

## 낙엽을 활용한 판상 구조체 제조

최광식<sup>1</sup>, 노진호<sup>1</sup>, 성용주<sup>2†</sup>

접수일(2020년 10월 14일), 수정일(2020년 10월 21일), 채택일(2020년 10월 23일)

### Preparation of Sheet-like Composite by using Fallen Leaves

Gwang Sik Choi<sup>1</sup>, Jin Ho Noh<sup>1</sup>, Yong Joo Sung<sup>2†</sup>

Received October 14, 2020; Received in revised form October 21, 2020; Accepted October 23, 2020

#### ABSTRACT

Disposal of fallen leaves in city area has become serious issue because of increasing amount of the fallen leaves and of decreasing handling amount of daily waste incinerating facility or landfill. In order to increase the usability of fallen leaves, the sheet-like composite was prepared through pretreatment processes and manufacturing processes of fallen leaves. The crushed fallen leaves were fractionated by using 10 mesh and 40 mesh screen, which could divided the stem and the lamina because the lamina of the fallen leaves was more breakable than the stem. The effects of fallen leaves particles size on the properties of the sheet-like composite were evaluated. The fraction between 10~40 mesh of the crushed fallen leaves resulted in the higher strength properties of the composite than that of the larger size particles or the smaller size particles. The bulkier structure of the composite made of 10 mesh fraction showed higher water resistance property and lower water holding capacity. The density and the strength property of the composite was controlled by addition of red clay as filler. The surface treatment with rosin resulted in the higher water resistance and the neutralization of alkali pH.

**Keywords:** *Fallen leaves, sheet like composite, fractionation, water resistance*

1 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과(Department of Biobased Materials, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea), Student

2 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과(Department of Biobased Materials, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea), Professor

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: yosung17@cnu.ac.kr

## 1. 서론

도시환경개선을 위한 도심 내 가로수와 도시숲 등의 녹지 조성 확대로 도심 내 수목의 수는 매년 지속적으로 증가하고 있으며 특히, 여름철 도시열섬현상 대응과 미세먼지 저감을 위한 목적으로 활엽수 위주의 지자체별 나무심기가 더욱 확대되고 있다. 이러한 도심 내 수목들은 매년 가을철에 상당량의 낙엽을 발생시키게 된다. 이러한 가로수로 사용되는 평균 수령의 한 그루 나무에서 약 100 kg 정도의 낙엽이 발생하는 것으로 알려져 있는데, 2019년 산림청의 시도별 주요수종 가로수 조성 현황에 따르면,<sup>1)</sup> 우리나라에는 총 857만 본의 가로수가 조성되어 있는 것으로 알려져 있어 도시숲, 도시공원 및 아파트 단지 등의 민간도로 가로수들을 제외하고도 전국적으로 약 80만 톤 가량의 낙엽이 매년 발생하는 것으로 추정된다.

낙엽의 발생은 기온의 저하에 의해 잎의 광합성이 중단되며 엽록소가 파괴되며 다른 색소가 드러나 색상이 바뀌며, 탈리층이 분해되며 발생하는데 가을에 집중적으로 낙엽이 발생되고 발생하는 낙엽들이 수거 및 처리되지 않는 경우 도심 미관을 저해할 뿐만 아니라 하수관 또는 우수관 등에 축적되어 배수를 막는 등 다양한 문제들을 일으킬 수 있어서 각 지자체별로 가을철 낙엽의 수거는 주요한 환경관리 업무가 되고 있다.

매년 지속적으로 발생량이 증가하고 있는 낙엽은 생활 폐기물로 분리되어 수거와 함께 매립 또는 소각의 방법으로 처리되는데 전국적으로 매립장의 감소와 소각폐기물 증가에 따른 처리비용 상승 등으로 낙엽의 적절한 처리는 더욱 어려운 상황이고 그 처리비용도 크게 증가하고 있다. 이러한 낙엽의 자원화를 통한 처리기술의 개발은 폐기물 처리비용의 절감과 함께 바이오매스 자원의 활용적인 측면에서 많은 관심의 대상이 되어 왔는데, 낙엽의 부숙도를 증대시켜 퇴비화하는 방법이 대표적인 활용방법으로 제시되어 왔다.<sup>2-4)</sup>

또한, 낙엽의 활용증대방안으로 낙엽의 펠릿화공정 적용을 통하여 제조된 고밀도제재의 특성변화연구<sup>5,6)</sup>와 낙엽을 활용하여 기능이 첨가된 펄프몰드에 관한 연구,<sup>7)</sup> 낙엽의 열처리에 의하여 제조된 흡착제 제조 및 특성평가<sup>8)</sup> 및 바이오가스 생산<sup>9,10)</sup> 등에 관한 연구들이 지속적으로 이루어지고 있다. 이외에도 Campanella 등은<sup>11)</sup> 참나무 잎과 식물유 베이스의 레진을 고온의 resin transfer moulding (RTM)과 vacuum-assisted resins transfer

molding (VARTM) 방법을 통하여 비교적 저비용의 바이오 복합소재를 제조해 건축, 장난감, 가구 등에 적용하는 것에 대해 보고한 바 있으며, Jiao Qu 등은<sup>12)</sup> 포플러 낙엽을 연소하여 탄소나노튜브를 제조하고 이를 유해성 물질의 흡착제로 활용하는 방안에 대해 보고한 바 있다. 이처럼 낙엽의 활용을 위한 다양한 활용방안들이 지속적으로 모색되고 있으나 현재까지 상용화 가능한 활용방안은 제시되지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 낙엽의 고도활용을 위한 방안으로 낙엽의 전처리와 선별 등을 통해 소재화하고 이를 기반으로 판상의 구조체를 제조하는 방법에 대하여 알아보았다. 이러한 판상의 구조체는 도심 내 정원이나 공원의 조성 또는 토목공사 등의 조경현장에서 토양의 수분증발 및 먼지발생 등을 막아주는 멀칭용 소재로 다양하게 활용될 수 있다. 이의 개발을 위하여 상대적으로 쉽게 파쇄되는 낙엽의 특성을 고려한 낙엽의 전처리 방법과 다양한 무기소재 기반의 결합제 및 첨가제의 적용조건별 영향성을 평가함으로써 내구성과 물폴립성 등의 기능을 강화한 판상의 구조체를 제조하는 방법을 모색함으로써 낙엽의 소재화를 위한 기반기술을 제공하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시 재료

본 연구의 공시재료로는 대전시 유성구 플라타너스 가로수 낙엽을 수집하여 사용하였으며, 수집된 낙엽의 함수율은 15.4%로 나타났다. 낙엽의 판상 구조화를 위해 사용한 무기 바인더로서 액상의 규산나트륨(☞영일화성, 액상규산나트륨 4호)를 적용하였으며 무기충전제로 분말황토(325 mesh 이하, ☞황토나라)를 사용하였다. 낙엽구조체의 개질을 위한 표면처리제로서 에멀션 타입의 로진(☞영일화성)을 적용하였다.

### 2.2 낙엽의 특성 평가

본 연구에서 사용한 낙엽의 성분을 평가하기 위해 TAPPI Standard T 211 om-80와 T 222 om-83에 의거하여 낙엽의 회분, 리그닌 함량을 측정하였다. 또한 일반적으로 낙엽은 잎의 뼈대를 이루는 관다발의 집합체인 엽맥(stem)과 그 외의 엽설(lamina)로 구성되어 있는데 기계적 특성이 상이함에 따라 이들의 선별과 분급 등을

통한 소재화의 영향들을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 낙엽의 제맥 과정(green leaf threshing)을 거쳐 엽맥과 엽설의 분리를 해보았으며 분급 크기에 따라 엽맥과 엽설의 구성 및 형태를 평가하였다.

### 2.3 분급 크기에 따른 낙엽 구조체 제조

각각 10 mesh, 10~40 mesh, 40~60 mesh로 분급된 낙엽 분말을 원료로 하여, 몰비(SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O)가 3.9~4.1, 농도가 20%인 액상 규산나트륨을 적용하여 낙엽의 전건 중량 4 g에 대하여 무게비 50%로 무기바인더로 혼합하여 판상 구조체를 제조하였다. 원료의 균일한 혼합 이후, 4 mm의 두께의 판상형태가 되도록 20 kg의 물을 사용하여 성형을 실시하였으며 220℃의 온도에서 열판으로 압착하여 4 분간 0.1 kg/cm<sup>2</sup>의 압력을 가해 열판 건조를 실시함으로써 낙엽 구조체를 제조하였는데 제조과정을 Fig. 1에 나타내었다. 분급된 낙엽의 크기별 조건에 따라 각각 제조된 낙엽 구조체의 형태적 특성, 강도, 수분저항성 및 보수성을 비교 평가하였다. 또한 기능성 강화를 위하여 무기 충전재로서 낙엽의 전건 중량에 대하여 황토를 무게비 50~150%로 배합하여 그 적용 효과와 판상 구조체 제조 후 표면특성 개질을 위한 로진의 침지처리 효과를 평가하였다.

## 2.4 낙엽 구조체의 특성평가

### 2.4.1 낙엽 구조체의 강도 평가

제조된 낙엽 구조체의 강도적 특성은 목재의 압축 강도 시험 방법인 KS F 2206을 참고하여 실시하였다. 제조된 낙엽 구조체를 4 cm×6 cm 크기로 재단한 후 동일한 면적에 대해서 압력을 가하여 구조체 파괴되었을 때의 압력을 구조체의 면적으로 나누어 식 (1)과 같이 계산함으로써 압축파괴 강도를 평가하였다.

$$\text{Compressivestrength}(g/cm^2) = \frac{\text{Maximum Load Applied}}{\text{Cross Sectional Area}}(g/cm^2) \quad [1]$$

### 2.4.2 낙엽 구조체의 물폴림성 평가

낙엽 구조체의 물폴림성을 평가하기 위하여 제조된 낙엽 구조체를 증류수에 침지시키고 500 rpm의 속도로 10분 동안 교반하였다. 이러한 교반과정을 통해 수분에 의한 구조체의 물폴림이 발생되어 구조체의 일부가 부분적으로 떨어져나가게 되는데 이후 남아있는 낙엽 구조체를 건져내어 30분 동안 10 mesh망에 존치시켜 여분의 수분을 제거한 후 잔여분의 무게와 함수율을 측정하여 식 (2)와 같이 물폴림처리 전후의 무게비를 측정함으로써 물폴림성을 평가하였다.

$$\text{Water Resistance}(\%) = \frac{\text{Dry Weight of Residue after Soaking}}{\text{Dry Weight of Composite}} \quad [2]$$

### 2.4.3 낙엽 구조체의 보수성 평가

낙엽 구조체가 수분을 흡수하여 보수하는 특성을 평가하기 위한 수분 보수성 평가를 실시하였다. 이를 위해 제조된 낙엽 구조체 시료들을 각각 30분간 증류수에 침지시킨 후 10 mesh망 위에 30분 동안 존치시켜 여분의 수분을 제거하였으며 이 후 침지 후 여분의 수분이 제거된 구조체의 무게와 함수율을 측정하여 전건중량 대비 수분 보수 정도를 식 (3)과 같이 계산하였다.

$$\text{Water holding capacity}(\%) = \frac{\text{Moistire Contents of Composite after Soaking}}{\text{Droed Composite Weight}}(\%) \quad [3]$$

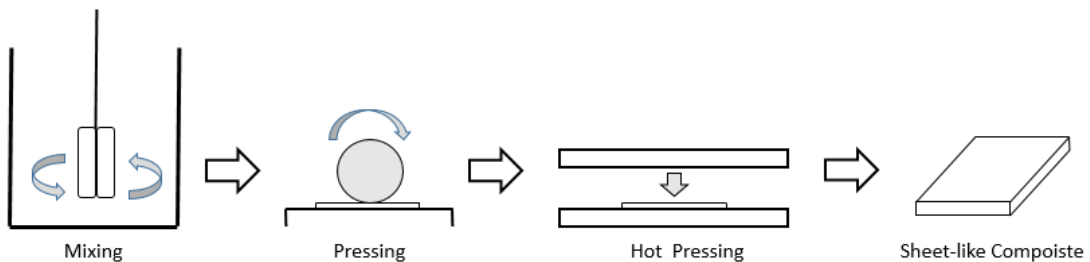


Fig. 1. Schematic Diagram of manufacturing processes for sheet-like composite.

## 2.5 낙엽 구조체의 로진 침지 처리 및 개질 특성 평가

침엽수에서 추출된 천연 소수성 제재인 로진은 제조된 구조체의 내수성을 향상시켜줄 수 있을 뿐만 아니라 산성을 가지는 특성을 통해 무기 바인더인 규산나트륨로부터 유래된 알칼리 pH를 중화할 수 있는 것으로 판단되어 로진침지 처리를 통해 판상 구조체의 특성변화를 평가하였다. 40~60 mesh 크기의 낙엽분과 규산나트륨을 혼합하여 제조된 낙엽 판상 구조체를 로진 에멀션에 5 초간 침지 후 220℃에서 열판으로 건조하여 침지처리된 시료를 제조하였다. 이후 로진 처리된 시료들의 물폴림성 변화와 pH 특성변화를 평가하였으며, 시료의 pH 특성은 표준측정방법 KS M0011:2013(수용액의 pH 측정 방법)에 따라 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 낙엽 특성 평가

수거한 플라타너스 낙엽의 화학적 조성과 형태적 특성을 평가하였다. Table 1에서 나타난 바와 같이 낙엽은 기존 목재와 달리 높은 회분 함량과 리그닌 함량을 가지고 있는 것을 확인할 수 있었다.

낙엽은 다양한 모양과 형태로 발생되기 때문에 균일한

Table 1. Ash and lignin composition of urban platanus fallen leaves

Chemical compositions	Content, %
Ash	9.90
Lignin	36.29





특성의 원료로 활용하기 위해서 형태적 특성의 조절이 필요하다. 본 연구에서는 낙엽의 형태적 특성조절을 위하여 햄머밀 분쇄방식으로 낙엽을 분쇄하고 일정크기의 메쉬망 스트린으로 선별 및 분급하여 각 분급분의 특성을 평가하여 Table 2에 나타내었다. 낙엽의 분쇄 처리 시 상대적으로 강직한 구조와 특성을 가지는 엽맥 부분에 비해 엽설 부분은 상대적으로 쉽게 분쇄가 되는 것을 확인할 수 있었는데, 이러한 분쇄분을 메쉬망의 크기별로 분급하는 경우 10 mesh 이상의 크기분에서는 대부분이 엽맥으로 구성되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 10 mesh~40 mesh 사이의 크기에서는 엽맥과 엽설이 혼재되어 있는 것으로 확인되었고 형태적인 특성으로 선별분리하여 분포를 무게비로 평가해본 결과 엽맥이 약 20%, 엽설이 약 80% 정도로 분포되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 40 mesh 통과분의 경우 미세한 입자들의 낙엽분으로서 대체로 엽설로 구성되어 있으나 일부 엽맥 분쇄분이 소량 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2 낙엽 분급분별 적용에 따른 낙엽 판상 구조체 특성변화

#### 3.2.1 낙엽 판상 구조체의 구조 및 강도특성 변화

낙엽 분급분별 적용에 따른 제조된 낙엽 구조체의 구조적 특징은 Table 3에 나타내었다. 크기가 큰 분급분의 적용에 따라 표면구조가 더욱 거칠게 나타났으며 이에 따라 Fig. 2에서 나타난 바와 같이 밀도가 낮은 구조를 형성하는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 10 mesh 이상 크기의 낙엽분으로 구성된 구조체는 대부분 길이가 긴 엽맥으로 구성되어 있어 구조체 내 공극이 많아 밀도가 낮은 특성을 보였으며 10~40 mesh 크기의 낙엽분으로 제조된 구조체는 작은 크기의 엽맥과 엽설이 바인더에 의해 결합

Table 2. Morphological properties of the mesh screen fractions of crushed fallen leaves

>10 mesh	10~40 mesh	<40 mesh
		
Stem	Stem (20%)	Lamina (80%)
		
		Lamina

되어 있어 비교적 조밀한 구조를 보였다. 40 mesh 이하의 낙엽분으로 구성된 구조체는 대부분 작은 크기의 엽설과 일부 파쇄된 엽맥으로 구성되어 있어 매우 조밀한 구조를 보였으나 증가된 낙엽입자들의 비표면적에 의해 무기 바인더가 적절히 적용되지 못함에 따라 비접착면이 존재하면서 구조적인 결함과 구조의 갈라짐 등이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

각 낙엽 분급분으로 제조된 낙엽 구조체의 압축강도를 비교평가하여 Fig.3에 나타내었다. 낙엽 분쇄분의 입자 크기가 작은 40 mesh 이하분의 경우 압축강도의 급격한 감소가 나타나는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 낙엽분의 크기가 작아지면서 낙엽분 입자들의 비표면적이 커져 바인더의 요구량이 증가하고, 이에 따라 미접착면이 증가하는 것에 기인한 결과로 판단되었다. 10 mesh 이상의 크기를 가지는 낙엽분의 경우 입자 간 공극이 크게 발생하는 벌크한 구조를 가짐에 따라 강도적 특성이 상대적으로 낮게 나타나는 것으로 판단되었다.

### 3.2.2 낙엽 판상 구조체의 물풀림성 변화

낙엽 판상 구조체를 조경용 또는 토목용 자재로 토양 표면을 보호하는 멀칭용 소재로 적용하는 경우 우수 등에 의한 물풀림 저항성은 주요한 품질특성이 된다. 이에 따라 각각의 낙엽분으로 제조된 낙엽 판상 구조체를 물속에 일정 시간 침지하여 물풀림이 발생하도록 하고 물풀림이 나타나지 않은 잔여물의 무게를 측정함으로써 낙엽 구조체의 물풀림성을 비교 평가하여 Fig. 4에 나타내었다. 낙엽 구조체를 구성하는 낙엽 입자의 크기가 클수록 물풀림성이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 상대적으로 강성구조를 가지고 크기가 큰 구조를 가지는 엽맥분들에 의해 구조체의 물풀림성이 억제되는 것에 기인된 것으로 판단되었다. 입자 크기가 큰 낙엽분의 경우 결함부분이 상대적으로 많기 때문에 수분에 의한 결함파괴에 의해 각각의 입자들이 구조체로부터 떨어져 나가는 현상이 감소하는 경향을 보이는 것으로 판단되었다.

Table 3. Surface structure of fallen leaves sheet-like composition depending on the size of crushed fallen leaves

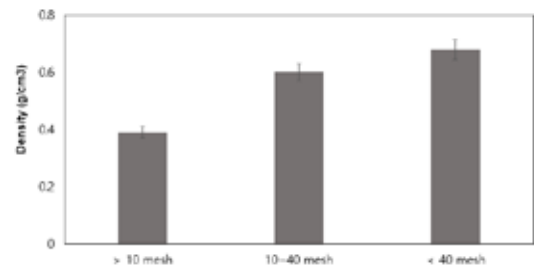
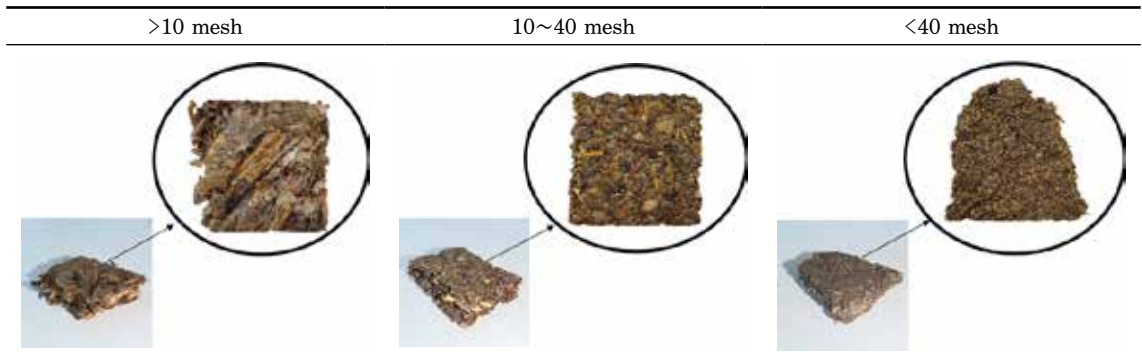


Fig. 2. Density of fallen leaves composite samples depending on the size of crushed fallen leaves.

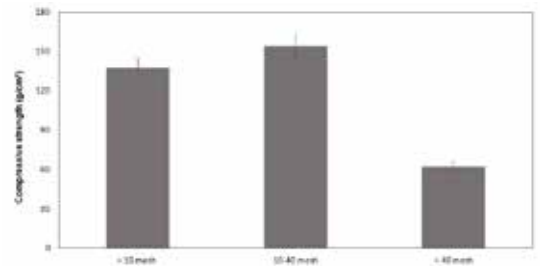


Fig. 3. Compressive strength properties of fallen leaves composite depending on the size of crushed fallen leaves.

### 3.2.3 낙엽 판상 구조체의 보수성 변화

각각의 낙엽분으로 제조된 낙엽 구조체를 증류수에 일정 시간 침지한 후 표면에 존재하는 여분의 수분을 제거하고 구조체가 함유한 수분량을 측정하여 보수성을 평가하였다. Fig. 5에서 보여지는 것과 같이 구조체를 구성하는 입자의 크기가 작을수록 보유할 수 있는 수분의 양은 증가하는 경향이 나타났는데, 이는 입자들의 비표면적이 넓어지고 미세 공극이 증가함에 따라 수분 보유성이 증가하는 결과를 나타내는 것으로 판단되었다.

## 3.3 첨가제의 적용을 통한 낙엽 구조체의 개질 특성 평가

### 3.3.1 황토의 첨가에 따른 특성 변화

낙엽 구조체의 구조적 특성을 개선하기 위한 방법으로 토양적용성과 결합성, 이온교환성 등이 우수한 점토광물인 황토를 충전제로 적용하여 그 효과를 확인하여 보았다. 본 평가를 위하여 10~40 mesh 낙엽분을 적용하였으며 이를 액상규산나트륨 바인더와 배합하는 과정에서 낙엽분의 전건량 대비 황토무게비로 50%, 100%, 150%를

각각 첨가하여 판상 구조체를 제조하였다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 황토의 첨가량이 증가함에 따라 구조체의 밀도가 증가하는 것을 확인할 수 있는데, 구조체의 형성 시 미세한 황토 입자들이 낙엽 분말들 간에 존재하는 공극을 채우는 충전제 역할을 하는 것을 확인할 수 있었다.

또한 황토 첨가량에 따른 낙엽 구조체의 압축강도 변화를 평가한 결과를 Fig. 7에 나타내었는데, 낙엽분 무게비로 100% 무게의 황토를 첨가할 때까지 낙엽 구조체의 압축강도는 황토 첨가에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 황토의 첨가량이 150%가 되는 경우 구조체의 강도가 크게 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 적용된 무기 바인더 양에 비해 과도한 황토 입자의 적용으로 황토 입자 및 낙엽분들 사이에 충분히 바인더가 적용되지 않아 미접착 부분들이 크게 증가하면서 강도의 감소가 발생된 것으로 판단되었다.

### 3.4 로진 침지처리에 의한 낙엽 구조체의 특성 변화

알칼리성을 가지는 무기 바인더인 규산나트륨을 적용하

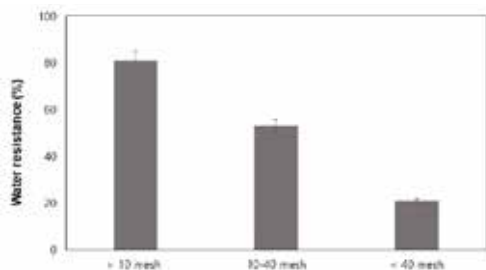


Fig. 4. Water resistance of fallen leaves composite depending on the size of crushed fallen leaves.

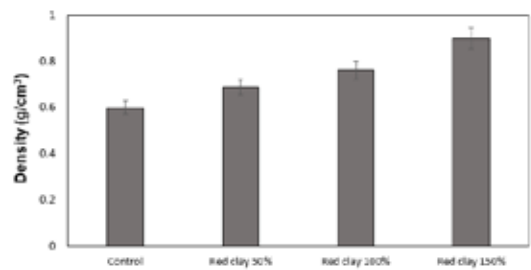


Fig. 6. Density of fallen leaves composite depending the addition ratio of red clay.

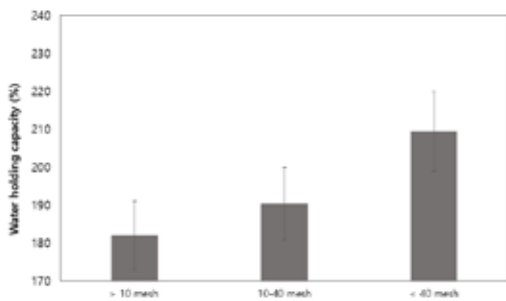


Fig. 5. Water holding capacity of fallen leaves composite depending on the size of crushed fallen leaves.

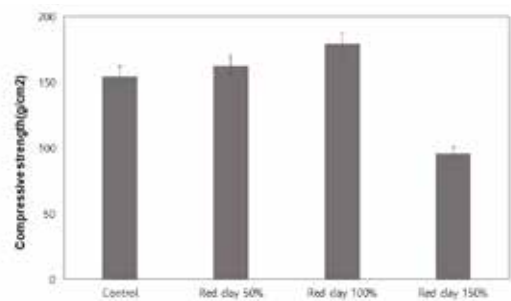


Fig. 7. Compressive strength of fallen leaves composite depending on the addition ratio of red clay.

여 제조되는 낙엽 구조체의 활용성 증대를 위하여 천연원료로 제조되는 산성 및 소수성의 특성을 가지는 로진 에멀션의 침지처리효과를 평가하여 보았다. 10~40 mesh 낙엽분과 규산나트륨 바인더를 적용하여 제조된 판상 구조체를 로진 에멀션에 침지처리하여 열판 건조하여 그 특성변화를 평가하였는데 이때 로진의 코팅량은 무게비로 3.78%였으며 구조체의 pH 및 물풀림성 변화는 Fig. 8과 같이 나타났다. 로진 처리에 의해 알칼리성을 나타내는 구조체의 pH가 중화되는 특성을 확인할 수 있었고, 소수성 표면을 형성함으로써 구조체의 물풀림성도 크게 개선되는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 9에서 나타나는 것과 같이 로진 침지처리에 의해 구조체의 강도는 감소하는 결과를 나타냈는데, 이는 구조체의 입자들을 결합시키는 규산나트륨 바인더 결합이 로진 에멀션 침지 시 부분적으로 파괴됨에 따른 영향으로 판단되었다.

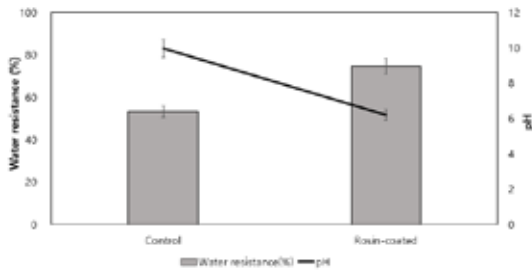


Fig. 8. Changes in pH and water resistance of fallen leaves composite by rosin treatment.

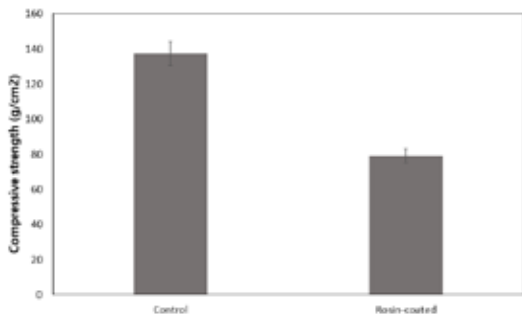


Fig. 9. Changes in compressive strength of fallen leaves composite by rosin treatment.

## 4. 결론

본 연구에서는 도심에서 생활폐기물로 발생되어 환경문제와 처리비용의 증가로 활용기술의 개발이 요구되고 있는 폐기성 바이오매스인 가로수 낙엽의 구조체화를 통해 소재화하는 방안을 모색하여 보았다. 국내 도심에서 발생하는 대표적인 활엽수 가로수 낙엽인 플라타너스 낙엽을 대상으로 본 연구를 진행하였다. 형태적 특성이 서로 다른 낙엽들을 햄머밀 방식으로 분쇄하고 분쇄분을 각각 10 mesh와 40 mesh 스크린으로 분급하여 각각의 특성을 확인한 결과 10 mesh 이상의 분급분에서는 낙엽의 엽맥부분이 주로 나타나고 40 mesh 이하의 분급분은 대부분 엽설로 이루어짐을 통해 낙엽에서 엽맥과 엽설의 분쇄특성 차이를 활용한 낙엽분의 분급이 가능함을 확인할 수 있었다. 각각의 분급분과 친환경 무기 바인더인 액상 규산나트륨을 사용하여 판상의 구조체를 제조하고 이의 특성을 평가한 결과 10~40 mesh 분급분의 적용시 강도적 특성이 가장 우수한 결과를 나타내었고 조대한 엽맥부분이 많이 포함되는 경우 다공성 구조를 형성하지만 수분 보수성이 감소하는 결과들을 확인할 수 있었다. 황토 분말을 충전재로 적용하는 경우 낙엽 분말 무게대비 100% 첨가하는 경우 구조체의 밀도 및 강도의 상승을 확인할 수 있었고 그 이상의 첨가에서는 강도 감소가 나타나는 것을 볼 수 있었다. 알칼리성 무기 바인더의 적용에 따른 영향을 중화하고 수분 저항성을 강화하기 위한 방안으로 제조된 판상 구조체의 로진에멀션 침지처리를 실시한 결과 pH가 중성 수준으로 중화되고 물풀림성이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과들을 기반으로 낙엽의 형태조절 전처리를 실시하고 무기 바인더의 적용을 통해 판상 구조체의 제조가 가능한 것을 확인할 수 있었고 향후 이러한 낙엽 판상 구조체의 기능성을 보완 및 강화하여 조경용 또는 토목용 친환경 자재로서 적용함으로써 낙엽의 소재화 및 활용가치 증대가 가능할 것으로 판단되었다.

## 사사

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업 ‘FTIS 2020217A00-2022-AC01’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

## Literature cited

1. Performance of national street trees as of the end of 2019, Forest Service (2020).
2. Kwon, E. J., Kil, T. H., Woo, J. M., Yu, Y. K., and Park, Y. S., A study on the preparation of biomass adsorbent from oak fallen leaves, *Journal of Korea Society of Waste Management* 34(4):395–401 (2017).
3. Lee, I. K., Lim, J. H., Kim, C. S., and Kim, Y. K., Nutrient dynamics in decomposing leaf litter and litter production at the long-term ecological research site in Mt. Gyeongbongsan, *J. Ecol. Field Biol.* 29(6):585–591 (2006).
4. PnaKovic, L., Dzurenda L., Combustion Characteristics of Fallen Fall Leaves from Ornamental Trees in City and Forest Parks, *Biore-sources* 10(3):5563–5572 (2015).
5. Kim, D. S., Kim, D. S., Sung, Y. J., Modification of the Functional Properties of the Pellet made with Fallen Leaves, *Journal of Korea TAPPI* 50(3):12–18 (2018).
6. Gonzalez, W. A., Zimmermann, F., Perez, J. F., Thermodynamic assessment of the fixed-bed downdraft gasification process of fallen leaves pelletized with glycerol as binder, *Case studies in Thermal Engineering* 14:100480 (2019).
7. Kim D. S., Kim, H. M., Sung, Y. J., Kang, S. G., Kang, H. Y., Lee, J. W., and Lee, S. B., Manufacturing Functional Pulp Mold with Coniferous fallen leaves, *Journal of Korea TAPPI* 48(1):43–52 (2016).
8. Lee, E. M., Hwang, K. T., Kim, S. Y., and Chung, J. W., Adsorption of Pb(II) by Cherry (*Prunus x yedoensis*) Leaf-Derived Biochar, *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association* 26(2):33–41 (2018).
9. Rouf, M. A., Islam, M. S., Rabeya, T., and Mondal, A. K., Anaerobic digestion of mixed dried fallen leaves by mixing with cow dung, *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research* 50(3):163–168 (2015).
10. Wannapokin, A., Ramaraj, R., and Unpaprom, Y., An investigation of biogas production potential from fallen teak leaves (*Tectona grandis*), *Emer. Life Sci. Res.* 3(1): 1–10 (2017).
11. Ji, B., Zhu, L., Song, H., Chen, W., Guo, S., and Chen, F., Adsorption of Methylene Blue onto Novel Biochars Prepared from *Magnolia grandiflora* Linn Fallen Leaves at Three Pyrolysis Temperatures, *Water Air Soil pollut.* 230:281 (2019).
12. Campanella, A., Wool, R.P., Bah, M., and Fita, S., and Abuobaid, A., Composites from Northern Red Oak (*Quercus robur*) Leaves and Plant Oil-Based Resins, *J. APPL. POLYM. SCI.* (2013).