

유리섬유강화 플라스틱의 LNG 저장탱크용 합판 대체 가능성 평가

조 정 미 · 조 세 현 · 권 영 수 · † 김 상 범*

한국화이버 복합재료 연구소

*경기대학교 화학공학과

(2003년 2월 18일 접수, 2003년 3월 15일 채택)

Estimation for Adaptability of Fiber Reinforced Plastic Composite for LNG Storage Tank

J. M. Cho · S. H. Cho · Y. S. Kwon and S. B. Kim*

Advanced Composite Materials Institute, Hankuk Fiber Glass Company

**Department of Chemical Engineering, Kyonggi University*

(Received 18 February 2003 ; Accepted 15 March 2003)

요 약

대체 facing material 소재로 유력시되는 FRP를 사용하여 facing material이 갖추어야 할 압축, 인장 등 기계적 물성과, vapor barrier도, 화학적 안전성 등을 조사한 결과 모든 면에서 기존의 plywood보다 우수한 성질을 나타냄을 밝혔다.

본 연구의 결과로서 대체 facing material로 FRP를 사용할 경우 LNG 저장 탱크의 안전성이 향상되고 높은 vapor barrier기능으로 인해 탱크의 성능이 향상 되는등 다양한 장점을 나타냄을 알 수 있게 되었다.

따라서 본 연구의 결과는 LNG 저장 탱크의 성능을 개선하는데 기여하며, LNG 저장 탱크용 합판의 대체연구에 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract - In order to apply the properties of fiber reinforced plastic(FRP) to support panel of polyurethane foam in LNG storage tank, we estimated the mechanical properties, degree of vapour barrier, chemical stability and thermal conductivity changes as ageing. According to the results, the mechanical strength (i.g. compressive strength, bending strength, tensile strength and shear strength) are more than 30 times higher than those of plywood. The FRP-polyurethane foam(PUF) composites have lower thermal conductivity changes as ageing than plywood-PUF composites. FRP-PUF sandwich composite for LNG storage tank with these remarkable properties are compared the abilities of these structures with those of the conventional structures(plywood-PUF sandwich composite). Finally, we can obtain the effects such as superior mechanical properties and fuel saving through improved ability of vapor barrier.

Key words : FRP, LNG storage tank, facing material, polyurethane foam.

1. 서 론

전 세계적인 환경에 대한 관심의 고조로 청정원료 사용이 증가하고 있으며 그중 특히 LNG는 화석연료 중 가장 높은 증가율을 보

이고 있으며 국내에서의 사용량 역시 급격히 증가하고 있는 추세이다. 천연가스 사용량의 증가에 따라 이를 저장할 LNG저장탱크의 건설도 활발히 진행되고 있다.

LNG 저장탱크는 재료에 따라 크게 멤브레

인 타입과 9%니켈 타입으로 나눌수 있다. 9% 니켈 타입은 보냉재로 필라이트를 박스에 충전하여 사용하고 있으며 멤브레인 타입은 보냉재로 폴리우레탄폼을 사용하고 있다. 이때 폴리우레탄 폼은 면에 plywood를 초저온 폴리우레탄 접착제로 접착시켜 사용하고 있다. Plywood는 1)탱크 내부에서 가해주는 압력 및 하중을 분산, 지지하고 2)멤브레인과 판넬, 콘크리트와 판넬을 서로 연결시키는 역할 3) 폴리우레탄 폼의 발포가스가 외부로 방출되는것을 막아주는 Vapor Barrier의 역할을 한다. 이러한 기능을 원활히 수행하기 위해서 Plywood는 1) 우수한 기계적 물성을 가져야 하며 2) 가볍고 질겨서 수분 투과율이 낮아야하고 3) 가공성이 용이해야하며 4) 폴리우레탄 폼과 유사한 선팅창 계수(약 $3.6 \times 10^{-6} \text{cm}$)를 가져야 한다.

현재 사용되는 Plywood는 Apitong Plywood 와 Birch Plywood 와 Luan Plywood, Beech Plywood등이 있으나, 이들은 모두 핀란드와 일본등지에서 수입되고 있으며 가격도 일반 합판에 비해 매우 고가이다. 뿐만 아니라 목재의 특성상 장시간 방치할 경우에는 휨 등과 같은 변형이 발생 하는 경우도 있어 실제 공정에서 많은 어려움이 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 여러 단점이 있는 facing material인 plywood를 내충격성 및 내마모성, 치수안정성이 우수한 FRP로 대체하기 위한 연구의 일환으로 기계적 강도 측정 및 초저온 열충격 시험, 경시변화에 따른 열전도도 변화측정, 해수 및 암모니아 테스트를 통한 안전성 실험등을 통하여 plywood의 대체 가능성을 평가하였다.

2. 실 험

사용된 FRP는 한국화이버에서 제공한 시편을 사용하였다. 압축강도는 KSM3305-96방법을 사용하여 측정하였고, 인장 강도는 KSM 3305-96방법을 사용하였으며 시험편은 KSM 3006의 1호형을 적용하였다. 굽힘 강도와 전단 강도는 각각 ASTM D970과 ASTM D5379에 근거하여 측정하였다. 해수와 암모니아에 대한 안정성 평가는 해수 및 암모니아 분위기에서 6주간 시편을 방치시킨 후 압축강도를 측정하여 평가하였으며, 열충격 실험은 Gas Transport & Technology(GTT)방법을 사용하여 -192℃의 저온조에 2시간 담근 후 상온에서 30분간

방치하는 과정을 3회 반복한 후 육안으로 박리 여부를 관찰하였고 열전도도는 ASTM C518방법으로 측정하였다. 열충격 후의 cell 구조를 관찰하기 위하여 Jeol사의 모델 JSM-5200인 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscope ; SEM)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

현재 사용되는 Plywood는 건설되는 탱크 의 용량 및 형태에 따라 조금씩의 차이는 있으나 현재 사용되는 Facing Mterial인 Plywood의 경우 GTT 기준에 따르면 압축강도는 두께 12 mm 경우에 평균 4.5 MPa 이상, 인장강도는 두께 9 mm 경우에 평균 2.0 MPa 이상으로 규정되어 있다. 구체적인 사양은 표 1과 같다

Table 1. Plywood Specification.⁰⁾

시험항목	Plywood 종류		측정방법
	12 mm	9 mm	
Compressive Strength, ≥	4.5 3.6 ¹⁾	-	ISO 3132 KSF 3113
Ultimate Bending, ≥	30	-	ASTM 3043 KSF 3113
Ultimate Tensile, ≥	-	60 50 ¹⁾	ISO 3345
	-	40 30 ¹⁾	
Tensile Strength, ≥	-	2.0 1.5 ¹⁾	ISO 3345
Shearing Strength, ≥	-	* 3.5 * 2.8 ¹⁾	ISO 3347 KSF 3113 KSF 3101
	-	@ 1.4 @ 1.1 ¹⁾	

0) ; 단위, MPa

1) ; 시편개개의 최소치이며, 그 외는 평균치

* ; 20℃에서의 시험기준치

@ ; 내수시험기준

3.1. FRP의 기계적 물성 측정

Plywood를 대체할 FRP의 기계적 강도를 측정하기 위하여 FRP의 두께를 각각 3 mm, 4 mm, 5 mm, 7 mm로 변화시키면서 압축 강도와 인장 강도를 측정하였다. 압축 강도는 ASTM D695와 유사한 KSM 3305-96방법을 사용하였고, 인장 강도는 KSM 3305-96방법을 사용하였으며 시험편은 KSM 3006의 1호형을 적용하였다.

Table 2. Mechanical Properties of FRP and Plywood.

Thick-ness (mm)	Tensile Strength		Compressive Strength		Bending Strength		Shear Strength	
	Plywood ¹ (MPa)	FRP ² (MPa)	Plywood ³ (MPa)	FRP ² (MPa)	Plywood ⁴ (MPa)	FRP ⁵ (MPa)	Plywood ⁶ (MPa)	FRP ⁵ (MPa)
3	-	376	-	342	-	413	-	76
4	-	494	-	360	-	468	-	89
5	-	454	-	371	-	479	-	96
7	-	450	-	394	-	526	-	103
9	2.0	-	-	-	-	-	3.5	-
12	-	-	4.5	-	30	-	-	-

¹ Test Method : ISO 3346

⁴ Test Method : KSM 3305-96

Test Sample Shape : KSM 3006-1

³ Test Method : ISO 3132

⁵ Test Method : ASTM 3043

² Test Method : KSF 3113

⁶ Test Method : ISO 3347

Test Sample Shape : KSM 3006-1

현재 사용되는 Facing Material인 Plywood의 경우 GTT 기준에 따르면 압축 강도는 두께 12 mm 경우에 평균 4.5 MPa 이상, 인장 강도는 두께 9 mm 경우에 평균 2.0 MPa 이상으로 규정되어 있으나 표2에서 보는 바와 같이 한국화이바에서 제공한 FRP의 경우 두께 3 mm인 경우에도 인장 강도와 압축 강도가 376 MPa과 342 MPa를 나타내어 관련 규격보다 80 배 이상 높은 값을 나타내었다. 굽힘 강도와 전단 강도는 각각 KSF 3113로 측정하였다. 이 경우에도 압축 강도와 인장 강도에서와 같이 최소 13배의 강도를 나타내는 것을 알 수 있었다.

노출 되어있어도 변화가 없음을 확인하였으며, 이로서 화학적으로 매우 안정함을 알 수 있다.

Table 3. Mechanical Srength Changes of FRP as Ageing in the Sea Water.

Thick-ness (mm)	Tensile Strength		Compressive Strength	
	FRP ¹ (MPa)	FRP ² (MPa)	FRP ¹ (MPa)	FRP ² (MPa)
3	376	374	342	339
4	494	493	360	359

1 : Not aged FRP in the sea water

2 : Aged FRP in the sea water

3.2. FRP의 화학적 안정성 실험

Plywood와 같이 화학적 안전성을 알아보기 위하여 FRP의 암모니아 및 해수 안전성 실험을 실시하였다. 기밀이 유지되는 오븐에 공기를 완전히 제거한 후 암모니아 분위기가 형성되도록 암모니아 가스를 충분히 유입시켰다. 또한 해수와 동일한 조성의 용액을 준비하며 일정한 온도가 유지되도록 항온 수조를 준비하였다.

해수와 암모니아가 각각 포화된 Chamber에 시편을 넣고 6주가 경과한 후에 시료를 채취하여 상온에서 2시간 동안 방치한 후 UTM을 이용하여 각각의 압축 물성을 측정하여 비교하였다.

표3과 4에서 보는 바와 같이 FRP의 압축 및 인장 강도는 해수 및 암모니아 환경에 장시간

Table 4. Mechanical Srength Changes of FRP as Ageing in the Ammonia.

Thick-ness (mm)	Tensile Strength		Compressive Strength	
	FRP ¹ (MPa)	FRP ² (MPa)	FRP ¹ (MPa)	FRP ² (MPa)
3	376	376	342	341
4	494	495	360	359

1 : Not aged FRP in the ammonia

2 : Aged FRP in the ammonia

Table 5. Thermal Conductivity Changes of PUF Panel as Ageing.

Density of PUF (kg/m ³)	Sample shape	Thermal Conductivity (kcal/mh ^{°C})			
			1	2	3
45	PUF	Thermal Conductivity	0.018	0.023	0.032
		Aged days	20	210	640
	PUF Panel (FRP Board)	Thermal Conductivity	0.025	0.029	0.033
		Aged days	25	220	635
	PUF Panel (Plywood Board)	Thermal Conductivity	0.029	0.034	0.039
		Aged days	25	220	635
80	PUF	Thermal Conductivity	0.020	0.025	0.032
		Aged days	20	210	641
	PUF Panel (FRP Board)	Thermal Conductivity	0.029	0.033	0.035
		Aged days	25	220	636
	PUF Panel (Plywood Board)	Thermal Conductivity	0.034	0.037	0.041
		Aged days	25	220	636

Test Method : ASTM C518

3.3. FRP-PUF Panel의 열전도도 변화

Facing Material을 사용하지 않은 폴리우레탄 폼과 두께가 3.1 mm인 FRP를 사용한 폴리우레탄 폼, 두께가 6 mm인 Plywood를 사용한 폴리우레탄 폼의 경시변화에 따른 열전도도 변화를 관찰하였다. 샘플의 두께는 모두 25 mm로 동일하였으며 열전도도를 측정한 후의 샘플은 랩을 사용하여 밀봉시킨 후 실리카겔 데시케이터에 보관하여 다음 측정에 사용하였다.

밀도가 45 kg/m³인 폼의 경우 발포 후 시간이 20일, 210일, 640일 경과함에 따라 열전도도가 0.018(kcal/mh^{°C})에서 0.023, 0.032로 변화하여 약 0.014 kcal/mh^{°C} 증가하였고 Plywood 폼은 0.029(kcal/mh^{°C})에서 0.034, 0.039로 변화하여 약 0.012 kcal/mh^{°C} 증가하였으나 FRP 폼은 0.025(kcal/mh^{°C})에서 0.029, 0.033으로 변화하여 약 0.008 kcal/mh^{°C} 만이 증가하여 가장 낮은 증가율을 보였다.

또한 밀도가 80 kg/m³인 폼의 경우 발포 후 시간이 20일, 210일, 640일 경과함에 따라 열전도도가 0.020(kcal/mh^{°C})에서 0.025, 0.032로 변화하여 약 0.012 kcal/mh^{°C} 증가하였고 Plywood

폼은 0.034(kcal/mh^{°C})에서 0.037, 0.041로 변화하여 약 0.007 kcal/mh^{°C} 증가하였으나 FRP 폼은 0.029(kcal/mh^{°C})에서 0.033, 0.035로 변화하여 약 0.006 kcal/mh^{°C} 만이 증가하여 밀도 45 kg/m³인 폼과 동일하게 가장 낮은 증가율을 보였다.

따라서 Facing Material을 사용하지 않은 경우보다는 사용한 경우의 열전도도 변화가 훨씬 적음을 알 수 있으며, Facing Material로 합판보다는 FRP를 사용한 경우의 열전도도 변화가 적음을 알 수 있다. 즉, 합판보다는 FRP의 Vapor Barrier능이 우수함을 알 수 있다.

3.4. FRP-PUF-FRP Panel의 열 충격 및 저온 충격 실험

저온 충격 실험과 초저온에서의 Thermal Shock Test를 실시한 결과를 표 6 및 7에 나타내었다.

단열재의 Facing Material로써 Plywood와 FRP를 사용한 PUF Panel의 충격 실험을 상온과 저온(-70 °C)에서 각각 수행하였다. 각각의 시편을 상온에서 0.65kg의 Impact Ball로 높이

1.0, 1.3, 1.7, 2.0 m에서 자유 낙하시켜 Impact Force를 가하였다. 그 결과 Plywood Panel은 1.3 m에서 가한 충격에 의하여 시편 표면에 육안으로 확인 가능한 손상이 발견되었으나 PUF Panel은 2.0 m에서 가한 충격에도 육안으로 특이한 표면 손상을 관찰할 수 없었다.

또한 -70 °C에서 2.1kg의 Impact Ball을 1.0, 1.3, 1.7, 2.0 m의 높이에서 FRP Panel과 Plywood Panel에 각각 자유 낙하시켜 Impact Force를 표면에 가한 후 시편 표면의 손상 유무를 관찰하였다. FRP Panel과 Plywood Panel 모두 외부에 특별한 손상이 발견되지 않았다.

Plywood의 경우 상온에서의 Ball Impact Test에서는 표면 손상이 발견되었으나 저온에서의 실험에서는 표면 손상이 발견되지 않은 것은 합판의 탄성증가 때문인 것으로 추측된다.

FRP의 경우 상온 및 저온에서의 Ball Impact Test에서 모두 표면 손상이 발견되지 않았으며 이는 FRP의 탄성 때문인 것으로 추측된다. FRP의 높은 탄성이 판넬에 가해지는 충격을 흡수하지 못하고 폼으로 직접 충격을 전달하여 폼에 미치는 영향을 알아 보기위해 저온에서 Ball Impact Test를 수행한 샘플로 액체질소를 이용한 열충격 실험을 수행하여 폼의 균열 유무를 관찰하였다.

Table 6. Ball Impact Test Results of PUF Panel.

		The Height of Impact Test (m)			
Facing Material	Impact Force (kgf)	1	1.3	1.7	2.0
Plywood (12T)	0.65 ^{a)}	N/D ^{c)}	D ^{c)}	D ^{d)}	D ^{d)}
	2.1 ^{b)}	N/D ^{c)}	N/D ^{c)}	N/D	N/D
FRP (3.1T)	0.65 ^{a)}	N/D ^{c)}	N/D ^{c)}	N/D ^{d)}	N/D ^{d)}
	2.0 ^{b)}	N/D ^{c)}	N/D ^{c)}	N/D ^{d)}	N/D ^{d)}

Temp.: a) Room Temperature, b) -70 °C
 PUF Density : c) 60 kg/m³, d) 80 kg/m³
 N/D : Not Damaged
 D : Damaged
 Density : 80 kg/m³

Table 7. Thermal Shock Test Results of FRP Panel.

Density (kg/m ³)	Test No.		
	1	2	3
60	N/D	N/D	N/D
80	N/D	N/D	N/D

N/D : Not Damaged

Test Condition : In LN₂ Chamber

열충격 실험 결과 FRP Panel은 균열이 발생하지 않음을 관찰할 수 있었다.

4. 결 론

대체 facing material 소재로 가장 유력시되는 한국 화이버에서 생산된 FRP를 사용하여 facing material이 갖추어야 할 압축, 인장 등 기계적 물성 과, vapor barrier정도, 화학적 안전성 등을 조사한 결과 모든 면에서 기존의 plywood보다 우수한 성질을 나타냄을 밝혔다.

본 연구의 결과로서 대체 facing material로 FRP를 사용할 경우 LNG 저장 탱크의 안전성이 향상되고 높은 vapor barrier능으로 인해 탱크의 성능이 향상 되는등 다양한 장점을 나타냄을 알 수 있게 되었다. 따라서 본 연구의 결과는 LNG 저장 탱크의 성능을 개선하는데 기여하며, LNG 저장 탱크용 plywood의 대체연구에 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. J-M. Cho, B-J Park, S-H Cho, and S-J Lee, *Proceedings of The Second Asian-Australasian Conference on Composite Materials (ACCM-2000)*, 1278, (2000)
2. 대림산업, "인원인수기지 13, 14호 탱크 기술제외서", 3, (1997)