스프레이 PUF를 이용한 LNG 저장탱크 외조 벽체의 열적 안정성 강화 방법에 대한 고찰

[†]이영범*,** · 최건형* · 윤인수* · 한종훈**

*한국가스공사 연구개발원, **서울대학교 화학생물공학부
(2013년 9월 16일 접수, 2014년 2월 13일 수정, 2014년 2월 13일 채택)

Review about Thermal Stability Reinforcing Method of the Concrete Sidewall of the LNG Storage Tank Using Sprayed PUF

[†]Yeongbeom Lee*,** · Keonhyeong Choe* · Ihnsoo Yoon* · Chonghun Han**

*R&D Dept. of Korea Gas Corporation, Kyonggi, Korea

**School of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea

(Received September 16, 2013; Revised February 13, 2014; Accepted February 13, 2014)

요약

LNG 저장탱크는 초저온(-162℃)의 액화천연가스(LNG)를 저장하는 시설로서 안전성이 크게 요구되는 시설물이다. LNG를 저장하는 내조에 문제가 일어나 LNG 누출이 발생했을 경우를 대비하여 종래에는 LNG 저장탱크 외부에 방류둑을 설치하게 되어 있었다. 하지만 이는 부지 활용도를 떨어뜨리고 저장탱크 건설비를 증가시키는 등의 문제점이 있어 근래 들어 저장탱크 벽체를 초저온에 견딜 수 있는 구조로 바꾸는 완전방호식 저장탱크를 제작함으로써 방류둑 설치를 하지 않고 있다. 탱크 벽체를 초저온에 견딜 수 있는 구조로 만드는 방법은 크게 두 가지가 있다. 하나는 초저온에 견딜 수 있는 철근을 사용하여 LNG 탱크 벽체 콘크리트를 제작하는 방법이며 다른 하나는 LNG 탱크 벽체 콘크리트 내부 표면에 초저온에 견딜 수 있는 스프레이 폴리우레탄 폼 등의 제품을 적용하여 내조로부터 LNG의 누출이 발생하여도 콘크리트 표면온도가 정해진 기간 동안 일정 온도 이하로 낮아지지 않도록 하는 방법이다. 최근 국내에서 건설하는 모든 LNG 저장탱크는 경제적이고 적용방법이 간단한 스프레이 폼을 사용하여 LNG 저장탱크 벽체의 저온 안전성을 강화하고 있다.

Abstract - LNG storage tank is a facility to store liquefied natural gas (LNG) and its safety and stability to be greatly needed. When there is a LNG leakage in case of primary container problem, a special facility such as a bund wall should be constructed to store the leaked LNG. But this method makes the land usage inefficient and construction price high. So nowadays the full containment type LNG storage tank is selected instead of constructing a bund wall. In the full containment type tank, the concrete sidewall has the ability to store LNG temporarily. There are largely two methods to give the concrete sidewall the ability. In a method, rebar should be used when constructing the side wall of the LNG storage tank. In the other method, the protecting material such as sprayed polyurethane foam should be applied on the inner surface of the concrete sidewall. Sprayed PUF keeps the temperature of the sidewall above the specified temperature during the specified periods. Recently the thermal stability reinforcing method using sprayed polyurethane foam has been applied to all LNG storage tank built in Korea.

Key words : liquefied natural gas, LNG storage tank, full containment, polyurethane foam, cryogenic temperature

[†]Corresponding author: yblee@kogas.or.kr

Copyright © 2014 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

LNG 저장탱크는 저장물인 LNG를 담아둘 수 있는 탱크의 구조에 따라 단독 탱크, 이중 탱크, 완전 방호식 탱크로 나눌 수 있다. 이 중 완전방호식 탱크는 부지의 활용성과 경제성을 높이기 위하여 LNG 생산 및 인수 기지에서 최근 선호되는 방식이다. 완전방호식 LNG 저장탱크는 저장물인 LNG를 담아둘기 위해 9% Ni로 구성된 내조(inner tank)와 내조에 문제가 생겨 LNG의 누출이 발생했을 경우 정해진 기간 동안 임시로 LNG 및 기화된 가스를 담아둘 수 있는 외조(outer tank)로 구성되어 있다. 외조, 특히 외조 벽체는 보통의 경우 콘크리트 구조물이며 콘크리트나 콘크리트의 인장강도 강화를 위해 사용되는 철근 등이 초저온의 열적하중을 견딜 수 없기 때문에 단독 탱크, 이중 탱크의 경우 LNG를 담아둘 수 있는 능력이 없다. 완전방호식 탱크의 조건을 맞추기 위해서는 이러한 벽체 콘크리트에 변화를 주어야 하며 변화를 주는 방법에는 크게 두 가지가 있다. 한 가지는 벽체 콘크리트의 인장강도 강화를 위해 철근 대신 초저온의 조건에서 사용할 수 있는 rebar라는 자재를 사용하는 것이며 다른 한 가지는 LNG의 온도(-162 °C)에서 사용할 수 있는 특수 코팅 자재를 벽체 콘크리트 내벽에 적용하여 LNG와 접촉하는 상황에서도 벽체 콘크리트 내벽의 온도가 정해진 시간(일반적으로 일주일) 동안 일정 온도 이하로 내려가는 것을 방지하는 방법이다. 후자의 경우 스프레이형 폴리우레탄 폼(이하 PUF)이 특수 코팅 자재로 많이 사용되고 있다.

II. 폴리우레탄 특성

2.1. 일반사항

Fig. 1에서와 같이 폴리우레탄은 연질에서 경질까지 밀도와 기계적 강도 등의 특성 조절이 가능하여 다양한 산업에서 중요한 역할을 하는 물질로서 조선소, 건설현장, 자동차 용품 및 신발 제품 등 우리 생활의 곳곳에서 그 용도를 발견할 수 있고 시간이 지날수록 그 적용범위가 광범위하게 넓어지고 있는 물질이다. 이 중에서 특히 경질 폴리우레탄 폼의 경우는 지구상에 알려진 가장 효과적인 단열재 중 하나로서 건축용에서부터 가정용 냉장고까지 다양한 분야에서 단열재로 사용되고 있다.

2.2. 화학반응

Fig. 2에서처럼 모든 폴리우레탄은 히드록시기(-OH)를 갖는 폴리올과 이소시아네이트기(-NCO)를 갖는

폴리이소시아네이트 사이의 발열반응에 의해 생성된다.

중합반응에 의해서는 고체의 폴리우레탄이 형성되며 폼을 만들기 위해서는 발포제(blowing agent)를 첨가해야 한다. 발포제는 주로 액상으로 반응물에 첨가되어 합성 반응에 의해 생성되는 반응열에 의해 고분자 혼합물 내에서 기화되어 발포가스를 형성함으로써 폴리우레탄으로 하여금 셀구조를 갖게 한다. 종래에는 프레온 계통의 화합물(CFC-11, HCFC-141b 등)이 발포제로 많이 사용되어 왔으나 오존층을 파괴하는 부작용으로 인해 근래 들어서는 탄화수소계(hydrocarbons) 및 탄화수소불소계(hydrofluorocarbons) 화합물이 대체발포제로 사용되고 있다. 우수한 단열성능을 나타내기 위해서는 밀도가 낮으면서도 높은 강도를 나타내야 하며 이러한 폴리우레탄 폼은 적절한 발포제를 사용하여 발포하여야 한다. 이를 위해서 폴리우레탄 폼은 Fig. 3처럼 독립기포(closed cell) 구조를 가져야 하며 가교결합(crosslinking)이 많이 형성되어야 한다. 보통의 경우 밀도는 35~55 kg/m³ 범위의 것이 많이 사용되며 폴리우레탄 폼 내의 작고 균일하게 형성된 독립 셀들이 열의 흐름을 효과적으로 차단시키는 역할을 한다.

폴리우레탄은 그 밀도를 6 kg/m³에서 1,220 kg/m³까지 조절이 가능하며 부드럽고 연한 탄성체(elas-

Fig. 1. Property matrix of polyurethanes[1].

Fig. 2. Polyurethane reaction.

Fig. 3. Cell structure of polyurethane foam.

toimer)에서 딱딱한 경질 플라스틱까지 고분자의 강성(stiffness) 조절 또한 용이하게 할 수 있다. 폴리우레탄 반응 혼합물의 또 다른 특징 중 하나는 혼합물 자체의 접착력이 매우 강하다는 것이다. 이런 폴리우레탄 반응 혼합물의 강한 접착력으로 인해 폴리우레탄은 냉장고, 건설용 패널, 선박 강화용 혼합체 등 복잡한 구조물 제작에 사용되는 경우 접착 등의 공정을 피할 수 있어 다른 고분자보다 우수한 경쟁력을 가진다 [1, 2].

2.3. 경질 폴리우레탄 폼

경질 폴리우레탄 폼의 밀도는 작게는 10 kg/m^3 에서 높게는 플라스틱에 가까운 $1,100 \text{ kg/m}^3$ 까지 조절이 가능하다. 하지만 단열재로 사용될 경우 많이 사용되는 밀도는 28 kg/m^3 에서 60 kg/m^3 까지이며 보통 약 40 kg/m^3 의 밀도에서 가장 낮은 열전도도를 나타낸다. 경질 폴리우레탄 폼은 밀도 대비 높은 강도를 타내며 원료물질 혼합 후 표면 경화가 일어나는 약 1분 정도 까지 매우 높은 접착력을 나타내며 건설 현장에서 사용되는 대부분의 표면물질에 뛰어난 접착성을 보인다. 많은 경우 이러한 접착력은 폴리우레탄 폼 자체가 나타내는 인장강도나 전단강도보다 높기 때문에 폴리우레탄을 손상시키지 않으면서 폼과 표면물질을 분리한다는 것은 불가능하다. [3]

III. 폴리우레탄 적용

3.1. 자동차

자동차 산업의 적용 분야는 좌석, 내부 패딩, 운전대, 대쉬보드, 차량 문 등 많은 부품에 걸쳐 있으며 최근에는 엔진 공간 부품 및 차대 구성품 등 구조체들도 폴리우레탄을 사용하여 제작하고 있다.

780mm Concrete block

260mm Softwood

130mm Fiber board

100mm Cork

90mm Mineral Wool

80mm Polystyrene

50mm Polyurethane

Fig. 4. Equivalent thermal thickness of various constructing materials[4].

3.2. 건설현장

경질 폴리우레탄 폼은 나무, 종이, 금속 등의 사이에 적용되어 복합재료(composites)들로 사용되며 건설 분야에서 중요한 역할을 차지한다. 이러한 복합재료들은 벽돌, 콘크리트, 나무와 같은 건설 자재들을 대체하고 있다.

3.3. 단열

Fig. 4에서 볼 수 있는 바와 같이 경질 폴리우레탄 폼은 단열용도에 있어서 경쟁상대가 없을 정도로 독보적인 성능을 나타내며 건물 단열재, 건설용 단열재, 냉장고용 단열재 및 액화가스 수송 탱크용 단열재로 많이 사용되고 있다.

3.4. 스프레이형 경질 폴리우레탄

이동식 분사 장치에 맞도록 혼합된 이성분 스프레이형 경질 폴리우레탄 폼은 산업현장이나 건설현장에서 표면에 뿌려서 적용하는 방식이나 공극을 채워 넣는 방식으로 적용되는 단열재로 그 적용범위가 매우 넓다. 특히 북미나, 일본, 한국 등에서 주거용 건물 지붕이나, 산업용 건물 지붕, 저장 탱크 등에 단열재로 그 사용이 증가하고 있다.

기술한 바와 같이 스프레이형 경질 폴리우레탄 폼은 건물의 지붕 및 저장탱크, 배관 작업 등에 단열재로 많이 사용되고 있으며 이 때 작업은 대부분 맨손으로 다룰 수 있는 고압 스프레이 건을 이용한다. 반응에 사용되는 두 성분은 각각 계량기를 통하여 역류가 불가능한 밸브를 통하여 스프레이 건(gun)

내부에 있는 작은 공간으로 유입되고 유입 압력에 의하여 충분히 혼합된 후 편향 판(deflector plate)을 통하여 미세한 비말(fine spray)로 분출된다. 스프레이 형태로 적용되는 폼 시스템(foam system)은 반응성이 높아야 하며 특히 적용면이 수직면일 경우는 흘러내림 현상을 방지하기 위하여 특히 반응성이 높아야 한다. 특별히 적용두께가 두꺼워야 하는 경우 수직면에 스프레이 폼을 적용하는 가장 적합한 방법은 15~20 mm 두께로 여러 차례 적용하여 원하는 두께를 올리는 방법이다. 스프레이 폼은 접착기면으로부터 대략 1 m 거리를 두고 접착기면에 직각 방향으로 분사하여 적용하여야 한다. 스프레이형 경질 폴리우레탄 폼은 접착기면이 평평하지 않고 둥글거나 곡률을 가지면서도 연속적이고, 높은 독립기포율과 낮은 투습도, 높은 단열성능을 요구하는 적용체의 경우 충분한 경제성을 갖춘 가장 선호되는 단열 적용방법이다. [7]

IV. 폴리우레탄 특성

4.1. 수증기(Water Vapor) 영향

경질 폴리우레탄 폼의 수증기 투과도(permeability)는 낮은 편이다. 신뢰할 수 있는 수증기 투과도 측정방법으로는 ASTM E96이나 ISO R1195가 있으며 이들 측정방법으로 25 mm 두께의 경질 폴리우레탄 폼 시편을 사용하여 38 °C, 90% 상대습도(relative humidity) 조건 하에서 측정할 경우 일반적으로 17~18 g/m²/day 정도의 투습율을 나타낸다.

4.2. 수분(Liquid Water) 영향

대기압 하에서 경질 폴리우레탄 폼에 의해 흡수되는 물의 양은 작다. 100 mm×100mm×25mm 크기의 경질 폴리우레탄 폼 시편을 상온의 물에 한 달 동안 잠그었을 때 시편이 흡수하는 물의 양은 시편의 셀 크기에 따라 3~5 vol% 정도이며 이러한 경우에도 수분 흡수는 단지 시편의 표면에 국한된다. 15년 이상 사용된 지붕 단열재로부터 채취한 경질 폴리우레탄 폼의 경우 대략 1% 미만의 수분을 함유하고 있다. Fig. 5로부터 상온 조건에서 PUF 용기에 담았던 물의 높이가 18일이 경과한 후에도 크게 변하지 않았음을 알 수 있으며 줄어든 물의 양도 증발에 의한 것으로 추정된다.

4.3. 열전도도(Thermal Conductivity)

열전도도는 한 물체를 통한 단위 두께, 단위 면적, 단위 온도 차에 의해 발생하는 열전달 속도를 의미하며 온도에 따라 변하는 물질의 고유한 성질이다.

Fig. 5. Test of liquid water effect.

Fig. 6. Thermal conductivity change of PUF as temperature (blown by HCFC-141b, 60 kg/m³)

Table 1. Test methods for PUF system

Test property	Test method
Apparent density	ISO 845, ASTM D1622 etc.
Thermal conductivity	ISO 2581, ASTM C518 etc.
Compressive strength	ISO 844, ASTM D1621 etc.
Tensile strength	ISO 1926, ASTM 1623 etc.
Tensile adhesive strength	ASTM D1623 etc.
Water absorption	ISO 2896, ASTM D2842 etc.
Water vapor transmission	ISO 1663, ASTM E96 etc.
Closed cell content	ISO 4590, ASTM D2856 etc.

경질 폴리우레탄 폼의 낮은 열전도도는 낮은 밀도와 미세한 독립기포를 채우고 있는 발포가스에 기인한다. 전형적인 경질 폴리우레탄 폼은 32 kg/m³의 밀도와 3 vol.%의 고분자와 97 vol.%의 가스로 이루어

저 있으며 따라서 경질 폴리우레탄 폼의 열전도도는 셀 내를 채우고 있는 가스의 열전도도에 따라 크게 달라진다. Fig. 6에 HCFC-141b 발포제를 사용하여 제작한 밀도 60 kg/m³인 PUF의 온도변화에 따른 열전도도를 제시하였다.

4.4. 물성 측정방법

Table 1에 폴리우레탄 폼에 대한 물성측정 방법을 정리하였다.

V. 액화가스탱크 코드 중 PUF 규정 부분

5.1. EN 14620-1 (2006)

액화가스탱크 설계코드, EN14620에서는 Fig. 7과 같이 완전방호식 탱크의 예를 제시하고 있다.

5.2. EN 14620-4 (2006)

EN 14620-4 section 6.4.5.2는 외조 탱크에 고정된 단열재에 대한 항으로서 다음의 사항들을 고려해야 한다고 규정하고 있다.

- 자체 하중과 열응력(thermal stress)을 고려하여 외조 탱크에 단열재를 고정시키는 방법
- 외조 탱크 벽체의 수축과 팽창
- 단열재 시스템의 수증기 및 수분 밀폐성(tightness)
- 환형 공간에서 단열재의 화학 저항성(chemical resistance)

5.3. API 625 (2010)

API 625 section 9.5.3은 벽체에 적용되는 스프레이형 단열재 설계에 대해 다음의 사항들을 규정하고 있다.

- 단열재는 누출된 저장물질과 접촉할 경우에도 벽체로부터 분리되어서는 안된다.
- 단열재 접착은 탱크 거동을 수용할 수 있도록

Fig. 7. Example of a full containment tank [4]

설계되어야 한다.

VI. LNG 저장탱크 스프레이 PUF 사양

LNG 저장탱크의 외조 탱크, 철제 증기차단막 안쪽에 적용되는 스프레이 PUF는 평상시는 저장물인 LNG가 증기로 기화되는 양을 줄여주며 LNG를 저장하는 내조 탱크의 누출이나 LNG의 넘침(overflow)이 발생하였을 경우에는 외조 탱크에 미치는 열충격(thermal shock)을 줄여주는 역할을 수행한다. Table 2에는 EN14620에 따른 완전방호식 탱크에 사용가능한 단열물질들이 제시되어 있다.

스프레이 PUF 시스템 중 유리섬유 그물(glass mesh)은 PUF의 보호를 위해 적용되어야 한다. 필요한 경우 초저온 환경 하에서도 충분한 기계적 및 화학적 성질을 유지하기 위하여 프라이머와 접착제가 프로젝트 발주자의 승인 하에 사용되어야 한다.

6.1. 스프레이 PUF 시스템 구성 물질 및 물성

스프레이 PUF 단열시스템의 구성물질들은 Table 3과 같고 각 구성물질의 물성은 Table 4와 같다.

6.2. 스프레이 PUF 시스템 건전성 시험 (Soundness Test)

본격적인 단열 공사 전에 해당 단열 시스템이 실제 사고 발생 시와 유사한 조건 하에서, LNG 온도

Table 2. Insulation material for full containment tanks [EN14620-4:2006(E) Table 4-2]

Material	Ring-beam	Bottom (normal service)	Roof insulation		Shell/wall insulation (normal service)		Thermal protection system	
			On susp. deck	On inner tank dome	In inter-space	On inside of wall	Without 9 % nickel steel plate	With 9 % nickel steel plate
Hard wood	X							
Pelite concrete blocks/beam	X							
Lightweight concrete blocks/beam	X							
Reinforced concrete	X*							
Cellular glass	X*	X						X
Expanded perlite			X	X	X			
Mineral wool blankets			X	X	X*			
PVC foam - MD		X						X
- HD	X*	X						X
PUF/PIR - ND BL-SPR-FIP								
- MD BL-SPR						X*	X*	X
- HD BL-SPR	X*	X					X*	X
- GR BL	X*	X					X*	X

* To be used as load distribution plate over the underlying thermal insulation material.

* To be used underneath a load distribution plate.

* Mineral wool blanket can be used as resilient blanket between perlite insulation and inner tank shell.

* Only special grades of spray-applied, jointless, vapour tight, liquid tight systems.

Symbols/Abbreviations

BL = block-type

FIP = pour-in-place

GR = glass fibre reinforced

HD = high density

MD = medium density

ND = normal density

SPR = spray-type

Table 3. Main materials of sprayed PUF insulation system [6]

Material	Purpose	Applied Part
Primer	Improvement of adhesion	Surface of wall vapor barrier
Sprayed PUF	Reduction of vapor evolution & thermal shock on outer tank	Surface of primer
Adhesive	Adhesion between PUF and mesh lining layer	Surface of PUF layer
Glass mesh	Reinforcement of PUF layer	Surface of PUF layer

Table 4. Properties of Main materials of sprayed PUF

Material	Property	Value
Primer	adhesive strength	≥ 0.49 MPa
Sprayed PUF	Thickness	≥ 50 mm/100 mm
	Adhesive strength	≥ 0.294 MPa
	Compressive strength	≥ 0.294 MPa
	Tensile strength	≥ 0.294 MPa
	Density	≥ 50 kg/m ³
Adhesive & Glass mesh	Thermal conductivity	≤ 0.0233 W/m/K
	adhesive strength	≥ 0.294 MPa

에서 사용 가능한지를 점검해야 하며 이를 건전성 시험이라 한다. 즉, 스프레이 PUF의 표면이 -162°C 의 온도에 노출되어 LNG 온도로 유지될 때 단열성능을 저해할 수 있는 어떠한 손상도 단열시스템을 구성하는 물질들에서 발생해서는 안된다. Fig. 8에 건전성 시험절차가 제시되어 있다.

6.3. 품질 유지(Quality Control)

제작자는 LNG 저장탱크에 해당 스프레이 PUF를 적용하기 위하여 필요한 품질유지 시스템을 갖추어야 하며 이를 위해서 다음의 사항들이 포함되어야 한다:

- 점검 및 시험 절차를 포함한 공장 제작 절차
- 점검 및 시험 절차를 포함한 현장 단열 작업 절차
- 점검 및 시험 기록과 보고서

VII. 스프레이 PUF 시스템 적용 절차

7.1. 스프레이 PUF 작업 절차

Table 5에 스프레이 PUF를 적용하는 절차가 제시되어 있다.

Fig. 8. Soundness test procedures.**Table 5.** Work procedure of PUF system [6]

Cleaning on wall vapor barrier surface	
Primer painting on wall vapor barrier surface	
PUF spraying	
PUF surface shaving	
Inspection of PUF thickness	
Applying adhesive	
Application of glass mesh	
Application of final adhesive

Fig. 9. Application of sprayed PUF system 01.

Fig. 10. Application of sprayed PUF system 02.

Fig. 11. Specimens for tensile adhesive strength.

7.2. 스프레이 PUF 적용

스프레이 PUF를 적용하기 전에 적용될 벽면의 사전처리가 이루어져야 한다. Carbon steel 벽면에는 기름기가 없어야 하며 접착력을 증대시키기 위하여 PUF를 스프레이하기 전에 primer를 적용한다. 스프레이 PUF 적용은 수작업을 통해 이루어지며 한번에 올릴 수 있는 두께는 15~20 mm 이며 이 이상으로 두께를 올릴 경우 두께에 따라 여러 번으로 나누어 적용하게 된다. Fig. 9와 Fig10.에 스프레이 PUF 시스템 적용 모습이 절차별로 제시되어 있다.

7.3. 스프레이 PUF 검사

스프레이 PUF가 원하는 대로 적용되는지를 판단하기 위하여 주기적으로 검사를 진행하며 검사항목

Table 6. Inspection of PUF spraying work [6]

Material	Test item	Frequency	Test method	Spec.
Primer	Tensile adhesive strength	1 time / day	ASTM D1623	49.0 N/cm ²
Sprayed PUF	Density	1 time / 1000 m ²	ASTM D1622	55 kg/m ³
	Thermal conductivity	1 time / 1000 m ²	ASTM C518	0.0233 W/m/K
	Compressive strength	1 time / 1000 m ²	ASTM D1621	29.4 N/cm ²
	Tensile strength	1 time / 1000 m ²	ISO 1926	29.4 N/cm ²
	Tensile adhesive strength	1 time / 1000 m ²	ASTM D1623	29.4 N/cm ²
Adhesive Str.	Tensile adhesive strength	1 time / 1000 m ²	ASTM D1623	29.4 N/cm ²

과 주기는 Table 6과 같다. Fig. 11에는 스프레이 PUF 구성 물질들의 인장강도 측정에 사용되는 시편들이 제시되어 있다.

VIII. 결 론

스프레이 PUF는 LNG 저장탱크 내조에 열충격 등의 문제로 인해 LNG 누수가 발생하였을 경우 경제적으로 LNG 저장탱크 벽체를 보호하는 효과적인 방법으로 적용방법도 간단하고 성능도 우수하여 근래에 한국에서 건설되는 LNG 저장탱크의 경우 모두 이 방법을 적용하고 있다.

참고문헌

- [1] George Woods, "THE ICI POLYURETHANE BOOK" 2-nd edition, ICI Polyurethanes and JOHN WILEY & SONS, pp 2.
- [2] David Randall and Steve Lee, "The Polyurethanes Book" JOHN WILEY & SONS, pp 3.
- [3] George Woods, "THE ICI POLYURETHANE BOOK" 2-nd edition, ICI Polyurethanes and JOHN WILEY & SONS, pp 127.
- [4] British Standard EN 14620:2006 Part 1: General, Part 4: Insulation Components
- [5] API Standard 625:2010, 1st Ed.

[6] "Specification for Material & Supply of Inner Tank Shell Insulation" for Samcheok LNG Terminal Phase III Project (#10~12 Tank)

[7] George Woods, "THE ICI POLYURETHANE BOOK" 2-nd edition, ICI Polyurethanes and JOHN WILEY & SONS, pp 152.