



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

항복강도가 개선된
해양 플랜트용 알루미늄 의장재 설계

Design of Aluminum Tertiary Structure
for Offshore Plant with Improvement in Yield Strength



2020년 8월

한국해양대학교 대학원

해양공학과
김 동 수

本 論 文 을 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함.

위원장 최 경 식
위 원 하 승 현
위 원 서 영 교



2020년 7월

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	ii
List of Figures	iii
Abstract	v
1. 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 동향	2
1.3 연구 범위	4
2. 알루미늄 합금 선정	3
2.1 알루미늄 합금의 필요성	5
2.2 알루미늄 합금 선정	6
3. 의장재(Handrail, Stair, Platform) 설계	11
3.1 Handrail	14
3.1.1 Handrail 기본 구조	14
3.1.2 설계 규정에 따른 하중 설정(Handrail)	16
3.1.3 Handrail의 최종 하중 조건	22
3.2 Stair	24
3.2.1 Stair 기본 구조	24
3.2.2 설계 규정에 따른 하중 설정(Stair)	26
3.2.3 Stair의 최종 하중 조건	30
3.3 Platform	32
3.3.1 Platform 기본 구조	32
3.3.2 설계 규정에 따른 하중 설정(Platform)	32
3.3.3 Platform의 최종 하중 조건	35

목 차

4. 의장재 구조 안전성 검토	37
4.1 Handrail	37
4.1.1 Unity check ratio for members	38
4.1.2 Deflection check	39
4.1.3 Vibration check	40
4.2 Stair	42
4.2.1 Unity check ratio for members	43
4.2.2 Deflection check	44
4.2.3 Vibration check	45
4.3 Platform	47
4.3.1 Analysis result	47
5. 결론	50
참고문헌	52

List of Tables

Table 1	Chemical composition of Aluminum alloy	6
Table 2	Mechanical properties of SS400	6
Table 3	Mechanical properties of Al 6061-T6	6
Table 4	Summaries for rules	9
Table 5	Design rules of handrail	10
Table 6	Design rules of stair	11
Table 7	Member section properties for handrail	13
Table 8	Design wind speed	19
Table 9	Design acceleration	21
Table 10	Load description for handrail	22
Table 11	Member section properties for stair	24
Table 12	Load description for stair	31
Table 13	Unity check ratio of handrail members	37
Table 14	Summary of maximum critical unity ratio for handrail	38
Table 15	Deflection check of handrail	39
Table 16	Result of the modal analysis for handrail	41
Table 17	Unity check ratio of stair members	42
Table 18	Summary of maximum critical unity check ratio for stair	44
Table 19	Deflection check of stair	45
Table 20	Result of the modal analysis for stair	46
Table 21	Summary of platform's result	48

List of Figures

Fig. 1 Tertiary of offshore structure	2
Fig. 2 Categorization of Aluminum alloy	4
Fig. 3 Characteristic of Aluminum alloy 5, 6 series	5
Fig. 4 Section's shape of handrail	8
Fig. 5 SACS model of handrail	9
Fig. 6 Fixed support of handrail	10
Fig. 7 Load condition of HLA1	12
Fig. 8 Load condition of HLB	12
Fig. 9 Load condition of VT	13
Fig. 10 Wind direction of handrail	15
Fig. 11 Section's shape of stair	18
Fig. 12 SACS model of stair	20
Fig. 13 Fixed support of stair	21
Fig. 14 Load condition of stair	23
Fig. 15 Wind direction of stair	24
Fig. 16 FE model of platform	27
Fig. 17 Boundary condition of platform	29
Fig. 18 Landing condition of LC1	30
Fig. 19 Landing condition of LC2	31
Fig. 20 Unity check ratio of handrail	33
Fig. 21 First mode shape of handrail	35
Fig. 22 Unity check ratio of stair	38
Fig. 23 First mode shape of stair	40
Fig. 24 Stress plot with load case LC1	42
Fig. 25 Stress plot with load case LC2	43

Design of Aluminum Tertiary Structure for Offshore Plant with Improvement in Yield Strength

Dong Su Kim

Department of Ocean Engineering
Graduate School of
Korea Maritime and Ocean University

Abstract

Globally, the demand for application of lightweight materials to offshore equipment items, such as offshore platforms, is increasing, and development of aluminum design materials is underway. Therefore, in order to reduce production cost, improve work convenience and productivity, development of aluminum alloy with high-strength and commercialization of aluminum design materials using it are essential for domestic market competitiveness. In this study, an aluminum alloy with optimized chemical composition is considered as offshore structure's material and the structure's yield strength is improved by about 20%. In addition, the design of handrail, stair, and platform for offshore plants, is designed using aluminum alloy. First, the relevant regulations for three types of offshore structure such as ISO, DNV, and NORSOK are investigated, and design is performed based on this. Subsequently, structural analysis is performed through SACS, an offshore structure analysis program, and the maximum displacement,

maximum stress, and structural safety through Unity check are evaluated.

KEY WORDS: Aluminum alloy 알루미늄 합금; Offshore structure 의장재; Yield strength 항복강도; Unity check 허용응력비 검사.



항복강도가 개선된 해양 플랫폼용 알루미늄 의장재 설계

김 동 수

한국해양대학교 대학원
해양공학과

초 록

세계적으로 해양 플랫폼, 잭업리프 등 해양 플랫폼의 기자재 품목들에 대한 경량 소재 적용 요구가 증가하며 알루미늄 의장재에 대한 개발이 이루어지고 있다. 따라서 생산 단가 절감, 신규 모델 설계 및 개발을 통한 작업 편의성 및 생산성 향상을 위해, 고강도 신규 알루미늄 소재 개발 및 이를 이용한 알루미늄 의장재의 국내 독자 모델 개발 및 사업화는 시장 선점을 위해 반드시 필요하다. 본 연구에서는 Si와 Mg의 조합의 비율 최적화된 알루미늄 선정을 통해 해양 환경에서 중요한 부식에도 강하며, 항복강도가 20% 이상 개선된 알루미늄 합금을 개발하였다. 또한, 알루미늄 합금을 이용하여 해양 플랫폼용 알루미늄 의장재인 handrail, stair, platform의 설계를 수행하였다. 먼저 의장재 3종에 대한 관련 해양 규정 및 ISO, DNV, NORSOK 등의 코드에 대해 조사하였으며, 이를 기반으로 설계를 수행하였다. 그 후, 해양 구조물 해석 프로그램인 SACS를 통해 구조 해석을 수행하였고, 최대 변위, 최대 응력, Unity check를 통한 구조 안전성을 검토하였다.

KEY WORDS: Aluminum alloy 알루미늄 합금; Offshore structure 의장재; Yield strength 항복강도; Unity check 허용응력비 검사.

제 1 장 서 론

1.1. 연구배경

최근 해양 플랜트 및 선박 분야에서 프로젝트 수행 시 기존 강(Steel)으로 제작된 의장재의 중량 증가로 인해 강과의 유사한 강도를 가지고 있으나 중량은 감소된 알루미늄 소재 의장재를 요구하고 있다. 일반적으로 선박 및 해양플랜트 의장품 구조체는 강철(Steel)을 사용하여 제작되지만, 최근에는 강철의 2/3 정도의 강도를 가지며 밀도(2770kg/m³)는 약 3배 낮은 알루미늄 합금을 사용하여 설계, 제작하는 방법으로 경량화되고 있으나 국내 중소기업들의 국제설계기준에 대한 인식 부재 및 관련 엔지니어링 능력 부재로 인하여 전량 해외기업이 독과점하고 있는 상황이다. 이에 대해 해외기업의 독점으로 인한 국내 해양프로젝트의 공정지연 및 원가 상승을 초래하고 있다. 기존 독점업체들은 모두 유럽 업체로서, 최근 플랜트 구조 설계의 트렌드 및 사용자들의 요구사항에 대한 니즈를 충족하지 못하고 있으며, 한국까지의 운송거리에 대한 제약사항으로 프로젝트 진행에 상당한 위험인자이다. 이러한 문제를 개선하기 위하여, 국내 조선해양 업체들이 프로젝트 계약 후 의장재 생산 업체 관리를 위해 직접 파견을 가서 관리를 하고 있으나, 독점업체들의 비즈니스 커뮤니케이션 부재로 제대로 성과를 내지 못하는 실정이다. 따라서 알루미늄 의장재 기술 개발은 국내 의장재 관련 기업의 엔지니어링 능력 및 소재 개발을 통하여 국산화가 절실하게 요구되는 기술이고, 이를 통하여 해양플랜트 수주 경쟁력 강화 및 국내업체들의 제품 다양성, 차별성, 원가경쟁력을 확보할 수 있을 것이다. 산업체의 파급효과로 보자면, 개발 기술은 한 개의 플랜트 프로젝트에 2000톤 이상 요구되기 때문에, 알루미늄 의장재를 다루는 중소기업의 최대 생산실적을 달성할 수 있는 좋은 제조 아이템이라고 할 수 있다.

1.2. 연구동향

해양플랜트 상부구조 경량화 및 건조시간을 줄이기 위해 다양한 알루미늄 구조체에 대한 연구가 수행되었다.

Jo 등(2012)은 알루미늄 선체 및 구조부재 제작시 용접에 의한 공정을 압출 성형 기법으로 대체하고 알루미늄 구조의 용접에 소요되는 인건비와 시간을 절약하여 원가 절감의 효과를 도모하였으며, 알루미늄구조 일체형 구조부재의 경량화 기법 및 한국선급의 알루미늄구조 강도 기준을 적용하여 표준화된 구조부재의 성형 기법을 정립하였다.

Lim 등(2016)은 발판구조인 Steel grating의 세로형 모델에 대한 시뮬레이션을 수행하여 응력 분포 및 변형에 대해 연구하고 최적의 격자 간격의 그레이팅을 설계하였으며, 격자 발판에 가해지는 하중에 대한 최대 응력 및 변형을 비교 분석하였다.

Lee 등(2018)은 알루미늄 Flexible Barrier 비선형 응답에 대해 연구를 수행하였다. 주요 부재인 레일(Rail), 포스트(Post) 부를 설계하고자 하였으며 구동부의 설계 이전에 우선적으로 레일 및 포스트부의 설계 초안에 대한 효과적인 평가를 위하여 3차원 유한요소해석 코드인 ANSYS 를 이용하여 구조안정성을 확인하였다.

Choi 등(2016)은 알루미늄으로 제작된 헬리데크의 구조 건전성 평가에 관한 연구를 수행하였다. 평가는 Eurocode 9에서 제시하고 있는 방법으로 코드체크를 수행하였으며 자체적으로 제작된 프로그램을 활용하였다.

Park 등(2014)은 알루미늄 구조체인 헬리데크를 상용 구조해석 프로그램인 SACS를 이용하여 모델링 및 해석을 수행하였으며, 다양한 하중조건을 고려하여 헬리데크 구조물의 허용변위, VIV(Vortex induced vibration)체크, 서포트 구조물 그리고 연결부위(Joint Check)의 강도 등을 코드체크를 통하여 수행하였다. 코드체크는 AISC LRFD와 API 등을 토대로 수행되었다.

연구동향을 살펴보면 알루미늄 구조체에 대해 구조 해석 프로그램 등을 통한

구조 해석에 대한 연구가 수행되었으며, 여러 국제 설계규정에 따른 코드체크를 통해 구조 안전성 평가를 수행하는 등의 연구가 수행되어 왔다. 또한, 과거의 선박 및 해양플랜트 용 의장재는 일반강 사용으로 ISO코드를 지극히 준수하여 알루미늄 구조체에 대해 설계 및 구조 해석 프로그램 등을 통한 구조 해석에 대한 연구가 수행되었다.

하지만 근래 해양플랜트산업이 활발하고 노르웨이 선사들의 선박발주가 많아짐으로 인해 노르웨이 규정인 NORSOK HUMAN FACTOR를 반드시 고려해야 하며 그에 따른 코드 분석을 통해 설계 및 구조안전성 평가를 하여야 한다.



1.3. 연구범위

본 연구에서는 기존 ISO HUMAN FACTOR 뿐만 아니라 보다 엄격한 NORSOK HUMAN FACTOR 를 고려하여 선박 및 해양플랜트 탑사이드 의장재의 재료를 알루미늄으로 설계를 하였고, 알루미늄 합금의 조성비 조정을 통해 알루미늄 합금의 약 20% 향상된 강도를 얻을 수 있었다.

이를 바탕으로 Fig. 1과 같이 해상에서 사람이 통행, 작업하는 공간에서의 안전을 위해 설치하는 알루미늄 의장재 3종(Handrail, Stair, Platform)에 대해 국제 설계규정인 ISO14122-1,2,3, DNV-OS-C101,C201, NORSOK C-002,S-002 등을 준하여 설계를 하였고 다양한 하중조건을 고려하여 AISC LFRD 13th, API RP 2A 1st, Eurocode 9 기반 코드 체크를 지원하는 상용 프로그램인 SACS를 통한 구조 해석을 수행하여 해석 결과를 바탕으로 국제 설계규정에 따른 구조 안전성을 평가하였다.

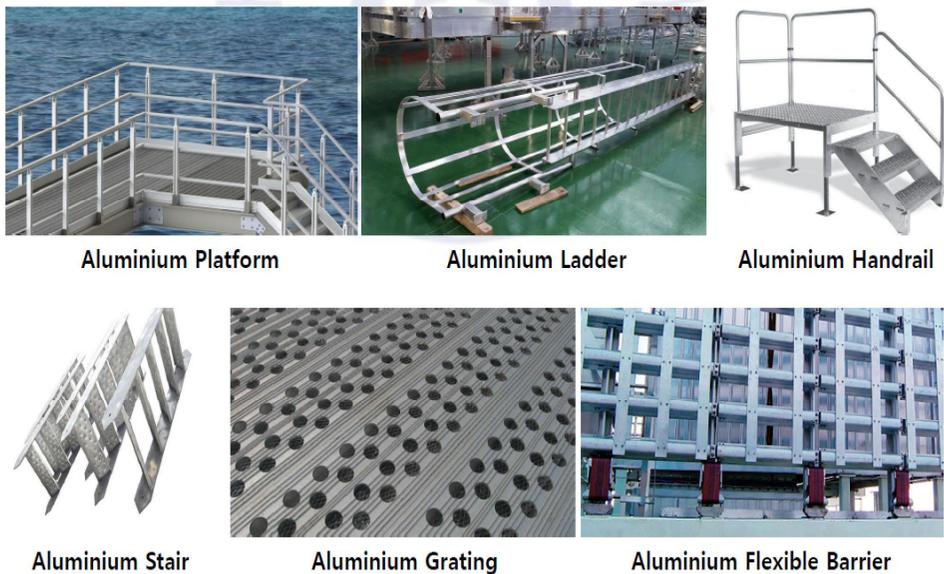


Fig. 1 Tertiary of offshore structure

제 2 장 알루미늄 합금 선정

2.1. 알루미늄 합금의 필요성

최근 조선해양 분야에서 강도 대비 중량이 가볍고 부식에 대한 내성이 강하며, 재활용 가능성으로 알루미늄 합금의 사용이 증가하고 있다. 알루미늄 합금 개발 기술은 육상 플랜트/저장설비 및 해양설비의 특수성에 기인한 경제적 관점에서 반드시 필요하며, 이를 위하여 Tertiary 부재(국부적인 선체 및 의장재)에 경량화 및 내부식성 등과 같은 장점에 따라서 알루미늄 재질을 선호하고 있고 관련 기술이 개발되어지는 실정이다. 또한, 해양프로젝트 수행 시 중량관리 기술은 최고의 관리 항목이며, 이런 알루미늄 의장재는 주로 해외 일부 업체의 독과점 체재로 인하여 공정 지연 및 원가 상승을 발생하고 있다. 가장 시급하고 중요한 문제는, 독과점 업체들은 더 이상 연구/개발을 하지 않고, 종래에 개발된 제품을 공급하는 전략이기 때문에, 최신의 업계 트렌드를 반영할 수 있는 제품이 없다는 것이다. 따라서 알루미늄 합금 개발 기술은 시급히 관련 의장재의 국산화 개발로 인한 경쟁력 향상을 위한 기술이다.

2.2. 알루미늄 합금 선정

산업계에서 선호하는 알루미늄 합금 종류는 Al 5083, 6061, 6082 3가지이며, 개발 대상의 제품기술 카테고리 선정 시, 위 3개의 합금에 대해서 기존 합금 조성비 변화 및 제조기술 변경을 통한 항복강도 증가를 유도할 수 있는 formula를 정식화 한다.

알루미늄 의장재용 Al 6061, 6082 적용 합금의 최적화를 수행하기에 앞서, 먼저 아래의 Fig. 2와 같이 첨가되는 합금원소에 따라 알루미늄 합금을 7가지로 세분화한다.

알루미늄 합금의 분류 및 특성

구분	합금명	대표조성	특 성	용 도	비 고
비 치 리 리 (비 치 리 리)	1XXX(Pure Al)	99%Al	- 연성, 용접성, 내식성, 가공성이 우수,	전기, 공조, 화학, 식품 용접	대표합금 : A1100, A1050, A1060 등
	3XXX(Al-Mn)	1.2%Mn 1.0%Mg	- 극장강도, 성형성, 내식성이 우수,	주방용품, 판금제품, Car Body	대표합금 : A3003, A3004 등
	4XXX(Al-Si)	13%Si	- 내열성, 내마모성이 우수,	미스톤, 용접봉	대표합금 : A4032, A4043 등
	5XXX(Al-Mg)	5.5%Mg 1.0%Mn 0.3%Cr	- 용접성, 성형성, 내식성이 우수 - 낮은 열변위의 강도,	장간차, 선박용 재료, 용접구조물, 압력용기	대표합금 : A5003, A5052, A5062 등
알 치 리 리 (알 치 리 리)	2XXX(Al-Cu-Mg)	6.8%Cu 1.8%Mg	- 기계적 성질 및 용삭성이 우수 - 내식성이 떨어짐,	항공기 구조재, 리프트용 소재	S, S ₂ → GP zone → θ → θ' → θ'' (CuAl ₂) S, S ₂ → GP zone → S' → S'' (Al ₂ CuMg) 대표합금 : A2024, A2011, A2117 등
	6XXX(Al-Mg-Si)	1.5%Mg 1.5%Si	- 성형성, 내식성, 표면 처리성이 우수, - 극장강도	건축용 재료, 구조용 재료	S, S ₂ → GP zone → β' → β'' (Mg ₂ Si) 대표합금 : A6063, A6061, A6005A 등
	7XXX(Al-Zn-Mg)	4~8%Zn 1~3%Mg	- 우수한 강도 및 용접성,	항공기 구조재, 방산용 재료	S, S ₂ → GP zone → η → η' (MgZn ₂) 대표합금 : A7075, A7003, A7050 등

Fig. 2 Categorization of Aluminum alloy

위의 Fig. 2 중 건축 및 구조용으로 많이 사용하는 Al 5xxx, 6xxx 합금을 타겟으로 설정하고, 그에 따른 Al 5000, 6000 시리즈 합금의 특성을 Fig. 3과 같다.

5000 시리즈	<p>Mg를 주첨가 성분으로 한 강도가 높은 비열처리 합금이다.</p> <p>용접성이 양호하고 해수 분위기에서도 내식성이 좋다.</p> <p>-5052가 대표적 합금, 중간정도의 강도를 가짐</p> <p>-5083은 Mg 함류량이 많은 합금으로 비열처리형 합금 중에 가장 뛰어난 강도를 나타내며 용접성도 양호함</p> <p>용접구조재로서 선박, 차량, 화학플랜트 등에 많이 사용</p> <p>-이 계의 합금은 냉간 가공의 상태에서는 강도가 약간 저하되며, 산율이 증가한다고 하는 경년 변화를 나타내므로 안정화 처리를 한다.</p>
6000 시리즈	<p>Mg와 Si를 주첨가 성분으로 한 열처리 합금이다.</p> <p>용접성, 내식성이 양호하며 형재 및 관 등 구조물에 널리 이용되고 있다.</p> <p>- 이 계의 합금은 강도, 내식성 공히 양호하고, 대표적인 구조용재로 알려져 있다.</p> <p>그러나 용접강도가 낮고 나사, 리벳, 볼트 접합에 의한 구조 조립을 하는 것이 많다.</p> <p>- 6061-T6은 항복강도가 245N/mm^2 이상으로 SS400강에 상당하는 강도를 나타내는 철답, 크레인등에 이용</p>

Fig. 3 Characteristic of Aluminum alloy 5, 6 series

Fig. 3과 같이 Al 5000, 6000 시리즈의 합금 중 5083, 6061, 6082 알루미늄 합금은 의장재에 주로 사용하는 강인 SS400에 상당하는 항복강도를 가지고 있다. Al 5083은 비열처리 합금 중 최고 강도를 가지며, 내식성(corrosion resistance), 용접성(weldability)과 성형성(formability)가 좋은 금속이라고 할 수 있다. 또한 해수(seawater)와 화학산업 환경에 높은 저항성도 가지고 있다. 따라서, 주로 압력용기, 저온용 탱크 제작에 사용된다.

Al 6061과 6082는 열처리 과정을 거치게 된다. 여러 열처리 과정이 있지만 그 중 용체화 처리 후 인공 시효경화 처리를 하는 T6 열처리를 수행한다. 인공 시효란 석출물의 빠른 발현을 진행시키려고 하는 고온에서 일정시간 유지하는 열

처리로써 교정해도 냉간 가공의 효과가 작다. 각 알루미늄 합금의 조성비와 인장강도 및 항복강도는 Table 1과 같다. Table 1을 보면, Al 6082-T6의 항복강도가 310MPa로 가장 높지만, 대형 구조물 제작을 더 많이 사용하나 본 연구에서는 원자재를 얻기 더 용이하며, 의장재 구조물이 대형 구조물만큼의 높은 항복강도를 요구하지 않기 때문에 Al 6082-T6대신 Al 6061-T6를 구조물의 재료로 설정하였다.

일반적으로 의장재에 많이 사용하는 강인 Table 2의 SS400 강의 물성치와 Table 3의 Al 6061-T6의 물성치를 비교해보면 Al 6061-T6의 밀도가 SS400의 약 1/3로 강에 비해 매우 가벼우나 항복강도는 SS400의 항복강도 235MPa에 비해 약 20% 높은 275MPa를 가지고 있다. 본 연구에서는 SS400 강 대신 알루미늄 합금 Al 6061-T6를 의장재 설계에 사용함으로써 경량화, 개선된 항복강도 효과를 얻을 수 있었다.



Table 1 Chemical composition of Aluminum alloy

		5083	6061-T6	6082-T6
Chemical composition (%)	Si(Silicon)	0.4	0.4~0.8	0.7~1.3
	Fe(Iron)	0.4	0.7	0.5
	Cu(Copper)	0.1	0.15~0.40	0.1
	Mn(Manganese)	0.4~1.0	0.15	0.4~1.0
	Mg(Magnesium)	4.0~4.9	0.8~1.12	0.6~1.2
	Cr(Chromium)	0.05~0.25	0.04~0.35	0.25
	Zn(Zincum)	0.25	0.25	0.2
	Ti(Titanium)	0.15	0.15	0.1
Tensile strength(MPa)		310	310	340
Yield strength(MPa)		240	275	310

Table 2 Mechanical properties of SS400

Property		Unit
Density	7.850	ton/m^3
Young's modulus	200,000	N/mm^2
Shear modulus	26,923	N/mm^2
Poisson's ratio	0.3	-
Yield stress	235	N/mm^2

Table 3 Mechanical properties of Al 6061-T6

Property		Unit
Density	2.700	ton/m^3
Young's modulus	70,000	N/mm^2
Shear modulus	26,923	N/mm^2
Poisson's ratio	0.3	-
Yield stress	275	N/mm^2



제 3 장 의장재(Handrail, Stair, Platform) 설계

Geometry 및 FE Model 생성은 Handrail, Stair의 경우, 해양 구조물 전용 해석 프로그램인 SACS로 수행하였으며, Platform의 경우, 상용 유한요소해석 프로그램인 MSC PATRAN을 이용하여 수행하였다.

의장재 3종(Handrail, Stair, Platform)에 대한 환경하중 설정 및 안전성 평가는 여러 설계 규정 중 각 의장재와 관련된 NORSOK-Standard, DNV, ISO, AS 등의 코드를 통해 수행하였다. 의장재 구조물의 전체적인 크기 및 형상, 단면의 형상 및 치수 등도 설계 코드에 의해 설계되었으며, Table 4와 같이 세 개의 설계 코드(ISO, NORSOK, AS)가 제시하는 기준을 모두 만족하는 설계를 수행하였다. 그 중, Handrail과 Stair의 구체적인 설계 규정 목록은 Table 5, 6과 같다.

Table 4 Summaries for rules

Item	ISO	NORSOK	AS
Handrail	14122-3	C-002_6 S-002_Annex B	AS1657-2013_6.1
Stair	14122-1 14122-3	C-002_5 S-002_5.1.2, Annex B	AS1657-2013_7
Platform	14122-2	S-002_Annex B	AS1657-1992_3

Table 5 Design rules of handrail

Handrail	ISO	NORSOK	AS
Height	Min.1100mm	Min.1100mm	Min.900mm
Height on stair	900~1100mm	Min.1000mm	-
Number of Intermediate Kneerail	Min.1	Min.2	Min.1
Vertical Opening	Max.500mm	Max.380mm	Max.450mm
Diameter	25~50mm	25~50mm	50mm
Distance btw Stanchions	Max.1500mm	Max.1500mm	-
Height of Toe plate	Min.100mm	Min.100mm	Min.100mm
Toe plate vertical clearance above floor level	Max.10mm	Max.10mm	Max.10mm
Toe plate horizontal clearance	-	Continuous type	Continuous type
Space between two segments	75~120mm	75~120mm	-
Sharp edges	No	No	No

Table 6 Design rules of stair

Stair	Section ID	Shape	Size
Stairway slopes	30~38 degree	Max.38 degree	20~45 degree
Width	Min.600mm (800mm) Min.1000mm (Traffic area)	Min.600mm (800mm) Min.1000mm (Traffic area)	Min.600mm
Step overlap (nosing)	Min.10mm	Min.20mm	Max.-30mm
Climbing height per Flight	Max.3000mm (multiple flight) Max.4000mm (single flight)	Max.3000mm	-
Number of Rise	-	Max.16	-
Rise Height	-	Max.190mm	130 - 225mm
Going length	-	-	215 - 355mm (Min.185mm +30mm)
Going(g) and Rise(h)	$600 \leq g+2h$ $\leq 660\text{mm}$	$g+2h=630$ $\pm 30\text{mm}$	$540 \leq g+2h$ $\leq 700\text{mm}$
Toe plate on landing	-	100mm	-
Level of uppermost step	Same level with the landing	Same level with the landing	-
Length of landing area	Min.800mm Stair width \leq Landing length(depth)	Stair width \leq Landing length(depth)	-

3.1. Handrail

Handrail은 해양 플랜트 및 선박에서 사람이 활동하는 공간에서의 안전을 위하여 설치하는 구조물이다. 해양 환경은 파랑하중 및 풍하중 등으로 인한 위험성이 육상에 비해 더 크기 때문에 사람의 안전성을 고려한 구조물이 반드시 설치되어야 하며, 구조 안전성 또한 반드시 검사해야한다.

3.1.1. Handrail 기본 구조

Handrail은 아래의 Fig. 5와 같이 총 4개의 부재 그룹으로 모델링하였으며, 각 부재의 단면 형상은 Fig. 4와 같으며, 상세 치수는 Table 7과 같이 설정하였다.



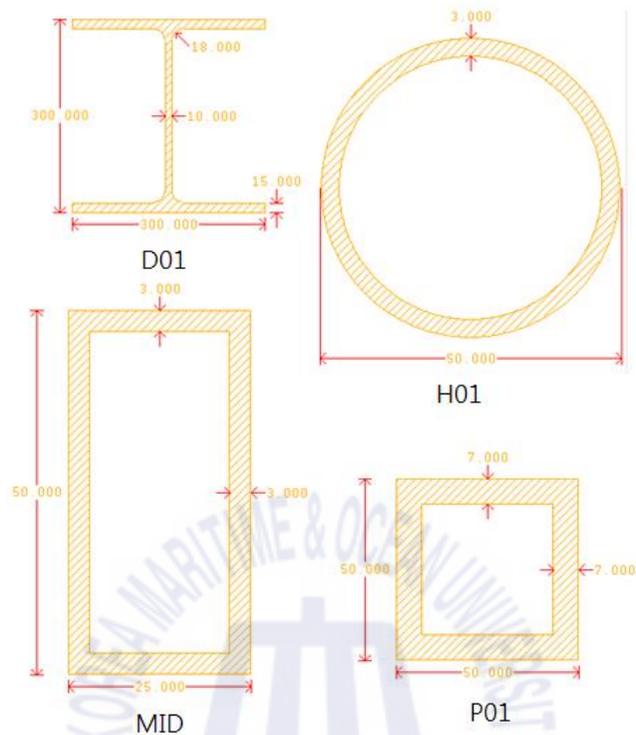


Fig. 4 Section's shape of handrail

Table 7 Member section properties for handrail

Number	Section ID	Shape	Size
1	D01	H-Beam	300x300x10/15
2	H01	Pipe	ϕ 50x3
3	MID	Box	50x25x3
4	P01	Box	50x50x7

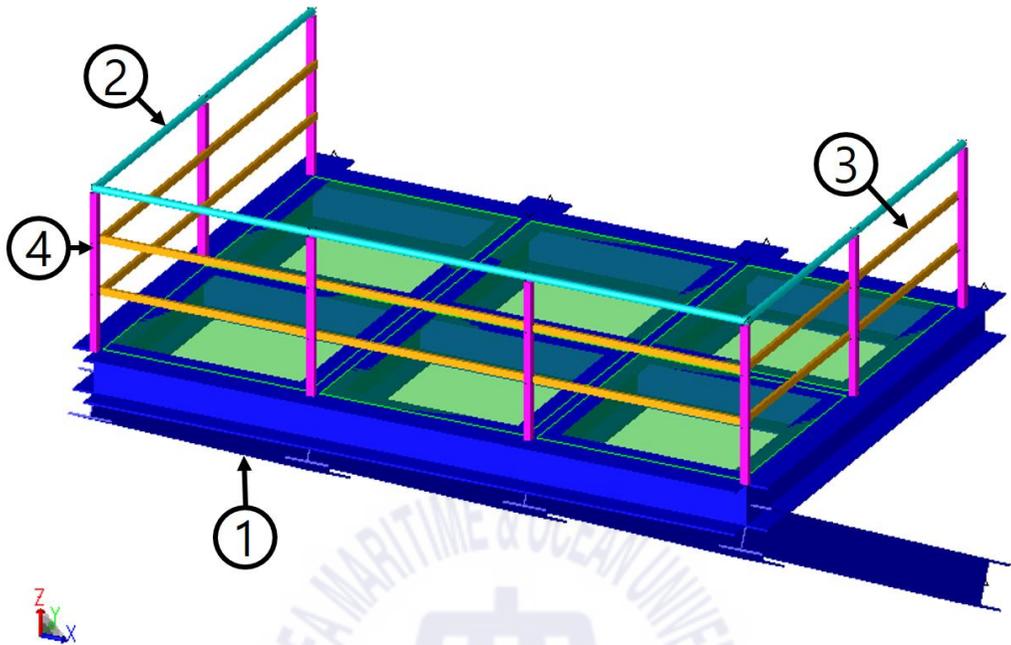


Fig. 5 SACS model of handrail

3.1.2. 설계 규정에 따른 하중 설정(Handrail)

Handrail의 하중 설정은 NORSOK Standard C-002와 DNV-RP-C205를 참고하여 수행하였다. 하중은 다음과 같이 자중, 수평 하중, 수직 하중, 풍하중으로 나누었으며, 각 하중마다 여러 개의 케이스로 나누었으며 각 케이스를 조합하여 조합 하중을 생성하였다. 또한, 주어진 환경 조건에서 Platform에 Hull motion으로 인한 가속도와 Handrail의 질량으로 인한 가속도가 작용하는 4가지 경우를 고려하여 구조 해석을 수행하였다.

1) Fixed boundary condition

6 자유도 고정조건은 아래의 Fig. 6과 같이 H-beam의 끝인 8 곳에 적용하였다.

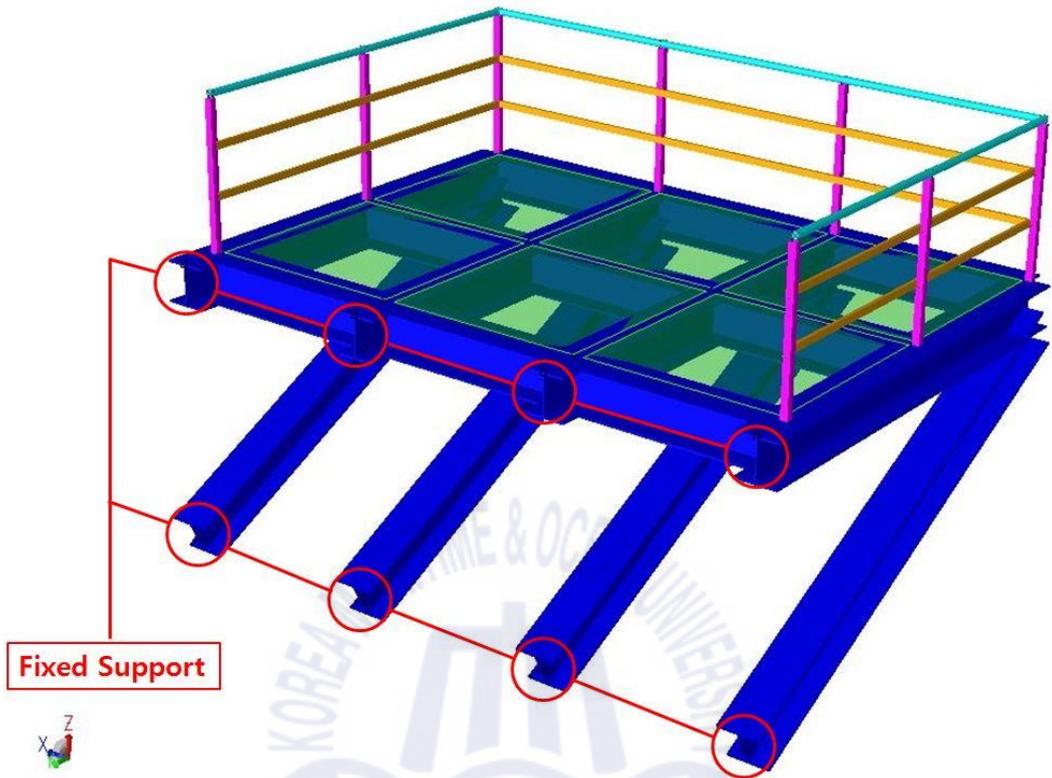


Fig. 6 Fixed support of handrail

2) Self-weight

자중은 $-z$ 축 방향으로 작용하며 크기는 38.05 kN을 적용하였다.

3) Horizontal load

Handrail의 수평 하중은 아래의 NORSOK Standard C-002를 참고하였으며, 극한 한계 상태(Ultimate limit state)를 고려하여 설정하였다. 수평 하중의 작용하는 위치는 아래 Fig. 7, Fig. 8과 같이 총 5가지로 나누었으며, 각각 HLA1, HLB1~HLB4로 정의하였다. HLA1의 경우 하중의 크기는 2250N, HLB1~HLB4는 1000N이다.

Structural requirement(NORSOK Standard C-002)

Handrails and guardrails shall be designed for the following ultimate limit state(ULS) actions:

1. A horizontal line action of 1.5 kN/m acting on the handrail.
2. A point action of 1.0 kN acting in worst location and worst direction(horizontal and vertical). The point action does not act together with the horizontal line action.
3. Actions from possible attachments shall be established for each case.
4. Actions on guardrails and flexible barriers in areas with cargo handling should be determined with due attention to relevant operational conditions.
5. A load factor of 1.3 shall be applied to the above ULS actions.

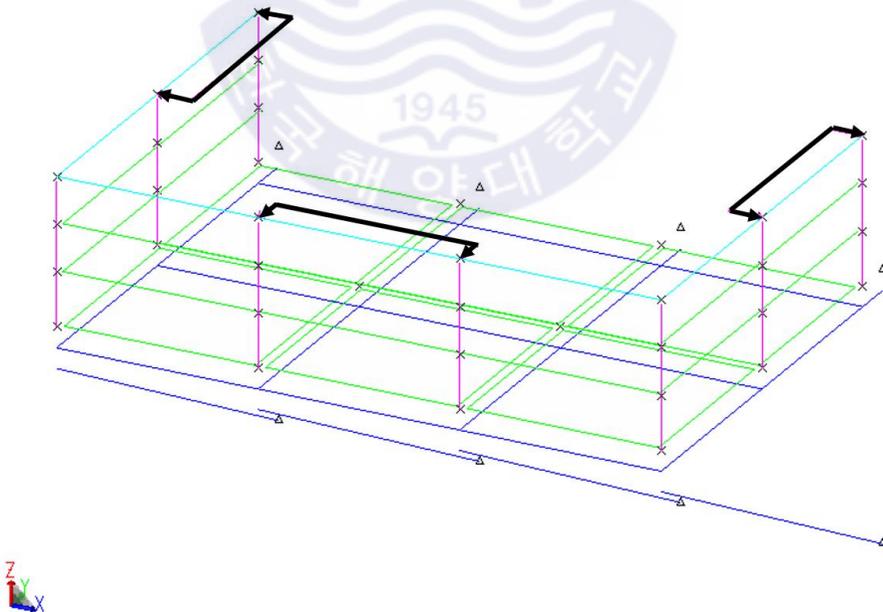


Fig. 7 Load condition of HLA1

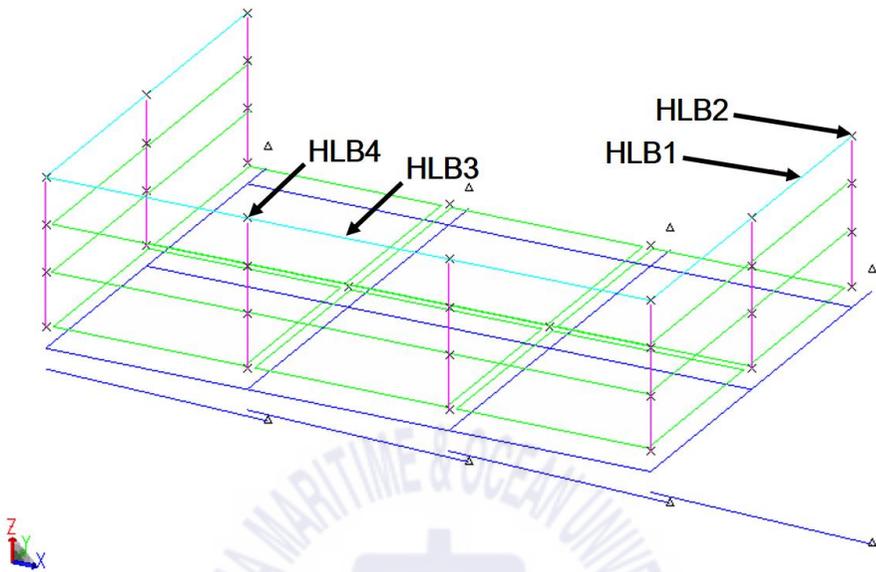


Fig. 8 Load condition of HLB

4) Vertical load

Horizontal load와 마찬가지로 NORSOK Standard C-002를 참고하여 하중의 크기 및 방향을 설정하였다. 수직 하중 조건은 총 두 가지로 아래의 Fig. 9와 같이 VT01, VT02로 나누었다. VT01, VT02 하중의 크기는 모두 1000N이다.

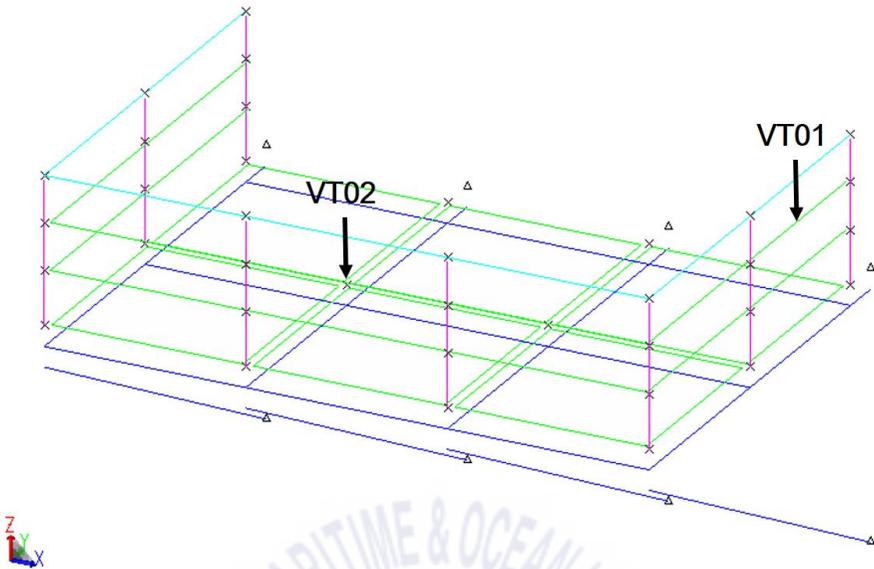


Fig. 9 Load condition of VT

4) Wind load

풍하중은 탑사이드 구조물에 필수적으로 고려해야 하는 하중이다. Handrail의 구조 안전성을 만족시키기 위해 DNV-RP-C205를 참고하여 아래의 식 1과 같이 풍하중을 설계하였다.

$$V(t,z) = V_R \times \left[1 + 0.137 \ln \frac{z}{z_0} - 0.047 \ln \frac{t}{t_{10}} \right] \quad (1)$$

여기서 V_R 은 z 가 10m이고, t 가 10min일 때의 기준 풍속이고, z 은 해수면으로부터의 거리, z_0 은 기준 높이인 10m, t 는 3초, t_0 은 기준 시간인 10min이다. 풍하중은 z 의 값을 실제 Handrail 구조물의 높이를 적용하여 계산하였고 아래의 Table 8과 같이 최종 풍속은 38.65m/s가 된다. 풍하중의 방향은 아래 Fig.

10의 글로벌 좌표의 XZ 평면을 기준으로 각도를 0, 45, 90도로 총 3가지로 설정하였다.

Table 8 Design wind speed

Items	Reference elevation	Design elevation
Period(years)	100	100
Mean(sec)	3	3
Elevation(m)	10	52.2
Wind speed(m/s)	35.9	38.65

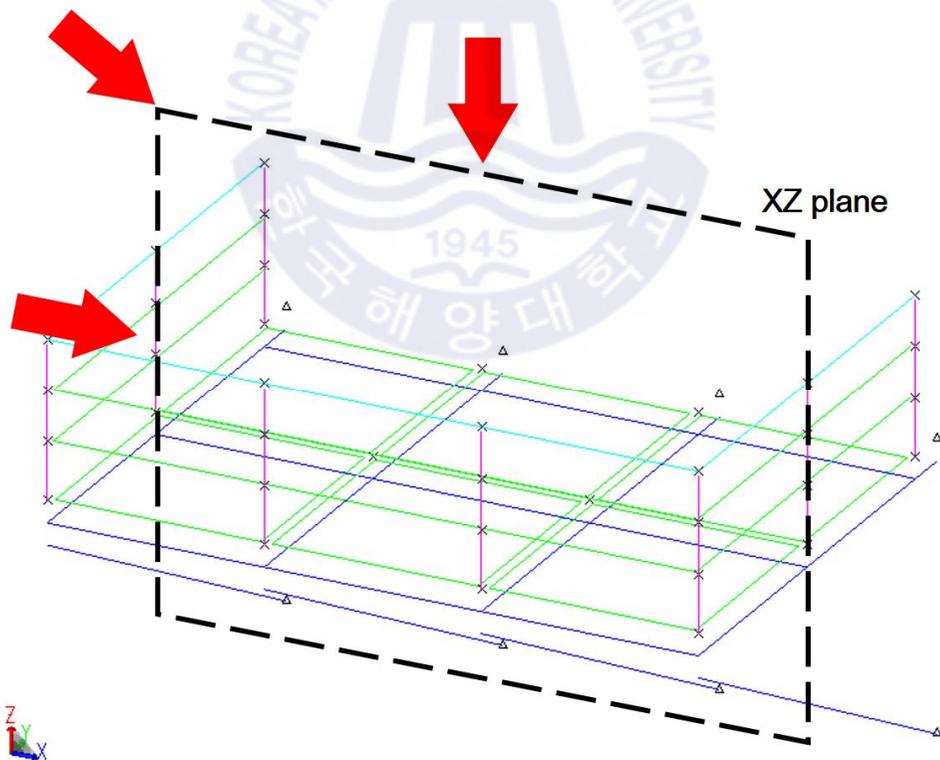


Fig. 10 Wind direction of handrail

5) Design acceleration

Handrail의 질량, platform의 hull motion에 의한 관성력에 따른 Handrail의 구조 안전성을 평가하기 위해 아래의 Table 9와 같이 Handrail에 x, y, z 축 방향으로 변위 가속도를 적용하였다.

Table 9 Design acceleration

Load condition	Translational acceleration			Rotational accelerations		
	x	y	z	x	y	z
AC1	0.5G	0.5G	-1.45G	0	0	0
AC2	-0.5G	0.5G	-1.45G	0	0	0
AC3	0.5G	-0.5G	-1.45G	0	0	0
AC4	-0.5G	-0.5G	-1.45G	0	0	0

3.1.3. Handrail의 최종 하중 조건

위의 Self-weight, Horizontal load, Vertical load, Wind load, Design acceleration의 최종 크기 및 방향은 아래의 Table 10과 같다. 위의 하중들을 조합하여 Handrail의 구조 해석을 수행하여 구조 안전성을 검토하였다. 하중의 조합은 Self-weight, Horizontal load, Wind load, Design acceleration의 조합과 Self-weight, Vertical load, Wind load, Design acceleration의 조합으로 조합 하중의 수는 각각 60가지, 24가지로 총 84가지가 된다. 84가지 경우에 대한 구조 해석을 보다 보수적인 구조 안전성을 검토하였다.

Table 10 Load description for handrail

ID	F _x [kN]	F _y [kN]	F _z [kN]	M _x [kN-m]	M _y [kN-m]	M _z [kN-m]	Description
SELF	0	0	-38.05	-60.54	85.61	0	Self-weight
HLA1	0	-2.25	0	2.48	0	-5.06	Horizontal load
HLB1	1.00	0	0	0	1.10	-2.25	Horizontal load
HLB2	1.00	0	0	0	1.10	-3.00	Horizontal load
HLB3	0	-1.00	0	1.10	0	-2.25	Horizontal load
HLB4	0	-1.00	0	1.10	0	-1.5	Horizontal load
VT01	0	0	-1.00	-2.25	4.47	0	Vertical load
VT02	0	0	-1.00	-0.03	2.25	0	Vertical load
AC1	20.81	20.81	-60.35	-86.27	126.51	13.88	Design acceleration
AC2	-20.81	20.81	-60.35	-86.27	145.08	79.78	Design acceleration
AC3	20.81	-20.81	-60.35	-104.83	126.51	-79.78	Design acceleration
AC4	-20.81	-20.81	-60.35	-104.83	145.08	-13.88	Design acceleration
WI00	1.98	0	0	0	-1.04	-3.19	Wind load
WI45	1.4	-0.87	-0.27	-0.60	0.14	-4.22	Wind load
WI90	0	-1.23	-0.38	-0.85	0.84	-2.77	Wind load

3.2. Stair

Stair는 오로지 사람이 지나다니기 위해 설치하는 구조물로서, 탑사이드에 가장 많이 설치하는 구조물 중의 하나이다. 사람이 통행할 때의 하중을 산정하는 NORSOK Standard C-002와 DNV-RP-C205를 참고하여 설계 규정을 고려해 환경하중을 설정하고 그에 따른 구조 안전성을 검토한다.

3.2.1. Stair 기본 구조

Stair는 아래의 Fig. 12와 같이 총 5개의 부재 그룹으로 모델링하였으며, 각 부재의 단면 형상은 Fig. 11과 같고 단면의 세부 정보는 Table 11과 같이 설정하였다.

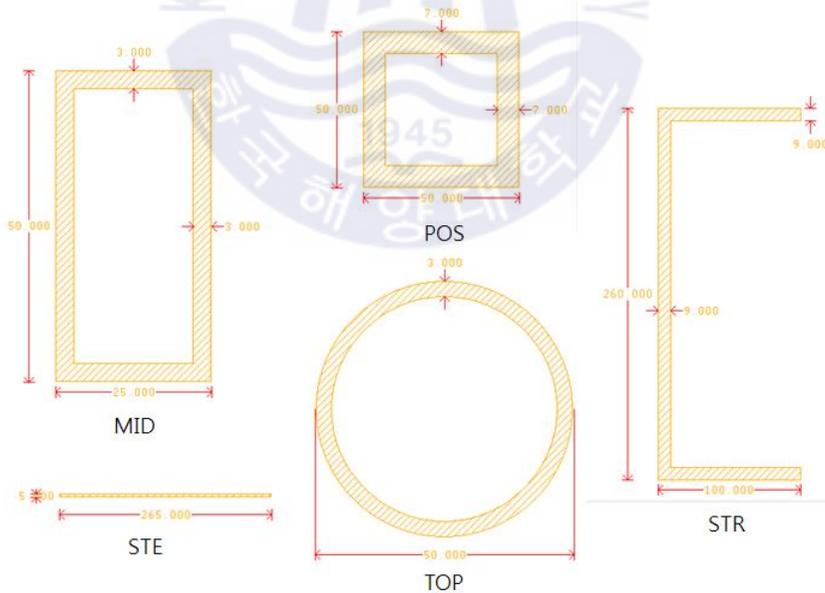


Fig. 11 Section's shape of stair

Table 11 Member section properties for stair

Number	Section ID	Shape	Size
1	MID	Box	50x25x3
2	POS	Box	50x50x3
3	STE	Flat Bar	265x5
4	STR	Channel	260x100x9
5	TOP	Pipe	ϕ 50x3



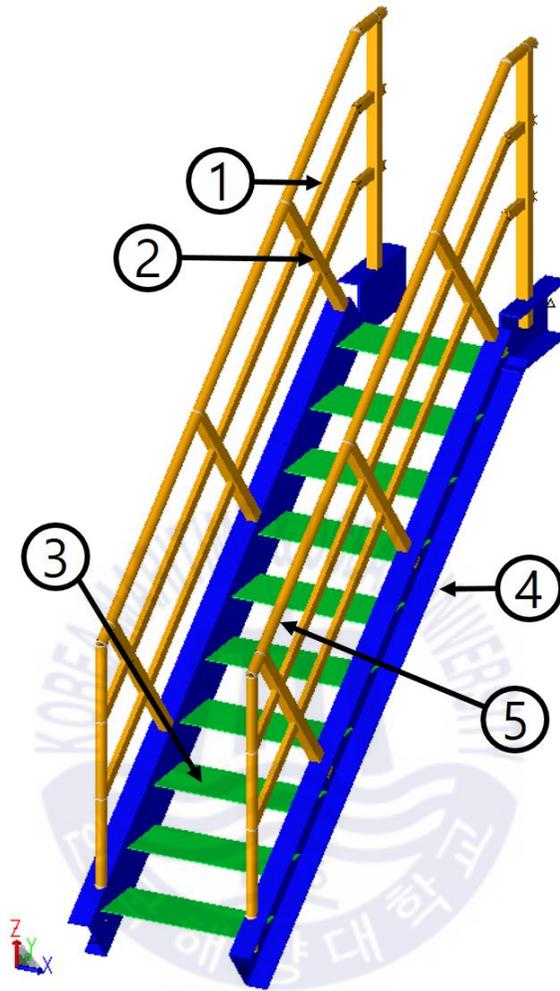


Fig. 12 SACS model of stair

3.2.2. 설계 규정에 따른 하중 설정(Stair)

Stair의 하중 설정은 NORSOK Standard C-002과 DNV-RP-C205를 참고하여 수행하였다. 하중은 다음과 같이 자중, 수직 하중, 풍하중으로 나누었으며, 각 하중마다 여러 개의 케이스로 나누었으며 각 케이스를 조합하여 조합 하중을 생성하였다.

1) Fixed boundary condition

고정 조건은 Fig. 13과 같이 탑사이드와 이어지는 4 부분에 해당한다.

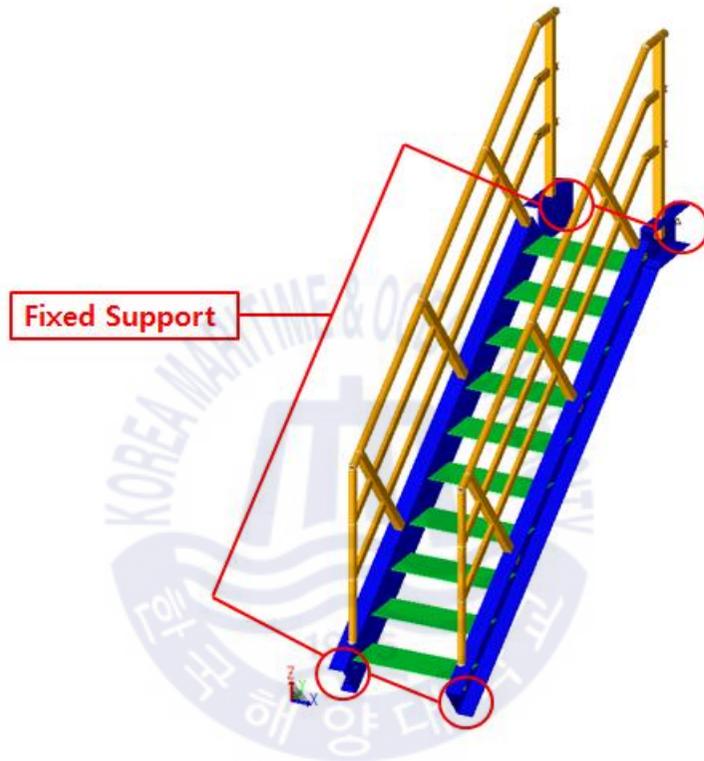


Fig. 13 Fixed support of stair

2) Self-weight

Stair의 자중은 $-z$ 축 방향으로 작용하며 크기는 1.46 kN을 적용하였다.

3) Vertical load

Stair는 Walkway로 사람이 지나다니면서 발생하는 stepping load가 작용한다.

하중의 크기는 아래의 NORSOK Standard C-002을 참고하여 Tread area(700mm X 265mm)에 $5kN/m^2$ 를 곱하여 930N을 산정하였다. 수직 하중이 발생하는 위치는 S001~S010으로 총 10가지로 아래의 Fig. 14와 같이 설정하였다. 이 10가지의 하중은 한 가지 케이스의 하중조건을 해석할 시 모두 고려해야 한다.

ISO 14122-3

For the structure the unfactored loads used in the industrial field, may vary from $1.5kN/m^2$ for low density pedestrian traffic without load, up to $5kN/m^2$ for low density pedestrian traffic with load or for high density pedestrian traffic.



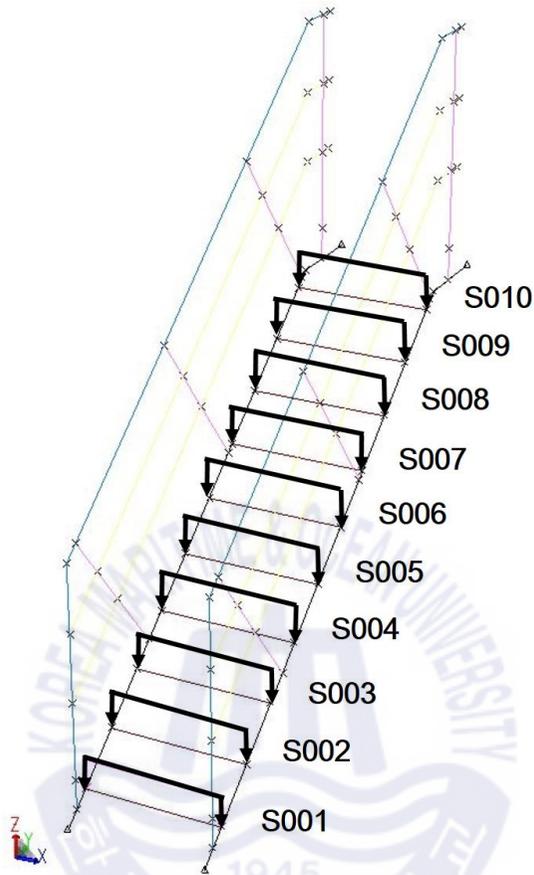


Fig. 14 Load condition of stair

3) Wind load

풍하중은 Handrail과 마찬가지로 DNV-RP-C205를 참고하여 식 (1)과 같이 산정하였으며, 풍속은 38.65m/s, 풍향은 Fig. 15와 같이 XZ 평면을 기준으로 0도, 45도, 90도 총 3가지로 설정하였다.

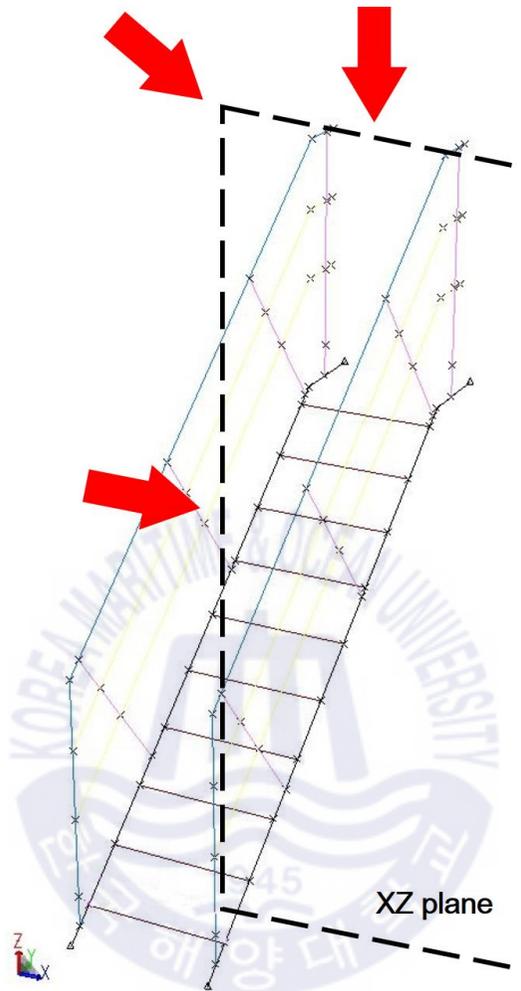


Fig. 15 Wind direction of stair

3.2.3. Stair의 최종 하중 조건

위의 Self-weight, Vertical load, Wind load의 최종 크기 및 방향은 아래의 Table 12와 같다. 위의 하중들을 조합하여 Stair의 구조 해석을 수행하여 구조 안전성을 검토하였다. 하중의 조합은 Self-weight, Vertical load, Wind load의 조합으로 조합 하중의 수는 총 3가지가 된다. 3개의 경우에 대한 구조 해석을 수행하여 구조 안전성을 검토하였다.

Table 12 Load description for stair

ID	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [kN-m]	My [kN-m]	Mz [kN-m]	Description
SELF	0	0	-1.46	-2.06	0	0	Self-weight
S001	0	0	-0.93	-0.17	0	0	Vertical load
S002	0	0	-0.93	-0.39	0	0	Vertical load
S003	0	0	-0.93	-0.62	0	0	Vertical load
S004	0	0	-0.93	-0.85	0	0	Vertical load
S005	0	0	-0.93	-1.07	0	0	Vertical load
S006	0	0	-0.93	-1.30	0	0	Vertical load
S007	0	0	-0.93	-1.52	0	0	Vertical load
S008	0	0	-0.93	-1.75	0	0	Vertical load
S009	0	0	-0.93	-1.97	0	0	Vertical load
S010	0	0	-0.93	-2.20	0	0	Vertical load
WP00	0.63	0	0	0	0.87	-0.90	Wind load
WP45	0.45	0.11	0.11	-0.24	0.62	-0.64	Wind load
WP90	0	0.16	0.16	-0.34	0	0	Wind load

3.3. Platform

Platform은 상용 프로그램인 MSC PATRAN으로 모델링하였으며, MSC NASTRAN을 이용하여 구조 해석을 수행하였다.

3.3.1. Platform 기본 구조

Platform의 전체적인 크기는 가로 1m, 세로 1m이며, FE Model은 Fig. 16과 같이 5~10mm 크기의 solid element로 모델링하였다.

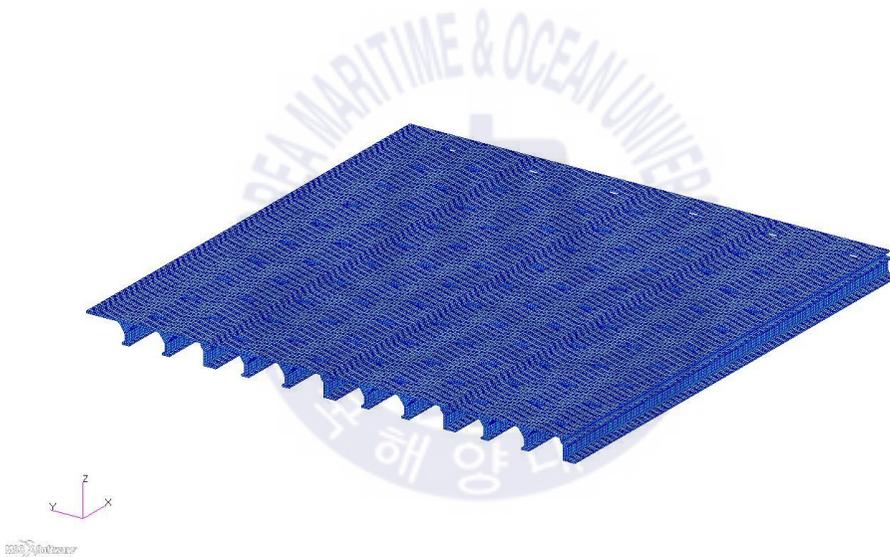


Fig. 16 FE model of platform

3.3.2. 설계 규정에 따른 하중 설정(Platform)

Platform의 경우, 아래의 ISO 14122-2를 참고하여 Distributed load, Concentrated load 등의 하중을 선정하였으며, 추가적으로 Self-weight까지 고려하여 최종 하중을 선정하였다.

Design loads(ISO 14122-2)

The schedule of specifications for the working platforms and walkways shall state the load for which it is designed.

The minimum operating loads to take into account for the landing, walkways and working platforms are:

1. $2kN/m^2$ under distributed load for the structure.
2. 1.5kN concentrated load applied in the most unfavourable position over a concentrated load area.

When loaded with the design load, the deflection of the flooring shall not exceed $1/200^{th}$ of the span and the difference between the loaded and a neighbouring unloaded flooring shall not exceed 4mm in height.

The safe strength design of the walkways and working platforms shall be verified either by calculation or by tests.

1) Boundary condition

Platform은 deck의 cover에 개별적으로 설치하기 때문에 아래의 Fig. 17과 같이 고정 조건을 적용하였다.

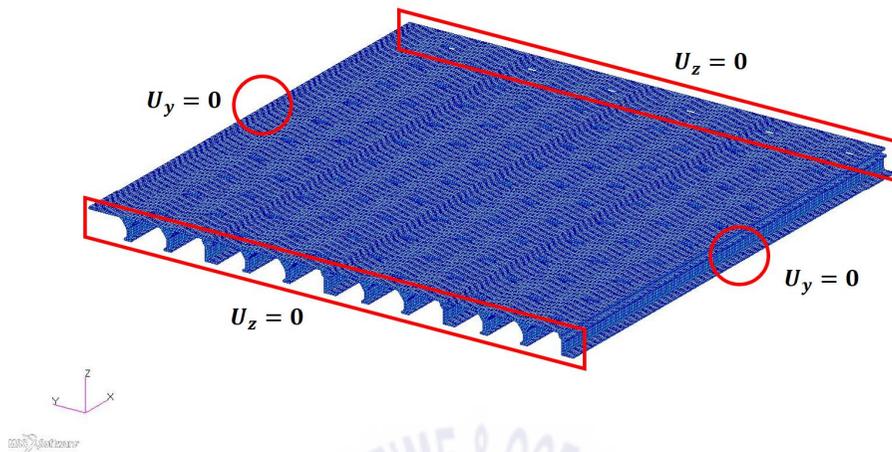


Fig. 17 Boundary condition of platform

2) Self-weight

Platform의 자중을 고려하기 위해 중력 가속도 $9.8m/s^2$ 을 $-z$ 축 방향으로 적용하였다.

3) Distributed load

분포 하중의 크기는 보다 보수적인 설계를 위해 ISO 14122-2에서 제시하는 $2kN/m^2$ 보다 더 큰 값인 $5kN/m^2$ 을 적용하였다. 작용하는 방향은 자중과 같은 $-z$ 축 방향으로 platform 상부 전체 면적에 작용한다.

4) Concentrated load

집중 하중은 ISO 14122-2를 참고하여 platform의 정 가운데 $200mm \times 200mm$ 면적에 $-z$ 축 방향으로 $1.5kN$ 이 작용하였다.

3.3.3. Platform의 최종 하중 조건

최종 하중 조건은 아래의 Fig. 18, Fig. 19와 같이 Self-weight와 Distributed load가 작용하는 경우, Self-weight와 Concentrated load가 작용하는 경우로 총 2가지로 설정하였고, 이에 대한 구조 해석을 수행하였다.

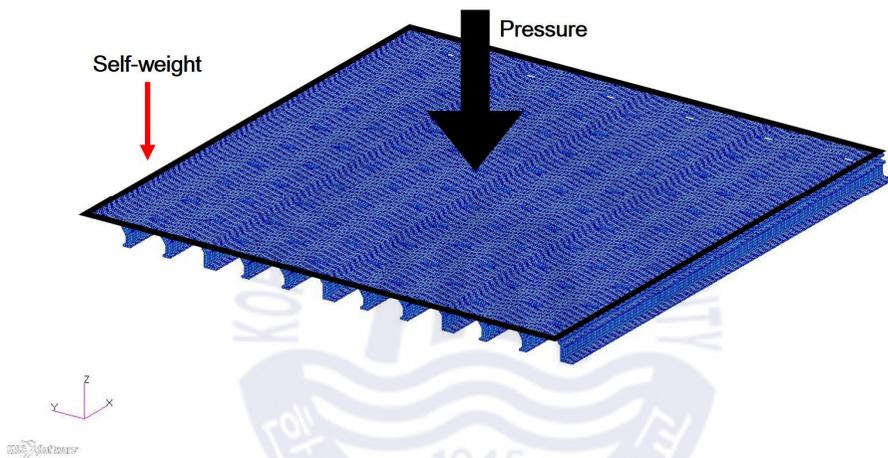


Fig. 18 Landing condition of LC1

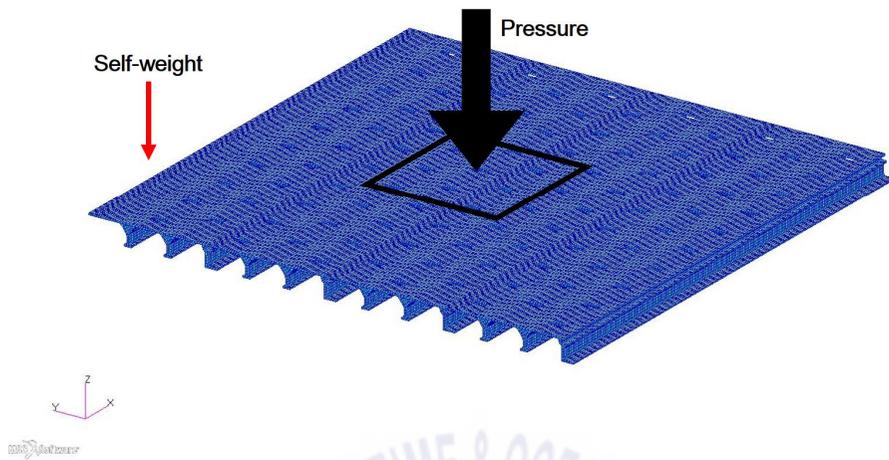
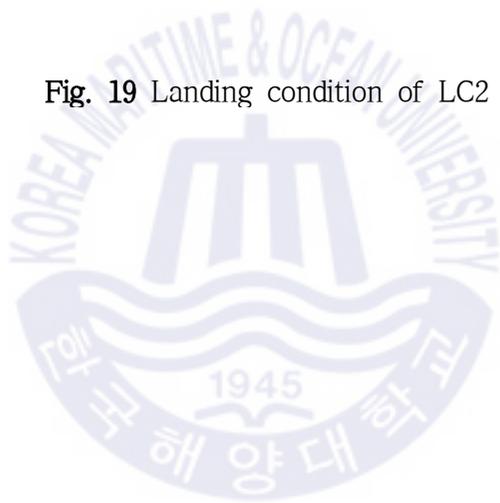


Fig. 19 Landing condition of LC2



제 4 장 의장재 구조 안전성 검토

최종적으로 각 구조물에 해당하는 구조 해석을 수행하였다. Handrail와 Stair의 경우, 상용 프로그램 SACS를 통한 구조 해석을 수행한 후, 구조물의 Unity check, Deflection check, Natural frequency등을 통해 구조 안전성을 평가하였다. Platform은 MSC Patran을 이용한 FE 해석을 통해 구조물의 변위, 응력 등을 통해 구조 안전성을 평가하였다.

4.1. Handrail

4.1.1. Unity check ratio for members

일반적으로 unity check는 부재의 단면 형상, 치수, 길이, 재료의 항복응력 등을 통해 부재의 허용응력을 계산하고, 실제 발생하는 응력과의 비를 통해 계산된다. 계산된 값이 1을 넘지 않으면 안전하다고 판단한다. Unity check 결과, Table 13과 같이 부재마다 unity check ratio 값이 계산되었으며, Fig. 20과 같이 최대 unity check ratio 값은 수평하중 HLA1, 가속도 조건 AC1, 풍향 0도의 환경하중 조건에서 handrail의 왼쪽 수직 부재에서 0.55가 발생하였다. Table 14을 보면, 최대 unity check ratio가 발생한 부재에서 z 축 방향의 굽힘응력이 약 104MPa로 가장 크게 발생한 것을 알 수 있다.

Table 13 Unity check ratio of handrail members

Group ID	Section property	Critical load combination	Unity ratio
D01	300x300x10/15	VT02, AC3, WI00	0.06
H01	ϕ 50x3	HLA1, AC3, WI45	0.27
MID	50x25x3	VT01, AC3, WI00	0.28
P01	50x50x7	HLA1, AC1, WI00	0.55

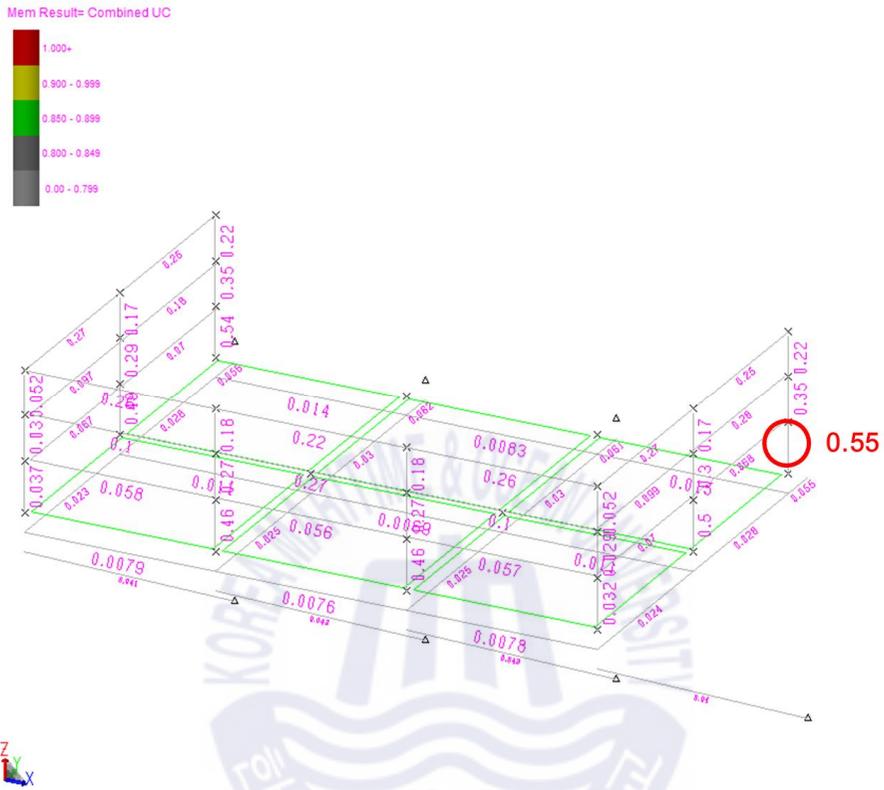


Fig. 20 Unity check ratio of handrail

Table 14 Summary of maximum critical unity check ratio for handrail

Stress	Actual	Allowable	Ratio
Euler buckling	-0.06	853.70	0.00
Fa	-0.06	138.66	0.00
-Fby	2.21	192.46	0.01
-Fbz	103.92	192.46	0.54
Fvy	-7.42	89.82	0.08
Fvz	-5.49	89.82	0.06

4.1.2. Deflection check

구조물의 안전성을 평가할 때, 응력뿐만 아니라 구조물의 변위량까지 검토하여야 한다. 본 논문의 구조물의 허용 변위량은 ISO 14122 설계 규정을 토대로 설정하였다. Handrail의 local Y축, Z축 방향의 변위량이 모든 환경하중 조건에서 아래의 ISO 14122-3의 허용 기준을 만족하는지 확인한다.

Structural requirements(ISO 14122-3)

The guard-rail shall support, without any perceivable permanent deformation, an unfactored horizontally applied point load equal to the service load, applied first to the top of the stanchion, then at the least favourable point along the handrail. In both cases, the maximum loaded deflection shall not exceed 30mm.

허용 변위량은 30mm이며, SACS 해석 결과 Table 15와 같이 모든 환경하중

조건하에서 변위량이 허용 변위량을 넘지 않는 것을 확인하였다. 그 중, 수평하중 HLA1, 가속도 조건 AC3, 풍향 90도의 환경하중 조건에서 26.27mm로 가장 큰 변위량이 발생하였다.

Table 15 Deflection check of handrail

Local Y direction			Local Z direction		
Max load case	Max deflection (mm)	Allow Deflection (mm)	Max load case	Max deflection (mm)	Allow Deflection (mm)
HLA1, AC2, WI90	2.42	30	HLA1, AC4, WI90	0.3	30
HLA1, AC3, WI90	4.83	30	HLA1, AC3, WI45	0.6	30
HLA1, AC1, WI00	2.51	30	HLA1, AC3, WI45	0.3	30
HLA1, AC2, WI90	5.6	30	HLA1, AC3, WI45	0.2	30
HLA1, AC3, WI90	12.85	30	VT02, AC2, WI00	2.9	30
HLA1, AC1, WI00	5.73	30	VT01, AC4, WI90	3.0	30
HLA1, AC2, WI90	12.22	30	HLA1, AC1, WI90	0.4	30
HLA1, AC3, WI90	26.27	30	HLA1, AC3, WI90	0.4	30
HLA1, AC1, WI00	12.34	30	HLA1, AC3, WI45	0.4	30

4.1.3. Vibration check

Handrail의 경우, 환경하중에 의한 진동, 장비에 의한 가진 등에 의해 진동할

수 있다. 그러므로 handrail의 고유치 해석을 통해 고유 주파수의 크기를 확인해야 하며, 그 값은 적어도 5Hz 이상이 되어야 한다. Table 16을 보면, 가장 작은 고유 주파수가 약 17Hz로 매우 안전하다고 할 수 있다. Fig. 21은 handrail의 1차 고유 모드 형상이다.

Mode 1 Freq: 17.630 Hz Period: 0.057 secs

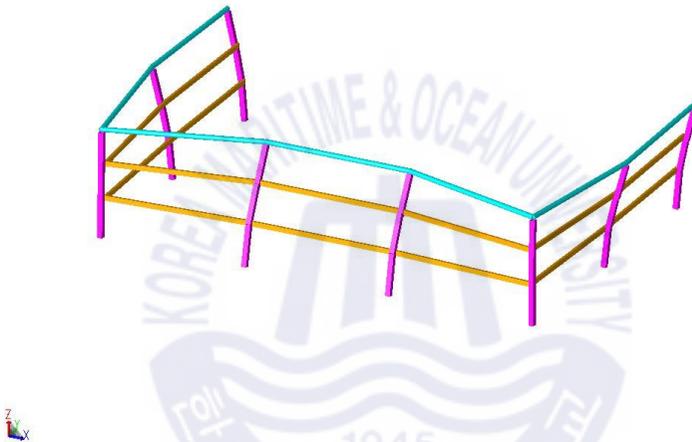


Fig. 21 First mode shape of handrail

Table 16 Result of the modal analysis for handrail

Mode	Frequency(Hz)	Period(s)
1	17.629	0.057
2	18.245	0.055
3	18.665	0.054
4	23.902	0.042
5	24.587	0.041
6	24.967	0.040
7	29.473	0.034
8	30.095	0.033
9	30.780	0.032
10	46.739	0.021

4.2. Stair

4.2.1. Unity check ratio for members

Stair 구조물 역시 handrail과 마찬가지로 SACS 프로그램을 통해 해석을 수행하였으며, 최대 unity check ratio 값은 Table 17과 같이 handrail의 최대 unity check ratio 값보다는 매우 작은 0.06으로 풍향 0도일 때, 발생하는 것을 알 수 있다. Fig. 22는 stair 구조물 전체 부재에서 발생하는 최대 unity check ratio 분포도이다. 최대 unity check ratio 값은 Table 18과 같이 해당 부재에서 y 축 방향의 굽힘응력으로 인하여 발생한 것을 알 수 있다.

Table 17 Unity check ratio of stair members

Group ID	Section property	Critical load combination	Unity ratio
MID	50x25x3	S, WP45	0.06
POS	50x50x3	S, WP00	0.03
STR	265x5	S, WP00	0.05
TOP	260x100x9	S, WP00	0.02

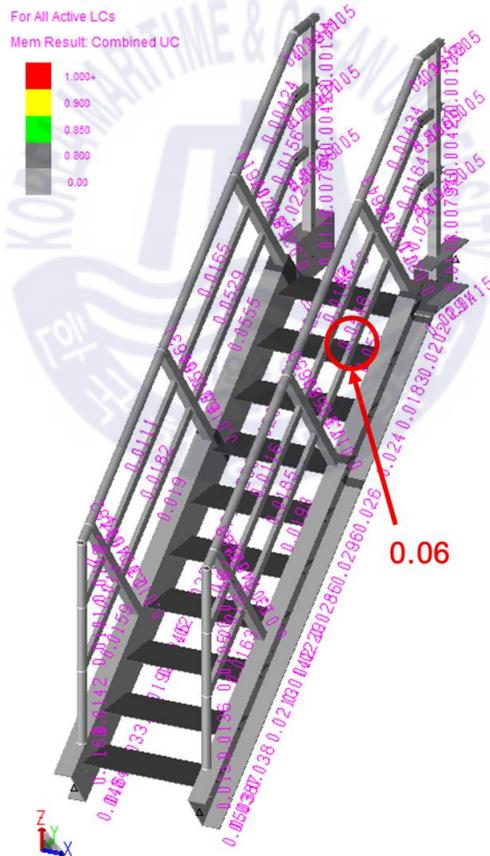


Fig. 22 Unity check ratio of stair

Table 18 Summary of maximum critical unity check ratio for stair

Stress	Actual	Allowable	Ratio
Euler buckling	-0.10	31.96	0.00
Fa	-0.10	31.96	0.00
-Fby	-2.81	54.24	0.05
-Fbz	-0.32	168.61	0.00
Fvy	-0.04	89.82	0.00
Fvz	-0.11	89.82	0.00

4.2.2. Deflection check

Stair 역시 변위량의 크기를 허용 변위량과 비교하여 안전성을 평가하였으며, stair의 허용 변위량은 ISO 14122-3을 참고하여 6mm로 설정하였다. Table 19를 보면, 풍향 45도, 90도의 환경하중 조건에서 0.2mm가 발생하였으며 이는 허용 변위량인 6mm에 비해 매우 작은 변위량이므로 주어진 환경하중 조건에서 구조적으로 매우 안전하다고 평가할 수 있다.

ISO 14122-3

The deflection between the structure and the steps under an unfactored load shall not exceed 1/300 of the span or 6mm whichever is the lesser.

Table 19 Deflection check of stair

Local Y direction			Local Z direction		
Max load case	Max deflection(mm)	Allow Deflection(mm)	Max load case	Max deflection(mm)	Allow Deflection(mm)
S, WP00	0.1	6.0	S, WP45	0.2	6.0
S, WP00	0.1	6.0	S, WP90	0.2	6.0

4.2.3. Vibration check

Stair는 장비로 인한 가진력, 환경하중 등에 의해 진동이 발생할 수 있다. 그러므로, 공진을 피하기 위해 적어도 5Hz 이상의 고유 주파수를 가질 수 있게 설계하여야 한다. 따라서, 진동 해석을 통해 stair의 고유 주파수를 확인하였다. Fig. 23은 stair의 1차 고유 모드 형상이며, Table 20을 보면 가장 작은 고유 주파수가 약 10Hz로 안전성 기준인 5Hz보다 크며, 이는 진동으로 인한 구조물의 공진 현상에서 안전하다고 할 수 있다.

Mode 1 Freq: 10.287 Hz; Period 0.097 secs

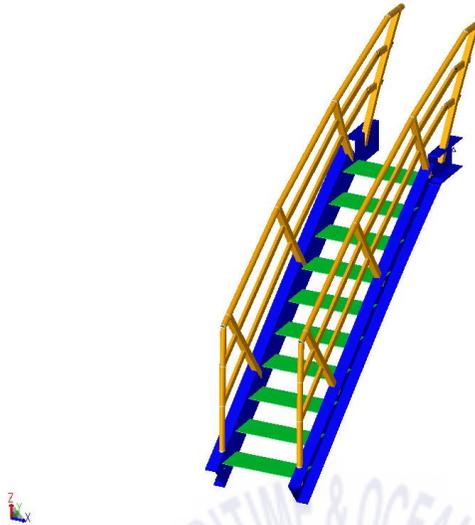


Fig. 23 First mode shape of stair

Table 20 Result of the modal analysis for stair

Mode	Frequency(Hz)	Period(s)
1	10.287	0.097
2	11.011	0.090
3	13.536	0.073
4	14.681	0.068
5	24.045	0.041
6	24.435	0.040
7	26.092	0.038
8	38.752	0.025
9	38.878	0.025
10	62.381	0.016

4.3. Platform

4.3.1. Analysis result

Platform의 구조 안전성 평가는 응력 및 변위량이 허용 기준을 넘지 않으면 구조물이 안전하다고 평가할 수 있다. 허용 응력은 아래의 식 (2)와 같이 안전 계수와 항복응력을 이용하여 설정하였고, 허용 변위량은 설계 규정인 ISO 14122-2를 참고하여 설정하였으며, 그 크기는 4mm이다. 두 개의 환경하중 조건인 LC1과 LC2에서의 응력 분포는 Fig. 24, Fig. 25와 같으며 최대 응력이 각각 67.3MPa, 81.0MPa으로 허용응력인 171.2MPa보다 작은 응력이 계산되었다. Table 21과 같이 변위량, 응력 모두 허용 기준을 초과하지 않으며, 이를 통해 platform 구조물은 안전하다고 평가할 수 있다.

ISO 14122-2

The deflection of the flooring shall not exceed 1/200 of the span and the difference between the loaded and a neighbouring unloaded flooring shall not exceed 4mm in height.

$$\text{Allowable stress} = \frac{\text{Yield stress}}{\text{Partial safety factor}} = \frac{275}{1.25} = 220\text{MPa} \quad (2)$$

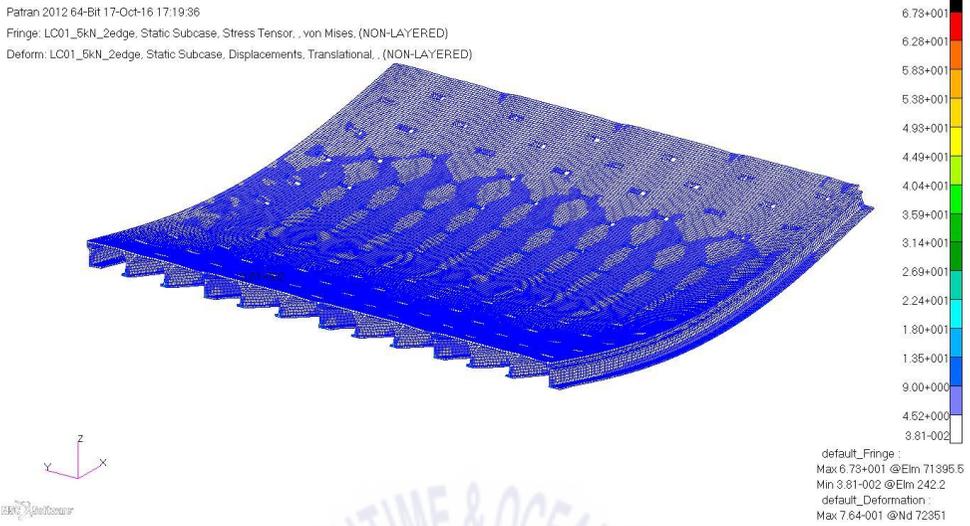


Fig. 24 Stress plot with load case LC1

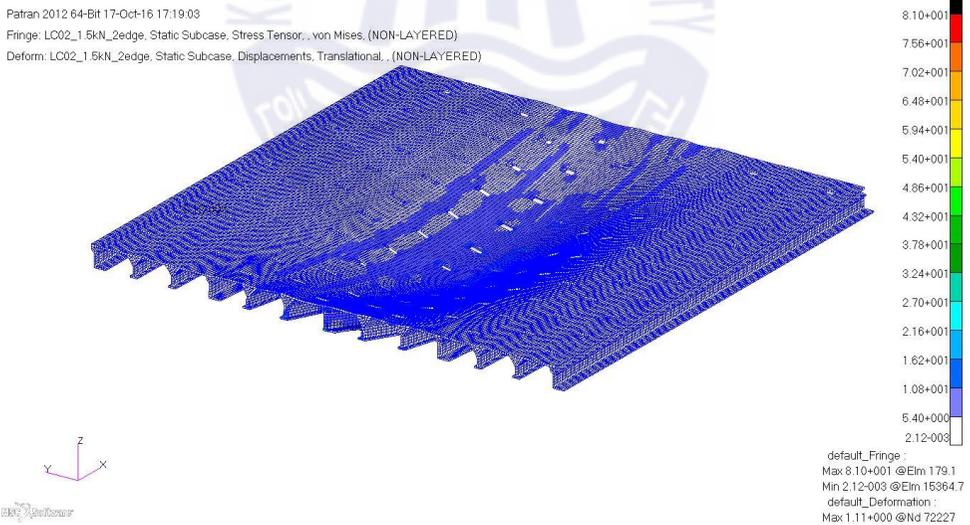


Fig. 25 Stress plot with load case LC2

Table 21 Summary of platform's result

Load case	Deformation check		Stress check		
	Max deformation (mm)	Allow Deformation (mm)	Max stress(MPa)	Allowable stress(MPa)	Unity check
LC1	0.76	4.00	67.3	220	0.39
LC2	1.11	4.00	81.0	220	0.47



제 5 장 결론

우리나라는 조선업이 발달한데 비해 중소형 의장재 산업의 기술 수준과 기업 규모, 부가가치 생산액 등을 미약한 수준이다. 현재는 조선 분야에서 우리나라가 1위이나 중국 등 빠른 속도로 추격하고 있어 향후 5~10년 이내에 우리나라 조선 산업의 기술력을 따라올 것이라고 예측할 수 있다. 과거 유럽과 일본이 그랬듯이 조선 산업에 우위를 넘겨주었지만 조선 의장재 부분에서 강점을 가지고 고부가가치를 생산하고 있는 점에서 배워 나가야 할 것이다. 이에 중소형 선박용 알루미늄 의장재 또한 꾸준한 연구 개발과 국산화를 진행하여 고부가가치 선박을 생산하는 데에서 오는 상당 부분이 국외로 유출되는 것을 방지하고 국내 기업의 기술력 향상과 고부가가치 창출로 이어질 수 있도록 해야 할 것이다.

따라서 본 논문에서는 일반적으로 의장재 설계 및 제작에 사용하는 강인 SS400의 대체 재료로서 Al6061-T6 알루미늄 합금을 의장재 구조물의 재료로 사용하여 보다 가볍고, 부식에 강하며 항복강도가 약 20% 높은 구조물을 설계하였다. 또한, 신뢰성이 있는 국제 설계 규정에 따라 3가지 의장재(Handrail, Stair, Platform)의 설계, 구조 안전성 평가를 수행하였다.

최종적으로 고강도 알루미늄 합금을 통한 중량 절감된 국산 알루미늄 의장재를 개발하였고, 국외 기업 대비 독보적인 가격 경쟁력 및 최소중량 설계를 통한 품질 우수성을 확보하였으며, 주문주의 요구에 신속하고 유연한 대응력 확립을 통한 조선해양 시장에서의 경쟁력을 확보하였다. 경량화를 요구하는 해양 플랜트 탑사이드에 광범위하게 적용 가능하며 추가적인 설계기술 개발에 기여했다고 할 수 있다. 중량이 절감된 알루미늄 의장재를 개발하여 국외 기업 대비 국내에서 독보적인 기술력 강화를 하여 품질 우수성 및 경량화를 요구하는 선박에 광범위하게 적용 가능할 것이다.

우리나라의 선박 의장재 산업의 문제점은 그 규모가 영세하고, 고부가가치 기술이 부족하다는 점이다. 우리나라 알루미늄 의장재 업체는 대체로 일반 선

박에 중점이 되어있고 요트 등 높은 고품질이 요구되는 중소형 선박이나 미래형 선박인 친환경 선박 등 고부가가치 알루미늄 원자재를 생산할 수 있는 기술과 시설이 부족하다. 또한, 충분한 기술력과 생산능력을 갖추고 있는 경우라도 선주와 조선소는 사용 이력이 충분한 의장재를 선택하는 경향이 강하기 때문에 최초 시장 진입이 어려운 실정이다. 이를 타개하기 위해 중소형 선박용 알루미늄 의장재 산업의 기술개발과 개발된 알루미늄 의장재 제품의 상용화 지원이 필요하다. 우리나라 알루미늄 의장재 산업의 진흥을 위해서는 무엇보다도 조선업체와 알루미늄 의장재 업체간의 협업이 중요할 것이다.



참 고 문 헌

- [1] Australian STANDARD, 1992. Fixed Platforms, Walkways, Stairways and Ladders-Design, Construction and Installation, 1992 edition.
- [2] Australian STANDARD, 2013. Fixed Platforms, Walkways, Stairways and Ladders-Design, Construction and Installation, 2013 edition.
- [3] Choi, J.H. 2016. Structural Integrity Evaluation Method for Offshore Aluminum Helidecks, *Journal of Korean Society of Mechanical Engineers*, 56(1), pp.46~50.
- [4] Cho, J.H., Kim, M.H., Choi, J.W. 2012. Application of Friction Stir Welding Processes for Aluminum Alloy Boat, *Journal of Korean Welding & Joining Society*, 30(2), pp.31~36.
- [5] Det Norske Veritas Germanischer Lloyd, 2010. Environmental Conditions and Environmental Loads, 2010 edition.
- [6] Det Norske Veritas Germanischer Lloyd, 2015. Design of Offshore Steel Structures, General-LRFD Method, 2015 edition.
- [7] Det Norske Veritas Germanischer Lloyd, 2017. Structural Design of Offshore Units-WSD Method, 2017 edition.
- [8] Lim, G.H., Lim, B.C., Park, S.H. 2016. A Study on the Stress and Deformation of Vertical Steel grating, *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 17(2), pp.214~219.
- [9] International Organization for Standardization(ISO), 2016. Safety of Machinery-Permanent Means of Access to Machinery, 2016 edition.
- [10] Kim, T.S. 2013. A Experimental Study on Structural Behaviors of Single Shear Bolted Connections with Thin-Walled Aluminum Alloys(6061-T6), *Journal of the Architectural Institute of Korea*

Structure & Construction, 29(6), pp.49~56.

- [11] Kim, S.J., Kim, B.J., Seo, J.K., Paik, J.K. 2017. A New Method for Structural Assessment of Topside Structure Subjected to Hydrocarbon Explosions, *Procedia Engineering*, 173, pp.479~486.
- [12] Lee, J.H., Kim, H.U., Choi, J.H., Shin, W.H., Hwang, T.G. 2019. Impact Behavior Evaluation of Flexible Barrier by Elastic Connector Design, Korean Society of Mechanical Engineers, pp.122~123.
- [13] Li, C.B., Seo, J.K., Paik, J.K. 2016. Proposed Formulas for Evaluation of the Equivalent Material Properties of a Multiholed Structure, *Ocean Engineering*, 121(15), pp.312~322.
- [14] Mun, D.H., Jinggao, L., Han, S.H., Lee, W.J. 2010. A Method for the Construction of ISO 15926-Based Library for Equipment and Materials for the Exchange of Ship Outfitting Design Data, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 47(4), pp.613~627.
- [15] NORSOK standards, 1997. Working Environment, 1997 edition.
- [16] NORSOK standards, 2015. Architectural Components and Equipment, 2015 edition.
- [17] Park, D.H., Park, Y.J., Park, J.S., Kim, J.H., Kweon, B.C., Lee, J.M. 2014. Parametric Study for Helideck Design Using Finite Element Analysis, *Journal of Ocean Engineering & Technology*, 28(5), pp.411~422.
- [18] Park, J.S., Seo, J.K. 2017. Deformation-Based Design Method of Aluminum Helideck for Eurocode 9, *Journal of Applied Mechanical Engineering*, 6(2), pp.1~6.
- [19] Seo, J.K., Park, D.K., Jo, S.W., Park, J.S., Koo, J.B. 2016. A Numerical and Experimental Approach for Optimal Structural Section

Design of Offshore Aluminum Helidecks, *Structural Engineering and Mechanics*, 59, pp.993~1017.

