난연성을 갖는 폴리프로필렌 분말도료의 화재안전성 연구

이 순 홍

안양대학교 환경에너지공학과
(2013. 7. 11. 접수 / 2013. 10. 4. 채택)

A Study on the Fire Safety of Polypropylene Powder Coatings with Flame Retardant

Soon Hong Lee

Department of Environmental and Energy Engineering, Anyang University
(Received July 11, 2013 / Accepted October 4, 2013)

Abstract : The production of flame-retardant polypropylene powder coating with the addition of flame retardant (PP) controlled rheology (CR) and polypropylene, were discussed comparing the mechanical properties, such as safety and topical coating properties. Mechanical properties measurements showed almost the same as AA-1 where the flame retardant is not added. These results appear to, and because it is excellent in compatibility with polypropylene and flame retardant. Physical properties of the coating film, a test piece flame retardant organic is added, although it shows the physical properties of the coating film was stable, did not show the physical properties satisfactory is the test piece flame retardant of weapons has been added. In the safety of the topic, AA-4, AA-5 the results of thermal analysis but it is excellent, the LOI is excellent in 27.8 vol% 27.0 vol% in AA-4 and AA-2, AA-3, and 27.4 vol% , did not show many obstacles flame AA-5 result UL94.

Key Words : controlled rheology, powder coating, polypropylene powder, flame retardant

1. 서론

분체도료란 유기용제나 물 등의 용매를 사용하지 않고 합성수지, 안료, 기능성 보조 첨가제등으로 구성되는 고상도료로서 액상도료와 비교하여 도료 제조 및 도막형성과 정중 휘발성 유기화합물이 발생하지 않아 환경오염 예방 측면에서 가장 이상적인 도료의 형태이며, 국내외적으로 점차 규제가 강화되고 있는 유기용제류 사용을 억제함으로써 대기오염, 화재위험, 악취 문제 등을 해결할 수 있다¹⁾.

이와 같은 분체도료를 연구함에 있어 폴리올레핀을 주수지로 하는 연구가 최근 활발히 진행되고 있으며, 그중 폴리프로필렌 고분자는 내마모성, 내열성 등과 같은 물리적 특성과 내약품성, 내용제성 등의 우수한 화학적 특성을 가지고 있어 폴리프로필렌을 주수지로 하는 분말도료에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 그러나 폴리프로필렌은 화재 안전성이 낮은 가연성 성질로 인해 자동차, 선박, 전기전자 및 건축 자재 등의 대량 도료사용처에 제한적으로 사용되고 있으며, 이를 개선하여 화재 예방 및 방지성능을 갖는 난연성에 대한 요구가 지속적으로 대두되고 있다²⁾.

폴리프로필렌 고분자수지의 난연화 방법으로는 내열성이 높은 신수지의 합성, 고분자수지의 화학적 개량(반응형 난연제), 난연제의 컴파운딩을 통한 물리적 첨가(첨가형 난연제), 액상난연제의 코팅 방법 등이 있다. 먼저 신수지의 합

성은 chlorination, bromination 등의 방법으로 아로마틱 영역을 증가시킴으로서 내열성을 향상할 수 있으나 화재발생시 할로젠계 유독가스가 방출 되는 문제가 있다. 컴파운딩을 통한 물리적 첨가 방법은 각종 할로젠계, 무기계, 인계, 질소계 등의 난연제를 고분자 수지에 첨가하여 혼련하는 것으로 열가소성 고분자수지의 난연화 방법으로 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 할로젠계 난연제는 연소시 발암물질을 발생함으로 비환경친화적이고, 무기계 난연제는 사용량이 과량 첨가될때 난연성이 발현되는 문제점을 안고 있어 폴리프로필렌의 기계적 물성을 저하시키는 단점이 있다³⁾. 따라서 난연제를 선택함에 있어 최종제품의 요구물성 및 모재고분자의 종류를 감안하고 각각의 난연제 작용 메카니즘 및 시너지 효과를 고려해야 한다. 따라서 본 연구에서는 코팅성과 환경성을 고려한 첨가형 난연제로 질소계(melamine cyanurate), 인계(red phosphorus), 인-질소계(ammonium polyphosphate), 무기계(Mg(OH)₂)를 선정하여 각각의 난연제 종류에 따른 난연특성 및 코팅도막 물성을 평가하는 연구를 수행하였다. Red phosphorus, ammonium polyphosphates, melamine cyanurate 등의 인, 질소계 난연제의 난연기작을 살펴보면 인화합물과 고분자는 산소와 반응하여 인산-메타인산-폴리메타인산을 생성함으로 표면에 산피막을 형성하고, 고분자의 탈수소반응을 촉진시켜 불연성의 carbonaceous char를 생성하여 char가 산소와 열을

*Corresponding Author: Soon Hong Lee, Tel: +82-31-467-0965, E-mail: lshchem@anyang.ac.kr
Department of Environmental and Energy Engineering, Anyang University, 22, Samdeok-ro 37beon-gil, Manan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do 430-714, Korea

차단하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다.⁴⁾ 멜라민계 난연제는 멜라민 시아누레이트, 멜라민 포스페이트, 디멜라민 포스페이트 등이 있으며 이는 열이 가해지면 멜라민이 분해되면서 멜라민과 인산이 각각 응축되고, 주로 흡열반응 과정과 응축상에서의 메카니즘 등에 의해 난연 작용을 하는 것으로 알려져 있다⁵⁾.

또한 폴리프로필렌 고분자 수지는 경도와 결정성이 높아 분쇄가 어려운 특성을 가지고 있으므로 유기과산화물을 첨가하여 폴리프로필렌 고분자의 back bone에 라디칼을 형성하여 분자간의 결합력을 낮추는 controlled rheology(CR) 연구를 통해 분말도로에 적용가능한 입도분포를 갖는 분쇄성 향상 연구를 수행함으로 분쇄도료로의 적용가능성을 확인하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

폴리프로필렌 수지는 호남석유화학사의 호모폴리프로필렌(homo polypropylene, H1500K, density=0.90 g/cm³, MFI=12.0 g/10 min)을 사용하였으며 폴리프로필렌 Controlled Rheology(CR)에 사용된 유기과산화물로는 악조노벨사의 dicumyl peroxide(DCP, PERKADOX BC-40B-PD, density=1.02 g/cm³)를 사용하였다. 난연제는 질소계 난연제로 melamine cyanurate(MC, MC-130, D50%=3~5 µm, Universalchemtech사), 인계 난연제로 red phosphorus(RP, P content=90.4%, Rinkagaku사) 및 질소인계 난연제로 ammonium polyphosphate(APP, Budenheim사)를 사용하였다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. 폴리프로필렌 Controlled Rheology⁶⁾ 및 미분말화

2축 압출기(Twin-screw extruder, screw diameter=50 mm, L/D=15/1, 5 heating/cooling zone)를 사용하여 폴리프로필렌 수지와 DCP를 반응압출 하였으며, 온도조건은 공급부 170°C, 용융부 180°C, 혼련부 190°C, 컨넥터 200°C 및 토출부 205°C로 설정하였다. 반응압출에 사용된 폴리프로필

렌수지와 DCP는 henschel mixer로 800rpm, 5분동안 선 혼합하였으며, Table 1에 폴리프로필렌과 DCP의 배합조성비와 기계적 특성을 평가하여 나타내었다. DCP의 최적 함량을 결정하기 위해서 용융흐름성(Melt Flow Index, MFI)과 고유점도(Intrinsic Viscosity, η)를 측정하였으며 MFI는 Tinius olsen사의 extrusion plastometer(MP600)를 이용하여 ASTM D1238에 따라 230°C, 2.16 kg의 하중하에서 용융체가 규정된 orifice(내경=2.09 mm, 높이=8 mm)를 통과하여 10분간 압출되는 수지의 중량(g)을 측정하였다. 고유점도는 Sin-kawa사의 autoviscometer (AVS-1)을 이용하여 135°C에서 측정하였으며 용매는 BHT(butylated hydroxy toluene) 0.3%를 첨가한 tetraline을 사용하였다.

CR된 폴리프로필렌의 기계적 물성변화를 확인하기 위해 인장강도는 만능재료시험기(Universal Test Machine, DEC-B500TC, Universal testing machine사)를 이용하여 ASTM D638에 따라, 로크웰경도와 IZOD 충격강도경도는 각각 ASTM D785와 ASTM D256에 준하여 측정하였다.

Fig. 1. MFI and intrinsic viscosity change of CRPPs according to DCP contents.

Table 1. Properties of virgin PP and CRPPs

Code name		virgin PP	CRPPs			
		A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Polypropylene		100	100	100	100	100
Dicumyl Peroxide(phr)		0	0.05	0.1	0.2	0.3
Melt Flow Index(g/10 min)		12	24	38	83	111
Intrinsic Viscosity(η)		1.56	1.44	1.35	1.21	1.12
Tensile strength(kgf/cm ²)		352	341	335	330	295
Rockwell Hardness(R scale)		105	103	102	98	93
Notched Izod Impact Strength (kgf·cm/cm at 23°C)		3.1	3.0	2.8	2.7	2.3
Mean diameter(μm)	D _{0.5} ^a	1,255	952	755	405	360
	D ₃₂ ^b	1,126	915	713	393	351
	D ₄₃ ^c	1,302	1,054	769	421	386

폴리프로필렌은 경도가 높고 분자간 결합력이 높아 상온 분쇄가 어려운 문제점을 가지고 있어 냉동분쇄공정을 적용하였다. CR된 폴리프로필렌을 초저온(-180~-100°C)으로 냉각한 상태에서 충격식 분쇄방식을 이용하였으며, 분쇄된 입자는 건식 입도분석기(Beckman coulter, LS 13320, Beckman coulter사)를 이용하여 편광 산란 강도차이(Polarisation Intensity Differential Scattering, PIDS)를 통해 입도분석 하였다.

Fig. 1은 반응압출된 폴리프로필렌의 유기과산화물 첨가량 증가에 따른 MFI와 고유점도의 변화를 나타낸 것으로 DCP의 첨가량이 증가할수록 MFI는 증가하고 고유점도는 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 산화작용에 의한 폴리프로필렌의 분해로 과산화기(peroxy radical)와 히드로과산화물(hydroperoxide)을 경우하는 mechanism에 의한 것으로, MFI가 증가되고 고유점도가 낮아진 CR된 폴리프로필렌은 열용융시 흐름성이 용이하여 코팅도막의 평활성이 향상되며 분자간 결합력이 낮아져서 분쇄성이 향상되는 것으로 알려져 있다⁷⁾.

2.2.2. 난연 폴리프로필렌 복합소재 제조 및 미분말화

상기의 Tabel 1에 나타난 바와 같이 DCP의 함량이 0.3 phr일 때 MFI는 100 g/10 min 이상으로 인장강도와 로크웰경도 및 IZOD 충격강도가 급격하게 낮아는 것으로 확인되어 난연 폴리프로필렌 복합소재의 DCP의 함량을 PP 수지 대비 0.2 phr로 고정하였으며, 난연제 종류를 달리하여 2축 압출기를 통해 용융혼련하여 난연 폴리프로필렌 복합소재를 제조하였으며, 이를 미분말화하여 난연성 폴리프로필렌 분체도료 적용성을 평가하였다.. 난연제에 따른 조성배합을 Table 2에 나타내었으며 기계적 물성 변화를 확인하여 위하여 만능재료시험기를 이용하여 인장강도와 연신율을 측정하였다.

2.2.3. 폴리프로필렌 유동침적코팅 및 도막 물성시험

폴리프로필렌 분체도료의 도막 물성시험 평가를 위해 Fig. 2와 같은 유동침적 코팅(Fluidized bed coating) 공정을

Table 2. Formulation of polypropylene powder coatings

Code name	PP	DCP (phr)	Black M/B (phr)	MC (phr)	RP (phr)	APP (phr)	Mg(OH) ₂ (phr)
AA-1	100	0.2	3	-	-	-	-
AA-2	100	0.2	3	10	-	-	-
AA-3	100	0.2	3	-	10	-	-
AA-4	100	0.2	3	-	-	10	-
AA-5	100	0.2	3	-	-	-	10

Fig. 2. Schematic diagram of fluidized bed coating method.

통하여 코팅시편을 제조하였다. 유동침적 코팅은 피도물을 세척하는 전처리(pre-treating) 공정을 통해 피도물의 표면에 존재하는 이물질과 유막을 제거하는 작업을 선행함으로, 코팅공정중에 발생하는 도막불량을 방지하였다. 전처리를 거친 시험편의 크기와 코팅될 폴리프로필렌 도막의 두께를 고려하여 300~350°C로 피도물을 20 min간 예열하며, 예열된 시험편을 폴리프로필렌 분체도료를 채운 유동침적코팅 탱크(Fluidized bed coating tank)에 3~5sec간 침적하여 가열된 시험편에 폴리프로필렌 분말이 용융되어 도막을 형성하도록 하였다. 코팅된 시험편을 상온에 방치하는 냉각 공정을 통해 폴리프로필렌 분체도료로 코팅된 시험편을 제조하였다.

코팅된 시험편은 KS M 5000-3312 규격에 따라 60° 광택도 측정하였으며, 코팅도막 대하여 표면거칠기측정기(Surface Roughness measuring instrument, Surfcomer SE3500, Kosaka laboratory사)를 이용하여 head speed 0.2 mm/s, 이송거리 4.8 mm의 조건으로 측정하였다.

또한 난연제 종류에 따른 코팅도막의 표면을 관찰하기 위하여 주사전자현미경(Scanning electron microscope;SEM, S-4300, Hitachi사)을 이용하여 비교 분석하였다.

2.2.4. 열적 특성

난연 폴리프로필렌 분체도료에 대한 열적 특성을 분석을 위해 열중량 분석기(Thermo gravimetric analysis;TGA, TA-Q600, TA instruments사)를 이용하여 질소 분위기 하에서 승온속도 10°C/min 조건으로 600°C까지의 온도에 따른 질량변화를 측정하여 비교분석 하였다.

2.2.5. 화재 안정성 평가

KS M ISO 4589-2에 준하여 150mm×7mm×5mm(가로×세로×두께)의 시험편을 제조하여 고분자 물질이 연소시 필요한 산소의 최저 농도(vol%)인 한계산소지수(Limited Oxygen Index;LOI, Oxygen index test apparatus, Fire Testing Technology사)를 측정하였다. 이때 시험편의 상태조절은 23±2°C, 50±5% R.H.로 하고 산소와 질소의 혼합가스 공급량의 유속은 11.4 L/min 으로 산소농도를 0.2 vol%씩 증가시켜 주입하면서 LOI 값을 측정하였다. 또한 불꽃연소 시험을 통한 난연성을 평가하기 위하여 125 mm×13 mm×3.2 mm의 시험편을 제작하고 전처리(23±2°C, 50±5% R.H, 48 hr)를 거쳐 UL94 수직연소시험방법에 실험을 수행하였으며, Table

Table 3. UL94 test rating

Criteria conditions	V-0	V-1	V-2
After flame time for each individual specimen (t1 or t2)	≤10sec	≤30sec	≤30sec
Total after flame time for all 5 specimens of any set (t1 + t2)	≤50sec	≤250sec	≤250sec
After flame plus after glow time for each individual specimen after second flame application (t2 +t3)	≤30sec	≤60sec	≤60sec
Cotton ignited by flaming drips from any specimen	NO	NO	YES

3의 UL94 판정기준에 따라 V-0, V-1 및 V-2 등급으로 구분하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 난연 폴리프로필렌 분체도료의 물리적 특성 평가

난연제 종류에 따른 폴리프로필렌 분체도료의 MFI와 인장강도 및 신율을 측정한 결과를 Table 4에 나타내었다. AA-2~4의 조성물은 CR된 폴리프로필렌 고분자내 난연제를 첨가함에 따라 MFI는 20% 이상 감소하였고 인장강도와 신율도 전반적으로 소폭 하락하는 경향을 확인할 수 있었으나, AA-5 조성물의 경우 폴리프로필렌과 혼화성이 가장 떨어지는 무기계 난연제인 $Mg(OH)_2$ 를 배합함에 따라 물리적 물성저하 폭이 가장 큰 것으로 나타났다.

3.2. 난연 폴리프로필렌 분체도료의 분쇄 및 난연특성 평가

3.2.1. 입도 분석

폴리프로필렌은 비중이 가볍고 경도가 높아 기계적 상온 분쇄시 입자간 마찰열에 의한 용융 및 열노화가 발생하여 분쇄가 원활하게 이루어지기 어려운 특성을 가진 고분자 수지이다. 따라서 본 연구에서는 냉동분쇄 공정을 통해 분쇄시 발생하는 열에너지를 냉각 억제함으로 열적변성을 방지하는 분쇄 공정을 적용하였다. 분쇄된 난연

Table 4. Physical properties of polypropylene powder coatings

Code name	Melt Flow Index (g/10 min)	Tensile strength (kgf/cm ²)	Elongation (%)
AA-1	82	330	550
AA-2	64	320	507
AA-3	65	315	514
AA-4	62	318	521
AA-5	60	280	450

Fig. 3. Particle size analysis of polypropylene powder coatings.

Table 5. Average particle diameters of polypropylene powder coatings

Mean diameter(μm)	AA-1	AA-2	AA-3	AA-4	AA-5
D _{0.5} ^a	405	389	424	376	198
D ₃₂ ^b	393	371	411	352	187
D ₄₃ ^c	421	401	444	385	209

^aD_{0.5} : Cumulative mean diameter

^bD₃₂ : Volume surface(or Sauter) mean diameter

^cD₄₃ : Volume mean diameter

폴리프로필렌 조성물의 입자분포는 Fig. 3과 Table 5에 나타난 바와 같이 미분말화가 용이한 무기계 난연제를 처방한 AA-5의 평균입경이 198 μm로 측정되었고, AA-1~4 조성물의 평균입도는 376~405 μm로 확인되었다.

3.3. 도막물성평가

Table 6은 유동침적 코팅방식에 의해 제조된 도막시험편의 60° 광택도와 표면거칠기를 평가한 결과를 나타낸 것이다. 난연제가 포함되지 않은 AA-1 코팅 시험편의 광택도 70로 가장 높게 측정되었으며, 유기계 난연제를 처방한 AA-2~4 코팅 시험편의 광택도는 각각 62, 60, 61로 유사한 반면 무기계 난연제가 첨가된 AA-5 코팅 시험편은 48로 가장 낮은 광택도를 나타내었다.

또한 각 코팅 시험편의 코팅성 평가방법의 일환으로 측정된 표면 거칠기 Rmax(μm)는 기준길이에서 요철의 최고점과 최저점을 측정하여 그 간격을 나타낸 것으로, 측정된

Table 6. Physical properties of coatings

Physical property	AA-1	AA-2	AA-3	AA-4	AA-5
60° Specular gloss	70	62	60	61	48
Surface roughness (Rmax, μm)	1.52	3.65	4.07	5.32	7.91

Fig. 4. Surface roughness with variation polypropylene powder coatings.

Fig. 5. SEM photographs of polypropylene powder coatings.

값이 0에 가까울수록 표면의 요철이 없는 매끄러움 정도가 우수함을 나타낸다. 난연 폴리프로필렌 분체도료의 코팅특성을 살펴보면 Table 6과 Fig. 4에 나타난 바와 같이, 용융 흐름지수가 높고 난연제가 없는 AA-1의 R_{max} 가 $1.52 \mu m$ 로 평활도가 우수하였으며, 유기계 난연제가 처방된 AA-2~4이 각각 $3.65 \mu m$, $4.07 \mu m$, $5.32 \mu m$ 이고 무기계 난연제가 함유된 AA-5가 $7.91 \mu m$ 로 표면거칠기가 AA-1과 비교하여 크기 증가한 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 5는 폴리프로필렌 코팅시험편의 표면특성 관찰을 위하여 SEM 분석한 것으로 표면거칠기가 양호한 (a) AA-1 시험편의 표면은 매끈하고 평활도가 우수한 반면 (b) AA-3의 경우 표면에 오렌지필(orange-feel)과 같은 미세한 요철이 형성된 것을 확인할 수 있으며, 표면거칠기가 $7.91 \mu m$ 로 높게 측정되었던 (c) AA-5에서는 핀홀(pin-hole)이 발견되어 도장상태가 불량한 것으로 확인되었다. 이는 유, 무기계 난연제의 배합에 따른 도장 표면의 평활성을 방해하는 작용을 하여 발생한 것으로 판단된다.

3.4. 열적 특성

제조된 시편의 열적 특성을 평가하기 위하여 열중량-시차열 분석기를 사용하여 연소에 따른 중량 감소 및 발열, 흡열 경향을 Fig. 6, 7에 나타내었다. 난연제가 첨가되지 않은 AA-1의 경우 비교적 낮은 온도인 $300^{\circ}C$ 부근에서 급격한 발열량 증가와 중량감소를 나타내었다. 반면 무기난연제가 첨가된 AA-5는 $240^{\circ}C$ 에서부터 서서히 중량감소나 $600^{\circ}C$ 약 30% 잔존을 나타내었다. 유기난연제인 APP가 함유된 AA-4의 경우 $280^{\circ}C$ 까지 난연제에 의한 흡열상태가 유지되며 $300^{\circ}C$ 에서 급격한 발열peak를 나타내었다. 이는

Fig. 6. TG curves of polypropylene powder coatings.

Fig. 7. DTA curves of polypropylene powder coatings.

APP의 인과 고분자 수지 및 산소가 반응하여 생성된 산화피막과 고분자의 탈수소반응을 촉진시킴에 따라 산소와 열을 차단하는 불연성의 char생성에 의한 것으로 사료된다. 상기 결과를 바탕으로 RP, APP 및 $Mg(OH)_2$ 난연제가 첨가된 AA-3, AA-4 및 AA-5의 열적 안정성이 우수한 것으로 판단된다.

3.5. 화재 안전성평가

각종 난연제에 의한 난연 폴리프로필렌 분체도료의 화재안전성을 고찰하기 위하여 한계산소지수(LOI)를 측정 한 결과를 Table 7에 나타내었다. 유기난연제가 첨가된 AA-2, 3, 4는 고분자가 난연성을 갖게 된다고 알려져 있는 27 vol% 이상의 값을 나타내고 있으며,⁸⁾ 특히 APP가 함유된 AA-4는 27.8 vol%로 우수한 결과를 나타내었으며, 이는 연소시에 도막 표면에 산피막 및 탄화층 형성 증가로 인하여 산소와 열의 차단작용이 보다 효과적으로 작용한 것으로 판단된다. AA-5의 경우 24.1 vol%로 분석되었으며, 유기계 난연제와 같은 양호한 열안정성 결과를 나타내기 위해서는 보다 많은 난연제가 처방되어야 할 것으로 보여진다.

Table 7. LOI of polypropylene powder coatings

	virgin PP	AA-1	AA-2	AA-3	AA-4	AA-5
Limited oxygen index(vol%)	17.0	18.1	27.0	27.4	27.8	24.1

Table 8. UL94(vertical burning testing) of polypropylene powder coatings

Specimen	Combustion time (sec)			Total flaming combustion time ^{****} (sec)	Heat drip	Grade
	t1 [*]	t2 ^{**}	t3 ^{***}			
AA-1	>10	>60	>20	>250	Dripping	Fail
AA-2	<3	<7	<15	<56	Non-dripping	V-1
AA-3	<4	<8	<13	<59	Non-dripping	V-1
AA-4	<4	<7	13	<56	Non-dripping	V-1
AA-5	<21	>60	>20	>250	Dripping	Fail

^{*}t1 : After flame time. at first flame 10 sec

^{**}t2 : After flame time. at second flame 10 sec

^{***}t3 : After glow time

^{****}Total flaming combustion time : total(five specimens) after flame time

UL94 수직시험(vertical test)에 준하여 불꽃을 가하는 착화 시험을 수행한 결과를 Table 8에 나타내었다. 난연제가 함유되지 않은 AA-1은 완전 연소되어 난연성이 전혀 없었으며, AA-5는 난연성이 부족하여 1차 착화후 연소되는 시간이 21 sec가 소요되고, 2차 착화후 60 sec를 초과하여 총 연소 기준시간을 충족하지 못하였다. MC, RP 및 APP 가 첨가된 AA-2, AA-3 및 AA-4는 1차 연소시간이 3~4 sec로 측정되었으나 2차 연소시간이 7~8 sec로 길어져서 5개 시험편의 총 연소시간이 50 sec를 초과한 V-1 등급으로 확인되었다.

4. 결론

본 연구에서는 유기과산화물을 적용하여 controlled rheology된 폴리프로필렌에 유, 무기 난연제를 첨가하여 난연성을 갖는 난연 폴리프로필렌 분체도료를 제조하였으며 기계적 물성, 도막 물성 및 화재안전성에 대한 성능평가 수행하였다.

유기과산화물인 DCP의 함량함에 따라 MFI는 비례하는 경향을 보였으나 고유점도는 감소하였다. 또한 DCP의 함량이 0.2 phr일 때 무기계 난연제인 $Mg(OH)_2$ 를 10 phr 첨가했을 때 평균입경이 198 μm 로 평균입도가 측정되었다.

난연제 첨가에 따른 기계적 물성 및 도막 물성의 변화는 난연제가 없는 AA-1과 비교하여 AA-5($Mg(OH)_2$ 10 phr)의 경우 인장강도, 신율, 표면거칠기의 물성이 크게 낮아지는 것을 확인하였으며, AA-2~4는 결과치가 다소 감소하였으나 큰 폭의 변화는 확인되지 않았다.

유, 무기계 난연제를 첨가하여 제조한 분체도료의 열분석 결과 AA-4(APP 10 phr)의 열안정성이 가장 우수하였으며 또한 AA-5의 경우 폭넓은 온도 영역에서 열안정성이 우수함을 확인하였다. LOI 분석으로 난연성능 평가 결과 AA-2, AA-3, AA-4의 경우 각각 27.0 vol%, 27.4 vol%, 27.8 vol%를 나타내어 우수한 난연특성을 확인하였다. 또한 UL94 수직시험에서는 AA-2, AA-3 및 AA-4의 경우 유기계 난연제 함유에 따른 탄소성 char 형성이 용이한 특성을 가지고 있어 1차 연소는 빠르게 이루어졌으나, 2차 연소 소요시간이 증가하여 5개 시험편의 총 연소시간(50 sec 이내)을 초과한 V-1의 결과를 확인함으로 난연성을 갖는 폴리프로필렌 분체도료로의 가능성을 보여 주었다.

References

- 1) K. C. Leong, G. Q. Lu and V. Rudolph, "A Comparative Study of the Fluidized-bed Coating of Cylindrical Metal Surfaces with Various Thermoplastic Polymer Powders" Journal of Materials Processing Technology, Vol. 89-90, No. 19, pp. 354-360, 1999.
- 2) Tosko Aleksandar Misev, "Powder Coatings: Chemistry and Technology", Wiley, 1 edition, pp. 43-60, 1991.
- 3) S. J. Kim, "Flame-retardant plastic Status", Polymer Science and Technology, Vol. 6, No. 2, pp. 118-127, 1995.
- 4) Y. G. Kang, H. Kim and H. S. Ryu, "A Study on the Characterization of Intrinsic Flame Retardant and Heat Resistant Sulfur-Bridged Heterocyclic Polymers", International Journal of Safety, Vol. 12, No. 3, 1997.
- 5) 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.
- 6) D. I. Kim, H. Y. Chung, S. H. Hwang, I. S. Cho, K. J. Youn, B. S. Cho, K. K. Kim and K. J. Yun, "A Study on the Chemical Powdering Process of Polypropylene Resin for Anti-slip Floor Paint", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 27, No. 6, pp. 78-83, 2012.
- 7) UL94 : The Standard for Safety of Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances Testing, 1996.
- 8) Y. Chen and Q. Wang, "Preparation, Properties and Characterizations of Halogen-free Nitrogen-phosphorous Flame-retarded Glass Fiber Reinforced Polyamide 6 Composite", Polymer Degradation and Stability, Vol. 91, No. 9, pp. 2003-2012, 2006.