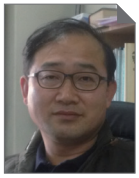
https://doi.org/10.14190/MRCR.2020.15.4.031

02

백석면이 함유된 천정텍스의 화학적 처리 및 재활용 기술

A Study on the Recycling of Detoxified Waste Asbestos

김태형 Tae-Hyoung Kim
한국건설기술연구원 국민생활연구본부
수석연구원
E-mail : kimtaehyoung@kict.re.kr



송태협 Tae-Hyeb Song
한국건설기술연구원 연구전략기획본부
사업기획지원실 선임연구위원
E-mail : thsong@kict.re.kr

장경필 Kyong-Pil Jang
한국건설기술연구원 국민생활연구본부
박사후연구원
E-mail : kyongpiljang@kict.re.kr

1. 머리글

규산염 광물 종을 통틀어 부르는 석면은 섬유 형태의 결정으로 구성되어 있으며, 각 섬유는 다시 수백만개의 작은 섬유로 구성된다. 이들은 분쇄나 마무 과정을 통해 미세하게 분리되며, 보통 색상에 따라 백석면, 청석면, 갈석면 등으로 구분된다. 석면은 강한 내구성, 흡음성, 내열성, 내화성, 불연성 절연성이 좋기 때문에 절연재나 단열재 등의 건축자재 또는 건축자재의 보강섬유로 사용되어 왔다. 석면의 인체 유해성이 제기되었으며 세계보건기구에서는 석면을 1급 발암물질로 규정하여 전 세계적으로 석면사용을 금지하고 있으며, 이미 설치된 석면 건축자재를 해체하고 있다. 2008년 7월부터 1 % 이상의 석면 함유 자재는 모두 지정폐기물로 처리하는 폐기물관리법 시행규칙이 개정되었고, 2020년 5월 석면안전관리법이 일부 개정되었다. 따라서 현재의 석면의 문제는 사용 시 공기 중 석면의 비산 없이 안정적 사용, 해체 시 석면 비산을 최소화 하여 해체, 해체된 폐석면 건축자재의 안정적 처리가 관건이다.

2. 백석면 포함된 천정텍스의 화학적 처리

백석면의 물리적 처리를 위한 Lab.scale의 간이 설비를 제작하였다<그림1>. 건물 해체 현장으로부터 조달된 백석면 함유 천정텍스를 분쇄하고, 이를 약산(옥살산 등)과 혼합하였다.

백석면과 옥살산 반응식

$$Mg_3(OH)_4Si_2O_5 + 3C_2H_2O_4 \rightarrow 3MgC_2O_4 + 2SiO_2 + 5H_2O$$

간이 설비 외부에는 압력 유지를 위하여 직접 가열을 통하여 온도를 상승시키며 최대 200℃ 정도 까지 온도를 상승시킬 수 있는 것으로 확인되었으며, 압력은 3atm까지 버틸

(a) **커터밀** (b) **오토클레이브** (c) **건조기**

그림 1. 백석면 함유 천정텍스 화학적 처리 장비

수 있도록 설계하였다. 압력과 온도를 확인 할 수 있도록 압력계와 온도계를 외부 연결하였으며, CO_2 투입이 가능하도록 하였다. 위와 같이 온도와 압력을 설계에 반영한 것은 옥살산($C_2H_2O_4$)이 상온에서 고체상태 이며, 흡습성이 있어 옥살산 이수화물($C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$)의 형태이다. 옥살산 이수화물은 101.5℃에서 녹으며, 189.5℃에서 분해되어 일산화탄소, 이산화탄소, 물, 포름산(중간생성물)을 생성한다.

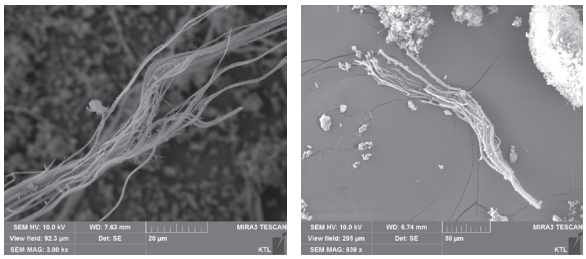


그림 2. 천정텍스 화학적 처리 전

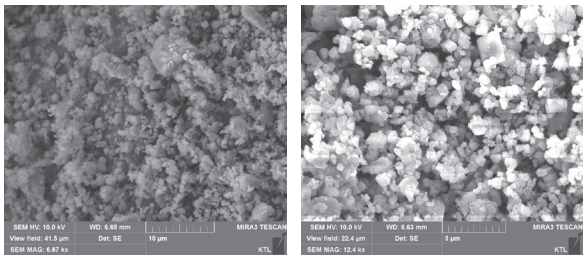


그림 3. 천정텍스 화학적 처리 후

3. 백석면 포함된 천정텍스 화학적 처리 결과

Lab-scale 실험을 통해 파분쇄 과정과 산 및 열처리를 거친 소재를 대상으로 단체규격 KTL L 132에 따라 시험을 진행하였으며, 규격 내 시험 항목은 총 네 가지 항목으로 석면 함유량, 함수율, 입도, 유해물질 용출량에 대한 시험 방법 및 품질 기준을 규정하고 있다.

단체규격(KTL L 132)에서 석면 함유량 시험은 폐기물공정시험기준 석면-X선 회절기법(ES 06305.2)에 따라 시험을 진행한 결과 무해화 처리 시료의 석면 함유량은 0.083 %로 본 연구의 목표인 석면 함유량 0.1 % 이하 기준에 만족하였다.

화학적 처리 전<그림 2> 실타래 같은 백석면의 침상형태가 처리 후<그림 3> 모습과 같이 화학적 반응을 통해 육각 능면체 형상으로 변형된 걸 확인하였다.

또한, 국내 석면 분석기관 중 X-선 회절분석에 의한 성적서

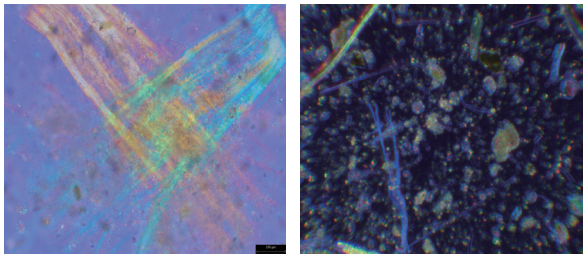


그림 4. 천정텍스 화학적 처리 전

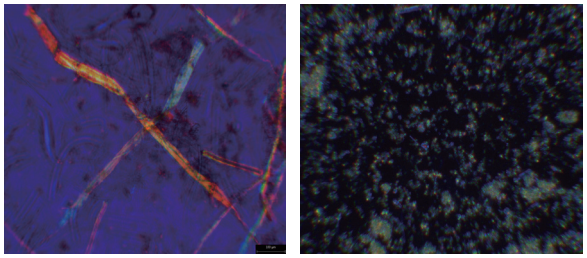


그림 5. 천정텍스 화학적 처리 후

발급 기관이 없는 상태이기 때문에 폐기물공정시험기준 석면-편광현미경법(ES 063005.1)에 의한 석면 함유량을 분석하였다.

편광현미경법(PLM)에 의한 석면의 분석과정은 시료의 전처리, 정성분석, 정량분석의 순으로 진행되었다. 전처리 과정에서 섬유여부를 확인 후 정성분석을 통해 석면물질의 형태, 색깔, 복굴절, 소광특성, 신장률 부호, 분산색 등 섬유나 광물의 광학 특성을 분석하여 석면의 정성분석을 진행하였다.

화학적 처리 전<그림 4>·후<그림 5> 시료의 편광현미경 분석 결과를 비교한 결과이며, 무해화 처리 전 시료의 석면함유량 6 %에서 화학적 처리 후 석면 불검출로 나타났다. 외부기관을 통해 PLM법에 따른 무해화 처리된 시료의 석면 함유량 시험 의뢰 결과를 제시하였으며, 결과는 석면 불검출로 기준을 만족하였다.

무해화 처리 전(원시료)의 경우 PLM 사진 상에서 전형적인 백석면의 모양을 나타내는 것으로 확인되었다. 반면에 무해화 처리 후 시료의 PLM 사진의 경우 산에 의한 화학적 변형 및 열변성 등으로 인한 백석면 고유의 광학적 특성이 소실된 것을 확인할 수 있었다.

4. 화학적 처리된 시료의 활용

4.1 시험방법

화학적 처리된 분체를 활용한 2차 건축제품 제조 최적 배합을 도출하기 위하여, 아래 [표 1]과 같이 8개의 배합을 대상으로 실험을 진행하였다.

실험 특성으로 결합재 중 시멘트 사용량과 바인더(실리카 분말) 사용량을 각각 20 %, 10 % 감소시켰으며, 대체 혼화재료인 플라이애쉬(FA) 중의 CaO 함량 및 SiO_2 함량을 고려하여 전체적인 CaO 및 SiO_2 공급량을 조정하였다. 기존 배합에

[표 1] 배합설계

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Cement	11	7	11	7	11	7	11	10.6
Silica Powder	8.6	6.6	8.5	6.5	8.5	6.5	8.6	8
FA	0	6	0	6	0	6	0	0
PP	0.2	0.2	0	0	0	0	0.1	0.1
Re-Fiber	0	0	0	0	0	0	0.2	1.2
Pulp	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
Straw	0	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0	0
Talc	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0
Sodium Silicate	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0

그림 6. 화학적 처리된 시료 혼입 압출성형 패널 제작

사용하는 모래는 적용하지 않으며, 폴리프로필렌과 펄프는 기존 배합의 구성에 적용하였다. 또한, 보강섬유로 볏짚 분쇄 섬유를 적용하지만 전체 총 섬유 용적을 고려하여 볏짚 사용량을 조정하였다. 분상의 탈크 및 물유리는 섬유 분쇄 과정에서 사전에 함유시켰다. 따라서 배합3~배합6까지의 볏짚의 함유 질량은 0.34 kg으로 적용하였고, 증점제인 MC의 사용량은 0.5 %를 적용하였다.

위의 8개 배합설계를 대상으로 압출성형 패널 실험(각 배합 당 2개)을 진행하였다. 압출실험 단면은 40 mm*50 mm 4각 제품(중공형 1구 또는 2구)으로 하였으며, 상부 단면계수를 산출하였다. 단면계수는 보(beam)에 외력이 가해져서 변형이나 변형력이 일어날 경우 이를 계산하는 데 쓰이는 계수를 말하며, 이는 단면의 형태에 의해서 정해지는 상수이다

압출성형 패널의 물리적 성능평가 항목은 ①휨강도, ②밀도, ③흡수율, ④미세구조 분석으로 설정하였다. 아래와 같이 각 항목별 세부적 평가내용에 대하여 분석하였다.

4.2 휨강도 및 흡수율 시험 결과

압출성형 패널의 휨강도 시험 결과 KS 기준의 휨강도는 14 MPa을 만족하는 배합은 없었으며, 가장 높은 강도를 나타낸 배합 7이 11.69 MPa로 KS 기준에 다소 못 미치는 것으로 나타났다. 배합3~배합6까지 배합의 조정을 통해 KS 기준을 충족시킬 수 있도록 보완한 후 재실험을 진행 중이다.

모든 배합의 흡수율은 18 %이하로 KS 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 전반적으로 흡수율을 조립률이 커질수록 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 조립률이 커질수록 양호한 다짐으로 조직의 치밀화 및 물이 접합 수 있는 비표면적이 작아진 것에 기인한 것으로 분석되었다. 또한, 바인더 종류별로 거의 차이가 없는 것으로 나타났으나, FA와 straw, talc 등을 혼입한 경우 re-fiber와 PP를 혼입한 경우보다 흡수율이 크게 나타났다.

5. 맺음말

백석면이 함유된 천정텍스 분체를 대상으로 화학적 처리 후 이를 활용한 2차 제품의 물성 및 적용성에 관한 기초연구 결과 다음과 같은 결론은 도출하였다.

폐기물공정시험기준 석면-X선 회절기법에 따라 시험을 진행한 결과 화학적 처리 시료의 석면 함유량은 0.083 %로 본 기초연구의 목표인 석면 함유량 0.1 % 이하 기준에 만족하였으며, PLM법에 따른 화학적 처리된 시료의 석면 함유량 시험 결과도 석면 불검출로 기준을 만족하였다.

화학적 처리된 시료가 혼입된 압출성형 패널의 휨강도 시험 결과 KS 기준의 휨강도는 14 MPa을 만족하는 배합은 없었으며, 가장 높은 강도를 나타낸 배합 7이 11.69 MPa로 KS 기준에 다소 못 미치는 것으로 나타났다. 하지만 모든 배합의 흡수율은 18 %이하로 KS 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 바인더 종류별로 거의 차이가 없는 것으로 나타났으나, FA와 straw, talc 등을 혼입한 경우 re-fiber와 PP를 혼입한 경우보다 흡수율이 크게 나타났다.

담당 편집위원 : 김태형(한국건설기술연구원)