

실내 마감재의 온도 노출에 따른 자재 표면의 열화 및 산화 분석

Degradation and chemical oxidation of indoor finishing material surfaces under long-term temperature exposure

○ 서 원 덕* 최 용 준** 김 수 민***
Suh, Won Duk Choi, Yongjun Kim, Sumin

Abstract

The aging of interior finishing materials due to temperature exposure was analyzed. Aging of indoor finishing materials under long-term temperature exposure was investigated through accelerated aging experiments at 70 °C. Artboard, tex, and wood specimens were subjected to thermal performance analysis and surface oxidation evaluation. Thermal conductivity slightly increased in artboard and wood due to surface cracking, whereas tex showed a decreasing trend attributed to gypsum core dehydration. FTIR (fourier transform infrared spectroscopy) analysis revealed that the carbonyl index rose with aging duration, with tex and wood exhibiting significant increases of 333.76% and 78.24%, respectively. These results confirm that prolonged temperature exposure accelerates both degradation and oxidation of indoor finishing materials.

키워드 : 실내 마감재, 노후화, 가속화 실험, 화학적 산화

Keywords : Indoor finishing material, Aging, Acceleration experiment, Chemical oxidation

1. 서론

건축자재의 노후화는 노출 시간의 경과에 따라 온도와 습도 변화, UV 노출 등 다양한 환경 요인에 의해 점진적으로 진행된다. 특히 실내에서는 냉난방 시스템의 반복 가동으로 발생하는 온도와 습도 변화가 주요 원인으로 작용하여 자재의 표면에 미세한 균열과 열화를 유발하고 성능 저하를 유발한다. 이러한 노후화는 단열 성능의 저하, 자재 수명 단축, 유지 보수 비용 증가, 심미적 품질 저하라는 문제로 이어진다. 이전 연구는 주로 단열재와 페인트를 대상으로 이루어졌으며, 단열재의 경우 고온 노출, 습도 노출, 반복적인 동결-융해 조건에서 성능이 저하되거나 자재가 산화되었고, 페인트는 고온 노출 시 표면에서 열화가 나타났다. 건축자재 표면의 열화는 열전도율 분석을 통해서, 산화는 FTIR 분석을 통해서 입증되었다. 그러나 실내 마감재의 노후화에 관한 연구는 아직 부족한 상황이다. 이에 본 연구에서는 실내 마감재의 노후화에 따른 산화 발생에 대한 분석을 진행하고자 한다. 건축자재는 습도보다

온도 노출 조건에서 산화가 더 많이 발생하며, 자재 표면의 산화는 FTIR 스펙트럼에서 도출한 carbonyl index로 표현될 수 있다. 또한, 건축자재의 노후화 연구는 자재의 실제 노출 시간을 단축하기 위하여 가속화 실험이 수행되었다. 본 연구는 실내 마감재의 노후화를 가속화 실험을 통하여 구현하고자 하며, 장기간의 온도 노출에 따른 실내 마감재의 노후화 발생을 종합적으로 분석하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 실내 마감재 선정 및 실험 시편 준비

벽과 천장 마감으로 주로 적용되는 네 가지 실내 마감재가 준비되었다. 아트보드, 텍스, 목재 네 가지 자재를 대상으로 선정하였으며, 각 자재의 표면은 폴리에스터, 폴리우레탄, 종이, 목재 성분으로 구성되어 있다. 각 자재는 열전도율 분석을 위한 용도로 100 mm × 100 mm × 10 mm (가로 × 세로 × 높이)의 사이즈로 재단되었다.

2.2 실내 마감재의 노후화 실험

자연 상태에서 자재의 노후화를 구현하는 것은 시간적인 제약이 존재하므로, 가속화 실험으로 노후화를 구현하였다. 연구에서는 가속화 실험을 수행하기 위하여 아레니우스 방정식을 활용하였다. 분자 운동의 반응속도는 식 (1)에 제시되어 있다. k 는 반응속도, T 는 재료의 온도 (단위: K), R 은

* 연세대 대학원 석박통합과정

** 연세대 대학원 박사과정

*** 연세대 건축공학과 교수

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Yonsei University, kimsumin@yonsei.ac.kr)

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2025-02263517).

기체 상수, E_a 는 활성화 에너지 (kJ/mol), A 는 비례상수이다. 또한, 반응속도의 비율은 가속화 계수 (f_T) 로 인식될 수 있으며, 계산식은 식 (2)와 같다. T_{ag} 는 가속화 온도 (K), T_{nat} 는 자연 노화 온도 (K) 이다. 이전 연구에서 활성화에너지는 온도에 무관하게 70 kJ/mol로 제시되었다.

$$k(T) = A \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad \text{식 (1)}$$

$$f_T = \frac{k(T_{ag})}{k(T_{nat})} = \exp\left(-\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_{ag}} - \frac{1}{T_{nat}}\right)\right) \quad \text{식 (2)}$$

서울 지역의 30년간 연평균 기온은 12.8 °C이다. T_{ag} 를 70 °C, T_{nat} 를 12.8 °C로 설정하면, f_T 의 값은 135.38 로 도출된다. 70 °C 고온 조건에서 14, 28일 동안 노출을 진행할 경우, 자연 상태에서 5, 10년 동안의 노후화를 구현할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 재단한 시편을 70 °C의 히팅 오븐에서 0, 14, 28일 동안 가속화 실험을 진행하고자 한다.

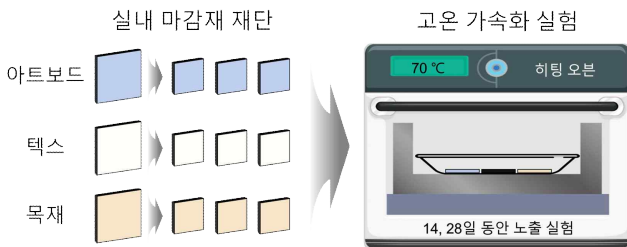


그림 1. 가속화 실험 프로세스

3 분석 결과 및 논의

3.1 자재의 열적 성능 분석

노후화 기간에 따른 시편들의 단열 성능 변화가 분석되었다. 0, 5, 10년의 노후화 기간 동안 아트보드와 목재의 평균 열전도율은 상승하는 경향을 나타내었다. 아트보드와 목재는 고온 노출 과정에서 발생된 균열로 열전도율이 증가한 것으로 유추된다. 텍스의 열전도율은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 텍스 자재의 코어 성분이 석고로 구성되어 있기 때문이다. 이전 연구에서는 석고가 0~200 °C의 온도 구간에서 열전도율이 감소하는 경향을 제시하였으며, 탈수 현상을 원인으로 제시하였다.

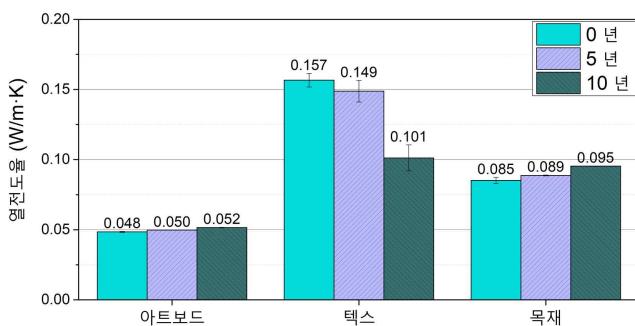


그림 2. 노후화 기간에 따른 자재의 열전도율

3.2 자재 표면의 산화 분석

FTIR 분석을 통해서 자재 표면의 산화 정도가 분석되었다. 산화 정도는 FTIR 스펙트럼에서 C-H 결합의 면적 대비 C=O 결합의 면적인 carbonyl index로 표현되었다. 자재의 노후화 기간이 증가할수록, 자재의 carbonyl index가 증가하였다. 아트보드, 텍스, 목재 각각 10년 동안 노후화된 시편들이 0년에 비하여 carbonyl index가 23.46, 333.76, 78.24% 증가하였다. 텍스와 목재의 carbonyl index의 증가율이 높게 도출되었으며, 이는 셀룰로오스, 리그닌, 헤미셀룰로오스 성분이 -OH, -OH₂ 작용기를 포함하고 있어 산소와 쉽게 반응된 것으로 유추된다. 분석을 통해서 마감재 표면의 성분이 규명되었으며, 마감재 종류별 노출 기간에 따른 산화 정도가 비교되었다.

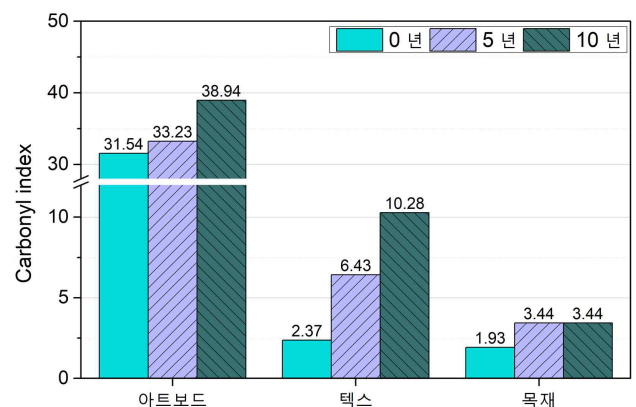


그림 3. 노후화 기간에 따른 자재 표면의 산화 정도

4. 결론

실내 마감재의 장기간의 온도 노출에 따른 노후화를 분석하기 위하여 70 °C의 고온 조건에서 가속화 실험이 수행되었다. 자재의 열적 성능을 분석한 결과, 노후화 기간이 증가할수록 자재의 변형으로 인한 열전도율의 변화가 도출되었다. 또한, 자재 표면의 산화 정도를 분석한 결과, 세 가지 자재에서 공통으로 노후화 기간이 증가할수록 산화 정도가 증가하는 경향이 도출되었다. 연구를 통해서 노후화 기간이 증가할수록, 자재의 열화와 산화 정도가 증가함이 입증되었으며, 이는 장기간의 온도 노출이 실내 마감재 노후화의 원인이 될 수 있음을 제시한다. 향후 연구는 온도 및 습도 노출에 따른 실내 마감재의 노후화 정도를 비교하여, 노후화와 유해물질 발생 간의 관계를 분석할 수 있다.

참고문헌

1. L. Pinchard, J. L. Parracha, R. Veiga, L. Matias, A. S. Silva, S. Duarte, L. Nunes, Weather ageing effects on the long-term thermal conductivity and biological colonisation of thermal insulating mortars with EPS, cork and aerogel, Energy Build. 317, 114403 (2024)
2. Y. Chung, W. H. Green, New modified Arrhenius equation to describe the temperature dependence of liquid phase reaction rates, Chem. Eng. J. 516, 163300 (2025)