나비아의 주요 보험사인 Gard 는 최근 몇 년간 스텐튜브 손상 관련 클레임이 증가하고 있으며, 이 중 상당수가 고비용의 수중 썰 수리 작업을 포함한다고 보고했다. 비용 영향을 예시로 보면, Thordon Bearings 는 6 시간의 잠수 작업팀 투입 비용이 약 18,000 달러에 달할 수 있다고 추정하고 있으며, 이는 해수 유회환 T-BOSS® 스텐튜브리스 설계를 적용할 경우 크게 절감될 수 있다.



Gard 에서 발생한 스텐튜브 관련 클레임 중 US\$5,000 를 초과하는 건을 반영함



수리 작업 중 잠수 작업팀

결론

본 연구는 기존 스팀튜브 시스템의 대안으로서 T-BOSS® 스팀튜브리스 솔루션 적용의 기술적 타당성과 경제적 효과를 입증했다. 주요 결과 및 시사점은 다음과 같다:

- T-BOSS® 스팀튜브리스 솔루션은 축 직경 670mm 의 Suezmax 프로토타입 선박을 참조 모델로 삼아, 기존 오일 윤활 방식의 스팀튜브 시스템과 기술 및 경제적 영향에 대한 벤치마킹을 성공적으로 완료하였다.
- 썰, 배관, 구조, 축계, 의장, 도장, 전기, 시험 및 규제 항목별 비용 비교 결과, 전체 건조 비용 차이는 크지 않으며 주요 차이는 T-BOSS® 장비의 CAPEX 에 기인한다.
- 기존 오일 윤활 스팀튜브 시스템에서 스팀튜브리스 설계로의 변경에는 약 40 공수(man-hours)가 소요되는 것으로 추정된다(프로토타입 선박 기준).
- T-BOSS 는 윤활유 사용을 배제하여 운영 및 경제적 측면에서 명확한 이점을 제공하며, 초기 CAPEX 기준 약 33,000 달러 및 연간 약 11,500 달러의 윤활유 비용 절감 효과가 있다.
- 본 사례에서 확보된 공간 유연성은 약 660 m³의 화물 용적 증가가 가능한 주기판 재배치 또는 축 발전기 설치를 가능하게 하며, 이는 GHG 배출 저감, 연료비 절감 및 향후 탈탄소화 대응을 지원한다.
- 건식 선미 검사 챔버를 통해 검사, 유지보수 및 베어링 교체(필요 시)가 간소화되며, 축계 및 프로펠러 분해 없이 수상에서 작업이 가능하여 고비용의 도크 입거 및 잠수 작업이 필요 없다.
- 스팀튜브 내 윤활유 사용을 제거함으로써 해양 환경으로의 오일 유출 위험이 근본적으로 제거된다.
- 해수 윤활 엘라스토머 폴리머 베어링은 유체윤활 상태에서 오일 윤활 금속 베어링 대비 낮은 점도 및 마찰 특성으로 약 1%의 연료 절감 효과를 제공한다.
- 산업 데이터는 스팀튜브 썰 손상 빈도가 증가하고 있음을 보여주며, 이는 기존 오일 윤활 시스템의 운영 취약성을 드러내며 T-BOSS®는 이러한 리스크를 근본적으로 차단한다.

종합적으로, T-BOSS® 솔루션은 설계 유연성 향상, 장기 운영비(OPEX) 절감, 환경 규제 대응 강화, 그리고 운용 신뢰성 향상을 제공하여 선주 및 조선소 모두에게 경쟁력 있고 미래지향적인 대안으로 평가된다.

본 문서의 내용은 중국의 주요 신조선 조선소의 산업 연구를 기반으로 하며, Hydrus Engineering(그리스), JBL Tech Service PTE. Ltd.(싱가포르), Thordon Bearings(캐나다)의 데이터를 추가로 반영하였다.



Thomson-Gordon 그룹 계열사 - 1911 년부터 혁신

3225 Mainway, Burlington, Ontario
L7M 1A6 캐나다
+1.905.335.1440
info@ThordonBearings.com
www.ThordonBearings.com

무공해 | 고성능 | 베어링 및 씰 시스템