

PUB 분말이 충전된 혼합폐플라스틱/Mg(OH)₂ 복합소재의 난연성 및 기계적 특성

정기창[†] · 송종혁^{*}

호서대학교 안전시스템공학과 · 리사이텍코리아(주) 부설연구소
(2005. 11. 3. 접수 / 2006. 1. 4. 채택)

Flame Retardancy & Mechanical Properties of Mixed Waste Plastic/Mg(OH)₂ Composites Reinforced with PUB Powder

Ki-Chang Jung[†] · Jong-Hyeok Song^{*}

Department of Safety System Engineering, Hoseo University

^{*}Annex Research Institute, Recytechkorea Co., Ltd.

(Received November 3, 2005 / Accepted January 4, 2006)

Abstract : Flame retardancy and mechanical properties of polyolefinic mixed waste plastics/filler composites were investigated by using inorganic flame retardant(magnesium hydroxide) and PUB(polyurethane block) powder generated from cryogenic insulation process. All composites were obtained by extrusion and after compression molding. The effect of PUB powder on the properties of the composites was studied by tensile and izod impact test, morphology studies and flammability as LOI and UL94 vertical burning test and smoke density. The objective of this work is to obtain good mechanical properties from recycled PP composites with Mg(OH)₂/PUB powder as fillers and optimum cost-performance balance, in addition to flame retardant characteristics.

Key Words : flame retardancy, recycled plastic, polypropylene, polyurethane scrap, magnesium hydroxide, LOI, smoke density, UL94 burning test

1. 서 론

플라스틱은 금속 및 무기재료에 비해 경량성, 가공성, 경제성 등이 우수하여 금속 및 무기재료가 사용되고 있는 여러 산업분야를 대체하고 있으나 열적 성질 및 내연소성이 취약하여 플라스틱의 난연화 연구에 대한 관심이 높아지고 있다¹⁾.

플라스틱 재료에 난연성을 부여하는 방법에는 플라스틱 자체의 내열성을 향상시키는 방법, 무기계 충전제 첨가에 의한 가연성 플라스틱의 비율을 작게 하는 방법, 유효한 난연제를 첨가하는 방법, 난연성 재료와의 복합구조화에 의한 가연성 고분자의 보호법 등이 있다²⁾.

복합재료에 있어 충전제(Filler)는 제품의 원가를

줄이기 위해 첨가되는 단순첨가형과 제품의 어떠한 기능성을 첨가하기 위한 기능성부여형으로 구분된다. 기능성부여형 충전제의 경우 충전제의 다양한 특성에 따라 전기전도성³⁾, 광전도성, 열전도성, 단열성, 항균성, 난연성^{4,5)} 등 복합소재의 다양한 물성이 결정된다. 플라스틱 소재의 난연성을 향상시키는 방법 또한 난연성을 갖는 충전제를 첨가하는 방법이 가장 널리 사용되고 있으며 이들 첨가형 난연제는 크게 첨가형과 반응형으로 나뉘고 첨가형은 다시 무기계 난연제와 유기계 난연제로 구분된다⁶⁾.

폴리올레핀계 폐플라스틱의 난연제로는 calcium carbonate, talc 같은 저가형 filler나 ATH, Mg(OH)₂ 등이 사용되나⁷⁾ 이들 무기계 난연제는 난연성능을 나타내기 위한 충전량이 40~60wt(%) 이상이기 때문에 난연소재의 기계적 물성 저하 및 원가상승의 요인으로 작용한다⁸⁾.

폴리우레탄은 우수한 기계적, 물리적 특성으로 인

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

해 다양한 용도에서 광범위하게 사용되고 있으나 폐기량 또한 급증하면서 처리문제가 심각하게 대두되고 있다. 폴리우레탄 폼은 분자내의 질소와 방향족 고리, CFC 등의 존재로 인해 소각처리 시 환경오염 문제가 있고 낮은 밀도로 인해 단순매립 처리도 어려운 실정이다. 재활용 방법에는 폐기물 자체를 원료로 이용하는 물질재활용(material recycling), 소각을 통해 열에너지를 회수하는 열적재활용(thermal recycling), 열 또는 화학적 분해를 통해 석유화학제품의 원료를 회수하는 화학적 재활용(chemical recycling)의 방법이 있는데 특히, 물질재활용은 전처리가 용이하고, 환경에 대한 2차 오염의 영향이 적어 선호되는 방법이다^{10,11)}. 지금까지 알려진 폴리우레탄의 물질재활용 방법은 접착제와 그레놀 형태의 폴리우레탄을 혼합한 후 일정 온도에서 압축가공하는 접착 프레스(Adhesive pressing), 리본딩(Rebonding)과 폴리우레탄을 미세 분말화 하여 폴리우레탄 폼을 가공하는데 일정 부분 충전제로 첨가하는 방법¹²⁻¹⁴⁾이 있으나 접착프레스와 리본딩 방법은 추가장비의 부담과 제품의 용도에 매우 제한적이며 폴리우레탄폼 제조에 있어 충전제로 사용하는 방법은 전체 중량의 10% 이상 첨가할 수가 없는 한계가 있다¹⁵⁾. PUB 분말은 기초 연소 실험 결과 Blcok 상태에서는 연소에 매우 취약하지만 200mesh 이하의 입도에서는 자기소화성을 나타내어 상기 열거된 방법 외에 새로운 재활용 용도에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

이에 본 연구에서는 LNG 이송 배관라인의 보냉재 재료로 사용되는 PUB(Polyurethane Block)의 가공시 발생되는 분말상의 공정 스크랩을 수거하여 충전제 용도에 알맞은 입도로 선별한 후 무기계 난연제인 수산화마그네슘과 함량별로 혼합한 복합 충전제를 제조하여 페폴리프로필렌/페폴리에틸렌 복합수지와 혼합 성형한 난연성형체를 가공하였다. 가공된 성형체의 인장강도 및 충격강도 시험과 LOI test, UL94V test, 연기밀도 시험 등을 수행하여 유기물인 PUB 분말의 복합화가 난연성형체의 강도와 난연성에 미치는 영향을 평가하여 물성 및 경제성을 갖춘 저가형 난연성형체의 안전소재 적용 가능성을 확인하였다.

2. 실험

2.1. 원료의 물성분석 및 난연성형체의 제조

본 연구에 사용된 고분자 매트릭스는 페폴리프로필렌과 페폴리에틸렌이 평균중량비 65:35인 혼합 페플라스틱(이하 페PP라 칭함)이며 무기계 난연제와 함께 복합충전제로 사용된 PUB(Polyurethane Block) 분말은 LNG(액화천연가스) 배관의 보냉재(Fig. 2(a)) 생산 중 발생된 가공 스크랩으로서 체선별(screening) 공정을 통해 200mesh 이하의 입도크기를 갖는 PUB 분말을 사용하였다. Fig. 2의 (b)와 (c)는 페PUB scrap을 광학현미경과 전자현미경(SEM)을 이용해 관찰한 결과이다. PUB 분말은 매우 불규칙한 형상을 나타

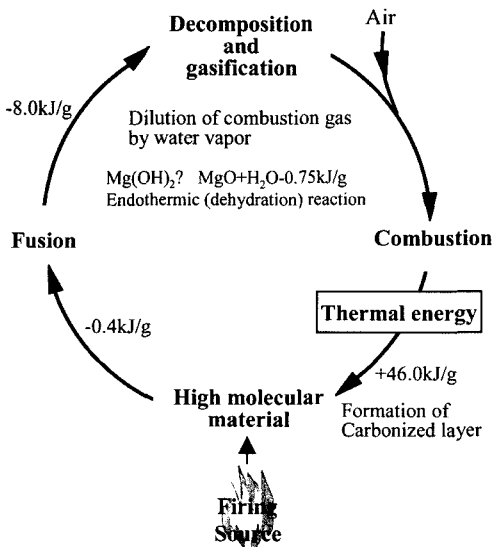


Fig. 1. Flame Retardant Mechanism and combustion cycle of metal hydroxide⁹⁾.

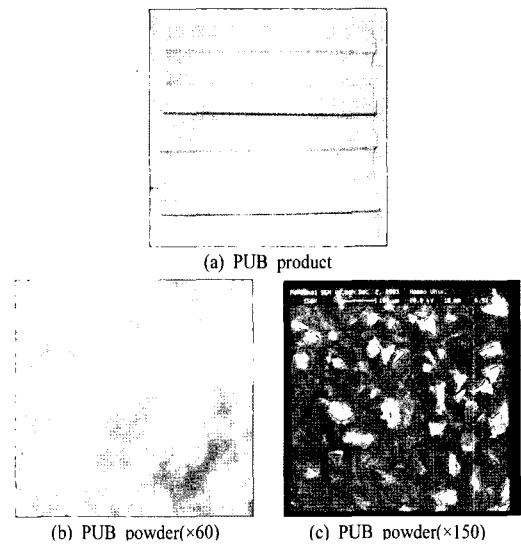


Fig. 2. Morphologies of PUB Powder Using Hybrid Filler.

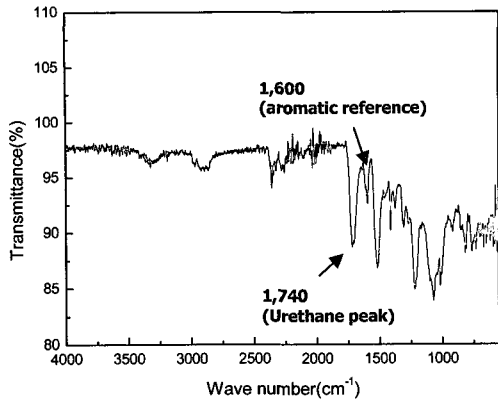


Fig. 3. FT-IR Spectra of PUB Powder.

내었으며 입자간의 정전기 등으로 인한 aggregation 특성은 없어 고분자 matrix에 분산시키기 위한 충전제로서의 기본 특성은 우수한 것으로 나타났다.

원료물질 특성과 가공온도 조건 도출을 위해 분광분석시험(FT-IR)와 열분석시험을 수행하였다. Fig. 3은 페PUB 분말의 분광분석 결과로서 이소시아산과 폴리올의 히드록시기 사이에 우레탄 결합이 형성됨에 따라 1740cm⁻¹에서 우레탄의 수소결합되지 않은 C=O 피크와 1700cm⁻¹에서 우레탄의 수소결합된 C=O에 의한 피크가 중복되어 비대칭형의 피크를 나타내었으며 1600cm⁻¹에서 벤젠환의 stretching에 의한 피크를 확인할 수 있었으며 미반응 -NCO기에 기인한 피크는 확인할 수 없어 안정된 formulation의 우레탄 레진임을 알 수 있었다.

Matrix 수지인 페PP는 페PP와 페HDPE가 65:35 비율로 혼합된 상태이기 때문에 시차주사열량계(DSC) 측정 결과 두개의 melting point가 확인되었으며 페PP의 m.p인 164.86℃를 근거로 압출기와 열압착 성형기의 성형온도 조건을 확정하였다. 페PUB 분말은 59℃에서 뾰족한 흡열피크와 200~270℃ 영역에서 두개의 넓은 흡열피크가 나타나 일반적인 폴리우레탄폼(polyurethane foam)과 비슷한 결과를 나타내었으며 올레핀계 수지의 충전제로서 사용하는데 있어 무난한 열적특성을 나타내었다.

입도 선별된 PUB 분말을 무기계 난연제인 Mg(OH)₂와 충전량 50wt(%) 기준으로 함량별로 혼합하여 복합 filler화하고 함량이 45wt(%)로 고정된 페PP에 보강재인 유리섬유(glass fiber) 5wt(%)와 혼합하여 압출 가공하였으며 가공된 pellet을 시험시편 가공을 위해 열압착성형기(Hot Press)를 이용하여 205℃ 온도에서 200kgf/cm²의 압력으로 성형하였다.

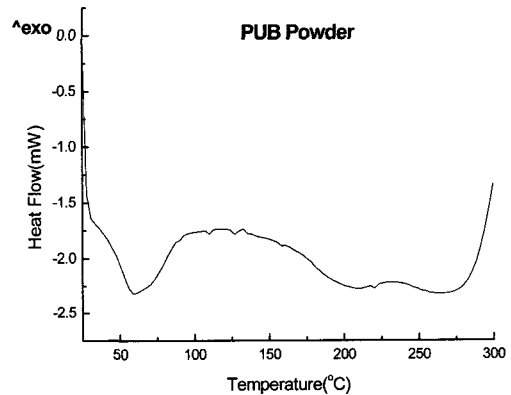
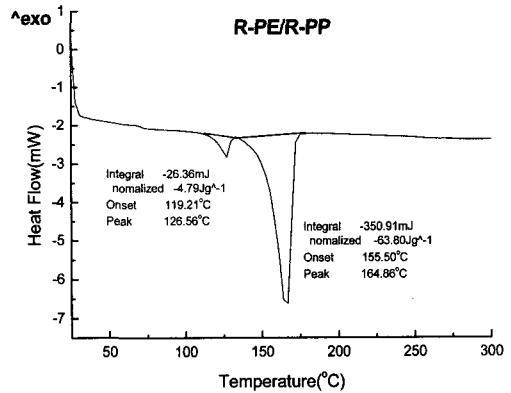


Fig. 4. DSC Thermograms of Matrix resin and PUB powder.

2.2. 난연성형체의 기계적 강도 특성 및 Morphology 특성 평가

본 연구에서는 복합 충전제로서 PUB 분말과 무기계 난연제인 수산화마그네슘을 혼합하여 사용하였기 때문에 PUB 분말의 첨가량에 따른 난연성형체의 강도특성을 평가하기 위해 ASTM D638 규격에 따라 시편 가공 후 만능시험기(HTE-5000N, Hounsfield)를 이용해 50mm/min의 cross head 속도로 인장 강도 특성을 측정하였으며 ASTM D256 규격에 따라 시편을 V-notch 가공 후 충격강도시험기(SJI-00, Sungjin Corporation)를 이용해 충격강도 특성을 평가하였다.

원료 및 난연성형체의 morphology 특성은 Zooming stereomicroscopy(OSM-1, dongwon science)를 이용해 PUB 분말 표면을 60배의 배율로 관찰하였고 각종 filler의 분산상태를 확인하기 위해 SEM(PSEM-75, RJ Lee Instruments Ltd.)을 이용하여 성형체의 파단면을 gold sputtering한 후 1,000배의 배율로 관찰하였다.

2.3. 난연성형체의 난연특성 평가

3.2.1. LOI(Limiting Oxygen Index) 측정

LOI는 상온에서 플라스틱의 유염연소 상태를 유지할 수 있는 최소산소농도를 의미하며 산소지수가 높을수록 난연성이 높다고 평가된다. 본 연구를 통해 제조된 성형체의 filler의 조합에 따른 최소산소농도를 ASTM D2863 에 따라 Oxygen Index Flammability Tester(No. 214, Yasuda Ltd.)를 이용하여 측정하였다.

3.2.2. UL94V 측정

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

3.2.3. 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.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기계적 강도 특성 및 Morpholgy 특성

충전제 및 상용화제가 첨가되지 않은 순수 matrix의 경우 강도특성은 인장강도 188.9kgf/cm², 충격강도 4.14kgfcm/cm²로 일반적으로 알려진 순수 PE나 PP에 비해 낮은 특성을 나타내었다. 이는 재활용수지 자체의 성능저하 측면보다는 혼합폐플라스틱의 상용성 저하에 따른 원인에 기인하며 따라서 이를 매트릭스수지로 사용할 경우 충전제 첨가 시 발생하는 강도저하의 폭이 매우 커 성형체 제품으로 적용하기 부적합하다. 따라서 본 연구에서는 PUB 분말 또는 난연제가 첨가된 모든 성형체의 제조에 상용화제(compatibilizer)를 첨가하여 두가지 폐플라스틱으로 구성된 매트릭스수지를 안정화시켰으며 filler의 함량이 높기 때문에 강도보강을 위해 유리섬유를 첨가하였다.

유리섬유 함량은 수산화마그네슘 함량 30wt(%)를 기준으로 2.5~12.5wt(%)를 매트릭스 수지와 난연제 함량에서 차감하여 인장특성을 시험한 결과 5wt(%)

에서 강도의 향상 폭이 크고 그 이상의 함량 증가에서 인장특성 증가의 기울기가 감소하는 특성을 나타내 경제성과 성능을 고려해 5wt(%)로 결정하였다.

난연제만을 50wt(%) 혼합한 성형체의 경우 매트릭스 수지를 보강했음에도 불구하고 Table 2에 나타내었듯이 인장강도 78.6kgf/cm²으로 무기 충전제를 고충전 할 경우 발생하는 극심한 강도특성의 저하를 확인할 수 있었다. 이는 사용된 수산화마그네슘의 비중이 낮아 체적충전율이 매우 크기 때문이며 이로 인한 분산성의 저하문제가 강도특성에 영향을 주는 것으로 사료된다. 충격강도 특성도 2.12kgfcm/cm²의 낮은 특성을 나타내었으며 고충전의 수산화마그네슘이 성형과정에서 매트릭스 수지내에 고르

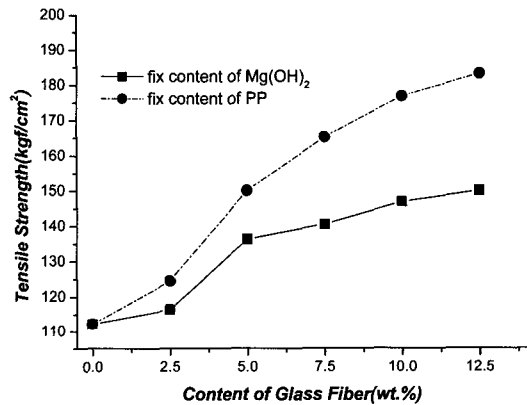


Fig. 5. Tensile Strength of Composites in according to Content of Glass fiber.

Table 1. Mechanical Strength and Flame Retardancy of Composites

| Formulation of Filler | Tensile Strength S(kgf/cm ²) | Izod Impact Strength (kgfcm/cm ²) | LOI Vol.% | UL94 Rating |
|--------------------------------------|--|---|-----------|-------------|
| Not filled(PP 100) | 188.9 | 4.14 | 18.5 | Fail |
| Mg(OH) ₂ 50 | 78.6 | 2.12 | 26.5 | V-0 |
| Mg(OH) ₂ 45/PUB powder 5 | 84.5 | 2.28 | 25.5 | V-1 |
| Mg(OH) ₂ 40/PUB powder 10 | 90.3 | 2.47 | 24.5 | V-2 |
| Mg(OH) ₂ 35/PUB powder 15 | 102.7 | 3.09 | 24.0 | V-2 |
| Mg(OH) ₂ 30/PUB powder 20 | 122.5 | 3.33 | 24.0 | V-2 |
| Mg(OH) ₂ 25/PUB powder 25 | 131.4 | 3.41 | 22.5 | Fail |
| Mg(OH) ₂ 20/PUB powder 30 | 147.5 | 3.50 | 21.5 | Fail |
| Mg(OH) ₂ 15/PUB powder 35 | 156.7 | 3.72 | 21.0 | Fail |
| Mg(OH) ₂ 10/PUB powder 40 | 166.2 | 3.98 | 21.0 | Fail |
| Mg(OH) ₂ 5/PUB powder 45 | 171.5 | 4.04 | 20.5 | Fail |
| PUB powder 50 | 173.4 | 4.09 | 20.5 | Fail |

Content of Recycled PP/GF : 50wt(%)

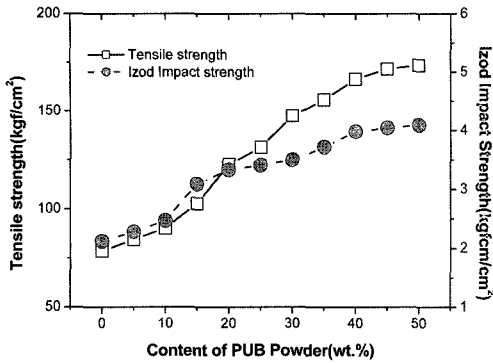
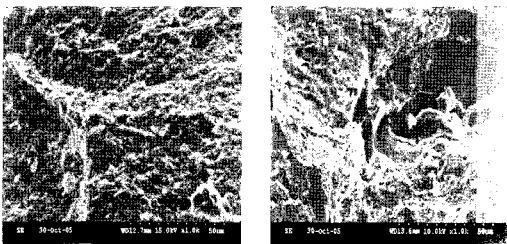


Fig. 6. Tensile Strength and Izod Impact Strength of Composite in according to content of PUB Powder.

게 분산되지 못하고 aggregation되어 계면에서 failure 현상이 발생하는 것으로 확인되었다. 페PUB 분말을 복합 filler로 적용할 경우 총합량 50wt(%)로 고정된 수산화마그네슘/PUB 분말 formulation에서 PUB 분말의 첨가비가 증가함에 따라 인장강도특성은 선형적으로 향상되었으나 충격강도특성은 20wt(%) 이상에서는 크게 증가하지 않았다. 인장강도 특성은 PUB 분말의 함량이 20wt(%), 충격강도 특성은 15wt(%)에서 강도 특성의 증가폭이 향상됨을 알 수 있었다.

가공된 난연성형체의 SEM을 통한 morphology 분석 결과 Fig. 7에 나타낸바와 같이 수산화마그네슘 50wt(%) 만을 첨가한 성형체(a)의 경우 충전제의 분산성은 양호하나 매트릭스수지와 충전제 계면간 접착력의 결여로 파단면이 불균일하였으나 수산화마그네슘과 PUB 분말이 복합 충전제로 적용된 성형체 (b)는 PUB 분말이 입자 크기는 크지만 수산화마그네슘에 비해 매트릭스 수지와와의 계면 접착력이 우수하여 양호한 morphology 특성을 나타내었다. 이러한 계면에서의 접착력 차이가 강도특성에 영향을 준 것으로 사료된다.



(a) Mg(OH)₂ 50
(b) Mg(OH)₂ 30/PUB 20

Fig. 7. SEM Photographs of Fractured Surfaces of composites(SEM, ×1,000).

3.2. 난연 특성 및 연기밀도 특성

일반적으로 문헌상 알려진 폴리프로필렌과 폴리 에틸렌의 LOI 값은 17.4~18.0 정도로 알려져 있으며¹⁶⁾ 본 실험에 사용된 혼합 페플라стик의 경우는 평균 18.5의 LOI 지수를 나타내었다. 문헌자료 보다 다소 높게 나타난 이유는 재활용수지의 경우 순수한 신재 원료와는 달리 제품화 용도에 따라 첨가제 등 여러 가지 물질이 혼재하기 때문에 나타나는 현상으로 추정된다. 수산화마그네슘 만을 50wt(%) 첨가한 성형체는 평균 26.5의 LOI 특성과 UL94V-0 등급의 난연특성을 나타내었으며 수산화마그네슘과 PUB 분말을 복합 충전제로 적용한 시편의 경우는 PUB 분말의 함량이 증가함에 따라 난연성능이 감소하였다. 이는 PUB 분말이 유기물이기 때문에 나타나는 당연한 결과이지만 강도특성과 경제성을 고려해 최적 혼합비로 평가된 수산화마그네슘 30wt(%) / PUB 분말 20wt(%) 충전 성형체의 경우 수산화마그네슘의 함량이 30wt(%) 임에도 불구하고 평균 24.0의 LOI 지수를 나타내었으며 UL94V burning test에서도 초기 점화 후 5개의 sample 모두가 24~27초에 화염 전파가 중단되어 UL94V-2 등급의 결과를 나타내었다. 이는 Table 2에서와 같이 폴리프로필렌 수지에 수산화마그네슘을 40wt(%) 첨가하였을 때의 문헌상 LOI 지수보다 높은 결과로 PUB 분말의 첨가가 무기계 난연제의 충전비율을 최고 20wt(%) 까지는 낮출 수 있음을 의미하고 무기계 난연제만을 첨가했을 때의 강도저하 현상을 방지할 수 있는 복합 충전제로서의 역할을 할 수 있음을 나타낸 결과이다.

난연성형체의 연기밀도 측정 결과에 있어서 수산화마그네슘만을 50wt(%) 첨가한 성형체가 발생하는 연기에 의한 광감쇄율이 72%로 가장 낮은 수치를 나타내었으며 4분의 측정 시간 중에서 연소 후 2분 30초까지는 매우 낮은 광감쇄율을 나타내었다. 이는 수산화마그네슘이 갖는 우수한 억연특성에 기인한다. 그러나 PUB 분말이 복합 충전제로 첨가됨

Table 2. Oxygen index for polyolefin fire retarded by magnesium or aluminium hydrates¹⁷⁾

| Polymer | Additive | | LOI(Vol.%) |
|---------------|---------------------|--------|------------|
| | Name | wt.(%) | |
| Polyethylene | Mg(OH) ₂ | 40 | 22.5 |
| | Al(OH) ₃ | 40 | 21.5 |
| Polypropylene | Mg(OH) ₂ | 40 | 23.5 |
| | Al(OH) ₃ | 40 | 22.0 |

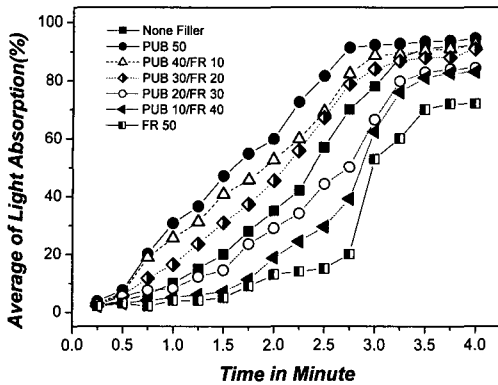


Fig. 8. Smoke-generating characteristics of composites as measured by the ASTM D2843 (None filler : R-PP 100, FR : Mg(OH)₂).

에 따라 연기발생량이 전반적으로 상승하는 결과를 나타내었는데 이는 연기발생량이 많은 폴리우레탄 성분인 PUB 분말 자체의 물성 때문이다. 특히, PUB 분말의 함량이 30wt(%) 이상에서는 filler를 첨가하지 않은 매트릭스 수지의 측정치보다도 연기발생량이 많음을 확인할 수 있었다. 연기발생량을 억제하기 위한 수산화마그네슘의 filler 중 함량은 30wt(%) 이상이었으며 수산화마그네슘의 함량이 증가할수록 연소 초기 연기발생량이 많이 감소하는 결과를 나타내었다. 본 실험은 연기의 발생량만을 평가한 것이며 폴리우레탄은 질소화합물 함유되어있기 때문에 연소 중 발생하는 유해가스에 대한 정성적 연구가 추가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

혼합 페플라ستيك에 무기계난연제와 PUB 분말을 복합 충전제로 첨가한 난연성형체의 난연특성과 기계적 특성을 측정한 결과 수산화마그네슘만을 고충전한 일반적 난연성형체의 경우 난연성 및 연기밀도 특성은 우수하지만 현저히 감소되는 기계적 강도특성으로 인해 난연성형체제품의 신뢰성 및 경제성에 문제가 있으나 PUB 분말을 복합화 함으로써 무기물인 수산화마그네슘과 비교해 고분자 매트릭스와의 계면접착력 증가, 분산성 향상 등으로 인한 향상된 강도특성을 확인하였다. 난연성에 있어서는 유기물인 PUB 분말의 충전이 난연성능을 감소시키는 결과를 나타내었으나 충전함량 20wt(%) 이하에서는 low grade에 사용할 수 있는 난연등급 및 특성을 나타내었다. 결론적으로 페플라ستيك을 매트릭스로 한 재할

용 난연소재에 있어 무기계 난연제의 고충전에 의한 기계적 강도 저하를 PUB 분말을 첨가함으로써 최소화 할 수 있으며 폐기물을 대체 충전제로 사용함으로써 고가의 난연제 함량을 줄여 경제성을 갖춘 저가형 난연소재 제조에 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글 : 이 논문은 2004년도 호서대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- 1) S. Ishihara, J. Soc. Mat. Sci.(Japan), Vol. 43, No. 486, pp. 297, 1994.
- 2) C. J. Hilado, "Flammability Handbook for Plastics", 4th ed., Technomic Publishing Co., Pennsylvania, 1990.
- 3) C. Xu, Thermoplastic Composites, Sichuan Science and Technology Press, Chengdu, pp. 196, 1988.
- 4) S. V. Levchik, G. F. Levchik, G. Camino and L. Costa, J. of Fire Sciences, Vol. 13, pp. 43~58, 1995.
- 5) M. Iji, S. Serizawa and Y. Kiuchi, Presented at the Fire Retardant Chemicals Association Conference, New Orleans, Louisiana, USA, 1999.
- 6) C. A. Wilkie, 'The Design of Flame Retardants' in Fire & Polymers, G. L. Nelson(editor) American Chemical Society, Symposium Series 425, Washington, DC, pp. 178~188, 1990.
- 7) Wypych, George, "Handbook of Fillers", 2nd. ed., ChemTec Publishing, Toronto, 1999.
- 8) J. H. Schut, Plastics World, Oct., pp. 20, 1994.
- 9) Suzuki et al., Development of Environment-friendly Cable "Eco-Ace", Furukawa Review, No. 19, pp. 87, 2000.
- 10) W. J. Farrissey, Plastic Recycling, ed. R. J. Ehrig, 233, Hanser Publishers, New York, 1992.
- 11) F. Hensen, Recycling and Recovery of Plastics, ed. J. Brandrup, 291, Hanser Publishers, New York, 1996.
- 12) J. Dodge, "Polyurethane Chemistry-Second Edition", Bayer Corporation, Pittsburgh, PA, 1999.
- 13) ISOPA Polyurethane Fack Sheet, "Reloading by Rebonding Processing", Brussels, Belgium, 1993.
- 14) W. Rasshofer, D. Klier, R. Wagner, "Recycling of

- Polyurethanes and PU Composites”, UTECH '92, The Hague, the Natherands, pp. 229~234, 1992.
- 15) F. Shutov et al., “PUR Foams Reinforced with Recycled PUR Foam Waste Powder”, Proceeding of ANTEC '95, SPE, Boston, MA, pp. 3673~3684, 1995.
- 16) Arthur F. Crand, Charles A. Wilkie, “Fire Retardancy of Polymeric Materials”, MARCEL DEKKER INC, pp. 74, 2000.
- 17) M. Le Bras, G. Camino, S. Bourbigot, R. Delobel, “Fire Retardancy of Polymers”, Royal Society of Chemistry, pp. 83, 1998.