

톱밥과 왕겨 및 숯으로 제조된 세라믹의 포름알데하이드 탈취효과 및 원적외선 방사성능:

재료의 혼합비율에 따른 영향

Formaldehyde Deodorization Effect and Far-Infrared Emission Characteristics of Ceramics Prepared with Sawdust, Risk Husk, and Charcoal: Effect of Material Mixing Ratio

Jung-Woo HWANG¹ · Seung-Won OH^{1,†}

¹ Department of Wood Science & Technology, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

초록 : 실내 공기질은 현대인들에게 매우 중요한 환경요소이다. 하지만 각종 건축 내장용 자재에서 발생하는 다양한 공기 오염 물질이 인체에 많은 영향을 주고 있고, 그중 포름알데하이드 및 휘발성 유기화합물 등에 의해 실내 공기질이 악화되어 국민건강을 위협하고 있다. 이러한 유해물질을 제거하는 데 효과적인 것이 다공성 재료이고, 그 중 하나가 우드세라믹이다. 본 연구에서는 농업부산물인 왕겨와 제재과정에서 발생하는 톱밥에 다공성 재료인 숯을 첨가하여 재료의 첨가율에 따라 보드와 세라믹을 제조한 후 포름알데하이드 탈취성능과 원적외선 방사특성을 측정하였다. 숯의 첨가율이 증가할수록 보드와 세라믹의 탈취율이 증가하는 경향을 나타냈다. 전체적으로 80~90%로 측정되어 숯이 첨가된 보드와 세라믹을 탈취효과를 목적으로 사용하는 것도 가능할 것으로 판단된다. 원적외선 방사율과 방사에너지는 재료에 첨가율에 대한 영향은 미비하였다.

1. 서론

쾌적하고 건강한 실내공기질은 하루 생활 중 80% 이상을 실내에서 생활하는 현대인들에게 매우 중요한 환경요소이다. 그러나 에너지 절약의 목적으로 건축물의 기밀성능 향상 및 시공에 따른 단열 강화로 인한 환기 부족 등의 원인으로 각종 건축 내장용 자재에서 발생하는 다양한 공기 오염 물질이 인체에 많은 영향을 미치고 있으며, 실내 오염물질에 의한 피해정도는 실외의 10배 이상으로 간주되고 있다(Lee *et al.*, 2007). 이와 같은 실내오염 물질의 발생원인은 건축 내장용 마감재와 페인트, 접착제 등으로 알려져 있다. 특히 포름알데하이드(HCHO) 및 휘발성 유기화합물(VOC: volatile organic compounds) 등에 의해 실내 공기질이 악화되어 새집증후군(sick house syndrome) 등 국민 건강을 위협하여 심각한 사회문제로 대두되고 있다(Ingrosso, 2002).

특히 포름알데하이드는 전통적으로 상업적인 유통과정과 제조공정에서 다양하게 사용해 온 재료로써 포름알데하이드 성분은 건축자재에 광범위하게 쓰이는 페놀, 아세테이트계 단열재, 합판, 섬유, 가구 등의 접착제에 주로 사용되고 있으며, 포름알데하이드기체를 실내로 방출한다(Oh, 2014). 포름알데하이드는 노출정도에 따라서 눈, 코, 목의 자극을 야기할 뿐만 아니라, 심한 경우에는 폐에 직접적인 영향을 주어 사망에 이르게까지 하는 치명적인 인체 유해성을 가지고 있다(Arts *et al.*, 2006; Casset *et al.*, 2006; Jang *et al.*, 2017).

포름알데하이드의 제거를 위해 Lee and Kim(2010)은 목탄의 폼알데하이드 흡착에 관련된 내용을 조사하였고, Oh(2014)는 다나무 목질부로 제조된 파티클보드의 포름알데하이드 탈취율을 조사하였다.

실내에 방출된 포름알데하이드는 물리적 방법, 화학적 방법, 생물화학적 방법 등을 통해 저감할 수 있는데, 그 중 물리적 방법 중의 하나인 흡착법이 주로 이용된다. 흡착법은 흡착제에 물질을 통과시키는 과정에서 물질이 흡착제의 공극사이에 흡착되는 특성을 이용하여 포름알데하이드를 제거시킬 수 있고, 설비비가 싸고 유지관리가 쉬워 많이 이용된다. 또한 사용 목적에 따라 흡착제를 선정해야 하며, 그중 활성탄, 제올라이트, 실리카겔, 백토 등이 있으며, 그중 활성탄이 많이 이용된다

본 문서는 출판된 영문논문의 국문서입니다. 출판된 영문논문은 아래의 DOI를 통해서 확인하실 수 있습니다.

Journal of The Korean Wood Science and Technology 50(2): 104-112. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2022.50.2.104>

(Konetic, 2019). 특히 탄소재료의 흡착성능에 영향을 미치는 인자는 화학적 관능기 종류 및 함, 세공의 특성, 극성 등이다 (Tanada *et al.*, 1999). 그 중 목탄은 목재조직이 뛰어난 다공질 구조를 가지고 있지만 제조과정에서 온도 및 함수율의 영향을 받으며, 제조자의 기술 숙련도에 따라 물성의 변이가 많아 제조 후 틀어짐과 균열 등이 발생하는 이유 때문에 첨단 탄소재료에 비해서 사용범위가 한정되고 있다. 이러한 결점을 보완하기 위해 개발된 것이 다공질 탄소재료인 우드세라믹 (woodceramics)이다. 우드세라믹은 목재나 목질재료에 열경화성 수지를 함침한 후, 진공상태의 고온에서 탄화하여 만든 새로운 다공질 탄소재료로서 Okabe와 Saito가 개발하여 명명한 이래 다양한 제조방법과 용도개발에 관한 기초연구가 진행되고 있다(Hwang and Oh, 2020, 2020, 2021, 2021; Oh and Hwang, 2009; Oh, 2014; Oh *et al.*, 2014; Okabe, 1996). 또한 우드세라믹은 원재료의 종류 및 원재료의 배합을 등의 제조조건에 따라 물성이 다양하게 변한다.

본 연구에서 사용하는 재료 중 하나인 숯은 가장 쉽게 접할 수 있는 대표적인 친환경 재료로서 제조방법에 따라 다르지만 보통 탄소가 약 80~90%를 차지하는 탄소체이며, 이외에 산소, 수소 및 회분을 함유하는 복잡한 탄소질 고분자 물질이고, 숯의 비중은 0.6~0.9 정도이며, pH 8~9로 알칼리성이다. 또한 표면적이 중량 1 g에 대하여 약 100~300 m²의 아주 큰 비표면적을 가지고 있으며, 다공이므로 흡착력이 뛰어나서 과거에서부터 공기정화, 방취, 방독 등의 다양한 용도로 활용되고 있어서, 최근 친환경 재료연구에 중요한 원료로서 많은 연구가 진행되고 있다(Ju *et al.*, 2020; Lee *et al.*, 2020; Park *et al.*, 2012, 2013; Seo and Lee, 2010).

또한 원적외선은 빛의 일종으로 가시광선보다 파장이 길고, 마이크로파보다는 짧은 파장의 전자파로서, 인체에 미치는 영향은 피하층의 온도 상승, 미세혈관의 확장, 혈액순환의 촉진, 혈액과 인체와 기타 조직과의 신진대사 강화, 혈액장애의 일소, 조직의 재생능력의 증가 등을 들 수 있으며, 동시에 지각 신경의 이상 흥분 억제, 자율신경의 기능 조정효과도 있는 것으로 알려져 있다(Lee, 2005). 인체에 미치는 긍정적 영향으로 많은 사람의 수요가 증가하며, 난방기구 및 생활필품에도 원적외선 방사를 이용한 기술들이 개발되고 있다.

본 연구에서는 농업부산물인 왕겨와 제재과정에서 발생하는 톱밥에 다공성 재료인 숯을 첨가하여 재료의 첨가율 별로 수지를 함침한 후 세라믹을 제조하여 폼알데하이드 탈취효과 및 원적외선 방사성능을 평가하여 실내 내장용으로 이용가능성을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

톱밥은 낙엽송(*Larix kaemferi* C.) 제재 시 발생된 것을 시중 제재소에서 구입하여 사용하였으며, 왕겨는 정미소(대한민국, 전주)에서 구입하여 음건한 후 보드 제조 시 결합력을 높이기 위하여 분쇄기(Hanshin, J-NCM)로 분쇄하였다. 톱밥과 왕겨의 입자크기를 18mesh로 선별하고, 함수율은 6% 이하로 조절하여 사용하였다. 참나무숯은 (주)금한팜(대한민국, 임실)에서 100mesh 사이스를 구입하여 사용하였다.

또한 보드제조를 위하여 분말상 페놀수지(KNB-100PL, 코오롱유화(주), 대한민국)를 사용하였고, 세라믹 제조를 위한 함침에는 액상 페놀수지(KPD-L777, 코오롱 유화(주), 대한민국)를 사용하였으며, 수지의 특성은 Table 1과 같다.

2.2. 보드제조

보드를 제조하기 위하여 균일하게 선별된 톱밥과 왕겨 및 숯에 분말상 페놀수지를 충분히 혼합하였으며, 열압기(대양기계, DYMS-001-026)의 열판 위에 있는 스테인레스 정방형 몰드 속에 넣고, 시료 상부의 높이를 일정하게 조절한 후 열압성형 하여 260 mm × 260 mm × 11 mm의 보드를 제조하였다. 보드의 제조 조건은 수지첨가율을 10%로 고정하고 밀도를 0.6 g/cm³으로 고정하여, 톱밥과 왕겨 및 숯의 첨가량을 50:35:5, 50:30:10, 50:25:15, 50:20:20으로 달리하여 4종류를 제조하였다. 이때 열압온도는 170℃, 가압압력은 40 kgf/cm² → 30 kgf/cm² → 20 kgf/cm²(3단 가압), 가압시간 9분→2분→1분(3단 가압시간)으로 하였다. 열압과정에서 보드의 두께를 일정하게 하기 위하여 thickness bar를 사용하였으며, 열에 의한 보드의 상·하면과 열판의 부착을 방지하기 위하여 테프론 판을 사용하였다.

2.3. 함침 및 세라믹 제조

제조한 보드를 두께 11 mm, 그리고 단면의 크기를 120 mm × 120 mm의 크기로 재단한 다음 밀도를 계산하였다. 또한 시험조건을 일정하게 하기 위하여 조건별로 밀도 ± 0.03 g/cm³인 시편을 선정하였다. 준비된 시편을 액상 페놀수지가 들어 있는 함침탱크(내부직경 Ø31 cm)에 넣은 후 감압(76 cmHg)과 초음파처리(주파수: 28 kHz, 출력: 564 W)를 20분 동안

병행한 후 다시 상압에서 20분 동안 방치하는 방법으로 반복시간을 조절하여 함침율을 조절하였다. 함침 후 시편을 8시간 음건한 후, 다시 건조기에 넣고 60℃에서 8시간, 130℃에서 8시간 연속 건조 및 경화시켰다.

수지함침율 $40 \pm 2\%$, 톱밥과 왕겨 및 숯의 혼합율이 50:35:5, 50:30:10, 50:25:15, 50:20:20인 함침보드를 탄화온도 800℃에서 진공탄화로(KOVAC KSF-200V, 고려진공(주))를 이용하여 세라믹을 제조하였다. 이 때 실온에서 설정온도까지 4℃/min으로 승온하였으며, 설정온도에서 2시간 유지한 후 탄화로 주위에 냉각수를 순환시켜 냉각시켰다.

2.4. 탈취효과

톱밥과 왕겨 및 숯의 첨가율별로 제조된 시편을 40 mm × 40 mm로 재단한 후 5 L 크기 반응기에 넣고 밀봉하였다. 시험가스의 초기농도를 20 $\mu\text{mol/mol}$ 로 주입하고 시험가스의 농도를 초기, 30분, 60분, 90분, 120분에서 측정하였고 시험가스의 농도는 가스검지관에 의해 측정하였다. 시험 중 온도는 23℃, 습도는 50%를 유지하였다. 이와 별도로 시료가 없는 상태에서 시험을 진행하여 blank 농도를 측정하였다. 각 시간대별 시험가스의 탈취율은 다음 식(1)에 의해 계산하였다.

$$DR(\%) = \frac{CB(\mu\text{mol}) - CS(\mu\text{mol})}{CB(\mu\text{mol})} \times 100 \quad (1)$$

여기서 DR은 탈취율, CB는 blank 농도, CS는 sample 농도이다.

2.5. 원적외선 방사율 및 방사에너지

세라믹의 원적외선 방사특성을 조사하기 위하여 가로 30 × 30 × 2 mm의 시편을 제작하여 공시재료로 사용하였고, 원적외선 방사율은 FT-IR spectrometer를 사용하여 40℃에서 5-20 μm 범위에서 한국건설생활환경시험연구원의 표준방법(KICM-FIR-1005)에 의거하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 탈취효과

보드의 밀도를 0.6 g/cm³을 고정하고, 톱밥과 왕겨 및 숯의 첨가율별로 제조한 보드의 포름알데하이드 탈취율을 측정하는 결과는 Table 2와 같다. 전체적으로 경과시간이 증가함에 따라 탈취율이 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 숯의 첨가율이 5%일 때 80%, 10%일 때 81%, 20%일 때 84%로 숯의 첨가율이 증가할수록 탈취율이 약간 증가하였다. Oh(2014)는 닥나무 목질부를 이용해 밀도 0.6 g/cm³으로 제조한 파티클보드의 탈취율은 81.9%로 보고하여, 본 연구의 실험결과와 비슷한 수치를 나타냈다. 하지만 본 연구에서 톱밥과 왕겨 및 숯으로 제조한 보드의 30분 경과 후 측정된 탈취율 결과는 70% 이상으로 닥나무 목질부로 제조한 보드의 탈취율은 30분이 경과했을 때 55.7%보다 높아 초기 탈취효과가 더 높은 것으로 나타났다. 이는 숯 분말의 첨가로 동일 비중 시 표면적이 증가하여 초기에 탈취성능이 효과적으로 이루어진 것으로 판단된다.

보드의 밀도를 0.6 g/cm³로 고정하고, 수지함침율 $40 \pm 2\%$, 탄화온도 800℃에서 톱밥, 왕겨 및 숯의 첨가율별로 제조한 세라믹의 포름알데하이드 탈취율을 측정하는 결과는 Table 3과 같다. 숯의 첨가율이 5%일 때 85%, 15%일 때 88%, 그리고 20%일 때 89%로 숯의 첨가율이 증가할수록 탈취율이 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 숯분말의 첨가량이 증가할수록 표면적이 넓어져 탈취성능이 향상되었다고 사료된다. 또한, 시편 모두 30분이 경과한 시점에서 80% 이상이 제거되어 초기 제거율이 매우 높음을 알 수 있었다.

첨가율별로 제조된 보드와 세라믹의 탈취효과를 비교했을 때, 전체적으로 첨가율별로 제조된 세라믹이 동일 첨가율로 제조된 보드보다 5% 이상 높은 탈취효과를 나타냈다. 통상적으로 흡착성능은 표면적에 의해 결정되어지는데, 일반적으로 목재나 목질재료가 탄화과정을 거치면 비표면적과 세공용적이 증가하게 되는데(Lee *et al.*, 2011), 탄화과정을 거친 세라믹이 표면적이 넓어져 혼합보드보다 탈취효과가 높은 것으로 판단된다. 또한 전체적으로 120분 경과후 탈취효과가 80-90%로 측정되어 본 실험에서 제조한 보드와 세라믹을 탈취효과 목적으로 사용하는 것도 가능할 것으로 판단된다.

3.2. 원적외선 방사특성

Fig. 1은 보드의 밀도를 0.6 g/cm³ 고정하여 왕겨와 숯의 첨가율별로 제조한 세라믹의 왕겨와 숯의 첨가량에 따른 원적외

선 방사율과 방사에너지를 나타냈다. 왕겨와 숯의 첨가량이 20:20일 때 0.928, 374 w/m², 25:15일 때 0.925, 373 w/m², 30:10일 때 0.931, 376 w/m² 그리고 35:5일 때 0.933, 0.376w/m²로 숯의 첨가량이 감소하고 왕겨의 첨가량이 증가할수록 원적외선방사율과 방사에너지는 증가하는 경향을 나타냈다.

이러한 원적외선 방사율은 규사(0.60-0.80), 맥반석(0.90), SiO₂(0.83)보다 높았으며, 숯(0.93), 그래파이트(0.93), 세라믹코팅판(0.924) 등과 비슷하였다(KFIA, 2000). 특히 Okabe(1996)가 MDF를 재료로 800℃에서 탄화하여 만든 우드세라믹의 방사율 측정값 0.80과, Oh and Byeon(2006)이 간벌재를 이용한 우드세라믹의 원적외선 방사율 측정값보다 높은 값을 보였다. 또한 Oh(2016)가 톱밥과 왕겨로 세라믹 제조 후 본 연구와 동일한 수지함침율과 탄화온도일 때 측정한 원적외선 방사율 측정값인 0.923보다 높은 값을 나타내었다. Lee *et al.*(2010)은 국내 시판용 목탄의 원적외선 방사율이 전통적으로 제조한 흑탄과 백탄의 경우는 각각 0.89와 0.87이라고 보고했다. 이는 숯의 첨가가 원적외선 방사율에 영향을 주었다고 생각된다. 또한 Hwang(2011)이 굴박과 톱밥을 이용해 제조한 세라믹의 측정값과 비슷한 경향을 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 농업부산물인 왕겨와 제재과정에서 발생하는 톱밥에 다공성 재료인 숯을 첨가하여 재료의 첨가율에 따라 보드와 세라믹을 제조한 후 포름알데하이드 탈취성능과 원적외선 방사특성을 측정하였다.

톱밥과 왕겨 및 숯으로 제조한 보드와 세라믹의 탈취성능은 숯의 첨가량이 증가할수록 탈취성능이 향상하는 것을 확인하였다. 또한 보드보다 동일 첨가율로 제조된 세라믹이 5% 이상 높은 탈취율을 나타냈다. 이는 탄화과정을 거쳐 비표면적과 세공용적이 증가하여 탈취효과가 높은 것으로 판단된다. 또한 보드와 세라믹의 탈취효과가 80-90%로 측정되어 탈취효과 목적으로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

원적외선 방사율과 방사에너지는 왕겨의 첨가율이 증가할수록 증가하는 경향을 나타냈지만 그 차이는 미비하였다. 또한 본 실험에서 제조한 세라믹의 원적외선 방사율은 숯(0.93), 그래파이트(0.93), 세라믹코팅판(0.924) 등과 비슷하여 충분히 활용이 가능할 것으로 보였다.

추후 재료의 첨가율에 따른 세공구조의 파악을 위해 비표면적 실험이 추가적으로 필요할 것으로 보인다.