

# 톱밥 · 굴박 혼합보드로 제조한 세라믹의 기계적 성질 및 밀도경사

## Mechanical Properties and Density Profile of Ceramics Manufactured from a Board Mixed with Sawdust and Mandarin Peels

Jung-Woo Hwang<sup>1</sup> · Seung-Won Oh<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Wood Science & Technology, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

**초록 :** 본 연구는 톱밥과 굴박을 이용하여 굴박첨가율로 보드를 제조하고, 수지함침과정과 탄화과정을 거쳐 제조한 세라믹의 성질을 조사하였다. 휨강도와 압축강도는 함침율 70%일 때 각각 8.58 MPa, 14.77 MPa로 가장 높은 값을 나타내었다. 탄화온도 1,200℃일 때 휨강도는 11.09 MPa, 압축강도는 17.20 MPa로 가장 높은 값을 나타내었다. 굴박 혼합율 5%일 때 휨강도는 8.62 MPa이고, 압축강도는 14.16 MPa로 굴박혼합율이 낮을수록 높은 강도적인 성질을 보였다. 세라믹의 밀도 경사는 함침율과 탄화온도가 높을수록 증가하였고, 굴박혼합율이 높을수록 감소하였다.

### 1. 서론

목재자원의 부족현상을 해결하기 위해서 경제수종으로의 수종갱신, 목재의 고부가가치화 및 목재수급정책의 다양화 등 해결해야 할 과제는 많이 있으나, 육림과정에서 발생하는 간벌재나 폐목재의 유효활용은 시급한 문제로 대두되고 있다. 이러한 방법의 하나로 생산성이 높고 새로운 용도개발이 가능한 목질복합보드의 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Iswanto *et al.*, 2020; Jamaluddin *et al.*, 2020; Prabuningrum *et al.*, 2020; Setyayunita *et al.*, 2022; Wibowo *et al.*, 2021).

본 연구에서 재료로 사용한 톱밥은 제재 과정에서 많은 양이 생산되고 있음에도 불구하고 일반 파티클보드와 유사한 물성의 제품을 만들기 위해서는 톱밥의 특성상 열압시간이 길고 보드 제조에 많은 양의 수지가 필요하기 때문에 파티클보드의 평활성과 표면경도를 위하여 소량의 톱밥만 사용되었다(Walker, 1993).

Lee and Yoon(1994)은 MDI(Methylene Diphenyl Diisocyanate) 수지를 이용하여 톱밥보드를 제조하고 보드의 비중, 매트 함수율 및 수지첨가량이 보드의 물리적, 기계적 성질에 미치는 영향을 구명한 바 있다. 또한 Oh(2002, 2003)는 3수종 침엽 수 간벌재로 톱밥 보드를 제조하여 밀도와 페놀수지 첨가량, 가압력 및 열압시간에 따른 성질을 조사한 바 있다.

Lee and Han(1998)은 전 처리한 왕겨와 목재파티클을 혼합하여 보드를 제조하고 물성을 측정하여 적정혼합 비율을 조사한 결과, 폭쇄처리 왕겨 25%와 파티클 75%를 혼합할 때 휨강도와 박리강도가 우수하였다고 보고하였다. 또한 Seo(1987)는 톱밥보드의 특성만으로는 우수한 보드를 만들 수 없으므로 목질 이외의 타재료로서 방습과 내수성이 우수하고 인장강도가 큰 것으로 알려진 폴리프로필렌(Polypropylene)사를 혼합 결체한 톱밥보드를 제조하여 두께 팽창, 휨성질, 박리저항 및 나사못 유지력 등을 조사하여 톱밥과 플라스틱 칩을 혼합 구성한 보드의 개발가능성을 구명하고자 한 바 있다. Hwang and Oh(2020a, 2020b)는 톱밥과 왕겨 및 숯을 이용하여 제조한 보드의 물성과 역학적 성능을 측정하였다.

한편 본 연구에서 재료로 사용한 굴박은 주로 제주도 특별자치도에서 생산되는 감귤의 가공과정에서 발생되는 부산물로서 제주도에서 2020년 기준 연간 77,602톤의 감귤이 가공처리 되었고(JCMSA, 2020), 그중 약 50% 정도가 즙을 짜고 나온 부산물로 폐기 처리되고 있다. 이중 상당부분이 저장 및 처리시설이 부족하여 해양투기로 인한 해양오염과 비용증가문제가 심각한 상황이다(Bu, 2015). 또한 2016년 1월 1일부터 육상폐기물의 해양배출이 전면 금지되어 굴박 처리에 어려움을 겪고 있다. 이에 제주도 특별자치도에서는 굴박의 처리방안 중 하나로 가축의 사료로 활용하고자 다양한 시설을 확충하고 굴박 사료 지원사업 등 다양한 노력을 하고 있다.

해양환경 오염원의 효과적인 차단과 농가소득 증대를 위하여 굴박을 이용한 새로운 제품을 개발한다면, 처리문제로 어려

본 문서는 출판된 영문논문의 국문서입니다. 출판된 영문논문은 아래의 DOI를 통해서 확인하실 수 있습니다.  
Journal of The Korean Wood Science and Technology 51(2): 98-108. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2023.51.2.98>

움을 겪는 감굴 박 재활용에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

우드 세라믹은 목재와 열경화성 수지를 원료로 한 새로운 다공질 탄소재료로서, 원 재료의 종류와 제조조건에 따라 물성이 다양하여 개발한 이래 다양한 연구가 진행되어 왔다(Hirose *et al.*, 2002; Iizuka *et al.*, 1999; Oh, 2014, 2016; Oh and Byeon, 2006; Okabe, 1996). 또한 주원료가 되는 목재는 일반 목재 이외에 폐재를 이용한 목질 재료의 사용이 가능하며, 최근에는 왕겨와 목질을 이용한 신소재개발, 거대억새를 이용한 소재 개발등 목재자원이 부족한 현실에서 다양한 부산물과 폐기물로 배출되는 비목질 자원을 이용한 세라믹화에 대한 연구가 수행되고 있다(Hwang and Oh, 2021, 2022; Hwang *et al.*, 2021).

따라서 본 연구에서는 일반 폐기물로 분류되어 처리에 어려움을 겪고 있는 톱밥과 굴 박을 이용하여 혼합성형보드를 제조한 다음 탄화하여 세라믹을 제조한 후 기계적 성질과 밀도경사를 측정함으로써 톱밥과 굴박을 이용한 탄소재료의 활용 등 새로운 용도개발을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

실험에 이용된 톱밥은 낙엽송(*Larix kaemferi* C.) 간벌재 제재시 발생된 것을 사용하였고, 굴박은 제주도에서 구입하여 음건한 후 분쇄기로 분쇄하였다(Hwang and Oh, 2022). 각각의 재료는 시료의 균일한 입자 사이즈를 위하여 18 mesh로 선별하고 함수율은 6% 이하로 조절하였다(Hwang and Oh, 2022).

세라믹 제조에 이용되는 톱밥·굴박 보드 제조를 위하여 분말상 페놀수지(KNB-100PL, 코오롱유화)를 사용하였고, 세라믹 제조를 위한 함침처리에는 액상 페놀수지(KPD-L777, 코오롱유화(주))를 사용하였다(Hwang and Oh, 2022). 각 수지의 특성은 Table 1과 같다(Hwang and Oh, 2022).

### 2.2. 시험방법

#### 2.2.1. 보드제조

보드의 제조는 톱밥과 굴박 및 수지를 충분히 혼합하여 스테인레스 몰드 속에 넣고 열압 성형하여 260 mm × 260 mm × 14 mm의 보드를 제조하였다(Hwang and Oh, 2019). 보드의 제조 조건은 밀도 0.6 g/cm<sup>3</sup> 일 때 굴박 첨가율 5%, 10%, 15%, 20%, 25%인 보드를 각각 10장씩 제조하였고(Hwang and Oh, 2019), 그중 굴박 첨가율이 10%인 보드는 세라믹 제조 조건을 위해 추가로 40장을 제조하였다. 이때 열압시 온도는 190℃, 가압압력은 40 kgf/cm<sup>2</sup>, 30 kgf/cm<sup>2</sup>, 20 kgf/cm<sup>2</sup>으로 가압시간은 6분, 5분, 4분으로 설정한 후 3단 가압을 실시하였다. 보드의 두께를 고정하기 위하여 thickness bar를 사용하였으며, 테프론 판을 사용하여 열에 의하여 제조된 보드와 열판의 부착을 방지하였다(Hwang and Oh, 2019).

#### 2.2.2. 수지함침처리

제조한 혼합보드를 120 mm × 120 mm × 14 mm의 크기로 재단한 다음 밀도를 계산한 후, 조건별로 목표밀도 ± 0.03 g/cm<sup>3</sup>인 시편을 선정하였다(Hwang and Oh, 2019).

조건별로 준비한 시편을 수지가 들어있는 함침탱크에 넣은 후 감압(1기압)과 초음파처리(주파수: 28 kHz, 출력: 564 W)를 병행한 후 다시 상압에서 방치하는 방법으로 반복시간과 반복횟수를 조절하여 수지함침율을 조절하였다(Hwang and Oh, 2019). 함침후의 시편은 8시간 음건한 후, 다시 건조기에 넣고 60℃에서 8시간, 130℃에서 8시간 연속 건조 및 경화시킨 후 수지함침율을 식 (1)로부터 계산한다(Hwang and Oh, 2019). 또한 함침에 사용한 감압·초음파 함침장치는 Fig. 1과 같이 구성되어있다.

$$\text{수지함침율(\%)} = (W_1 - W_n) / W_n \times 100 \quad (1)$$

여기서,  $W_1$ : 수지함침 후의 보드 전건중량 (g),  $W_n$ : 수지함침 전의 보드 전건중량 (g).

#### 2.2.3. 세라믹 제조

세라믹의 제조 조건은 Table 2와 같다. 함침보드의 탄화는 실온에서 설정온도까지 4℃/min으로 승온하였으며, 설정온도에서 2시간 유지한 후 냉각수를 순환시켜 냉각시켰다(Hwang and Oh, 2019).

## 2.2.4. 물성 측정

### 2.2.4.1. 휨강도, 압축강도

각 조건별로 제조된 세라믹을 온도( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ )와 습도( $65 \pm 5\%$ )조건에서 조습처리한 후 휨강도 및 압축강도를 조사하였다. 휨강도와 압축강도는 만능강도시험기(Autograph AGS-10 kN, Shimadzu)를 이용하여 하중속도 5mm/min. 조건으로 측정하였다.

### 2.2.4.2. 밀도경사

세라믹의 밀도분포를 측정하기 위하여 각 시편을  $50 \times 50 \times 10$  mm로 재단한 후 밀도분석기(density analyzer: BA1, Fagus-GreCon)를 이용하여 밀도경사를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 세라믹의 기계적 성질

Figs. 2~4는 세라믹의 휨강도를 나타냈다.

수지함침율에 따라 제조한 세라믹의 휨강도는 Fig. 2와 같다. 함침율이  $40 \pm 3\%$ 일 때 7.25 MPa,  $50 \pm 3\%$ 일 때 7.44 MPa,  $60 \pm 3\%$ 일 때 8.41 MPa,  $70 \pm 3\%$ 일 때 8.58 MPa로 수지함침율이 증가할수록 휨강도는 증가하였다. 이는 세포내강에 침투한 페놀수지가 탄화과정에서 유리상탄소로 변환되면서 세포벽을 강화시켜 강도에 영향을 미쳤기 때문인 것으로 판단된다 (Okabe and Satio, 1995). 그리고, 이 결과는 Piao(2004)이 톱밥과 왕겨로 제조된 세라믹의 휨강도 측정결과와 비슷한 경향을 나타냈다.

또한 탄화온도에 따라 제조된 세라믹의 휨강도는 Fig. 3과 같이 탄화온도  $600^\circ\text{C}$ 일 때 5.07 MPa,  $800^\circ\text{C}$ 일 때 7.44 MPa,  $1,000^\circ\text{C}$ 일 때 7.90 MPa, 그리고  $1,200^\circ\text{C}$ 일 때 11.09 MPa로 탄화온도가 증가할수록 큰 증가치를 보여주었다. Hwang and Oh(2017)는 톱밥과 굴박 혼합보드로 제조한 세라믹의 길이와 두께 감소율은  $1,000^\circ\text{C}$ 까지 증가하고 그 이후 완만히 증가하였는데, 탄화온도가 증가할수록 재료의 부피가 감소하는 경향을 보인다고 보고하였다. 일반적으로 부피가 감소하고 밀도가 증가하면 재료의 강도가 증가하는 경향을 나타내는데, 탄화온도와 휨강도와의 관계 또한 탄화온도가 증가에 따라 밀도가 증가하여 휨강도에 영향을 미쳤기 때문으로 생각된다.

굴박 첨가율에 따른 세라믹의 휨강도는 Fig. 4와 같이 첨가율이 5%일 때 8.62 MPa, 15%일 때 6.35 MPa이고 25%일 때 4.69 MPa로 첨가율이 증가함에 따라 휨강도는 감소하였다. 이는 톱밥과 굴박의 결합력이 굴박 첨가율이 증가할수록 감소하여 나타난 결과로 생각된다.

Figs. 5~7은 세라믹의 압축강도를 나타냈다.

탄화온도  $800^\circ\text{C}$ 일 때 수지함침율에 따른 혼합세라믹의 압축강도는 Fig. 5와 같이 수지함침율  $40 \pm 3\%$ ,  $50 \pm 3\%$ ,  $60 \pm 3\%$ ,  $70 \pm 3\%$ 일 때 각각 12.56 MPa, 14.40 MPa, 14.48 MPa, 14.77 MPa로 함침율이 증가할수록 압축강도도 증가하였다. 탄화온도에 따라 제조된 세라믹의 압축강도는 Fig. 6과 같이 탄화온도  $600^\circ\text{C}$ 에서 11.03 MPa,  $800^\circ\text{C}$ 일 때 14.4 MPa,  $1,000^\circ\text{C}$ 에서 16.71 MPa,  $1,200^\circ\text{C}$ 일 때 17.20 MPa로 탄화온도가 증가할수록 혼합세라믹의 압축강도는 증가하였다. 이는 Byeon *et al.*(2010)이 닥나무로 제조된 우드세라믹의 압축강도는 탄화온도가 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 보였다는 결과와 일치하며, 또한 Oh(2004)는 소나무, 잣나무, 낙엽송 간벌재로 제조된 우드세라믹의 압축강도도 탄화온도가 증가할수록 증가한다고 보고하였다.

굴박 첨가율에 따른 세라믹의 압축강도는 Fig. 7과 같이 첨가율 5%일 때 14.16 MPa, 15%일 때 12.69 MPa, 25%일 때 11.30 MPa로 첨가율이 증가할수록 압축강도는 감소하였다. 이는 굴박 첨가율이 증가할수록 톱밥과 굴박의 결합력이 감소하여 강도에 영향을 미친 것으로 판단된다.

### 3.2. 혼합세라믹의 밀도 경사

Tables 3~5는 수지함침율과 탄화온도 및 굴박 첨가율에 따른 혼합세라믹의 두께방향 평균밀도에 대한 최소밀도의 비율인 밀도경사를 나타냈다.

함침율별 평균밀도에 대한 최소밀도는 Table 3과 같이 수지함침율  $40 \pm 3\%$ 일 때 79.4%,  $50 \pm 3\%$ 일 때 83.0%,  $60 \pm 3\%$ 일 때 84.7%,  $70 \pm 3\%$ 일 때 88.1%로 함침율이 높을수록 표층에서 중심층으로의 밀도분포가 보다 균일하게 향상되어 있음을 알 수 있다. 또한 탄화온도별 평균밀도에 대한 최소밀도는 Table 4와 같이 탄화온도  $600^\circ\text{C}$ 일 때 83.6%,  $800^\circ\text{C}$ 일

때 83.0%, 1,000℃일 때 84.4%, 1,200℃일 때 88.2%로 탄화온도가 높을수록 표층에서 중심층으로의 밀도분포가 보다 균일하게 향상되어 있음을 알 수 있다.

그러나 굴박 첨가율에 따른 평균밀도에 대한 최소밀도는 Table 5와 같이 혼합율 5%일 때 89.7%, 15%일 때 83.2%, 25%일 때 82.5%로 굴박 첨가율이 적을수록 표층에서 중심층으로의 밀도분포가 보다 균일한 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 톱밥과 굴박을 이용하여 세라믹을 제조한 후, 굴박 첨가율, 수지함침율 및 탄화온도 별로 휨강도, 압축강도 및 밀도경사를 측정하였다.

- 1) 휨강도, 압축강도는 함침율  $70 \pm 3\%$ 일 때 8.58 MPa, 14.77 MPa로 가장 높은 값을 나타내었다.
- 2) 탄화온도 1,200℃일 때 휨강도는 11.09 MPa, 압축강도는 17.20 MPa로 가장 높은값을 나타내었다.
- 3) 굴박 첨가율 5%일 때 휨강도는 8.62 MPa이고, 압축강도는 14.16 MPa로 굴박 첨가율이 낮을수록 높은 강도적인 성질을 보였다.
- 4) 세라믹의 함침율과 탄화온도가 높을수록 표층에서 중심층으로의 밀도분포가 보다 균일하게 향상되었고, 굴박첨가율이 적을수록 밀도경사가 감소하였다.