



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](#)

공학석사 학위논문

구명정 아웃리저 대빗의  
구조 강도 평가에 대한 연구

A Study on Structural Strength Evaluation of  
Out-Rigger Davit for Lifeboat

지도교수 조 종 래



2017년 8월

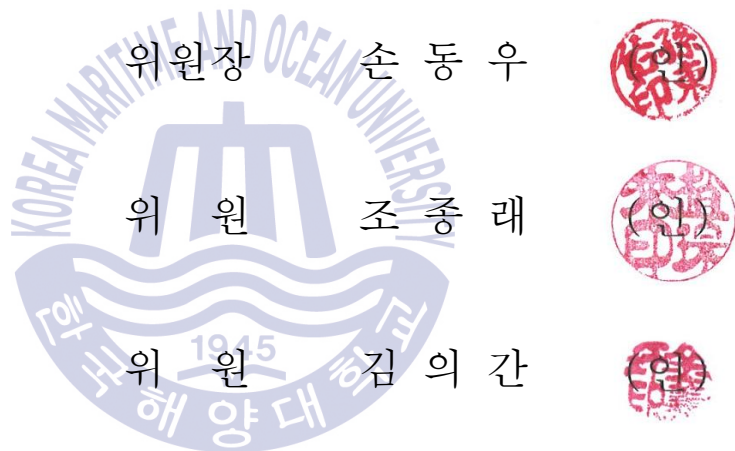
1945

한국해양대학교 대학원

기계공학과

김 지 선

본 논문을 김지선의 공학석사 학위논문으로 인준함.



2017년 06월 23일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iv
List of Figures .....	vi
Abstract .....	viii
1. 서론 .....	1
1.1 연구 배경 .....	1
1.2 연구 목적 및 내용 .....	2
2. 유한요소해석을 이용한 프레임 강도설계 평가 .....	6
2.1 선형해석의 과정 및 절차 .....	9
2.2 정적내력하중 시험조건을 적용한 구조해석 .....	10
2.2.1 경계 조건 .....	10
2.2.2 해석 결과 .....	13
2.3 작동하중 시험조건을 적용한 구조해석 .....	17
2.3.1 경계 조건 .....	17
2.3.2 해석 결과 .....	20
2.4 선체 운동에 따른 가속도 하중을 반영한 구조해석 .....	25
2.4.1 경계 조건 .....	27
2.4.2 해석 결과 .....	29
2.5 프레임 볼트부 강도설계 평가 .....	34
3. 원치부 및 와이어로프 강도설계 평가 .....	38
3.1 원치부 구조강도 계산 .....	38
3.1.1 기어부 구조강도 계산 .....	39
3.1.2 드럼 구조강도 계산 .....	46
3.2 와이어로프 구조강도 계산 .....	48

3.2.1 Pendant eye 구조강도 계산 .....	49
3.2.2 Sheave pin 구조강도 계산 .....	52
3.2.3 Suspension link 구조강도 계산 .....	54
4. 결론 .....	56
참고문헌 .....	58



## List of Tables

<b>Table 1</b>	Summary of out-rigger davit analysis .....	4
<b>Table 2</b>	Number of nodes and elements .....	8
<b>Table 3</b>	Material properties of SS400 .....	8
<b>Table 4</b>	Load conditions for static proof load test .....	11
<b>Table 5</b>	Results for static proof load test simulation .....	13
<b>Table 6</b>	Load conditions for operational load test .....	18
<b>Table 7</b>	Results for operational load test simulation .....	20
<b>Table 8</b>	Conditions of load case 4 (Operational load test) .....	25
<b>Table 9</b>	Applied acceleration load by DOD-STD-1399/301 .....	25
<b>Table 10</b>	Load conditions applying acceleration load .....	27
<b>Table 11</b>	Results for operational load test applying acceleration load .....	29
<b>Table 12</b>	Applied reaction force for calculation .....	35
<b>Table 13</b>	Material properties of SCM440 and S45C .....	40
<b>Table 14</b>	Applied factors for bending strength of gear .....	42
<b>Table 15</b>	Applied factors for allowable stress of bending strength .....	42
<b>Table 16</b>	Applied factors for contact strength of gear .....	43
<b>Table 17</b>	Applied factors for allowable stress of contact strength .....	44
<b>Table 18</b>	Bending strength results of gear .....	45
<b>Table 19</b>	Contact strength results of gear .....	45
<b>Table 20</b>	Material properties of STPG370 .....	46
<b>Table 21</b>	Information of drum .....	47
<b>Table 22</b>	Material properties of SS400 .....	49

Table 23	Information of pendant eye .....	50
Table 24	Material properties of SUS304 .....	52
Table 25	Information of sheave pin .....	53
Table 26	Material properties of SM490A .....	54



## List of Figures

Fig. 1 Occurrence of marine accidents by year in korea .....	1
Fig. 2 Type of davit .....	2
Fig. 3 Model of out-rigger davit .....	3
Fig. 4 Model of out-rigger davit frame .....	7
Fig. 5 Finite element model of out-rigger davit frame .....	7
Fig. 6 Procedure of linear static analysis .....	9
Fig. 7 List and Trim .....	10
Fig. 8 Load conditions of case 1 for static proof load test .....	12
Fig. 9 Constraint condition for static proof load test .....	12
Fig. 10 Maximum combined stress of load case 1 .....	14
Fig. 11 Maximum deformation of load case 1 .....	14
Fig. 12 Maximum combined stress of load case 2 .....	15
Fig. 13 Maximum deformation of load case 2 .....	15
Fig. 14 Maximum combined stress of load case 3 .....	16
Fig. 15 Maximum deformation of load case 3 .....	16
Fig. 16 Load conditions of case 1 for operational load test .....	19
Fig. 17 Constraint condition for operational load test .....	19
Fig. 18 Maximum combined stress of load case 1 .....	21
Fig. 19 Maximum deformation of load case 1 .....	21
Fig. 20 Maximum combined stress of load case 2 .....	22
Fig. 21 Maximum deformation of load case 2 .....	22
Fig. 22 Maximum combined stress of load case 3 .....	23



Fig. 23	Maximum deformation of load case 3	23
Fig. 24	Maximum combined stress of load case 4	24
Fig. 25	Maximum deformation of load case 4	24
Fig. 26	Degree of freedom for vessel	26
Fig. 27	Load conditions of case 1	28
Fig. 28	Constraint condition	28
Fig. 29	Maximum combined stress of load case 1	30
Fig. 30	Maximum deformation of load case 1	30
Fig. 31	Maximum combined stress of load case 2	31
Fig. 32	Maximum deformation of load case 2	31
Fig. 33	Maximum combined stress of load case 3	32
Fig. 34	Maximum deformation of load case 3	32
Fig. 35	Maximum combined stress of load case 4	33
Fig. 36	Maximum deformation of load case 4	33
Fig. 37	Bolt connection of out-rigger davit frame	34
Fig. 38	Shape of bolt connection	35
Fig. 39	Calculation of bolt connection	37
Fig. 40	Model of out-rigger davit winch	38
Fig. 41	Arrangement of gears	39
Fig. 42	Force diagram for drum	46
Fig. 43	Model of out-rigger davit	48
Fig. 44	Force diagram for pendant eye	49
Fig. 45	Force diagram for sheave pin	52
Fig. 46	Force diagram for suspension link	54

# A Study for Structural Stability Evaluation of Out-rigger Davit for Launching Lifeboat

Kim, Ji Sun

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

## Abstract

Recently, as marine accidents increase, the attention in the safety on the sea is rising. For this reason, the design rules about ship and offshore platform are being tightened. Especially, in case of life saving apparatus, the design of life-saving appliance is stricter than any other marine equipment because it is directly connected to human survival.

Out-rigger davit is one of the derricks for launching lifeboat installed on ship and offshore platform that is largely composed of davit frame, winch and other accessories. When emergency occurs, it helps rapid escape for crew because it is always fixed by projecting outboard unlike general davit. But, due to this feature, it is structurally unstable. so, there is no research and development study domestically until now.

In this study, the evaluation method is presented for check on structural strength for out-rigger davit. All evaluation procedures about davit components are based on LSA(International Life-Saving Appliance)

code. and additionally other rules are applied for accurate assessment.

At first, davit frame was evaluated through the computational analysis using finite elements method. and, the conditions of LSA code and the acceleration according to sea state based on DOD-STD-1399/301 are applied. Evaluation standards are based on LSA code and AISC standard.

Next, the bolt connecting part that link the davit frames is evaluated by strength calculation that is made by applying general structural design formula and evaluation standard is based on LSA Code.

And winch and other accessories are evaluated by applying LSA Code, AGMA standard and general structural design formula.

The structural analysis of out-rigger davit was conducted for verifying structural strength. The evaluation was based on LSA code, AISC standard, AGMA standard and structural design formulas. It is concluded that the out-rigger davit is structurally stable.

KEY WORDS : Out-rigger davit 아웃리거 대빗; Life-saving appliance 구명설비; Structural strength 구조 강도; Marine structure 해양구조물; FEM 유한요소법

# 제1장 서론

## 1.1 연구배경

해상에서는 사고 발생의 위험 요소가 다분하고 사고 발생 시, 그 규모가 상당하다. 장기간동안 해양 사고는 꾸준히 발생하고 있으며 육상과는 달리 외부로부터의 긴급 구조 활동이 어렵기 때문에 선박과 해양 구조물에서의 안전 설비는 매우 중요한 역할을 한다. 최근 세월호 사건의 영향으로 해상 안전 및 관련 장비에 대한 관심이 더욱 집중되고 있는 추세이며 특히, 그 중에서도 구명정과 구명정 진수 설비의 경우 인명 구조에 직접적으로 영향을 미쳐 장비의 안정성 확보가 매우 중요하다.

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 국내 해양사고는 꾸준히 발생하고 있으며 국내 뿐만 아니라 해외에서도 해양 사고가 빈번하게 발생함에 따라 구명정 및 구명정 진수 설비에 대한 설계 및 성능 평가 기준이 강화되고 있다. 구명정 및 구명정 진수 설비를 개발하기 위해서는 국제 코드 기준과 수요처의 요구를 만족시켜 설계를 하여야 하며 이를 토대로 제작된 제품은 신뢰성을 확보하기 위하여 국제 코드에서 규정하고 있는 인증 시험을 통과하여야 한다. 장비가 인명구조와 직결된 만큼 조건이 까다로운 국제 규격을 통과하여야만 안전한 제품으로 인증되어 발주가 가능하다.

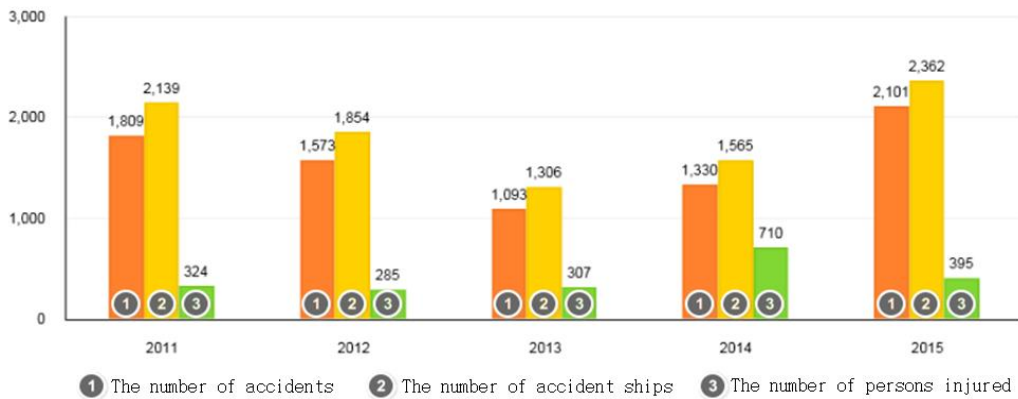
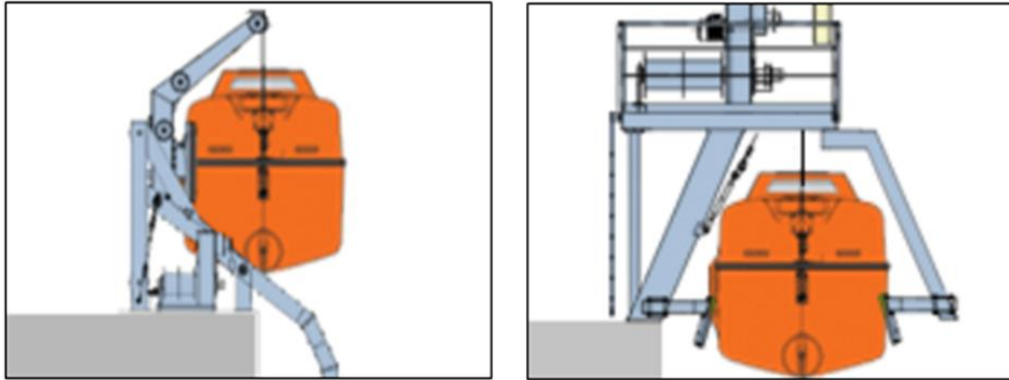


Fig. 1 Occurrence of marine accidents by year in Korea[1]

## 1.2 연구목적 및 내용



(a) Normal davit

(b) Out-rigger davit

Fig. 2 Type of davit

본 연구의 대상인 아웃리거 대빛은 선박이나 해양플랜트에 설치되어 구명정을 진수하는 장비이다. Fig. 2에 일반적으로 주로 사용되는 구명정 진수 설비와 아웃리거 대빛을 나타내었다. 일반적인 구명정 진수 설비의 경우, 비 작동 시에 Arm이 선내에 위치해 있다가 작동 시에 Arm을 선외로 이동시켜 진수하는 방식이지만 아웃리거 대빛의 경우 Arm이 선외 쪽으로 고정되어 있어 탑승 후에 구조물의 이동 없이 바로 구명정을 진수할 수 있다. 아웃리거 대빛의 이 같은 구조적 특성으로 인하여 비상 상황 발생 시, 신속한 진수를 통한 인명 구조가 가능하나 일반적인 진수 설비에 비해 불안정한 구조를 지니고 있어 제작 전 설계에 대한 검증이 보다 필수적이다. 구명정 및 구명정 진수 설비는 국제 규격에 따라 설계하여야 하며, 제작 후 제품 성능의 검증을 위한 시험을 통과하여야 제품에 대한 신뢰성을 확보할 수 있다. 구조물의 제작 및 시험 전 성능 검증을 위하여 테스트에 대한 시뮬레이션과 주요 부품의 구조 강도 확인을 위한 평가를 수행하면 제품 개발 및 경제적 측면에서의 효율성을 극대화 시킬 수 있다.

본 연구에서는 아웃리거 대빛의 구조 강도 평가를 위하여 전체적인 프레임부와 윈치부를 포함한 주요 부품에 대한 평가방법 및 기준을 제시하였다.

전체적인 아웃리거 대빛 프레임의 경우, LSA Code의 시험 조건을 반영하여 테스트 시뮬레이션을 수행하였으며 시험 시, 두드러지는 변형이 나타나지 않으면 시험을 통과한다는 기존의 명확하지 않은 평가 기준에 대하여 LSA Code와 AISC Standard를 참고하여

구체적인 시뮬레이션 평가 기준을 정립하였다. 또한 테스트에 대한 시뮬레이션 이외에 미 해군의 군사 규격인 DOD-STD-1399/301을 근거로 해상상태로 인해 발생하는 가속도 하중을 적용하여 극한 상황에서도 아웃리거 대빋이 구조 안정성을 확보하고 있는지 확인하였으며 프레임에 위치한 볼트부에 대하여 구조 강도 계산 방법을 제시하였고 이를 평가하기 위한 기준을 세우기 위하여 LSA Code를 참고하였다.

구멍정과 연결된 와이어로프를 감고 푸는 윈치 및 와이어로프와 연결되어 있는 주요 부속품의 구조 강도를 확인하였으며, 윈치 내부에 위치하는 기어부에는 미국기어공업회인 AGMA의 규격에 따라 구조 강도를 평가하였고 기어부 이외의 부속품들에 대해서는 일반적으로 구조 설계에 사용하는 계산식을 적절하게 사용하여 구조 강도 계산 방법을 정립하고 LSA Code에 근거한 평가 기준을 제시하였다.

본 연구의 평가 대상인 아웃리거 대빋의 설계를 토대로 형상화한 3차원 형상 모델을 Fig. 3에 나타내었으며 평가 내용을 Table 1에 간략히 나타내었다. Table 1에서  $L_w$ 는 최대작동하중,  $F_t$ 는 모터 동력에 의해 윈치 내부 기어의 접선방향으로 전달되는 힘,  $S_y$ 는 재료의 항복강도,  $S_t$ 는 재료의 인장강도이다.

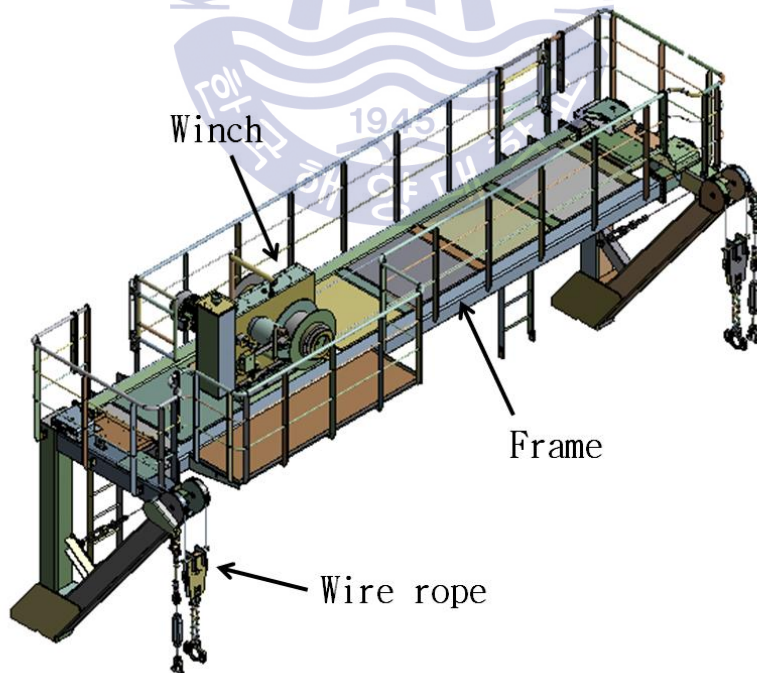


Fig. 3 Model of out-rigger davit

**Table 1** Summary of out-rigger davit analysis

Component	Applied load	Applied standard		Evaluation
Davit frame	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>2.2L_w</math></li> <li>- Position :                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Upright</li> <li>2) <math>20^\circ</math> inboard list</li> <li>3) <math>20^\circ</math> outboard list</li> </ol> </li> </ul>		Static proof load test	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>0.9S_y</math>,</li> <li>- L/360</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>1.1L_w</math></li> <li>- Position :                             <ul style="list-style-type: none"> <li><math>20^\circ</math> list + <math>10^\circ</math> trim</li> </ul> </li> </ul>	LSA code	Operational load test	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>S_y/4.5</math>,</li> <li>- L/360</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>1.1L_w</math></li> <li>- Position :                             <ul style="list-style-type: none"> <li><math>20^\circ</math> inboard list + <math>10^\circ</math> left trim</li> </ul> </li> </ul>	LSA code, DOD-STD -1399/301	Operational load test, Acceleration load(Ship motion)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>0.9S_y</math></li> <li>- L/360</li> </ul>

Component		Applied load	Applied standard	Evaluation
Bolt connection		- $2.2L_w$	LSA code	- $\tau / 4.5$ - $S_t / 4.5$
Winch	Gear	- $F_t$	AGMA Standard	- Allowble stress based on AGMA standard
	Drum			
Others	Pendant eye	- $L_w$	LSA code	- $S_t / 4.5$ or 6
	Sheave pin			
	Suspension link			



## 제2장 유한요소 해석을 이용한 프레임 강도설계 평가

아웃리거 대빔의 발주를 위해서는 MED 인증을 받아 제품에 대한 신뢰성을 확보하여야 한다. 인증을 받기 위해서는 정적내력하중 시험(Static proof load test)과 작동하중 시험(Operational load test)을 수행하여야 하며 본 연구에서는 두 시험 조건을 반영하여 대빔 프레임에 대한 구조 안정성을 점검하였다. 또한 추가로 시험 조건보다 더욱 극심한 운용 상황에서도 구조물이 안정성을 확보하고 있는지 확인하기 위하여 작동하중시험 조건을 반영한 구조 해석 케이스 중 가장 높은 응력이 나온 케이스에 대하여 선박 모션에 따른 가속도 하중을 추가로 적용하여 구조 강도 평가를 진행하였다.

현재 정적내력하중 시험과 작동하중 시험의 평가 기준은 큰 변형이 보이지 않으면 시험을 통과하는 것으로 되어 있으며 전산해석 수행 시의 평가 기준이 명확하지 않은 상황이다. 이에 따라, 구조부재는 최소 안전계수 4.5(일부 부재의 경우 안전계수 6 적용)를 적용하여야 한다는 LSA Code의 내용과 AISC Standard의 허용응력 및 허용 변형 기준을 참고로 하여 평가 기준을 정립하고 이를 통해 해당 구조물의 구조 안정성의 여부를 확인하였다.

해석을 위한 아웃리거 대빔 프레임의 형상 모델은 빔 요소를 사용하여 구성하였고 구조 강도에 영향을 크게 미치지 않는 부분과 볼트 등의 부속품들은 해석에서 제외하였다. Fig. 4 ~ Fig. 5에 아웃리거 대빔 프레임의 형상 모델과 유한요소 모델을 나타내었으며 Table 2에 유한요소 모델을 구성하는 요소 및 절점 수를 나타내었다.

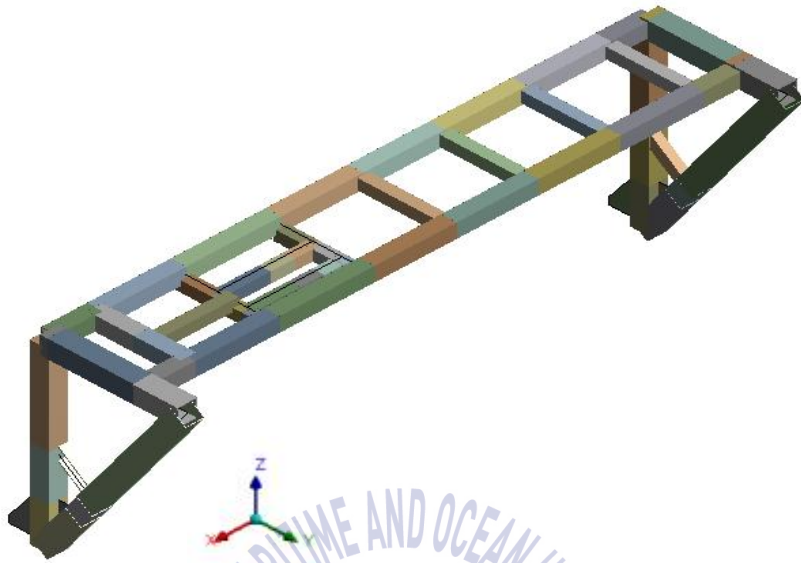


Fig. 4 Model of out-rigger davit frame

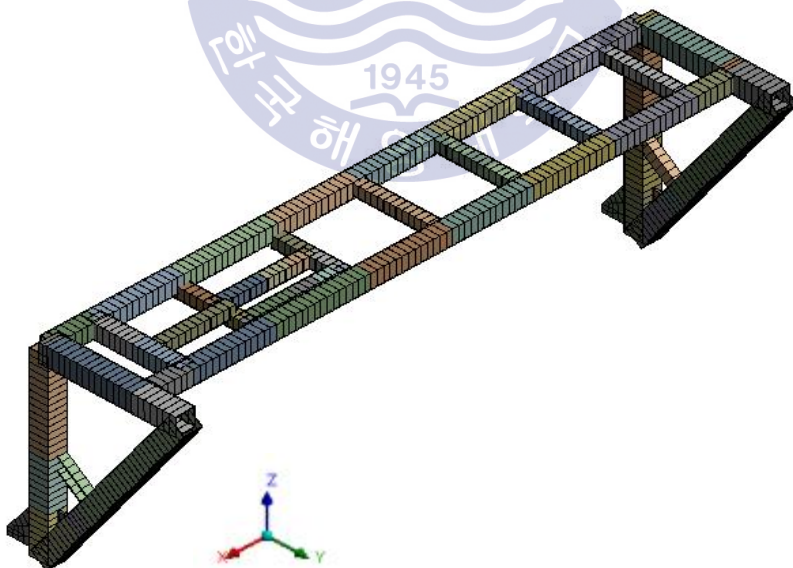


Fig. 5 Finite element model of out-rigger davit frame

**Table 2** Number of nodes and elements

Nodes	Elements
1,235	670

아웃리거대빗 프레임에 적용된 재료는 SS400이며 물성치는 Table 3과 같다.

**Table 3** Material properties of SS400

Material	SS400
Density (kg/m <sup>3</sup> )	7,860
Young's modulus (GPa)	210
Poisson's ratio	0.26
Yield strength (MPa)	245
Ultimate strength (MPa)	510

## 2.1 선형해석의 과정 및 절차

구조해석 중 선형정적해석은 하중이 시간에 따라 변화하지 않는 정적인 하중이 작용하는 경우로 한정하고 관성력과 감쇠력을 무시하여 해석을 수행한다.

본 연구에서는 아웃리거 대빛의 프레임부 대한 설계 검토를 위하여 선형정적해석을 이용하였으며 해석을 위한 가정은 다음과 같다.

- (1) 해석에 사용되는 재료 물성치가 선형탄성(Linear elastic)이며 균일한 재질이다.
- (2) 하중을 가하지 않은 구조물은 초기 또는 잔류응력이 존재하지 않는다.
- (3) 하중과 변위, 응력과 변형률은 선형의 관계를 가진다.
- (4) 발생변형에 의한 구조물의 강성변화를 무시할 수 있을 만큼 변형이 작다.
- (5) 하중이 작용하여 이로 인한 구조물의 변형이 발생하는 동안 경계조건이 변하지 않는다.

일반적인 선형정적해석의 절차는 Fig. 6의 흐름도와 같으며 해석의 정확성 및 효율성 향상을 위하여 해석 실행 전에 모델 및 하중, 경계조건이 실제 조건과 동일한 지에 대한 충분한 검토가 이루어져야 한다.

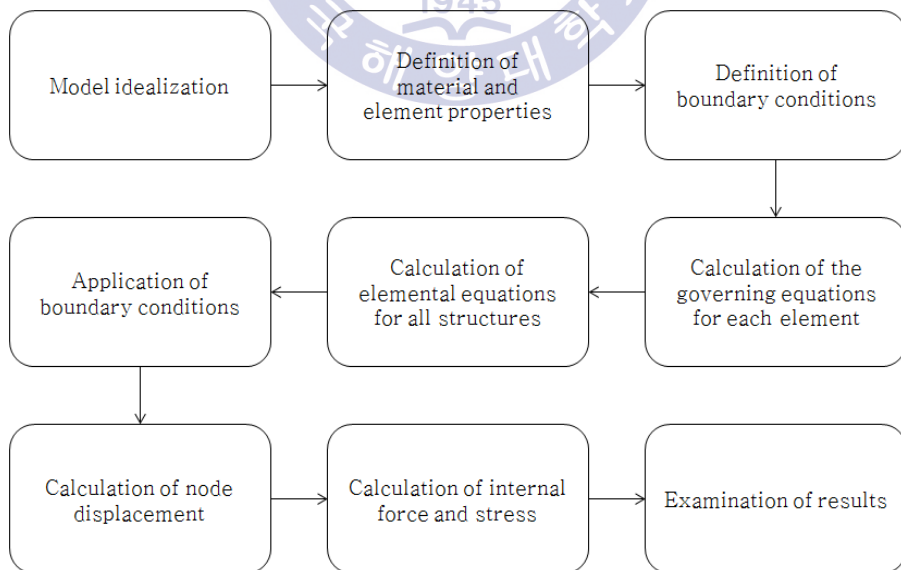


Fig. 6 Procedure of linear static analysis

## 2.2 정적내력하중 시험조건을 적용한 구조해석

아웃리거 대빔이 MED 인증을 받기 위해서는 정적내력하중 시험(Static proof load test)을 필수적으로 수행하여야 하며 이에 따라 시험 전에 정적내력하중 시험의 조건에서 구조물이 구조 강도를 확보하는 지에 대한 검증이 필요하다.

본 연구에서는 대빔 프레임에 대하여 정적 내력 하중 시험의 조건을 적용하여 구조 안정성 평가를 수행하였다. 정적 내력 하중 시험은 구조물이 직립 상태와  $20^\circ$ 의 선내·외 횡경사(List)의 상태에서 2.2배의 최대 작동 하중을 가했을 때, 구조물의 큰 변형이 발생하지 않으면 통과하는 것으로 본다.[3]

여기서 언급된 횡경사는 배나 해양구조물이 길이 방향의 축을 중심으로 회전하였을 때 선체나 구조물이 기울어진 상태를 말하며 이와 달리 길이 방향의 일정 각도로 기울어진 것으로 종경사(Trim)이라 한다. 횡경사와 종경사의 이해를 돕고자 Fig. 7에 그림으로 나타내었다.

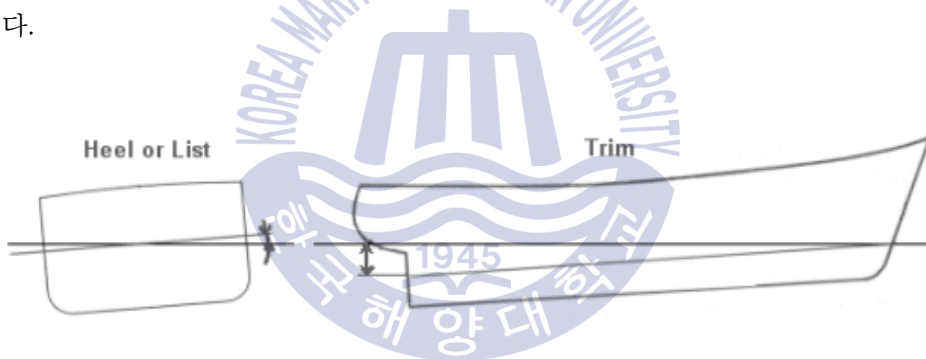


Fig. 7 List and Trim

### 2.2.1 경계 조건

하중 조건의 경우, 구조물이 직립상태일 때,  $20^\circ$ 의 선내 횡경사 상태일 때,  $20^\circ$ 의 선외 횡경사 상태일 때의 경우로 총 3가지 경우의 하중 케이스로 분류하였다. 각 케이스마다 적용되는 하중은 다음과 같다.

- (1) 구멍정을 들어 올리는 리프팅 포인트에 2.2배의 최대 작동하중 적용 - 이에 따른 구조물 내부 반력 적용
- (2) 프레임 위에 위치한 윈치의 무게 반영
- (3) 중력 적용

횡경사의 방향은 실제 시험에서는 구조물 자체의 위치를 이동시켜 수행되나 본 해석에서는 힘의 방향을 바꿔 횡경사 상태를 반영하였다.

정적 내력 하중 시험 조건을 적용한 구조해석의 하중 케이스를 Table 4에 이를 정리하였다.

**Table 4** Load conditions for static proof load test

Load case	Position	Gravity acceleration	Lifeboat weight	Winch weight
1	Upright	9.81m/s <sup>2</sup>	22ton (10ton × 2.2)	1.53ton
2	+20° List			
3	-20° List			

\* List + / - : Inboard / Outboard direction

구속 조건의 경우, 구조물의 하부가 선체와 연결되어 있기 때문에 연결된 부분이 움직이지 않도록 모든 자유도를 구속하였다.

하중 케이스 1과 모든 케이스에 동일하게 적용된 구속 조건을 Fig. 8와 Fig. 9에 나타내었다. 하중 케이스 2, 3의 경우 구조물 자체가 선내·외 쪽으로 20° 횡경사 되어 있는 경우이며 적용되는 하중은 동일하여 생략하였다.

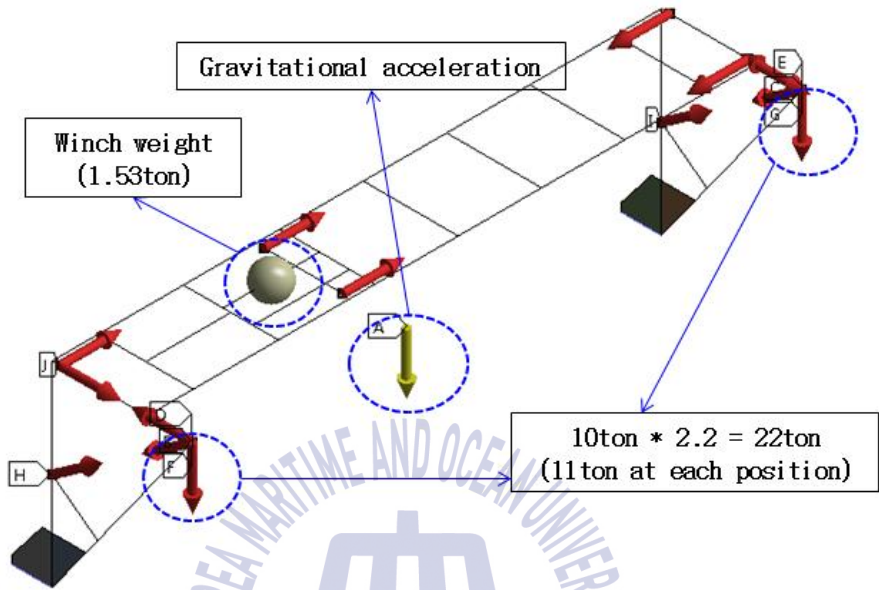


Fig. 8 Load conditions of case 1 for static proof load test

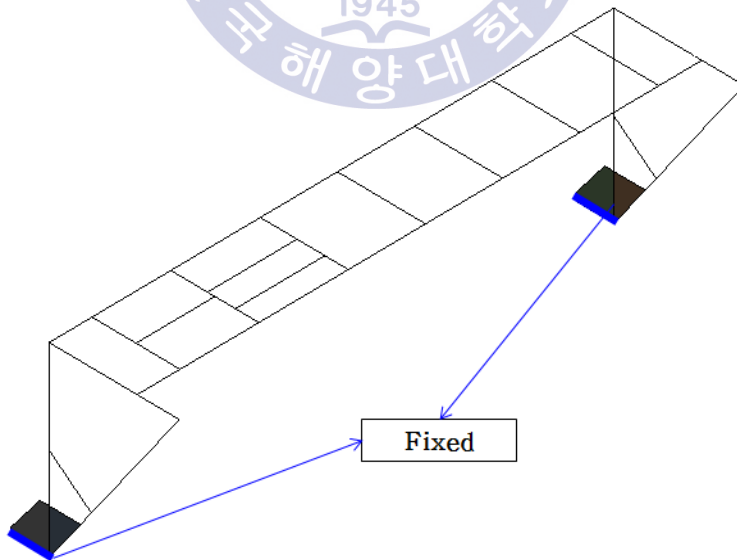


Fig. 9 Constraint condition for static proof load test

## 2.2.2 해석 결과

정적내력하중 시험조건을 적용한 구조해석에는 AISC Standard를 참고로 하여 허용 응력은 항복강도의 0.9배, 허용 변형은 전체 구조물 길이의 1/360배의 값을 기준으로 하여 평가를 수행하였다.[9,10]

정적내력하중 시험조건을 적용한 구조해석 결과, 모든 해석 케이스에서 발생한 최대 응력과 최대 변형이 허용 값을 초과하지 않는 것을 확인할 수 있었으며, 구조물이 20° 선의 횡경사의 상태에 있는 세 번째 케이스에서 가장 큰 응력과 변형이 발생하였다. 해석 결과를 Table 5에 정리하였으며 Fig. 10 ~ Fig. 15에 결과 그림을 나타내었다.

최대응력은 141.46MPa로 구조물의 하부에서 발생하고, 최대 변형은 14.07mm이며 구조물의 상부 중심에서 발생한다.

Table 5 Results for static proof load test simulation

Load case	Maximum combined stress (MPa)	Maximum deformation (mm)	Allowable stress (MPa)	Allowable deformation (mm)	Result
1	91.05	9.84	220.50	21.39	OK
2	45.66	4.39			OK
3	141.46	14.07			OK



A: Static proof(Upright)  
Maximum Combined Stress  
Type: Maximum Combined Stress  
Unit: MPa  
Time: 1

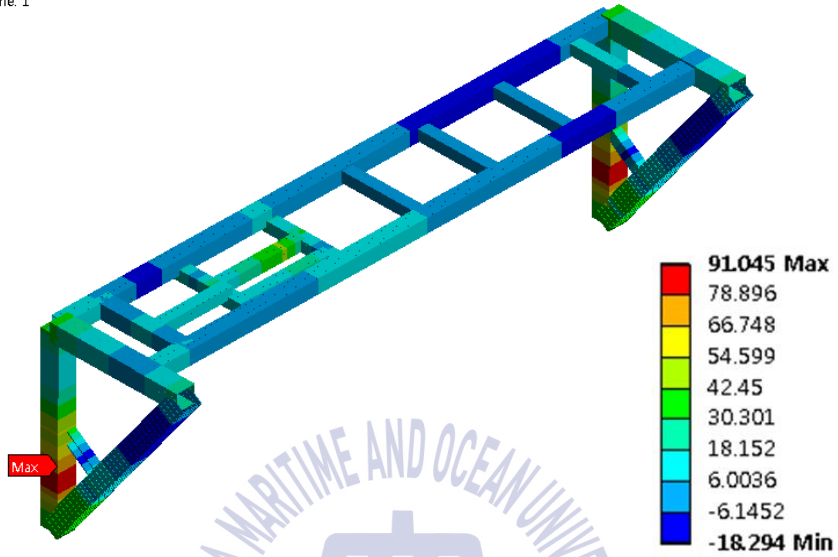


Fig. 10 Maximum combined stress of load case 1

A: Static proof(Upright)  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1

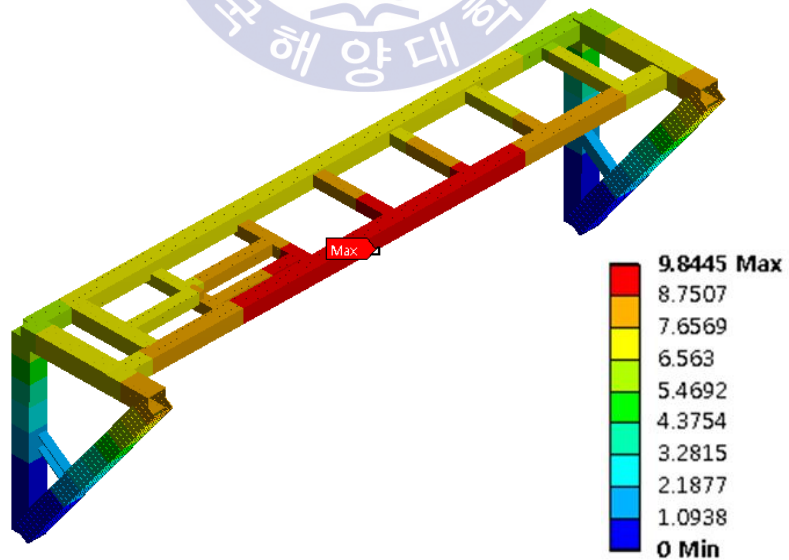


Fig. 11 Maximum deformation of load case 1

B: Static proof(Inboard list)  
Maximum Combined Stress  
Type: Maximum Combined Stress  
Unit: MPa  
Time: 1

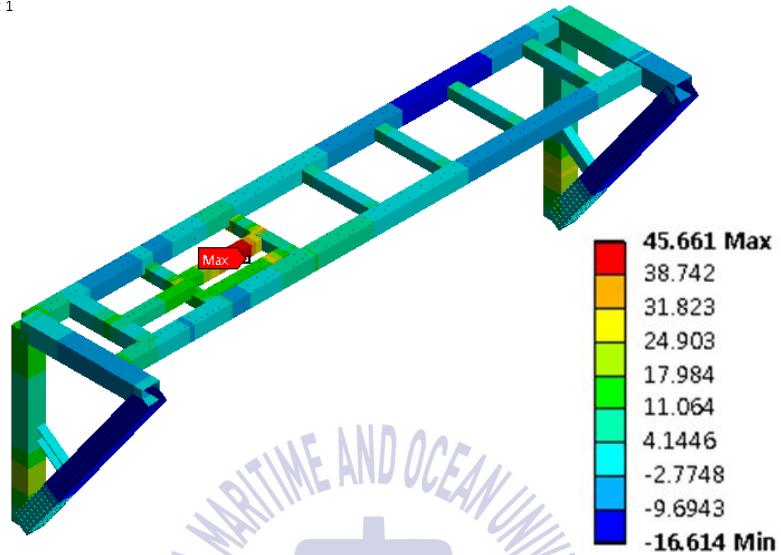


Fig. 12 Maximum combined stress of load case 2

B: Static proof(Inboard list)  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1

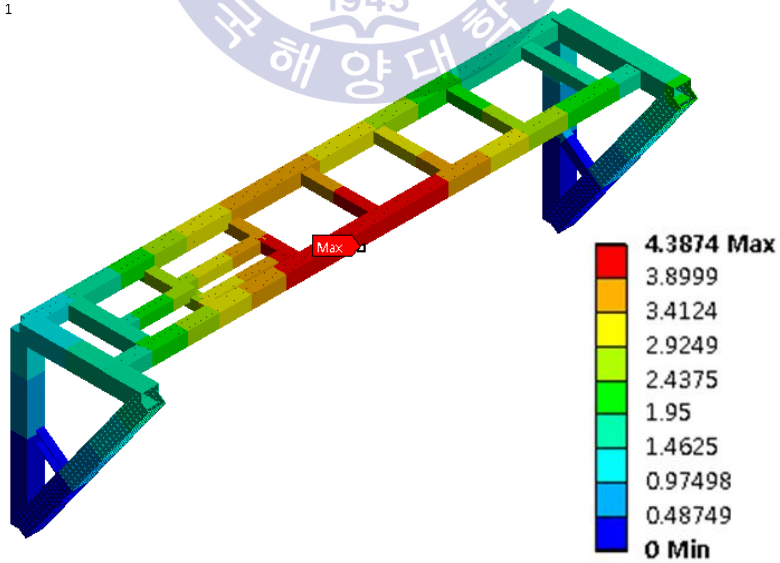


Fig. 13 Maximum deformation of load case 2

C: Static proof(Outboard list)  
Maximum Combined Stress  
Type: Maximum Combined Stress  
Unit: MPa  
Time: 1

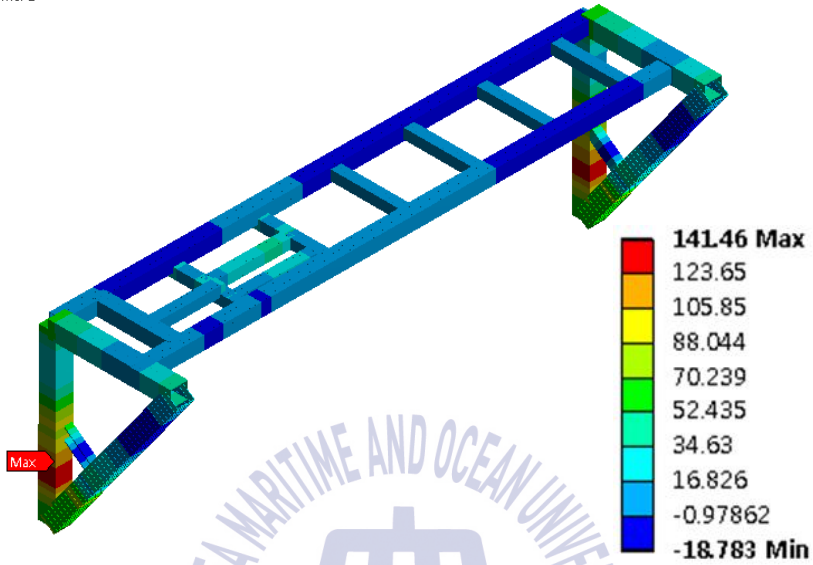


Fig. 14 Maximum combined stress of load case 3

C: Static proof(Outboard list)  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1

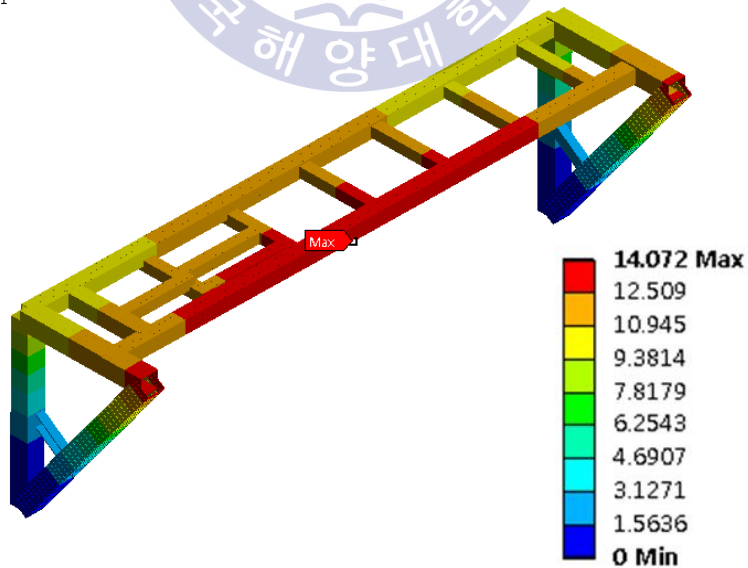


Fig. 15 Maximum deformation of load case 3

## 2.3 작동하중 시험조건을 적용한 구조해석

아웃리거 대빔이 MED 인증을 받기 위해서는 정적내력하중 시험뿐만 아니라 운용 중 구조물에 작용하는 하중을 견디는 지에 대한 작동하중 시험(Operational load test)도 통과해야 한다. 따라서 구조물 제작 및 시험 수행 전에 작동 하중 시험의 조건에도 구조물이 구조 강도를 확보하는 지에 대한 설계 검증이 필요하다.

작동하중 시험은  $20^\circ$  의 횡경사와  $10^\circ$  의 종경사 상태에 있을 때, 1.1배의 최대 작동 하중을 가하여 구조물에 큰 변형이 발생하지 않으면 통과하는 것으로 본다.[3]

횡경사와 종경사에 대한 설명은 “2.2 정적내력하중 시험조건을 적용한 구조해석 “에 제시되어 있다.

### 2.3.1 경계 조건

하중 조건의 경우, 횡경사와 종경사의 방향에 따라 총 4가지 경우의 하중 케이스가 발생하며 각 케이스에 적용되는 하중은 다음과 같다.

- (1) 구멍정을 들어올리는 리프팅 포인트에 1.1배의 최대 작동하중 적용 - 이에 따른 구조물 내부 반력 적용
- (2) 프레임 위에 위치한 윈치의 무게 반영
- (3) 중력 적용

횡경사와 종경사의 방향은 실제 시험에서는 구조물 자체의 위치를 이동시켜 수행되나 본 해석에서 중력 가속도의 방향을 바꿔 횡경사와 종경사 상태를 반영하였다.

작동하중 시험조건 적용 구조해석을 위한 하중 케이스를 Table 6에 정리하였다.

**Table 6** Load conditions for operational load test

Load case	Position		Gravity acceleration	Lifeboat weight	Winch weight
	List	Trim			
1	+20°	+10°	9.81m/s <sup>2</sup>	11ton (10ton × 1.1)	1.53ton
2	+20°	-10°			
3	-20°	+10°			
4	-20°	-10°			

\* List + / - : Inboard / Outboard direction, Trim + / - : Left / Right

구속 조건의 경우, 구조물의 하부가 선체와 연결되어 있기 때문에 연결된 부분이 움직이지 않도록 모든 자유도를 구속하였다.

하중 케이스 1과 모든 케이스에 동일하게 적용된 구속 조건을 Fig. 16과 Fig. 17에 나타내었다. 나머지 케이스의 경우 횡경사와 종경사의 방향만 달라지며 적용되는 하중은 동일하여 생략하였다.

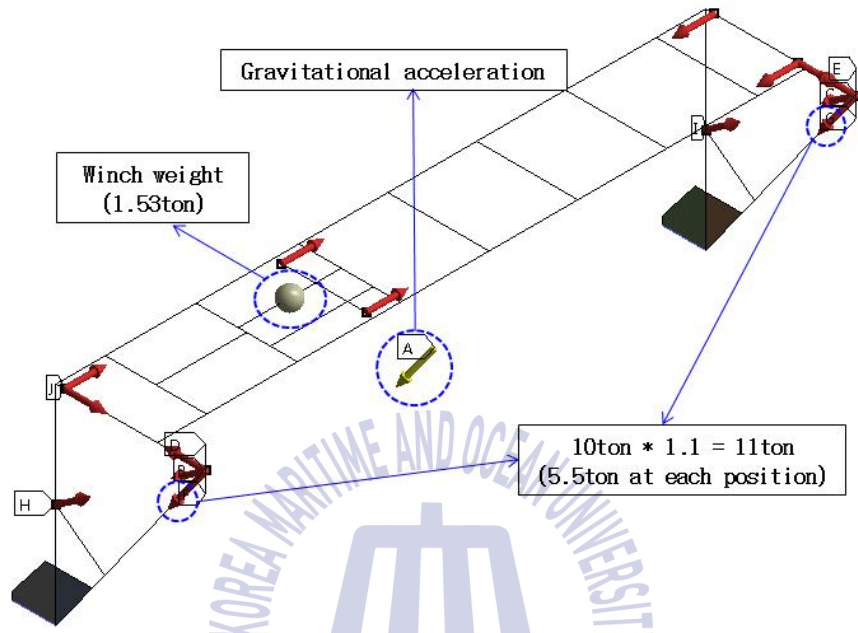


Fig. 16 Load conditions of case 1 for operational load test

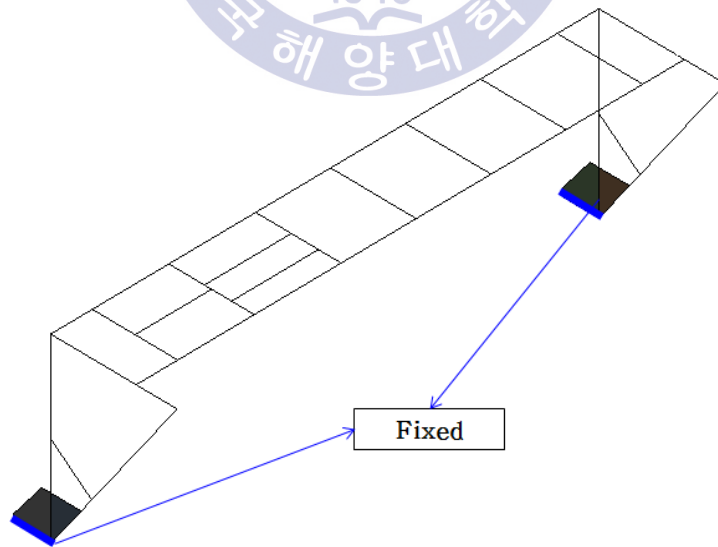


Fig. 17 Constraint condition for operational load test

### 2.3.2 해석 결과

작동하중 시험조건을 적용한 구조 해석에는 LSA Code를 참고하여 허용 응력은 인장 강도를 기준으로 안전계수 4.5(St/4.5)를 확보하는 값, 허용 변형은 AISC Standard를 참고하여 전체 구조물 길이의 1/360의 값을 기준으로 하여 평가를 수행하였다.[3,10]

작동하중 시험조건을 적용한 구조해석 결과, 모든 해석 케이스에서 허용 응력과 허용 변형 값을 초과하지 않는 것을 확인할 수 있었으며, 구조물이 20° 선외 횡경사, 오른쪽 방향의 10° 종경사 상태에 있는 네 번째 케이스에서 가장 큰 응력과 변형이 발생하였다. 해석 결과를 Table 7에 정리하였으며 Fig. 18 ~ Fig. 25에 결과 그림을 나타내었다.

최대응력은 76.69MPa로 구조물의 왼쪽 하부에서 발생하고, 최대 변형은 9.32mm이며 구조물 상부 중심으로부터 약간 왼쪽으로 떨어진 곳에서 발생한다.

**Table 7** Results for operational load test simulation

Load case	Maximum combined stress (MPa)	Maximum deformation (mm)	Allowable stress (MPa)	Allowable deformation (mm)	Result
1	56.46	5.20	113.33	21.39	OK
2	58.02	5.80			OK
3	73.20	9.05			OK
4	76.69	9.32			OK

D: Operational(LC1)  
Maximum Combined Stress  
Type: Maximum Combined Stress  
Unit: MPa  
Time: 1

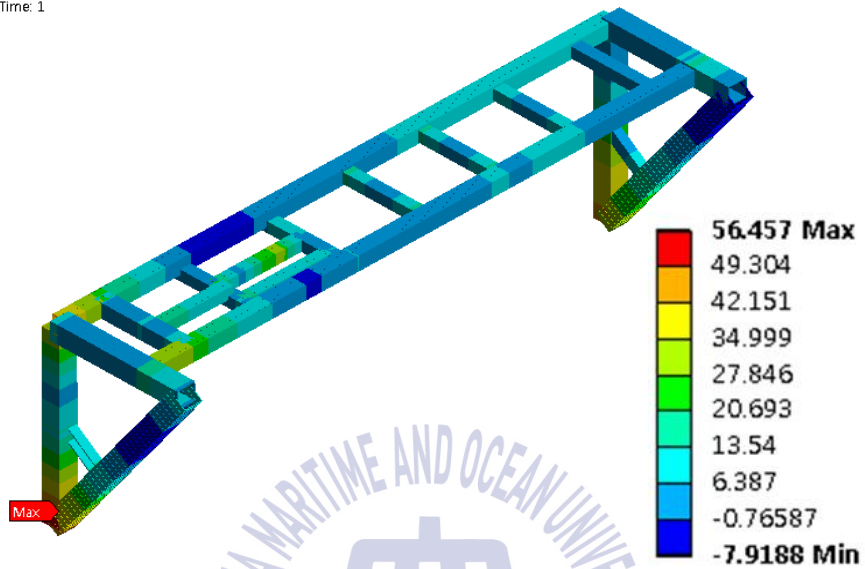


Fig. 18 Maximum combined stress of load case 1

D: Operational(LC1)  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1

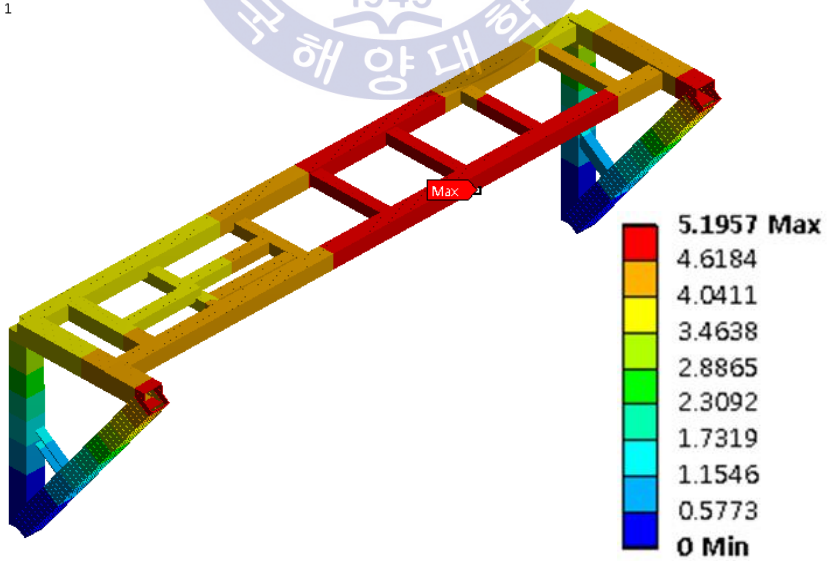


Fig. 19 Maximum deformation of load case 1



E: Operational(LC2)  
Maximum Combined Stress  
Type: Maximum Combined Stress  
Unit: MPa  
Time: 1

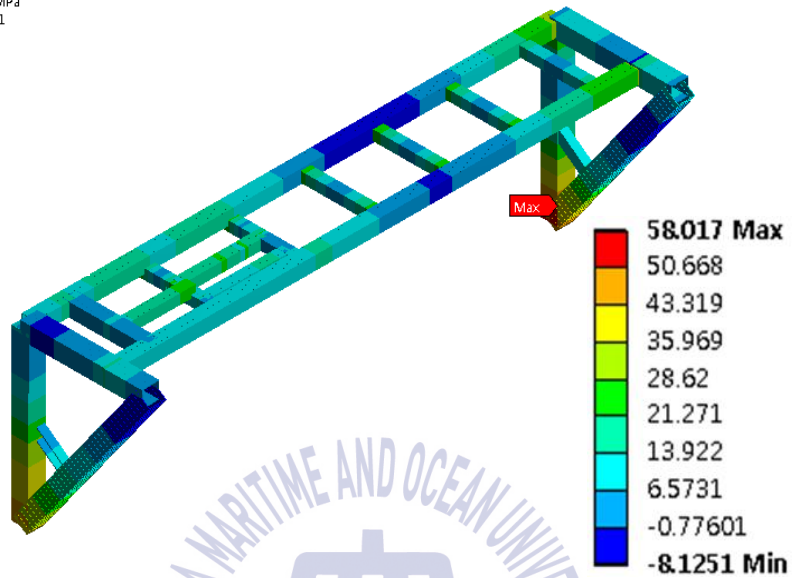


Fig. 20 Maximum combined stress of load case 2

E: Operational(LC2)  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1

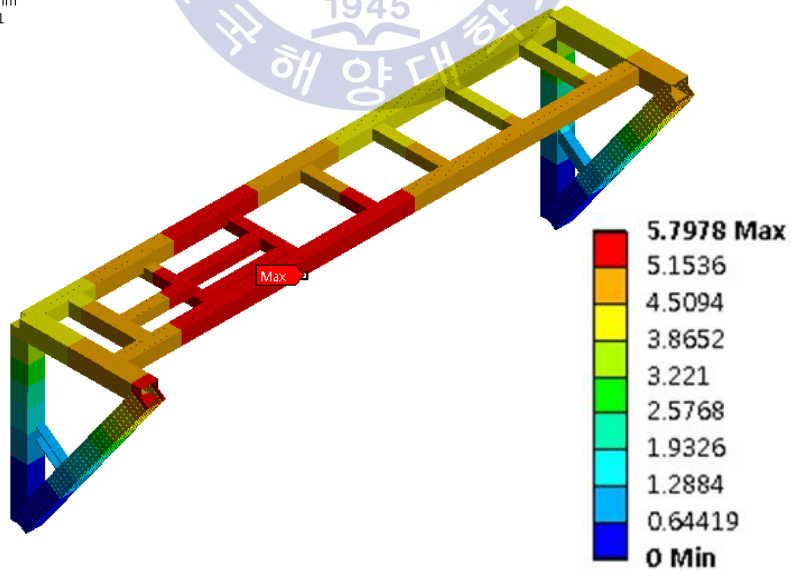


Fig. 21 Maximum deformation of load case 2

F: Operational(LC3)  
Maximum Combined Stress  
Type: Maximum Combined Stress  
Unit: MPa  
Time: 1

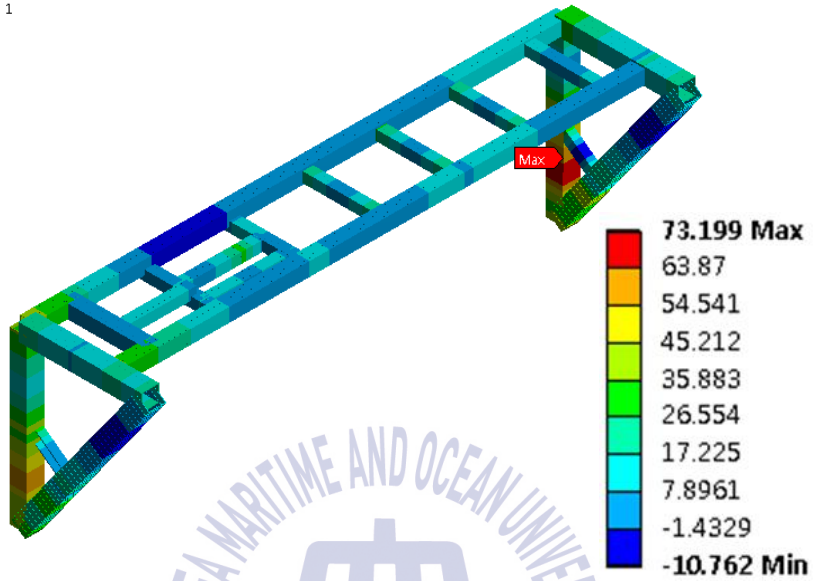


Fig. 22 Maximum combined stress of load case 3

F: Operational(LC3)  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1

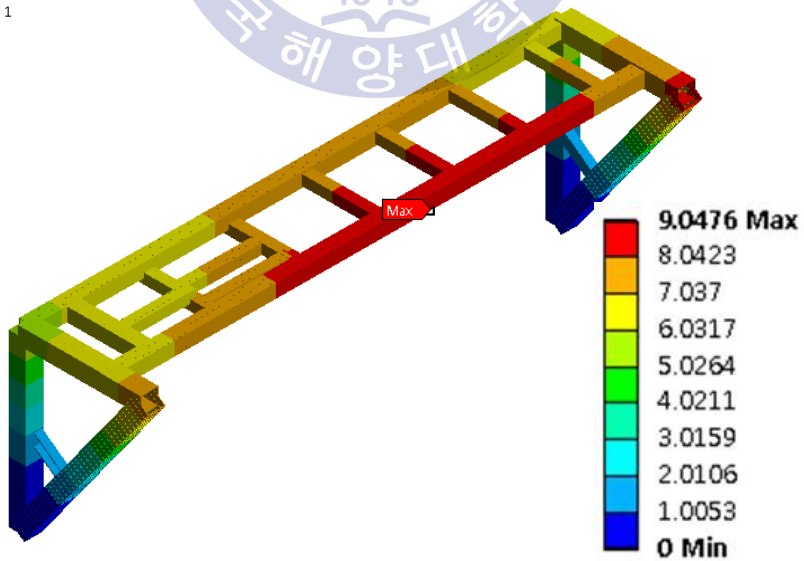


Fig. 23 Maximum deformation of load case 3

G: Operational(LC4)  
Maximum Combined Stress  
Type: Maximum Combined Stress  
Unit: MPa  
Time: 1

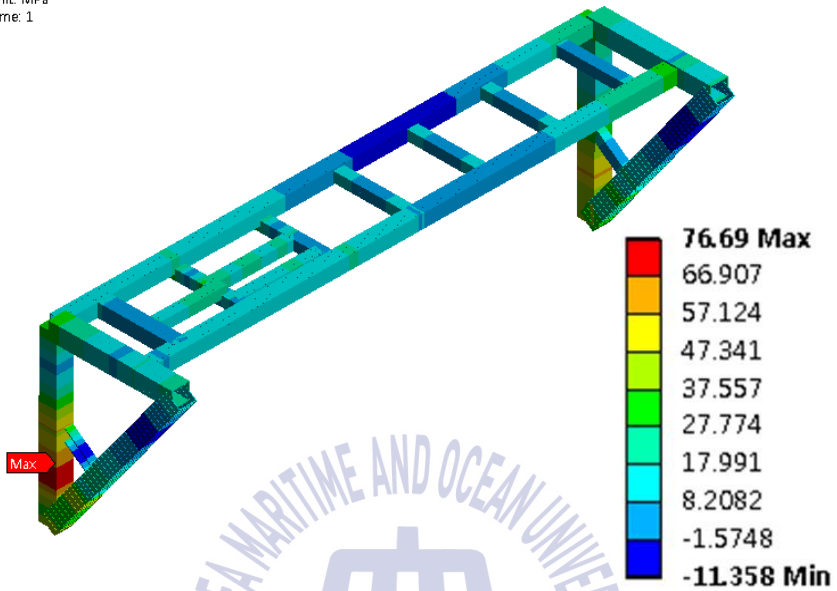


Fig. 24 Maximum combined stress of load case 4

G: Operational(LC4)  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1

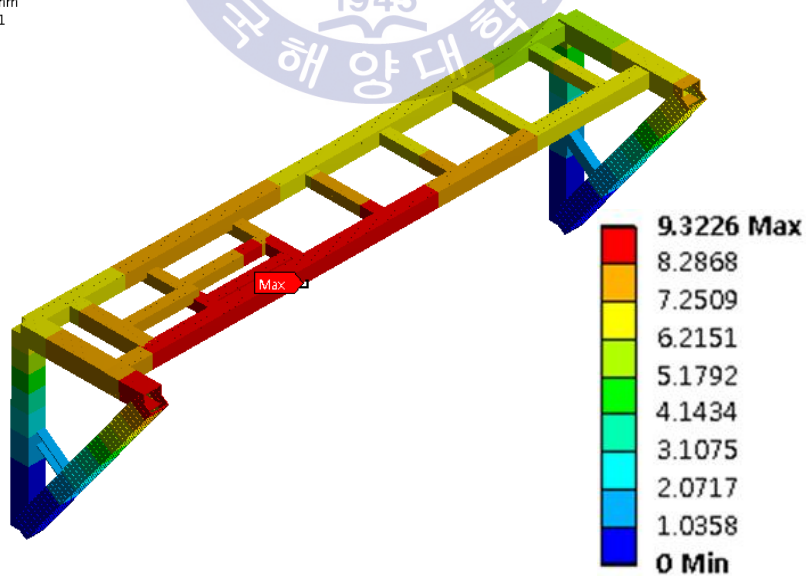


Fig. 25 Maximum deformation of load case 4

## 2.4 선체 운동에 따른 가속도 하중을 반영한 구조해석

제품 인증을 받기 위해 실행되는 정적내력하중 시험과 작동하중 시험의 조건 이외에 해상에서 극한의 운용 상황에서도 아웃리거 대빔이 구조 안정성을 확보하고 있는지 확인하기 위해 작동하중 시험조건 중 해석을 통해 가장 큰 응력과 변형이 발생하는 케이스의 조건에 선체 운동에 따른 가속도 하중을 적용하여 구조 강도 평가를 수행하였다.[3,4]

작동하중 시험 조건으로 수행한 구조해석 케이스 중 가장 큰 응력과 변형이 발생한 케이스는 구조물이 20° 선외 횡경사, 오른쪽 방향의 10° 종경사 상태에 있는 네 번째 케이스이며 조건은 Table 8과 같다. 작동하중 시험의 네 번째 케이스 조건에 추가로 적용된 선체 운동에 따른 가속도 하중은 Table 9에 나타내었다.

**Table 8** Conditions of load case 4 (Operational load test)

Load case	Position		Gravity acceleration	Lifeboat weight	Winch weight
	List	Trim			
4	-20°	-10°	9.81m/s <sup>2</sup>	22ton (10ton×2.2)	1.53ton

\* List + / - : Inboard / Outboard direction, Trim + / - : Left / Right

**Table 9** Applied acceleration load by DOD-STD-1399/301

Sea state	Heave acceleration (g)	Surge acceleration (g)
8	0.6	0.35

Table 9에서 제시된 값과 같이 DOD-STD-1399/301에 상하 방향 가속도(Heave acceleration) 및 선수미 방향 가속도(Surge acceleration)이 가속도 하중이 제시되어 있으며, 본 연구에서는 선체 좌·우현 방향 진동 운동으로 생기는 가속도 하중(Sway acceleration)까지 고려하여 구조물 평가를 수행하였다. Fig. 26에 선체 6 자유도 운동을 나타내었다.

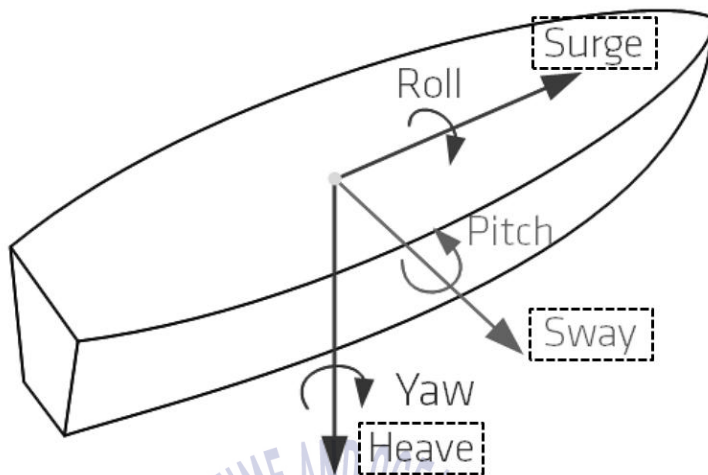


Fig. 26 Degree of freedom for vessel



### 2.4.1 경계 조건

각 케이스마다 공통적으로 적용되는 하중은 다음과 같다.

(1) 구명정을 들어올리는 리프팅 포인트에 1.1배의 최대 작동하중 적용 - 이에 따른 구조물 내부 반력 적용

(2) 프레임 위에 위치한 윈치의 무게 반영

(3) 중력 적용

작동하중 시험조건 중 가장 극심한 결과가 나오는 케이스의 조건과 선박 모션에 따른 가속도 하중을 적용하였을 때를 고려할 때 총 4가지 경우의 하중 케이스가 발생하며 이를 Table 10에 나타내었다.

**Table 10** Load conditions applying acceleration load

Load case	Position		Acceleration			Gravity acceleration	Lifeboat weight	Winch weight
	List	Trim	Heave	Surge	Sway			
1	+20°	+10°	-	+		9.81m/s <sup>2</sup>	11ton (10ton×1.1)	1.53ton
2	+20°	-10°	-	-				
3	-20°	+10°	-		+			
4	-20°	-10°	-		-			

\* List + / - : Inboard / Outboard direction, Trim + / - : Left / Right

\* Heave + / - : Up / Down direction, Surge·Sway + / - : Left / Right

하중 케이스 1과 모든 케이스에 동일하게 적용된 구속 조건을 Fig. 27과 Fig. 28에 나타내었다. 나머지 케이스의 경우 횡경사와 종경사의 방향 및 가속도 하중의 방향만 달라지며 적용되는 하중은 동일하여 생략하였다.

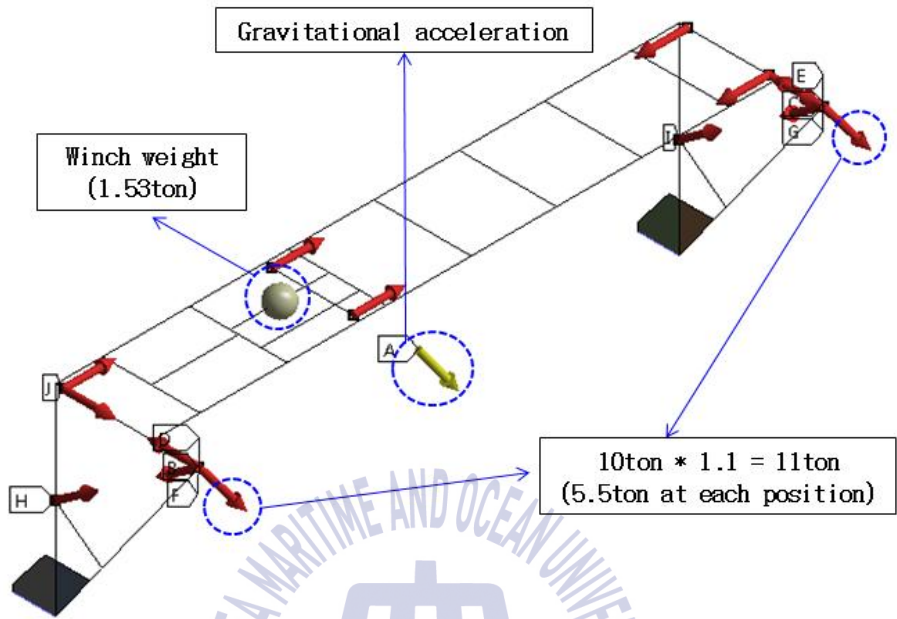


Fig. 27 Load conditions of case 1

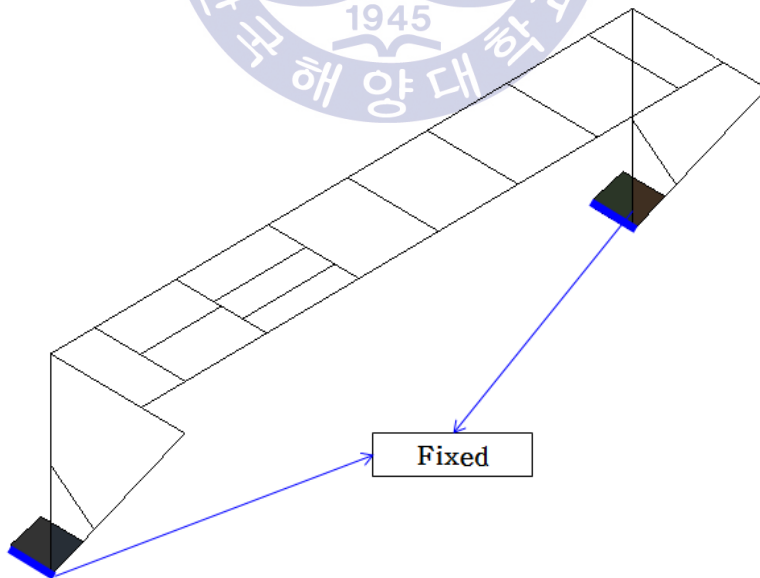


Fig. 28 Constraint condition

## 2.4.2 해석 결과

가장 극심한 작동하중 시험조건에 선박 모선에 따른 가속도 하중을 적용한 구조해석에는 극한 상황임을 고려하여 정적내력하중 시험의 기준과 동일하게 AISC Standard를 참고하여 허용 응력은 항복강도의 0.9배, 허용 변형은 전체 구조물 길이의 1/360의 값을 기준으로 하여 평가를 수행하였다.[9,10]

해석 결과, 모든 해석 케이스에서 발생하는 최대 응력과 최대 변형이 허용 값을 초과하지 않는 것을 확인할 수 있었으며, 상하 방향 가속도 하중이 아래 방향, 선체 좌·우현 방향 가속도 하중이 오른쪽으로 반영된 상태에 있는 네 번째 케이스에서 가장 큰 응력과 변형이 발생하였다. 해석 결과를 Table 11에 정리하였으며 Fig. 29 ~ Fig. 36에 결과 그림을 나타내었다.

최대응력은 86.53MPa로 구조물의 왼쪽 하부에서 발생하고, 최대 변형은 11.58mm이며 구조물 상부 중심으로부터 약간 왼쪽으로 떨어진 곳에서 발생한다.

**Table 11** Results for operational load test applying acceleration load

Load case	Maximum combined stress (MPa)	Maximum deformation (mm)	Allowable stress (MPa)	Allowable deformation (mm)	Result
1	78.86	11.31	220.50	21.39	OK
2	78.92	10.58			OK
3	71.26	10.31			OK
4	86.53	11.58			OK



H: Operational added acceleration(LC1)  
Maximum Combined Stress  
Type: Maximum Combined Stress  
Unit: MPa  
Time: 1

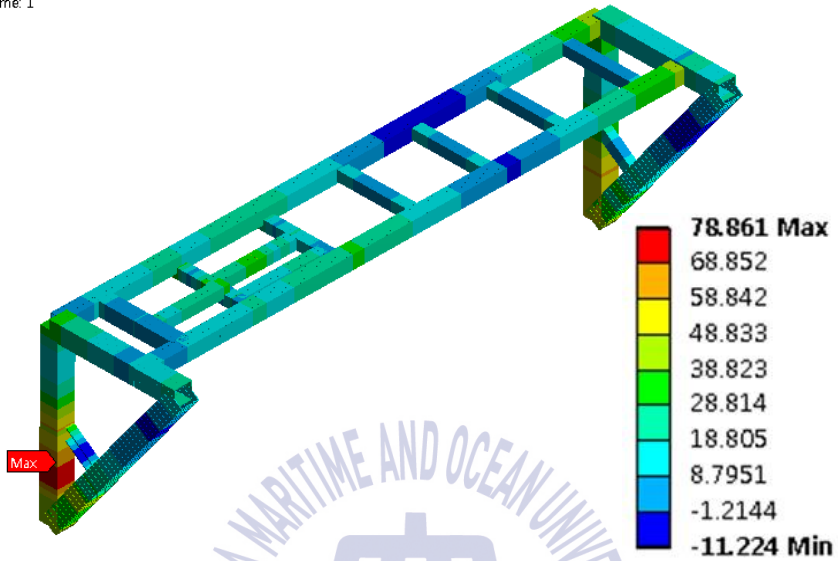


Fig. 29 Maximum combined stress of load case 1

H: Operational added acceleration(LC1)  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1

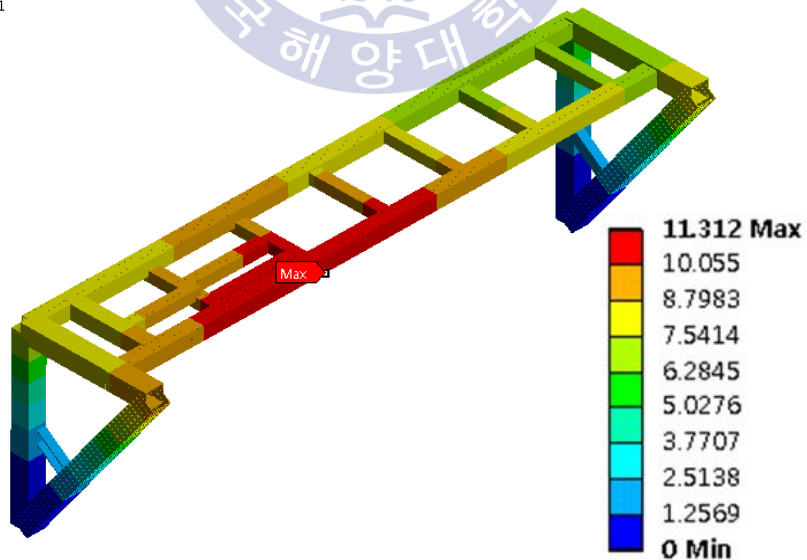


Fig. 30 Maximum deformation of load case 1

I: Operational added acceleration(LC2)  
Maximum Combined Stress  
Type: Maximum Combined Stress  
Unit: MPa  
Time: 1

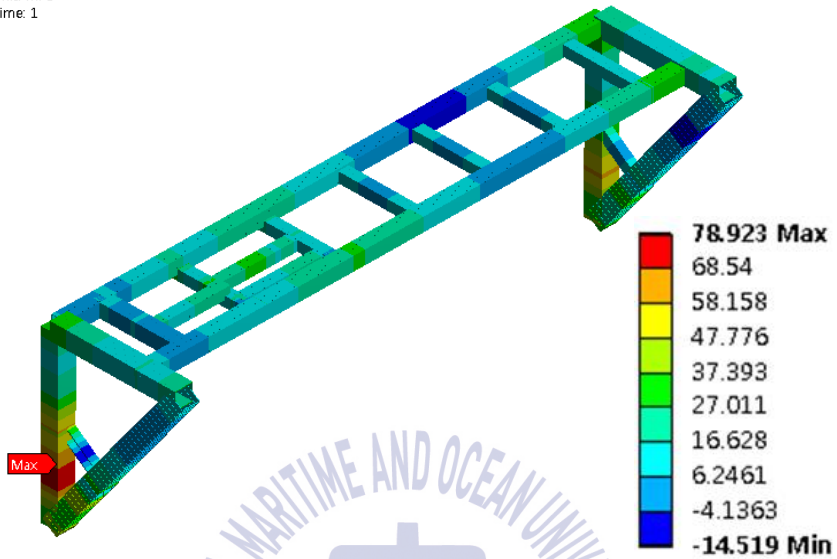


Fig. 31 Maximum combined stress of load case 2

I: Operational added acceleration(LC2)  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1

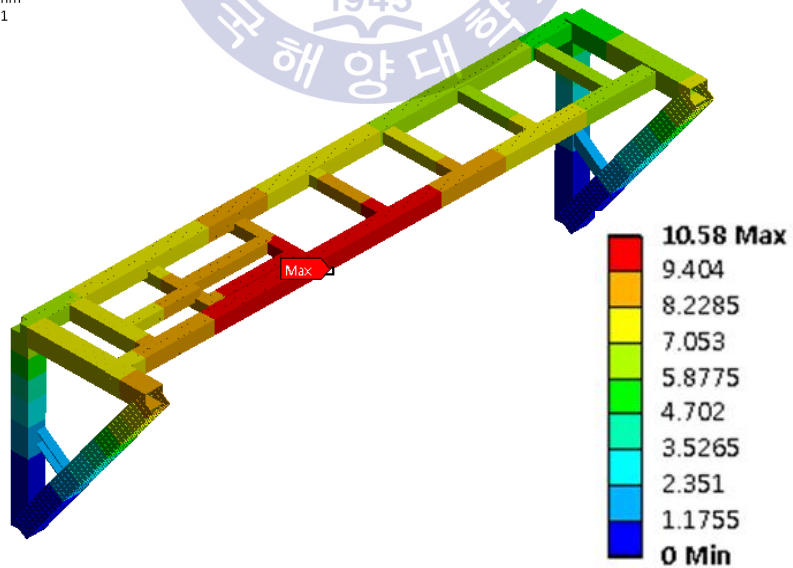


Fig. 32 Maximum deformation of load case 2

J: Operational added acceleration(LC3)  
Maximum Combined Stress  
Type: Maximum Combined Stress  
Unit: MPa  
Time: 1

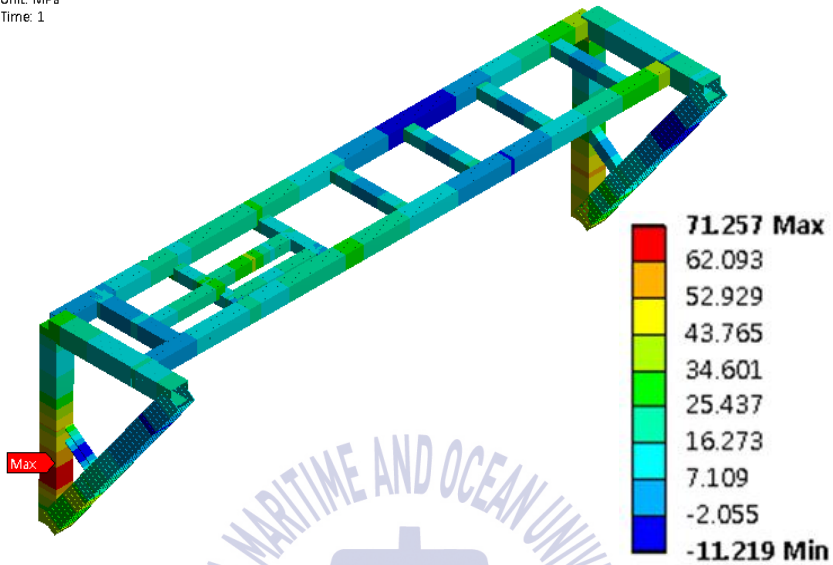


Fig. 33 Maximum combined stress of load case 3

J: Operational added acceleration(LC3)  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1

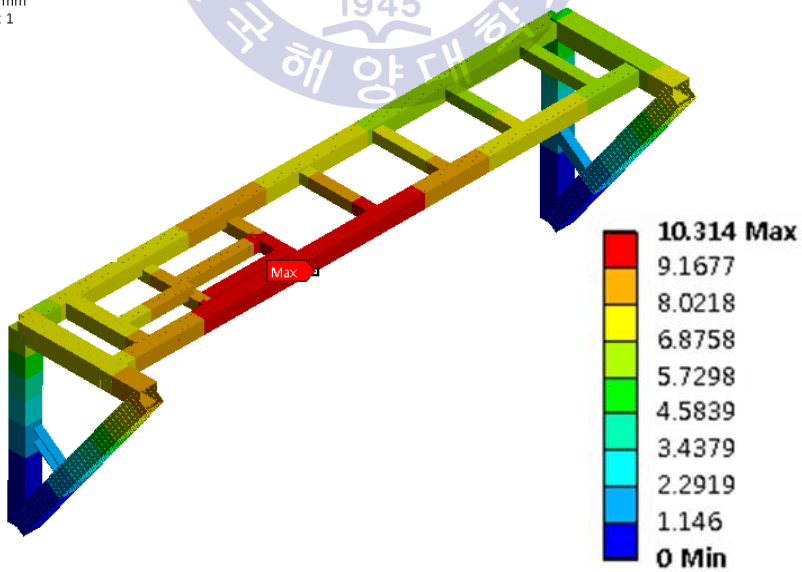


Fig. 34 Maximum deformation of load case 3

K: Operational added acceleration(LC4)  
 Maximum Combined Stress  
 Type: Maximum Combined Stress  
 Unit: MPa  
 Time: 1

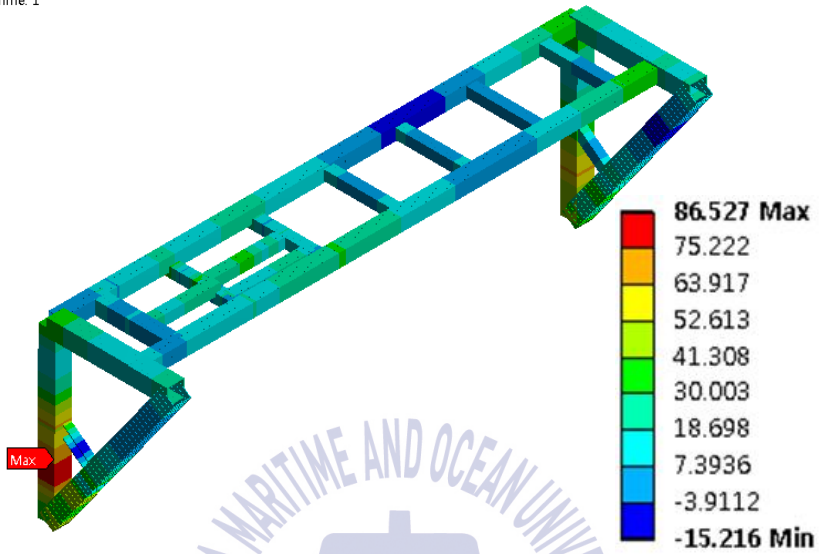


Fig. 35 Maximum combined stress of load case 4

K: Operational added acceleration(LC4)  
 Total Deformation  
 Type: Total Deformation  
 Unit: mm  
 Time: 1

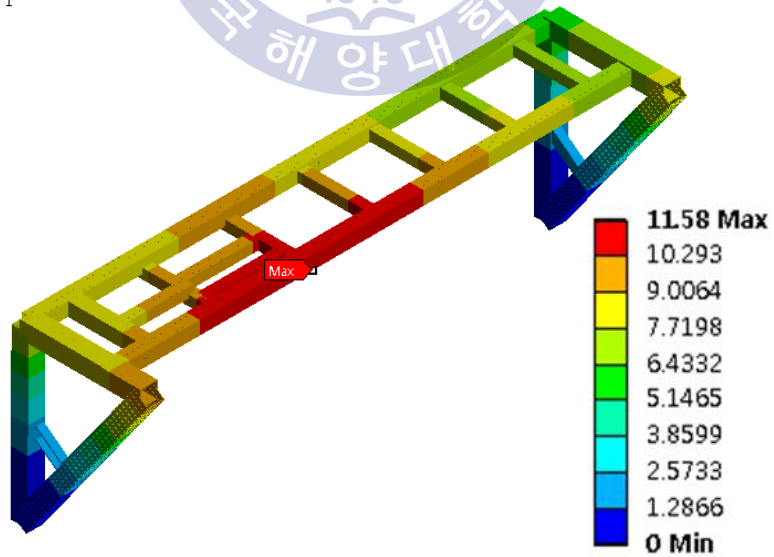


Fig. 36 Maximum deformation of load case 4

## 2.5 프레임 볼트부 강도설계 평가

아웃리거 대빗의 상부 프레임 일부는 볼트로 연결되어 있으며 볼트 연결부는 구멍정의 하중이 작용하는 리프팅 포인트와 근접해 있어 구조 강도를 확보하고 있는 지에 대한 검증이 필요하다. 이에 따라 볼트 연결부에서 발생하는 인장 응력 및 전단 응력을 계산하여 볼트부의 구조 안정성 평가를 수행하였다. 대빗 프레임에 위치한 볼트부를 Fig. 37에 나타내었다.

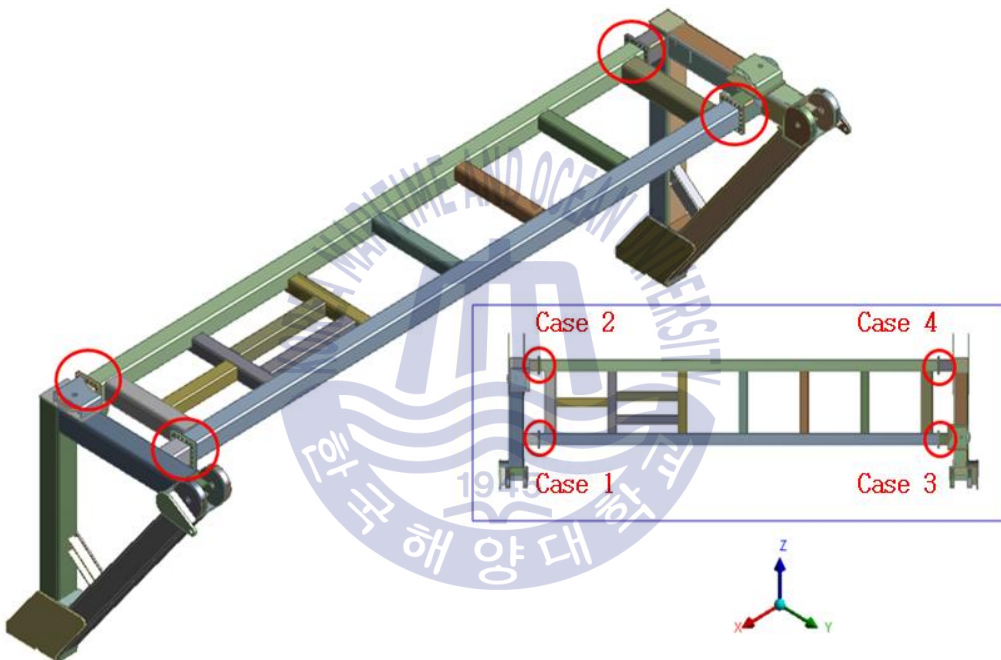


Fig. 37 Bolt connection of out-rigger davit frame

대빗 프레임에는 총 4 곳의 볼트 연결부가 위치하며 모두 Fig. 38와 같은 형상을 갖는다.

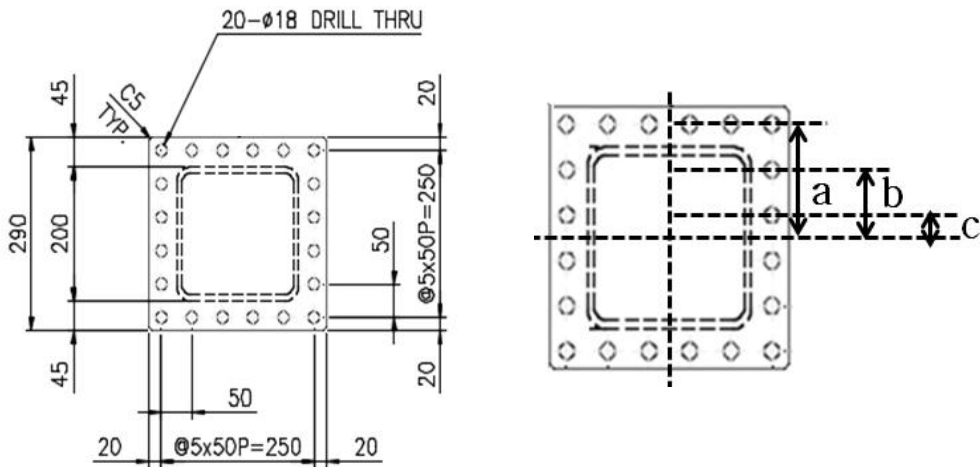


Fig. 38 Shape of bolt connection

볼트부는 모두 같은 형상으로 이루어져 있기 때문에 4개의 볼트부 중 가장 극심한 하중을 받을 것으로 예상되는 한 부분(Case 2)을 선정하였으며 볼트부에 발생하는 응력을 계산하기 위하여 구조 해석 결과로부터 해당 볼트부에서 발생하는 반력을 도출하여 계산에 적용하였다. 적용한 반력 값을 Table 12에 나타내었다.

Table 12 Applied reaction force for calculation

$P_x$ (N)	$P_y$ (N)	$P_z$ (N)	$M_x$ (Nmm)	$M_y$ (Nmm)	$M_z$ (Nmm)
68,578	11,363	2,949.6	1.56E+06	3.14E+05	1.72E+07

반력 값을 이용하여 볼트부에 발생하는 전단응력과 인장응력에 대하여 LSA Code를 근거로 전단항복강도와 인장강도의 안전율 4.5를 확보하고 있는 지를 평가하였으며 추후에도 아웃리거 대빔의 볼트부에 대한 평가를 수행하기 위해 계산의 편의를 위한 계산 프로그램을 작성하였다.[3,7,8] 전단응력과 인장응력을 구하기 위하여 프로그램 내에 반영된 계산식은 다음과 같다.

(i) 직접 전단응력 산출 방정식

$$f_{vy} = P_y/20A \quad (3)$$

$$f_{vz} = P_z/20A \quad (4)$$

(ii) 비틀림에 의한 전단응력 산출 방정식

$$f_{st} = M_x r/6A/[2a^2 + 2(a^2 + b^2) + 2(a^2 + c^2)] \quad (5)$$

(iii) 결과적으로 발생하는 전단응력 산출 방정식

$$th = atan(a/a) \quad (6)$$

$$f_v = \{[f_{vy} + f_{st} \times \sin(th)]^2 + [f_{vz} + f_{st} \times \cos(th)]^2\}^{0.5} \quad (7)$$

(iv) 인장응력 산출 방정식

$$f_{tx} = P_x/20A \quad (8)$$

$$f_{ty} = M_y/Z_y \quad (9)$$

$$f_{tz} = M_z/Z_z \quad (10)$$

(v) 결과적으로 발생하는 인장응력 산출 방정식

$$f_t = f_{tx} + f_{ty} + f_{tz} \quad (11)$$

계산 프로그램을 통한 평가 내용을 Fig. 39에 나타내었으며 평가 결과, 볼트 연결부는 설계 기준에 만족하는 충분한 구조 강도를 확보하고 있는 것으로 확인되었다.

[ Bolt connection calculation ]

Bolt spec.			M18	
Bolt diameter	D =		0.015	m
Bolt area	A =		0.000176625	m <sup>2</sup>
Shear strength	$\tau$ =		238	MPa
Tensile strength	$\sigma$ =		413	MPa

Px	68,578	N	Py	11,363	N	Pz	2,949.6	N
Mx	1.56E+03	N	My	3.14E+02	N	Mz	2.00E+04	N

: result from computational analysis

**Direct shear stress**

$f_{vy}$	=	$P_y/20A$	3.22	MPa
$f_{vz}$	=	$P_z/20A$	0.83	MPa

**Shear stress due to torsion**

$f_{st}$	=	$M_x/(6A)(0.125^2+0.125^2)+(0.025^2+0.125^2)+(0.025^2+0.125^2)+(0.075^2+0.125^2)+(0.075^2+0.125^2)$	2.45	MPa
----------	---	---	------	-----

**Resultant shear stress**

$\theta$	=	$\text{atan}(125/125)$	0.79	rad
$f_v$	=	$((f_{vy}+f_{st}\sin(\theta))^2+(f_{vz}+f_{st}\cos(\theta))^2)^{0.5}$	5.57	MPa

"OK" if ( $f_v < \tau/4.5$ )  
 \* allowable stress :  $\tau/4.5$

"OCCUR" otherwise OK

**Tensile stress**

$f_{tx}$	=	$P_x/20A$	19.41	MPa
$f_{ty}$	=	$M_y/Z_y$	1.05	MPa
$f_{tz}$	=	$M_z/Z_z$	66.61	MPa

**Resultant Tensile stress**

$f_t$	=	$f_{tx}+f_{ty}+f_{tz}$	87.07	MPa
-------	---	------------------------	-------	-----

"OK" if ( $f_t < \sigma/4.5$ )  
 \* allowable stress :  $\sigma/4.5$

"OCCUR" otherwise OK

Fig. 39 Calculation of bolt connection



## 제3장 윈치부 및 와이어로프 강도설계 평가

### 3.1 윈치부 구조강도 계산

윈치는 일반적으로 원통형의 드럼에 와이어 로프를 감아 도르래를 이용하여 중량물을 높은 곳으로 들어올리는 기계를 말하며 본 연구에서의 설계 평가 대상인 아웃리거 대빛용 윈치는 대빛 프레임 위에 설치되어 구명정을 진수하고 인양하는 역할을 한다. 윈치는 아웃리거 대빛 전체 모듈에서 직접적으로 구명정의 하중을 받는 핵심 부품이므로 이에 대하여 구조적으로 안정성을 확보하고 있는 지에 대한 평가가 필수적이다. 본 연구에서는 윈치부에서 구조 강도를 필수적으로 확보하고 있어야 하는 기어부와 드럼에 대하여 설계 평가를 수행하였다.

아웃리거대빛 윈치 형상에 대한 이해를 돕기 위하여 Fig. 40에 아웃리거 대빛 윈치의 형상 모델을 나타내었다.

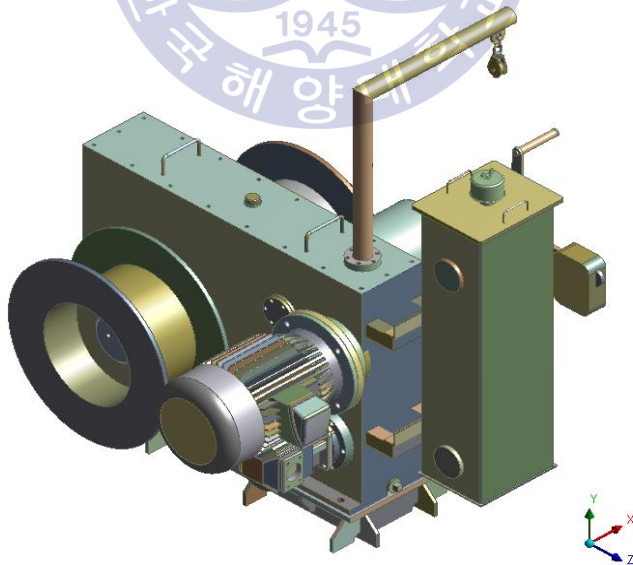


Fig. 40 Model of out-rigger davit winch

### 3.1.1 기어부 구조강도 계산

아웃리거 대빗의 윈치는 호이스팅 모터로부터 동력을 전달받아 구명정을 진수·인양한다. 이때 동력 전달을 위하여 사용되는 기어에 대한 구조 강도 평가는 필수적이다. 본 연구에서는 미국기어공업회인 AGMA의 규격을 근거로 하여 구조 강도 계산을 수행하였다. 일반적으로 기어의 굽힘강도와 면압강도를 계산할 때, 루이스 식과 버킹엄 식을 사용하지만 AGMA에서 제시한 방법의 경우, 루이스 식이나 버킹엄 식에서의 단순화된 가정들에 의한 효과와 고려되지 않은 실제 응력상태에 영향을 미치는 인자들을 고려하고 있기 때문에 AGMA의 응력 산출 방정식을 통해 평가 진행하였다.[6]

Fig. 41에 윈치의 기어 배치를 나타내었으며, 피니언과 기어를 한 쌍으로 보았을 때 총 세 쌍이 구조물의 내부에 위치해 있다.

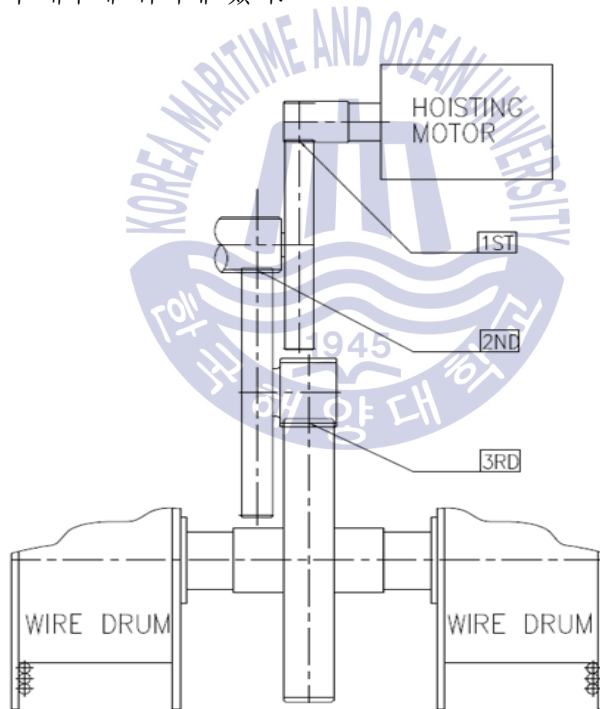


Fig. 41 Arrangement of gears

피니언에 적용된 재료는 SCM440, 기어에 적용된 재료는 S45C이며 물성치는 Table 13과 같다.

**Table 13** Material properties of SCM400 and S45C

Material	SCM440	S45C
Young's modulus (GPa)	210	210
Poisson's ratio	0.3	0.3
Yield strength (MPa)	415	343
Ultimate strength (MPa)	655	569

서로 맞물려 회전하는 한 쌍의 기어가 동력을 전달할 때 기어에 작용하는 하중분포 상태에 따라 기어의 파손이 발생하고, 기어의 파손 형태는 다음과 같은 3가지로 분류한다.[6]

① 이의 파괴

과대한 하중 작용으로 단시간에 이뿌리 부분이 파괴되는 현상을 말하고, 굽힘강도를 검토한다. 일반적으로 굽힘강도는 표면경화를 한 취성재료로 제작된 이에 대해서 고려한다.

② 잇면의 손상

피로에 의해서 피치점 부근에서 발생하는 점부식의 일종인 피팅(pitting)현상을 말하며 면압강도를 검토한다. 면압강도는 주로 장기간 계속 운전하는 취성재료의 이에 대해서 고려한다.

③ 스코어링(scoring) 현상

잇면 사이의 미끄럼에 의해서 피로박리 및 융창이 발생하는 현상을 말하며, 마모 및 순간적인 온도상승을 고려한 스코어링 강도를 검토하여야 한다. 고속·고부하용 기어의 이에 대해서는 스코어링 강도도 함께 고려한다.

원치에 위치해 있는 기어의 강도를 평가하기 위하여 위 ①, ②의 파손형태를 고려하여 굽힘강도와 면압강도 계산을 수행하였다.

(1) 굽힘강도 : 기어의 이뿌리가 균열이나 휨 없이 견딜 수 있는 최대 강도, 기어가 하중을 받을 때, 이뿌리 부분에서 발생하는 응력 계산

(2) 면압강도 : 설계된 수명시간 내에서 두 개의 기어가 접촉할 때 기어의 표면이 견딜 수 있는 최대 강도, 두 기어가 접촉할 때 발생하는 접촉 응력 계산

AGMA 규격에 제시되어 있는 굽힘강도와 면압강도, 각각의 허용응력을 구하는 식은 다음과 같다.

(i) 굽힘강도와 허용응력 산출 방정식

$$\sigma_{bending} = F_t K_o K_v \frac{1.0}{bm} \frac{K_s K_m}{J} \quad (12)$$

$$\sigma_{bending,all} = \frac{S_t K_L}{K_T K_R} \quad (13)$$

(ii) 면압강도와 허용응력 산출 방정식

$$\sigma_{contact} = C_p \left( F_t K_o K_v \frac{K_s}{bd} \frac{K_m C_f}{I} \right)^{1/2} \quad (14)$$

$$\sigma_{contact,all} = \frac{S_c C_L C_H}{K_T K_R} \quad (15)$$

구조물 내부에 위치한 모든 피니언과 기어에 대한 굽힘강도와 면압강도를 구하였으며 총 6 케이스(피니언 3 케이스, 기어 3 케이스)의 강도 값을 산출하였다. 계산을 위하여 적용된 계수 값을 Table 14 ~ Table 17에 정리하였으며 이를 통해 계산된 굽힘응력, 면압응력을 허용응력과 비교하여 Table 18와 Table 19에 나타내었다.

**Table 14** Applied factors for bending strength of gear

	1st		2nd		3rd	
	Pinion	Gear	Pinion	Gear	Pinion	Gear
$F_t$ (N)	2,019	2,019	8,653	8,653	30,468	30,468
$K_o$	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
$K_v$	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
$b$ (mm)	45	40	55	50	100	90
$m$ (mm)	3	3	4	4	8	8
$K_s$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$K_m$	1.6	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7
$J$	0.38	0.49	0.36	0.50	0.25	0.47

**Table 15** Applied factors for allowable stress of bending strength

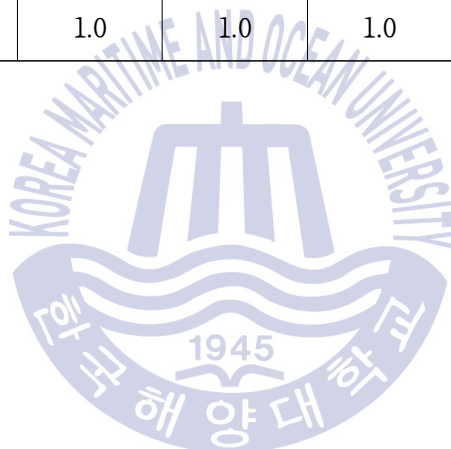
	1st		2nd		3rd	
	Pinion	Gear	Pinion	Gear	Pinion	Gear
$S_t$ (MPa)	180	151	180	151	180	151
$K_L$	1.9	1.4	1.9	1.4	1.9	1.4
$K_T$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$K_R$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

**Table 16** Applied factors for contact strength of gear

	1st		2nd		3rd	
	Pinion	Gear	Pinion	Gear	Pinion	Gear
$C_p(\sqrt{MPa})$	191.6	191.6	191.6	191.6	191.6	191.6
$F_t$ (N)	2,019	2,019	8,653	8,653	30,468	30,468
$K_o$	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
$K_v$	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
$K_s$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
b (mm)	45	40	55	50	100	90
d (mm)	81	378	88	528	150	624
$K_m$	1.6	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7
$C_f$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
I	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16
$m_G$	4.67	4.67	6	6	5.2	5.2
$m_N$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
E (GPa)	210	210	210	210	210	210
V	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
$\phi$	20°	20°	20°	20°	20°	20°

**Table 17** Applied factors for allowable stress of contact strength

	1st		2nd		3rd	
	Pinion	Gear	Pinion	Gear	Pinion	Gear
$S_c$ (MPa)	735	647	735	647	735	647
$C_L$	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
$C_H$	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
$K_T$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$K_R$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0



**Table 18** Bending strength results of gear

		Bending stress (MPa)	Allowable stress (MPa)	Result
1st	Pinion	131.4	342	OK
	Gear	114.7	211	OK
2nd	Pinion	267.0	342	OK
	Gear	199.0	211	OK
3rd	Pinion	336.7	342	OK
	Gear	199.0	211	OK

**Table 19** Contact strength results of gear

		Contact stress (MPa)	Allowable stress (MPa)	Result
1st	Pinion	672.8	1,299	OK
	Gear	340.5	1,144	OK
2nd	Pinion	1,001	1,299	OK
	Gear	415.9	1,144	OK
3rd	Pinion	1,015	1,299	OK
	Gear	524.4	1,144	OK

AGMA 규격에 제시된 굽힘강도와 면압강도 산출 방정식을 통하여 평가 수행한 결과, 원치 구조물 내부에 위치한 모든 피니언과 기어는 허용응력 내의 굽힘강도와 면압강도를 가지며 이를 통하여 충분한 구조 강도를 확보하고 있는 것으로 확인되었다.



### 3.1.2 드럼 구조강도 계산

드럼은 와이어 로프가 위치하는 원치의 중요 부품 중 하나로 구멍정을 와이어 로프와 연결시켜 감고 푸는 방식으로 진수·인양하기 때문에 구멍정 하중의 직접적인 영향을 받는다. 드럼에 적용된 재료는 STPG370이며 물성치는 Table 20과 같다.

Table 20 Material properties of STPG370

Material	STPG370
Yield strength (MPa)	216
Ultimate strength (MPa)	373

드럼의 설계 평가를 위하여 작용하중과 구조 강도 계산을 위해 필요한 값들을 Fig 42 와 Table 21에 나타내었다.

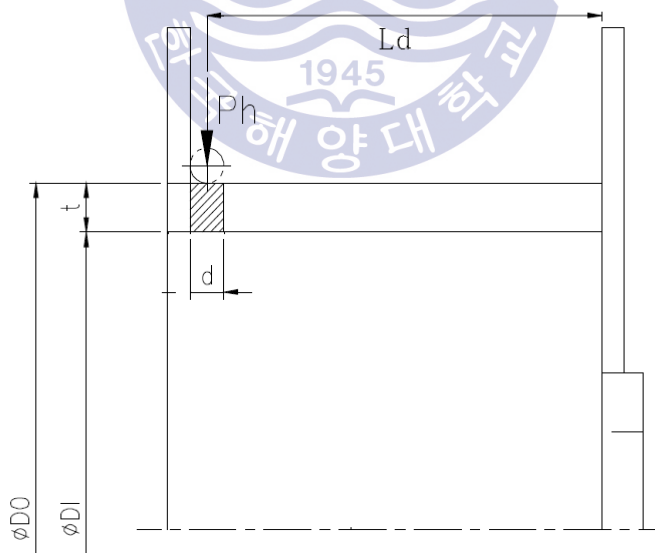


Fig. 42 Force diagram for drum

Table 21 Information of drum

	Dimension (mm)
Length of drum (Ld)	324
Outer diameter (DO)	405
Inner diameter (DI)	363.6
Thickness (t)	20.7

드럼은 Fig. 49와 같이 하중이 작용하여 굽힘에 의한 응력이 지배적이며 따라서 드럼의 구조 강도를 확인하기 위하여 굽힘응력을 산출하였다. 굽힘응력을 구하는 계산식은 다음과 같다.[7,8]

(i) 굽힘응력 산출 방정식

$$\sigma_{bending} = Mb/Z \quad (16)$$

$$Mb = Ph \times Ld \quad (17)$$

$$Z = \pi \times (DO^4 - DI^4) / (32 \times DO) \quad (18)$$

LSA Code에 근거하여 재료의 인장강도를 기준으로 안전율 4.5를 확보하는 값을 허용응력으로 하여 드럼의 평가 기준을 정립하였다.[3]

허용응력과 위의 계산식으로 산출된 굽힘응력의 값을 비교하여 최종적으로 드럼의 설계 평가를 수행하였으며 평가 결과, 허용응력은 82.89MPa, 계산식으로 산출된 조합응력의 값은 3.47MPa로 설계된 드럼은 LSA Code의 설계 기준에 만족하는 충분한 구조 강도를 확보하고 있는 것으로 확인되었다.

드럼에서 발생하는 응력은 허용응력에도 23이상의 안전율을 확보하므로 해당 드럼은 과설계 된 것으로 보이며 구조물의 두께나 직경을 조절하여 최적 설계안을 도출해야 할 것으로 사료된다.

### 3.2 와이어로프 구조강도 계산

아웃리거 대빗의 핵심 부품인 프레임과 윈치 이외에도 와이어로프의 끝단에 위치하여 구멍정과 직접적으로 연결되는 부품에 대한 설계 평가가 필요하다. 해당 부품으로는 pendant eye, sheave pin, suspension link가 있으며 Fig. 43에 이를 나타내었다.

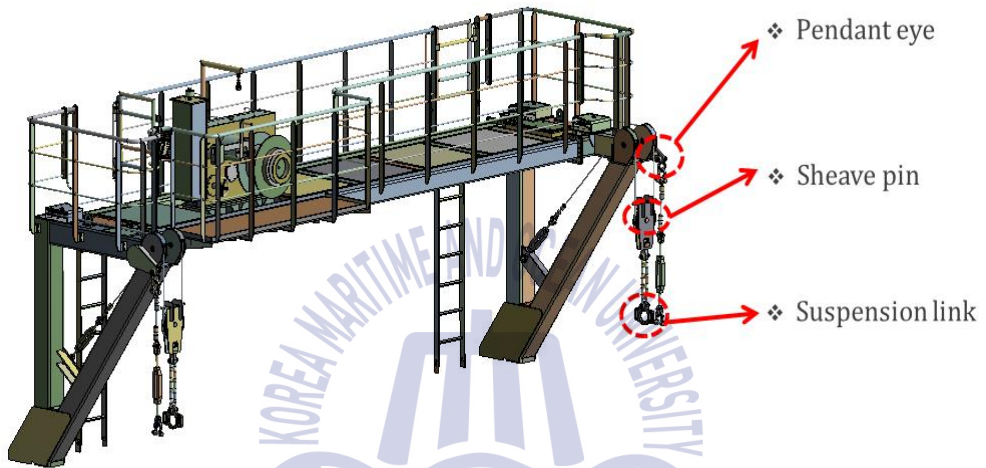


Fig. 43 Model of out-rigger davit

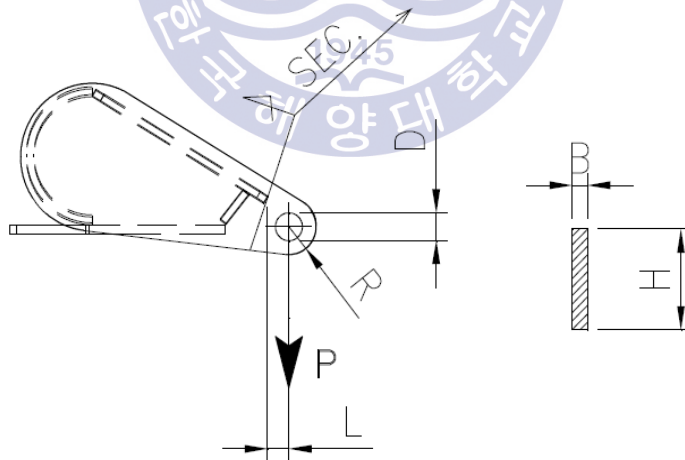
### 3.2.1 Pendant eye 구조강도 계산

Pendant eye는 대빗 프레임 끝단에 위치하여 구멍정 하중의 영향을 받는 구성요소 중 하나이다. pendant eye에 적용된 재료는 SS400이며 물성치는 **Table 22**과 같다.

**Table 22** Material properties of SS400

Material	SS400
Yield strength (MPa)	245
Ultimate strength (MPa)	510

Pendant eye의 설계 평가를 위하여 작용하중과 구조 강도 계산을 위해 필요한 값들을 **Fig 44**과 **Table 23**에 나타내었다.



**Fig. 44** Force diagram for pendant eye

**Table 23** Information of pendant eye

	Dimension (mm)
Hole diameter (D)	40
Outer rounding radius (R)	45
Cross section thickness (B)	35
Cross section height (H)	113
Length between cross section and hole (L)	48

Pendant eye에는 굽힘과 인장, 전단응력이 발생하며 구조 강도를 확인하기 위하여 굽힘/인장응력을 조합한 응력, 전단응력을 산출하였다. 굽힘/인장응력과 이를 조합한 응력, 전단응력을 구하는 계산식은 다음과 같다.[7,8]

(i) 굽힘응력 산출 방정식

$$\sigma_{bending} = PL / (BH^3 / 6) \quad (19)$$

(ii) 인장응력 산출 방정식

$$\sigma_{tensile} = P / A \quad (20)$$

$$A = BH \quad (21)$$

(iii) 조합응력(굽힘 · 인장) 산출 방정식

$$\sigma_{combined} = \sigma_{bending} + \sigma_{tensile} \quad (22)$$

(iv) 전단응력 산출 방정식

$$\tau = P/A_2 \quad (23)$$

$$A_2 = B[R - (D/2)] \quad (24)$$

LSA Code를 참고하여 pendant eye의 평가 기준을 정립하였다. 굽힘응력과 인장응력을 조합한 조합응력을 평가하기 위하여 재료의 인장강도를 기준으로 안전율 4.5를 확보하는 값을 허용응력으로, 전단응력을 평가하기 위하여 인장강도를 기준으로 안전율 4.5를 확보하는 값에 0.5를 곱한 값을 허용응력으로 설정하였다.[3]

위의 계산식으로 산출된 조합응력 및 전단응력과 허용응력을 비교하여 최종적으로 pendant eye의 설계 평가를 수행하였으며 평가 결과, 조합응력과 전단응력에 대한 허용응력은 각각 85MPa, 42.5MPa이고 계산식으로 산출된 조합응력과 전단응력은 15.18MPa, 40MPa로 설계된 pendant eye는 LSA Code의 설계 기준에 만족하는 충분한 구조 강도를 확보하고 있는 것으로 확인되었다.

Pendant eye에서 발생하는 굽힘응력과 인장응력을 조합한 응력의 경우, 허용응력의 5.5이상의 안전율을 보이며 전단응력의 경우, 허용 응력과 매우 근접한 값의 응력이 발생하였다. 전단 응력에서 허용응력과 매우 근접한 값의 응력이 발생하였지만 허용 응력 자체에 4.5의 높은 안전율을 적용한 상태이므로 구조적 안정성을 충분히 확보하고 있는 것으로 판단된다.

### 3.2.2 Sheave pin 구조강도 계산

Sheave pin은 floating block의 sheave 중심에 위치하여 구멍정 하중의 영향을 받는 구성요소 중 하나이다. sheave pin에 적용된 재료는 SUS304이며 물성치는 Table 24와 같다.

Table 24 Material properties of SUS304

Material	SUS304
Yield strength (MPa)	240
Ultimate strength (MPa)	520

Sheave pin의 설계 평가를 위하여 작용하중과 구조 강도 계산을 위해 필요한 값들을 Fig 45와 Table 25에 나타내었다.

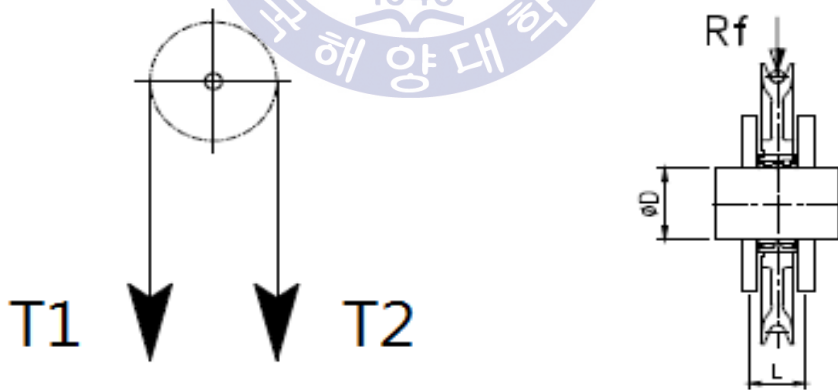


Fig. 45 Force diagram for sheave pin

Table 25 Information of sheave pin

	Dimension (mm)
Diameter (D)	50
Length (L)	62

Sheave pin의 구조 강도를 확인하기 위하여 구조 강도 계산식으로 통해 반력을 구하였으며 사용한 계산식은 다음과 같다.[7,8]

$$R_f = \sqrt{T1^2 + T2^2 + 2(T1)(T2)\cos\theta} \quad (25)$$

Sheave pin은 Fig. 45와 같이 하중이 작용하며 발생하는 전단 응력에 대한 구조 강도 확인이 필요하다. 전단응력을 산출하기 위한 계산식은 다음과 같다.

(i) 전단응력 산출 방정식

$$\tau = R_f / 2A \quad (26)$$

$$A = \pi(D/2)^2 \quad (27)$$

LSA Code에 근거한 허용 응력을 구하기 위하여 재료의 인장강도를 기준으로 안전율 4.5를 확보하는 값을 구하고 평가하고자 하는 응력이 전단 응력이기 때문에 이에 0.5를 곱한 값을 허용응력으로 하여 sheave pin의 평가 기준을 정립하였다.[3]

허용응력과 위의 계산식으로 산출된 전단응력의 값을 비교하여 최종적으로 sheave pin에 대한 설계 평가를 수행하였으며 평가 결과 허용응력은 57.78MPa, 계산식으로 산출된 전단응력의 값은 12.48MPa로 설계된 sheave pin은 LSA Code의 설계 기준에 만족하는 충분한 구조 강도를 확보하고 있는 것으로 확인되었다.

Sheave pin에서 발생하는 응력은 허용응력에도 4.5이상의 안전율을 확보하므로 해당 pin의 직경을 더 작게 설계하여도 구조적 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.



### 3.2.3 Suspension link 구조강도 계산

Suspension link는 구멍정과 직접적으로 연결되어 있는 구성요소로 이에 대한 설계 평가가 필수적이다. suspension link에 적용된 재료는 SM490A이며 물성치는 Table 26과 같다.

Table 26 Material properties of SM490A

Material	SM490A
Yield strength (MPa)	315
Ultimate strength (MPa)	490

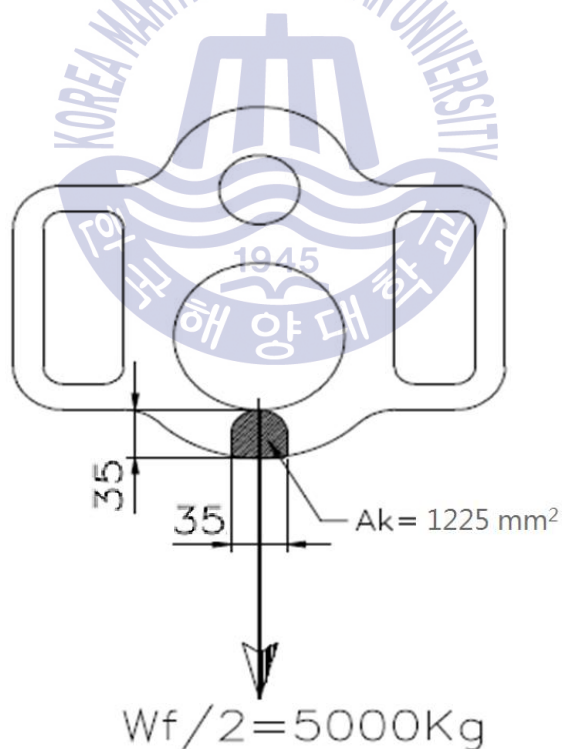


Fig. 46 Force diagram for suspension link

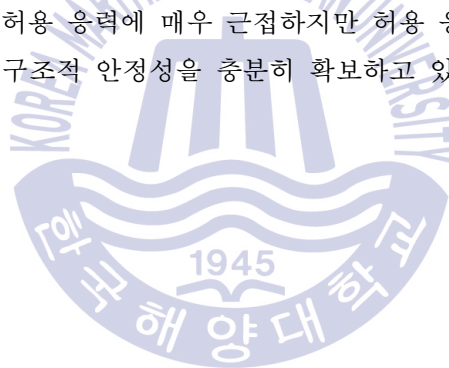
Suspension link는 Fig. 46과 같이 하중이 작용하며 구조 강도를 확인하기 위하여 구멍 정과 연결되는 부위에 작용하는 전단응력을 산출하였으며 전단응력을 구하는 계산식은 다음과 같다.[7,8]

$$\tau = WF/Ak \quad (28)$$

LSA Code을 근거로 재료의 인장강도를 기준으로 안전율 6을 확보하는 값을 구하고 이에 0.5를 곱한 값을 허용응력으로 하여 suspension link의 평가 기준을 정립하였다.[3]

허용응력과 위의 계산식으로 산출된 전단응력의 값을 비교하여 최종적으로 suspension pin에 대한 설계 평가를 수행하였으며 평가 결과 허용응력은 40.83MPa, 계산식으로 산출된 전단응력의 값은 39.99MPa로 설계된 suspension link는 LSA Code의 설계 기준에 만족하는 충분한 구조 강도를 확보하고 있는 것으로 확인되었다.

발생하는 전단 응력은 허용 응력에 매우 근접하지만 허용 응력 자체에 6의 높은 안전율을 적용한 상태이므로 구조적 안정성을 충분히 확보하고 있는 것으로 판단된다.



## 제4장 결 론

수년 간 크고 작은 해상 사고가 발생함에 따라 해상에서의 인명 구조에 대한 관심이 꾸준히 증가하고 있고 이에 따라 선박이나 해양구조물에 설치되는 구명 설비에 대한 설계 기준이 강화되고 있다. 본 연구 대상인 아웃리거 대빛의 경우, 비상 상황 시 선원이나 승객의 긴급한 선외 탈출을 돕는 인명 구조에 직접적인 영향을 미치는 설비로 구조물 자체의 형상이 매우 불안정하여 타 구명 설비 대비 더욱 까다로운 설계 기준을 적용한다. 아웃리거 대빛은 LSA Code에 근거한 성능 인증을 받아야 발주가 가능하며 인증을 받기 위해서는 여러 종류의 시험 수행 요구된다.

본 연구에서는 시험 조건을 반영하여 구조물의 전체 프레임에 대한 유한요소를 이용한 전산 시뮬레이션을 통하여 설계 검증을 수행하였으며 원치를 포함한 구조 강도의 확인이 필요한 부재들에 대하여 구조 계산을 수행하였다.

시험의 경우, 큰 변형이 발생하지 않으면 시험을 통과하는 것으로 간주하기 때문에 수치적으로 구체적인 평가 기준이 존재하지 않아 여러 기준을 토대로 평가 기준을 정립하여 아웃리거 대빛의 구조적 건전성을 평가하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. LSA Code에 근거한 시험 조건을 기반으로 아웃리거 대빛의 프레임의 구조 강도를 확인하기 위하여 정적 내력 하중 시험과 작동 하중 시험의 하중 조건을 기준으로 유한요소 해석을 하였으며 추가로 작동 하중 시험에서 도출된 가장 극심한 조건에 선박 모션에 의한 가속도 하중 조건을 적용하여 프레임의 구조 강도를 평가하는 해석 방법을 제시하였다.

2. 평가 기준의 경우, LSA Code와 AISC Standard를 참고하여 정립하였으며 정립한 기준은 다음과 같다.

조건	허용응력	허용변형
정적내력하중 시험	$0.9S_y$	L/360
작동하중 시험	$S_y/4.5$	L/360
선체 운동의 가속도 하중 포함	$0.9S_y$	L/360

3. 전산 해석 결과, 아웃리거 대빔 프레임은 정적내력하중 시험조건, 작동하중 시험 조건에서 허용 값 내의 최대 응력 및 변형이 발생하였고 작동하중 시험의 가장 극심한 조건에 가속도 하중을 적용한 해석 케이스에서도 허용 범위 내의 최대 응력과 변형이 발생하였다. 이를 통하여 아웃리거 대빔 프레임의 경우, 구조적 안정성을 확보하고 있음을 확인하였다.

4. 프레임을 연결하는 볼트부와 구멍정진수·인양하는 데 중요한 역할을 하는 원치의 주요 부품, 와이어 로프 끝에 설치된 부품에 대하여 LSA Code 및 AGMA Standard를 근거로 하여 구조 강도 계산을 통한 강도 평가 방법을 제시하였다. 구조 계산을 통한 주요 부품 구조 안정성 평가 결과, 프레임에 위치한 볼트부와 원치의 주요 부품, 로프 끝에 설치된 부품은 구조 계산을 통하여 도출된 응력이 LSA Code에서 제시한 허용응력을 넘지 않았으며 이를 통하여 구조 안정성을 확보하고 있음을 확인하였다.

본 연구를 통하여 전산해석과 구조 강도 계산을 통한 아웃리거 대빔 구조 안정성 평가 기준 및 방법 정립하였으며, 정립된 평가 방법은 아웃리거 타입 이외 다른 형태의 구멍정진수 설비에 대한 설계 검증에도 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] 해양안전심판원, 2016, e-나라지표 [Online] Available at: <http://www.index.go.kr> [Accessed 28 April 2017]
- [2] MIDAS, 2011, Linear Static Analysis [Online] Available at: <http://midasit.com> [Accessed 28 April 2017]
- [3] 한국선급, 2008, International Life-Saving Appliance Code(LSA Code). 해인 출판사.
- [4] DOD-STD-1399/301, 1986, “Department of Defense Interface Standard for Shipboard System Section 301A Ship Motion and Attitude.”
- [5] AGMA 2001-B88, 1990, “Fundamental Rating Factors and Calculation Method for Involute Spur and Helical Gear Teeth.”
- [6] A.C. Ugural, 2016, MECHANICAL DESIGN of Machine Components. Taylor & Francis Group.
- [7] 정남용, 2016, 최신기계설계. 학진북스.
- [8] R.C. Hibbeler, 2014, 정역학과 재료역학. 영 출판사.
- [9] AISC Manual of Steel Construction, 1989, “Allowable Stress Design, 9th Edition.”
- [10] ANSI/AISC 360-10, 2010, “Specification for Structural Steel Buildings.”
- [11] KS B 0201, 2016, “미터 보통 나사.”
- [12] 김지선, 최주형, 김정환, 배징도, 최영삼, 2016, 선박 모션에 따른 해양플랜트용 아웃리거 대빔 구조 안정성 평가. 2016년도 대한기계학회 후기학술대회.