

선박모션에 따른 고정식 CO₂소화 장치 구조안전성 평가

김승찬^{*†} · 강상훈^{**} · 최주형^{*} · 김정환^{*} · 박영철^{**}

* 한국조선해양기자재연구원, ** 동아대학교 기계공학부

Structural Safety Evaluation for Fixed CO₂ Extinguishing Systems Under Ship Motion

Seung Chan Kim^{*†}, Sang Hoon Kang^{**}, Joo Hyoung Choi^{*}, Jeong-Hwan Kim^{*}
and Young Chul Park^{**}

* Energy & Marine Research Division, Korea Marine Equipment Research Institute,

** School of Mechanical Engineering, Dong-A Univ.

(Received December 12, 2015 ; Revised June 3, 2016 ; Accepted June 7, 2016)

Key Words: FEM(유한요소법), Rack Unit(소화 장치 받침대 및 고정 장치), CO₂(이산화탄소)

초록: 화재는 선박의 안전을 위협하는 가장 위험한 요소 중의 하나이므로, 선박에 설치되는 안전장치 중에서 소화 장치는 가장 중요한 안전장치라고 볼 수 있다. 선박에 탑재되는 고정식 소화 장치는 해상의 파랑에 따라 구조물의 안정성에 영향을 받는 구조이다. 특히 랙 부분은 이산화탄소용기를 고정시키는 부재로 소화 장치 중 기본적인 안전장치이다. 본 논문에서는 시뮬레이션기법을 활용하여 각 방향 별 선박모션 및 이산화탄소용기에서 분출되는 압력데이터를 적용하여 랙 유닛의 해석을 수행하였으며 이에 따른 소화 장치의 구조적 안전성을 평가하였다.

Abstract: Since fire is one of the most dangerous threats to the safety of the ship, from the safety device is installed on the vessel the digestive apparatus can be viewed as the most important safety device. The fire-extinguishing device to be mounted to the vessel structure affected the stability of the structure in accordance with the blue of the sea. In particular, the Rack part of the basic safety of a fixed fire extinguishing system in the absence of a CO₂ container. In this paper, by utilizing simulation techniques to apply the pressure data being ejected in each direction by ship motion and CO₂ containers Rack perform an analysis of the structural safety assessment was part of the digestive system accordingly.

1. 서론

1.1 개요

선박의 장치되는 기자재는 안정성을 확보하기 위해 다양한 방법의 검증을 실시한다. 선박에 탑재되는 고정식 소화 장치인 랙 유닛은 해상의 파랑에 따라 구조물의 안정성에 영향을 받는 구조이므로 본 연구에서는 "Ship Motion and Attitude, DOD- STD- 1399 (NAVY)SECTION 301A"⁽¹⁾의 상하 요동 모션에 따른 가속도 및 하중조합을 통해 수치해석적인 방법으로 검증하였다.

1.2 선박모션

선체의 운동은 크게 직선운동과 회전운동으로 나눌 수 있다. 선박에 탑재되는 고정식 소화 장치 랙 유닛 또한 선체의 영향을 받게 되므로 본 연구에서는 선박에 가장 큰 영향을 끼치는 직선운동에서의

[†] Corresponding Author, sckim@komeri.re.kr

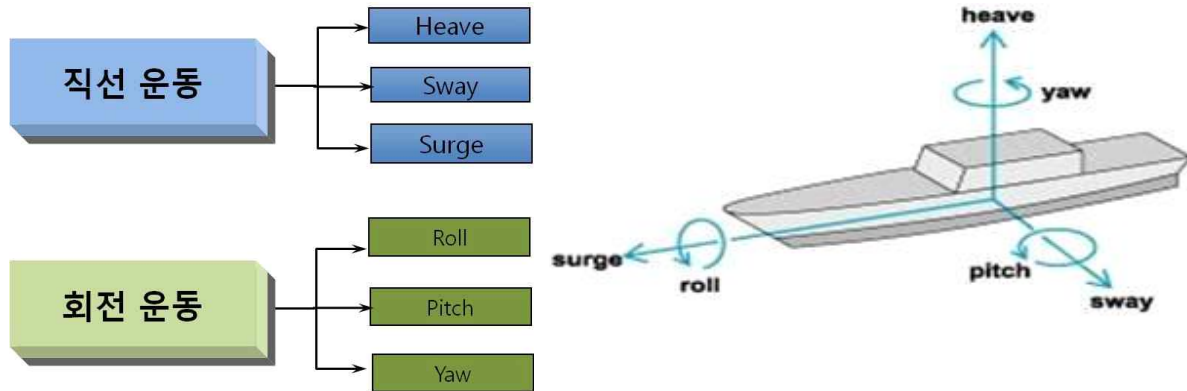


Fig. 1 The type of ship motion

State of the sea			Swell	
Code figure	Height (m)	Description	Code figure	Description
0	0	Calm (glassy)	0	No swell
1	0 – 0.1	Calm (rippled)	1	Very low (short and low wave)
2	0.1 – 0.5	Smooth (wavelets)	2	Low (long and low wave)
3	0.5 – 1.25	Slight	3	Light (short and moderate wave)
4	1.25 – 2.5	Moderate	4	Moderate (average and moderate wave)
5	2.5 – 4.0	Rough	5	Moderate rough (long and moderate wave)
6	4.0 – 6.0	Very rough	6	Rough (short and heavy wave)
7	6.0 – 9.0	High	7	High (average and heavy wave)
8	9.0 – 14.0	Very high	8	Very high (long and heavy wave)
9	Over 14.0	Phenomenal	9	Confused (wave length and height indefinable)

Fig. 2 Sea state

히브(Heave)와 서지(Surge)의 가속도를 통해 구조적 안전성을 검증하였으며 Fig. 1~2에 나타내었다. 이는 선박의 파고에 가장 큰 영향을 끼치는 히브(Heave), 서지(Surge)의 가속도와 볼트 인장력, 가스 분출 압력 그리고 중량의 4가지 하중조건을 조합하여 하중조건 케이스를 성립하였다.

"Ship Motion and Attitude, DOD- STD- 1399 (NAVY)SECTION 301A"⁽¹⁾에 따르면 해상상태에 따른 적용 가속도가 다르다. 이는 해수면의 파고의 거친 정도를 10등급으로 나누어 나타낸 것으로 World Meteorological Organization sea state code(WMO)에 등급으로 나누어져 있다. 본 연구에서는 가장 가혹한 조건인 파고가 14m이상인 조건을 적용하였다.

Table 1 Material properties of rack unit systems

Properties	poison's ratio	Young's modules (GPa)	Yield stress (MPa)
STPG370 (Manifold pipe)	0.3	200	210
HI121H (Clamp)	0.3	2.3	51
SS400 (Cylinder rack, Clamp bolt ass' y)	0.26	200	235
Pine tree (Wooden rack)	0.27	10.9	-

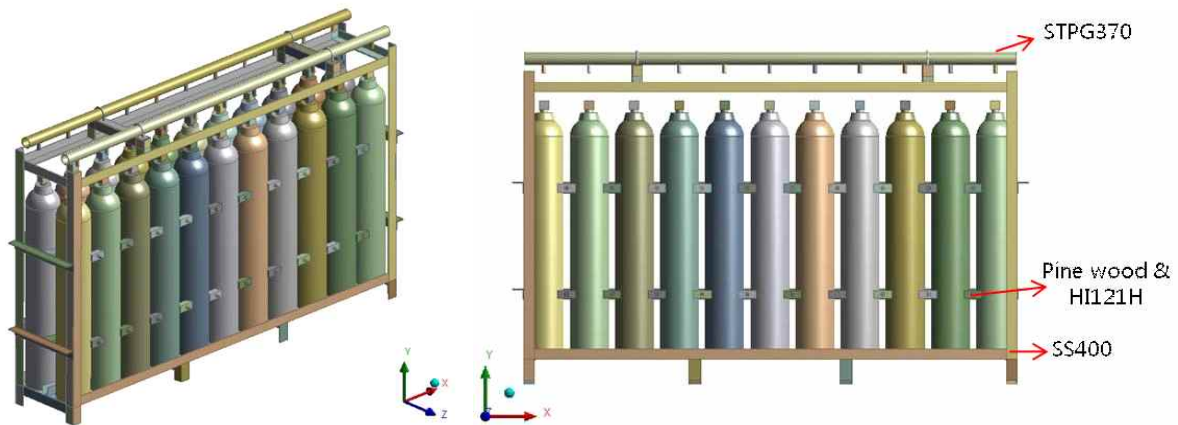


Fig. 3 Geometry model of rack unit systems

2. 모델링 및 경계조건

2.1 기하모델

랙 유닛은 랙, 매니폴드 파이프, 클램프, 볼트 결합물 및 실린더로 구성되어 있다. 본 연구에서는 랙 유닛의 안전성 평가가 목적이므로 실린더 형상은 내부는 고려하지 않고 형태만 유지하여 더비로 생성하였다. 이는 선박 모선의 가속도 구간에서 중량 및 압력에 따라 적용되는 하중이 다르기 때문이다. Fig 3에 랙 구조물의 기하모델을 나타내었다.

2.2 유한요소모델 및 물성데이터

랙 유닛은 STPG370, ABS 그리고 SS400의 재질로 구성되어 있다. Table 1에 각 부재별 적용되는 물성 데이터를 나타내었다. 특히 Clamp는 실린더 사이에 위치하고 있으며, 이는 실린더 간의 충돌을 방지하는 효과를 위해 설치되었다.

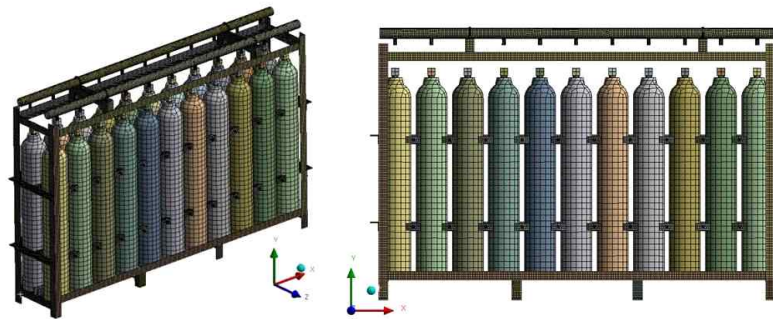
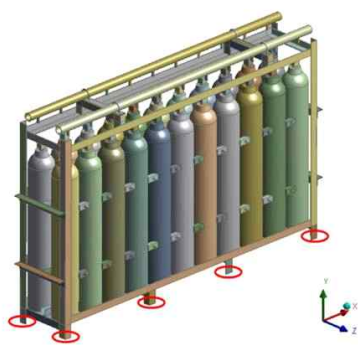
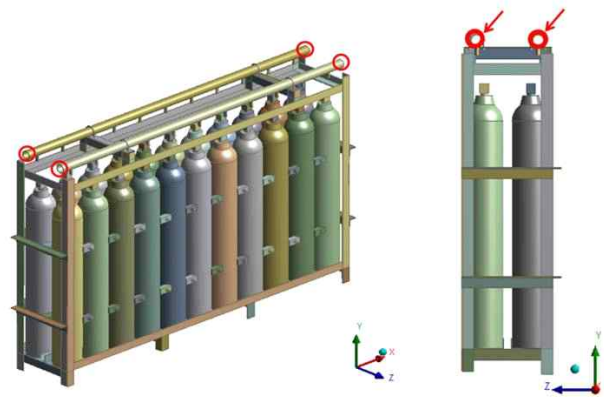
유한요소 모델은 상용프로그램인 ANSYS를 사용하여 Solid 187 요소를 사용하여 생성하였다. Fig. 4와 Table 2에 노드 수, 엘레먼트 수 및 요소타입을 나타내었다.

Table 2 Mesh numbers of rack unit systems

Mesh	Node	Element
Solid187 (3-D 10 node tetrahedral Structural solid)	629,179	131,821

Table 3 Boundary Condition of rack unit systems

Joint	Boundary Condition		
	Ux	Uy	Uz
Section A	Fixed	Fixed	Fixed
Section B	Fixed	Free	Free

**Fig. 4** Element model of rack unit systems**Fig. 5** Boundary condition for section A**Fig. 6** Boundary condition for section B

2.3 경계조건

본 연구의 경계조건은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 랙 바디의 하부부분과 상부의 매니폴드의 경계 부분이다. 하부는 모든 자유도가 구속으로 적용하였으며, 상부는 매니폴드의 연장선부에서는 수직방향으로만 구속을 하고 나머지 두 방향에 대해서는 자유도를 풀어주었다. 이는 매니폴드의 파이프에서 압력을 반영하기 위해서이다. Fig. 5~6과 Table 3에 나타내었다.

Table 4 Loading condition

A	Bolt Pretension	7,568 N (from Bolt torque 1080 kgf·cm (106N·m))		
B	Gas gushing pressure	3,540N (from gushing pressure 200bar)		
C	Weight (gravity)	Rack	Cylinder & valve, Gas	Total Rack+(Cylinder & valve & gas)*22EA
		1,200 kg	146 kg	4,412 kg
D	Acceleration (ship motion)	Horizontal		Vertical
		0.4 G (G=9.81m/s ²)		0.8 G (G=9.81m/s ²)

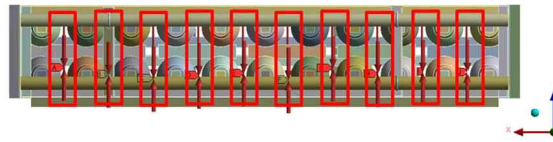


Fig. 7 Applied for bolt pretension load

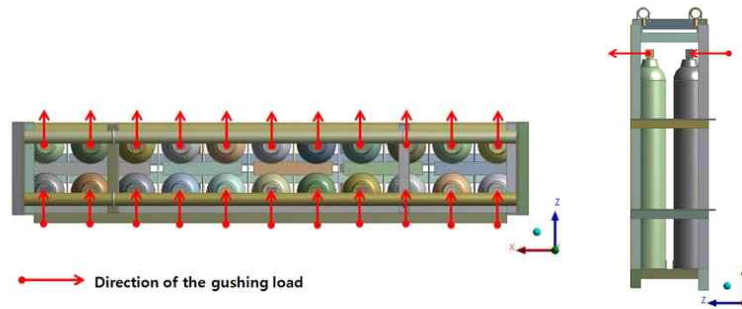


Fig. 8 Applied for Gas gushing pressure

하중조건은 4가지 유형으로 적용된다. Table 4에 나타내었다.
하중A의 볼트 인장력은 볼트의 토크를 식 (1)에 계산하여 적용하였다.

$$F=T/D \tag{1}$$

여기서 T=106N·m, D=14mm, F=7,568 N 이며, F는 볼트 텐션로드이고, T는 볼트 토크(106N·m)이다. D는 볼트의 직경(14mm)이다. 7,568N은 볼트 텐션로드 각 볼트 구조에 적용된다. 모든 하중케이스의 볼트 인장력 형태로 적용되며 Fig. 7에 나타내었다.

하중 B는 분출 압력으로 압력 부하가 가스 분출의 반대 방향으로 적용된다. 분출 부하는 Fig. 8에 실린더의 위치 최대(내부 직경이 상부에 의해 주어진 15mm) 밸브의 압력(200bar) 적용하였다. 하중은 식 (2)을 통해 각 실린더 상부면에 적용하였다.

$$\text{Force} = (\text{Charged pressure, 200bar}) \times (\text{cross area of valve of the cylinder, } 177\text{mm}^2) \quad (2)$$

하중 C는 각 구조물의 중량과 중력 밀도 구조를 정의하여 적용된다. 하중 D는 “ship Motion and Attitude, DOD- STD-1399(NAVY) SECTION 301A”⁽¹⁾에 따른 선박 모션의 가속도 데이터이다. 이는 Table 5에 나타내었다.

Sea state 8은 LBP 46-76m이 사용된다. 히브(Heave) 모션은 0.6G($G = 9.8\text{m/s}^2$)이며 서지(surge) 모션은 0.3이다. 그러나 본 연구의 랙 유닛의 안전계수가 1.3이므로 좀 더 가혹한 조건을 적용하였다. 안전계수를 추가적으로 적용한 데이터는 아래와 같다.

Horizontal:0.4G

Vertical:0.8G ($G=9.8\text{m/s}^2$, standard earth gravity)

위와 같은 4가지 하중조건을 조합하여 Table 6과 같은 하중케이스를 구성하여 적용하였다.

Table 5 Heave and surge motion parameters for calculation

Sea state	LBP meters	Heave acceleration (g)	Surge acceleration (g)
7	less than 46	0.4	0.25
	46-76	0.4	0.20
	76-107	0.4	0.20
	107-152	0.3	0.15
	152-213	0.2	0.15
	Greater than 213	0.2	0.10
8	less than 46	0.6	0.35
	46-76	0.6	0.30
	76-107	0.6	0.30
	107-152	0.5	0.25
	152-213	0.4	0.25
	Greater than 213	0.2	0.10

Table 6 Load combination

	Bolt Pretension	Gas gushing pressure	Gravity	Acceleration	
				Vertical	Horizontal
LC1	○	○	○		
LC2	○	○	○	+	
LC3	○	○	○	-	
LC4	○	○	○	+	+
LC5	○	○	○	-	+
LC6	○	○	○	+	-
LC7	○	○	○	-	-

Table 7 Result of rack unit systems

Load Case	Manifold pipe (MPa)				Clamp (MPa)				Cylinder rack, Clamp bolt ass'y (MPa)			
	Max. Eqv. Stress	Yield Strength	Safety factor	Evaluation	Max. Eqv. Stress	Yield Strength	Safety factor	Evaluation	Max. Eqv. Stress	Yield Strength	Safety factor	Evaluation
LC1	7.33	210	28.6	O.K	8.02	51	6.4	O.K	176.6	235	1.3	O.K
LC2	2.97	210	70.7	O.K	7.99	51	6.4	O.K	176.8	235	1.3	O.K
LC3	10.53	210	19.9	O.K	7.94	51	6.4	O.K	177.3	235	1.3	O.K
LC4	5.29	210	39.7	O.K	7.71	51	6.6	O.K	177.9	235	1.3	O.K
LC5	14.52	210	14.5	O.K	7.67	51	6.6	O.K	178.3	235	1.3	O.K
LC6	9.69	210	21.7	O.K	8.35	51	6.1	O.K	174.4	235	1.3	O.K
LC7	10.69	210	19.6	O.K	8.29	51	6.2	O.K	178.9	235	1.3	O.K

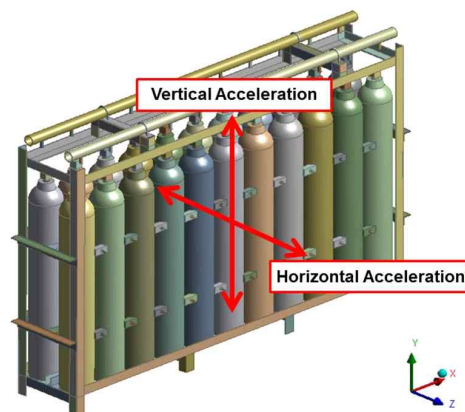


Fig. 9 Applied for ship motion acceleration

3. 해석 결과

해석 결과 최대응력은 LC7의 실린더와 클램프 부분에서 도출되었다. 이는 이산화탄소 용기를 고정하기 위해 볼트의 인장력이 적용되어 높은 응력이 발생하였음을 알 수 있다. 또한 히브(Heave)와 서지(surge)가 같은 방향으로 동시에 발생하여 LC7에서 최대응력이 발생하였다. 본 연구에서는 특이해를 제거하기 위해, 요소의 평균응력(Elemental mean stress)을 구조물의 안정성 평가를 위해 사용하였다. 요소의 평균응력(Elemental mean stress)은 평균 요소 결과를 계산하게 되며, 이는 실질적으로, 특이해를 제외하고 최대 응력 값을 나타낼 수 있다. 최대 응력 해석 결과는 Fig. 9~11에 나타내었다. 본 연구의 안전 계수는 모든 하중에서 1.3 이상이며, 랙 유닛은 주어진 하중 조건에 안전하다고 판단된다.

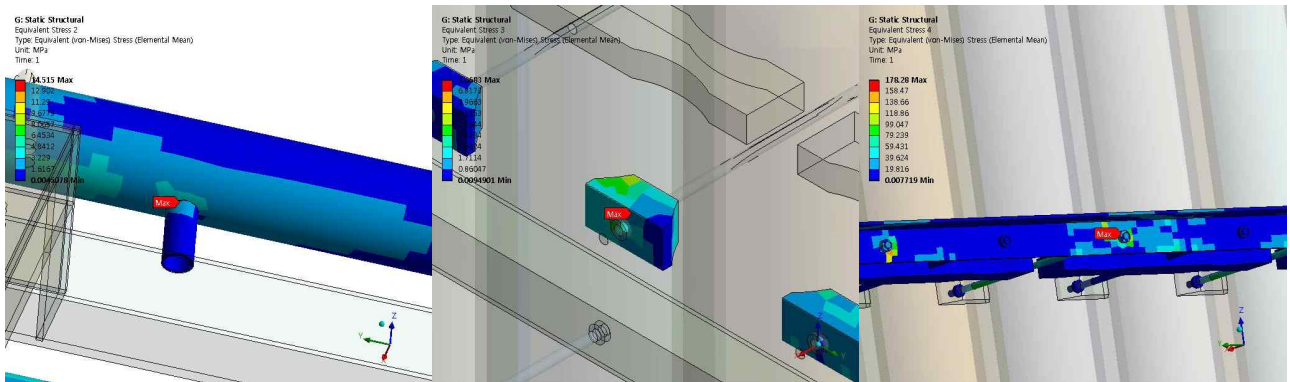


Fig. 10 Max. Equivalent stress of Load case 5 (Manifold pipe, Clamp and Cylinder rack, Clamp bolt ass' y)

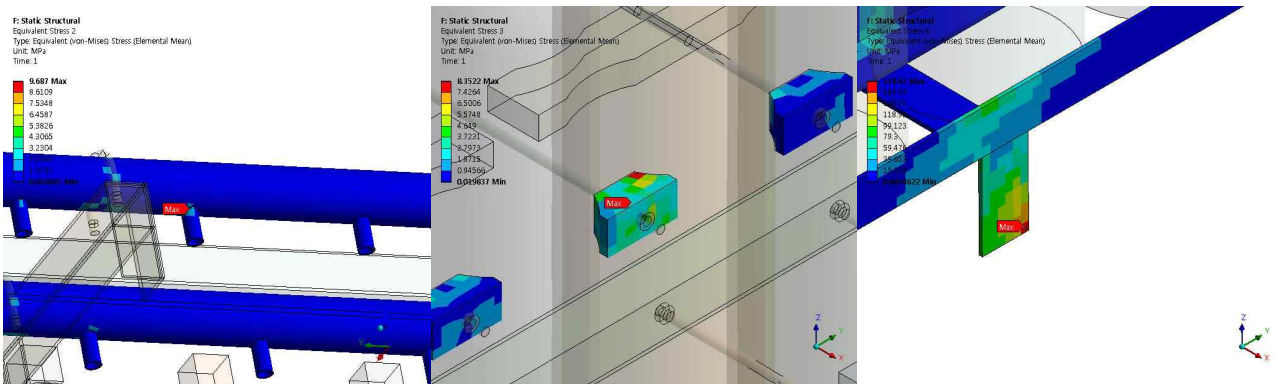


Fig. 11 Max. Equivalent stress of Load case 6 (Manifold pipe, Clamp and Cylinder rack, Clamp bolt ass' y)

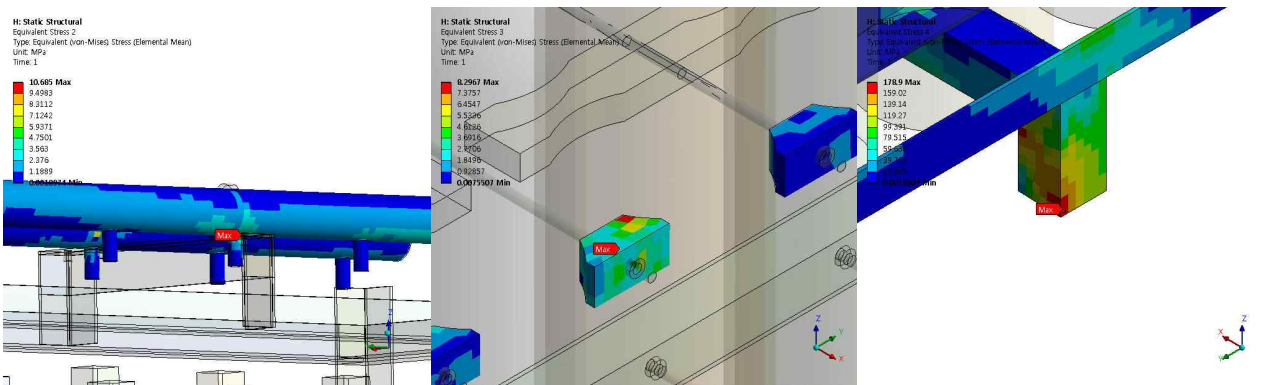


Fig. 12 Max. Equivalent stress of Load case 7 (Manifold pipe, Clamp and Cylinder rack, Clamp bolt ass' y)

4. 결론

선박모선에 따른 소화 장치 랙 유닛 구조물의 구조 안전성평가를 위한 연구를 수행하였다. 선박의 모선은 다양한 방법으로 모사할 수 있으며, 선박의 종류에 따라 방법도 다양하다. 본 연구에서는 미 해군 보고서를 인용하여 가속도를 적용하였으며, 하중의 데이터 조합을 통해 구조적으로 가장 취약할 수 있는 하중케이스를 생성하여 적용하였다. 해석 상 국부적으로 특이해가 발생되어 요소 평균 응력을 통해

구조해석의 결과를 판단하였다. 구조해석 결과 랙 유닛은 주어진 하중 조건에 안전계수가 1.3이상이므로 구조적으로 안전하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 “15년 조선·해양플랜트 기업 성장 촉진사업” 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌 (References)

- (1) DOD- STD- 1399 (NAVY)SECTION 301A, 1986, "Ship Motion and Attitude," p. 8.