

폐알루미늄 합금 타공 시트를 보강한 모르타르 복합체의 역학적 특성 및 차폐성능 분석

An Analysis on mechanical properties and shielding performance of mortar composites reinforced with waste aluminium alloy perforated sheets

○ 한 승 현* 김 규 용** 이 예 찬*** 김 문 규* 박 준 영* 남 정 수****
Han, Seung-Hyeon Kim, Gyu-Yong Lee, Yae-Chan Kim, Moon-Kyu Park, Jun-Young Nam, Jeong-Soo

Abstract

This study investigates the recycling of aluminum waste scrap, a byproduct of the growing capacitor production in the modern electronics industry, into a building reinforcement material without melting. By developing the aluminum alloy perforated sheet(ALS) that maintains the form of aluminum scrap, the research evaluates its potential as a reinforcement and electromagnetic shielding material that doesn't significantly increase the structure's weight. Experiments were conducted to assess the mechanical and electromagnetic shielding performance of mortar specimens reinforced with ALS, demonstrating its ability to enhance both properties. The findings suggest ALS's potential application as a reinforcing material in building systems, contributing to mechanical improvement and electromagnetic protection.

키워드 : 알루미늄합금, 산업부산물, 모르타르, 역학적특성, 차폐효과

Keywords : Aluminum alloy, Industrial by-products, Mortar, Mechanical properties, Shielding effectiveness

1. 서론

세계 반도체 시장의 성장과 전자산업의 고도화로 인해 전자제품 내부에서 안정적인 전기를 공급해주는 역할을 하는 핵심 부품인 콘덴서(커패시터)의 수요가 막대하게 증가하고 있다. 이중 대용량, 저비용의 특성을 갖는 알루미늄 전해 콘덴서(Aluminum electrolytic capacitor; AEC)의 경우 전 세계 콘덴서 시장 점유율의 약 30% 이상을 차지한다. 이 과정에서 AEC의 케이스 생산량 또한 폭증하고 있는 가운데, 케이스 제작 공정에서 발생하는 타공된 후 남은 알루미늄 스크랩은 방대한 양의 산업부산물로 버려지고 있다. 이러한 폐스크랩은 적절한 사용처를 구하지 못하고 폐기되거나, 고에너지 소모와 온실가스 및 위험물 배출을 수반하는 재활용 공정을 거치고 있어 처리 과정에 대한 개선이 필요하다. 이를 위해 경량성과 가공성, 전도성이 뛰어난 알루미늄 합금의 특성을 활용하여 건축재료에 재활용하는 방안을 모색하였으며, 알루미늄 합금 타공 시트(Aluminum alloy perforated sheet; ALS)를 개발하고 모르타르

복합체에 보강한 후 역학적 특성과 전자파 차폐 성능을 동시에 향상시킬 수 있는지 평가하였다.

2. 실험 방법

ALS가 보강된 모르타르 복합체의 역학적 특성 및 차폐 성능 평가를 위한 실험 과정을 그림 1에 표현하였다. 모르타르는 Ready-mixed cement를 40Kg 당 7L의 물을 혼합해 제작하였고, 모든 실험에 균일한 조건을 적용했다. 역학적 특성 평가의 경우, ALS 보강에 따른 압축강도와 인장강도, 휨강도를 평가하였다. 압축 시험체는 시험체의 외부에 에폭시 레진을 이용해 ALS를 접착하여 보강하였고, 인장 시험체는 내부에 ALS를 매입하였다. 휨강도는 내부와 외부에 각각 보강하여 보강 위치에 따른 성능을 평가하였다. 전자파 차폐효과 측정은 ALS를 내부에 매입한 후 도파관 시험과 네트워크 분석기를 이용해 평가를 진행하였다.

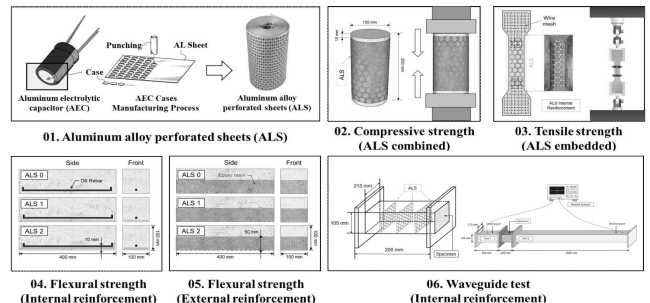


그림 1. ALS 보강 실험체 평가 프로세스

* 충남대학교 건축공학과, 석사과정

** 충남대학교 건축공학과, 교수·공학박사, 교신저자

(Corresponding author : Department of Smart City and Architectural Engineering, Chungnam National University, gyuyongkim@cnu.ac.kr)

*** 충남대학교 건축공학과, 박사과정

**** 충남대학교 건축공학과, 부교수·공학박사

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.RS-2023-00220921).

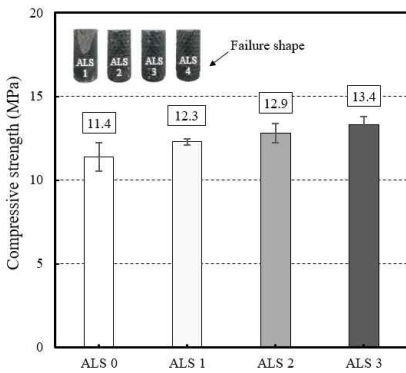


그림 2. ALS 보강 시험체 압축강도

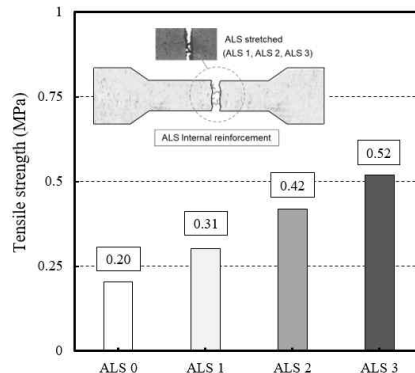


그림 3. ALS 보강 시험체 인장강도

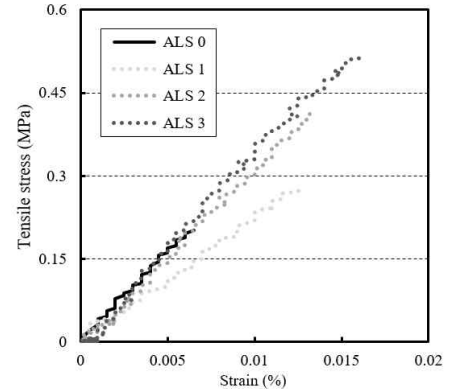


그림 4. 인장응력-변형률 곡선

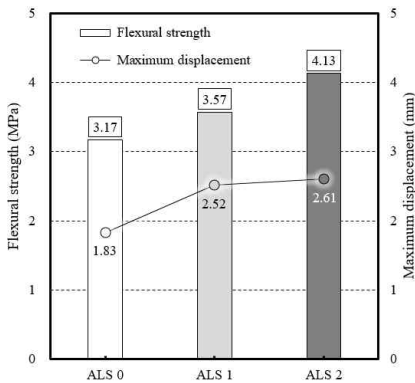


그림 5. ALS 외부보강 시험체 휨강도

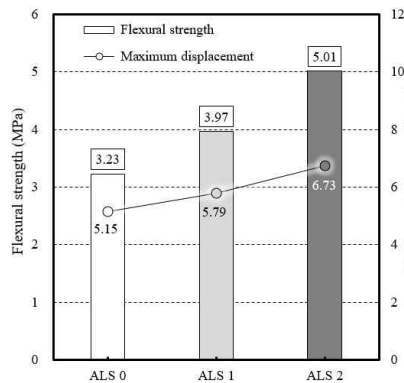


그림 6. ALS 내부보강 시험체 휨강도

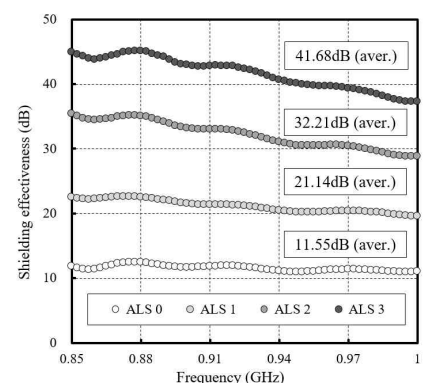


그림 7. 전자파 차폐 유효성 측정

3. 실험 결과

본 연구에서 모르타르 시험체에 보강된 ALS(Aluminum alloy perforated sheet)의 개수에 따라 시험체 명을 각각 ALS 0, 1, 2, 3으로 명칭하였다. 그림 2는 ALS 보강에 따른 압축강도 그래프이며, 보강개수가 증가할수록 압축강도가 증진되는 결과가 나타났다. ALS 개수에 따라 강도가 약 0.5 MPa씩 증가하였고, ALS 3은 ALS 0(무보강)의 압축강도 대비 약 20%가 향상되었다. 또한, ALS의 결합 방식이 적용됐을 때 시험체의 파괴 성상에서 압축 하중에 의한 취성파괴가 억제되는 모습이 관찰되었다. 이는 ALS의 중첩이 구속 효과를 부여하여 파편 비산 등의 추가적인 인명피해를 감소시킬 수 있음을 시사한다.

그림 3과 4는 ALS 매입보강 시 인장강도에 미치는 영향을 조사한 그래프이다. 기존 ALS 0은 매우 낮은 인장강도를 보였으나, ALS를 최대 3장까지 보강했을 때 무보강 시험체의 약 2.6배 증가한 결과가 나타났다. 특히 ALS는 인장 시험체 파괴 중 약 0.001%의 미세한 비율만을 차지하는 데 비해 시험체에서 연신되는 과정을 통해 인장응력을 분담하여 파단을 늦추고, 인장강도와 변형능력 향상에 효율적으로 기여할 수 있는 것으로 관찰되었다.

그림 5와 6은 각각 ALS의 외부 및 내부 보강이 시험체의 휨 성능에 미치는 영향을 평가한 그래프이다. 외부 보강 시험체의 경우 ALS의 결합으로 휨강도가 증가하였고, 균열 발생 시점이 지연되는 효과를 확인하였다. 내부 보강 실험에서는 ALS 3 시험체에서 기존 대비 휨강도와 최대 변

위가 각각 1.78 MPa, 1.58 mm가 증가하면서 ALS가 응력을 받아 연성적으로 파괴되는 현상을 보였다. ALS 보강 위치에 따른 두 방식 모두 휨 성능을 개선시키는 것으로 나타났으며, 이는 ALS와 시멘트 매트릭스 간 우수한 접착력 및 연성 특성이 기여한 결과로 판단된다.

그림 7은 ALS 보강 시험체의 전자파 차폐효과를 나타내며, ALS 1은 ALS 0의 약 83%가 증가한 21.14 dB의 차폐 수치를 보였다. 또한, ALS 보강개수가 증가함에 따라 차폐정도 일정하게 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 ALS의 고유 전도성과 보강개수에 따른 중첩 특성이 전자파의 차폐효과에 영향을 미친 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서 산업부산물로 버려지고 있는 ALS를 재활용하여 시멘트계 복합체를 제작하였고, 다양한 실험을 통해 ALS가 역학적 특성과 차폐 성능을 동시에 개선시킬 수 있음을 확인하였다. ALS의 내부 보강 결과, ALS가 연신하면서 인장강도와 변형률을 증가시켰고, 일체 거동으로 인해 균열 시점이 지연되었다. ALS를 외부에 보강할 경우, 압축 및 휨강도가 증가하였고 취성파괴에 의한 박리현상에 큰 저항력을 보였다. 또한, ALS 보강 방식은 기존 구조체에 쉽게 적용이 가능하다는 이점이 있으며 다양한 결합 방식이 활용되면 접착 및 시공성 향상을 기대할 수 있다. 특히, 중량 대비 차폐효과 향상도가 높아 내부 보강과 후속 보수용으로 차폐 성능 부여가 가능할 것으로 판단된다.