

# 기계적 강도 향상 및 대전방지 효과 부여 PIR foam의 특성

강영구 · 김근유\*

호서대학교 안전시스템공학과 · \*호서대학교 벤처전문대학원

## 1. 서 론

액체수소, 액체헬륨, LNG등 초저온 액화가스연료는 우주항공분야, 대체에너지원 및 청정연료로서 각광받고 있으며, 초저온 액화가스의 수요 증가로 인해 초저온 가스의 저장 및 이송에 관련된 설비나 소재관련 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

LNG 설비의 보냉재로 사용되는 소재는 Polystyrene foam, PUB(Polyurethane) foam, PIR(Polyisocyaurate) foam, PVC foam<sup>1)</sup> 등이 있으며, PIR foam은 낮은 Smoke density등의 우수한 난연성특성 및 열안정성<sup>2)</sup>을 가지고 있어 각종 구조물의 단열재, LNG tank 및 Carrier의 보냉재, Sandwich panel 등으로 사용되고 있다<sup>3)</sup>. 그러나 PIR foam은 Isocyanate trimer의 특성으로 인하여 기계적 강도 및 치수안정성이 떨어지며, Ring 구조에 따른 낮은 압축강도 등의 단점을 가지고 있다<sup>4)</sup>.

본 논문에서는 PIR foam의 기계적 강도 향상 및 대전방지 효과를 위해 전기 전도성 Carbon fiber 및 Carbon black을 충전하여 PIR foam을 제조하였다. Fiber 형태의 충전제에 의한 강도 향상 효과와 함께 전기 전도성을 부여하고 특성을 평가함으로써 고도의 안전성을 필요로 하는 초저온 액화가스등의 보냉재로 사용되는 PIR foam의 기계적 특성 및 대전방지 특성에 관하여 고찰해보았다.

## 2. Rigid Polyurethane foam

초저온가스설비의 보냉재는 치수안정성이나 난연성, 열안정성, 강도특성 등이 필요하며, 보냉재로 사용되는 Polyurethane foam은 약 28~50kg/m<sup>3</sup>의 밀도와 기본적인 난연성을 가지고있어야 한다. 난연성의 향상을 위하여 Halogen 및 Phosphorus계통의 첨가형 난연제가 사용되거나, Polyisocyanurate(PIR)을 이용하는 방법이<sup>5)</sup> 사용되고 있다.

Polyurethane foam과 Polyisocyanurate foam은 Polystyrene foam이나 Glass fiber, Perlite 등의 단열·보냉 소재에 비하여 우수한 Thermal insulation 특성을 가지고 있지만, 기계적 강도가 약한 단점 때문에 Sandwich panel이나 Glass fiber reinforced polyurethane rigid foam 등으로 가공되어 사용된다<sup>1)</sup>.

PU foam, PIR foam, PS foam을 비교 시 동일한 density에서 PIR foam의 Thermal conductivity가 가장 낮으며, PU foam은 100~130℃에서 변성이 일어나는 반면 PIR foam은 350~500℃까지 안정된 Thermal resistance를 보인다<sup>6)</sup>. Polyisocyanurate는 Isocyanate의 Trimerization에 의하여 합성하며 Isocyanurate ring을 포함한다.

Table 1. Thermal conductivity of Insulating foam products.

Properties	PU foam	PIR foam	PS foam
Density(kg/m <sup>3</sup> )	14~42	24~56	24~80
Thermal conductivity(W/mK)	0.0125~0.034	0.012~0.02	0.023~0.034

### 3. 실험

#### 3.1. Formulation & Foaming

전기전도성 Filler 및 강도보강제로 사용된 Carbon fiber 및 Carbon black은 Dry oven에서 100℃, 48hr 동안 건조하였다. 각각의 Filler를 함량별로(Table 2.) 충전하고, Filler의 혼합 및 분산성 향상을 위하여 분산제로 TEA(Tri methanol amine)을 1wt% 첨가하였다. Filler가 충전된 Polyol을 약 1hr동안 Pre-mixing하고, Mixing된 Polyol과 MDI를 1: 1비율로 Homogenizer를 이용하여 약 5,000~5,500R.P.M으로 혼합 발포하여 시편을 제조하였다.

Table 2. Formulation of product (wt%)

Fillers	No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
PIR	100	96	94	92	90	88	86	84	82	80	
Carbon fiber	0	0	2	4	6	8	10	12	14	16	
Carbon Black	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
TEA	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

#### 3.2. Morphology 특성

Zooming Stereomicroscope를 이용하여 표면 특성을 관찰함으로써 제조된 Foam의 발포특성 및 전도성 충전제의 분산상태를 알아보았다.(×100)

#### 3.2. Mechanical test

제조된 Foam의 기계적 강도특성을 알아보기 위하여 ASTM D1623 규격에 의거하여 기존의 PIR foam과 Filler를 충전한 Foam의 인장강도를 비교 측정하였다.

#### 3.3. Volume resistivity

제조된 Foam의 대전방지특성 및 Conductive filler의 분산성 알아보기 위하여 체적 저항을 측정하였다. 함량별로 제조된 시료를 ASTM D257에 의거 Micro-ohm meter를 이용하여 4 Probe방식으로 체적 저항을 측정하였다.

## 4. 결과

### 4.1. Morphology 특성

Fig.1.의 a)는 PIR foam의 발포상태 및 Cell 구조를 나타낸 것이다. b)는 PIR foam에 Carbon fiber의 분산형태이며, a)와 c)의 비교 시 Filler를 충전한 시편의 경우에도 균일한 Cell 구조를 나타낸다.



Fig. 1. Morphology of PIR foam

a)PIR foam    b)PIR foam/Carbon fiber    c)PIR foam/Carbon fiber/Carbon black

### 4.2. Mechanical test

인장강도 시험 결과 Carbon fiber의 충전에 따른 강도 증가를 나타냈으나, Filler의 충전 함량이 15wt%이상부터 강도저하가 나타났다.

Table 3. Test result of Tensile strength (kgf/cm<sup>2</sup>)

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tensile strength	2.15	1.71	2.26	2.47	2.68	3.02	2.71	2.08	1.86	1.62

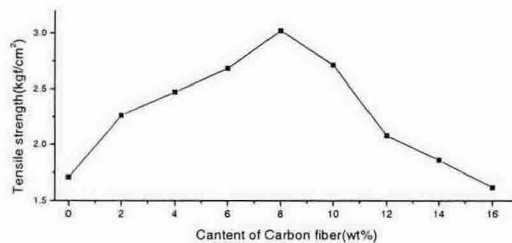


Fig. 2. Test result of Tensile strength

### 4.2. Volume resistivity

체적저항 측정 시 1번 시편(PIR 100%)은 전기절연체특성으로 제외하였다. Carbon black 단독으로 충전한 경우  $10^{14}\Omega \cdot \text{cm}$  이상으로(전기절연체) 나타냈으며, Carbon fiber 충전시부터 전기전도도를 나타냈다. Carbon fiber 충전시  $10^5 \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$  범위의 저항값을 나타냈다.

Table 4. Test result of Volume resistivity

 $(\Omega \cdot \text{cm})$ 

Sample No.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volume resistivity	$>10^{14}$	$3.4 \times 10^{10}$	$7.7 \times 10^9$	$9.1 \times 10^7$	$4.3 \times 10^7$	$1.1 \times 10^7$	$8.4 \times 10^6$	$5.2 \times 10^5$	$4.8 \times 10^5$

## 5. 결 론

본 연구에서 제조된 PIR foam의 기계적 강도 및 전기 전도특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 나타내었다.

1. 발포체 표면의 Morphology 측정 결과 Filler의 충전시 균일한 Cell 구조를 나타냈으나, Filler함량 15wt%부터 filler의 분산성 저하 및 Open cell 비율 증가를 나타냈다.
2. Carbon fiber의 함량 4wt%~10wt%에서 우수한 강도를 나타냈으며, (20%이상향상) 8wt%에서 최고값을 나타냈다. 12wt% 이상시 과충진에 의한 Filler의 aggregation 및 Open cell 증가로 강도 저하를 나타냈다.
3. Carbon black 단독으로 사용 시 발포에 따른 체적증가로 입자들 사이의 간격이 증가 전자의 흐름이 차단되어  $10^{14}$  이상인 전기적 절연체의 저항값을 나타냈다. Carbon fiber 충전시 발포로 인해 넓어진 Carbon black 입자 사이에 Fiber가 분산되어 전기 전도성이 나타난 것으로 사료된다. Carbon fiber 충전 시  $10^5 \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$  범위의 저항값을 나타내었다. Carbon fiber 6wt% 이상부터는 대전방지용 재료로 사용 가능한 전기전도성 ( $10^6 \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ )이며, 14wt% 이상 충전시  $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 로 우수한 전기전도 특성을 나타냈으나 강도 저하의 단점을 나타냈다. Filler의 고충진시 기계적물성 저하 방지를 위한 차후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구는 강도 향상 및 대전방지 효과를 부여한 PIR foam 특성에 관한 것으로 Fiber 상태의 filler인 전기전도성 Carbon fiber를 사용함으로써 강도보강 효과와 전기 전도특성 ( $10^5 \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ )을 나타내어 고도의 안전성을 필요로 하는 액화가스설비의 보냉재로 사용 시 강도보강 및 대전방지형 보냉재로 적용 가능할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. G. Oertel, Polyurethane Handbook, 2nd edn. Hanser, Munich, 1994.
2. A. Naruse, H. Nanno, M. Kurita, The Development of all water-blown Polyisocyanurate foam system metal-faced continuous sandwich panels, Polyurethane Expo 2001, api, 2001.

3. A. Demhater, Polyurethane rigid foam, a proven thermal insulating material for applications between +130°C and -196°C, Cryogenic, vol 38, pp113-117, 1998.
4. M. Szycher, Szycher's Handbook of Polyurethanes, CRC Press LLC, 1999.
5. Brown, J.H. et al. U.S. Pat. 4,169,922, Oct. 2, 1979, "Rigid polyurethane foam-forming compositions" to Monsanto Co.
6. M. Alger, Polymer Science Dictionary, Chapman & Hall, p421, 1996.