

열가소성 분말 코팅소재 제조 및 난연특성 연구

이순홍[†] · 정화영^{*}

안양대학교 환경공학과 · *주식회사 투에이취켄
(2010. 2. 1. 접수 / 2010. 6. 9. 채택)

A Study on the Preparation of Thermoplastic Powder Coating Material and Its Flame Retardancy

Soon-Hong Lee[†] · Hwa-Young Chung^{*}

Department of Environmental Engineering, Anyang University

^{*}Two H Chem Ltd.

(Received February 1, 2010 / Accepted June 9, 2010)

Abstract : The purpose of this study is application to flame retardant powder coating(FRPC) material consisting of ammonium polyphosphate(APP) and magnesium hydroxide(Mg(OH)₂) as a halogen free flame retardant into thermoplastic resin(LDPE-g-MAH). For improvement of adhesion, LDPE-g-MAH was synthesized from low density polyethylene(LDPE) and maleic anhydride(MAH). The mechanical properties as melt flow index, pencil hardness, cross-hatch adhesion and impact resistance of FRPC were measured. Also, the limited oxygen index(LOI) values were measured 17.3vol%, 31.1vol% and 33.7vol% for LDPE-g-MAH, FRPC-3(APP 15wt%, Mg(OH)₂ 15wt%) and FRPC-5(APP 30 wt%), respectively. The thermo gravimetry/differential thermal analysis(TG/DTA) of FRPC-3 was observed endothermic peak at 340°C and 450°C, it was confirmed predominant thermal stability though the wide temperature range by APP and Mg(OH)₂. It was showed V-0 grade for FRPC-3 and FRPC-4(APP 20wt%, Mg(OH)₂ 10wt%) that a char formation and drip suppressing effect, and combustion time reduced by UL94(vertical burning test). It was confirmed that flame retardancy was improved with the synergy effect because of char formation by APP and Mg(OH)₂.

Key Words : flame retardant powder coating, ammonium polyphosphate, magnesium hydroxide, halogen free, thermoplastic

1. 서론

코팅마감소재는 각종 금속 및 비금속 등 피도물의 표면에 심미적 외관성, 내구성 및 부식방지 기능 등을 부여할 목적으로 도료 및 분체도료가 많이 사용되고 있다. 하지만 기존의 액상도료 및 분체도료는 희석용제 등에 의한 휘발성유기화합물(VOCs) 및 내구성 문제가 있으며 분체도료는 내구성이 짧아 최근 친환경 고내구성 코팅마감소재로 열가소성 분말 코팅소재의 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁻⁶⁾.

열가소성 분말 코팅소재는 polyethylene, polypropylene 등과 같은 polyolefin계 열가소성 수지를 미세 분말화하여 유동층코팅(Fluidised bed coating), 열용사코팅(Thermal spray coating) 및 정전도장(Elec-

trostatic spray coating) 등의 방식으로 피도물을 코팅하는 것으로 도료의 장점과 플라스틱 수지의 우수한 기계적 강도 및 내화학성 등을 가지고 있어 전기, 전자, 자동차 및 건축용 구조물에 이르기까지 각종 산업분야로 확대되고 있다. 하지만 열가소성 수지를 기반으로 제조된 열가소성 분말 코팅소재는 근본적으로 화재 발생시 안전성이 결여되어 난연성과 화재지연성에 대한 요구가 대두되고 있다⁷⁻¹⁰⁾.

기존 플라스틱 수지의 난연화 방법으로는 할로겐화합물(브롬계, 염소계), 중금속화합물(안티몬계) 및 할로젠-중금속복합체가 주종을 이루어 우수한 난연특성을 나타내지만 가공 및 연소시에 HBr, HCl, SbH₃ 등의 유해가스를 다량 방출하고 맹독성 발암물질인 할로겐화 다이옥신, 퓨란 등이 생성되어 인명과 재산 및 환경피해가 발생하는 문제점을 안고 있어 최근 친환경 유무기계 난연제에 대한 연구가

[†] To whom correspondence should be addressed.
ishchem@anyang.ac.kr

활발히 이루어지고 있다. 질소나 인을 함유하고 있는 유기계 난연제는 난연성은 우수하나 원료의 가격이 높아 경제성이 저하되고 Al(OH)₃, Mg(OH)₂ 등과 같은 무기계 난연제는 충전량이 60~70wt% 정도가 되어야 난연성능을 발휘하기 때문에 코팅소재의 표면물성 및 접착성을 저하시키는 원인이 된다¹¹⁻¹⁹⁾.

따라서 본 연구에서는 열가소성 분말 코팅소재 제조시 난연제 첨가에 따른 접착력의 저하를 방지하고자 low density polyethylene(LDPE) 수지에 maleic anhydride(MAH)를 반응압출시켜 접착성 수지(LDPE-g-MAH)를 제조하고 여기에 비할로겐계 유기계 및 무기계 난연제를 혼합시켜 난연 복합소재를 제조한 후 이를 미분말화하여 난연 분말 코팅(Flame Retardant Powder Coating : FRPC)소재를 제조하여 코팅특성 및 난연특성을 평가하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

LDPE-g-MAH 반응에 사용한 LDPE는 난연제 첨가를 고려하여 가공성과 용융흐름성이 좋은 Honam petrochemical사의 사출용 grade(XJ-710, 0.924g/cm³, MI = 24.0g/10min, T_m = 110°C) 수지를 사용하였으며 LDPE에 접착성 활성기 도입을 위하여 사용한 MAH (Sigma Aldrich사)와 반응개시제인 dicumyl peroxide (DCP, Akzo novel사)는 98% 이상의 순도를 갖는 시약을 별도의 정제없이 사용하였다.

또한 FRPC를 제조하기 위하여 인/질소 유기계 난연제로 ammonium polyphosphate(APP, Budenheim사)와 무기계 난연제인 magnesium hydroxide(Mg(OH)₂, Donghwa사)를 사용하였으며, 기타 첨가제로 산화방지제, 분산제, 안료 등을 사용하였다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. LDPE-g-MAH 제조

LDPE-g-MAH는 twin screw extruder를 사용하여 Fig. 1에 따라 LDPE 100g에 대한 MAH와 DCP의 상대적 함량비율이 각각 1wt%와 0.1wt%가 되도록 주입하였으며, 온도 조건은 호퍼부분에서 배럴부분까지 각각 160~180°C가 되도록 5°C 간격으로 설정하고 반응시간을 충분히 주기 위해 screw의 속도는 20rpm으로 반응압출하였다. 압출된 수지는 미반응 MAH를 수세하여 제거하고 70°C에서 24hr 건조하였다.

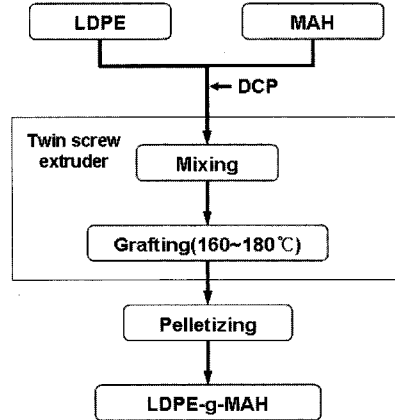


Fig. 1. Flow diagram of the preparing process for LDPE-g-MAH.

2.2.2. LDPE-g-MAH 확인

반응압출을 통한 LDPE-g-MAH 제조시 LDPE에 MAH가 graft 되었는지 확인하기 위하여 적외선 분광법(Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FT-IR, IFS-66/S, Bruker사)을 사용하여 화학적 구조를 측정하였다.

또한 제조한 LDPE-g-MAH 및 LDPE를 120mm×25mm×2mm 크기로 제조하고 Fig. 2와 같이 강판에 압착시켜 만능시험기(Universal Testing Machine : DEC-B500TC, Cheil Science사)를 이용하여 50±20 mm/min의 조건으로 접착강도를 측정하여 MAH에 의한 접착강도 변화를 확인하였다.

2.2.3. 비할로겐계 FRPC 제조

열가소성 플라스틱은 난연제 첨가시 난연제가 소량일 경우 난연성능이 부족하고 과량 첨가될 경우 조성물의 유연성과 코팅막의 표면 물성저하를 초래할 수 있으므로 난연제의 함량을 30wt% 정도가 되도록 하였다. 제조한 LDPE-g-MAH에 난연성능을

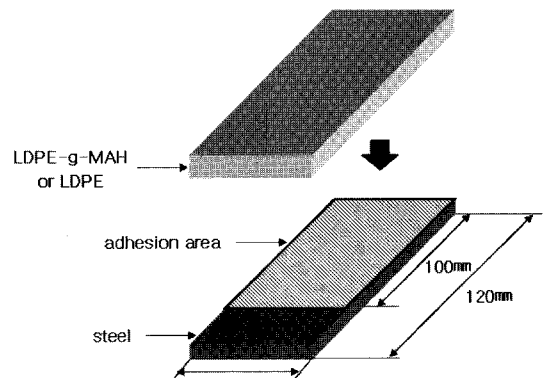


Fig. 2. Adhesion testing specimen.

Table 1. Formulation of the FRPC

Component	Content(wt%)					
	FRPC-1	FRPC-2	FRPC-3	FRPC-4	FRPC-5	
LDPE-g-MAH	68	68	68	68	68	
Flame retardant	APP	0	10	15	20	30
	Mg(OH) ₂	30	20	15	10	0
Additives	Antioxidant	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Dispersion agent	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Pigment	1	1	1	1	1
Sum	100					

되도록 하였다. 제조한 LDPE-g-MAH에 난연성을 부여하기 위하여 Table 1과 같이 유기계 및 무기계 난연제의 함량을 조절하고 140℃, 50rpm 조건에서 압출하여 FRPC를 제조하였다. 압출제조한 펠릿 형태의 FRPC는 disk mill을 통해 250~400µm 범위의 입도분포를 갖도록 미분쇄하였다.

2.2.4. FRPC 물성시험

유·무기계 난연제의 함량에 따라 제조된 FRPC는 MI(melt flow index) 분석을 ASTM D 1238²⁰⁾에 의거하여 190℃, 2.16kg의 조건으로, 비중은 비중계(MD-300S, Alfa Mirage사)를 이용하여 측정하였다. 또한 냉간압연강판에 FRPC를 400~500µm로 코팅하여 코팅도료의 평가방법에 따라 연필경도는 pencil hardness tester(Yasuda Seiki Seisakusho사)로 평가하였으며 접착력은 ASTM D 3359:09²¹⁾를 참조하여 코팅된 FRPC를 1mm 간격으로 100개 이상의 정사각형 칼집을 내어 투명접착테이프를 부착후 박리하여 코팅막이 박리되는 정도를 평가하는 cross-hatch adhesion을 측정하였다. 코팅제의 내구성을 평가하기 위하여 ASTM D 2794:93²²⁾의 내충격성 평가방법에 따라 직경 1/2inch, 0.5kg의 타원형 추를 50cm에서 낙하시켜 코팅제의 벗겨짐 여부를 확인하였다.

2.2.5. FRPC 열적특성 및 난연성시험

제조된 FRPC의 열적특성을 평가하고자 열중량·시차열 분석기(Thermo Gravimetry/Differential Thermal Analysis : TG/DTA, Exstar 6000, Seiko Instruments사)를 이용하여 온도에 따른 FRPC의 흡열발열상태를 비교 측정하였다. 또한 KS M ISO 4589-2²³⁾에 의거하여 150mm×7mm×5mm(가로×세로×두께)의 시험편으로 연소시 필요한 산소의 양인 한계 산소지수(Limited oxygen index, LOI)를 측정하였다.

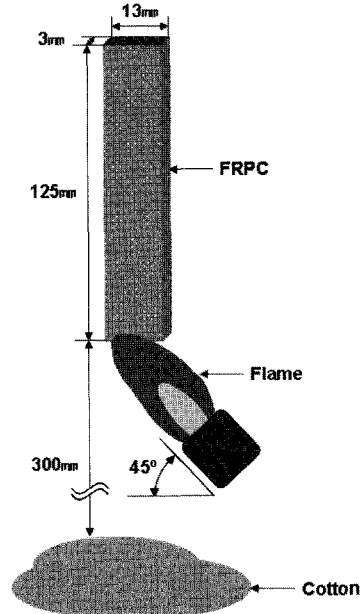


Fig. 3. Vertical burning test.

이때 시험편의 상태조절 조건은 23±2℃, 50±5%R.H.로 하고 산소와 질소의 혼합가스 공급량의 유속은 11.4L/min으로 산소농도를 0.2vol%씩 증가시켜 주입하면서 LOI를 측정하였다.

또한 FRPC의 난연성을 평가하기 위해 125±5mm×13±0.5mm×3mm의 시험편을 제조하고 전처리(23±2℃, 50±5%R.H., 48hr)를 거쳐 Fig. 3과 같이 UL94 수직 연소 시험방법²⁴⁾에 의해 난연성 평가를 실시하였다.

2.2.6. FRPC EDX 분석

제조한 FRPC의 할로겐계 물질과 같은 독성물질의 함유여부를 확인하기 위하여 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope: FE-SEM, S-4300, Hitachi사)을 이용하여 Energy Dispersive X-ray Spectrometer(EDX) 측정을 실시하여 원소분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. LDPE-g-MAH 합성 확인

접착력 향상을 위하여 LDPE에 MAH를 grafting시키기 위하여 반응 압출하였으며 생성된 제조물 LDPE-g-MAH(b)의 grafting 여부 확인하기 위해 LDPE(a)와 같이 적외선 분광법으로 분석한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 순수 LDPE와 비교하여 LDPE-g-MAH의 그래프를 보면 1,714cm⁻¹에서 MAH의 특

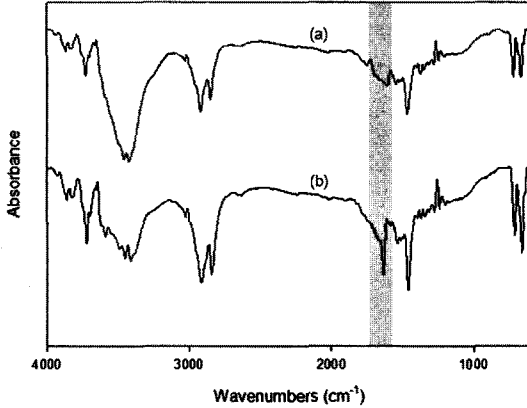


Fig. 4. FT-IR spectra of (a) virgin LDPE and (b) LDPE-g-MAH.

성기인 탄소와 산소의 이중결합(C=O)을 나타내는 peak가 강하게 발달된 것을 확인하였다.

또한 제조한 LDPE-g-MAH와 LDPE의 접착력을 확인하기 위해 5개의 시험편에 대한 접착력 측정 결과 그래프를 Fig. 5와 6에 나타내었으며 Table 2에 정리하였다. LDPE는 평균 3.71kgf/25mm를 나타내었으며 LDPE-g-MAH의 경우 15.95kgf/25mm를 나타내어 접착력이 크게 향상됨을 확인하였다. 이는 MAH 특유의 카르복실기가 LDPE와 반응된 것으로 판단되며 비극성인 LDPE에 극성기인 카르복실기에 의하여 접착성이 향상된 것으로 사료된다^{4,5)}.

3.2. FRPC 물성시험

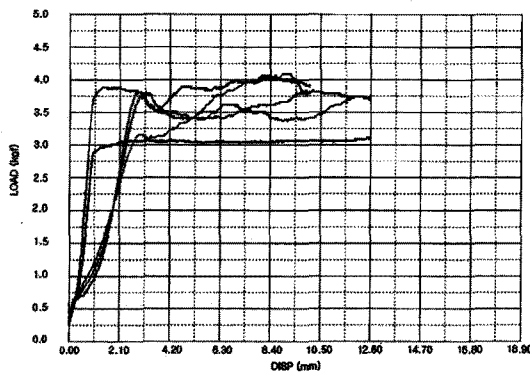


Fig. 5. Adhesion strength graph of virgin LDPE.

Table 1과 같이 난연제 함량을 30wt%로 한 FRPC 조성물을 제조하여 코팅제의 기본 특성을 파악하고자 비중, MI, 연필경도, 접착성 및 내충격성을 실시한 결과를 Table 3에 나타내었다. 첨가된 APP와 Mg(OH)₂의 비중이 각각 1.8과 2.4로 혼합량에 따라 LDPE-g-MAH의 0.976에 비해 높아진 것을 확인하였으며, MI는 반응압출된 LDPE-g-MAH의 MI인 20g/10min에서 APP의 함량이 높아질수록 낮아지는 결과를 나타내었으나 코팅시에 큰 차이를 나타내진 않을 것으로 판단된다. 연필경도(H이상 양호)는 모든 시험편의 등급이 3~5B로 나타나 matrix 물질인 LDPE-g-MAH의 soft한 연질의 특성이 기인한 것으로 사료된다. 또한 접착력은 90% 이상인 경우 양호한 것으로 평가되고 있으며 FRPC의 결과 모두 100%를 나타내었으며 내충격성 실험에서도 코팅된 FRPC가 박리되거나 파괴되는 현상이 없는 양호한 결과를 나타내었다.

Table 3. Physical properties of various specimen

	Specific gravity (g/10min)	MI	Pencil hardness	Cross-hatch adhesion(%)	Impact resistance (0.5kg/50cm)
LDPE-g-MAH	0.976	20	5B	100	good
FRPC-1	1.133	13	5B	100	good
FRPC-2	1.115	14	4B	100	good
FRPC-3	1.106	15	4B	100	good
FRPC-4	1.098	15	4B	100	good
FRPC-5	1.082	16	3B	100	good

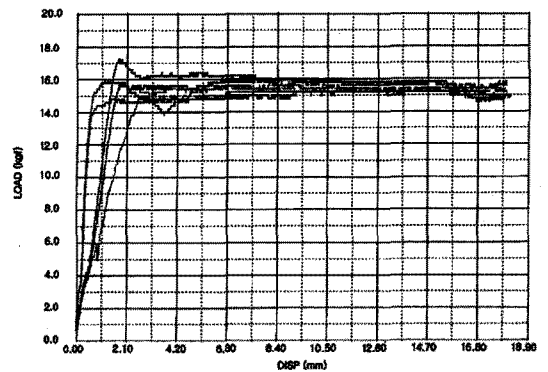


Fig. 6. Adhesion strength graph of LDPE-g-MAH.

Table 2. Adhesion strength of virgin LDPE and LDPE-g-MAH

	Adhesion strength(kgf/25mm)					Mean
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	
LDPE	3.84	3.79	3.06	3.76	4.08	3.71
LDPE-g-MAH	14.86	15.95	15.98	15.92	17.02	15.95

3.3. FRPC 열적특성

제조된 FRPC중 무기계, 유기계 및 유·무기계 혼합 조성인 FRPC-1, 3, 5를 대상으로 하여 열적특성을 평가하기 위하여 열중량·시차열 분석기를 사용하여 연소에 따른 중량 감소 및 발열, 흡열 경향을 각각 Fig. 7~9에 나타내었다. 무기계 난연제인 Mg(OH)₂ 30wt%가 함유된 FRPC-1의 경우 200℃ 부근에서부터 난연제의 열분해가 시작되어 연소를 저지하는 흡열상태가 유지되고 있으나 난연제가 대부분 분해된 380℃부터는 급격한 발열 증가와 중량 감소를 나타내었다. 유무기계 난연제가 혼합된 FRPC-3의 경우 340℃ 부근까지 난연제에 의하여 흡열상태가 유지되며 이후 무기계 난연제의 반응이 시작되어 발열상태와 중량 감소가 소폭 나타났으며 400℃ 부근에서 유기계 난연제에 영향으로 발열상태가 보이며 450℃에서 난연제의 분해가 대부분 이루어져 연소에 의한 급격한 중량 감소를 나타내었다. 유기계 난연제인 APP가 30wt% 함유된 FRPC-5의 경우 400℃까지 난연제에 의한 흡열상태가 유지되며 420℃에서 급격한 발열 peak를 나타내었다. 이는 본 연구에서 사용한 APP와 Mg(OH)₂의 혼합 사용시 각기 다른 분해반응온도를 가지고 있어 혼합 사용시 넓은 온도 영역에서 열안정성이 우수함을 나타내며 특히 유기계 난연제인 APP의 인과 고분자 수지 및 산소가 반응하여 생성된 산화피막과 고분자의 탈수소반응을 촉진시킴에 따라 산소와 열을 차단하는 불연성의 char 생성이 용이한²⁶⁾ 유기계 난연제가 첨가된 FRPC-3과 5의 열적 안정성이 좋은 것으로 판단된다. 또한 유기계 및 무기계 난연제 단독 사용시 우려되는 cost 상승에 따른 경제적 문제 및 물성저하 현상을 개선할 수 있을 것이다.

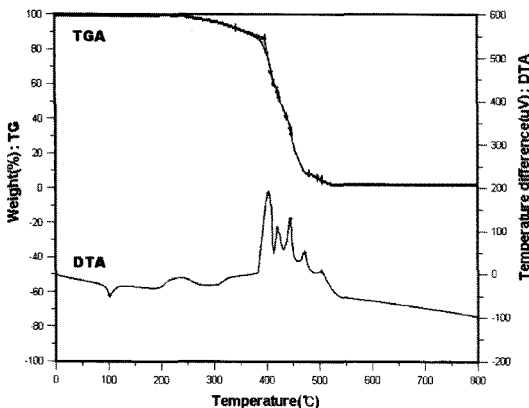


Fig. 7. TG/DTA thermograph of FRPC-1(only inorganic flame retardant).

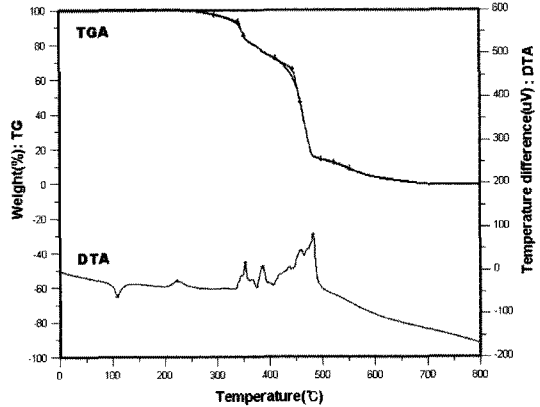


Fig. 8. TG/DTA thermograph of FRPC-3(organic and inorganic flame retardant).

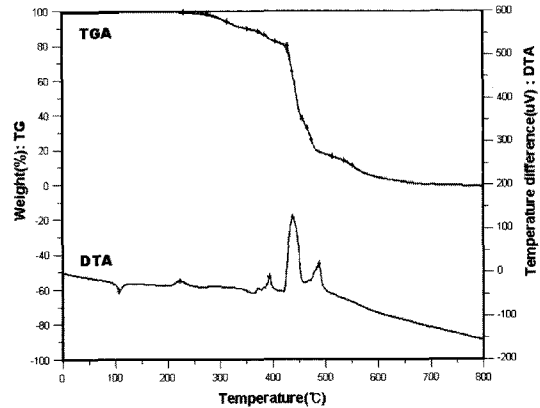


Fig. 9. TG/DTA thermograph of FRPC-5(only organic flame retardant).

3.4. LOI 측정

반응압출에 의해 제조된 LDPE-g-MAH를 matrix 수지로 하고 유·무기계 난연제를 변량한 FRPC의 연소특성을 파악하기 위하여 한계산소지수를 분석하였다. 한계산소지수는 고분자 수지를 연소시키기 위해 필요한 산소지수를 나타내며 높을수록 난연성능이 우수하며 30vol% 이상을 가질 경우 안정적인 난연성을 발현한다고 알려져 있다. Fig. 10에서와 같이 LDPE-g-MAH의 경우 17.3vol%를 나타내며 무기계 난연제의 함량이 높은 FRPC-1과 FRPC-2의 경우 21.9vol%와 25.2vol%로 각각 측정되어 유기계 난연제의 첨가량이 적을 경우 난연성능이 부족한 결과를 확인할 수 있었다. 또한 유기계 난연제의 함량이 15wt% 이상 첨가된 FRPC-3~5의 경우 고분자 소재의 난연성능의 기준치를 초과하는 31.1vol%, 32.5vol%, 33.7vol%로 각각 분석되었다. 이는 유기계 난연제 존재하 무기계 난연제를 혼합

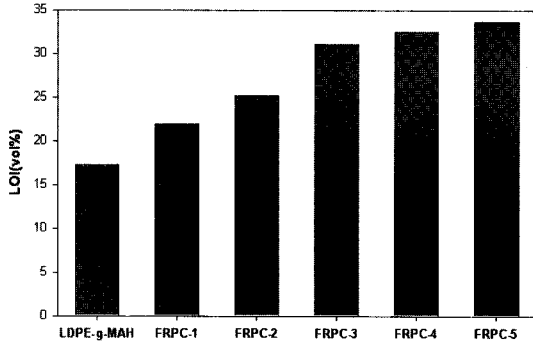


Fig. 10. LOI of various specimen.

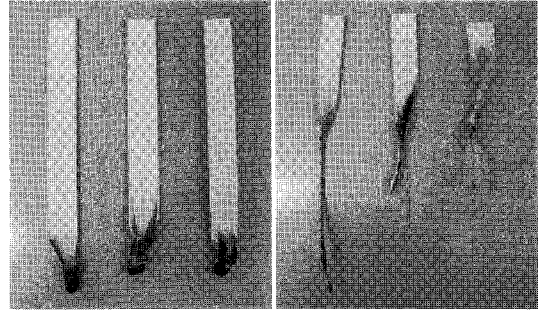
사용한 조성의 배합비에 따라 난연 상승효과가 발현되는 것으로 판단된다.

3.5. UL94 난연성 시험

FRPC는 난연성 코팅마감재로 화재 발생시 불꽃과 직접적인 접촉이 이루어지기 때문에 연소 방지 및 지연시키는 특성이 요구된다. 본 연구에서는 각 FRPC 시험편을 UL94 수직시험(vertical test)에 준하여 불꽃을 가하는 착화시험을 수행한 결과를 Table 4에 나타내었으며 Fig. 11에 착화시험후 dripping 발생에 따른 시험편 양상을 나타내었다. Mg(OH)₂ 30 wt% 함유된 FRPC-1의 경우 난연성능이 부족하여 착화후 연소되는 시간이 21초가 소요되고 char형성이 이루어지지 못하여 V-2 결과를 나타내었으며, APP 10wt%와 Mg(OH)₂ 20wt% 함유된 FRPC-2의 경우 연소시간이 10초를 초과하나 30초 미만에서 잔염이 제거되어 V-1 등급으로 확인되었다. FRPC-3~5의 경우 연소시간은 모두 V-0를 충족하는 결과를 나타내었으나 FRPC-5는 짧은 연소지속시간 동안 시험편에 흐름(dripping)이 발생하고 낙하된 잔염에 의해 cotton이 전소하여 V-2로 측정되었다. 이는 유동성이 높은 FRPC내 비교적 비중이 가벼운 APP

Table 4. UL94(vertical burning testing) of various specimen

Specimen	Combustion time	Total flaming combustion time	Heat dripping	Char formation	Grade
FRPC-1	21sec	>105sec	Dripping	Non-char	V-2
FRPC-2	13sec	>65sec	Non-dripping	Char	V-1
FRPC-3	9sec	<45sec	Non-dripping	Char	V-0
FRPC-4	7sec	<35sec	Non-dripping	Char	V-0
FRPC-5	6sec	<15sec	Dripping	Char	V-2



(a) V-0 grade and non dripping(FRPC-3) (b)V-2 grade and heat dripping(FRPC-5)

Fig. 11. FRPC specimen after UL94 test.

를 단독 사용하여 나타난 것으로 판단되며 일부 충전제(filler) 효과를 나타낼 수 있는 무기계 난연제의 사용이 필요한 것으로 판단된다.

3.5. EDX 분석

열적 안정성과 난연성을 나타낸 FRPC-3을 대상으로 하여 EDX측정을 통한 원소분석 결과를 Fig. 12와 Table 5에 나타내었다. 분석결과 열가소성 수지의 주성분인 탄소(C)가 41.15wt%로 가장 많이 함유되어 있었으며 무기계 난연제인 수산화마그네슘의 마그네슘(Mg)성분과 유기계 난연제 성분인 인(P)이 각각 14.64wt%, 9.12wt%로 측정되었으며 기타 첨가제로 사용된 규소(Si) 및 아연(Zn) 등도 측정

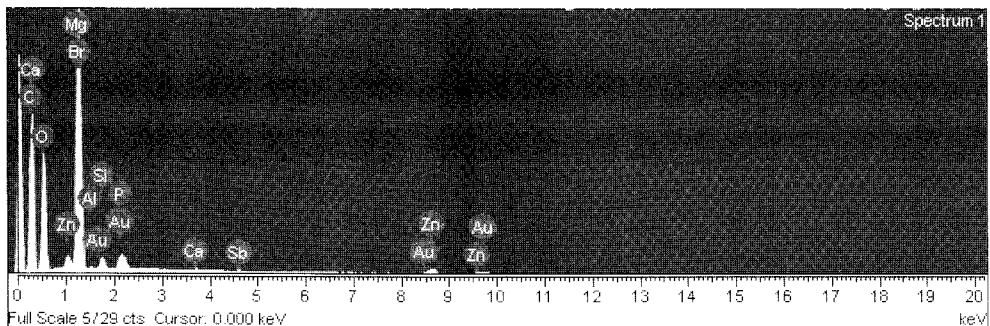


Fig. 12. EDX analysis graph of FRPC.

Table 5. EDX elements analysis of FRPC

Element	Weight %
C	41.15
O	32.05
Mg	14.64
Al	0.00
Si	0.60
Ca	0.13
P	9.12
Zn	2.31
Br	0.00
Sb	0.00
Total	100.00

되었다. 하지만 할로겐 물질인 브롬(Br), 안티몬(Sb) 등과 같은 독성물질은 측정되지 않는 것으로 확인되어 화재 시에 독성유해물질에 대한 위험성을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 matrix 수지로 반응압출법을 이용한 LDPE-g-MAH를 제조하고 이를 이용하여 난연제인 유기계 APP 및 무기계 Mg(OH)₂를 함유하는 비할로겐계 난연 분말 코팅(Flame Retardant Powder Coating : FRPC)소재에 대한 물리적 특성 및 난연특성에 대한 성능평가 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 반응압출에 의해 제조된 LDPE-g-MAH와 virgin LDPE의 FT-IR 분석을 통해 LDPE에 MAH가 graft 되었음을 확인하였으며 MAH에 의해 접착강도가 크게 향상된 것을 확인하였다. 또한 APP와 Mg(OH)₂를 첨가한 FRPC의 용융흐름성, 접착력 및 내충격성 시험결과 분말 코팅소재로서의 적용 가능성을 확인하였다.

2) 비할로겐 유·무기계 난연제를 첨가하여 제조한 FRPC 시료의 열분석 결과 FRPC-5(APP 30wt%)의 열안정성이 가장 우수하였으며 또한 FRPC-3(APP 15wt%, Mg(OH)₂ 15wt%)의 경우에도 폭넓은 온도 영역에서 열안정성이 우수함을 확인하였다.

3) 난연성능 평가로 LOI 분석 결과 Mg(OH)₂의 함량이 높은 FRPC-1은 21.9vol%, FRPC-2는 25.2 vol%로 확인되었으나 APP 함량이 15wt% 이상 첨가된 FRPC-3, 4, 5의 경우 각각 31.1vol%, 32.5vol% 및 33.7vol%를 나타내어 우수한 난연특성을 확인

하였다.

4) FRPC의 UL94 수직시험 결과 FRPC-1과 FRPC-2는 연소지속시간 초과 및 dripping에 의해 각기 V-2와 V-1으로 측정되었으며, FRPC-3, 4는 유기계 난연제에 의한 탄소성 char 형성이 용이하여 연소지속시간 단축으로 V-0의 결과를 나타낸 반면 FRPC-5의 경우 연소지속시간은 6초 이하로 측정되었으나 dripping에 따른 cotton 발화로 난연등급은 V-2로 확인되었으며 이는 APP의 함량에 따른 상대적 난연성은 우수하나 유동성이 높은 조성물내 충전제의 부족으로 인한 것으로 판단된다.

5) FRPC의 EDX 측정을 통한 원소분석 결과 Br, Sb와 같은 할로겐 물질은 측정되지 않는 것으로 나타나 난할로겐 소재임을 확인하였다.

따라서 상기 결과로부터 반응압출로 제조된 LDPE-g-MAH 수지와 유·무기계 난연제를 첨가한 난연 분말 코팅소재의 물성 저하없이 우수한 열안정성 및 난연특성이 발현되는 비할로겐계 polyolefin 분말 코팅재료의 응용 가능성을 확인하였다.

감사의 글 : 본 연구는 한국환경산업기술원(Korea Environmental Industry & Technology Institute : KEITI)에서 주관하는 차세대 핵심환경기술개발사업의 지원에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) T. A. Misev, R. van der Linde, "Powder coatings technology : new development at the turn of the century", *Progress in Organic Coatings*, 34, pp. 160~168, 1998.
- 2) Dan Y. Perera, "Physical ageing of organic coatings", *Progress in Organic Coatings*, 47, pp. 61~76, 2003.
- 3) Dan Y. Perera, "Effect of pigmentation on organic coating characteristics", *Progress in Organic Coatings*, 50, pp. 247~262, 2004.
- 4) S. P. Tambe, S. K. Singh, Dhirendra Kuma, A. B. Samui, V. S. Raja, "Maleic acid grafted low density polyethylene for thermally sprayable anticorrosive coatings", *Progress in Organic Coatings*, 55, pp. 20~26, 2006.
- 5) S. P. Tambe, S. K. Singh, V. S. Raja, Dhirendra Kuma, "Thermally sprayable polyethylene coatings for marine environment", *Progress in Organic Coatings*, 60, pp. 186~193, 2007.

- 6) S. P. Tambe, S. K. Singh, M. Patri, Dhirendra Kuma, "Ethylene vinyl acetate and ethylene vinyl alcohol copolymer for thermal spray coating application", *Progress in Organic Coatings*, 62, pp. 382~386, 2008.
- 7) C. A. Harper, "Modern plastics handbook, 1st ed.", McGraw-Hill Professional, New York, pp. 756~824, 2000.
- 8) C. J. Hilado, "Flammability handbook for plastics, 4th ed.", Technomic Publishing Co., Pennsylvania, pp. 18~52, 1990.
- 9) 西澤 仁, "高分子の難燃化技術", シーエムシー出版, 東京, pp. 42~146, 1996.
- 10) A. R. Horrocks and D. Price, "Fire retardant materials", Woodhead Publishing Limited, Abington, pp. 12~56, 2001.
- 11) D. Feng, Z. Zhou and M. Bo, "An investigation of the thermal degradation of melamine phosphonite by XPS and thermal analysis techniques", *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 50, No.1, pp. 65~70, 1995.
- 12) C. Shimasaki, "Effect of the fire-retardant, melamine, on the combustion and the thermal decomposition of polyamide-6, polypropylene and low-density polyethylene", *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 58, No. 1-2, pp. 171~180, 1997.
- 13) 김영두, 정광수, 김태호, "할로겐이 없는 저연성 폴리올레핀에 관한 연구", *엘라스토머*, 제37권, 제3호, pp. 177~182, 2002.
- 14) D. W. Kang and J. Huh, "Preparation and properties of fireproofing polyolefin compound using nano clay", *J. of Korean Oil Chemists' Soc.*, Vol. 20, No. 2, pp. 165~172, 2003.
- 15) B. Li and J. He, "Investigation of mechanical property, flame retardancy and thermal degradation of LLDPE-wood-fiber composites", *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 83, No. 2, pp. 241~246, 2004.
- 16) A. I. Balabanovich, "Thermal decomposition study of intumescent additives: Pentaerythritol phosphate and its blend with melamine phosphate", *Thermochemica Acta*, Vol. 435, No. 2, pp. 188~196, 2005.
- 17) 이민수, 김진환, "최신 난연재료 개발동향 : 고분자용 난연 첨가제의 기술개발 동향", *공업화학전망*, 제8권, 제6호, pp. 21~35, 2005.
- 18) Pin Lv, "Flammability and thermal degradation of flame retarded polypropylene composites containing melamine phosphate and pentaerythritol derivatives", *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 90, No. 3, pp. 523~534, 2005.
- 19) 속복기, 황택성, 구동철, "폴리우레탄 복합체의 무기난연재료 충전에 의한 난연 특성", *폴리머*, 제31권, 제5호, pp. 404~409, 2007.
- 20) ASTM D 1238 : Standard test method for melt flow rates of thermoplastics by extrusion plastometer, 2004.
- 21) ASTM D 3359:09 Standard test methods for measuring adhesion by tape test, 2009.
- 22) ASTM D 2794:93 Standard test method for resistance of organic coatings to the effects of rapid deformation, 2004.
- 23) KS M ISO 4589-2 : Plastics-determination of burning behaviour by oxygen index, 1996.
- 24) UL94 : The standard for safety of flammability of plastic materials for parts in devices and appliances testing, 1996.
- 25) 광성복, "콘칼로리미터와 TGA를 이용한 할로겐계통의 난연제를 첨가한 폴리프로필렌수지의 난연성 및 열안정성에 관한 연구", *폴리머*, 제24권, 제6호, pp. 777~786, 1999.