

# 경량 난연성 성형체 제조 및 특성

강영구 · 조명호\*

호서대학교 안전시스템공학과 · \*호서대학교 대학원 안전공학과

## I. 서론

플라스틱 제품은 경량이며 내후성, 내구성, 방음성, 단열성, 절연성 등이 우수하고 또한 발포가공에 의해 원료 폴리머의 사용량을 저감시켜 생산원가를 줄일 수 있다는 커다란 장점이 있다. 그러나 물리적인 강도, 가연성, 내열성 등의 한계점 때문에 그 용도가 제한되고 있는 실정이다. 형상 변경이 비교적 용이한 경량 구조체를 이용한 건축소재는 협소공간의 고도 이용과 건설 분야의 양적, 질적인 측면에서 급속한 성장으로 건축자재의 경량화, 고급화 및 다양화를 요구하고 있으며 이에 polyurethane, polyethylene, polystyrene 등의 플라스틱 및 foam 형태의 저밀도 고분자 건축소재의 사용이 급증되고 있다.<sup>1)</sup>

최근 미국 및 유럽의 몇몇 선진국에서는 rigid skin 구조의 structural foam에 대한 연구를 통해 강도가 큰 건축재료나 구조재로 사용될 수 있도록 개발하여 건축물의 내장재, 외장재, 전기·전자 제품의 housing, 목재의 대용품<sup>2)</sup> 등으로 사용하려는 노력을 기울이고 있다.<sup>3)</sup> 반응형 또는 첨가형 난연제와의 혼합가공에 의한 고분자의 난연화 노력에도 불구하고 이러한 플라스틱류는 빠른 화재전파, 난연성 저하, 화재발생시 과다연기발생 등의 문제점을 가지고 있어 화재에 대한 위험성이 매우 높다.

따라서 본 연구에서 Fly ash, Cement 등을 혼합하여 건축재, 구조재로 사용되는 고분자 성형체에<sup>4)</sup> 대한 난연성 결여 등의 단점을 개선하기 위해 난연 및 연기밀도 감소 효과를 가지고 있는 powder상으로 분쇄된 EAF Slag, 복합상용화제를 이용한 폐PE, 폐PP의 플라스틱을 재활용함으로써 환경적 측면을 고려하고 저밀도, 단열, 방음, 흡음성이 우수한 Perlite, Vermiculite를 혼합하는 방법으로 경량 및 난연성능을 나타내는 유무기복합형 경량 난연성형체를 제조하였으며 각 함량변화에 따른 UL기준에 의한 난연성, LOI, 밀도, 인장강도, 충격강도 시험 등을 통하여 경량 안전 구조재로서의 적합성을 평가하였다.

## II. 실험

### 1) 성형체 제조

본 실험에서 사용된 폐PE(RPE)는 milk bottle, 폐PP(RPP)는 가정용 bottles를 수거, 세척, 건조하여 5mm 이하의 chip상태로 분쇄하여 원료로 사용하였다. 상용화제는

MAH(Maleic Anhydride) 관능기가 도입된 PE-g-MAH, PP-g-MAH를 복합 상용화제로서 사용하였으며 무기 Filler로는 Electric Arc Furnace Slag(EAF slag)를 325mesh 이하로 미분쇄하여 사용하였으며 경량무기 Filler로서 냉·보온재 용도로 사용된 후 폐기되는 Perlite와 Vermiculite 폐기물을 분쇄 가공하여 사용하였다. 난연제로는 Mg(OH)<sub>2</sub>(Duhor, C-041), 기계적 물성 향상을 위한 Fiber상 보강재는 국내 K사의 공정 Scrap인 Silane처리된 폐Glass fiber(S-RGF)를 3mm이하로 절단하여 사용하였다. Vacuum drying oven에서 폐PE, 폐PP는 60℃에서 24hr이상 항량건조하였고, 미분쇄 Slag는 100℃이상에서 48hr이상 건조 후 성형가공 하였다.

혼합은 Double Cone Mixer로 30RPM으로 10min 혼합 후 160~200℃ 온도구간으로 설정된 Twin screw extruder를 이용해 압출하여 Pellet화하였다. 성형된 Pellet을 80℃에서 48hr동안 항량건조하여 Hot press(DAKE사, USA)를 이용해 상하열판의 온도 190℃, 200kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 Table 1과 같은 함량비의 시편을 Compression molding에 의해 성형하였다.

## 2) UL 난연성 시험

UL94V 측정방법에 의해 5in×5in×0.5in의 난연성 측정 시험편을 제작하고 수직상태의 시편 하단부에 10sec동안 점화한 후 시편의 연소시간을 측정하여 난연등급을 평가하였다.

Table 1. Composition of the resulted specimens

Sample No.	Mixture(wt%)								
	RPE	RPP	PE-g-MAH	PP-g-MAH	Mg(OH) <sub>2</sub>	S-RGF	EAF Slag	Perlight	Vermiculite
1	10	30	5	5	27.5	7.5	15	-	-
2	9	27	4.5	4.5	27.5	7.5	20		
3	9	27	4.5	4.5	27.5	7.5	10	10	-
4	9	27	4.5	4.5	27.5	7.5	-	20	-
5	9	27	4.5	4.5	27.5	7.5	10	-	10
6	9	27	4.5	4.5	27.5	7.5	-	-	20

### 3) LOI(Limiting Oxygen Index)

산소지수는 상온에서 Plastic의 유염연소상태를 유지할 수 있는 최소산소농도를 의미하며 난연특성은 산소지수가 높을수록 우수하다. ASTM D2863에 의해 제조된 시편을 Oxygen Index Flammability Tester(Yasuda사, No. 214)에 고정시켜 N2와 O2의 함량을 일정 농도로 제어하고 가스화염을 이용하여 시편에 착화 후 연소현상을 관찰하여 LOI를 측정하였다.

### 4) 기계적 물성 시험

인장강도 측정은 Compression molding 후 제조된 복합 성형체를 ASTM D638 규격에 맞춰 제작된 유압 Press Mold에 의해 규격시편 제작후 Materials Testing Machine(Houndfield사, H5K-S)으로 측정하였다. 충격강도 측정은 ASTM D256 규격에 의해 시험편을 제작한 후 Izod Impact Strength Tester(Sungjin Corporation, SJI-00)에 지지한 후 타격에 의한 시험편의 충격강도를 측정하였다.

## III. 결 과

### 1) UL94V Test

Sample 2에서 5의 시편은 무기충진물의 함량이 55wt(%)로 UL94 수직난연시험에서 V-0등급의 우수한 난연성능을 나타내었고 Sample 1과 같이 50wt(%) 이하의 무기충진물 함량에서는 UL94V-1등급의 성능을 나타내었다.

### 2) LOI Test

LOI 시험에서는 유기물질인 고분자의 함량이 50wt(%)인 경우 가장 낮은 24.2로 나타났으며 유기물의 함량이 45wt(%)인 경우 Slag가 다량 포함되어 있는 Sample 2가 27.2의 가장 높은 산소지수를 나타내었다. Perlite가 혼합된 sample 3, 4의 경우 각각 26.5, 25.5의 산소지수를 나타내었으며 Vermiculite가 혼합된 sample 5, 6은 26.6, 25.3의 LOI 값을 나타냄으로써 EAF Slag가 20wt(%) 포함된 경우 가장 높은 LOI값을 나타내었다.

EAF Slag는 다량의 연기밀도 감소의 효과가 있는 것으로 알려져 있으며<sup>5)</sup> Sample 1~6의 성형체는 난연제인 Mg(OH)<sub>2</sub>의 함량을 27.5wt(%)로 일정하게 혼합한 시편으로 EAF Slag의 혼합량에 따라 산소지수에도 많은 영향을 나타낸다는 것을 알 있다. Perlite와 Vermiculite 또한 무기Filler로서 사용되었으나 이 성분은 산소지수에 영향을 주는 요소가 아닌 것을 알수 있다.

EAF Slag가 20wt(%) 혼합된 시편의 경우 난연성능은 우수하나 Slag의 중량에 의해 성형체의 밀도가 1.44g/cm<sup>3</sup>로 상당히 높게 측정되어 경량성이 떨어지는 단점이 있으며 성형체의 밀도가 가장 낮은 시편은 Perlite가 20wt(%) 혼합된 sample 4로 0.92g/cm<sup>3</sup>의

밀도를 나타내었다.

### 3) 기계적 물성 시험

제조된 성형체는 Table 1에서 보는바와 같이 총 6개의 시편이 제작되었으며 무기 Filler 성분의 함량이 50wt(%)이상이나 Silane 처리된 RGF에 보강으로 150kg/cm<sup>2</sup>이상의 높은 인장강도를 나타내었으며 3.12~3.62kgcm/cm<sup>2</sup> 사이의 적은 충격강도 차이를 나타내어 첨가된 무기충진물의 종류에 따른 영향이 없는 것으로 사료된다. 그러나 인장강도의 경우 Perlite, Vermiculite의 충진함량이 증가할수록 더욱 낮은 인장강도특성을 나타내었으며 특히 Perlite의 20wt(%)가 충진된 시편은 154.6kg/cm<sup>2</sup>의 가장 낮은 인장강도를 나타내었다.

## IV. 결 론

복합상용화제를 사용한 폐PE/PP blend내에 S-RGF, EAF Slag, Mg(OH)<sub>2</sub>, Perlite, Vermiculite를 혼합하여 제조된 유무기 복합성형체의 난연특성 및 기계적 강도특성을 측정하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) Mg(OH)<sub>2</sub> 27.5wt(%)를 포함하여 무기충진물의 함량이 55wt(%) 이상인 경우 UL94V-0의 난연성을 나타낸다.
- 2) 복합성형체에 포함된 EAF Slag는 산소지수를 향상시키는 특성을 나타내었으나

Table 2. Flammability and mechanical properties of produced composites

Sample No.	UL94	LOI	Tensile Strength(kg/cm <sup>2</sup> )	Izod Impact Strength(kgcm/cm <sup>2</sup> )	Density (g/cm <sup>3</sup> )
1	V-1	24.2	188.7	3.46	1.35
2	V-0	27.2	182.4	3.12	1.44
3	V-0	26.5	172.9	3.55	1.25
4	V-0	25.5	154.6	3.38	0.92
5	V-0	26.6	173.5	3.62	1.32
6	V-0	25.3	164.4	3.59	1.05

Perlite와 Vermiculite는 무기 Filler로서 열흡수에 대한 효과는 있으나 난연성을 향상시키는 요소가 아닌 것으로 나타났다.

- 3) 제조된 성형체에서 EAF Slag, Perlite, Vermiculite의 무기 충전제의 종류에 따른 충격강도에 대한 영향은 작으나 인장강도의 경우 Perlite, Vermiculite의 충전 함량이 증가할수록 더욱 낮은 인장강도특성을 나타내며 특히 Perlite가 충전된 경우 더욱 낮은 인장강도를 나타낸다.
- 4) EAF Slag가 20wt(%) 포함된 성형체는 1.44g/cm<sup>3</sup>로 높은 밀도를 나타내나 Perlite, Vermiculite 등을 혼합할 경우 0.92g/cm<sup>3</sup> 밀도로 경량성, 인장강도, 충격 강도의 기계적 특성, 난연성을 동시에 나타내는 복합성형체의 제조가 가능하다.

## 감사의 글

본 연구는 21C 프론티어 연구개발사업(산업폐기물 재활용 기술개발사업)의 연구비 지원으로 이루어 졌으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) M. Merklein and M. Geiger, "New materials and production technologies for innovative lightweight constructions", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 125-126, pp. 532-536, 2002.
- 2) D. R. Carroll, R. B. Stone, A. M. Sirignano, R. M. Saindon, S. C. Gose and M. A. Friedman, "Structural properties of recycled plastic/sawdust lumber decking planks", Resources, Conservation and Recycling, Vol. 31, pp. 241-251, 2001.
- 3) M. Modesti and A. Lorenzetti, "Halogen-free flame retardants for polymeric foams", Polymer Degradation and Stability, Volume 78, pp. 167-173, 2002.
- 4) J. M. L. Reis and A. J. M. Ferreira, "Fracture behavior of glass fiber reinforced polymer concrete", Polymer Testing, Vol. 22, pp. 149-153, 2003.
- 5) 강영구, 서상기, 유재근, 조명호, "폐 PE/EAF Slag 분말 복합성형체의 난연특성", 2001년 춘계폐기물관련학회공동학술대회논문집, pp. 339-344, 2001.