

폴리올레핀계 폐플라스틱/복합filler 성형체의 난연성 및 기계적 물성 연구

강영구[†] · 송종혁^{*}

호서대학교 환경안전공학부 안전시스템공학과 · ^{*}호서대학교 벤처전문대학원
(2003. 1. 21. 접수 / 2003. 5. 28. 채택)

Flame Retardancy and Mechanical Property of Recycled Polyolefinic Plastic Composites with Hybrid fillers

Young-Goo Kang[†] · Jong-Hyeok Song^{*}

Department of Safety System Engineering, Hoseo University · ^{*}Graduate School of Venture, Hoseo University
(Received January 21, 2003 / Accepted May 28, 2003)

Abstract : Flame retardancy and mechanical properties of recycled polyolefinic plastics/inorganic filler composite systems were investigated by using several inorganic flame retardants such as magnesium hydroxide and slag powder generated electro arc furnace. Compatibilizer used each maleic anhydride functionalized polyethylene (PE-g-MAH) and polypropylene(PP-g-MAH) or used mixture of these. The effect of polymeric compatibilizers on the properties of composites was studied by tensile and impact test, differential scanning calorimetry, morphology in the changed fracture mechanism. The improved adhesion was particularly reflected in the mechanical properties. The flame retardancy of composites was examined by measuring limiting oxygen index(LOI, ASTM D2863), smoke density(ASTM D2843) and vertical burning test(UL94). Regarding the flame retardant effect, the EAF slag powder is behaving as synergists as they are only active in the presence of magnesium hydroxide.

Key Words : flame retardancy, recycled plastic, polyethylene, polypropylene, polymer blends, compatibilizer, limiting oxygen index, smoke density

1. 서 론

플라스틱은 우수한 가공성, 경량성, 경제성 등의 장점으로 금속재료와 무기재료가 사용되었던 많은 산업분야의 재료들을 대체하고 있다¹⁾. 석유화학공업의 발전과 함께 플라스틱의 성능이 많이 향상되면서 항공기, 자동차, 지하철, 고속전철 및 건축용 구조재에 이르기까지 그 용도가 확대되고 있으나 특수한 초내열성 플라스틱을 제외하고는 플라스틱 자체의 연소에 대한 취약성으로 인해 화재 발생시 안전상의 문제점을 해결할 수 있는 고분자의 난연화 기술이 요구된다. 고분자의 난연화 방법은 고분자 자체의 내열성을 향상시키거나 난연제의 첨가없이 고분자 물질의 구조상 방향족 혹은 불활성 group

의 도입에 의해 내열성 및 char 형성 능력을 향상시키는 방법²⁾, inorganic filler를 첨가하여 가연성 고분자의 비율을 작게하여 가연성분 함량감소 효과를 이용하는 방법, 난연성 재료와의 복합구조화에 의한 가연성 고분자의 보호법 등이 있다³⁾. 가장 일반적인 난연화 기술은 난연제의 첨가에 의한 방법이며 난연제는 크게 첨가형과 반응형으로 나뉘고 첨가형은 다시 무기계 난연제와 유기계 난연제로 구분된다⁴⁾.

무기계 난연제는 저가이며 환경오염성이 없기 때문에 폴리올레핀계 플라스틱의 난연화에 널리 사용되고 있으나 난연성능을 나타내기 위한 충전량이 40~60wt(%) 이상이기 때문에 난연소재의 기계적 물성을 현저히 저하시키는 단점이 있다⁵⁾. 유기계 난연제는 고분자와의 compounding이 용이하고 난연효과가 우수하여 널리 사용되고 있으며 그 중에서도 DBDPO(Decabromodiphenyloxide)와 같은 브롬계 화

[†]To whom correspondence should be addressed.
ykgang@office.hoseo.ac.kr

합물이 사용되고 있으나 브롬계 난연제는 화재 시 환경오염 및 인체유해 물질로 규제되고 있는 다이옥신 및 Br 화합물을 다량으로 분해 방출하는 물질로 유럽을 중심으로 규제되고 있어 비할로겐계 난연제의 개발에 많은 연구가 진행되고 있다⁶⁾. 이러한 이유로 페플라스틱을 이용한 성형체 가공에 있어 난연제의 적용은 virgin 원료를 이용한 난연소재 생산보다 더욱 제한적일 수밖에 없다. 플라스틱 생산대국인 우리나라의 경우 매년 많은 양의 플라스틱이 폐기물로 배출되고 있으나 그중 일부만 재활용되고 있는 실정이며 발생되는 페플라스틱의 50% 이상을 차지하는 폴리올레핀계 수지는 우수한 가공성에도 불구하고 폴리머 자체의 내열성이 낮아 그 용도가 제한되고 있다⁷⁾. 페플라스틱을 이용한 성형제품의 생산에 있어 고가의 난연제를 사용하는 것은 경제성에 문제가 있기 때문에 폴리올레핀계 플라스틱에는 Calcium carbonate, Talc와 같은 저가형 filler나⁸⁾ ATH, Mg(OH)₂가 주로 사용되지만 고층진에 따른 cost 문제와 성형체의 기계적 물성저하 문제를 생각해야 한다. 페플라스틱은 한가지 성분으로 배출되는 것이 아니라 혼합되어 있는 경우가 대부분이기 때문에 가공 후 기계적 물성저하 문제는 더욱 심각하다^{9,10)}. 이는 화학적 구조가 서로 다른 물질로 구성된 blend에서 발생하는 낮은 계면접착력(interfacial adhesion)으로 인한 상분리가 원인이며 이러한 문제를 해결하기 위해서는 상용화제(compatibilizer)를 이용한 상용화 기술이^{11,12)} 필요하다. 상용화제는 두종류 이상의 고분자를 blend 함에 있어 상분리를 억제하여 평형상태의 상구조를 유지시킴으로써 고분자를 안정화시키는 특성을 갖는 물질을 의미하며 blend에 사용된 고분자와 유사한 구조와 solubility parameter를 갖는 block 또는 graft 공중합체가 널리 사용된다¹³⁻¹⁵⁾. 이에 본 연구에서는 혼합된 폴리올레핀계 페플라스틱의 원료적 특성을 해결하기 위해 무수말레인산으로 graft된 폴리에틸렌과 폴리프로필렌을¹⁶⁾ 단일 및 복합상용화제로 첨가함으로써 혼합되어진 폴리에틸렌과 폴리프로필렌의 상용화를 통한 기계적 물성의 향상과 고분자의 안정화를 통한 난연특성의 향상을 관찰하였으며 국내 제강업체에서 발생되고 있는 폐기물인 전기로 Slag를 분쇄가공하여 수산화마그네슘과 복합filler로 적용하여 페플라스틱 복합성형체를 제조한 후 LOI, UL94V, Smoke density 시험을 통해 복합filler의 난연효과와 formulation에 따른 성형체의 난연특성을 비교하였다.

2. 이론적 배경

2.1. 고분자의 연소

고분자의 연소과정은 Heating에 의한 고분자 표면의 열분해(Pyrolysis)과정, 가연성 가스의 생성 과정, 가연성 가스와 공기의 혼합기 형성과정, 점화원에 의한 연소과정으로 요약할 수 있으며 일단 연소가 시작되면 연소과정에서 생성된 연소열이 다시 고분자 표면의 열분해에 기여하는 Thermal feedback 현상에 의해 고분자의 연소는 진행된다¹⁷⁾(Fig. 1).

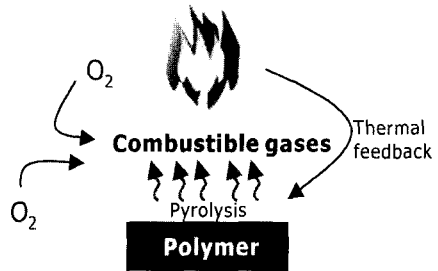


Fig. 1. Schematic representation of polymer combustion¹⁸⁾

2.2. 난연제를 이용한 고분자의 난연화

첨가형 난연제의 작용기구는 크게 세가지로 구분되는데 첫째는 분해시 불연성 기체 또는 비중이 큰 기체를 형성하여 산소의 공급을 차단하고 라디칼을 포착함으로써 연쇄반응을 차단하는 것이며 주로 Br 이나 Cl이 포함된 할로겐계 난연제나 Ammonium phosphate의 작용기구이다¹⁹⁾. 둘째는 인계 난연제의 작용기구로 열분해에 의해 생성된 Char가 연소열이 고분자의 내부로 다시 전달되는 것을 방지하는 경우와 Char가 생성될 때 발생하는 탈수작용에 의해 생성되는 탄소피막이 산소를 차단하여 연소를 억제하는 경우가 있다²⁰⁾. 셋째는 재료의 비열이나 열전도도를 증가시키는 방법으로 고층진의 무기filler나 무기수화물이 사용된다. 수산화알루미늄과 수산화마그네슘은 분해온도에서 수증기를 발생시켜 증발잠열로 feedback되는 연소열의 온도를 감소시키고 산소의 농도를 희석시켜 소화시킨다²¹⁾.

난연제를 이용한 고분자의 난연화를 위해서는 연소단계에 따른 난연제의 작용기구와 고분자 수지의 화학적, 열적, 기계적 특성을 정확히 분석하여 적용하여야 하며 난연제의 복합화에 따른 난연 및 억연 상승작용에 대한 고찰도 필요하다.

3. 실험

3.1. 재료

본 연구에 사용된 열가소성 수지인 재생폴리에틸렌(Recycled polyethylene)은 가정용 milk bottle을 수거하여 5φ under size의 chip 상태로 분쇄 후 사용하였으며 재생폴리프로필렌(Recycled polypropylene)의 경우 공정 scrap을 사용하였다. 본 연구에 사용된 Matrix 수지인 폐HDPE와 폐PP의 성형온도 조건을 도출하고 복합상용화제 적용에 따른 상용성을 평가하기 위해 승온속도 10°C/min, 시료무게 8~12mg으로 Air 분위기 조건에서 DSC(DSC-822e, Mettler Toledo Ltd.)측정을 하였다. Inorganic filler로 사용된 전기로 제강 슬래그(EAF slag)는 1/2 inch under size를 진동 rod mill로 1차 분쇄가공하고 진동 ball mill로 2차 가공하여 얻은 200~325mesh 입도범위의 powder를 사용하였으며 화학성분 분석결과 조성은 Table 1과 같다. 첨가된 난연제로는 분말상의 Mg(OH)₂(C-041, DUHOR)가 사용되었으며 폐HDPE와 폐Polypropylene의 상용화를 위한 상용화제로서 PE-g-MAH(EM-520M, Honam Petrochemical)와 PP-g-MAH(CM-1120, Honam Petrochemical)를 1:1 비율로 혼합한 복합상용화제를 사용하였다.

3.2. 성형체 제조

폴리올레핀계 폐플라스틱 원료인 폐HDPE와 폐PP chip, 상용화제로는 PE-g-MAH, PP-g-MAH를 vacuum drying oven에서 60°C, 12hr 동안 건조하여 90°C에서 24hr이상 건조된 EAF Slag powder, Mg(OH)₂와 Double cone mixer에서 30rpm으로 10분간 혼합한 후 twin screw extruder를 이용해 60rpm으로 압출하여 pelletizing 하였다. 가공된 pellet을 70°C에서 24hr이상 건조한 후 Hot press에서 200kgf/cm²의 압력으로 압착 성형하였으며 기계적 강도 측정

Table 1. Chemical compositions of EAF slag

Compositions	Concentrations(%)
SiO ₂	19.48
Al ₂ O ₃	9.53
Fe ₂ O ₃	23.75
CaO	21.34
MgO	8.44
MnO	3.56
Others	13.9

및 난연성 측정을 위해 시험방법에 맞는 크기로 각종 시험편을 제작하였다. Table 2에 DSC 측정을 통해 도출된 폐HDPE/폐PP/EAF Slag power/Mg(OH)₂ 복합성형체의 성형온도조건을 나타내었다. Fig. 2는 폐HDPE와 폐PP의 DSC 분석 결과를 나타낸 것이며 Table 3은 성형체 제조에 사용된 원료들의 배합조건 및 조성변화를 나타낸 것이다.

3.3. 시험방법

3.3.1. SEM(Scanning Electron Microscopy)측정

SEM(PSEM-75, RJ Lee Instruments Ltd.)은 상용화제의 종류에 따른 상이 다른 폐HDPE와 폐PP의 분산도와 계면간의 결합정도를 관찰하기 위한 시험으로 시편을 액체 질소 내에서 냉각 후 파단시켜 그

Table 2. Processing temperature of recycled plastic/EAF slag composite

Processing Temperature(°C)				
Feed	Extrusion			Compression Molding
	Barrel 1	Barrel 2	Die	
175	205	210	230	225

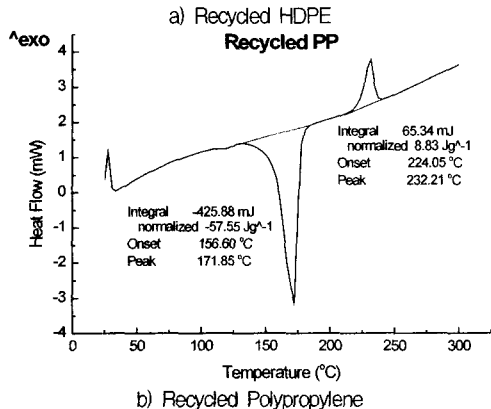
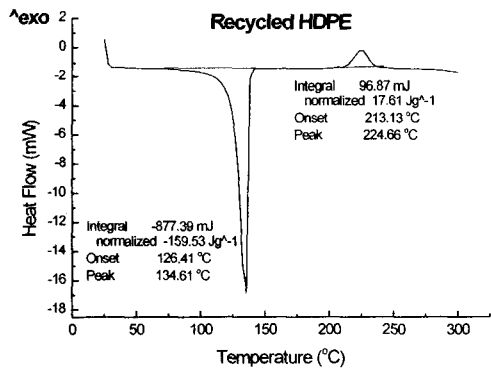


Fig. 2. DSC curves of recycled plastics

Table 3. Formulation of recycled plastic/EAF slag composites

Material sample	R-PE	R-PP	PE-g-MAH	PP-g-MAH	Slag	Mg(OH) ₂
1	50	50	-	-	-	-
2	40	40	20	-	-	-
3	40	40	-	20	-	-
4	40	40	10	10	-	-
5	20	20	5	5	-	50
6	20	20	5	5	10	40
7	20	20	5	5	20	30
8	20	20	5	5	30	20
9	20	20	5	5	40	10
10	20	20	5	5	50	-

과단면을 gold sputtering한 후 1,000~2,300배의 배율에서 관찰하였다.

3.3.2. 기계적 강도 측정

제조된 성형체의 상용화제에 따른 기계적 물성과 난연성 Filler에 따른 기계적 물성을 평가하기 위해 ASTM D638 규격으로 시편을 가공한 후 만능재료시험기(HTE-5000N, Hounsfield)를 이용하여 인장강도와 신장율을 측정하였으며 ASTM D256의 규격에 따라 복합성형체의 충격강도를 측정하였다.

3.3.3. LOI(Limiting Oxygen Index) 측정

LOI는 상온에서 플라스틱의 유연연소 상태를 유지할 수 있는 최소산소농도를 의미하며 산소지수가 높을수록 난연성이 높다고 평가된다. 본 연구를 통해 제조된 성형체의 filler의 조합에 따른 최소산소농도를 ASTM D2863에 따라 Oxygen Index Flammability Tester(No. 214, Yasuda Ltd.)를 이용하여 측정하였다.

3.3.4. UL94V 측정

제조된 복합성형체를 5inch×0.5inch×0.5inch의 크기로 시험편을 각각 5개씩 가공하여 UL94V test 기준에 의해 측정하였다.

3.3.5 Smoke Density 측정

Smoke Density는 ASTM D2843 규격에 따라 1×1×1/4inch size의 시험편을 가공하고 Smoke Density Chamber(7700, U. S. Testing Co. Inc.)에서 LPG Burner를 이용해 40psi의 압력으로 시험편을 착화하여 15초 간격으로 연소로 인해 발생하는 연기 발생량을 비교하였으며 연기발생량의 증가에 따른 chamber내에 광도계의 광감쇄율을 4분 동안 측정하였다.

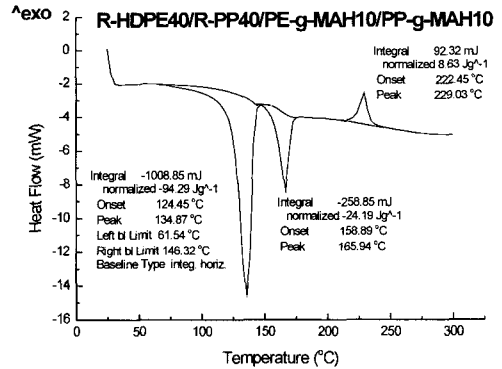


Fig. 3. DSC Curve of R-HDPE/R-PP Blends using Dual compatibilizer

4. 실험결과

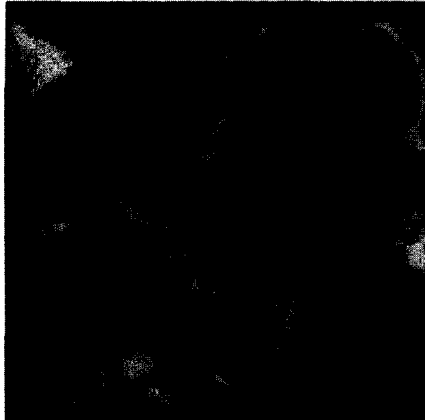
4.1. 혼합페플라스틱의 상용성 평가

페플라스틱은 대부분 혼합되어진 상태로 배출되기 때문에 본 연구에서는 폴리에틸렌과 폴리프로필렌을 1:1로 혼합하여 Matrix 수지로 사용하였으며 상이 다른 고분자의 혼합성 향상을 위하여 상용화제를 이용하였다. PE/PP Blend는 상용성 Blend제이나 난연화를 위한 무기물의 충전량이 높기 때문에 기계적 강도나 난연성과 같은 물성을 얻기 위해서는 고분자의 안정화가 필요하다.

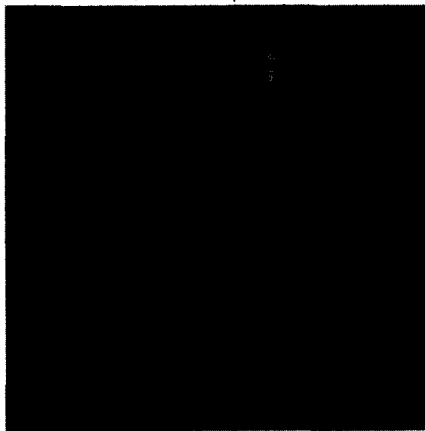
상용화제 적용에 따른 고분자 blend의 상용성 향상을 평가하기 위해 DSC 측정을 통한 성형체의 용융점을 조사한 결과 Fig. 3에 나타난 바와 같이 두 고분자의 용융점의 Gap이 중간지점으로 약간의 shift 현상을 보인 것을 알 수 있는데 이는 상용성의 향상으로 해석할 수 있으며 제조된 시편을 과단하여 과단면의 Morphology를 SEM을 이용하여 관찰한 결과 Fig. 4에 나타난 바와 같이 상용화제가 적용되지 않은 시편(a)의 경우 두 polymer의 상이 분리되거나 단독상용화제를 적용한 시편(b)의 경우 안정한 분산상을 이루며 5~10 μ m의 domain size를 나타내었고 복합상용화제를 적용한 시편(c)의 경우 1 μ m 이하의 안정한 분산상을 나타내었다.

이러한 Morphology 특성은 성형체의 강도특성에서도 같은 결과를 나타내었는데 페HDPE와 페PP를 단순 혼합한 경우의 인장강도는 125.4kgf/cm²이지만 단독상용화제를 사용하였을 경우 Table 4에 나타난 바와 같이 141.1~145.8kgf/cm²으로 평균 15% 향상되었으며 PE-g-MAH와 PP-g-MAH를 복합상용화제로 사용할 경우 166.6kgf/cm²의 우수한 결과를 나타

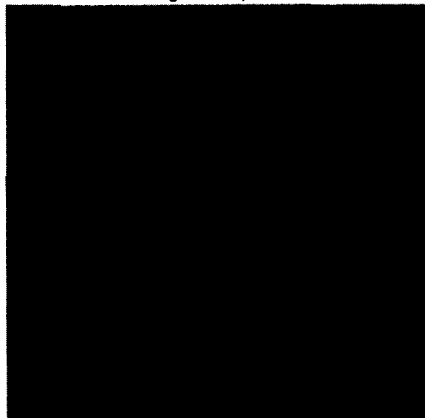
내었고 충격강도 또한 상용화제를 적용하지 않은 성형체와 비교하여 약 두 배 이상의 우수한 강도특성을 나타내었다.



a) Non Compatibilizer



b) Single Compatibilizer



c) Dual Compatibilizer

Fig. 4. SEM photographs of fractured surfaces of polymer blends as compatibilizer

Table 4. Mechanical properties of recycled HDPE/recycled PET blends

Sample No.	Tensile strength (kgf/cm ²)	Impact strength (kgfcm/cm ²)	Elongation (%)
1	125.4	5.77	4.3
2	141.1	9.22	7.8
3	145.8	8.26	5.5
4	166.6	10.6	5.2

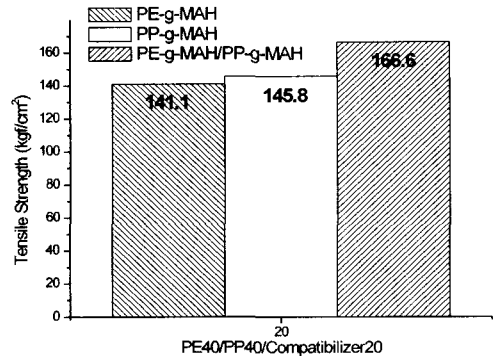


Fig. 5. Tensile strength in terms of different compatibilizers

4.2. 전기로 Slag/무기계 난연제의 배합비에 따른 폐플라스틱 복합재료의 강도특성

혼합폐플라스틱의 상용성 평가를 통해 Matrix 수지의 최적 Formulation을 결정하고 Filler 총함량 50wt(%)를 기준으로 전기로 Slag/Mg(OH)₂의 배합비율을 0/5, 1/4, 2/3, 3/2, 4/1, 5/0 으로 혼합한 후 성형체를 제조하여 충전제의 배합비에 따른 폐플라스틱 복합체의 강도특성을 평가한 결과 EAF Slag powder의 함량이 증가함에 따라 인장강도는 조금씩 증가하였으나 충격강도는 약간 감소하는 경향을 보였고 신율은 비슷한 값을 나타내었다.

Slag powder의 함량 증가에 따른 인장특성의 향상은 겉보기 비중이 큰 전기로 Slag powder의 함량이 증가함에 따라 상대적으로 수지의 체적비가 증가하기 때문이라고 사료되며 복합재료의 강도특성 결과를 Table 5에 요약하였다.

Table 5. Mechanical properties of recycled plastics/EAF slag composites

Sample No.	Tensile strength (kgf/cm ²)	Impact strength (kgfcm/cm ²)	Elongation (%)
5	102.5	4.98	5.2
6	109.1	4.21	5.4
7	124.5	4.14	6.2
8	123.6	3.84	5.6
9	127.1	3.66	5.4
10	129.4	3.55	5.3

4.3. 전기로 Slag/무기계 난연제의 배합비에 따른 페플라스틱 복합재료의 난연특성

일반적으로 PE와 PP의 LOI 값은 17.4~18.0의 범위로 알려져 있으며²²⁾ 본 실험에 사용된 페플라스틱의 LOI를 측정된 결과 페PE는 18.0, 페PP는 18.2의 결과를 나타내었다. 상용화제를 첨가하지 않은 페PE/페PP 혼합성형체의 경우 18.3의 LOI 지수를 나타내었고 상용화제의 첨가에 따른 LOI 지수의 증가치는 작았으나 반복 실험한 결과 상용화제를 첨가하지 않은 성형체보다는 약간 높은 값을 나타내었다. 이는 상용화제 또한 주성분이 올레핀계 수지이기 때문에 난연성의 향상에 큰 영향이 되지 않는 못하지만 약간의 증가치는 상용성 향상에 의한 고분자의 안정화에 기인한 것으로 사료된다. 이러한 결과는 전기로 Slag powder만을 filler로 하고 상용화제의 첨가에 따른 LOI 지수를 측정된 Table 6의 결과에 나타난 바와 같이 filler가 첨가되지 않은 성형체에 비해 상용화제의 첨가 유무에 따른 LOI 수치차가 크게 나타났다.

전기로 Slag/Mg(OH)₂의 비율을 0/5, 1/4, 2/3, 3/2, 4/1, 5/0 으로 페플라스틱 매트릭스와 혼합하여 제조된 sample No. 5~10의 성형체의 난연성을 시험한 결과 한계산소지수는 전기로 slag powder나 수산화 마그네슘을 단독으로 사용하였을 경우 수산화 마그네슘이 전기로 slag 보다는 높은 한계산소지수를 나타내었으며 복합 filler로 혼합되었을 경우 최고 25.8

Table 6. LOI of recycled plastics/EAF slag composites as different compatibilizers

Formulation	LOI(%)
PE25/PP25/Slag50	21.4
PE20/PP20/PE-g-MAH10/Slag50	23.2
PE20/PP20/PP-g-MAH10/Slag50	23.8
PE20/PP20/PE-g-MAH5/PP-g-MAH5/Slag50	23.8

Table 7. Results of flammability test of composite

Material	LOI(%)	UL94
sample No. 1	18.3	Fail
2	18.2	Fail
3	18.6	Fail
4	18.5	Fail
5	24.3	UL94V-1
6	24.9	UL94V-1
7	25.8	UL94V-0
8	25.1	UL94V-1
9	24.2	UL94V-2
10	23.8	UL94V-2

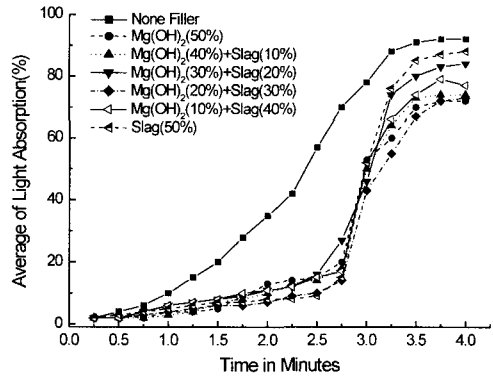


Fig. 6. Smoke-generating characteristics of recycled plastics/EAF slag/Mg(OH)₂ composites as measured by the ASTM D2843

로 수산화마그네슘 단독으로 사용하였을 경우의 24.3보다 우수한 결과를 나타내었다. 이는 두 filler를 혼합하여 사용할 경우 난연상승효과를 나타낸다는 것을 의미하며 이는 UL94 vertical burning test에서도 같은 결과를 나타내었는데 LOI test에서 가장 우수한 결과를 나타낸 sample No. 7의 경우 초기 점화 후 5개의 sample 중 3개의 sample이 9~10초 내에 나머지 2개의 sample이 13, 14초에 화염진화가 중단되어 UL94V-0 등급을 판정하였다. Smoke density 측정결과에 있어서 filler를 첨가하지 않은 페HDPE/페PP blend의 경우 최대 연기밀도가 92%로 가장 높으며 수산화마그네슘만이 첨가된 sample 6의 경우가 72%로 가장 낮은 수치를 나타내었다. 전기로 slag powder와 수산화마그네슘이 복합filler로 적용된 sample 7~9의 성형체는 연소 초기 3분까지의 연기밀도가 단독으로 사용했을 때보다 낮았으며 전기로 slag/수산화마그네슘 배합비가 3/2인 sample 8의 성형체가 3분까지의 연기밀도 상승률이 가장 낮았다. 이는 전기로 slag의 주성분인 철화합물이 고분자의 연소시 안정된 char를 형성시켜 억연효과를 나타낸 것이며 억연효과를 갖고 있는 것으로 알려진 수산화마그네슘과 혼합하여 사용할 경우 난연상승 및 억연상승효과를 기대할 수 있음을 의미한다. Fig. 6은 4분 동안 측정된 각 성형체의 시간대별 연기밀도 특성을 나타낸 것이다.

5. 결론 및 토의

페HDPE, 페PP, EAF slag, Mg(OH)₂ 복합성형체의 난연특성과 기계적 특성을 측정된 결과 다음과 같

은 결론이 도출되었다.

1) 혼합 페플라스틱(페HDPE/페PP)의 난연화를 위해서는 먼저 고분자 matrix의 안정화가 필요하기 때문에 본 연구에서는 복합상용화제를 적용하였으며 그 결과 기계적 강도가 약 25% 이상 향상되었고 50wt(%)의 filler가 충전된 성형체의 경우 상용화제의 적용에 따른 난연성의 향상을 확인할 수 있었다.

2) 전기로 slag와 수산화마그네슘을 복합filler로 첨가할 경우 한계산소지수나 연기밀도 특성이 단독 filler의 경우보다 향상됨으로서 난연상승작용을 확인할 수 있었으며, 특히 연기밀도 시험 결과 전기로 slag와 수산화마그네슘이 복합filler로 적용된 성형체의 경우 연소 시작 후 3분 이내의 연기밀도 상승 억제효과가 우수함을 알 수 있었다.

결론적으로 페플라스틱을 이용한 난연소재의 제조에 있어 filler 함량의 증가에 따른 기계적 물성의 개선을 위해서는 먼저 matrix 수지인 페플라스틱 blend의 안정화가 필요하며 폐기물인 전기로 slag를 첨가함으로써 고가의 난연제 함량을 줄이고 건물 화재시 문제가 되는 고분자 소재의 과도한 연기발생문제를 감소시킬 수 있는 저가 소재로의 적용가능성을 확인할 수 있었다.

감사의 글 : 본 연구는 21C 프론티어 연구개발사업(산업폐기물 재활용 기술개발사업)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) S. Ishihara, J. Soc. Mat. Sci.(Japan), 43, 486, 297, 1994.
- 2) 강영구, 김홍, 유효석, "본질적 난연 및 내열성 헥테로환식 폴리머의 특성에 관한 연구," 산업안전학회지, 제12권, 제3호, pp. 173-177, 1997.
- 3) C. J. Hilado, "Flammability Handbook for Plastics," 4th ed., Technomic Publishing Co., Pennsylvania, 1990.
- 4) Wilkie C A, 'The Design of Flame Retardants' in Fire & Polymers, G. L. Nelson(editor) American Chemical Society, Symposium Series 425, Washington, DC, pp. 178~188, 1990.
- 5) 西澤 仁 : "高分子難燃化の技術と應用", シーエムシー, 1996.
- 6) Charles A. Harper, "Modern Plastics Handbook," 1st ed., McGraw-Hill Professional, 2000.
- 7) 강영구, 송중혁, 난연성 페PE/PET 복합성형체의 제조 및 특성, 2002 한국산업안전학회 춘계 학술발표회, pp. 439~444, 2002.
- 8) Wypych, George, "Handbook of Fillers," 2nd. ed., ChemTec Publishing, Toronto, 1999.
- 9) Harris, M. G., The Physical Properties and Effects of Polymeric Contamination on Post-consumer Recycled High Density Polyethylene, Proc. Polyolefins VII RETEC, Houston, TX, p. 672, 1991.
- 10) Schut, J. H., Plastics World, Oct., p. 20, 1994.
- 11) D. R. Paul and S. Newman, "Polymer Blends," Vol. 1 and 2, Academic Press, NY, 1978.
- 12) 秋山三郎, 井上陸, 西敏夫, "ポリマーブレンド(相用性と界面)," Chap. 3~4, シーエムシー, 1984.
- 13) L. A. Utracki. Polymer Alloys and Blends, New York, Hanser, 1990.
- 14) T. Tang, B. Huang, Interfacial Behaviour of Compatibilizers in Polymer Blends, Polym. 35(2), pp. 281~285, 1994.
- 15) C. C. Chen, J. L. White, Compatibilizing Agents in Polymer Blends: Interfacial Tension, Phase Morphology, and Mechanical Properties, Polym. Eng. Sci. 33(14), pp.924~930, 1993.
- 16) U. Hippi, J. Mattila, M. Korhonen, J. Seppälä, Compatibilization of Polyethylene/aluminum hydroxide(PE/ATH) and Polyethylene/magnesium hydroxide(PE/MH) Composites with Functionalized Polyethylenes, Polym. 44, pp.1193~1201, 2003.
- 17) Troitzsch J, International Plastics Flammability Handbook, Principles-Regulations-Testing and Approval.(2nd ed), Hanser Publications, Munich, 1990.
- 18) A. R. Horrocks and D. Price, "Fire Retardant Materials," Woodhead Publishing Limited, p. 7, 2001.
- 19) Minkoff, G. I. and Tipper, C. F. H, Chemistry of Combustion Reactions, Butterworth, London, 1962.
- 20) Endo M. and Lewin, M., 'Flame Retardancy of Polypropylene by Phosphorus Based Additives' on Additives in Flame Retardancy of Polymeric Materials(FR of Polym. Mat), Lewin(editor) Vol. 4, Business Communications Co, Norwalk, USA, p.171, 1993.

- 21) Rother, R. N. and Hornsby, P. R., 'Flame Retardant Effects of Magnesium Hydroxide', Polm. Degrad, Stab, 54(2-3), pp.383-385, 1996.
- 22) Arthur F. Crand, Charles A. Wilkie, "Fire Retardancy of Polymeric Materials", MARCEL DEKKER INC, p.74, 2000.