Journal of Convergence for Information Technology
Vol. 12. No. 5, pp. 126-132, 2022
e-ISSN 2586-4440
DOI : https://doi.org/10.22156/CS4SMB.2022.12.05.126

편백나무 목분을 첨가한 합성목재 패널의 제조 및 특성 평가

김수종
한라대학교 신소재화학공학과 교수

Preparation and Characterizations of Wood Plastic Composite Panel Fabricated with *Chamaecyparis obtusa* Wood Flour

Soo-Jong Kim
Professor, Department of Advanced Materials and Chemical Engineering, Halla University

요 약 데크재, 산책로 등 옥외용도로 대부분 사용되고 있는 합성목재(Wood Plastic Compound;WPC)를 실내용도의 건축용 내장재로 사용하기 위하여, 항균성, 총 휘발성 유기화합물 배출량(TVOC), 난연성 등이 개선된 WPC 패널을 제조하였다. 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)과 편백나무 목분(Chamacyparis obtusa wood flour), 항균제 및 난연제 등의 첨가제를 혼합한 후 압출 성형하여 합성목재(Wood Plastic Composite) 컴파운드 펠렛을 제조하였다. 이 WPC 컴파운드 펠렛을 이축압출기를 사용하여 제조한 합성목재 패널(303mm×606mm×10mm)은 우수한 항균 및 항진균 특성을 나타냈다. 또한 패널의 총 휘발성 유기화합물 배출량(TVOC)은 0.062mg/m2·h였으며, KS F 2271의 난연성 2등급 표준을 달성하였다.

주제어 : 합성목재, 난연성, 편백나무, 목분, 컴파운드

Abstract Wood Plastic Composite(WPC) has been mostly used for outdoor purposes such as deck materials and trails so far. In this study, WPC panels with improved antibacterial properties, total volatile organic compound emissions (TVOC), and flame retardant were manufactured to use Wood Plastic Compound as interior materials for indoor use. WPC compound was prepared by mixing Chamaecyparis obtusa wood flour with high density polyethylene(HDPE). The prepared WPC compound exhibited excellent antibacterial and antifungal properties, and the total volatile organic compound emission(TVOC) was 0.062 mg/m2·h. The WPC panel(303mm×606mm×10mm) manufactured by a twin screw extruder with the manufactured compound achieved the flame retardant grade 2 standard of KS F 2271.

Key Words : Wood plastic composite, Flame retardance, Chamaecyparis obtusa, Wood flour, Compound

1. 서론

건축물의 내외장재로써 일반적으로 사용되고 있는 천연목재는 미관이 좋고 질감이 부드러운 장점을 가지고 있다. 그러나 수분 흡수율이 높아 변형되기 쉬우며, 부식으로 인해 수명이 줄어드는 단점이 있다. 이런 문제점을 개선한 방부목은 크롬(Cr), 비소(As), 구리(Cu) 등의 중금속이 함유된 방부성분을 목재에 함침 시킨 후 압력을 가하여 제조하고 있다. 방부목은 천연목재에 비하여 우수한 내수성, 강도 및 내부식성을 가지고 있다. 그러나 화재가 발생했을 때에는 중금속 계통의 방부제가 연소하여 유독물질이 방출되며, 주변의 토양을 오염시킨다.

합성목재(Wood plastic composite;WPC)는 이런 목재 재료의 단점을 해결한 소재로써 천연목재와 매우 유사한 질감 및 겉모양을 가지고 있다. 합성목재는 일

*Corresponding Author : Soo-Jong Kim(sjkim@halla.ac.kr)
Received February 28, 2022 Revised April 10, 2022
Accepted May 20, 2022 Published May 28, 2022

반적으로 목분과 고분자수지(PP, PE, PVC, ABS 등) 및 기능성을 가지는 첨가제 등을 혼합하여 제조하고 있다[1,2]. 합성목재는 압출공정에 의해 제조되기 때문에 저비용으로 산책로, 생태공원 등의 데크재, 지붕재, 창틀, 프로파일 등에 적용할 수 있고, 일반 플라스틱재료보다 열적 안정성 및 충격강도, 인장강도 등의 기계적 특성이 개선되었다[3,4].

일반적으로 옥외 용도로 사용되고 있는 WPC를 건축물 내장재로 적용하기 위해서는 난연성, 항균성 및 항곰팡이 특성 등이 요구된다. C. Guo 등은 내장재 용도 합성목재의 난연성 향상을 위해 팽창성 흑연을 첨가하여, 발화 시 팽창성 흑연이 표면층에 차르(Char)를 형성하도록 함으로써 난연성 개선을 시도하였다. 그러나 합성목재의 외관이 검은색으로 되어 실내용도로 적합하지 않았다[5]. WPC 소재에 난연성을 부여하기 위해서는 컴파운드 공정에서 난연제를 첨가하여야 한다. 염소나 브롬원소가 포함된 난연제는 난연효과가 매우 우수하다. 그러나 이들 할로겐 화합물은 연소할 때 유독성 가스가 방출된다[6-8]. M. Sain 등은 무기계 난연제인 수산화마그네슘을 사용하여 WPC의 연소속도가 50% 감소되는 것을 보고하였다[9]. 이와 같은 할로겐 원소가 포함되지 않은 난연제로써 인(P)계 또는 세라믹스 계열의 무기계 난연제가 사용되고 있다. 대부분의 무기계 난연제는 많은 양을 첨가해야 난연성이 나타나지만, 30% 이상 사용하게 되면 WPC의 압출공정에서 재료의 성형이 어려워지는 문제점이 있다[10].

한편 WPC에 방부효과, 항균성 및 항곰팡이성을 부여하기 위해 현재까지 붕산 및 붕산염을 사용한 화학적인 처리방법이 적용되어 왔다. 이중에서 특히 아연 붕산염은 붕산화합물의 항균효과와 아연 2가 이온의 항균작용이 결합되어 우수한 항균효과를 나타낸다고 보고되었다[11]. 합성목재는 일반적으로 옥외에 노출되어 있기 때문에, 살아있는 유기물에 의해 WPC가 오염되는 것을 억제하기 위해서는 상당한 양의 붕산화합물을 첨가해야 한다. 더구나 일반적으로 많이 사용되는 붕산아연(Zinc borate) 미세 입자는 인체에 흡입됐을 때 코, 목에 자극을 일으킬 수 있으므로 실내 용도의 WPC에 적용하기에는 적합하지 않다[12,13].

따라서 본 연구에서는 이런 유해한 첨가제를 사용하지 않고, 난연제로 수산화마그네슘(또는 수산화알루미늄)을 사용하였고, 항균성과 항곰팡이성 특성을 부여하기 위해서는 편백나무 목분을 사용하였다. 내장재 용도의 신규 WPC 컴파운드는 고밀도폴리에틸렌수지(HDPE), 편백나무 목분, 무기난연제 및 기타 첨가제를 혼합한 후, 압출하여 제조하였다. 제조한 WPC 컴파운드를 성형하여 WPC패널을 제조하였고, 패널의 난연성, 항균성, 항곰팡이성 및 열적 특성 등을 평가하였다. 기존의 실내천장재 등의 건축자재가 방출하는 유해물질, 분진 등이 발생되는 문제를 해결할 수 있는 기능을 가진 대체 제품으로서의 가능성에 대하여 검토하였다.

2. 실험

2.1 원료

건원료로 사용한 목분은 국내산 편백나무 목재로 가공한 평균 입경 150μm의 목분을 구입하여 100℃에서 12시간 건조하였다. 이 목분의 물성 값을 Table 1에 나타내었다. 목분의 함수율은 3% 미만으로 유지하였다. 합성목재 컴파운드 제조에는 고밀도폴리에틸렌수지(HDPE, HJ-700 삼성토탈)를 사용하였고, HDPE의 용융흐름지수(melt flow index)는 230℃에서 22g/10min이고 밀도는 0.91g/cm^{3}이었다. 컴파운드에 첨가한 무기계 난연제는 수산화알루미늄(Aluminium trihydroxide;ATH)과 수산화마그네슘(magnesium hydroxide;MH)을 사용하였다.

Table 1. Properties of Chamaecyparis obtusa wood flour

Properties	Value
Apparent specific gravity	0.10-0.25
Particle size	150 μm
pH	5
Specific gravity	0.3-0.5
Ash content	0.3-0.5%
Moisture content	1-3%
Color	light buff

2.2 컴파운드 및 패널 제조

컴파운드 제조를 위하여 HDPE, 목분 및 MH 등의 첨가제를 혼합하여 사용하였다. 목분과 MH는 사용에 앞서서 수분을 제거하기 위해 건조오븐을 이용하여 100℃에서 12시간 동안 건조하였다. 배합한 조성물의 압출은 이축압출기(Corotating twin screw extruder)를 사용하였다. 압출기 배럴의 온도는

175-220℃ 범위로 설정하였고 토출부의 온도는 180℃를 유지하였다. 150rpm의 속도로 토출된 필라멘트를 냉각 수조에 통과시킨 다음, 제습, 건조한 후 컷팅하여 컴파운드 펠렛 형태의 WPC 컴파운드를 제조하였다. 제조한 컴파운드를 사용하여 건축물 내장재 용도의 가로 303mm×세로 606mm×높이 10mm 치수의 WPC 패널을 제조하였다.

2.3 특성평가

제조한 WPC 패널의 특성은 다음과 같은 방법으로 평가하였다. 난연성능 준불연재료 시험항목에서 열방출 시험과 가스유해성 시험을 실시하였다. 열방출시험은 KS F ISO 2271-2006, 가스유해성시험은 KS F 2271-2006 규격으로 시험하였다. 열방출시험은 WPC 패널을 잘라서 100mm×100mm×50mm 규격의 시험편을 4매 제작하여 시험하였다. 가스유해성시험은 220mm×220mm×150mm 규격의 시험편을 3매 제작하여 측정하였다. 건축자재 오염물 방출 특성을 평가하기 위한 총휘발성 유기화합물 방출 시험(TVOC)은 실내 공기질 공정시험기준:2010에 따라 측정하였다. 항곰팡이시험은 ASRM D 6329:2008 (Quantitative Test) 시험기준에 의거하여 측정하였고, 가로, 세로, 높이 50mm×50mm×5mm의 시험편 3매를 제작하여 사용하였다. 항균시험은 제1균주와 제2균주를 각각 대장균과 황색포도상구균을 선정하였다. 시험편은 50mm×50mm 치수로 8매를 제작하여 사용하였다. 이 시험에서 사용한 대장균과 황색포도상구균의 시험균주는 각각 *Escherichia* ATOC 8739와 *Staphylococcus aureus* ATOC 6538을 사용하였고, 시험규격은 JIS Z 2801:2012를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 목표로 하는 내장재 용도의 WPC는 실내에서 사용하기 때문에, 실외용 합성목재에 사용하는 일반적인 목분 대신 피톤치드를 방출하는 것으로 알려진 편백나무 목분을 사용하여 WPC 컴파운드를 제조하였다. 목분에 함유되어 있는 섬유질의 크기, 형태 , 화학적인 조성, 밀도 및 결합제의 양은 WPC 재료의 강도 특성에 매우 큰 영향을 미친다. 이중에서 강도특성에 가장 큰 영향을 주는 요인은 목분의 크기이다. 합성목재에 사용하는 목질성분의 종횡비(aspect ratio)는 수종에 따라 차이가 있으며, 침엽수인 편백나무의 목질성분은 활엽수의 목질보다 유연성이 있다. 사용한 목분의 비중은 0.3-0.5, 평균입자의 크기는 150μm로 입도분포가 균일하였다. Pb, As, Hg, Cd 등의 중금속 및 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌 등의 유독물질은 검출되지 않았다. 또한 수분함량이 낮아서(1-3%) 계면결합력이 우수하기 때문에, 제조공정의 안정 및 WPC 컴파운드의 균일성을 확보할 수 있었다(Table 1).

내장재 용도의 WPC 제품은 데크재 등 실외용도로 사용되는 WPC 제품에 비해 더 높은 수준의 난연성이 요구된다. 또한 색상의 경우에도 진한 갈색이 주류를 이루고 있는 실외용도 WPC 재료보다는 더 밝고 미려한 색상이 요구된다. 난연성능을 가지는 내장재 용도의 WPC에 적합한 난연성을 부여하기 위하여 할로겐 원소를 포함하지 않는 금속산화물계 난연제를 선택하였다. 할로겐계 난연제는 제품 제조과정이나 화재발생 시 유해가스와 독성물질이 발생하여 인체에 치명적인 피해를 준다. Polybrominated biphenyl(PBBs)이나 Hexabromocyclododecane(HBCD) 등과 같은 할로겐계 난연제를 첨가하면 무난하게 난연 2등급 기준에 적합한 WPC 난연컴파운드를 제조할 수 있으나, 본 연구에서는 무기계(금속산화물계) 난연제만을 사용하였다. 금속산화물계 난연제로는 수산화알루미늄(aluminium trihydroxide; ATH)과 수산화마그네슘(magnesium hydroxide;MH)을 선택하였다. ATH는 220 ℃에서 흡열반응(1.17 kJ/g)과 함께 물을 방출하고, MH는 330℃에서 흡열반응(1.356 kJ/g)과 함께 물을 방출한다.

$$2Al(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2O \quad (1)$$

$$Mg(OH)_2 \rightarrow MgO + H_2O \quad (2)$$

ATH와 MH는 독성이 없고 인체에 무해하며, 화재발생 시 유해가스가 발생하지 않고 연기발생이 억제되는 특성이 있다. 화재 시 불연물질인 산화알루미늄(Al_2O_3)과 산화마그네슘(MgO)이 생성되고, 물이 탈수될 때의 흡열반응에 의해 연소되는 것을 저지한다. 그리고 분해될 때 발생한 증기는 기체상태의 가연성 물질의 농도를 희석시킨다. 또한 본 연구에서 사용한 HDPE 등과 같은 고분자수지와 분산성이 양호한 특징을 가지고 있다.

일반적인 합성목재 컴파운드에는 목분이 60% 내외로 배합되고 있으며, 옥외의 데크재로 사용하는 WPC

컴파운드의 배합에는 특별한 난연제는 첨가하지 않고 있다. 그러나 본 연구에서는 실내 용도로 사용하기 위해 난연제를 첨가하여 컴파운드를 배합하였고, 그 배합비를 Table 2에 나타내었다. 금속산화물계 난연제는 최소 30% 이상 넣어야 난연성능이 발휘되기 때문에 최대 첨가량을 30%로 하였다. 고분자수지(HDPE)는 발포가 잘 될 수 있는 최소량으로 배합하여 비중 1.2-1.4가 되도록 하였고, 그 배합량은 27-28%로 하였다. 그리고 실내용 난연 내장재로서의 기능을 부여하기 위하여 목분의 첨가량은 25-55%로 하였다.

Table 2. Formulation of Compound.

Material	Compound A	Compound B
HDPE	27.4	27.4
Wood flour	55	25
Mg(OH)2	10	30
Fly ash	10	10
Binder	3	3
Lubricant	2	2
Sun screen	0.3	0.3
Antioxidant	0.3	0.3
Pigment	2	2
Total(%)	100	100

실내에 적용하는 내장재로서의 밝은 시각적 특성을 살리기 위하여 백색 체질안료를 첨가하였다. 또한 원적외선 방출효과와 컴파운드의 색상을 고려하여 백토를 소량 첨가하였다. 컴파운드의 1회 배합량은 100kg으로 하였다. 컴파운드 제조과정에서 화학물질 사용과 관련하여 내장재 기준에 적합하도록 첨가제로서 납 화합물, 카드뮴 화합물 및 IARC(Interrnational Agency for Research on Cancer)의 발암성 분류기호 Group 1, Group 2A 및 Group 2B에 해당하는 물질은 첨가하지 않았다. 보존제로서 유기주석화합물, 크레오소트(creosote) 오일을 기초로 한 활성물질 등도 사용하지 않았다.

Fig. 1에 제조한 컴파운드와 상용 컴파운드의 사진을 나타내었다. 옥외용으로 사용되고 있는 기존의 상용 컴파운드는 짙은 갈색인 반면, 신규로 제조한 실내 용도의 컴파운드 A와 B는 밝은 색상을 나타내었다. MH의 함량이 증가한 컴파운드 B의 색상이 더 밝은 색으로 나타났다. 본 연구에서 난연성을 높이는 목적으로 사용한 MH분체는 백색 체질안료로도 사용되고 있다[14,15]. 따라서 MH 함량이 높을수록 백색도가 향상되며, 이중 MH함량이 제일 높은 컴파운드 B가 가장 밝은 색상을 나타낸 것으로 판단된다.

Fig. 1. Photograph of prepared compound(a, b) and commercial compound(c).

Fig. 2의 열중량분석(TGA) 그래프에 나타난 바와 같이 신규 개발한 컴파운드 A와 B는 320℃ 부근에서 중량감소가 시작되고 있다. 기존 상용품인(데크재) 컴파운드 C는 160℃ 부근에서 중량감소가 시작되고 320℃ 부근에서 급격한 중량감소가 500℃ 부근까지 나타났으며, 500℃이상에서는 고분자수지의 대부분이 탄화된 것으로 나타났다.

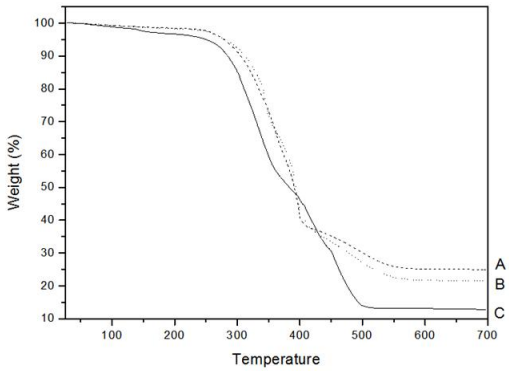

Fig. 2. Thermogravimetric analysis curve of the developed compound, A: compound A type, B: compound B type, C: commercial compound

Fig. 3의 시차주사열량분석 결과에서 컴파운드 A와 B는 난연제로 첨가한 수산화마그네슘이 330℃ 부근에서부터 흡열반응(1,356kJ/g)과 함께 물을 방출하는 것으로 나타났다.

$$Mg(OH)_2 \rightarrow MgO + H_2O \quad \text{at} \quad 330℃ \qquad (3)$$

그러나 기존의 상용 컴파운드 C에서는 난연제에 의한 흡열 피크는 보이지 않고, 고분자수지의 열분해에 기인한 발열피크가 250℃ 이상에서부터 410℃까지 나

타났으며, 이것은 Fig.2의 열중량곡선의 결과와 일치하였다. 개발품인 컴파운드 A와 B는 모두 비슷한 열중량 감소 거동을 나타내었다. 두 가지 모두 초기 열분해 온도가 기존 컴파운드 C에 비해 100℃ 이상 높은 것을 알 수 있다. 그리고 초기 열분해가 시작되는 320℃에서 410℃ 부근까지 총 중량의 60%에 가까운 1차 열분해가 일어난 후, 550℃ 까지 총중량의 약 10% 정도의 2차 열분해가 일어나고 있다. Fig. 3의 (c)에서 기존의 컴파운드인 C는 500℃에서 열분해가 완료되는 것으로 나타났다. 이에 비해 Fig. 3(a)와 (b)에 나타낸 것처럼 A와 B컴파운드는 550℃ 에서 열분해에 따른 중량감소가 더 이상 일어나지 않아, 상용 컴파운드 C에 비해 50℃ 정도의 높은 열분해 온도를 나타냈다. 이런 결과로부터 신규 컴파운드 A와 B가 기존 컴파운드인 C에 비해 전반적으로 열적 특성이 우수한 것을 알 수 있었다. 이것은 난연제인 수산화마그네슘 첨가 효과에 의한 것으로 판단된다.

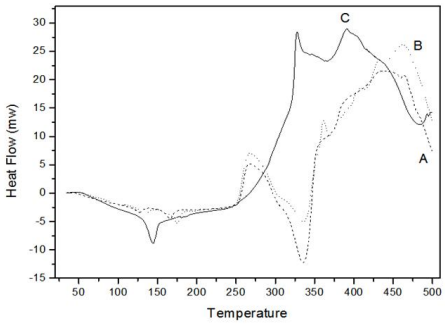

Fig. 3. Differential Scanning Calorie Analysis curve of the developed compound, A: compound A type, B: compound B type, C: commercial compound

Fig. 4에 컴파운드 A의 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy) 사진과 EDX분석 결과를 나타내었다. Fig. 4(a) 나타난 바와 같이 첨가한 무기 난연제 등이 HDPE 수지와 균일하게 혼합되어 있는 것을 알 수 있다. Fig. 4(b)의 EDX분석 결과에서는 수산화마그네슘 입자가 수지에 전체적으로 고르게 분산되어 있는 것으로 나타났다.

Fig. 5(a)와 (b)에 나타낸 신규로 제조한 컴파운드 A의 SEM사진에서는 고분자수지에 목분, 첨가제, 난연제 등이 균일한 상태로 혼합, 분산되어 있는 것으로 확인되었다. 한편, Fig. 5(c)의 상용 컴파운드의 SEM 사진에서는 상이 전체적으로 균일하지 않고, 고분자수지 인 HDPE (m.p. 140℃)의 탄화가 진행된 것으로 보인다. 이것은 Fig. 1(c)에 나타낸 상용 컴파운드가 검은 색을 띠는 진한 갈색을 나타내는 것과 일치하는 결과라고 할 수 있다.

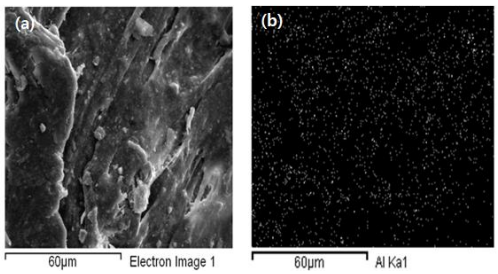

Fig. 4. (a) FE-SEM micrographs and (b) EDX image of the prepared compound A

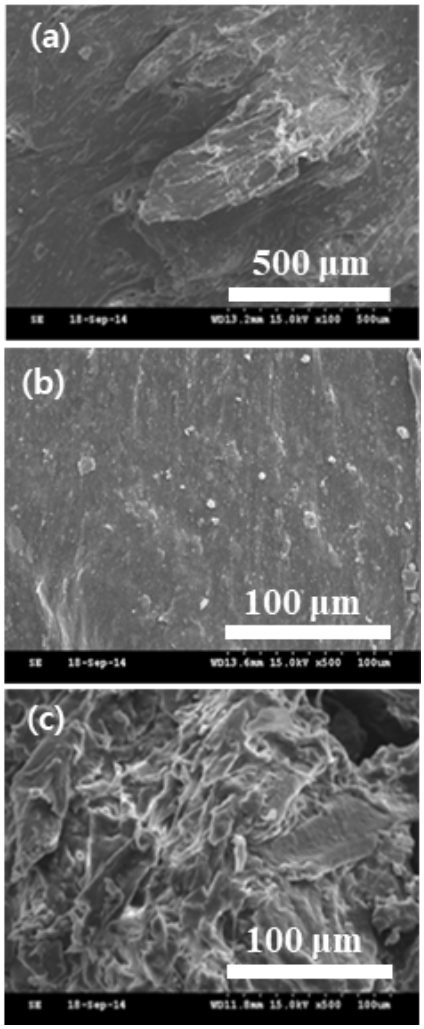

Fig. 5. FE-SEM micrographs of the prepared compound, (a) and (b) compound A, (c) commercial compound

신규 제조한 A와 B 컴파운드를 사용하여 내장재 용도의 WPC 패널(303mm×606mm×10mm)을 제작하였다(Fig. 6). WPC 패널을 실내용으로 사용하기 위하여 필요한 성능평가를 실시한 결과, 항곰팡이 저항성이 로그 값 1.0이하, 곰팡이 포자수가 10 이하로 우수한 항곰팡이 특성을 나타내었다. 총휘발성 유기화합물 방출량은 0.062mg/m^2·h을 나타내, 내장재로서 필요한 목표기준 0.1mg/m^2·h 보다 우수한 특성을 나타냈다. 항균성능테스트에서 사용한 시험 균주는 대장균(*Escherichia* ATOC 8739)과 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus* ATOC 6538)를 선정하였고, 시험규격은 JIS Z 2801: 2012를 사용하였다.

두 가지 시험균주의 항균활성치는 각각 0.9와 1.6의 결과 값을 얻어서 높은 항균성능을 나타내었다. 또한 열방출시험에서 총방출열량은 31.5MJ/m^{2}의 값을 나타내었고, 열방출 시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융현상은 없는 것으로 평가되어 우수한 난연특성을 나타내었다. 개발된 WPC 패널 소재는 건축 내장재 용도로 사용할 수 있는 열적특성, 항균성, 항곰팡이성 및 휘발성유기화합물 방출량에 대한 특성을 모두 만족하는 것으로 평가되었다.

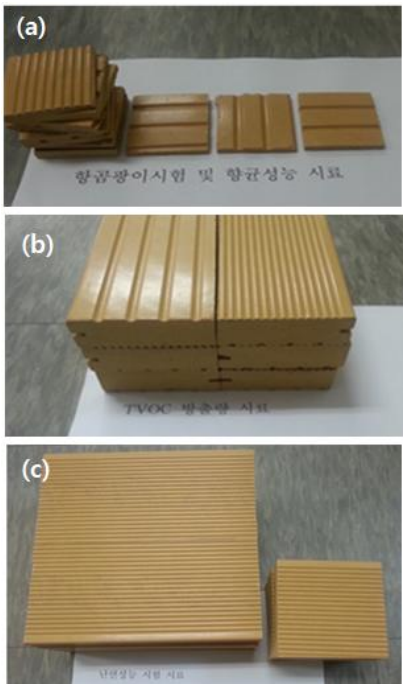

Fig. 6. Manufactured WPC panels and test samples, (a)antibacterial and antifungal properties test samples, (b) TVOC test samples, and (c) flame retardant test samples

4. 결론

WPC 소재를 실내용도로 적용하기 위하여 항균성, 난연성 등 건축물 내장재로서 요구되는 기능을 부여하여 WPC 컴파운드를 제조하였다. 컴파운드는 편백나무 목분, HDPE, 수산화마그네슘, 기타 첨가제를 배합하였다. 무기계 난연제인 수산화마그네슘 또는 수산화알루미늄의 배합량 10-30%, 항균기능을 가진 편백나무 목분의 배합량은 25-55%로 확정하였다. 제조한 컴파운드 펠렛을 압출 가공하여 건물의 실내에 적용할 수 있는 WPC 패널(303mm×606mm×10m)을 제작하였다. WPC 패널은 KS F 2271의 난연 2등급 기준을 충족하였다. 휘발성 유기화합물 방출량은 0.062mg/m^2·h로 실내 적용에 필요한 기준을 만족하였다. 또한 내열성, 항균성, 항곰팡이 특성도 우수하여 건축 내장재로서 적용할 수 있을 것으로 평가되었다.

REFERENCES

[1] A. Kaboorani. (2017). Characterizing water sorption and diffusion properties of wood/plastic composites as a function of formulation design. *Construction and Building Materials, 136, 164-172.* DOI : 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.120

[2] J. T. Benthien, H. Thoemen. (2012). Effects of raw materials and process parameters on the physical and mechanical properties of flat pressed WPC panels. *Journal Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 43(4),* 570-576. DOI : 10.1016/j.compositesa.2011.12.028

[3] S.-J. Chun & S.-Y. Lee. (2014). Thermal Stability of Polypropylene-Based Wood Plastic Composites by The Addition of Ammonium Polyphosphate. *Journal of The Korean Wood Science and Technology, 42(6),* 682-690. DOI : 10.5658/WOOD.2014.42.6.682

[4] B. Nörnberg, E. Borchardt, G. A. Luinstra & J. Fromm. (2014). Wood plastic composites from poly (propylene carbonate) and poplar wood flour -Mechanical, thermal and morphological properties. *European Polymer Journal, 51*, 167-176. DOI : 10.1016/j.eurpolymj.2013.11.008

[5] C. Guo, L. Zhou & J. Lv. (2013). Flame-Retardant and Mechanical Properties of Wood Flour-Polypropylene Composites. *Polymers and Polymer Composites 21(7),* 449-456.
DOI : 10.1177/096739111302100706

[6] A. Schirp & S. Su. (2016). Effectiveness of pre-treated wood particles and halogen-free flame retardants used in wood-plastic composites. *Polymer Degradation and Stability, 126,* 81-92.
DOI : 10.1016/j.polymdegradstab.2016.01.016

[7] E. Baysal, M. K. Yalinkilic, M. Altinok, A. Sonmez, H. Peker & M. Colak. (2007). Some physical, biological, mechanical, and fire properties of wood polymer composite (WPC) pretreated with boric acid and borax mixture. *Construction and Building Materials, 21(9),* 1879-1885.
DOI : 10.1016/j.conbuildmat.2006.05.026

[8] T. Umemura, Y. Arao, S. Nakamura, Y. Tomita & T. Tanaka. (2014). Synergy effects of wood flour and fire retardants in flammability of wood-plastic composites. *Energy Procedia 56,* 48-56.
DOI : 10.1016/j.egypro.2014.07.130

[9] M. Sain, S. H. Park, F. Suhara & S. Law. (2004). Flame retardant and mechanical properties of natural fibre-PP composites containing magnesium hydroxide. *Polymer Degradation and Stability 83,* 363-367.
DOI : 10.1016/S0141-3910(03)00280-5

[10] J. Reuter, L. Greiner, P. Kukla & M. Döring, (2020). Efficient flame retardant interplay of unsaturated polyester resin formulations based on ammonium polyphosphate. *Polymer Degradation and Stability,* 178, 109134.
DOI : 10.1016/j.polymdegradstab.2020.109134

[11] P. Bazant et al. (2014). Wood flour modified by hierarchical Ag/ZnO as potential filler for wood-plastic composites with enhanced surface antibacterial performance. *Industrial Crops and Products, 62,* 179-187.
DOI : 10.1016/j.indcrop.2014.08.028

[12] Y. Fang et al, (2022). The influence of zinc compounds on thermal stability and flame retardancy of wood flour polyvinyl chloride composites. *Construction and Building Materials, 320,* 126203.
DOI : 10.1016/j.conbuildmat.2021.126203

[13] Y. Fang, Q. Wang, C. Guo, Y. Song & P. A. Cooper. (2013). Effect of zinc borate and wood flour on thermal degradation and fire retardancy of Polyvinyl chloride (PVC) composites. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 100,* 230-236.
DOI : 10.1016/j.jaap.2012.12.028

[14] Y. Lu, C. Wu & S. Xu. (2018). Mechanical, thermal and flame retardant properties of magnesium hydroxide filled poly(vinyl chloride) composites: The effect of filler shape. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing,* 113, 1-11.
DOI : 10.1016/j.compositesa.2018.07.012

[15] P. Plagemann, J. Weise & A. Zockoll. (2013). Zinc-magnesium-pigment rich coatings for corrosion protection of aluminum alloys. *Progress in Organic Coatings, 76(4),* 616-625.
DOI : 10.1016/j.porgcoat.2012.12.001

김 수 종(Soo-Jong Kim) [정회원]

· 1989년 3월 : 충북대학교 화학공학과 졸업(공학사)
· 1991년 3월 : 충북대학교 화학공학과(공학석사)
· 2000년 4월 : Tokyo University of Agriculture & Technology, Chemical and Biological Science and Technology(공학박사)
· 1991년 12월~1996년 3월 : 국립공업기술원 공업연구사
· 1996년 4월~2003년 8월 : 중소기업청 공업연구사
· 2003년 9월~현재 : 한라대학교 신소재화학공학과 교수