

멤브레인 LNG선 방열시스템 동적강도 해석적 특성평가

이준환*, 김태우*, 김명현*, 김화수**, 노병재**, 최익홍**, 이제명†*

부산대학교 조선해양공학과*
현대중공업(주)**

Numerical Assessment of Dynamic Strength of Membrane Type
LNG Carrier Insulation System

Jun Whan Lee*, Tae Woo Kim*, Myung Hyun Kim, Wha Soo Kim**, Byeong Jae Noh**
Ick Hung Choe** and Jae Myung Lee†*

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University*
Hyundai Heavy Industries, Co.,Ltd.**

Abstract

The aim of present paper is to investigate the dynamic strength characteristics of LNG cargo containment system under sloshing impact loads numerically. The dynamic stress transmission mechanism under the impact load was analyzed based on the dynamic Finite Element Analysis. Based on the insights obtained from the numerical studies, the characteristics of internal stress distribution and stress concentration have been reported. The material option including anisotropic material features required for the commercial FEA code application were suggested based on the comparison with the experimental results.

※Keywords: LNG Insulation system(LNG 운반선 방열시스템), Dynamic characteristic(동적특성), Dynamic strength(동적강도), Finite element analysis(유한요소해석)

1. 서론

LNG (Liquefied Natural Gas; 이후 LNG라 칭함) 운반선 설계 및 성능평가는 최근 LNG 시장의

급속한 팽창 및 신규 가스정 등의 개발에 힘입어 고부가가치선박 관련 연구 활동에서 주요 이슈로 다루어지고 있다(노병재 2005). 실선들에서 성능이나 안전에 문제가 되는 심각한 사고사례는 아직 문서화된 형태로 보고되고 있지 않지만, LNG 운반선 대형화 및 극지항로 투입 등에 따라 안전에 대한 정밀평가는 향후 LNG 운반선 설계에 필수적으로 채용되어야 하는 현황이다.

접수일: 2006년 12월 6일, 승인일: 2007년 5월 10일
† 교신저자: jaemlee@pusan.ac.kr, 051-510-2342

이러한 이유로 LNG 운반선 설계 및 건조에서 가장 주요하게 다루어지는 방열시스템 안전 성능에 대하여 다양한 비교 검토가 이루어져 왔으나 (노인식 등 1993a, 1993b, 방창선 등 2004), 실험 결과와의 비교분석을 바탕으로 하는 해석기술의 검토 사례는 흔하지 않다. 이는 해석을 위해 사용하는 해석코드별 차이, 설계자에 따른 입력조건 차이 등이 관련된 해석기술 확립이나 표준화에 걸림돌로 작용하기 때문이다.

본 연구에서는, LNG 운반선 방열시스템 성능평가에 관련하여 범용 유한요소해석코드를 이용한 표준 해석기술 확립에 대한 기초연구를 수행한다. 적용대상은 멤브레인형 MARK III 방열시스템을 대상으로 하며 LS-DYNA3D를 이용한 수치해석 기술의 적용성을 분석하였다.

2. 구조해석 모델링

본 연구에서 수행한 강도평가용 유한요소해석 대상, 즉 멤브레인형 MARK III 방열시스템 및 해석대상을 Fig. 1에 나타낸다. Fig. 1에 보이는 시형체는 MARK III형 방열시스템 최소 유닛에 해당되는 것이며, 각 구성 재료 및 전체 방열시스템에 대하여 다양한 실험적 성능평가가 수행된 바 있다 (Lee et al. 2006). Fig. 2는 Fig. 1에 나타내는 방열시스템의 두께방향 구조 상세를 나타낸다.

Fig. 2에 확인할 수 있듯이 여러 가지 재료로 이루어진 복잡한 형상을 나타내지만 두께방향의 압축하중에 주로 기여하는 성분은 Re-enforced Polyurethane Foam (이하 RPUF라 칭함)으로 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 강도지지 기여재료인 RPUF의 성능을 평가하기 위한 해석기술 검토를 수행하였다.

저자들은, 해석기법 검토를 위하여 세 종류 (ANSYS, NASTRAN, DYNA3D)의 범용 유한요소해석코드를 이용한 시리즈 해석을 선행연구로 수행한 바 있으며, 그 결과 DYNA3D가 비교적 유용하다는 것을 파악한바 있다(이제명 2005, LSTC 2001).

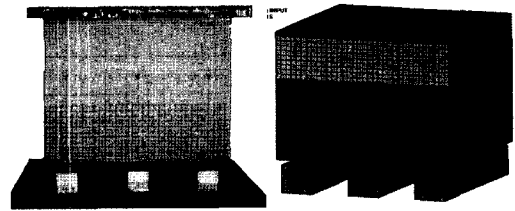


Fig. 1 Specimen for insulation system and FE mode

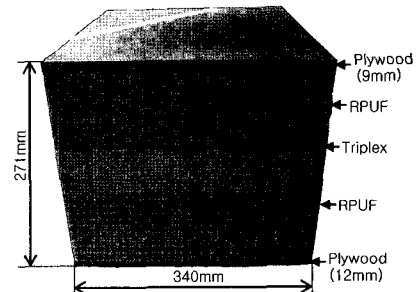


Fig. 2 MARK-III type LNG insulation system structural details

2.1 구조해석 모델

일반적으로 유한요소해석에서는 경계조건의 처리, 요소 크기 결정과 재료모델의 선정에 따라 해석 결과상의 편차가 존재한다.

본 연구에서는, 요소 크기의 결정에 관하여 요소 크기 변화를 통한 해의 수렴성 평가를 수행하였고, 최종적으로 선택한 것은 입체 요소의 경우 요소 길이 5~10mm 수준의 정방형 요소가 가장 적당하다는 것을 확인하였다. 방열시스템을 입체 요소로서 모델링 할 경우에 상기 요소크기는 Plywood의 두께 수준에 해당되며, 이보다 작은 크기로 모델링을 수행할 경우, 적층판 형태의 구조를 갖는 Plywood에 있어 각 층별 세부 모델링이 또 다른 문제로서 작용할 수 있다.

본 연구에서는 상하부 Plywood에 대해서는 Plywood 두께를 기준으로 하는 8절점 입체요소, RPUF에 대해서는 Plywood와 동일크기 요소, Triplex에 대해서는 해당 두께를 가지며 인접 RPUF와의 Connectivity를 고려한 4절점 쉘(shell) 요소를 적용하였다.

Table 1 Material properties of each component and LS-DYNA3D material modeling

Material	DYNA3D material modeling (Option Card)	Material Properties	Input Value
Plywood	*MAT_WOOD (Transversely isotropic material)	ρ (mass density)	710 kg/m ³
		E_l (parallel modulus)	7487 MPa
		E_T (perpendicular modulus)	520 MPa
		G_{LT} (parallel shear modulus)	3205 MPa
		G_{TT} (perpendicular shear modulus)	196 MPa
		ν (parallel Poisson's ratio)	0.17
		X_T (parallel tensile strength)	39.98 MPa
		X_C (parallel compressive strength)	39.98 MPa
		Y_T (perpendicular tensile strength)	1.96 MPa
		Y_C (perpendicular compressive strength)	1.96 MPa
		S_{XY} (parallel shear strength)	3.53 MPa
		S_{YZ} (perpendicular shear strength)	3.53 MPa
		I_{FAIL} (Erosion perpendicular to the grain)	default
RPUF	*MAT_HONEYCOMB (honeycomb and foam materials with real anisotropic behavior)	ρ (mass density)	122.3 kg/m ³
		E (elastic modulus: compacted)	4000 MPa
		ν (Poisson's ratio)	0.24
		σ_Y (yield stress: compacted)	80 MPa
		V_f (relative volume)	8.77
		E_{AAU} (elastic modulus Eaau)	141.14 MPa
		E_{BBU} (elastic modulus Ebbu)	132.98 MPa
		E_{CCU} (elastic modulus Eccu)	49.71 MPa
		G_{ABU} (shear modulus Gabu)	17.88 MPa
		G_{BCU} (shear modulus Gbcu)	59.81 MPa
		G (shear modulus Gcau)	53.62 MPa
		T_{SEF} (tensile strain at element failure)	0.4
S_{SEF} (shear strain at element failure)	0.4		
Triplex	*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY	ρ (mass density)	2000 kg/m ³
		E (elastic modulus)	12986.9 MPa
		ν (Poisson's ratio)	0.3
		σ_Y (yield stress)	87.91 MPa

2.2 각 구성부재별 재료 물성치

본 연구에서 공통적으로 적용한 재료 모델링 상세를 Table 1에 정리한다. Table 1의 결과를 정리하기 위하여 본 연구에서는 실험결과 대비 시리즈 해석을 통해 최적의 재료정수들을 선정하였으며, 선정된 재료정수들의 타당성은 3장의 실험결과에 대한 해석결과 비교를 통하여 설명한다.

실험을 통하여 관찰된 바에 의하면, Plywood 및 RPUF는 일반적인 금속 재료가 아닌 복합체 성격의 비선형 재질이며 따라서 경우에 따라 이방성 특성이 존재하므로, 재료 모델링에 있어 이들 특성을 고려하여야 한다. 즉, Table 1에서 나타낸 바와 같이 각 방향별 재료 특성치의 정밀한 고려가 필수적이다.

본 연구에서는 사용하는 재료별 특성치는, 실험 등에서 얻어진 기본 물성치와 이들을 이용하여 변환한 값들을 최대한 이용하면서 LS-DYNA3D에서 지원하는 해당 재료에 대한 Option Card기능사용을 극대화하는 쪽으로 선정하였다.

본 연구에서 선정된 재료 특성치의 일반성은 Table 1에 나타내고 있는 DYTRAN용 재료특성치 (Nam et al. 2006)와의 비교에서 확인할 수 있다.

3. 구성재료 RUF 해석기법 검증

전술한 바와 같이 다양한 검토를 통하여 결정된 표준 해석용 입력 자료에 대한 검증을 RPUF 표준 재료시험 결과를 이용하여 수행하였다.

방열시스템에서 발생하는 주요 구조응답들의 대부분은 폴리우레탄 복합체인 RPUF의 거동에 지배적으로 영향을 받으므로, 본 연구에서는 RPUF에 대한 성능검증을 집중적으로 수행하였다.

LNG 방열시스템용 RPUF의 성능은, RPUF 제조사에 의하여 자체적으로 수행되고 특히 보유권자인 GTT사를 비롯한 선급기관의 인증을 받도록 되어 있다. 본 연구에서는 표준 재료시험 결과를 이용하여 해석결과와 비교를 수행하고 사용한 입력 자료의 유용성을 검증하였다.

3.1 RPUF 인장 구조해석

일반적인 금속계열 재료인장 실험과 달리 RPUF의 인장성능 평가를 위해서는 복합재료 전용 실험장비가 활용되며, 시험편 역시 폴리우레탄 폼 전용 표준 시험편이 사용된다. RPUF 표준 인장 시험에서 얻어진 파단형상과 해석용 모델에서 얻어진 파단형상을 Fig. 3에 나타낸다.

Fig. 4에 대표적인 해석결과 일부로 실험결과와 해석결과와의 비교를 나타내고 있으며, Fig. 4로부터 확인할 수 있듯이 대체적으로 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.

해석에서 얻어진 파단형상과 실험에서 얻어진 파단형상을 비교하였다(Fig. 3참조).

3.2 RPUF 압축 구조해석

방열시스템의 RPUF에서 가장 중요한 기능은, 열 차폐 기능과 더불어 압축 충격 하중을 지지하는 구조체로서의 기능이라 할 수 있다.

따라서 RPUF의 압축 성능에 대한 정밀한 분석이 필수적이다. 실제로 재료 제작 과정에서는 인장 실험과 별도로 50×50×50(mm) 정육면체형상을 갖는 표준 압축 시험편을 제작하여 압축 성능을 실험적으로 분석하고 제품의 성능지표로 삼고 있다.

Fig. 5에 표준 시험편을 이용한 압축시험 결과와 해석결과 비교 예를 나타낸다. 해석에 이용하는 재료 특성치를 포함한 해석 상세는 인장 해석과 동일하며, Table 1에서 제시하는 재료 특성치들의 유용성을 확인할 수 있었다.

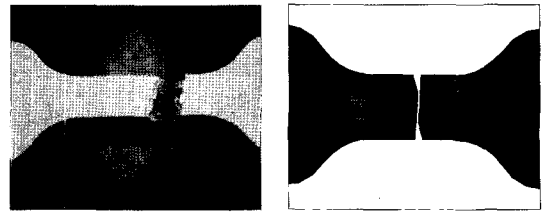


Fig. 3 Comparison of fractured feature obtained by experiment and FEA

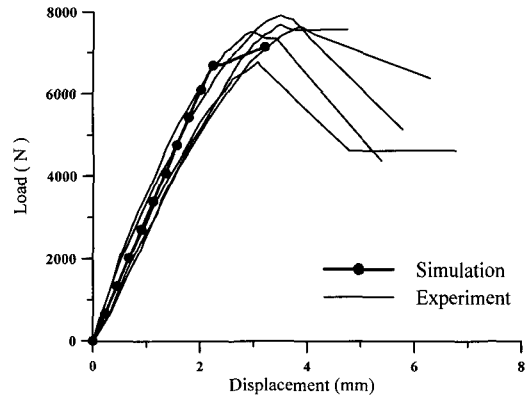


Fig. 4 Comparison of tensile behavior between FEA and experimental results

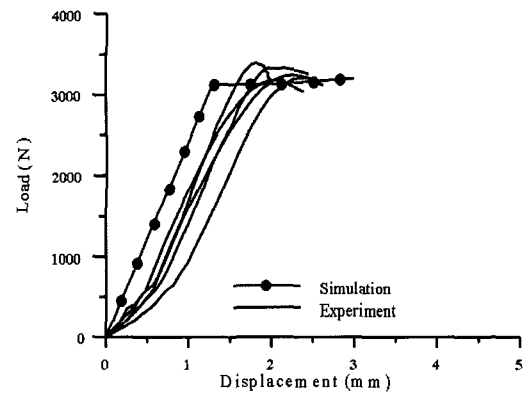


Fig. 5 Comparison of compressive behavior between FEA and experimental results

3.3 RPUF 전단 구조해석

방열시스템용 재료로서의 적합성 평가의 일환으로, 제작이 완료된 후에 폴리우레탄 폼의 파손 저항능력 평가를 위해 펀치를 이용한 전단 실험을

수행한다. 즉, 펀치 테스트에 의한 파손 특성을 분석하여 폴리우레탄 폼의 파손 저항 능력을 정량화 시켜 제품의 성능지표로 활용한다. 본 절에서는 전문적인 해석 기법을 이용하여 전단시험에 대한 해석을 수행하여 해석 기법의 유용성을 분석하였다.

전단강도해석에 사용한 유한요소모델을 Fig. 6에 나타내었다. 실제 실험을 통하여 관측되는 전단 파괴 발생영역을 정밀하게 표현하기 위하여 전문적인 요소 크기보다 적은 요소를 사용한 요소분할을 수행하였다.

대표적인 해석결과 일부를 Fig. 7에 나타내고 있으며, Fig. 8에 실험결과와의 비교를 나타내었다. Fig. 8에서 확인할 수 있듯이 해석결과와 실험결과와의 비교에서는 인장이나 압축과 달리 일부 정량적인 편차가 존재하고 있다.

재료 특성치 사용(Table 1 참조)은 동일하게 적용하면서, 파괴발생 영역에서의 세밀한 요소분할 채용을 포함한 해석기법의 다양한 변화를 시도하였으나, 별다른 개선은 얻지 못하였다.

본 해석에서 사용한 해석기법은 인장 및 압축 문제에서 표준적인 해석기법으로서의 유용성이 검증된 모델이지만, 본 절의 경우와 같이 전단이 지배적인 파손모드를 다루기에는 다소 미흡한 점이 존재한다고 판단된다.

즉, 전단파손 문제를 다루기 위해서는 파손현상에 관련한 재료 모델링 기법의 개선, 예를 들면 LS-DYNA3D 옵션 적용에 요구되는 파손발생을 정의하는 임계 변수의 개선 등이 추가로 필요하다고 판단된다.

LS-DYNA user input
Time = 0

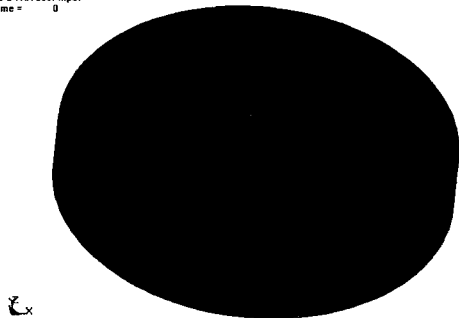


Fig. 6 FEA model for shear experiment

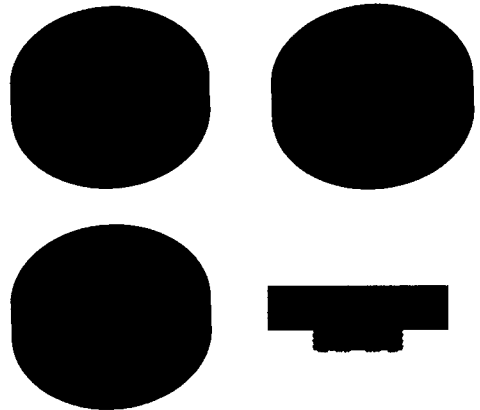


Fig. 7 Sample of numerical simulation

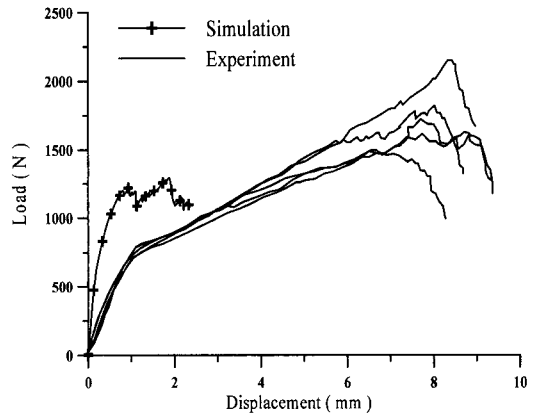


Fig. 8 Comparison of shear behavior between FEA and experimental results

4. 방열시스템 동적응답해석

전장에서 검토한 재료 모델링 기법과 유한요소 모델링 기법을 이용하여, 방열시스템 전체의 구조응답 특성 분석을 위한 동적응답해석을 수행하였다.

4.1 구조해석 모델

Fig. 9에 전체 방열시스템 해석모델을 보여주고 있다. 해석에 사용한 총 요소 수는 약 37,000개이며, 최대한 정방형의 형태를 유지하도록 하였으며, 자유낙하 충격실험을 수행한 결과와 동일하게

Mastic 배치를 각각 2개 및 3개로 설정하였다.

구성 재료인 Plywood는 평면상으로는 등방성, 두께방향의 성분은 평면방향 성분과 다른 이방성 재료모형을 사용하였고, RPUF는 3차원 각 방향별로 서로 다른 성질을 갖는 이방성 모형을 사용하였다(Table 1 참조).

Mastic 및 Triplex는 등방성으로 하여 계산에 있어서의 효율을 높이고자 하였고, 실제로 계산 결과상에 큰 영향을 미치지 않았다. RPUF와 Plywood는 입방체 재질이므로 3차원 입체요소를 사용하였으며 Triplex는 매우 얇기 때문에 쉘(shell)요소를 사용하여 계산하였다.

해석 모델의 경계조건은 하부의 지지 부위를 제외하고 자유경계로 하였다. 중량이 212kg, 낙하 높이가 200mm인 경우에 대하여 Mastic의 배열 개수가 각각 2개와 3개인 방열시스템 내부 각 위치에서의 응력분포 특성을 조사하였다.

응력분포 특성분석에 사용한 기준위치로, Mastic 배열 위치, Mastic과 Mastic 사이 및 자유 경계 3곳을 선택하였다(Fig. 10 참조).

선택한 각 위치에서 충격위치로부터 아래쪽으로 9점을 선택하여 각 점에서의 시간별 응력크기와 응력이력을 조사하여 충격에 따른 응력 특성을 파악하였다.

4.2 자유낙하 동적응답해석 결과

4.2.1 응력분포 특성: Mastic 상부

Mastic 개수가 각각 2개 및 3개일 경우, Mastic 상부 위치에서의 응력분포 및 응력특성을 정리한다. Mastic 2개 및 3개의 경우 모두 H와 I지점, 즉 하부 Plywood에 가장 가까운 위치에서 충격에 의한 내부응력이 가장 크게 나타나는 것을 Fig. 11과 Fig. 12에서 확인할 수 있었다.

이는 상부에 작용한 충격하중이 두께 방향으로 전파되어 내려오면서 하부의 지지구조, 즉 Mastic에 부딪치며 비교적 높은 응력을 형성하는 것으로 이해할 수 있으며, 따라서 이 부분에서의 응력 집중이 쉽게 예측할 수 있다.

실험결과에서 관측되듯이 실험을 통해 얻어진 파손 부분도 Mastic이 배치된 바로 윗부분이라는 것과 정성적으로 일치하는 결과를 보여준다.

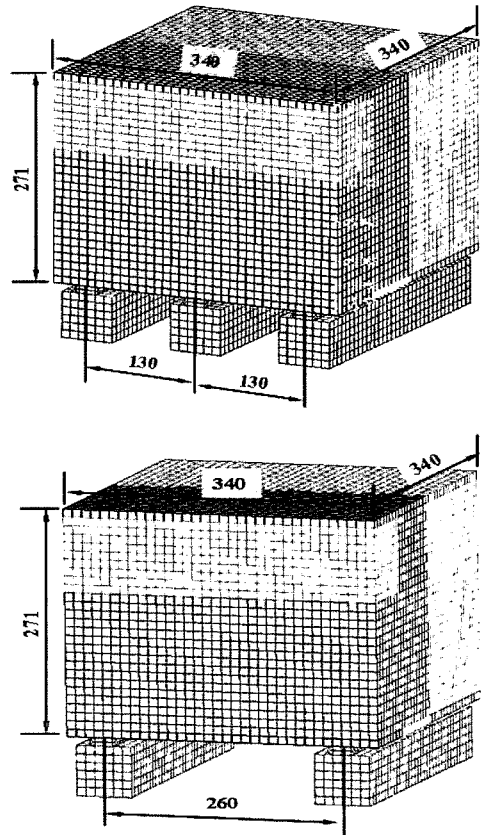


Fig. 9 FEA model for MARK III type LNG insulation system (upper: 3 Mastics, lower: 2 Mastics)

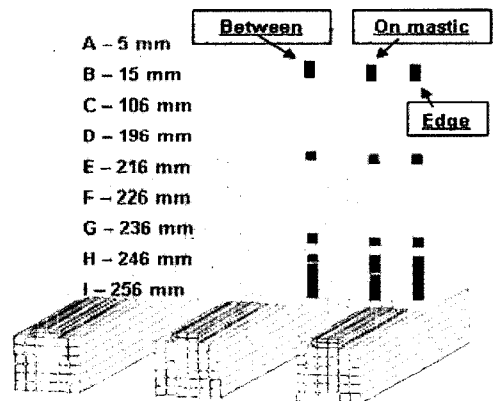


Fig. 10 Stress extraction points on the FEA model

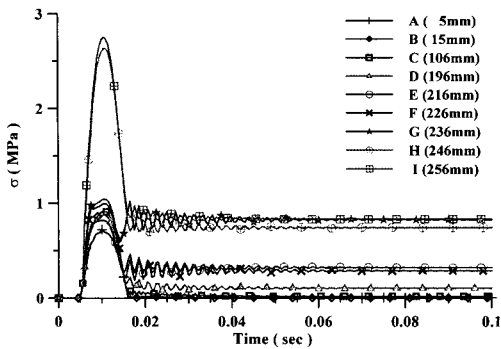


Fig. 11 Time history of von-Mises stress through thickness - 3EA Mastics (On-Mastic)

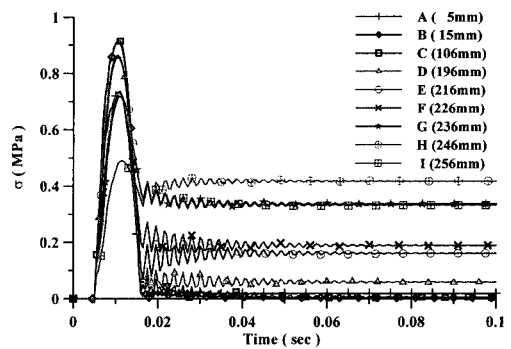


Fig. 13 Time history of von-Mises stress through thickness - 3EA Mastics (Between Mastic)

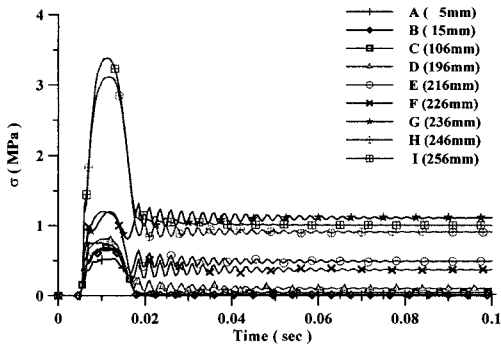


Fig. 12 Time history of von-Mises stress through thickness- 2EA Mastics (On-Mastic)

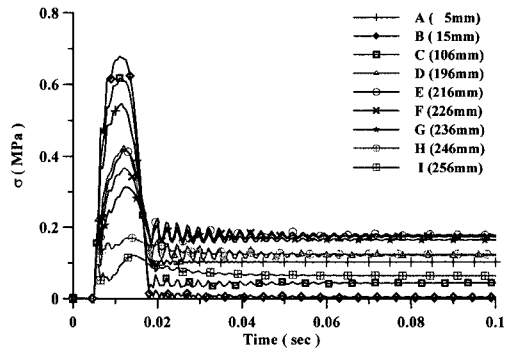


Fig. 14 Time history of von-Mises stress through thickness - 2EA Mastics (Between-Mastic)

4.2.2 응력분포 특성: Mastic 사이

Fig. 13과 Fig. 14는 Mastic 사이에서의 응력 분포를 나타내며, 하부로 갈수록 발생응력이 적어짐을 볼 수 있다. 이는 On-Mastic과는 반대되는 경우이며, 응력이 간섭받지 않고 Mastic 사이의 자유 스패를 통해 빠져 나갈 수 있기 때문이라고 분석되어진다. 또한, 상부 하부 RPUF의 계면, 즉 Triplex의 위치부근의 응력은(Fig. 10의 D 점), Mastic 2개 및 3개의 경우가 서로 다른 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

Mastic 2개의 경우는 높이에 따라 순차적인 분포를 보이고 있으나 Mastic 3개의 경우는 특별하게 높은 응력크기를 보여주고 있다. 이는 해석에 고려한 RPUF와 Triplex의 재료 물성치의 차이가 주요 원인의 하나로서 생각될 수 있지만, 스패의

길이가 짧을수록 응력 전달 방지 기구로서 Triplex가 기여하고 있다고 판단된다.

즉 Mastic에 의한 강제 지지 효과에는 미치지 못하지만 재료 간에 물리적으로 구획을 지어주는 Triplex가 응력의 전달방지에 상당히 기여할 수 있다고 판단되며, 이는 배치하는 Mastic의 간격에 따라 달라질 수 있음을 나타낸다. 일부 실험에서 Triplex 위치에서의 미소균열이 관측되는 것도 유사한 맥락에서 이해될 수 있다.

Mastic 등과 같은 지지구조가 없는 하부로 갈수록 응력이 작아진다는 것은, 스패의 길이가 일정 이상이 되면 상부에 발생한 충격에 의한 응력들이 스패사이를 그대로 통과되어 소멸될 수 있다

는 것을 의미한다. 따라서 Mastic 배치 등과 같은 설계상의 고려에서, 상기와 같은 응력전달 특성은 효과적인 응력 소멸 구조 선정 등에 유용하게 활용될 수 있으리라 판단된다.

4.2.3 응력분포 특성: 자유경계

실제 MARK III 방열시스템은 본 해석 모델과 동일한 크기의 기본 유닛들이 결합된 형태로 구성되어 있으며, 기본 유닛들 사이에는 슬릿이라고 불리는 간극이 존재한다. 이러한 간극들은 생산과정에서 유리성유 등으로 채워지기는 하지만, 기본 유닛들의 접합으로 보기는 어렵다. 따라서 본 해석에 채용하는 슬릿에 해당되는 수직 경계는 자유경계로 보는 것이 타당하며, 자유경계인 만큼 표면에서의 응력특성을 파악할 필요가 있다.

Fig. 15와 Fig. 16에 자유경계에서의 응력 특성을 나타낸다. Mastic 위치와 비교적 가까운 이유로 전반적인 응력 특성은 Mastic 상부 조건과 유사하지만, 최대응력 발생 위치 및 크기는 약간 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

On-Mastic 조건에서는 하부 Plywood에서 최대 응력이 발생하였으나, 자유경계에서는 하부 Plywood보다 약간 상부 위치에서 최대응력이 발생하고 있다.

4.2.4 고찰

세 종류의 응력 평가위치를 대상으로 내부의 응력을 분석해 본 결과, 일률적으로 정의하기 어려운 부분들이 많이 존재하며, 이는 재료 모델의 비선형성과 해석 대상 구조물의 복잡함이 가장 큰 원인으로 보여 지고, 작용하중 역시 동적 비선형 효과로서 영향을 미치고 있기 때문인 것으로 판단된다.

시리즈 해석을 통하여 얻어진 각 관심 위치에서의 응력 특성들은, 해당 위치에서만 특성으로 단순하게 판단되어야 할 성질이 아니며, 전체 구조물 내에서의 평형 구도 혹은 지지 구조형태에 의한 응력 전달/간섭 등이 복합적으로 고려되어야 할 것으로 보인다.

다만, 실험이나 기타 유사한 방법으로 파악하기 어려운 내부 응력 특성에 대하여 기본적인 역학특

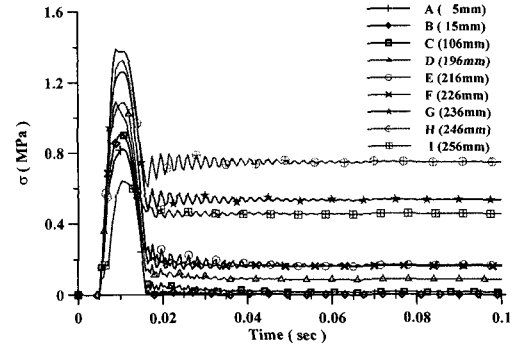


Fig. 15 Time history of von-Mises stress through thickness - 3EA Mastics (Edge)

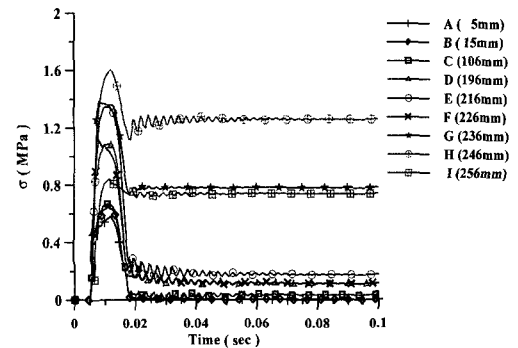


Fig. 16 Time history of von-Mises stress through thickness - 2EA Mastics (Edge)

성이 상기와 같은 방법을 통해 예측될 수 있으며, 실험 등을 통한 실제 균열 발생 문제와 연계된다면 유용한 예측기법으로 활용될 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 멤브레인형 LNG 운반선 방열시스템 동적강도 특성을 분석하기 위한 유한요소해석을 수행하였다. 주요 연구 성과를 아래와 같이 정리한다.

- 동적 유한요소해석을 수행하여, 방열시스템 동적 구조강도 평가 및 내부 응력 특성 평가용 해석기술 가이드를 제시하였다.
- RPUF에 대해서는, LS-DYNA3D를 이용한 동

적해석 자료 구축은 상당한 성과를 획득하였으나 균열 진전 등 해석기법 적용 범위 확장을 위해서는 재료모델링 기법의 개선에 관한 추가 연구가 필요하다는 것을 확인하였다.

- 방열시스템 동적응답 분석용 붕괴강도해석을 통해 응력분포 특성 및 응력전달 특성 평가를 수행하였으며, 시리즈 해석을 바탕으로 역학 특성을 분석하였다.
- 본 연구를 통하여, 멤브레인형 LNG 운반선 방열시스템 동적강도 특성 분석용 해석기술의 기초가 확립되었다. 일부 정량적 분석이 부족한 부분과 불확정적인 요소들도 확인되었지만, 관련 연구 분야에서 유용한 참고자료로 활용될 수 있으리라 판단된다.

후 기

본 연구는 현대중공업(주) 및 한국과학재단 우수 연구센터(ASERC) 지원과제 일부로 수행된 것으로, 위 기관들의 후원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 노병재, 2005, "LNG운반선 구형 화물창 슬로싱 해석," 대한조선학회 특별논문집, pp. 22-30.
- 노인식, 남용윤, 이호섭, 1993a, "독립구형 LNG 탱크의 구조 안전성 평가(제1보) 피로균열 발생 수명 예측," 대한조선학회 논문집, 제 30권, 제 2호, pp.132-140.
- 노인식, 남용윤, 이호섭, 1993b, "독립구형 LNG 탱크의 구조 안전성 평가(제2보) LBF 이론에 의한 피로균열 진전해석," 대한조선학회 논문집, 제 30권, 제 4호, pp. 74-82.
- 방창선, 하문근, 이종남, 배준홍, 강윤대, 구명준, 2004, "LNG 화물창의 Drop Test," 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 101-106.
- 이제명, 2005, LNG 운반선 동적강도특성 데이터 베이스 구축, 현대중공업 연구보고서.

- Lee, J.M., Kim, M.H., Paik, J.K., Kim, W.S., Noh, B.J. and Choe, I.H., 2006, "Dynamic Strength Characteristics of Membrane Type LNG Cargo Containment System," ICSOT 2006, pp. 189-200.
- LSTC, 2001, "LS-DYNA User Manual, Version 960, Livermore Software Technology Corporation," CA, USA.
- Nam, S.K., Kim, W.S., Noh, B.J., Shin, H.C. and Choe, I.H., 2006, "The Parametric Study On The Response Of Membrane Tanks In A Mark III Type LNG Carrier Using Coupled Hydro-Elastic Model," ICSOT 2006, pp. 147-154.



< 이 준 환 >



< 김 태 우 >



< 김 명 현 >



< 김 화 수 >



< 노 병 재 >



< 최 익 흥 >



< 이 제 명 >