

LNG 선박의 화물창에 소요되는 레진의 온도에 따른 압력 특성 분석

봉필영, 유정현, 송주훈, 한상남, 손영득
한국기술교육대학교 기계설비제어공학과

e-mail: pybong1, you9656, song_juh01, hannah, ydson@koreatech.ac.kr

Analysis of Pressure Characteristics by Temperature Variation of Using Resin for Cargo Hold in LNG Vehicle

Pil-Young Bong, Jung-Hyun Yu, Ju-Hoon Song, Sang-Nam Han, Yung-Deug Son
Dept. of Mechanical Facility Control Engineering, KOREATECH

요 약

프랑스 GTT사의 Membrane Type No.96 System이 적용된 LNG 선박에 시공되는 Insulation Box에 도포되는 Epoxy Resin의 계질 및 온도의 영향을 시험하여 생산현장에 적용한 것이다. 대기 온도에 따라 점도의 변화로 드럼에서 토출되는 양이 달라 일정 압력으로 Epoxy Resin의 토출이 요구되었다. 이에 주위 온도가 5°C 이하의 경우 Heating System을 설치하여 온도 증가에 따른 안정적인 압력을 유지하였다. Resin 및 Hardener의 특수성을 고려하여 구동 방식은 공압 액추에이터로 동작하며 이상적인 배합 비율을 맞추기 위해 정밀한 토출과 안정적인 이송을 할 수 있는 구조와 주위 온도에 관계없이 적정 온도를 유지하여 토출되는 것이다. 주위 온도변화를 최소화하여 압력을 일정하게 유지할 수 있는 최적의 시스템 구성을 실험을 통해 유효성을 검증하였다.

1. 서론

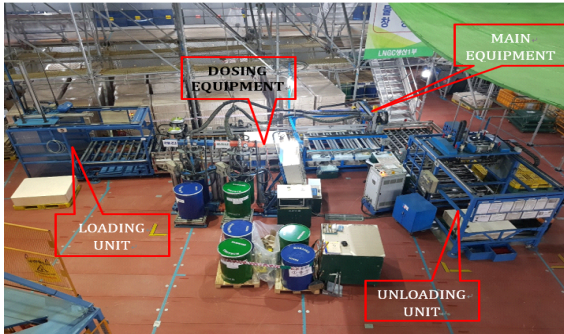
우리나라는 청정에너지의 중요성을 인식하고 1980년대에 들어 LNG 운송·저장을 연구하여 LNG의 수입을 위해 국적 MOSS Type LNG 선박을 건조하였다. 1990년대에 들어 건조 선가가 높은 MOSS Type LNG 운송선이 Membrane Type LNG 선박으로 대체되고 있다. 그 이유는 동일 볼륨의 LNG를 선적할 때 Membrane Type LNG선이 Moss Type LNG선 대비 10% 정도의 선가 경쟁력을 가지고 있기 때문이다. Membrane Type LNG선은 화물창 구조가 합판으로 구성된 단열박스 표면에 박판의 Invar (니켈36% 합금강)로 마감처리한다. 단열박스를 선박의 선체에 시공할 때 LNG 선박의 선체 굴곡이나 변형에 대응하여 단열박스의 Bearing 상태를 유지하기 위한 목적으로 선체의 Inner Hull에 단열박스 설치 시 단열박스와 선체 내벽의 공간을 채워 주는 Epoxy Resin과 Hardener를 Dosing 장비에서 일정 비율로 혼합한다. 단열박스에 도포하는 행위로 Resin과 Hardener는 혼합되어 일정시간이 지나면서 경화되어 단열박스를 지지해 주며, 선체의 굴곡(평평도)에 따라 Resin Rope의 굵기가 결정된다. 그러나 Resin과 Hardener를 혼합할 때에 대기 온도가 5°C 이하에서 Mixing을 위해 드럼에 공압 액추에이터를 이용하여 압력을 인가 할 경우 Resin과 Hardener는 혼합되기 전 낮은 온도에

서 점도가 높아져 산업현장에서의 적용이 어렵다. 이로 인해 주위 온도 변화에 관계 없이 원활한 토출을 위해 온도에 따른 압력 변화의 시험을 수행하였으며, 드럼에 Heating System을 적용하여 5°C 이하의 대기 온도에서 Resin의 토출을 수행할 수 있는 성능을 검증하였다.

2. 본론

2.1 Dosing 장비 메커니즘

Dosing 장비는 LNG운반선 화물창 내에 설치되는 단열박스 위에 도포되는 Resin의 도포를 위해 여러 장비와 연동하여 사용하는 장비이다. 이때 Dosing은 Epoxy Resin과 Hardener를 Mixing 하여 토출하는 것으로 LNG 운송 선박에서 선박건조 단계의 화물창 시공에서 매우 중요한 역할을 하는 구성요소이다. 그림 1은 Epoxy Resin의 Dosing 장비의 Lay out이다 즉 화물창 시공에 사용되는 단열박스를 Dosing 장비에 Loading 후 Dosing Equipment에서 Resin과 Hardener를 혼합하여 토출하는 것이다. 이때 Resin 및 Hardener는 온도 변화에 따라 원자재 상태에서는 공압 액추에이터에 영향을 미치게 되어 대기 온도가 5°C 이하에서는 토출할 수 없는 문제가 발생되었다.

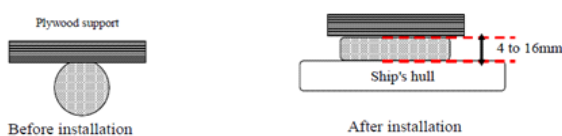


[그림 1] Dosing 장비의 Lay out

Dosing 장비는 기본적으로 200 리터 Drum으로 부터 Resin 및 Hardener를 흡입 및 이송하여 Mixer를 통해 혼합하는 장비이다. Resin 및 Hardener의 특수성을 고려하여 구동 방식은 유압식으로 동작하며 이상적인 배합 비율을 맞추기 위해 정밀한 토출과 안정적인 이송을 할 수 있는 구조로 설계되어졌다. 또한 이송 되어진 소재를 배합하기 위해 Static Mixer를 채용하여 안정적인 배합이 될 수 있도록 하는 것이다.

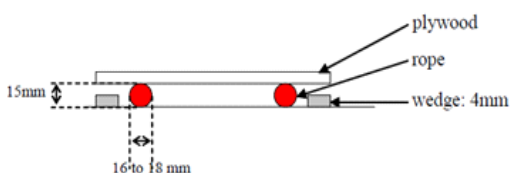
2.2 Epoxy Resin의 사양

LNG 선박의 내부 선체에 시공되는 단열박스의 베어링 상태뿐만 아니라 선체와 단열박스 영역에서 화물의 선적시 압력을 즉, 하중을 견딜 수 있는 강도를 유지해야 하며 단열박스와 선체 사이의 지지대 역할을 할 수 있도록 설계되었으며 좋은 접착 품질을 가져야 한다. 또한, $-45^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 의 온도를 견뎌야 한다. Resin은 다양한 색션의 로프 형태의 Dosing Equipment를 통해 적용되며 적용 방법은 그림 2와 같다.

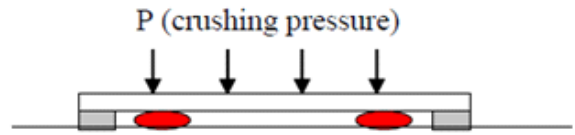


[그림 2] Epoxy Resin의 선체 적용 방법

이때 Crushing 상태의 Epoxy Resin은 이후 조건에 따라 쉽게 압축될 수 있는 충분한 부드러움을 나타내는 시간이 $+20^{\circ}\text{C}$ 에서 최소 3시간이며 필요한 Crushing 압력은 시간의 경과에 따라 $-5^{\circ}\text{C} \sim +35^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 이루어진다. 압력을 Crushing한 후, 함판은 제거와 접촉한다.



[그림 3] Crushing 전 상태



[그림 4] Crushing 후 상태

2.3 Dosing Equipment의 구성 조건 및 실험

2.3.1 Epoxy Resin과 Hardener의 압력과 실험

그림 5과 같이 공압 액추에이터의 200 리터 Drum 안에서 대기 온도가 5°C 이하에서 Epoxy Resin과 Hardener의 평균 압력값은 표 1과 같다.



[그림 5] 공압 액추에이터의 Drum 압력

[표 1] 대기 온도가 5°C 이하 평균 Pressure

Dispenser Pressure (Resin)	Dispenser Pressure (Hardener)
77.0625 kgf/cm ²	70.8125 kgf/cm ²

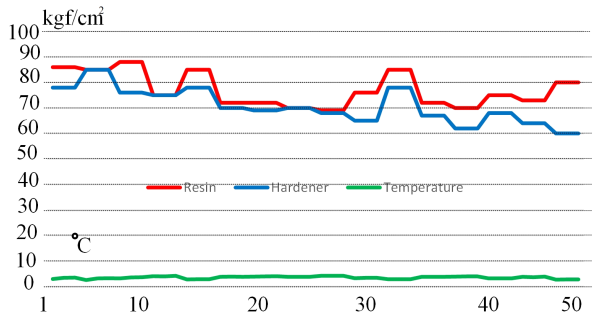
Dosing 압력이 높은 이유는 Epoxy Resin의 밀도가 높아서 생기는 현상이며 기온이 내려가면 Epoxy Resin이 점도가 높아져 굳어진다. Epoxy Resin과 Hardener의 혼합비와 혼합 용량은 표 2의 조건을 만족하는 범위 내에서 가변 동작할 수 있는 사양으로 구성되어야 한다.

[표 2] Epoxy Resin의 주요 사양

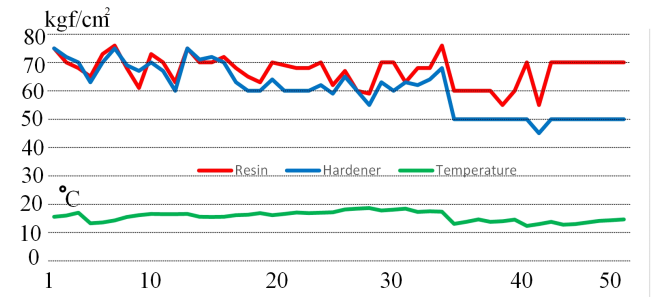
Mixing Ratio(질량비 기준)	100R : 26H $\pm 10\%$
Density	0.94G/cm ³

2.3.2 대기 온도가 5°C 이하 성능시험

본 연구는 LNG 운송선 내부 대기 온도가 5°C 이하에서 Epoxy Resin과 Hardener의 압력을 Test 한 것으로 그림 7은 온도에 따른 압력을 나타내는 그래프이다. 온도에 따른 압력 분포에서 온도가 낮을수록 압력이 높게 형성되는 것을 알 수 있다.



[그림 6] 대기 온도가 5°C 이하 압력 분포



[그림 8] Heating System 적용 압력 분포도

2.3.3 온도상승 시험을 위한 시험장치 설계 및 제작

본 연구에서 Epoxy 200 리터 Drum에 온도를 상승시킬 수 있는 종합성능 및 신뢰성 평가기술 개발을 위하여 그림 8과 같이 Heating System 시험기를 설계 및 제작하였다. Resin Pressure가 적용 전 77.06 kgf/cm²을 67.15 kgf/cm²로 9.91 kgf/cm²을 낮추어 적용 할 수 있었다. 성능 시험 장치는 온도를 5°C ~ +40°C 까지 조절할 수 있는 온도제어기와 40°C 이상의 온도 상승 시 자동제어가 가능한 센서를 적용하였다. 실시간 온도변화를 감지하여 자동 변환이 가능한 제어용 Indicator 시스템으로 구성되어 있다. 본 연구에서 Heating 시스템은 점도가 낮은 Epoxy의 원활한 토출을 위한 연구이며, 시험 후 LNG 운반선의 화물창 단열 설치에 사용되고 있다. 장비의 피로를 경감하고 현장 적용으로 생산 효율과 신뢰성을 향상시켰다.



[그림 7] Heating System 시험기

2.3.4 Heating System 적용 후 종합 성능시험

본 시험은 Heating System을 적용하여 압력을 Test 한 것으로 Epoxy가 담긴 200 Liters Drum의 압력을 시험하기 위하여, 먼저 Heating System의 공급 온도를 10°C부터 2°C씩 상승시켜 압력을 계속하였다. 그리고 압력이 당초보다 9.91 kgf/cm²이 낮아진 것을 그림 8과 표 3을 통해 알 수 있다. 시험 적용 결과 대기온도와 관계없이 분포가 67.15 kgf/cm²에 집중함으로 개발 목표치 8 kgf/cm²를 만족시키는 것을 확인할 수 있다. 이때 드럼의 평균온도는 15.6°C였다.

[표 3] Heating System 적용 평균 Pressure

Dispenser Pressure (Resin)	Dispenser Pressure (Hardener)	Temperature
67.14583333 kgf/cm ²	60.39583333 kgf/cm ²	15.58125°C

3. 결론

본 연구를 통하여 대기 온도와 무관하게 안정적인 토출과 Dosing Equipment의 부하 저감을 위한 최적의 설계를 위해 재료의 낮은 점도를 보완하고 온도에 따른 점도 저하를 예방하기 위한 Drum에 온도 상승 시스템을 적용하기 위한 다양한 시험을 수행 하였으며 Test 결과를 기반으로 Heating System을 설계 및 제작하였다. 특히 액추에이터 즉 실린더를 이용한 낮은 점도의 수지계열의 압력 System을 구현하기 위해서는 수지의 온도가 매우 중요하다. 시험을 통해 압력 형태의 예측과 낮은 점도의 재료가 가지는 주요 특성을 파악하고 이에 대한 압력 저감 대책을 수립하고 제작하여 시험을 통해 그 유효성을 입증하였다. 향후 연구에서는 LNG 운송선의 Laser를 이용한 육상과 해상에서의 Flatness Measuring 시스템의 적용 방법에 대해 검토할 예정이다.

참고문헌

- [1] SPECIFICATION FOR MATERIALS - LOAD BEARING MASTIC M3004 (프랑스 GTT사) pp. 4~05, 2008년
- [2] S. Y. Kim and B. H. Kang, "Thermal Design Analysis of a Liquid Hydrogen Vessel", Int. J. Hydrogen Energy 25, pp.133-141, 2000.
- [3] S. T.-W. Kim, Y.-S. Suh, K.-B. Jang, and K.-H. Cha, "A study and Design on Tank Container for Fuel Tank of LNG fueled ship," The Society of Naval Architects Engineering, vol. 46, no. 6, pp. 504-511, 2012.