

콘크리트 침목 재활용 순환골재를 활용한 흡음자재의 성능평가

Evaluation of acoustic performance of sound absorbing materials incorporating recycled aggregates from concrete sleepers

이성찬¹, 고효인^{2†}, 홍지영², 배성철³, 서형원⁴, 이재영²

(Sungchan Lee¹, Hyoin Koh^{2†}, Jiyoung Hong², Sungchul Bae³, Heongwon Suh⁴, and Jaeyoung Lee²)

¹강남대학교 부동산건설학부, ²한국철도기술연구원, ³한양대학교 건축공학부, ⁴부산대학교 건축공학과

(Received October 13, 2025; revised November 7, 2025; accepted November 18, 2025)

초 록: 본 연구에서는 폐철도 침목과 같은 건설폐기물에서 재활용된 순환골재 기반 흡음재의 강도 및 음향적 특성이 평가되었다. 잔골재는 전처리 조건에 따라 H, M, L 등급으로 구분되었고, 미분말 잔존량 차이에 따라 구조적, 음향적 특성이 분석되었다. 강도시험 결과, 미분말 함량이 높은 L 등급 시편에서 가장 높은 압축강도와 휨강도가 발현되었으며, X-ray Micro-CT 분석에서도 L 등급은 조밀한 내부 충전 구조를 보였다. 임피던스 튜브(관내법)로 측정한 흡음률 역시 L 등급이 대부분의 주파수 대역에서 우수했고, 단일수치평가량 NRC는 약 0.45로 확인되었다. 시험체 유형에 대한 전반적인 결과를 보아, 미분말 제거를 위한 전처리 과정이 강도나 흡음 성능 향상에 유의한 기여를 하지 않았다. 결과적으로 본 연구는 철도 콘크리트 침목 등 건설폐기물의 철도 및 토목 인프라 소음저감 분야에 대한 효율적 재활용 가능성을 제시한다.

핵심용어: 순환골재, 흡음재, 전처리, 음향 성능, 건설폐기물 재활용

ABSTRACT: This study investigates the acoustic and mechanical properties of sound-absorbing materials fabricated using recycled aggregates derived from discarded railway sleepers. Fine aggregates were classified into three grades- H, M, and L - based on pretreatment conditions, and their structural and acoustic characteristics were analyzed in relation to the residual fine powder content. Mechanical tests revealed that the L-grade specimens, containing a higher amount of fine powder, exhibited the highest compressive and flexural strengths. X-ray micro-computed tomography (Micro-CT) analysis confirmed a densely packed internal structure in the L-grade samples. The impedance tube measurements demonstrated that the L-grade specimen achieved superior sound absorption across a broad frequency range, with a Noise Reduction Coefficient (NRC) of approximately 0.45. These results indicate that fine powder removal through pretreatment has minimal impact on improving either mechanical or acoustic performance. Consequently, the findings highlight the potential for high-value recycling of construction waste materials, such as railway concrete sleepers, in noise control applications within transportation and civil infrastructure systems.

Keywords: Recycled aggregate, Sound-absorbing material, Pretreatment, Acoustic performance, Construction waste recycling

PACS numbers: 43.55.Ev, 43.58.Bh

† Corresponding author: Hyoin Koh (hikoh@krri.re.kr)

Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang, Gyeonggi 16105, Republic of Korea
(Tel: 82-31-460-5000, Fax: 82-31-460-5159)



Copyright© 2025 The Acoustical Society of Korea. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

건설 산업은 막대한 자원을 소비하는 동시에 대량의 건설폐기물을 발생시키는 산업으로, 환경적·경제적 측면에서 지속 가능한 방안을 모색할 필요가 있다.^[1] 특히 콘크리트 침묵과 같은 대형 폐자재의 폐기 과정은 토지 점유와 환경 오염을 유발하기 때문에 재활용 기술의 개발이 필수적이다. 순환골재는 건설 폐기물 재활용의 대표적인 방법으로 주목받고 있으며, 다양한 토목·건축 자재로의 활용 가능성이 지속적으로 연구되고 있다.^[2] 그러나 순환골재는 원재료의 특성상 미분말이 다량 포함되며^[3] 입도 분포가 불균일하여 강도 및 내구성 측면에서 기존 천연골재 대비 성능이 떨어진다는 문제가 지적되어 왔다.^[4] 이러한 한계점을 극복하기 위해서는 순환골재의 전처리 공정을 통하여 재료의 균질성을 확보하는 것이 필요하다. 다만, 탄소중립과 경제성 측면에서 볼 때 과도한 전처리 공정은 에너지 소비와 비용 증가를 초래할 수 있으므로, 전처리 과정을 최소화하면서도 순환골재를 효과적으로 재활용할 수 있는 기술 개발이 요구된다.

본 연구는 철도 궤도의 폐콘크리트 침묵을 파쇄하여 얻은 순환골재를 활용해 제작한 흡음블록 시험체를 대상으로, 잔골재의 전처리 조건에 따른 역학적 성능, 공극 구조 및 음향적 특성을 정량적으로 평가하는 것을 목적으로 한다. 특히 체가름 시간과 세척·건조 조건에 따라 잔골재를 high sieving grade(H), medium sieving grade(M), low sieving grade(L) 등급으로 구분하여 미분말 잔존량을 차별화하였으며, 이로 인한 공극 구조 변화가 압축 및 휨 강도, 내부 미세구조, 그리고 주파수 대역별 흡음 성능에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다. 공시체 제작, 강도 시험, X-ray Micro-CT 분석, 관내법을 이용한 흡음 성능 측정실험들은 측정 기준^[5-9]에 따라 수행되었다. 이를 통해 구조적 안정성과 흡음 성능을 동시에 확보할 수 있는 최적의 순환골재 조건을 도출하고, 나아가 건설폐기물 재활용의 고부가가치 활용 가능성을 제시하고자 한다.

II. 시편제작

본 연구에서는 잔골재를 체가름 시간과 전처리 조건에 따라 H, M, L의 세 가지 등급으로 구분하였다. 잔골재는 30 mesh(600 μ m) 체를 이용하여 체가름기를 통해 Fig. 1과 같이 구분하였다.

L 등급은 30 mesh 체가름을 10초간 수행한 후, 별도의 세척이나 건조 과정 없이 사용한 잔골재로서 미분말 제거가 거의 이루어지지 않아 가장 많은 미분말을 포함하고 있다. M 등급은 동일한 체를 사용하여 60초간 체가름을 수행하였으며, 세척 및 건조 과정 없이 사용되어 L 등급에 비해 미분말이 다소 제거된 상태이다. H 등급은 30 mesh 체가름을 60초간 수행한 뒤, 물로 세척하고 24시간 동안 건조기를 이용해 건조한 잔골재로, 세 등급 중 미분말 함량이 가장 적은 것으로 확인되었다. 이와 같이 동일한 체를 사용하되 체가름 시간과 전처리 조건을 달리하여 잔골재 내 미세입자 함량 차이를 조절함으로써, 미분말 잔존 정도가 콘크리트 물성에 미치는 영향을 정량적으로 비교하고자 하였다.

잔골재 등급별 전처리 효과를 검증하기 위해 추가적으로 200 mesh(75 μ m) 체를 사용하여 미분말 잔존도를 평가하였다. 각 등급별 잔골재를 대상으로 30초간 체질을 수행한 후, 체를 통과한 미분말의 무게를 측정하여 함량을 산출하였으며, 측정은 3회 반복하여 수행하였다. 그 결과는 Table 1에 정리하였다.

측정 결과, H 등급은 세척과 건조 과정을 거친 영향으로 미분말 잔존도가 0.08~0.10% 수준에 불과하여 매우 낮은 값을 나타냈다. M 등급은 약 0.61%의

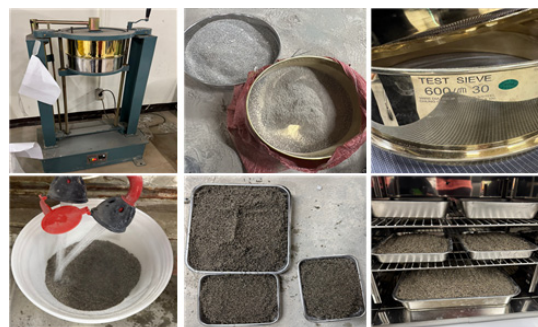


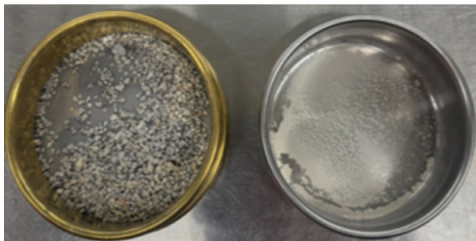
Fig. 1. (Color available online) Classification of fine aggregates by particle size.

Table 1. Fine powder content measurements for different fine aggregate grades.

Type	Before sieving (%)	After sieving (%)	Sieve passing quantity	Fine powder content
H	9.687	9.68	0.007	0.071 %
	8.211	8.203	0.008	0.10 %
	8.631	8.624	0.007	0.08 %
M	8.316	8.278	0.038	0.46 %
	9.523	9.465	0.058	0.61 %
	9.828	9.76	0.068	0.69 %
L	8.717	8.612	0.105	1.20 %
	8.83	8.706	0.124	1.40 %
	9.46	9.293	0.167	1.77 %



(a)



(b)



(c)

Fig. 2. (Color available online) Measured residual fine content after 200 mesh (75 μ m) sieving: (a) H, (b) M, (c) L.

미분말이 잔존하였으며, 전처리를 최소화한 L 등급은 평균 1.40% 이상의 미분말을 포함하여 가장 높은 수치를 나타냈다. Fig. 2 는 등급별로 200 mesh 체질 후 잔존한 골재와 통과된 미분말을 비교한 사진으

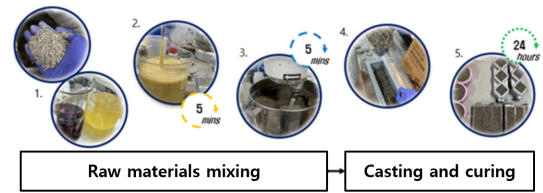


Fig. 3. (Color available online) Specimen preparation process.



Fig. 4. (Color available online) Mortar specimens prepared for testing.

로, H 등급의 경우 체 아래에 분리된 미분말이 거의 없는 반면, M 등급에서는 일정량의 미분말이 관찰되었고, L 등급에서는 상당량의 미분말이 체 위의 골재와 함께 분리되어 나온 것을 확인할 수 있다.

흡음재 시편 및 패널의 제작은 Fig. 3에 제시된 순서에 따라 진행되었다. 흡음재의 바인더는 폴리우레탄계 재료를 사용하였으며, 주제 A(폴리올계)와 경화제 B(MDI 화합물)의 혼합 반응을 통해 경화되도록 하였다. 바인더는 주제와 경화제를 약 5분간 유리 막대를 이용해 균일하게 혼합하였다. 이 후 잔골재와 바인더의 혼합은 몰탈 믹서(VM-40, 훈우)를 사용하여 수행하였으며, 한 배치(batch)당 골재는 10 kg 을 기준으로 하였다. 바인더의 투입량은 골재 대비 100:8의 배합비로 설정하였다. 혼합 과정은 분당 약 65 rpm의 속도로 5분간 진행하여 재료와 바인더가 충분히 혼합되도록 하였다.

제작된 시편은 배합 조건별로 Fig. 4와 같이 압축 및 할렬 강도 시험을 위한 실린더형 시편 3개, 휨 강도 시험을 위한 보형 시편 3개, 흡음 성능 평가를 위한 흡음 블록 4개, 그리고 X-선 전산화 단층촬영(X-CT) 분석용 샘플 2개로 구분하여 제작하였다.

이러한 절차를 통해 잔골재의 전처리 조건과 바인더 배합비 변화가 흡음재의 구조적·음향적 특성에 미치는 영향을 체계적으로 검증할 수 있도록 하였다.

III. 실험개요

본 연구에서 수행된 흡음재의 제작은 한국산업표준 KS F 2403:2019 「콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법」을 준수하여 진행하였다. Fig. 5와 같이 해당 기준은 압축강도 시험(KS F 2405) 및 휨 강도 시험(KS F 2408)에 사용되는 공시체 제작 절차를 포함하며, 실험의 신뢰성과 일관성을 확보하기 위해 모든 과정에서 표준화된 조건을 적용하였다. 모르타르 시편의 압축강도 및 휨강도 산정은 국제표준 ISO 679:2009(E) 'Cement - Test methods - Determination of strength'의 절차를 참조하여 몰드 규격과 타설 지침을 엄격히 준수하여 시험체를 제작하여 수행하였다.^[8]

공시체 제작은 먼저 계량된 원재료(시멘트, 순환 골재, 물, 혼화제)를 투입하여 표준화된 방법으로 혼합한 후, 몰드에 충전하여 다짐 과정을 거쳐 성형하였다. 이후 성형된 시험체는 KS F 2403에서 제시하는 조건에 따라 일정 기간 동안 표준 양생을 실시하였다. 양생은 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 의 온도와 상대습도 95% 이상의 조건에서 수행하였으며, 이는 재료의 수화 반응을 충분히 진행시켜 기계적·물리적 특성을 안정화하기 위함이다.

양생을 마친 시험체는 각각의 평가 목적에 따라 구분하여 시험을 진행하였다. 먼저 압축 강도는 KS F 2405에 따라 시험체의 파괴 하중을 측정하여 산출하였으며, 휨 강도는 KS F 2408 기준에 따라 3점 휨 시험을 통해 평가하였다. 또한 흡음 성능은 ISO 10534-2^[9]에 따라 마이크로폰 2개와 임피던스 튜브를 이용하였으며, 주파수 대역별 흡음 계수를 산출하여 재료의 음향 특성을 정량적으로 분석하였다. 이와 같이 본 연구는 공시체 제작에서부터 양생, 그

리고 기계적 성능과 음향 성능 평가에 이르기까지 모든 과정을 측정 표준에 기반한 표준화된 절차로 수행함으로써, 연구 결과의 객관성과 재현성을 확보하였다.

흡음재 공시체의 역학적 특성을 평가하기 위해 압축강도 및 휨강도 시험을 각각 양생 1일차와 7일차에 수행하였다. 압축강도 시험은 시편을 가압판의 중앙에 배치한 뒤 파괴가 발생할 때까지 하중을 재하하여, 시험기가 기록한 최대 하중값을 기반으로 Eq. (1)을 통해 산정하였다.

$$f_c = \frac{P}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}, \quad (1)$$

여기에서 f_c 는 압축 강도(MPa), P 는 최대 하중(N), d 는 공시체의 반지름(mm)을 나타낸다.

휨강도 실험은 KS F 2408을 기반으로 설정하였으며 공시체가 파괴에 이를 때까지 $50\text{ N/s} \pm 10\text{ N/s}$ 의 비율로 재하하였다. 압축 강도 시험까지 파단된 반쪽의 시험체를 습한 상태로 유지하였으며 다음의 식 (2)를 통하여 휨 강도 $R_f(\text{N/mm}^2)$ 를 계산하였다.

$$R_f = \frac{1.5F_f l}{b^3}, \quad (2)$$

여기에서 F_f : 파괴 시에 각주의 중앙에 가한 하중(N)

l : 지지물 사이의 거리(mm)

b : 각기둥의 직각을 이루는 절개면의 변(mm)

추가적으로 공시체 내부의 미세구조 특성을 규명하기 위해 X-ray Micro-CT 분석을 수행하였다. 분석에는 Bruker AXS사의 SKYSCAN 1273 장비를 사용하였으며, 최대 130 kV와 39 W의 X-ray 에너지를 적용하고, 1픽셀당 $20\text{ }\mu\text{m}$ 의 해상도로 총 1500장의 투과 영상을 획득하여 3차원 구조를 복원하였다.

흡음 성능 평가는 ISO 10534-2:1998 기준에 따라 Fig. 6과 같이 임피던스 튜브를 이용한 전달 함수법으로 수행하였다. 시료는 임피던스 튜브 내부에 고정된 뒤 음향 신호를 발생시켜, 두 개의 마이크로폰을 통해 측정된 음압을 바탕으로 전달 함수를 계산하였다. 이를 통해 주파수 대역별 흡음률 및 임피던

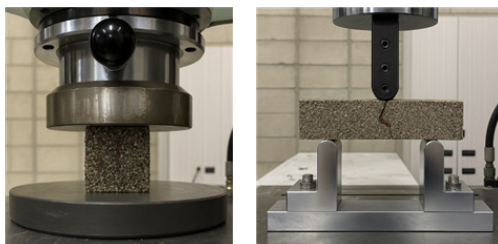


Fig. 5. (Color available online) Experimental setups for compressive and flexural strength testing of specimens.

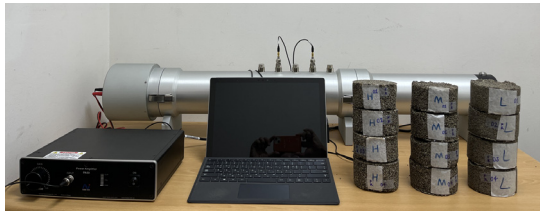


Fig. 6. (Color available online) Sound absorption test setup.

스 특성을 도출하였으며, 흡음재의 등급별 성능 차이를 정량적으로 분석하였다.

IV. 실험결과

Fig. 7은 잔골재 등급에 따른 흡음재 공시체의 압축강도와 휨강도 변화를 나타낸 것이다. 시험 결과, 잔골재 등급이 낮아질수록($L > M > H$) 강도 특성이 향상되는 경향을 보였다. 이는 흡음재 공시체 내 바인더-골재 접착계의 미세구조적 변화에 따른 결과로 해석된다. 즉, 잔골재 내 미분말 함량이 증가함에 따라 미세입자 간 충전이 촉진되고 공시체의 구조적 치밀도가 높아진 것으로 추정할 수 있다. 1일 재령에서 압축 강도는 H 등급 6.69 MPa, M 등급 8.01 MPa, L 등급 10.92 MPa으로 측정되어 등급 간 명확한 차이가 나타났으며, 휨 강도 또한 H 3.99 MPa, M 4.14 MPa, L 4.66 MPa으로 L 등급이 가장 높은 성능을 보였다. 7일 재령에서도 동일한 경향이 유지되었는데, 압축 강도는 H 7.38 MPa, M 8.19 MPa, L 10.97 MPa, 휨 강도는 H 3.91 MPa, M 4.05 MPa, L 4.69 MPa으로 나타났다. 다만 1일차에 비해 전체 평균값은 소폭 증가하였으나, 일반 콘크리트에 비해 수밀성과 수화반응 지속성이 낮은 흡음재의 특성상 재령 증가에 따른 강도 향상 폭은 크지 않았다. 종합적으로 미분말 함량이 많을수록 강도 성능이 우수하다는 점이 확인되었으며, 1일과 7일 모두에서 등급 간의 성능 경향은 일관되게 유지되었다.

Fig. 8은 각 등급별 공시체의 단면 CT 영상을 나타낸 것으로, 골재 분포와 공극 밀도의 차이를 시각적으로 보여준다. H 등급의 경우 전처리 과정에서 미분말과 작은 입자가 다수 제거되어 상대적으로 큰 골재가 주를 이루었으며, 이로 인해 큰 골재 사이가

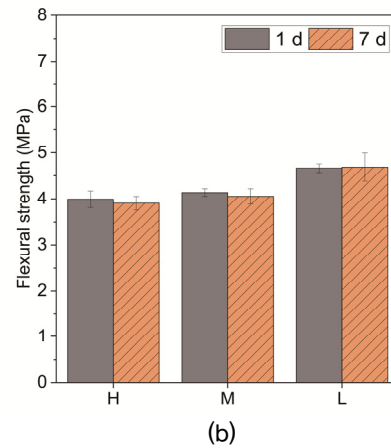
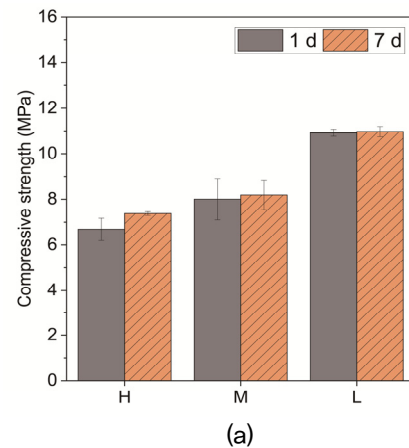


Fig. 7. (Color available online) Compressive and flexural strength of specimens according to aggregate grade: (a) compressive, (b) flexural.

효과적으로 충전되지 못해 공극이 잔존하는 구조가 관찰되었다. 반면 L 등급은 가장 많은 미분말을 포함하고 있어 다양한 크기의 입자가 골고루 분포하였으며, 작은 입자가 큰 골재 사이를 효과적으로 메움으로써 충전 효과가 극대화되었다. 이로 인해 L 등급은 조밀한 내부 구조를 형성하였고, 앞선 강도 시험에서 가장 높은 성능을 나타낸 결과와 일관성을 보였다.

이러한 경향은 Fig. 9의 정량적 분석에서도 확인된다. 체적 분율 비교 결과, L 등급은 골재 체적 비율이 가장 높고 공극 비율이 가장 낮게 나타났으며, H 등급은 반대로 골재 체적이 가장 낮고 공극 부피가 크게 측정되었다. 누적 골재 분포곡선에서도 L 등급은 작은 반지름 구간에 집중된 분포를 나타내었고, 바 이올린 플롯 분석에서도 분포 폭이 좁고 밀집된 경

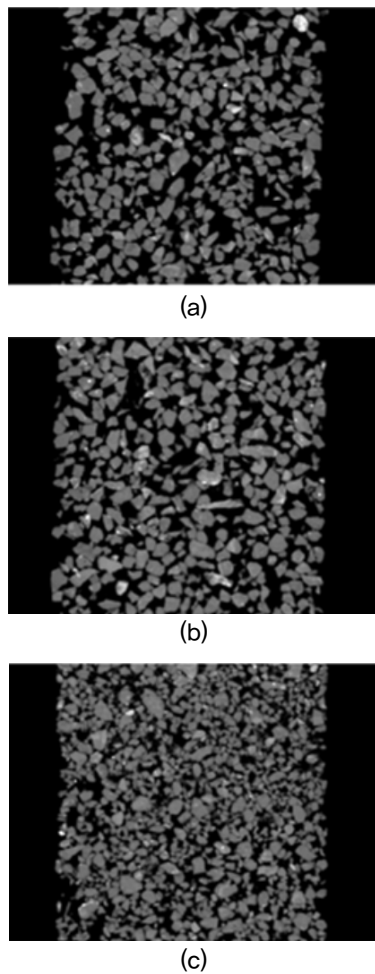


Fig. 8. X-ray CT cross-sectional images of specimens according to fine aggregate grade: (a) H, (b) M, (c) L.

향을 보여 충전 효과가 잘 형성된 것을 뒷받침하였다. 이에 비해 H 등급은 큰 입자가 상대적으로 많아 분포 폭이 넓고 크기 편차가 크게 나타났다. 종합적으로 CT 분석 결과는 전처리 정도에 따라 잔골재의 입도 분포와 충전 구조가 뚜렷하게 달라짐을 보여주며, 특히 H 등급은 충진을 위한 미세 입자가 부족하여 공극이 많이 남아 강도 성능이 낮게 나타났고, L 등급은 다양한 크기의 입자가 효과적으로 공간을 메워 강도 및 구조 안정성 측면에서 가장 우수한 특성을 발현하였다.

흡음 성능 분석 결과는 Fig. 10과 같이 500 Hz 이하의 주파수 대역에서는 세 등급 모두 0.2 정도의 낮은 흡음률이 측정되었으나 1000 Hz 대역에서는 0.8 이상의 높은 결과가 측정되었다. 단일수치평가량인

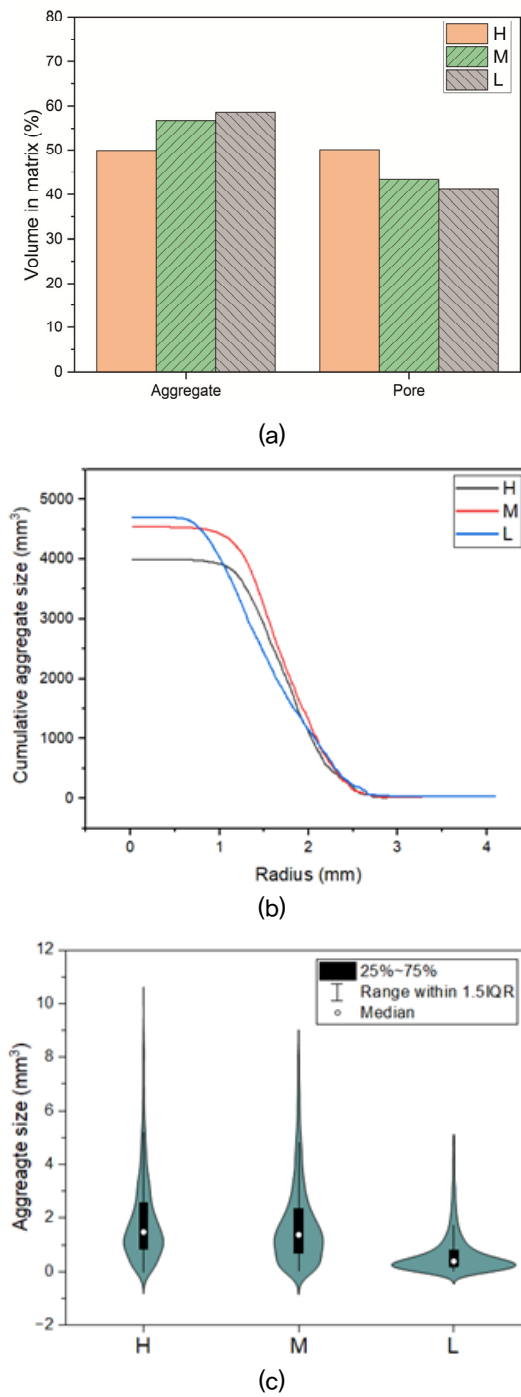


Fig. 9. (Color available online) Specimens according to fine aggregate grade (H, M, L): (a) aggregate and void volume, (b) cumulative aggregate volume, and (c) aggregate size distribution.

NRC 값의 경우 L 등급이 0.45로 M 등급(0.35)과 H 등급(0.35)보다 우수한 성능을 보였다. 이러한 결과는 Fig. 8에서의 이미지와 기존의 선행 연구결과^[10]를

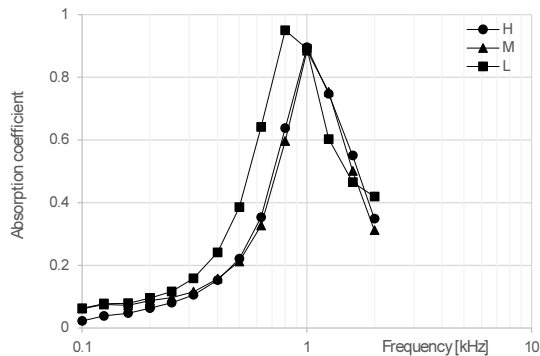


Fig. 10. Sound absorption coefficients of specimens according to fine aggregate grade (H, M, L).

참조하였을 때에 다음과 같이 해석 할 수 있다. 자연 규사 또는 인조규사를 골재로 활용한 기존 연구에서는 평균 입도가 상대적으로 균일하고, 입자 형상 또한 정형화되어 있어 골재 간 공극의 크기와 분포가 일정하게 형성되는 경향을 보였다.

반면, 본 연구에서는 비정형의 폐골재를 사용함에 따라 미분말 함량이 적은 H 등급의 경우 상대적으로 공극이 크고 분포의 균질성이 낮은 특성을 확인하였다. 이에 비해 L 등급은 미분말이 많이 혼입되어 있으나, 공극의 크기와 분포가 상대적으로 균일하게 형성되는 것으로 나타났다. CT 분석 결과를 기존 연구의 광학이미지와 비교한 결과, 기존 연구에서 흡음률이 가장 높게 보고된 3mm 입도 골재 시편의 광학 이미지가 L 등급 시편과 공극 크기와 분포의 균일성 측면에서 가장 유사한 형태를 보였다. 따라서 L 등급은 H 등급에 비해 공극의 균질성이 우수하고, 이로 인해 공극 간 음향 저항이 보다 일정하게 유지되어 결과적으로 흡음률이 향상된 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 철도 폐콘크리트 침목으로부터의 재활용 순환골재의 전처리 조건이 흡음 골재블록의 역학적 성능과 내부 구조적 특성에 미치는 영향을 실험적으로 평가하였다. 잔골재는 전처리 방법과 시간에 따라 H, M, L 세 등급으로 분류하여 실험을 수행하였으며, KS 규격에 따라 일관된 공시체 제작

및 시험을 진행하였다.

실험 결과, 전처리 조건에 따라 잔존하는 미분말 함량에 뚜렷한 차이가 나타났으며, 이는 골재의 입도 분포와 충전 특성에 직접적인 영향을 주었다. 특히 H 등급은 세척과 건조로 인해 미분말이 0.08% 수준으로 가장 적었고, L 등급은 전처리를 거치지 않아 1.4% 이상으로 가장 높게 나타났다. 이러한 차이는 공극률과 구조적 조밀성에 영향을 미쳤다.

역학적 성능 평가에서 L 등급은 1일 및 7일 재령 모두에서 가장 높은 압축 및 휨 강도를 기록하였으며, 이는 미세입자의 충전 효과로 공극률이 감소하고 구조가 조밀하게 형성된 결과로 해석된다. 반면, H 등급은 작은 입자가 부족하여 비교적 큰 공극이 다수 잔존하였고, 이에 따라 가장 낮은 강도 특성을 보였다. 또한 흡음재의 특성상 수밀성이 낮아 재령 증가에 따른 강도 향상 폭은 제한적이었다.

X-ray CT 분석 결과 역시 L 등급이 가장 균일하고 밀집된 입도 분포를 보여 구조적 안정성이 우수하였으며, H 등급은 불균일한 분포와 높은 공극률로 인해 열악한 내부 구조를 나타냈다. 이러한 결과를 종합하면, 순환골재 내에 일정 수준의 미분말이 잔존하는 것이 공극 충전과 강도 확보 측면에서 유리하다는 점이 확인되었다. 따라서 순환골재를 활용한 흡음 콘크리트 블록의 성능을 최적화하기 위해서 과도한 전처리를 시행하는 것 보다는 미분말 잔존도를 적절히 유지하는 것이 효과적일 수 있을 것으로 판단된다. 다만 경제성과 흡음재의 적용 분야에 따라서 보다 정량적으로 흡음성능을 예측하고 설계할 수 있는 추가 연구가 필요한 것으로 사료된다.

또한 흡음 성능 평가에서도 L 등급이 대부분의 주파수 대역에서 가장 높은 흡음률이 측정되었다. 다소 균일하면서 다양한 형상의 미세공극의 형성으로 점성저항과 에너지 소산이 증가하고, 임피던스 매칭 개선을 통해 더 많은 음향 에너지가 내부로 유입되어 흡음율이 향상된 것으로 해석된다.

폐콘크리트 침목을 재활용하여 제작한 순환골재 기반 흡음자재의 경우, 미분말이 잔존하더라도 공시체의 기계적 강도와 흡음 성능이 유의한 저하 없이 유지되어, 순환골재 활용 시 전처리가 반드시 필요한 조건은 아님을 실험적으로 확인하였다. 결론

적으로 미분말이 다량 잔존한 잔골재를 활용하는 것이 구조적 안정성과 흡음 성능과 같은 재료의 성능과 경제성을 동시에 확보하는 데 가장 유리할 수 있다고 판단된다. 본 연구에서는 건설폐기물인 콘크리트 침묵의 순환골재를 고부가가치 흡음 자재로 재활용할 수 있는 가능성을 제시하였으며, 향후 친환경 건축·토목 자재 개발을 위한 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 한국철도기술연구원의 기본사업 “철도 산업 디지털 및 친환경 분야 핵심기술 개발; 세부과제, 철도 폐콘크리트침묵 자원순환 기술 고도화 연구,” 연구과제로 수행되었으며, 해당 과제 내의 연구용역인 “폐콘크리트 침묵 재활용 순환골재를 활용한 흡음블록의 성능평가”의 연구 결과 중 일부이다.

References

1. H. Suh, T. Park, E. Zalnezhad, and S. Bae, “Synthesis and characterization of cement clinker using recycled pulverized oyster and scallop shell as limestone substitutes,” *J. Cleaner Prod.* **278**, 123987 (2021).
2. B. Wang, L. Yan, Q. Fu, and B. Kasal, “A comprehensive review on recycled aggregate and recycled aggregate concrete,” *Resour. Conserv. Recycl.* **171**, 105565 (2021).
3. J. Xiao, Y. Tang, H. Chen, H. Zhang, and B. Xia, “Effects of recycled aggregate combinations and recycled powder contents on fracture behavior of fully recycled aggregate concrete,” *J. Cleaner Prod.* **366**, 132895 (2022).
4. S. D. Datta, M. H. R. Sobuz, A. S. M. Akid, and S. Islam, “Influence of coarse aggregate size and content on the properties of recycled aggregate concrete using non-destructive testing methods,” *J. Build. Eng.* **61**, 105249 (2022).
5. KS F 2403, *Method of Making Test Specimens for Concrete Strength Tests*, 2019.
6. KS F 2405, *Test Method for Compressive Strength of Concrete*, 2020.
7. KS F 2408, *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete*, 2016.
8. ISO 679:2009(E), *Cement – Test Methods – Determination of Strength*, 2009.

9. ISO 10534-2:2023, *Acoustics – Determination of Acoustic Properties in Impedance Tubes Part 2: Two-Microphone Technique for Normal Sound Absorption Coefficient and Normal Surface Impedance*, 2023.

10. Korea Railroad Research Institute, “Development of improvement technology of railroad environment”, Research Rep., 2014.

저자 약력

▶ 이 성 찬 (Sungchan Lee)



2002년 2월 : 한양대 물리학전공 이학사
건축공학 공학사
2004년 2월 : 한양대 건축공학과 석사
2016년 2월 : 한양대 건축공학과 박사
2004년 9월 : 한국라파즈석고보드
2009년 9월 : 대우건설 기술연구원
2016년 3월 : 영산대 건축공학과 교수
2022년 3월 ~ 현재 : 강남대 교수

▶ 고 효 인 (Hyoin Koh)



1993년 3월 : 이화여대 물리학과 학사
2001년 7월 : Technical University of Berlin
커뮤니케이션공학 Magister
2004년 8월 : Technical University of Berlin
음향공학 공학박사
2004년 9월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원
책임연구원

▶ 홍 지 영 (Jiyoung Hong)



2004년 2월 : 서울대 기계항공공학부 학사
2006년 2월 : 서울대 기계항공공학부 석사
2011년 2월 : 서울대 기계항공공학부 박사
2011년 3월 : 서울대 BK21 박사후연구원
2013년 3월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원
책임연구원
2025년 3월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원
교통시스템공학부 교수

▶ 배 성 철 (Sungchul Bae)



2007년 2월 : 한양대 건축공학부 학사
2009년 8월 : 동경대 건축공학부 석사
2014년 5월 : UC Berkeley 토목공학 박사
2016년 2월 : 동경이과대 교수
2016년 3월 ~ 현재 : 한양대 교수

▶ 서 형 원 (Heongwon Suh)



2018년 2월 : 한양대 건축공학부 학사
2024년 2월 : 한양대 건축공학부 박사
2025년 9월 ~ 현재 : 부산대 건축공학과
교수

▶ 이 재 영 (Jaeyoung Lee)



1998년 2월 : 부산대 화학공학과 학사
2000년 2월 : KAIST 생명화학공학과 석사
2005년 2월 : KAIST 생명화학공학과 박사
2005년 3월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원
책임연구원
2025년 3월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원
교통시스템공학부 교수