[UCI]I804:24011-200000264576

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

2015年 2月

碩士學位論文

Membrane type LNG선 CCS의 슬로싱 압력에 의한 구조강도 비교 연구

朝 鮮 大 學 校　　大 學 院

船 舶 海 洋 工 學 科

朴　　泓　　奎

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Membrane type LNG선 CCS의 슬로싱 압력에 의한 구조강도 비교 연구

A comparative study on strength analysis for Membrane type LNG Cargo Containment System subjected to sloshing load

2015年 2月 15日

朝鮮大學校 大學院

船舶海洋工學科

朴 泓 奎

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Membrane type LNG선 CCS의 슬로싱 압력에 의한 구조강도 비교 연구

指導教授 朴 濟 雄

이 論文을 工學 碩士學位申請 論文으로 提出함.

2014年 10月 日

朝鮮大學校 大學院

船舶海洋工學科

朴 泓 奎

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

朴 泓 奎의 碩士學位 論文을 認准함

委員長　　仁荷大學校 敎授　李 長 鉉

委　員　　朝鮮大學校 敎授　朴 濟 雄

委　員　　朝鮮大學校 敎授　金 道 正

2014年　11月　日

朝鮮大學校 大學院

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

CONTENTS

List of Figures ····· III

List of Tables ····· IV

Abstract ····· VI

제 1 장 서론

1 . 1 연구의 배경 ····· 1

1 . 2 연구의 목적 및 내용 ····· 2

제 2 장 LNG CCS 구조 강도 해석

2 . 1 강도 평가 절차 ····· 3

2 . 2 강도 평가 기준 ····· 6

제 3 장 Membrane type CCS의 구조 강도 평가 모델

3 . 1 구조강도 평가모델의 개요 ····· 7

3 . 2 구조강도 평가 모델 ····· 8

3 . 3 Material property ····· 10

제 4 장 구조 강도 평가

4 . 1 Mark-III type CCS ····· 11

4.1.1 Linear static analysis ····· 11

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.1.2 Linear dynamic analysis ····· 17
4 . 2 KC-1 type CCS ····· 20
4.2.1 Linear static analysis ····· 20
4.2.2 Linear dynamic analysis ····· 25
4 . 3 해석 결과 비교 ····· 28

제 5 장 결과 및 고찰
5.1 결론 ····· 32
참고 문헌 ····· 33

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Figures

Fig. 2.1 Procedure of structural assessment for membrane type LNG CCS ····· 3
Fig. 2.2 Sloshing pressure distribution ····· 4
Fig. 2.3 Categorized sloshing pressure type in space ····· 5
Fig. 3.1 Schematic view of Mask-III membrane type LNG CCS ····· 7
Fig. 3.2 Schematic view of KC-1 membrane type LNG CCS ····· 7
Fig. 3.3 Dimension of FE model ····· 8
Fig. 3.4 Details of the KC-1 type LNG CCS(left) and the GTT Mark-III type LNG CCS ····· 9
Fig. 4.1 Comparison of von-Mises stress of Mark-III type CCS by sloshing pressure distribution ····· 12
Fig. 4.2 Stress distribution of the each members for the parallelepiped type at the Mark-III type CCS ····· 13
Fig. 4.3 Stress distribution of the each members for the Rhombic type at the Mark-III type CCS ····· 14
Fig. 4.4 Stress distribution of the each members for the Pyramid type at the Mark-III type CCS ····· 15
Fig. 4.5 Stress distribution of the each members for the Gaussian type at the Mark-III type CCS ····· 16
Fig. 4.6 Comparison of failure pressure curve of Mark-III type CCS by sloshing pressure distribution in each members ····· 17
Fig. 4.7 Comparison of response curve of Mark-III type CCS by sloshing pressure distribution in each members ····· 18
Fig. 4.8 Comparison of von-Mises stress of KC-1 type CCS by sloshing pressure distribution ····· 20

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 4.9 Stress distribution of the each members for the parallelepiped type at KC-1 type CCS ····· 21
Fig. 4.10 Stress distribution of the each members for the Rhombic type at the KC-1 type CCS ····· 22
Fig. 4.11 Stress distribution of the each members for the Pyramid type at KC-1 type CCS ····· 23
Fig. 4.12 Sress distribution of the each members for the Gaussian type at KC-1 type CCS ····· 24
Fig. 4.13 Comparison of failure pressure curve of KC-1 type CCS by sloshing pressure distribution in each members ····· 25
Fig. 4.14 Comparison of response curve of KC-1 type CCS by sloshing pressure distribution in each members ····· 26

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Tables

Table 1 Duration Time of each case ····· 9
Table 2 Material properties for membrane CCS ····· 10
Table 3 Comparison of max. stress for Mark-III type CCS by sloshing pressure distribution ····· 19
Table 4 Comparison of max. stress for KC-1 type CCS by sloshing pressure distribution ····· 27
Table 5 Result of linear static analysis for Mark-III type CCS ····· 28
Table 6 Result of linear static analysis for KC-1 type CCS ····· 29
Table 7 Result of linear dynamic analysis for Mark-III type CCS ····· 30
Table 8 Result of linear dynamic analysis for KC-1 type CCS ····· 31

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Membrane type LNG선 CCS의 강도해석 정도향상에 관한 연구

Hong-Kyu Park
Advisor : Prof. Je Woong, Park, Ph.D.
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering,
Graduate School of Chosun University

The sloshing pressure has complex physics and various patterns. Also, the structural response induced by the sloshing pressure is affected by the distribution pattern of sloshing pressure. In order to understand the structural response by the perspective view of pressure shape, it is more efficient to make sloshing pressure pattern than to reflect the complex pressure history. In this paper, the sloshing pressures obtained by the small scale model test are classified into different spatial distributions such as triangular pyramid, rhombic and Gaussian shape distribution. Dynamic analysis of Mark-III and KC-1 LNG CCS are then parametrically performed with the consideration of various types of sloshing impact. Thereafter, the capacity curves for each models are investigated after dynamic finite element analysis and compared to evaluate the effect of pressure patterns on the structural response.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제1장

서론

1.1 연구의 배경

최근 전 세계적으로 액화천연가스(Liquefied Natural Gas: 이후 LNG라 칭함)의 생산원가의 하락에 힘입어 원유와의 가격 경쟁으로 인한 수요량이 증가하면서 매년 대형 LNG 운반선의 발주가 증가되고 있다. LNG 운반선은 화물창 온도를 -163°C 이하로 유지하여 액화상태를 유지하기 위하여 설계되며, 방열시스템(Cargo Containment System)은 LNG 운반선의 가장 핵심적인 기술 중 하나이다. 멤브레인 형 방열시스템은 그 형태에 따라서 Membrane, plywood, R-PUF (Re-inforced Poly Urethane Foam), Glass wool, perlite등으로 구성되어 있다. 또한 LNG 운반선, FPSO, FSRU 등의 선박의 화물창이 대형화됨에 따라 선박의 부분 용적(partial filling) 상태 같은 극한 환경에서의 운항 요구가 증가되어지고 있다. 그에 따라 LNG 방열시스템의 구조적 손상 사례가 보고되고 있고, 방열 시스템의 단열 성능과 슬로싱 하중에 따른 구조강도 확보는 가장 중요한 설계 요소이기 때문에 ABS, DNV 등의 선급이나 대형 조선사들은 자체적인 슬로싱 강도평가 및 방열판 설계 절차를 제시하고 있고[1~4], 설계 사례도 발표하였다[5~9].

일반적인 슬로싱 강도평가 절차는 모형실험을 통해 얻어진 충격압력을 실선스케일로 확장하여 정적 해석으로부터 동적 및 유탄성 해석으로 고도화되는 과정을 제안하고 있으며[1], 축척 모형실험에서 얻어진 슬로싱 압력 시계열 중 가장 치명적인 부분을 선택하고 축척효과를 반영하여 방열판의 강도평가를 수행한다. 모형실험을 통한 방열판 설계는 기본적으로 축척모델을 사용하기 때문에 시간에 대한 축척 및 기하학적인 상사성을 합리적으로 고려해야 하지만, 일반적으로 Froude 축척법칙을 사용하여 실선 스케일로 변환하며, 기하학적 축척효과를 고려하지 않는다. 따라서 LNG 화물창 설계 시 중구조로 설계할 가능성을 가진다[10,11]. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 [12] panel 센서를 이용한 모형실험 데이터를 통해 계측된 슬로싱 충격압력의 공간상에서 가지는 기하학적인 특성에 대해서 연구하였으며, 그 결과 대부분은 충격압력은 공간상에서 Rhombic, Pyramid, Gaussian의 압

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

력분포 유형을 가지는 것을 확인하였다. 그 결과 공간상에서의 슬로싱 충격압력 분포형상 은 대부분의 Pyramid 유형의 분포를 가지고 있으며, 일부 Rhombic 형상과 Gaussian 형상의 압력분포를 가지는 것을 확인하였다[12].

1.2 연구의 목적 및 내용

본 연구에서는 LNG 화물창 설계 시 모형실험에서 획득된 슬로싱 충격압력을 이용하여 일반적으로 방열판 강도평가 시 고려되는 슬로싱 압력분포를 균일분포 하중이 아닌 공간분포 형상을 고려한 하중으로 반영한 방열판의 강도평가 과정을 슬로싱 압력의 작용 시간(Duration time)의 변화에 따라 동적 응답 특성에 대해서 고찰하였다. 강도 평가를 위해서 유한요소법을 이용하였으며, 해석에 필요한 압력은 모형실험 및 scale law를 이용하여 추정한 실선의 압력을 본 연구에서 제시된 방법을 멤브레인형 Mark-III 형 방열판과 KC-1 방열판에 대해서 적용하여 공간상에서의 기하학적 분포를 반영한 구조 응답 특성을 검토하고 이를 설계에 반영하기 위한 방법에 대해서 연구하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2장
LNG CCS 구조 강도 해석

2.1 강도 평가 절차

LNG 방열판의 슬로싱 강도평가를 위해서 모형실험으로부터 획득된 슬로싱 압력 이력을 후처리 과정을 통해서 이상화된 삼각파 형상으로 분류하고 이 중 유의미한 압력을 선정하여 슬로싱 하중조건으로 가정한다. 이때, 슬로싱 압력을 이상화하는 조건은 압력의 최대 압력치와 압력이 발생하는 시간을 duration time으로 정의하여 모형 스케일에서 실선스케일로 확장하여 적용한다. 그러나 이상화과정은 압력과의 스케일 비율을 고려한 Froude 스케일을 사용하기 때문에 공간상에서의 기하학적인 특성은 반영되지 않아 방열판 설계 시 중구조를 피할 수 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 기 연구에서 고려된 강도평가 과정에 슬로싱 압력의 기하학적인 공간 분포 특성을 고려하여 강도해석 방법의 정도를 향상시키는 과정에 대해서 제안 하고자 한다. 본 연구에서 제시하는 강도평가 과정은 Fig. 2.1에서와 같으며 그 과정은 다음과 같다.

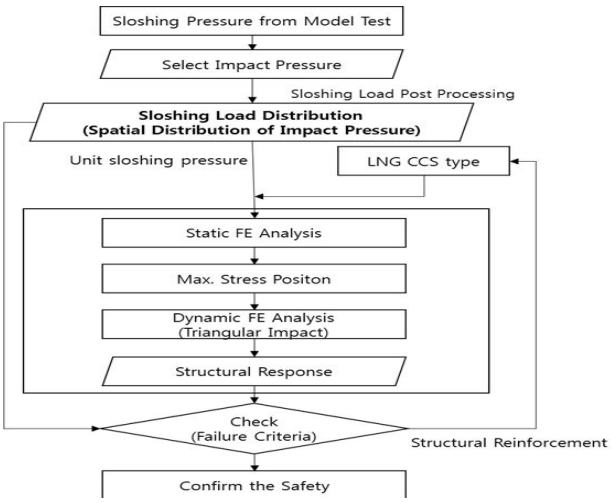
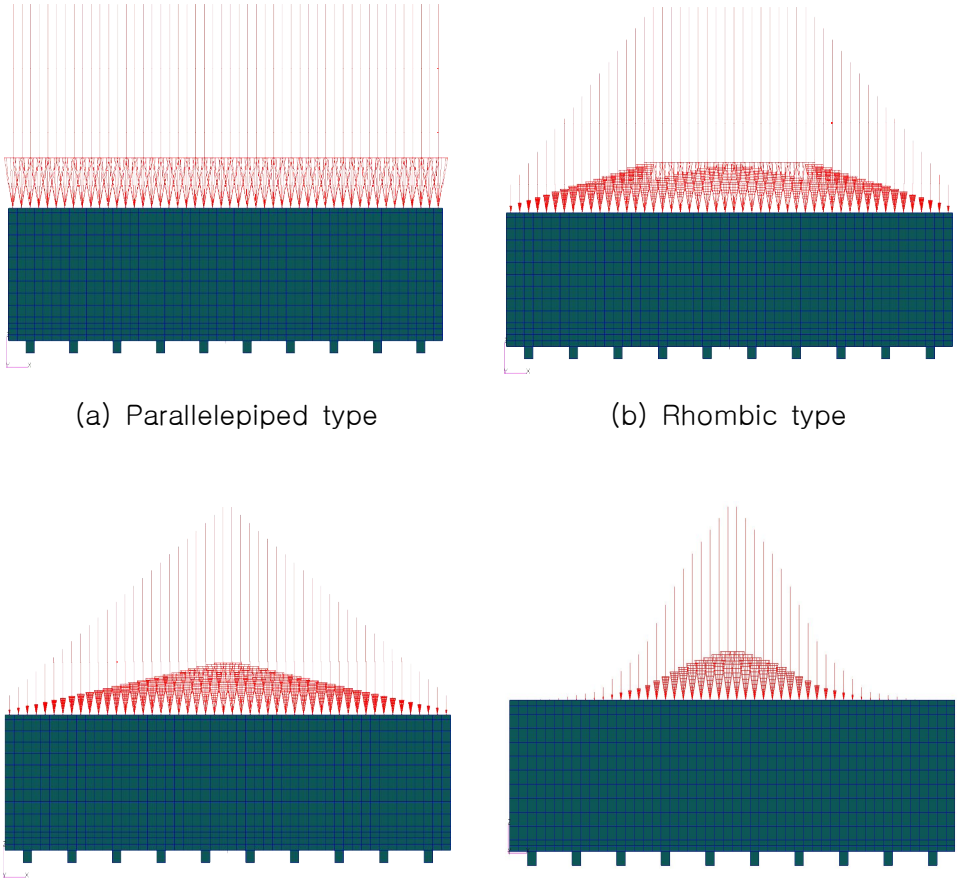


Fig. 2.1 Procedure of structural assessment for membrane type LNG CCS

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

모형실험을 통해 슬로싱 압력의 이력 획득한 후, 이 중 최대압력이 발생하는 센서를 기준으로 압력을 삼각파로 이상화하여 슬로싱 충격하중을 분류하고, 이를 구조강도 평가 결과와 비교하기 위한 슬로싱 하중으로 분류한다. 그리고 슬로싱 충격압력의 특성을 고려한 단위하중 조건을 이용하여 슬로싱 충격압력에 대한 구조응답을 계산한다. 이때 압력분포는 Fig. 2.2에서와 같이 공간상에서 기 고려되던 균일분포하중[1]이 아닌 Rhombic, Pyramid, Gaussian 형상의 분포하중을 이용하여 구조응답을 계산하였다.



(a) Parallelepiped type (b) Rhombic type

(c) Pyramid type (d) Gaussian type

Fig. 2.2 Sloshing pressure distribution

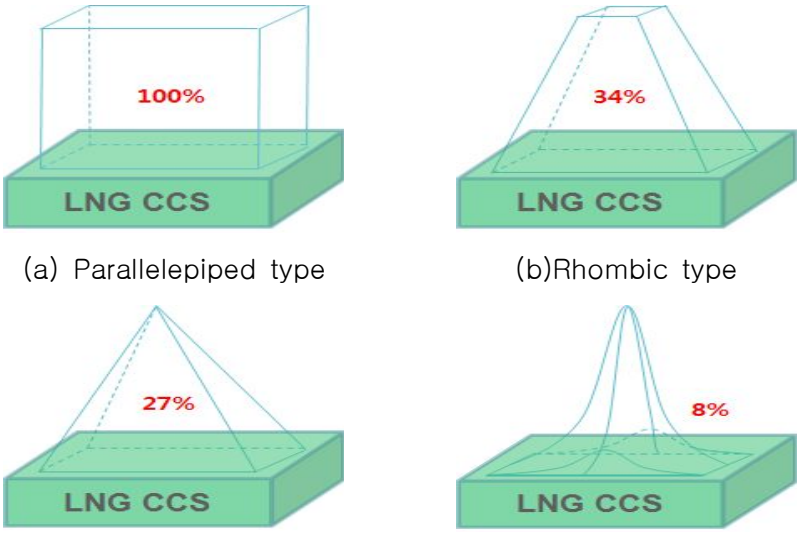
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Rhombic, Pyraimd, Gaussian 형 하중분포 모델은 Fig. 2.3에서와 같으며, 분류 기준은 모형실험에서 계측된 압력을 spline선으로 연결할 때 생성되는 각도(θ_i)를 다음의 식(1)에서와 같이 P_{peak}, P_i, P_{i+1}의 함수로서 정의하여 계산하였다. 계산된 각도는 식(2)에서 정의한 유형 별 분류 기준에 따라 계산된 각도를 기준으로 슬로싱 압력을 분류하였다[12]. Fig. 2.3은 유형별 압력 분류를 위해 정의한 기준을 나타내고 있다. 분류된 3가지 압력 유형의 부피를 기준으로 그 충격량을 환산하여 Parallelepiped Type과 비교하였을 때 Table 2에서와 같이 충격량이 Rhombic type 의 경우 34%, Pyramid type의 경우 27%, Gaussian type의 경우 8%로 분포함을 알 수 있고, 이때 분류된 공간상의 하중분포 모델들은 구조해석 시 방열판 전체에 하중이 가해질 수 있도록 결정하였다.

$$\theta_i = f(P_{peak}, P_i, P_{i+1}) \tag{1}$$

$$\begin{cases} \theta_i < \emptyset_g & : Gaussian\ type \\ \emptyset_g \le \theta_i \le \emptyset_p & : Pyramid\ type \\ \emptyset_p \le \theta_i \le \emptyset_r & : Rombic\ type \\ \theta_i > \emptyset_r & : Parallepiped\ type \end{cases} \tag{2}$$



(a) Parallelepiped type (b)Rhombic type

(c) Pyramid type (d) Gaussian type

Fig. 2.3 Categorized sloshing pressure type in space

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

그리고 계산된 정적구조응답 결과에서 최대 응력이 발생하는 요소를 대상으로 기준 위치(Critical position)를 선정한 뒤, 동적 구조 응답을 통해 기준 위치에서의 동적 구조응답을 계산하고 계산된 동적 구조 응답 결과와 분류된 슬로싱 하중을 비교하여 화물창의 안전성을 검토한다[10]. 기준위치를 선정하는 이유는 방열판의 슬로싱 동적 구조응답 계산 시 일반적으로 최소 1/1,000 sec 이상의 time step과 1만개 이상의 요소를 사용하기 때문에 방대한 저장 공간과 계산시간을 필요로 하기 때문에 효율적인 계산을 적용하기 위함이다.

2.2 강도 평가 기준

본 연구에서는 LNG 화물창의 구조강도 평가를 위해서 단위 슬로싱 하중으로 이용해 계산된 구조응답과 LNG 화물창의 항복응력을 기준으로 화물창 각 부재에 손상을 발생시키는 파괴 압력을 이용하여 화물창의 강도를 평가하였다. 일반적으로 파괴 압력을 계산하기 위해서 화물창 전체 모델 및 모든 하중조건에 대해서 구조해석을 수행하는 것이 바람직하나, 비경제적이기 때문에 단순화된 모델에 대한 damage index를 계산한다. 따라서 화물창 전체에 대해서 동적 구조응답 해석을 수행하는 대신에 슬로싱 방열판에 발생하는 충격압력과 지속시간에 대해 파괴압력을 계산할 수 있다. 또한 슬로싱 충격압력은 삼각파 형상으로 이상화하여 표현할 수 있기 때문에 동적하중조건으로 반영하여 방열판 각 부재에서 발생하는 구조응답을 계산할 수 있다.

본 연구에서 슬로싱 강도평가에 고려한 CCS의 파괴압력은 다음 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\sigma_{\max} = K(t_{duration}) P_{\max} \tag{3}$$

여기서 $\sigma_{\max}$는 이상화된 최대 삼각하중이 가해졌을 때 발생하는 응력이며, K는 CCS의 강도평가를 위해서 duration time에 의해 결정되는 계수이다. $\sigma_{\max}$를 각 부재 별 $\sigma_{ultimate}$로 가정하면 식 (2)에서와 같이 각 부재에 손상을 발생시킬 수 있는 파괴 압력($P_{failure}$)을 계산할 수 있다.

$$P_{failure} = \sigma_{ultimate} / K \tag{4}$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3장
Membrane type CCS의 구조강도 평가 모델

3.1 구조강도 평가 모델 개요

Membrane type CCS의 구조강도 평가를 위해 고려된 방열시스템은 Mark-III type CCS와 KC-1 type CCS를 대상으로 수행하였다. Mark-III type CCS와 KC-1 type CCS는 Fig 3.1,2에 나타난 것과 같이 선체와 방열 시스템사이를 지지하는 Mastic과 Lower plywood - Lower R-PUF(Reinforced Poly Urethane Foam) - Triplex - Upper R-PUF - Upper plywood - SUS membrane 순으로 구성되어져 있다.

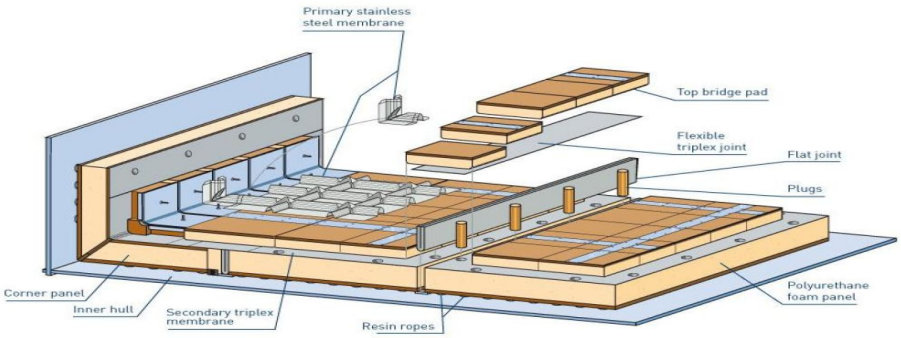


Fig. 3.1 Schematic view of Mark-III membrane type LNG CCS

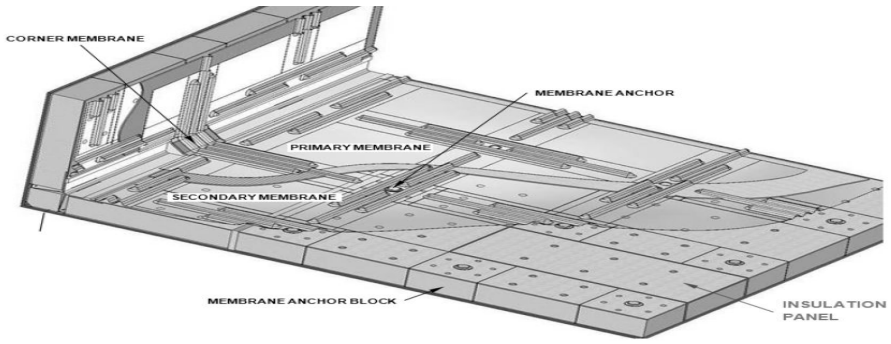


Fig. 3.2 Schematic view of KC-1 membrane type LNG CCS

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2 구조강도 평가 모델

구조강도 평가를 위한 3차원 모델은 Fig. 3.3에 나타나있듯이 8절점 입체 요소로 구성하였으며, 구조해석은 상용코드인 MSC. Patran / Nastran을 사용하여 수행 하였다. 해석에 사용된 요소수와 절점수는 Mark-III type CCS의 경우 각각 31,680개의 요소 그리고 35,966개의 node를 사용하였고, KC-1 type CCS의 경우 29,280개의 요소 그리고 33,467개의 node가 사용되었다. 두 가지 CCS는 Fig. 3.4에서와 같이 그 형상과 구성 재료가 유사하며, 방열판의 두께의 차이만 있으며 또한 방열 시스템의 전체적인 동적 거동에 초점을 두었기 때문에 두께가 얇아 실제 거동에 영향을 미치지 않는다고 판단한 Triplex와 SUS Membrane 은 유한요소 모델에서 제외하고 R-PUF, plywood, 그리고 응력이 주로 크게 나타나는 mastic을 해석 소요시간을 고려해 길이 및 폭 방향으로 두께는 일반형의 두께 값을 그대로 구현하였다.

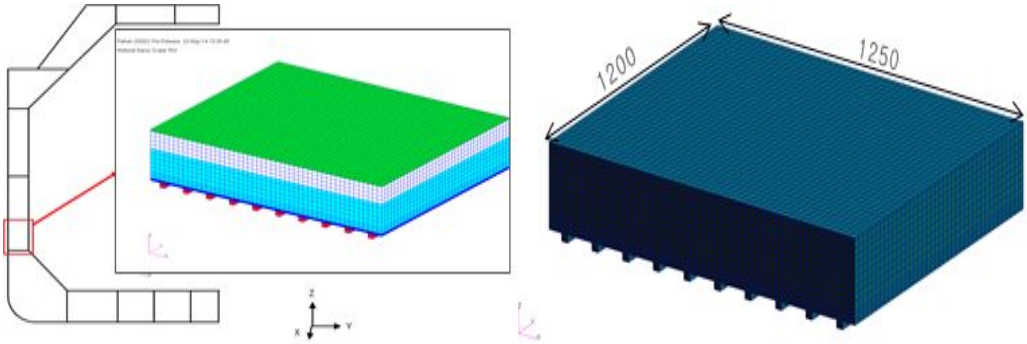


Fig. 3.3 Dimension of FE model

구조강도 평가를 위한 단위 하중조건은 슬로싱 압력을 0.01 MPa로 적용하였으며, 동적 구조응답 계산을 위한 시간조건은 Table 1에 나타난 것과 같이 duration time을 0.0005sec ~ 0.015sec 까지 총 13개 구간을 정하였으며, skewness 는 1로 가정하고 계산하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

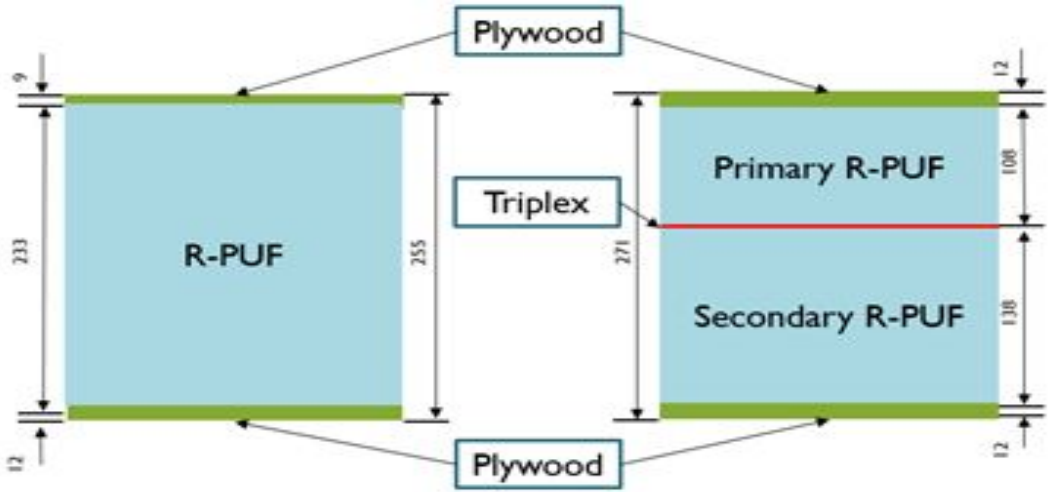


Fig. 3.4 Details of the KC-1 type LNG CCS(left) and the GTT Mark-III type LNG CCS(right)

Table 1 Duration Time of each case

	Duration Time[sec]	Rise time[sec]	Decay time[sec]	Time Step	delta T [sec]
case1	0.0005	0.00025	0.00025	500	0.00005
case2	0.001	0.0005	0.0005	500	0.0001
case3	0.002	0.001	0.001	500	0.0002
case4	0.003	0.0015	0.0015	500	0.0003
case5	0.004	0.002	0.002	500	0.0004
case6	0.005	0.0025	0.0025	500	0.0005
case7	0.006	0.003	0.003	500	0.0006
case8	0.007	0.0035	0.0035	500	0.0007
case9	0.008	0.004	0.004	500	0.0008
case10	0.009	0.0045	0.0045	500	0.0009
case11	0.01	0.005	0.005	500	0.001
case12	0.0125	0.00625	0.00625	500	0.00125
case13	0.015	0.0075	0.0075	500	0.0015

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

3.3 Material property

방열 시스템을 방열 시스템을 이루는 각 부재들의 재료적 성질을 적용하기위해 Table 2에 나타나 있듯이 기존의 연구 및 선급에서 제시한 자료를 이용하였다[1]. plywood와 R-PUF는 이방성재료로, mastic은 등방성 재료로 각각 상온에서의 재료 물성치를 적용하였다.

Table 2 Material properties for membrane CCS

	Temp [°C]	Young's Modulus(E) [MPa]	Shear modulus(G) [MPa]	Poisson's ratio(v)	Density(ρ) [ton/m3]
Plywood	20	E1=E2=8900 E3=520	G12=3803 G23=G13=196	v12= v23= v13=0.17	0.71
	-170	E1=E2=10500 E3=600	G12=4487 G23=G13=196	v12= v23= v13=0.17	
R-PUF	20	E1=E2=130 E3=55	G12=46 G23=G13=12	v12=0.4 v23=v13=0.24	0.125
	-170	E1=E2=190 E3=105	G12=72 G23=G13=23	v12=0.32 v23=v13=0.22	
Mastic	20	E=2880	G=1107.7	v=0.3	1.5

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4장
구조강도 평가

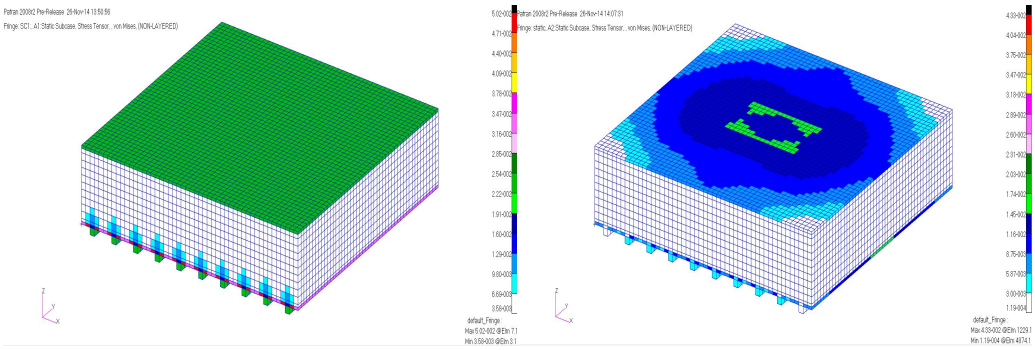
4.1 Mark-III type CCS

4.1.1 Linear static analysis

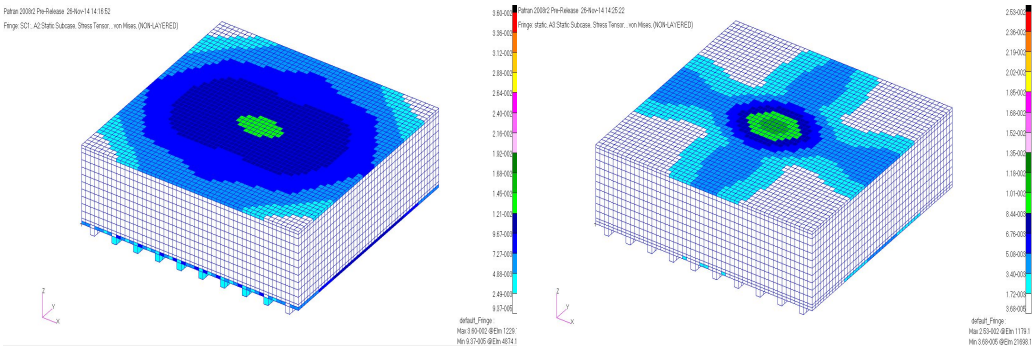
본 연구에서 제시한 공간상의 하중분포를 강도평가과정의 타당성을 검토하기 위해서 membrane 형 Mark-III type CCS에 적용하고 그 결과를 균일분포하중을 이용한 강도평가 결과와 비교하였다. 강도평가의 첫 번째 단계로서 정적해석을 수행한 결과 Fig. 4.1에서와 같이 응력분포를 확인하였으며, 그 결과를 비교하면 균일분포하중의 경우 최대 5.02MPa가 계산되었고, Rhombic type, Pyramid type, Gaussian type 하중의 경우 각각 4.33MPa, 3.60MPa, 2.53MPa 의 구조응답이 계산된 것을 확인 하였으며, 각 부재에서 발생하는 응력분포는 Fig. 4.2~5와 같이 나타나 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Parallelepiped type (b) Rhombic type

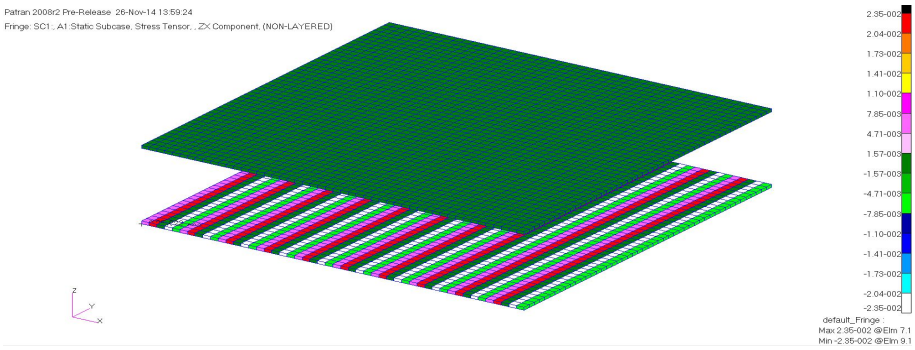


(c) Pyramid type (d) Gaussian type

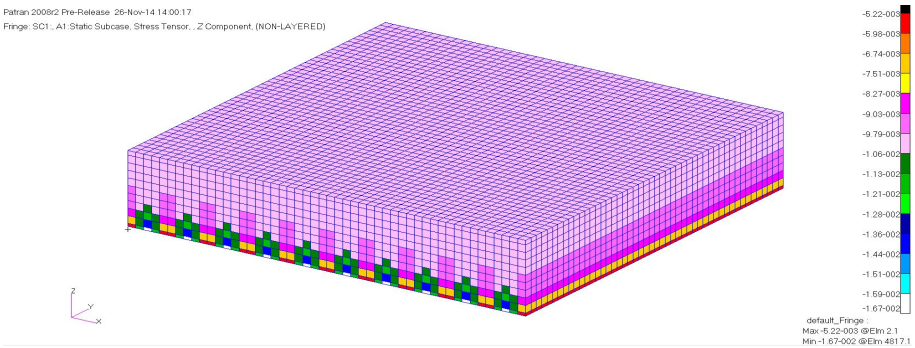
Fig. 4.1 Comparison of von-Mises stress of Mark-III type CCS by sloshing pressure distribution

Collection @ chosun

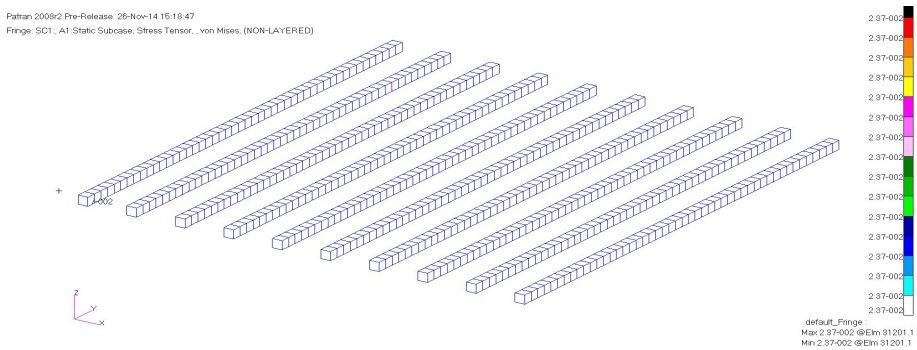
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Plywood of Mark-III in parallelepiped type



(b) R-PUF of Mark-III in parallelepiped type

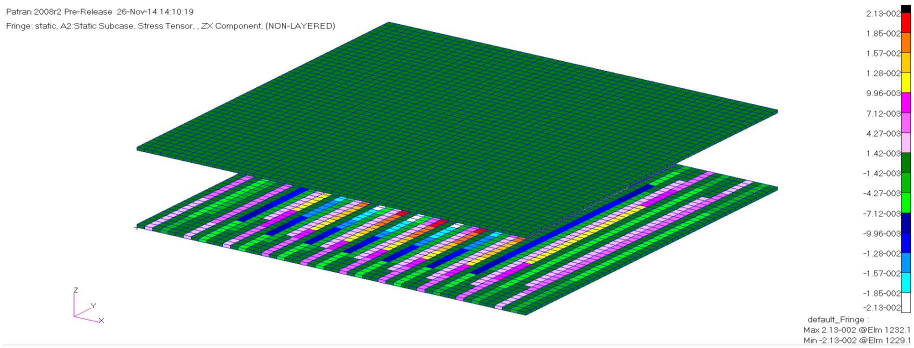


(c) Mastic of Mark-III in parallelepiped type

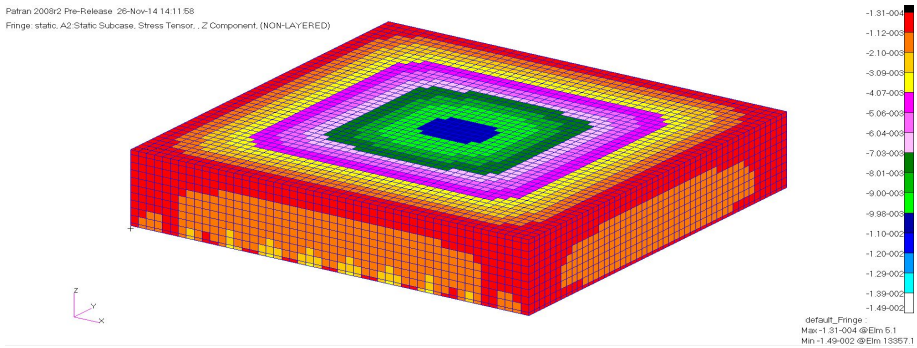
Fig. 4.2 Stress distribution of the each members for the parallelepiped type at the Mark-III type CCS

Collection @ chosun

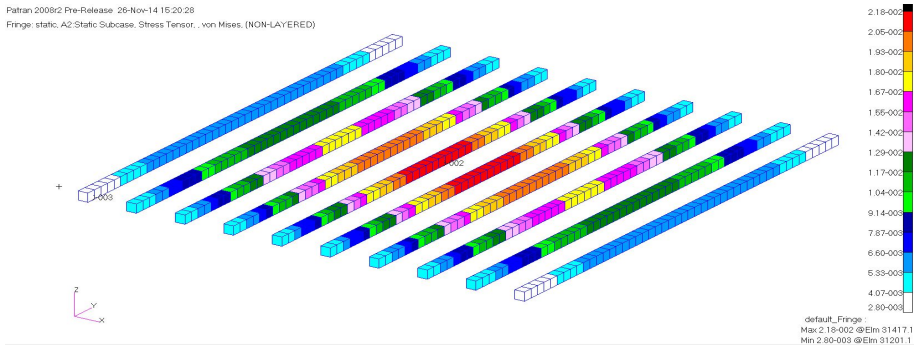
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Plywood of Mark-III in Rhombic type



(b) R-PUF of Mark-III in Rhombic type

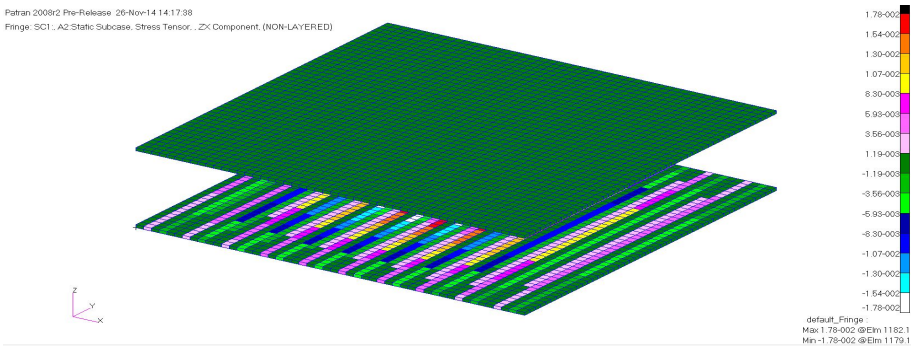


(c) Mastic of Mark-III in Rhombic type

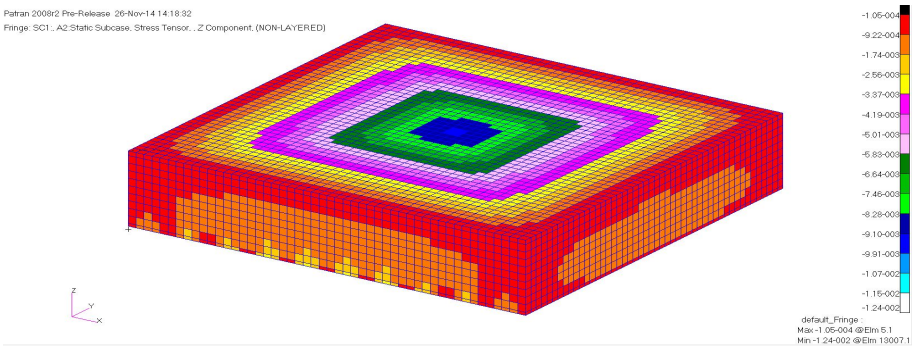
Fig. 4.3 Stress distribution of the each members for the Rhombic type at the mark-III type CCS

Collection @ chosun

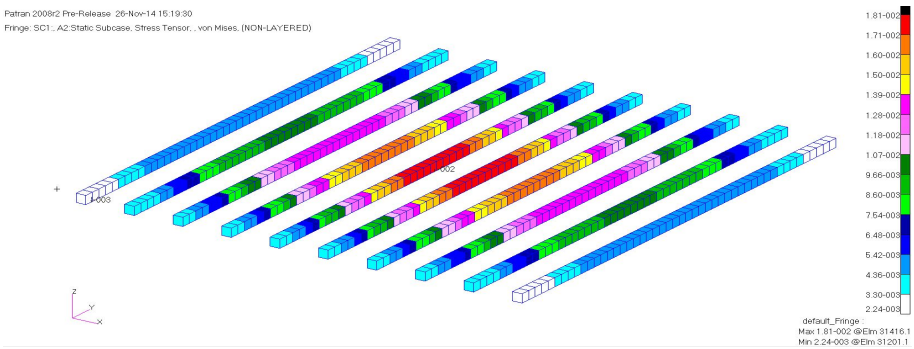
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Plywood of Mark-III in Pyramid type



(b) R-PUF of Mark-III in Pyramid type

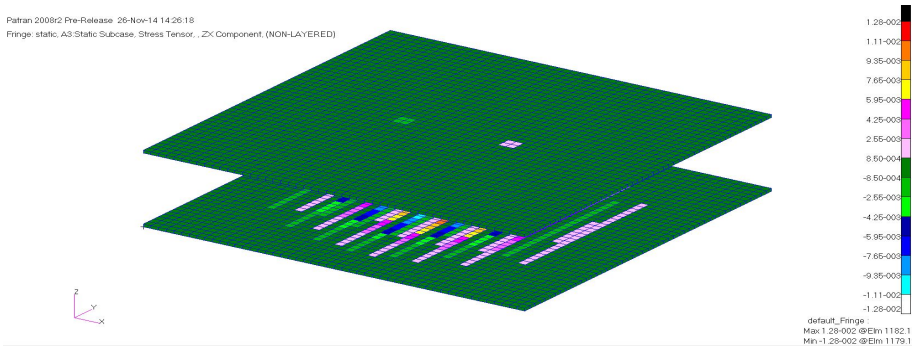


(c) Mastic of Mark-III in Pyramid type

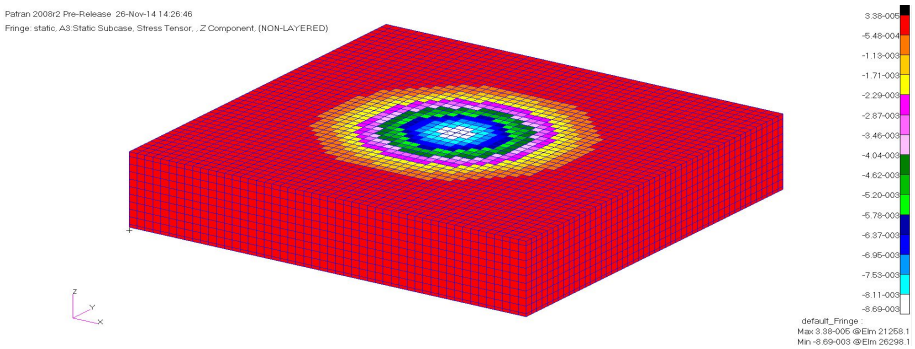
Fig. 4.4 Stress distribution of the each members for the Pyramid type at the Mark-III type CCS

Collection @ chosun

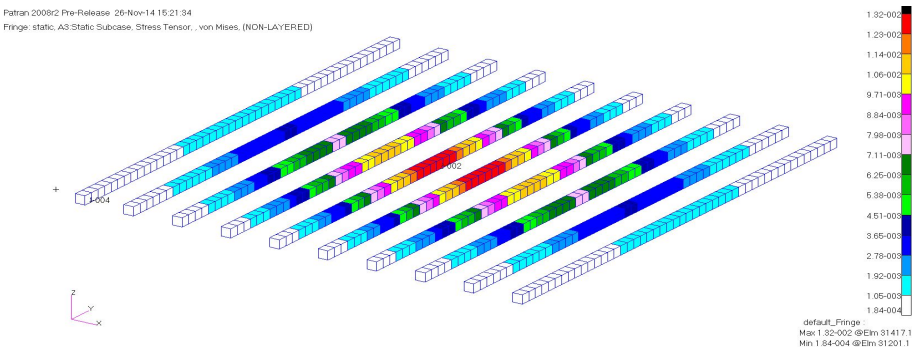
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Plywood of Mark-III in Gaussian type



(b) R-PUF of Mark-III in Gaussian type



(c) Mastic of Mark-III in Gaussian type

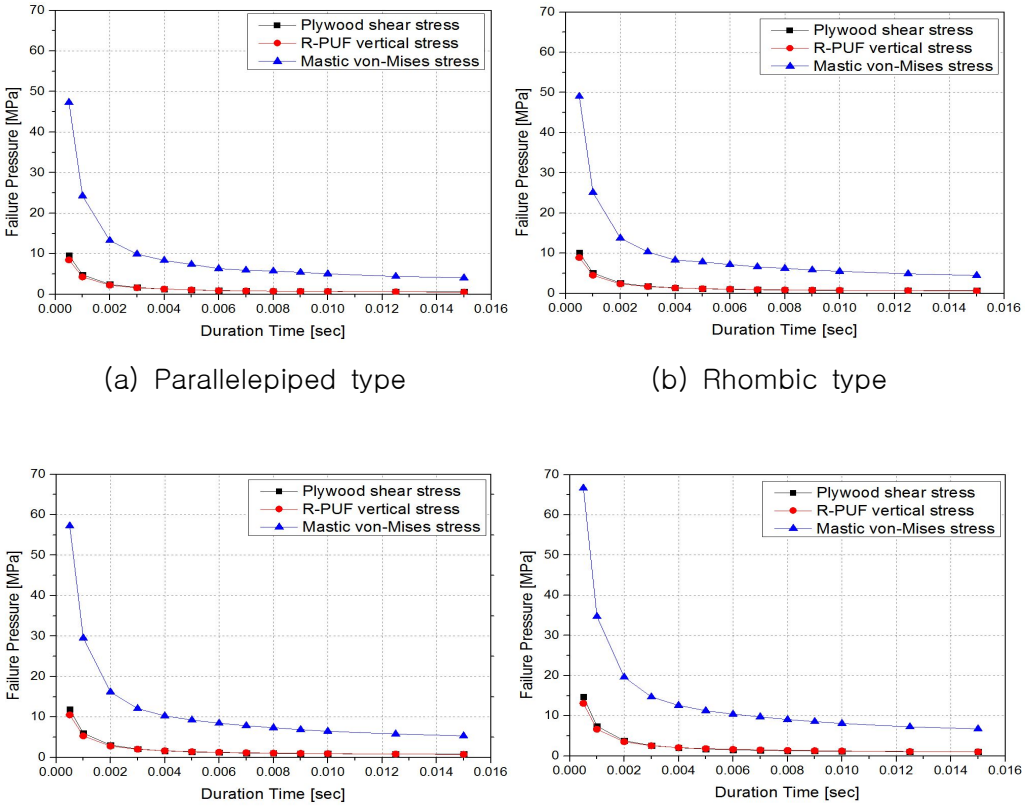
Fig. 4.5 Stress distribution of the each members for the Gaussian type at the Mark-III type CCS

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.1.2 Linear dynamic analysis

강도평가기준을 판단하기 위해서 Mark-III type CCS의 failure pressure curve를 계산하여 비교하면 결과 Fig. 4.6에서와 같이 각 부재의 강도를 평가할 수 있는 failure pressure 또한 증가되는 것을 확인하였다. 구조해석 결과를 검토하기 위해 failure pressure 계산 시 2/1,000 sec의 duration time을 가지는 하중에 대한 각 부재에서 발생하는 최대응답결과와 동적구조응답 결과를 Fig. 4.7과 Table 3에 정리하였다.



(a) Parallelepiped type (b) Rhombic type

(c) Pyramid type (d) Gaussian type

Fig. 4.6 Comparison of failure pressure curve of Mark-III type CCS by sloshing pressure distribution in each members

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

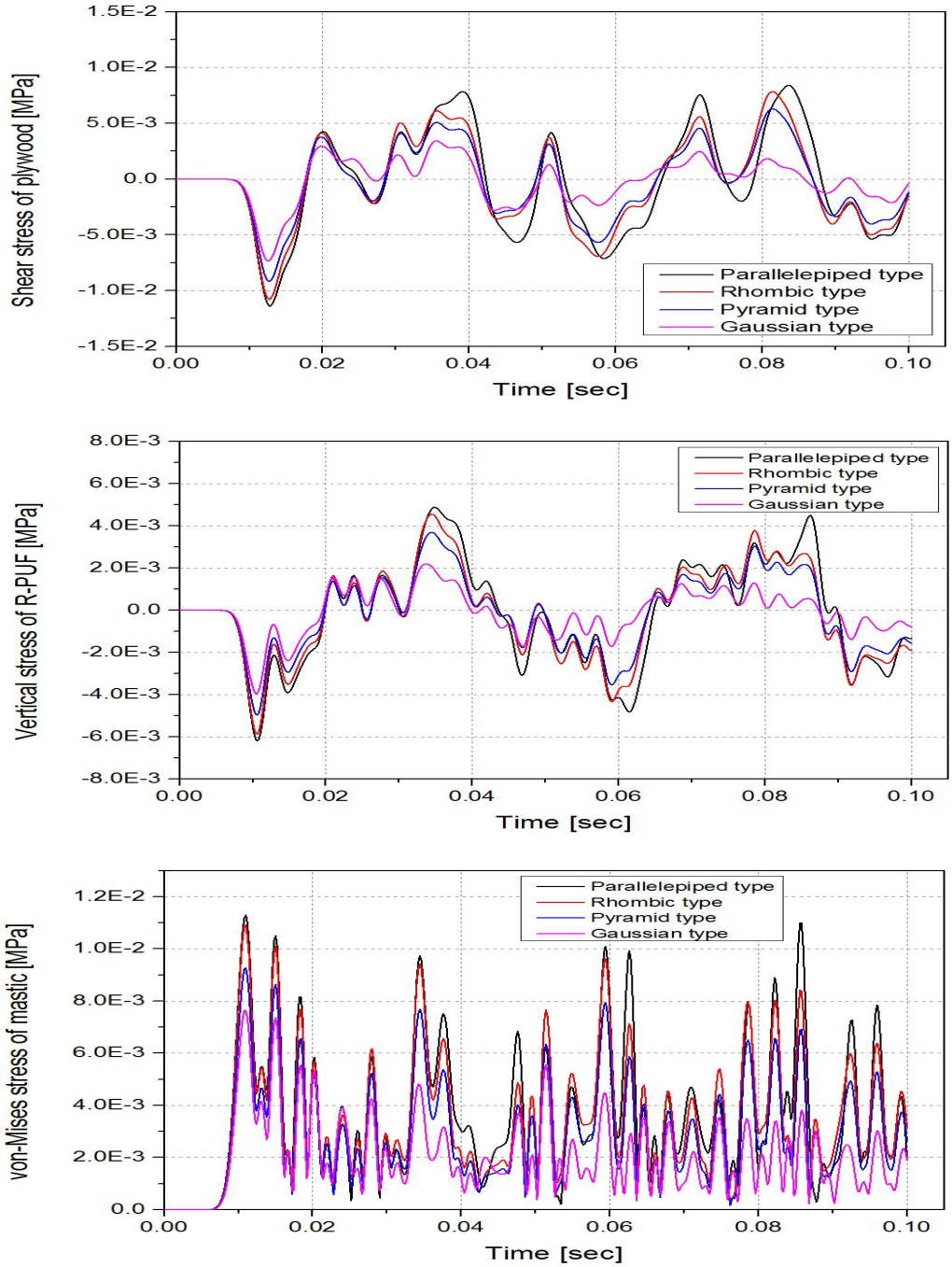


Fig. 4.7 Comparison of response curve of Mark-III type CCS by sloshing pressure distribution in each members

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3 Comparison of Max. stress for Mark-III type CCS by sloshing pressure distribution

	Max. shear stress of plywood [MPa]	Max. vertical stress of R-PUF [MPa]	Max. von-Mises stress of mastic [MPa]
Parallelepiped	1.14	0.62	1.13
Rhombic	1.08	0.59	1.09
Pyramid	0.92	0.5	0.93
Gaussian	0.73	0.4	0.76

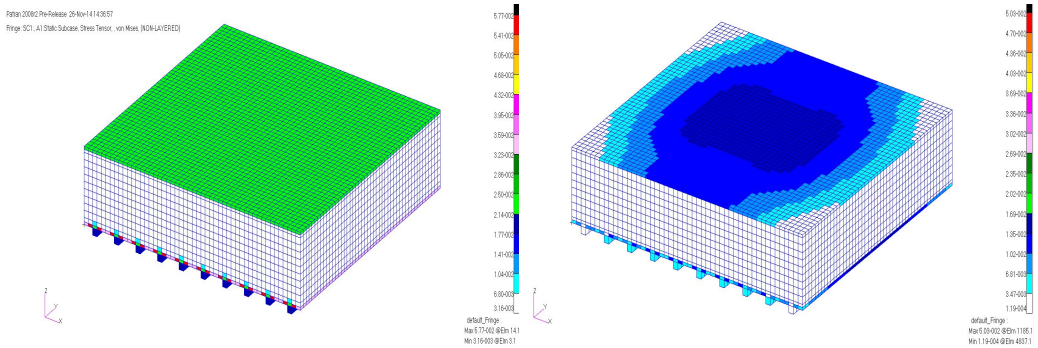
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

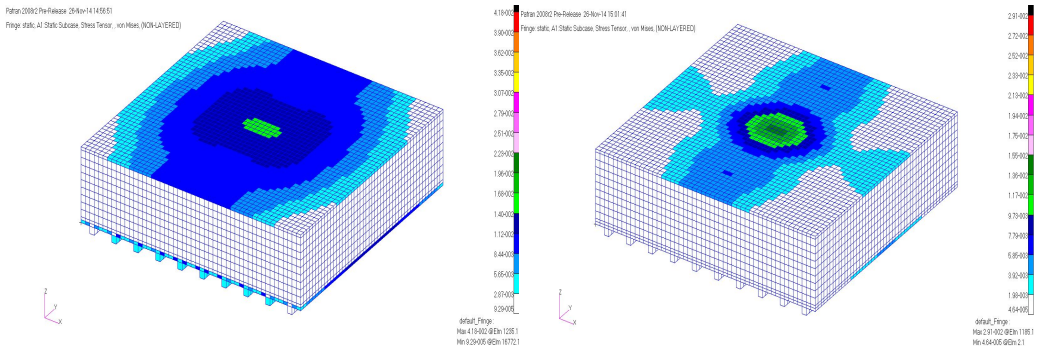
4.2 KC-1 type CCS

4.2.1 Linear static analysis

KC-1 type CCS에 강도평가 절차를 적용하였을 때, 정적해석 결과는 Fig. 4.8에서와 같이 균일분포 하중일 때 5.77MPa로 계산되었고, Rhombic type, Pyramid type, Gaussian type 하중의 경우 각각 5.03MPa, 4.18MPa, 2.91MPa 의 구조응답이 계산된 것을 확인 하였다. 각 부재에서 발생하는 응력분포는 Fig.4.9~12와 같이 나타나 있다.



(a) Parallelepiped type (b) Rhombic type

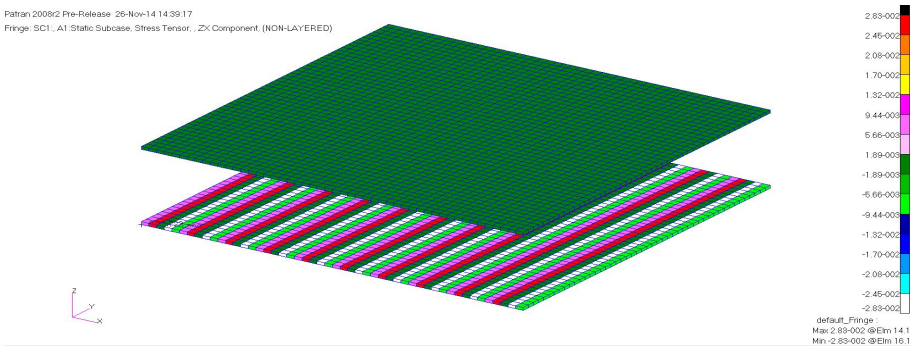


(c) Pyramid type (d) Gaussian type

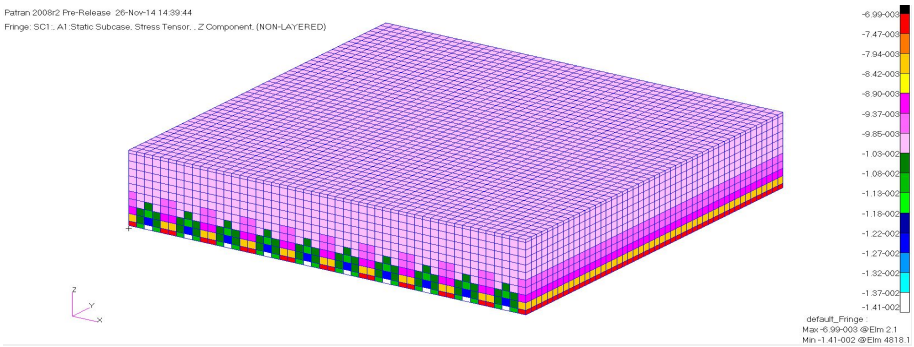
Fig. 4.8 Comparison of von-Mises stress of KC-1 type CCS by sloshing pressure distribution

Collection @ chosun

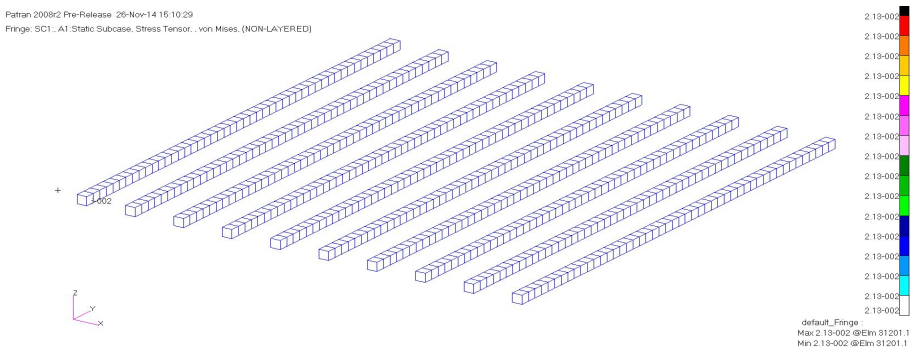
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Plywood of KC-1 in Parallelepiped type



(b) R-PUF of KC-1 in Parallelepiped type

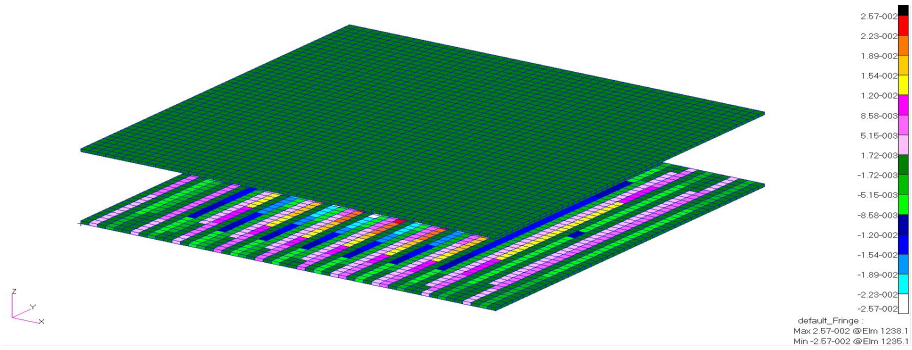


(c) Mastic of KC-1 in Parallelepiped type

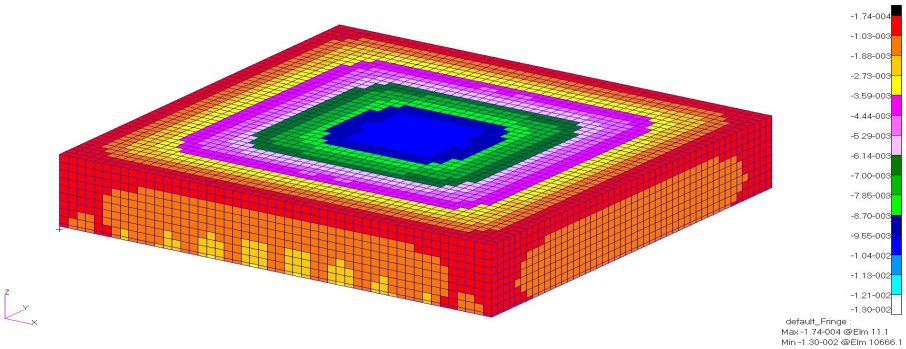
Fig. 4.9 Stress distribution of the each members for the Parallelepiped type at the KC-1 type CCS

Collection @ chosun

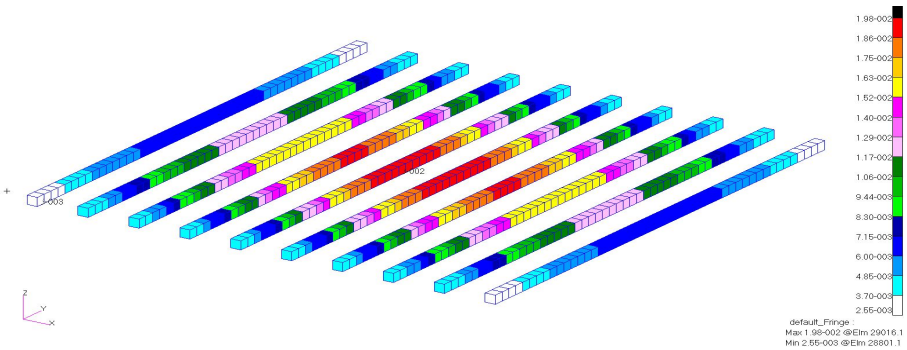
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Plywood of KC-1 in Rhombic type



(b) R-PUF of KC-1 in Rhombic type

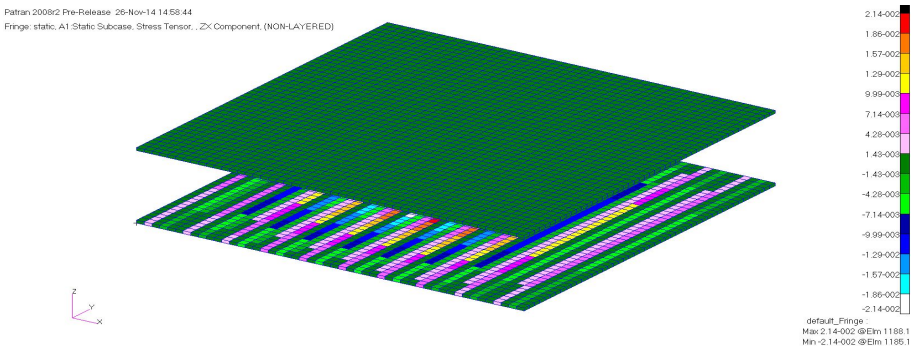


(c) Mastic of KC-1 in Rhombic type

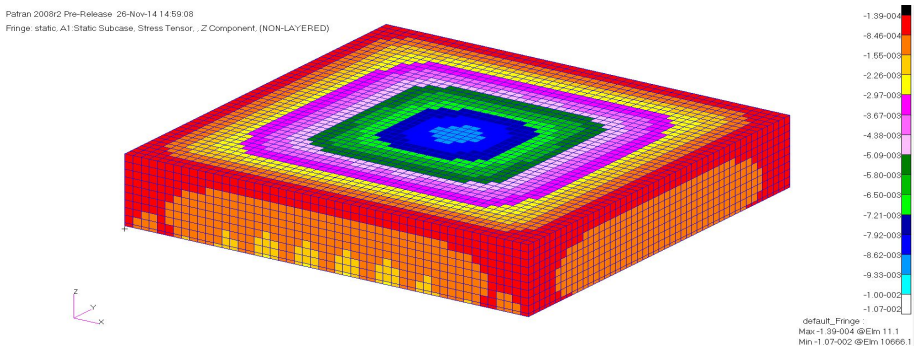
Fig. 4.10 Stress distribution of the each members for the Rhombic type at the KC-1 type CCS

Collection @ chosun

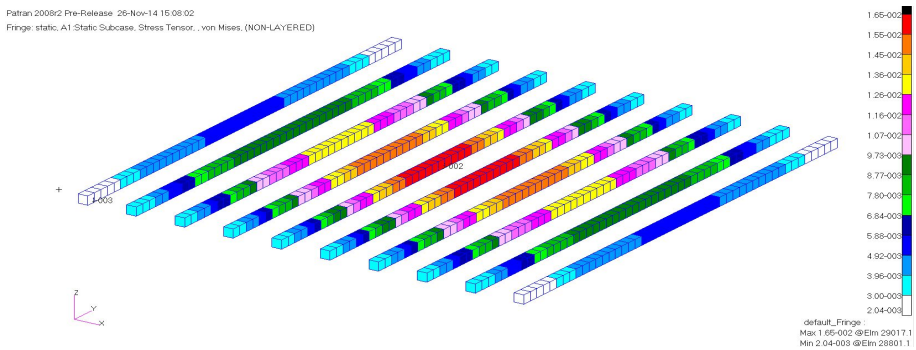
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Plywood of KC-1 in Pyramid type



(b) R-PUF of KC-1 in Pyramid type

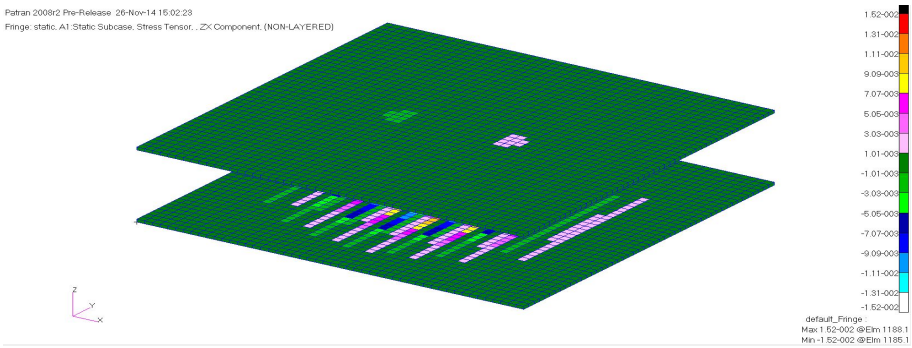


(c) Mastic of KC-1 in Pyramid type

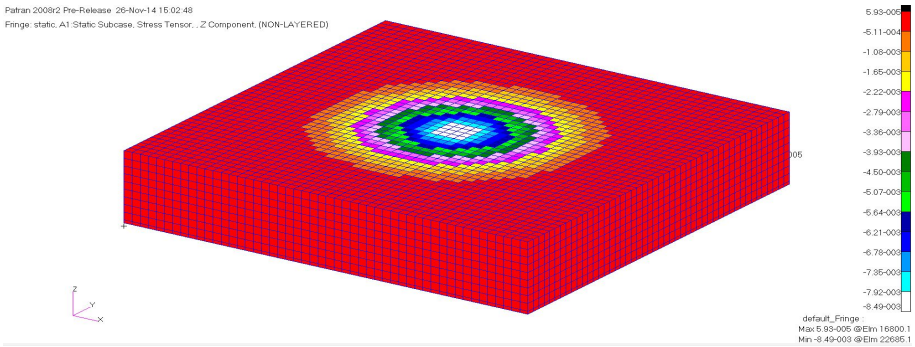
Fig. 4.11 Stress distribution of the each members for the Pyramid type at the KC-1 type CCS

Collection @ chosun

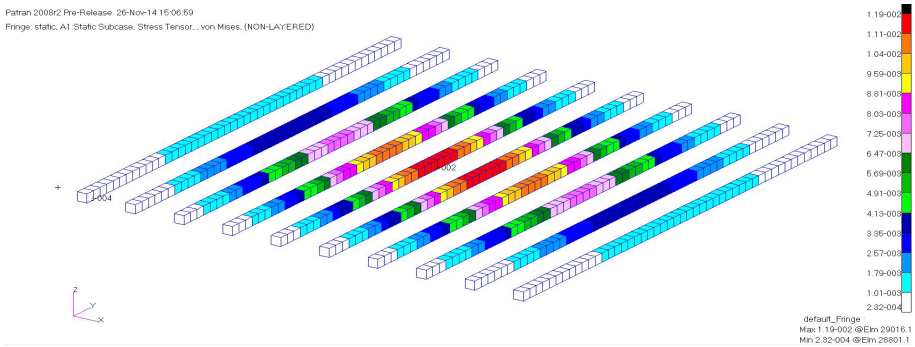
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Plywood of KC-1 in Gaussian type



(b) R-PUF of KC-1 in Gaussian type



(c) Mastic of KC-1 in Gaussian type

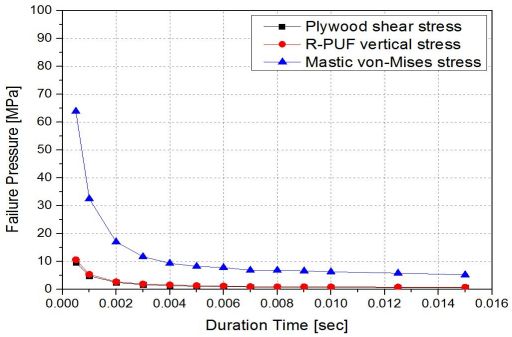
Fig. 4.12 Stress distribution of the each members for the Gaussian type at the KC-1 type CCS

Collection @ chosun

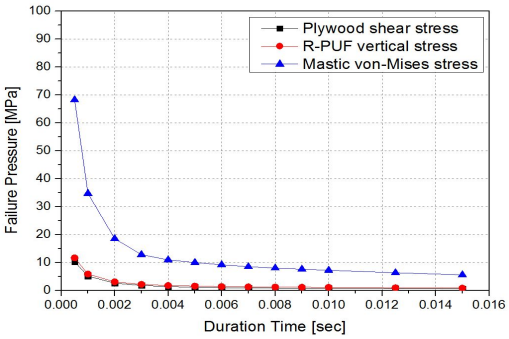
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.2.2 Linear dynamic analysis

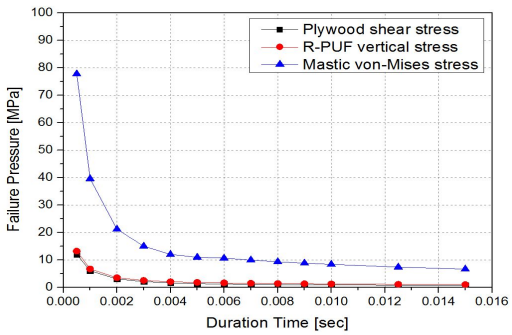
KC-1 type CCS의 failure pressure curve를 계산하여 비교한 결과 Fig. 4.13에서와 같이 각 부재의 강도를 평가할 수 있는 failure pressure 또한 Mark-III type CCS와 같이 증가되는 것을 확인하였다. 구조해석 결과를 검토하기 위해 failure pressure 계산 시 duration time 2/1,000 sec를 가지는 하중에 대한 각 부재에서 발생하는 최대응답결과와 동적구조응답 결과를 Fig. 4.14과 Table 4에 정리하였다.



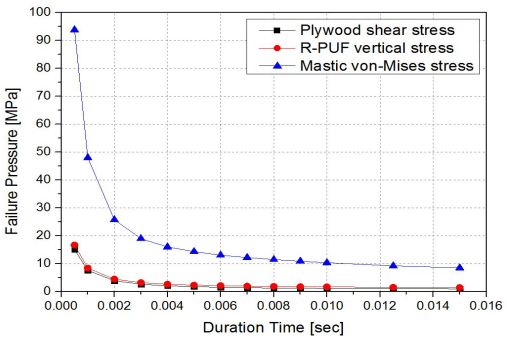
(a) Parallelepiped type



(b) Rhombic type



(c) Pyramid type



(d) Gaussian type

Fig. 4.13 Comparison of failure pressure curve of KC-1 type CCS by sloshing pressure distribution in each members

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

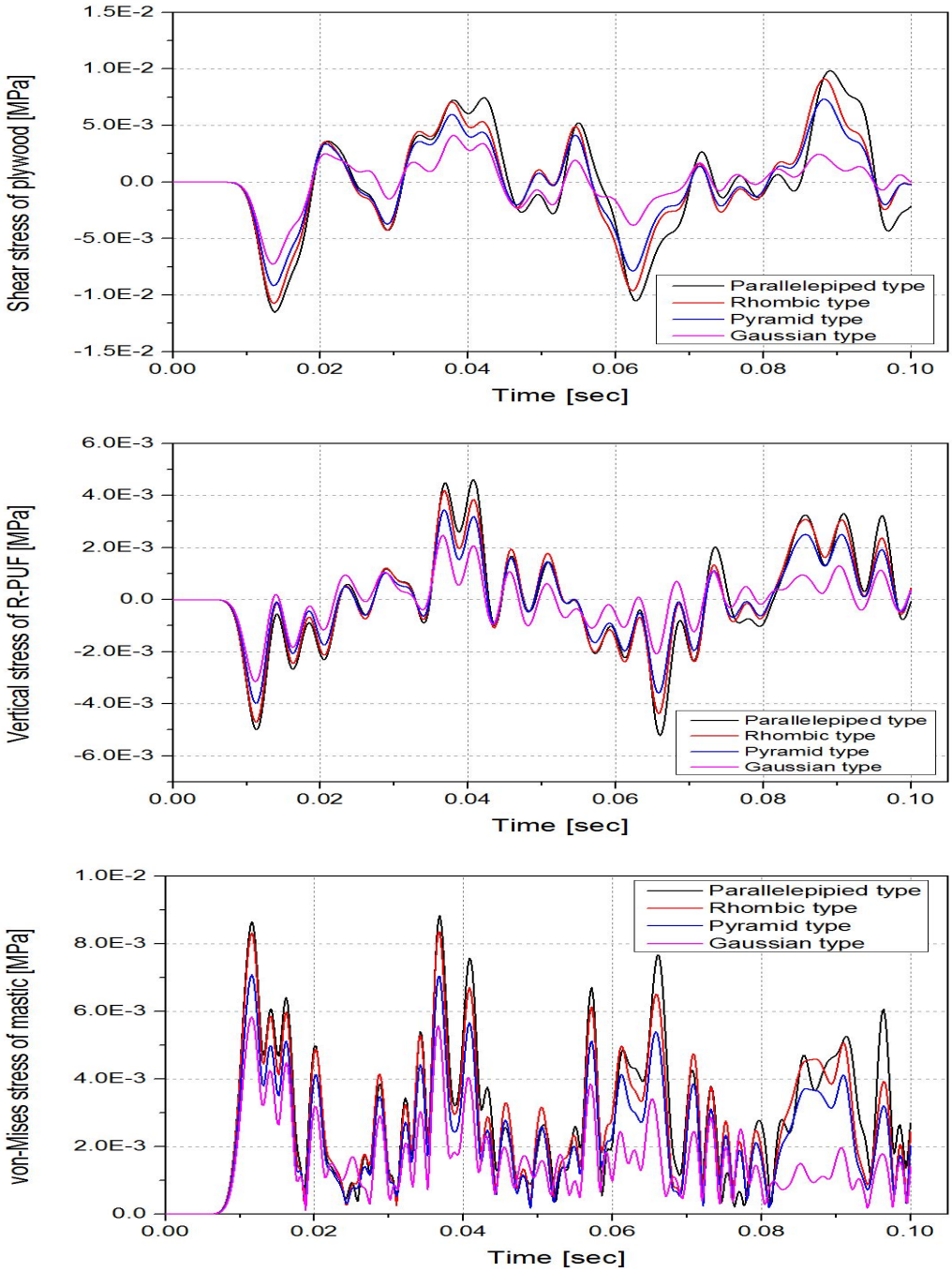


Fig. 4.14 Comparison of response curve of KC-1 type CCS by sloshing pressure distribution in each members

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 4 Comparison of Max. stress for KC-1 type CCS by sloshing pressure distribution

	Max. shear stress of plywood [MPa]	Max. vertical stress of R-PUF [MPa]	Max. von-Mises stress of mastic [MPa]
Parallelepiped	1.15	0.5	0.87
Rhombic	1.07	0.47	0.83
Pyramid	0.92	0.4	0.71
Gaussian	0.73	0.32	0.58

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.3 해석 결과 비교

Table 5에서 Mark-III type CCS에 대한 linear static analysis를 정리하였으며, 방열판의 각 부재에서 응력 값과 응력 값의 비가 감소하는 것을 확인하였다.

Table 5 Result of linear static analysis for Mark-III type CCS

Static	Mark-III type CCS			
	Parallelepiped	Rhombic	Pyramid	Gaussian
Max. shear stress of plywood [MPa]	2.35	2.13	1.78	1.28
Ratio(%)	100	90.6	75.7	54.5
Max. vertical stress of R-PUF [MPa]	1.67	1.3	1.24	0.86
Ratio(%)	100	77.8	74.3	51.5
Max. von-Mises stress of mastic [MPa]	2.37	1.98	1.82	1.32
Ratio(%)	100	83.5	76.8	55.7

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

Table 6에서 KC-1 type CCS에 대한 linear static analysis를 정리하였으며, 방열판의 각 부재에서 응력 값과 응력 값의 비가 감소하는 것을 확인하였다.

Table 6 Result of linear static analysis for KC-1 type CCS

Static	KC-1 type CCS			
	Parallelepiped	Rhombic	Pyramid	Gaussian
Max. shear stress of plywood [MPa]	2.35	2.13	1.78	1.28
Ratio(%)	100	90.6	75.7	54.5
Max. vertical stress of R-PUF [MPa]	1.67	1.3	1.24	0.86
Ratio(%)	100	77.8	74.3	51.5
Max. von-Mises stress of mastic [MPa]	2.37	1.98	1.82	1.32
Ratio(%)	100	83.5	76.8	55.7

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

Table 7에서 Mark-III type CCS에 대한 linear dynamic analysis를 정리하였으며, 방열판의 각 부재에서 응력 값과 응력 값의 비가 감소하는 것을 확인하였다.

Table 7 Result of linear dynamic analysis for Mark-III type CCS

Dynamic	Mark-III type CCS			
	Parallelepiped	Rhombic	Pyramid	Gaussian
Max. shear stress of plywood [MPa]	1.14	1.08	0.92	0.73
Ratio(%)	100	94.7	80.7	64
Max. vertical stress of R-PUF [MPa]	0.62	0.59	0.5	0.4
Ratio(%)	100	95.2	80.6	64.5
Max. von-Mises stress of mastic [MPa]	1.13	1.09	0.93	0.76
Ratio(%)	100	96.4	82.3	67.3

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

Table 8에서 KC-1 type CCS에 대한 linear dynamic analysis를 정리하였으며, 방열판의 각 부재에서 응력 값과 응력 값의 비가 감소하는 것을 확인하였다.

Table 8 Result of linear dynamic analysis for KC-1 type CCS

Dynamic	KC-1 type CCS			
	Parallelepiped	Rhombic	Pyramid	Gaussian
Max. shear stress of plywood [MPa]	1.15	1.07	0.92	0.73
Ratio(%)	100	93	80	63.5
Max. vertical stress of R-PUF [MPa]	0.5	0.47	0.4	0.32
Ratio(%)	100	94	80	64
Max. von-Mises stress of mastic [MPa]	0.87	0.83	0.71	0.58
Ratio(%)	100	95.4	81.6	69.9

동적 해석의 경우 정적 해석 보다 전체적인 응력 값이 감소하였고, 균일 분포하중을 적용하였을 때보다 공간분포를 고려한 하중을 적용하였을 때 LNG CCS(Mark-III, KC-1에서 나타나는 응력 값의 비율 또한 전체적으로 감소하는 것을 확인하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 5장
결론

5.1 결론

본 연구 “Membrane type LNG선 CCS의 슬로싱 압력에 의한 구조강도 비교 연구”에서는 LNG 화물창 강도평가 시 모형실험에서 획득된 슬로싱 충격압력을 이용하여 실선스케일로 확장 할 때, 공간상에서의 압력 분포 형상을 반영한 슬로싱 압력에 따른 강도평가 해석과정에 대해서 연구하였다. 또한 제시된 방법을 이용하여 멤브레인 형 Mark-III type CCS와 KC-1 type CCS에 대해서 적용 구조강도를 평가하여 방열판의 구조거동을 파악 하였다.

공간분포가 고려된 슬로싱 설계압력을 검토하여 슬로싱 설계압력의 공간분포 고려 시 구조 응답이 감소하는 것을 확인하였으며 방열판의 형상에 따라 Pyramid 또는 Rhombic 형상의 설계압력을 적용할 경우 LNG화물창 설계 시 중구조 설계를 피할 수 있음이 기대되어진다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참 고 문 헌

[1] ABS.(2006). Guidance note on strength Assesment of Membrane-Type LNG Containment System under Sloshing Loads.

[2] BV(2011). Strength Assessment of LNG Membrane Tanks under Sloshing Loads - Guidance Note Ni 564 DT R00 E, Bureau Veritas.

[3] DnV (2006). Sloshing Analysis of LNG Membrane Tanks DnV Classification Notes No.30.9, Det Norske Veritas.

[4] LR(2009), Sloshing Assessment Guidance Document for Membrane Tank LNG Operations Guidance Notes, Lloyd Register.

[5] Kim, Yi, Jang Ch and Kang, jk(2011). "Development of the Response-based Strength Assessment Procedure of the LNG Cargo Containment System under Sloshing impact Load," Proc 12st Int Ocean and Polar Eng Conf, Hwaii, USA, ISOPE, Vol3, pp.170-176.

[6] Nam, Sk, Kim, WS, Nho, BJ, Shin, HC, and Choi, IH,(2006)."The Parametric Study on the Response of Membrane Tanks in a Mark III Type LNG Carrier Using Fully Coupled Hydro-elastic Model," Proceedings of Int Conf, on Ship and Offshore Technology, ISCOT, Busan, Korea.

[7] Ryu, MC, Hwang, YS, Jung, JH, Jeon, SS and Kim, YS,(2009). "Sloshing Load Assessment for LNG Offshore Units with a Two-Row Tank Arrangement," Proceedings of 19th(2009) Int Offshore and Polar Eng Conf, Beijing, China ISOPE, Vol 3, pp. 284-294.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[8] Chun, SE, Hwang, JH, Chun, MS, Lee, JM, Suh, YS and Hwangbo, SM(20011). " Direct Assessment of Structural Capacity against Sloshing Loads using Nonlinear Dynamic FE analysis including Hull structural Interactions," Proc 12st Int Ocean and Polar Eng Conf, Hawaii, USA, ISOPE, Vol 3, pp.191-199.

[9] Ito, H, Suh, YS, Chun, SE, Satich Kumar, YV, Ha, MK, Park, jj, YU, HC and Wang, B(2008)."A Direct Assessment Approach For Structural Strength Evaluation of Cargo Containment System under Sloshing Inside LNGC Tanks based on Fluid Structure Interaction," Proceeding of 27th INT Conf, on Offshore Mech and Arctic Eng, Estoril, Portugal, Vol5, pp.835-8345.

[10] 김성찬, 이장현, 노인식, 장범선, 황세윤 (2012). “Mark III LNG CCS에서 삼각형 충격파의 단순화와 구조응답의 특징에 대한 연구”,한국해양과학기술협의회 공동학술대회 pp 807-816.

[11] 김성찬, 황세윤, 노인식, 김용환, 이장현 (2014). “슬로싱 충격 압력의 분포 형상에 따른 LNG CCS의 구조응답연구”, 대한조선학회 춘계 공동학술대회.

[12] 노인식, 김성찬 (2012). "슬로싱 충격압에 대한 LNG CCS의 동적 구조응답 해석법“, 대한조선학회지 Vol. 49, No. 1, pp 19-26.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

저작물 이용 허락서

학 과	선박해양공학과	학 번	20127457	과 정	석사
성 명	한글: 박홍규 한문 : 朴泓奎 영문 :Park Hong-Kyu				
주 소	광주광역시 남구 봉선동 모아엘가 101동 901호				
연락처	E-MAIL : ghdrb1009@gmail.com				
논문제목	한글 : Membrane type LNG선 CCS의 슬로싱 압력에 의한 구조강도 비교 연구 영어 : A comparative study on strength analysis for membrane type LNG Cargo Containment System subjected to sloshing load				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(O) 반대( )

2015 년 2 월

저작자: 박 홍 규 (인)

조선대학교 총장 귀하

Collection @ chosun