

목분-고밀도폴리에틸렌 복합체의 연소성 및 열적특성 Combustion Characteristics and Thermal Properties for Wood Flour-High Density Polyethylene Composites

신백우 · 정국삼*†

Baeg-Woo Shin · Kook-Sam Chung*†

한국항공우주연구원 나로우주센터, *충북대학교 안전공학과
(2011. 12. 1 접수/2012. 2. 10. 수정/2012. 2. 10. 채택)

요 약

본 연구에서는 목분-HDPE 복합체를 모듈라 회전 이축압출기를 이용하여 제조하여 연소성 및 열적특성을 평가하기 위하여 콘칼로리미터 실험 및 열중량 분석실험을 실시하였다. 그리고 복합체의 난연성능 향상을 위하여 난연제(3종)를 첨가한 복합체의 화재성능을 평가하였다. 콘칼로리미터 실험 결과 난연제를 첨가하지 않은 복합체의 열방출률이 가장 높았으며 최대 열방출률 값은 446.6 kW/m^2 , 평균 열방출률 값은 185.5 kW/m^2 으로 가장 높게 나타났다. 열중량 분석 결과 난연제 첨가한 복합체들의 열분해가 먼저 시작되고 열 안정성을 향상시켰다.

ABSTRACT

In this study, we were manufactured wood flour-HDPE composites by modular co-rotating twin screw extruder with L/D ratio of 42. We was measured cone calorimeter test and thermogravimetric analysis (TGA) to find the combustion characteristics and thermal properties for wood flour-HDPE composites. We then evaluated the effect of three additive-type flame retardants on fire resistance performance. The cone calorimeter test showed that the heat release rate (HRR) of untreated composites was the highest Peak HRR (446.6 kW/m^2) as well as Mean HRR (185.5 kW/m^2). From the TGA, it was shown that composites added flame retardants began early thermal decomposition and improved thermal stability.

Key words : Wood-plastic composites, Cone calorimeter, Heat release rate, TGA, Total heat release

1. 서 론

인류 문명을 석기와 청동기, 철기 등 소재를 기준으로 고대 역사를 구분하는 것으로 보았을 때 '소재(material)의 역사'라고 해도 과언이 아니다. 물질문명이 발달할수록 천연자원에 대한 수요는 꾸준히 증가할 것이며 이는 자원의 고갈로 이어질 것이다. 시멘트, 철 소재 등의 소재가 주류를 이루는 현대 건축의 동향에도 불구하고 목재는 각종 건축물이나 시설물에 지속적으로 활용되고 있다.¹⁾

그러나 목재 수요의 증가는 목자재의 가격 상승과 자원의 고갈 등 문제가 함께 부각됨에 따라 목분과 플

라스틱으로 이루어진 복합체(Wood Plastic Composite, WPC)가 새로운 대체재로 각광을 받고 있다.

WPC는 열가소성 또는 열경화성 수지와 목분을 혼합한 소재로 '목재 플라스틱 복합체' 또는 '합성목재'라 불려지고 있고 목재의 단점을 보완한 신개념 신소재로, 별도의 방부처리 없이도 내수성, 내충성이 우수하며, 미생물에 의한 피해가 전혀 없으며, 다양한 색상과 탈 변색이 거의 없으며, 특히 수분에 강할 뿐 만 아니라 탄성, 인장강도, 휨 강도, 압축강도 및 충격강도가 뛰어나다.

WPC 시장은 북미에 가장 크게 형성되어 있으며 건축재인 사이딩, 데크, 펜스, 발코니 등에 다양하게 이용되고 있으며 내수성이 요구되는 선박이나 자동차 내장재로도 활용되고 있어 기존의 목재시장을 점점 대체

† E-mail: kschung@chungbuk.ac.kr

해 나가고 있는 추세이다.

최근 대형 화재사고의 특징은 화재시 건축물 내장 재료의 연소로 인한 다량의 연기와 유독가스를 배출하여 많은 인명피해를 수반하며 이의 해결방법에는 고분자 재료에 난연성을 부여하여 화재가 급격히 확산되는 것을 방지하고 조기에 화재를 진압하여 인명과 재산 피해를 최소화하여야 한다.

건축물 내장 재료의 연소 시 위험성을 결정하는데 고려해야 할 요소들로서는 재료의 착화성, 연소성, 재료가 타면서 발생하는 열, 열발생 속도, 연기발생, 연소가스 발생 등이 있으며²⁾ 이러한 내장 재료들 가운데 목재, 섬유, 종이, 플라스틱 등의 고분자 재료로 이루어진 새로운 재료들이 기존의 재료들에 비해 뛰어난 장점들이 많지만 대부분 가연성인 경우가 많기 때문에 이에 대응하는 난연화의 필요성이 크게 부각된다.³⁾

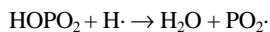
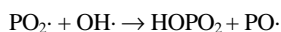
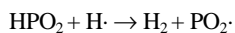
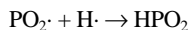
고분자 재료의 난연화 방법은 고분자 재료의 자체의 개질에 따른 내열성 향상, 난연성 재료와 복합화하여 고분자 재료의 보호, 적절한 난연제를 첨가하여 가소성 고분자 재료를 보호하는 등의 방법이 일반적이다.⁴⁾

난연제란 연소하기 쉬운 물질을 가진 플라스틱을 물리, 화학적으로 개선하여 연소가 원활히 진행되지 못하도록 첨가하는 물질로써 구성 성분에 따라 유기계와 무기계로 분류되며, 사용법에 따라 물리적으로 난연제를 첨가하는 방식의 첨가형과 난연제를 첨가하여 화학 반응을 시키고 난연성을 향상시키는 반응형으로 나뉜다.⁵⁾

현재 주로 많이 사용되고 있는 난연제의 종류로는 크게 할로겐계, 인계, 무기계, 멜라민계로 구분할 수 있다.

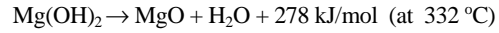
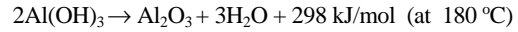
할로겐계 난연제의 주된 난연 mechanism은 가스상에서 라디칼 트랩효과에 의한 활성 OH 라디칼의 안정화이다. 연소의 추진 역할을 하는 활성 라디칼인 OH·, H·을 할로젠 화합물인 HX가 연소과정에서 포착함으로써 그 난연효과를 발휘한다. 또한 HX는 불연성가스를 발생시키므로써 가연성 가스를 희석시키고 산소도 차단하는 효과를 가진다.⁶⁾

인계 난연제의 주된 mechanism은 열분해에 의해 생성되는 인산(phosphoric acid)에 의한 탈수 및 탄화작용과 인함유 라디칼의 hydrogen 및 hydroxyl radical 포획 작용이 난연에 기여한다.⁷⁾



무기계 난연제는 주로 탈수 반응에 의한 흡열에 의해 연소를 지연, 저지하며 기지재(base material)를 분

해시키는데 도움을 주는 역할을 하며 대표적인 난연제로는 Al(OH)₃ 또는 Mg(OH)₂이 있다.⁸⁾



멜라민 계 난연제는 할로겐 대체 난연제로서 새로운 난연제 개발의 요구가 증가함에 따라 인계, 무기계와 더불어 그 사용량이 증가하고 있다.

현재 국내에서는 Nylon의 일부용도에 난연제로 Melamine cyanurate가 사용되고 있으며 이는 열안정성이 우수하고 가공 및 취급이 용이한 특징을 가지고 있다. Melamine은 용융점이 245 °C인 매우 안정한 결정을 이루고 있으나 250 °C부터 승화가 일어나며 용융점 이후 분해가 시작되면서 melem, melam, 그리고 melon과 같은 deammoniation 물질을 생성한다.



멜라민 난연제의 mechanism은 연소과정중 불활성 가스인 질소가스를 상당량 방출하게 되며 이는 연소가 진행되는 연료인 산소의 공급을 차단하거나 희석시켜 연소의 진행을 억제하게 되며 약 320에서 멜라민과 시아누릭산으로 분해하는 과정에서 많은 양을 열을 흡수하게 된다. 이러한 열의 흡수(heat sink)는 초기 연소의 진행을 억제하는 역할을 한다.⁹⁾

최근 WPC 관련 연구로는 친수성인 목분과 소수성인 플라스틱의 두 재료의 계면에서의 낮은 결합력을 향상시키기 위한 많은 연구가 수행되어 왔으며 또한 WPC를 제조함에 있어 산화방지제(anti-oxidant) 및 자외선 안정제(UV-stabilizer)등 첨가제에 관한 연구도 수행되어 왔다.¹⁰⁻¹²⁾

하지만 WPC의 주원료인 목분과 고분자 재료특성상 화재에 매우 취약하다는 문제점을 지니고 있으며 WPC에 난연제 첨가에 따른 화재위험성에 관한 연구는 미비한 실정이다.

최근 Stark 등¹³⁾과 Garcia 등¹⁴⁾은 난연제를 포함한 합성목재의 연소특성 및 기계적 특성에 관한 연구들이 주목을 받고 있다. 최승우 등¹⁵⁾은 난연제를 포함한 바이오복합재료에 대한 열적특성을 살펴보았으며 김 등¹⁶⁾은 포졸란의 함량에 따른 바이오 복합체의 열적특성을 연구하였다.

따라서 본 연구에서는 고분자 공정에서 가장 널리 사용되는 압출(extrusion) 공정과 압축(compression) 공정을 이용하여 목분-HDPE 복합체와 난연제를 첨가한

복합체(3종)를 제조하였으며 난연제 첨가에 따른 연소성 및 열적특성을 비교 분석하기 위하여 콘칼로리미터 실험 및 열중량 분석실험을 실시함으로써 복합체의 화재위험성 특성을 분석하고자 하였다.

2. 실험

2.1 실험재료

본 연구에 사용된 목분(wood flour)은 JELU-WERK JELUXYL(JELU-WERK Josef Ehrler GmbH & Co., Germany) 제품의 granule 형태를 분쇄하여 100~150 mesh의 정도의 입자크기를 사용하였다. 고분자물질인 HDPE는 삼성토탈(SAMSUNG TOTAL) B220 A 제품으로 목분과 고분자의 낮은 결합력을 개선하기 위해 사용되는 첨가제인 상용화제(Coupling agent)는 호남석유화학(Honam Petrochemical Co.) CM-1120W 제품을 사용하였으며 난연성능 향상을 위하여 Table 1에서와 같이 인계 난연제인 암모늄폴리포스페이트(ammonium polyphosphate, NH_4PO_3), 멜라민계 난연제인 멜라민 시아누레이트(melamine cyanurate, $\text{C}_6\text{H}_9\text{N}_9\text{O}_3$), 무기계 난연제인 수산화마그네슘(magnesium dihydroxide, $\text{Mg}(\text{OH})_2$) 총 3종류의 난연제를 선정하여 사용하였다.

2.2 시편제작

본 연구의 시편제작을 위해 사용된 목분은 킵과운딩을 실시하기 이전에 재료의 물성 및 성형에 영향을 줄 수 있는 수분을 제거하기 위해 90 °C의 드라이 오븐에서 24시간 이상 건조하였다.

본 실험에서 사용된 압출기는 LG Cable & Machinery Ltd.(BT-30-S2-42L)에서 제작된 이축압출성형기(twin screw extruder)로써 지름이 30 mm이며 L/D가 42인 모듈라 타입의 치합형 동방향 회전 이축 압출기를 사용하였으며 실린더부터 다이(die)까지 압출기의 온도분포는 130~180 °C이며 스크류(screw)의 회전속도는 100

rpm이었다.

압출기를 통하여 압출된 시료들은 공기 중에서 냉각시킨 후 펠렛타이저(pelletizer)를 이용하여 펠렛으로 만든다. 충분히 건조된 펠렛들을 100 mm × 100 mm 크기의 금형에 넣고 hot-press에 올려놓고 170 °C에서 50분 동안 유지시킨 후 10분 동안 1000 psi 압력을 가하면서 성형과정 동안 금형 안의 복합체들은 충분히 용융되었으며 금형이 상온으로 냉각될 때까지 압력을 계속 유지하여 주었다.

2.3 실험장비 및 방법

2.3.1 콘칼로리미터

본 연구에서는 국제규격 ISO 5660-1¹⁷⁾를 만족하는 영국 FTT(Fire Testing Technology)사의 Dual 타입의 Cone Calorimeter를 사용하였다.

이 장비는 Figure 1에 나타난 바와 같이 콘 형태의 복사전기히터, 산소분석 장치, 시료의 질량을 측정하기 위한 질량측정 장치, 시료 홀더, 스파크 점화회로, 열량 측정을 위한 열량계(heat flux meter), 데이터 수집 및 분석시스템, CO와 CO₂ 측정을 위한 분석기 등으로 구성되어 있다.¹⁸⁾

본 실험에 사용된 시편 4종은 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. 전 처리된 시편은 두께가 0.025 mm~0.04 mm인 알루미늄 호일의 반짝이는 면이 시편을 접촉하도록 감싸고, 시편홀더에 놓고 고정틀(Retainer frame)로 덮는다.

콘히터(cone heater)와 시편 사이의 거리는 25 mm로

Table 1. Formulations of WPCs Manufactured with Flame Retardants

Sample	Wood Flour	HDPE	Coupling Agent	Flame retardants		
				APP	MC	MDH
WPC-A	50	50				
WPC-B	50	50	5 phr*	20 phr		
WPC-C	50	50	5 phr		20 phr	
WPC-D	50	50	5 phr			20 phr

*Parts Per Hundred Parts of Resin

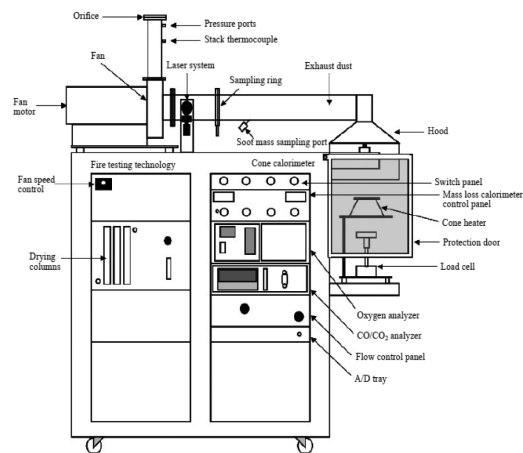


Figure 1. Detail view of dual type cone calorimeter.

Table 2. Experimental Conditions of TGA Analysis

Items	Conditions
Scan Temperature	30~700 °C
Sample Weight	6.0~14 mg
Purge Rate	110 ml/min
Carrier Gas	Nitrogen
Pan	Platinum
Heating Rate	10 °C/min

유지하였으며 열유속(heat flux)은 50 kW/m², 가열방향은 일반적인 수평방향을 사용하였으며 실험의 종료는 시료의 질량 변화나 연소특성에 변화가 없을 때까지 실시하였다.

2.3.2 열중량 분석

본 실험에서는 목분-HDPE 복합체의 열분해 거동을 조사하기 위해서 TGA(SDT 2960, TA Instruments)을 이용하여 측정조건으로 질소 분위기에서 상온에서 700 °C의 온도범위에서 10 °C/min의 승온시키면서 실험하였으며 구체적인 실험조건은 Table 2에 제시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 콘칼로리미터

본 연구에서는 목분-HDPE 복합체 4종류를 대상으로 콘칼로리미터 실험을 실시하여 열방출을 특성과 같은 화재특성을 고찰하였으며 실험 결과값은 Table 3에 나타내었다.

재료가 연소하면서 발생하는 열방출률은 재료의 착화특성과 함께 화재위험성을 좌우한다. 열방출률은 화재 위험성을 결정하는데 있어 가장 중요한 변수중의 하나이며 열방출률 시험의 주요 특성은 실험을 통하여 평균 열방출률 및 최대 열방출률등 화재 모델링을 위한 기본적인 변수들을 결정한다는 것이다.¹⁹⁾

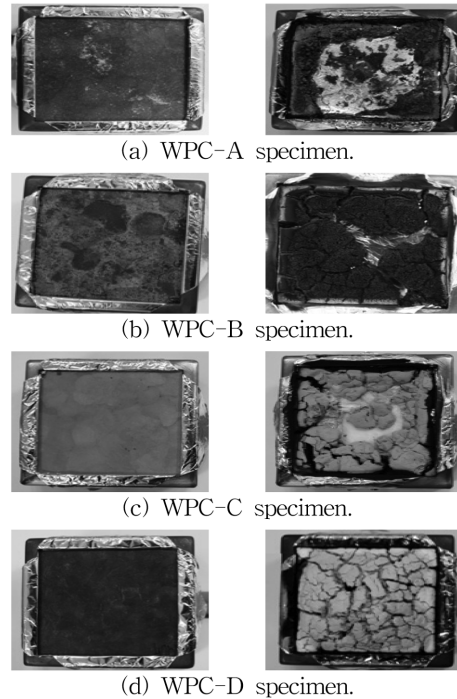
**Figure 2.** Photograph of the samples.

Figure 2에 시험편의 연소 종료 후 탄화된 형태로서 잔여물의 사진을 나타내었다. 난연제를 첨가하지 않은 복합체(WPC-A) 시험편은 연소 후 잔여물이 거의 없었으며 겉보기 잔여물은 진갈색으로 나타났다. 인계 난연제를 첨가한 복합체(WPC-B)는 일부 탄화된 부분이 혼재하였으며 멜라민계 난연제를 첨가한 복합체(WPC-C)는 밝은 회백색을 나타냈고, 무기계 난연제를 첨가한 복합체(WPC-D)의 잔여물은 백색으로 나타났다.

Figure 3에서는 시간대별 목분-HDPE 복합체의 열방출률 실험결과를 나타내었다.

모든 목분-HDPE 복합체들은 착화 후 초기에 열방출률이 급격히 상승하여 착화 후 50초~75초 이내에 최

Table 3. Experimental Results of Cone Calorimeter Test

Materials	Density (g/cm ³)	Weight [g]	Mass Lost [g]	HRR ^a [kW/m ²]		THR ^b [MJ/m ²]	EHC _{mean} ^c [MJ/kg]
				Peak	Mean		
WPC-A	1.10	111.0	101.1	446.6	185.5	333.9	29.2
WPC-B	1.09	110.0	75.3	243.6	111.8	201.3	23.6
WPC-C	1.14	115.0	95.4	363.3	161.5	290.7	26.9
WPC-D	1.19	107.0	68.6	237.9	118.4	213.0	27.4

^aHeat Release Rate Per Unit Area, ^bTotal Heat Release, ^cEffective Heat of Combustion

대값을 나타냈으며 전반적으로 감소되다가 500초 인근에서 또다시 급격히 상승하는 추세를 나타내었다. 이는 목분-HDPE 복합체 착화 이후 초기에 급속히 물질이 연소됨에 따라 복합체의 표면에 탄화층(char layer)이 생성되어 서서히 열방출률이 감소되다가 탄화층에 crack이 생성되어 복합체의 crack 내부에 새로운 물질의 연소에 따라 두 번째 피크가 발생된 것으로 사료되며 Figure 2 연소 종료 후 형태사진에서도 crack 생성 형태를 살펴 볼 수 있다.²⁰⁾

난연제를 첨가한 복합체들의 열방출률은 난연제를 첨가하지 않은 복합체와 비교하였을 때 전반적으로 감소되어 나타났다. 이는 난연제를 첨가한 복합체 내에 난연제 입자가 포함되어 매트릭스 내로 고루 분포하여 복합체 연소시 난연제 종류별 난연 mechanism에 의해 연소가 원활히 진행되지 못하도록 방해하였기 때문인 것으로 사료된다.

즉, 멜라민계 난연제는 heat sink 및 발포제 역할을 하며 또한 질소를 포함하는 가스를 생성하여 산소를 희석시키는 역할을 하고 인계 난연제는 열분해에 의해

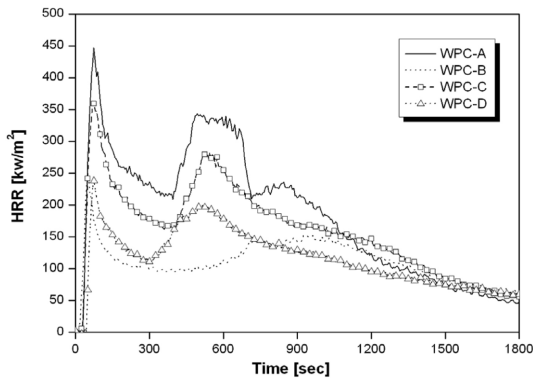


Figure 3. Heat release rates of composites.

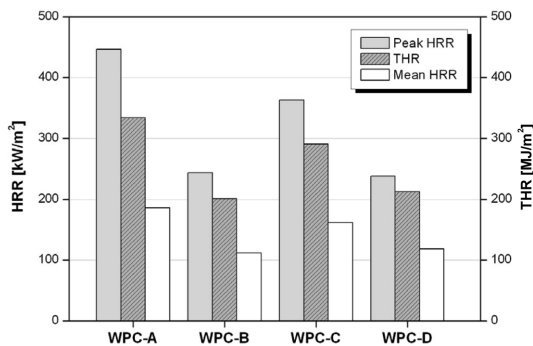


Figure 4. Results of peak and mean HRR, THR.

Table 4. Mean HRR at 180 s and 300 s

Materials	Mean HRR [kW/m ²]	
	180 [sec]	300 [sec]
WPC-A	305.0	277.8
WPC-B	141.8	126.9
WPC-C	257.1	227.7
WPC-D	160.7	143.6

인산층에 의한 보호층의 형성과 탈수작용으로 생성된 char에 의한 차단 효과가 주로 작용하였을 것이며 무기계 난연제는 주로 탈수 반응에 의한 흡열에 의해 연소를 지연하였을 것이다.²¹⁾

Figure 4에서는 복합체 연소시 최대 열방출률 및 평균 열방출률, 총 방출열량을 나타내었다.

WPC-A의 최대 열방출률 값은 446.6 kW/m²으로 나타났다으며 난연제를 첨가한 복합체들의 최대열방출률인 237.9~363.3 kW/m²보다 약 1.2~1.8배 높게 나타났다. 난연제 종류에 따른 최대 열방출률은 MC > APP > MDH 순으로 나타났다.

평균 열방출률, 총 방출열량 값 또한 WPC-A 복합체가 난연제를 첨가한 복합체들에 비해 약 1.1~1.6배 높게 나타났으며 난연제 종류에 따른 평균 열방출률, 총 방출열량 값은 MC > MDH > APP 순으로 나타났다.

콘칼로리미터 실험에서 재료 착화 후 180초 및 300초에서의 평균 열방출률이 실제규모 화재에서의 최대 열방출률 값에 좋은 상관관계를 갖는다고 보고되고 있기 때문에²²⁾ 본 실험에서의 평균 열방출률을 Table 4에 나타내었다.

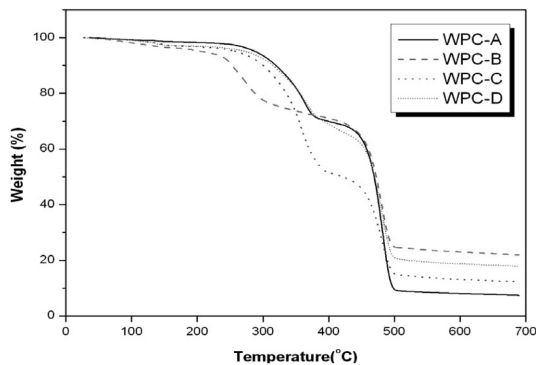
3.2 열중량 분석

열중량 분석(TGA)은 온도변화에 따른 시료의 무게 변화를 측정하여 분석하는 방법으로서 온도-무게 변화량의 곡선으로부터 시료의 열변화 상태를 알고 정성 및 정량 분석을 가능하게 한다. 온도-무게 변화량의 곡선은 사용한 시료의 열안정성(thermal stability) 및 물질의 구성비 등을 나타내고, 가열중에 생긴 중간체의 열적 성질도 나타내주며 가열 종료시 남은 잔류체(residue)의 무게비도 알 수 있다.²³⁾ 따라서 본 연구에서는 복합체의 열적 특성을 평가하기 위하여 열중량 분석을 이용하였다.

열중량 분석을 통하여 복합체 무게의 5%가 감량하였을 때의 온도(초기분해온도)와 600 °C에서의 잔존 중량율에 대한 결과를 Table 5에 나타내었으며 목분-HDPE 복합체의 TGA 분석결과를 Figure 5에 나타내었다.

Table 5. Initial Decomposition Temperature and Residue of Wood flour-HDPE Composites

Sample	IDT (°C)	Residue (%)
WPC-A	288.22	8.10
WPC-B	206.11	23.01
WPC-C	259.07	13.08
WPC-D	272.86	18.76

**Figure 5.** TGA curves of wood flour-HDPE composites.

TGA 분석결과 모든 복합체에서 2단계로 열분해 되는 현상을 관찰하였는데 첫 번째 단계인 300~400 °C 구간에서는 목분이 열분해되었고 450~500 °C 구간에서는 HDPE 수지가 열분해 된 것으로 사료된다.

또한 TGA 곡선에서 확인할 수 있듯이 난연제 첨가한 복합체들은 난연제의 휘발에 의해 열분해가 먼저 시작되고 복합체의 분해거동을 방해함으로써 열 안정성을 향상시켰으며 잔류체의 비율이 높은 것을 확인하였다. 특히 인계 난연제를 함유한 복합체(WPC-B)가 다른 복합체들 보다 잔류체의 비율이 높은 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 목분-HDPE 복합체의 연소성 및 열적 특성을 살펴보기 위한 콘칼로리미터 실험과 열중량 분석을 통하여 열방출 특성, 열적특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

1) 열방출률 특성 결과 난연제를 첨가하지 않은 복합체는 난연제를 첨가한 복합체들에 비해 많은 열량을 방출하였으며, 최대 열방출률값 또한 446.6 kW/m²으로 약 1.2~1.8배 높게 나타났으며 평균 열방출률 및 총 방출열량 또한 약 1.1~1.6배 높게 나타났다.

2) 열중량 분석 결과 모든 복합체에서 2단계로 열분해 되는 현상을 관찰되었으며 난연제를 첨가한 복합체들은 낮은 초기분해온도와 높은 잔류체 비율을 나타냈으며 그중 인계 난연제를 함유한 복합체의 잔류체 비율이 다른 복합체에 비해 약 1.2~2.8배 높게 나타났다.

참고문헌

1. 신용태, “친환경 합성목재의 이해와 적용”, INNOWPC, pp.14-15(2011).
2. 박영주, 이해평, 김현주, “바닥내장재의 연소특성 분석에 관한 연구”, 한국방재학회 논문지, Vol.10, No.3, pp.77-83(2010).
3. 박영근, “고분자재료의 연소가스 독성평가에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.15, No.3, pp.7-13(2001).
4. 송영호, 정국삼, “금속분말-난연제 함유 ABS의 난연 특성 평가”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.21, No.2, pp.30-35(2007).
5. T.S. Hwang, B.J. Lee, Y.K. Yang, J.H. Choi, and H.J. Kim, “The R&D Trends of Polymer Flame Retardants”, *Prospectives of Industrial Chemistry*, Vol.8, No.6(2005).
6. 박창순, 정우원, “난연제의 소개 및 최근 동향”, *고무 기술*, Vol.1, No.1, pp.114-122(2000).
7. 장복남, 최진환, “난연제 및 난연수지 연구 동향”, *고분자과학과 기술*, Vol.20, No.1, pp.8-15(2009).
8. Raymond Friedman, *Principles of Fire Protection Chemistry and Physics*, 3rd ed., NFPA(1998).
9. 강호중, “새로운 무독성 난연제로서의 Melamine의 응용”, *고분자과학과 기술*, Vol.4, No.1(1993).
10. S.K. Shin and T.S. Hwang, “A Study on the Effect of Coupling Agents on the Mechanical Properties of WPC”, *Korean Journal of Materials Research*, Vol.8, No.12(1998).
11. T.J. Keener, R.K. Stuart, and T.K. Brown, “Maleated Coupling Agents for Natural Fibre Composites”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol.35, Issue3, pp.357-362(2004).
12. N.M. Stark and M. Matuana, “Ultraviolet Weathering of Photostabilized Wood-Flour Filled High-Density Polyethylene Composites”, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.90, pp.2609-2617(2003).
13. N.M. Stark, R.H. White, S.A. Mueller, and T.A. Osswald, “Evaluation of Various Fire Retardants for Use in Wood Flour-polyethylene”, *Polymer Degradation and Stability* 95 pp.1903-1910(2010).
14. M. Garcia, J. Hidalgo, I. Garmendia, and J. Garcia-Jaca, “Wood-plastics Composites with Better Fire Retardancy and Durability Performance”, *Composites* :

- Part A, Vol.40, pp.1772-1776(2009).
15. S.W. Choi, B.H. Lee, H.J Kim, and H.S Kim, "Thermal behavior of Flame Retardant Filled PLA-WF Bio-Composites", Mokchaekonghak, Vol.37, No.2, pp.155-163(2009).
 16. H.S. Kim, S.W. Choi, B.H. Lee, S. Kim, H.J. Kim, C.W. Cho, and D. Cho, "Thermal Properties of Bio Flour-Filled Polypropylene Bio-Composites with Different Pozzolan Contents", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol.89, pp.821-827(2007).
 17. ISO 5660-1, "Reaction to Fire Test-heat Release, Smoke Production and Mass Loss Rate - Part 1 : Heat Release Rate(Cone Calorimeter Method)" (2002).
 18. E.Y. Park and D.S. Park, "Combustion Characteristics of Car Components Using Cone-Calorimeter", Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol.25, No.3, pp.237-247(2009).
 19. 신백우, 송영호, 이동호, 정국삼, "합성목재의 연소특성에 관한 연구", 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.6, pp120-125(2010).
 20. 광성복, 황성덕, 남재도, 고재송, 최형기, 공정호, "무기입자 강화제와 브롬(Br) 난연제에 따른 폴리프로필렌 복합재료의 난연성 향상에 관한 연구", 폴리머, Vol.26, No.2, pp.260-269(2002).
 21. 김선대, "최신 국내·세계의 난연제(Flame Retardant) 시장 및 환경규제 현황 보고서", 씨스퀘닷컴, pp.30-34(2005).
 22. 이근원, 김관웅, "콘칼로리미터를 이용한 플라스틱 단열재의 화재특성", 한국화재소방학회 논문지, Vol.17, No.1, pp.76-84(2003).
 23. 김용석, 정현민, "고분자 소재의 열분석", 고분자과학과 기술, Vol.22, No.4(2011).