건축방재

목분-폴리프로필렌 복합체의 기계적, 열적 및 난연특성 Mechanical, Thermal and Flame Retardant Characteristics for Wood Flour-Polypropylene Composites

박기훈* · 신백우** · 지광환*** · 방대석****

Park, Kihun*, Shin, Baegwoo**, Jhee, Kwang-Hwan***, Bang, Daesuk****

Abstract

We manufactured wood flour-polypropylene(PP) composites by a modular intermeshing co-rotating twin screw extruder. The limiting oxygen index(LOI) and cone calorimeter experiments were carried out in order to analyze flame retardant characteristics. And mechanical properties were measured by universal testing machine(UTM). The specimens for these tests were prepared by adding four types of flame retardants such as DBDPO(decabromodiphenyl oxide), APP(ammonium polyphosphate), ATH(aluminium trihydroxide) and MP(melamine phosphate). It was found that mechanical properties of the composites with flame retardants showed higher tensile strength and flexural strength than those of control wood flour-PP composites. Also the results of cone calorimeter test indicated that adding flame retardants produced lower heat release rate and mean heat release rate compared to the wood flour-PP composites. Among the four flame retardants, melamine phosphate had the most effective flame retarding characteristics.

Key words : Twin screw extruder, Limiting oxygen index(LOI), Cone calorimeter, Wood flour-PP composites, Flame retardant

요 지

모듈라 치합형 동방향회전 이축스크류식 압출기를 이용하여 목분-PP 복합체를 제조하였다. 난연 특성을 분석하기 위하여 한계산소지수 실험 및 콘칼로리미터 실험을 실시하였으며, UTM 시험을 통하여 목분-폴리프로필렌 복합체의 기계적 특성을 분석하였다. 할로겐계(DBDPO), 인계(APP), 무기계(ATH), 멜라민계(MP) 난연제 네 종류를 각각 첨가한 복합체 시편을 준비하였고 이들 복합체의 난연 및 기계적 특성을 측정하여 순수 목분-PP 복합체보다 난연제가 첨가된 복합체의 인장강도 및 굴곡강도가 향상되었음을 확인하였다. 또한 콘칼로리미터 실험결과 난연제를 첨가한 복합체가 열방출률 및 평균열방출률 모두 순수 목분-PP 복합체 보다 낮았다. 네 가지 난연제 중 멜라민 포스페이트의 난연특성이 가장 효과적임을 확인하였다.

핵심용어 : 이축스크류식압출기, 한계산소지수, 콘칼로리미터, 목분-폴리프로필렌 복합체, 난연제

1. 서 론

최근 전 세계적으로 무분별한 목재 벌목에 의해 지구 온난화 현상이 가속화 되고 있다(강인애, 2009). 목재는 생장조건 및 유전인자에 따라 다른 물성과 결점 부위의 낮은 물성을 지니며 흡수에 의한 팽창과 수축현상, 뒤틀림, 갈라짐 등의 문제점이 발생하며 균이나 해충에 취약하다(Danyadi, 2008).

부식이나 병충해 등에 의한 피해를 예방하고자 방부 처리한

목재에서 비소, 크롬 등의 중금속이 다량 검출되면서 인체 유해성으로 큰 문제가 되고 있다. 이러한 현상으로 환경오염이 날로 심화되고 있으며, 그에 따라 어린이용 놀이터, 데크, 조경용 목재, 주거용 펜스 등과 같이 사람이 직접 접촉할 수 있는 시설물에 사용하는 것을 금지하고 있다. 따라서 벌목규제 강화에 대한 대응, 폐목재 처리, 기존 CCA(chromated copper arsenate) 방부목 소재 대체에 대한 연구개발의 필요성이 증대되고 있다(한유수, 2006).

*정회원. 금오공과대학교 고분자공학과 석사과정(E-mail: qkrrlgn59776@naver.com)

Member. Master course. Department of Polymer Science and Engineering. Kumoh National Institute of Technology

**한국항공우주연구원 한국형발사체개발사업단 선임연구원 Senior Researcher. KSLV-II R&D Program Executive Office Korea Aerospace Research Institute

***금오공과대학교 응용화학교수 Professor. Department of Applied Chemistry. Kumoh National Institute of Technology

****교신저자. 정회원. 금오공과대학교 에너지융합소재공학부 교수(Tel: +82-54-478-7689, Fax: +82-54-478-7710, E-mail: dsbang@kumoh.ac.kr)

Corresponding Author. Member. Professor. School of Energy and Integrated Materials Engineering. Kumoh National Institute of Technology

Wood Plastic Composites(WPC)는 위와 같은 요구들에 완벽히 부합되는 재료로서 플라스틱과 목재의 복합화를 통해 우수한 기계적 강도와 치수 안정성 및 부식이나 병충해에 대한 피해가 없어 유지 및 보수비용이 필요하지 않다는 점에서 점차 시장을 확대해 나가고 있다(Clemons, 2002).

하지만 WPC에 원료로 사용된 플라스틱과 목분은 화재의 위험성을 내포하고 있어 화재 안전 측면에서는 많은 단점을 가지고 있다. 목재 자체가 가연성 물질로써 화재 시 열과 연소가스에 노출되었을 때 사람에게 큰 피해를 일으킨다. 또한 플라스틱은 착화 및 연소속도가 빠르고 연소 시 화재의 2차 효과(secondary fire effect)로 불리는 연기에 의해 시야가 방해됨으로써 피난 및 인명 구조상의 문제점과 유해가스에 의한 질식사 등의 화재위험성을 내포하고 있다(박영주, 2010).

최근 Stark 등(2010)은 난연제를 함유한 목분-폴리에틸렌 복합체를 제조하여 연소특성을 분석함으로써 효과적인 난연제를 제시하였다. Malvar 등(2001)은 상용화된 WPC와 방부목 등의 착화시험을 통하여 건축물 화재성능기준에 대한 적합성을 연구하였다. 국내에서 손원근 등(1999)은 인산암모늄과 붕소로 각각 표면 처리한 목분과 폴리프로필렌 복합체를 제조하여 난연성에 관한 연구를 하였으며, 신백우 등(2012)은 목분-HDPE 복합체의 발연특성을 연구한 바 있다.

따라서 본 연구에서는 이축스크류식 압출기를 이용하여 Wood flour-PP 복합체를 제조하였으며 할로젠계, 무기계, 인계, 멜라민계 난연제를 첨가하여 난연제 종류에 따른 기계적, 열적 및 난연특성을 분석하였다.

2. 실험

2.1 실험재료

목분은 독일 Jeru-werk사의 JERUCYL granule 타입을 구입하여 분쇄한 후 100-150 mesh의 목분을 선별하여 사용하였다. 고분자 매트릭스는 Lotte Chemical J-150 Grade Homo-Polypropylene을 사용하였다. Coupling agent는 Lotte Chemical사의 CM-1120W PP-g-MA(maleic anhydride grafted poly-

propylene)를 사용하였다. 난연 성능의 향상을 위하여 Table 1에서와 같이 할로젠계 DBDPO(decabromodiphenyl oxide), 인계 APP(ammonium polyphosphate), 무기계 ATH(aluminium trihydroxide), 멜라민계 MP(melamine phosphate) 총 4종류의 난연제를 사용하였다.

2.2 시편 제작

본 연구에서는 Table 1에서와 같이 PP와 목분의 함량을 50:50 wt%, coupling agent의 함량은 5 phr을 첨가하였다. Coupling agent로 첨가된 PP-g-MA는 소수성인 폴리프로필렌과 친수성인 목분의 두 물질간의 결합력이 좋지 않아 물성의 저하가 일어나므로 계면 결합력을 향상시키기 위해 첨가하였다(이종혁, 2011)(Nachtigall, 2007).

Table 2. Conditions of Extrusion and Injection Molding Processes

Extrusion			
Temperature(°C)		Screw speed	150 rpm
Cy1	130		
Cy2	140		
Cy3	150	Feed rate	5.2 kg/h
Cy4	160		
Cy5	160		
Cy6	170	Screw configuration	3-Kneading block
Cy7	180		
Head	190		
Die	190		

Injection molding			
Temperature(°C)		Injection pressure	70 kg _f /cm ³
Cy1	130		
Cy2	140	Holding pressure	30 kg _f /cm ³
Cy3	150		
Cy4	160	Cooling time	30 sec
Cy5	160		

Table 1. Formulations of WPCs Prepared with Flame Retardants

Samples	Wood Flour (wt.%)	PP (wt.%)	PP-g-MA (phr*)	Flame retardant(phr)*			
				¹⁾ DBDPO	²⁾ APP	³⁾ ATH	⁴⁾ MP
WPC	50	50	5				
WPC-A	50	50	5	20			
WPC-B	50	50	5		20		
WPC-C	50	50	5			20	
WPC-D	50	50	5				20

*parts per hundred parts of resin

¹⁾DBDPO: Decabromodiphenyl oxide, ²⁾APP: Ammonium polyphosphate,

³⁾ATH: Aluminium trihydroxide, ⁴⁾MP: Melamine polyphosphate

Table 3. Sample Code of the Composites

WPC	Wood flour/PP composite
WPC-A	Wood flour/PP composite with DBDPO
WPC-B	Wood flour/PP composite with APP
WPC-C	Wood flour/PP composite with ATH
WPC-D	Wood flour/PP composite with MP

할로겐계(DBDPO), 인계(APP), 무기계(ATH), 멜라민계(MP) 난연제를 20 phr로 첨가하여 압출공정과 사출공정을 통하여 시편을 제작하였다. 본 실험에서 사용된 압출기는 Modular Intermeshing Co-rotating Twin Screw Extruder(LG Machinery, MT-30-S2-42C, ϕ 30, L/D=42)로 목분과 PP사이의 분산 효과 및 mixing의 최적화를 위해 사용하였다. 사출성형기는 Pro-WD80(Dongshin Hydraulics Co., Ltd.)를 사용하였으며 압출 및 사출 조건은 Table 2에 표기한 것과 같이 진행하였다. 네 가지 난연제를 혼합하여 제조된 복합체 시편의 샘플코드는 Table 3에 표시하였다.

2.3 실험장치 및 방법

2.3.1 기계적 특성

기계적 특성을 파악하기 위하여 ASTM D 638 및 D 790 규격에 따라 만능시험기(UTM, Shimadzu)를 이용하여 인장강도 및 굴곡강도를 측정하였다. 인장강도는 load cell 50 kN을 사용하였고, crosshead speed는 50 mm/min로 설정하였다. 굴곡강도의 load cell은 인장강도와 동일하게 진행하였으며 crosshead speed는 5.1 mm/min으로 측정하였다. 각 시편별 10회씩 측정하여 평균값을 도출하였다.

2.3.2 한계산소지수 시험

목분-PP 복합체에 대한 난연특성을 평가하기 위하여 한계 산소지수(Limit Oxygen Index, LOI)실험을 실시하였다. 한계 산소지수 시험장치는 FTT(Fire Testing Technology, U.K)사의 vertical type를 사용하였으며 ISO 4589-2에 의하여 각 시편 당 5개를 1세트로 하여 측정하였다.

2.3.3 콘칼로리미터 시험

본 연구에서는 Fig. 1에서와 같이 국제규격 ISO 5660-1(2002)를 만족하는 FTT사의 Dual 타입의 Cone calorimeter를 이용하여 열방출률, 총 열방출량, 평균 열방출률등을 측정하였다.

실험에 사용된 시편 5종은 콘 칼로리미터 실험 기준에 따라 100 mm×100 mm×9 mm 사이즈로 제작되었으며 실험을 실시하기 전에 시편을 온도 23±2°C, 상대습도 50±5%의 조건에서 유지하였다.

콘히터(cone heater)와 시편 사이의 거리는 25 mm로 유지하였으며 열유속(heat flux)은 50 kW/m², 가열방향은 일반적

Fig. 1. Detail View of Dual Type Cone Calorimeter.

인 수평방향을 사용하였으며 실험의 종료는 시료의 질량 변화나 연소특성에 변화가 없을 때까지 실시하였다.

2.3.4 열적 특성

본 실험에서는 목분-PP 복합체의 열분해 거동을 조사하기 위해서 열중량분석기(TGA, Q500, TA Instruments)를 이용하여 각 시편의 열안정성을 분석하였다. 질소 분위기 하에서 20-600°C까지 분당 20°C의 승온 속도로 열을 공급하여 온도 변화에 따른 시편의 중량감소를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 기계적 특성

목분-PP 복합체의 인장강도 측정된 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 난연제를 첨가하지 않은 WPC의 인장강도는 37 MPa이며 난연제가 첨가된 WPC의 인장강도는 전체적으로 향상되었다. WPC-A는 39 MPa, WPC-B는 42 MPa, WPC-C는

Fig. 2. Tensile Strength of Wood Flour-PP Composites with Different Flame Retardant.

Fig. 3. Flexural Strength of Wood Flour-PP Composites with Different Flame Retardant.

44 MPa, WPC-D는 41 MPa로 WPC-C가 가장 우수한 인장강도를 나타내었으며 WPC-A가 가장 낮은 인장강도를 나타내었다. 이는 작은 입자 크기의 난연제가 WPC 내에서 양호하게 혼합되어 균일한 분포를 형성하여 기계적 물성이 향상되었을 것이라 예상된다.

Fig. 3은 난연제의 첨가에 따른 굴곡강도를 나타내었다. 난연제를 첨가하지 않은 WPC의 굴곡강도는 42 MPa이며 난연제가 첨가되면 54~62 MPa로 큰 폭으로 향상되었음을 알 수 있다. WPC-A는 55 MPa, WPC-B는 57 MPa, WPC-C는 62 MPa, WPC-D는 54 MPa로 인장강도와 동일한 경향으로 WPC-C가 가장 우수한 굴곡강도를 나타내었으며 WPC-D가 가장 낮은 굴곡강도를 나타내었다. 이와 같은 결과로서 기계적 특성에서는 무기계 (ATH) 난연제가 첨가된 WPC-C가 가장 적합한 것으로 판단된다.

3.2 한계산소지수

한계산소지수(Limit Oxygen Index, LOI)는 고분자 재료의 연소성 및 난연성을 평가하는 지표로서 재료가 연소를 지속

Fig. 4. LOI Measurement of Wood Flour-PP Composites with Different Flame Retardant.

하는데 필요한 최저의 산소의 양을 말하며 일반적으로 LOI 값이 클수록 재료의 난연성은 우수하다. Fig. 4는 난연제의 종류별로 첨가된 WPC의 한계산소지수를 나타낸 그림이다. 폴리프로필렌의 LOI는 17.5이며 목분이 첨가된 WPC는 19.5로 폴리프로필렌보다 높은 값을 나타내었다. 이는 목분이 첨가되면서 폴리프로필렌의 착화 지연 효과를 일으킨 것으로 사료된다. 또한 난연제가 첨가되면 21.5~24.7로 향상되었으며 난연제가 첨가되면서 각 난연제 별 난연 메커니즘에 의한 착화 지연을 일으킨 것으로 사료된다. 인계(APP) 난연제가 첨가된 WPC-B가 24.7로 가장 우수한 LOI 값을 나타내었다.

3.3 콘칼로리미터

본 연구에서는 목분-PP 복합체를 대상으로 콘칼로리미터 실험을 실시하였으며 각각의 재료에 대한 최대 열방출률(PHRR), 평균 열방출률(MHRR) 등의 화재 변수들을 측정하였으며 Table 4에 나타내었다.

열방출률은 화재 위험성을 결정하는데 있어 가장 중요한 변수 중의 하나이며 열방출률 실험의 주요 목적은 실험을 통하여 평균 열방출률 및 최대 열방출률 등 화재 모델링을 위한 기본적인 변수들을 결정하는 것이다.

Fig. 5는 콘칼로리미터 실험 종료 후 탄화된 형태로써 연소 잔여물(combustion residue)의 시편의 전후 사진을 나타내었다. WPC의 연소 잔여물은 대부분 탄화가 일어나 백색의 잔여물로 나타났으며 DBDPO가 첨가된 WPC는 검은색 탄화 경계층을 보였으며 WPC-B는 검은색의 탄화막을 형성하여 탄화층에 균열이 자세히 나타났다. WPC-C는 밝은 백색으로 관찰 되었으며 WPC-D는 백색의 잔여물로 연소 잔여물의 잔류량이 가장 많은 것으로 나타났다.

Fig. 6은 열방출률을 나타낸 그래프로 재료의 화재위험성을 결정하는데 있어 중요한 변수 중 하나이다. 전체적으로 착화 후 초기에 열방출률이 급격히 증가하여 50~100초 사이에서 높은 피크값을 나타내었으며 감소되다가 400~800초에서 다시 높은 피크값을 나타내었다. 이는 급격히 연소됨에 따라 탄화층(char layer)이 형성되어 서서히 열 방출률이 감소되다 두 번째 구간 인근에서 표면탄화층에 균열(crack)이 생성되어 다시 피크가 상승하는 것으로 사료된다. 난연제가 첨가된 WPC

Table 4. Mean HRR and Peak HRR of Cone Calorimeter Test

Samples	Mean HRR [kW/m ²]			Peak HRR	
	180 [sec]	300 [sec]	End of test	Values [kW/m ²]	Times [sec]
WPC	351.11	336.46	170.91	464.40	70
WPC-A	227.25	212.53	134.70	372.03	50
WPC-B	278.39	252.79	154.50	381.02	65
WPC-C	262.66	245.56	116.35	426.44	65
WPC-D	194.54	175.98	126.60	354.83	55

Fig. 5. Cone Calorimeter Test Residue Image of Wood Flour-PP Composites with Different Flame Retardant.

Fig. 6. Cone Calorimeter Curves of Heat Release Rate of Wood Flour-PP Composites with Different Flame Retardant.

는 WPC와 비교하여 볼 때 낮은 피크 값을 나타내어 난연 효과를 확인할 수 있었다.

Fig. 7. Mean Heat Release Rate of Wood Flour-PP Composites with Different Flame Retardant.

Fig. 7은 평균 열방출률을 나타낸 그래프로 시료의 착화 후 연소특성을 잘 판단할 수 있다는 보고가 있는 180초, 300초에서의 평균 열방출률을 나타내고 있다. WPC의 총 평균 열방출률(MHRR)은 173 kW/m², 180초 일 때 352 kW/m², 300초 일 때 332 kW/m²이며 난연제를 첨가한 WPC는 114~118 kW/m²이며 180초 일 때 191~270 kW/m², 300초 일 때 174~250 kW/m²로 전체적으로 난연제의 첨가로 평균 열방출량이 감소하였다. 난연제가 첨가되면 난연 메커니즘에 의해 연소가 지연되어 이러한 효과를 나타낸 것으로 사료되며 멜라민계(MP) 난연제가 첨가된 WPC-D가 낮은 평균 열방출률을 나타내어 난연효과에 있어 가장 우수한 난연제임을 확인 할 수 있었다.

3.4 열적 특성

열중량 분석(TGA)은 온도변화에 따른 시료의 무게 변화를 측정하여 분석하는 방법으로서 온도-무게 변화량의 곡선으로부터 시료의 열변화 상태를 파악하여 정성 및 정량 분석이 가능하게 된다.

온도-무게 변화량의 곡선은 사용한 시료의 열안정성(thermal stability) 및 물질의 구성비 등을 나타내고, 가열 중에 생긴 중간체의 열적 성질도 나타내주며 가열 종료 시 남은 잔류량(residue)의 무게비도 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 복합체의 열적 특성을 평가하기 위하여 열중량 분석을 이용하였다.

열중량 분석을 통하여 복합체 무게가 5%가 감량되었을 때

Table 5. Initial Decomposition Temperature and Residue of Wood Flour-PP Composites

Samples	IDT(°C)	Residue(%)
WPC	262	7.6
WPC-A	263	10.8
WPC-B	208	21.6
WPC-C	239	18.2
WPC-D	250	21.6

Fig. 8. TGA Curves Measured in N_2 for Wood Flour-PP Composites.

의 온도(초기분해온도)와 $600^{\circ}C$ 에서의 잔존 중량율에 대한 결과를 Table 5에 나타내었으며 목분-PP 복합체의 TGA 분석 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 이축압출공정을 이용하여 목분-PP 복합체를 제조하였다. 난연제 첨가에 따른 기계적 특성 및 열적특성을 비교·분석하기 위하여 할로겐계, 인계, 무기계, 멜라민계 4종류의 난연제를 사용하였으며 기계적 특성 및 열적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 인장강도 및 굴곡강도등 기계적 특성 분석결과 무기계 (ATH) 난연제가 첨가된 WPC-C가 가장 우수한 기계적 물성을 나타내었다.
- 2) 난연제가 첨가되지 않은 목분-PP 복합체(WPC)에 비해 난연제를 첨가하여 제조한 목분-PP 복합체들의 한계산소지수 값은 2.0~5.2 상승하였다.
- 3) 콘칼로리미터 시험을 통한 열방출 특성 결과 난연제가 첨가되지 않은 목분-PP 복합체(WPC)는 난연제를 첨가하여 제조한 목분-PP 복합체들에 비해 많은 열량을 방출하였으며 멜라민계(MP) 난연제가 첨가된 WPC-D가 낮은 평균 열방출률 및 최대 열방출률 값을 나타내어 가장 우수한 난연특성을 나타내었다.
- 4) 열중량 분석(TGA)를 통한 열적특성 분석결과 난연제를 첨가한 복합체들은 2단계로 열분해 되는 현상이 관찰되었으며 낮은 초기분해온도와 높은 잔류체 비율을 나타내었다.
- 5) 난연제의 종류에 따라 기계적, 열적 및 난연특성에 대한 기여도의 차이가 나지만 종합적으로 보았을 때 멜라민계(MP) 난연제를 첨가한 WPC 복합체가 위 세가지 특성을 포괄적으로 만족하는 난연제로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교 교수연구년제에 의하여 연구된 실적물로 이에 감사합니다.

References

- ASTM D 638 (2010) Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
- Clemons, C. (2002) Wood-Plastic Composites in the United States : The Interfacing of Two Industries, *Forest Products Journal*, Vol. 52, pp. 10-18.
- Danyadi, L., Moczo, J., and Pukanszky, B. (2008) Effect of Various Surface Modifications of Wood Flour on the Properties of PP-Wood Composites, *Composites: Part A*, Vol. 41, No. 2, pp. 199-206.
- Han, Y.S. (2006) Outlook for Wood Plastic Composite in Aspect of Market and Technology, *Composites Research*, Vol. 19, No. 6, pp. 38-42.
- ISO 5660-1 (2002) Reaction to Fire Test-Heat Release, Smoke Production and Mass Loss Rate - Part 1 : Heat Release Rate(Cone Calorimeter Method).
- Kang, I.A., Lee, S.Y., Doh, G.H., and Chun, S.J. (2009) Mechanical Properties of Wood Flour-Polypropylene Composites: Effects of Wood Species, Filler Particle Size and Coupling Agent, *Mokchae Konghak*, Vol. 37, No 6, pp. 505-516.
- Malvar, L.J., Tichy, R., and Pendleton, D.E. (2001) Fire Issues in Engineered Wood Composites for Naval Water-Front Facilities, *Journal of SAMPE*, Vol. 37, No. 4, pp. 70-75.
- Lee, J.H., Lee, B.G., Park, K.H., Bang, D.S., Jhee, K.H., and Sin, M.C. (2011) Preparation and Characterization of Wood Polymer Composite by a Twin Screw Extrusion, *Elastomer and Composites*, Vol. 46, No. 3, pp. 211-217.
- Nachtigall, S.M.B., Cerveira, G.S., and Rosa, S.M.L. (2007) New Polymeric-Coupling Agent for Polypropylene/Wood-Flour Composites, *Polymer Testing*, Vol. 26, No. 5, pp. 619-628.
- Park, Y.J., Lee, H.P., and Kim, H.J. (2010) Study on Analysis of Characteristics Combustion of Floor Covering Materials, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 10, No. 3, pp. 77-83.
- Shin, B.W., Bang, D.S., Chung, K.S., and Song, Y.H. (2012) The Analysis of Smoke Characteristics for Wood Flour-High Density Polyethylene Composites, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 1, pp. 141-146.
- Stark, N.M., and Matuana, M. (2003) Ultraviolet Weathering of Photostabilized Wood-Flour Filled High-Density Polyethylene Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 90, No.10, pp. 2609-2617.
- Son, W.K., and Hwang, T.S. (1999) The Flame Retardance and Mechanical Properties of Wood Powder-Filled PP Composites, *Journal of Korean Ind. & Eng. Chemistry*, Vol. 10, No. 1, pp. 46-50.

Received	March 7, 2014
Revised	March 14, 2014
Accepted	March 26, 2014