



구조체 진동 저감을 위한 고감쇠 폴리머 복합재료 개발

Development of High-Damping Polymer Composites for Vibration Reduction in Structures

김경민, 김민혁, 김민형
전남대학교 건축학부 건축공학전공

1. 연구 개요

연구 배경

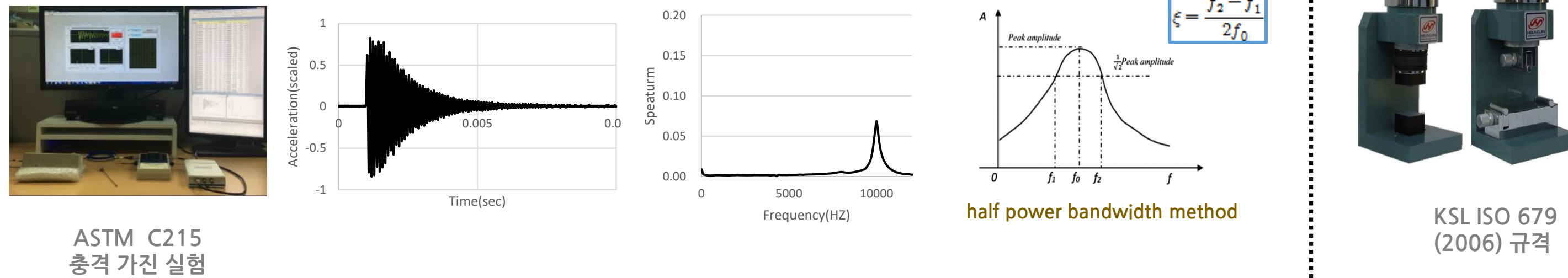
- 최근 층간소음으로 인한 사회적 갈등이 심화되고 있으며, 관련 민원 발생 건수가 2021년 46,596건에 달하는 등 심각한 사회 문제로 대두됨. (한국환경공단)
- 국내 지진 발생 빈도가 2016년 이후 연간 60회 이상으로 증가하는 추세를 보여, 건축 구조물의 내진 성능 확보에 대한 요구가 커지고 있음. (기상청 날씨누리)
- 기존의 진동 저감 재료 연구는 감쇠 성능(감쇠비)을 높이면 압축강도가 크게 저하(최대 90% 감소)되는 한계를 보여 구조재로서 활용이 제한적이었음.
- 따라서 층간소음과 지진에 동시에 대응하면서, 기존 재료의 강도 저하 문제를 극복할 수 있는 새로운 '고감쇠 폴리머 복합재료'의 개발이 필요함.

연구 목표

- 구조체의 진동(층간소음, 지진 등)을 효과적으로 저감할 수 있는 '고감쇠 폴리머 복합재료'를 개발함.
- 기존 재료의 한계인 '감쇠 성능 향상에 따른 압축강도 저하' 문제를 극복하여, 우수한 감쇠 성능과 구조재로 활용 가능한 수준의 강도를 동시에 확보함.
- 골재 및 페타이어 고무분말 등 경제적이고 친환경적인 재료를 혼입하여, 개발된 복합재료의 상용화를 위한 가격 경쟁력을 확보함.

2. 실험 방법 및 과정

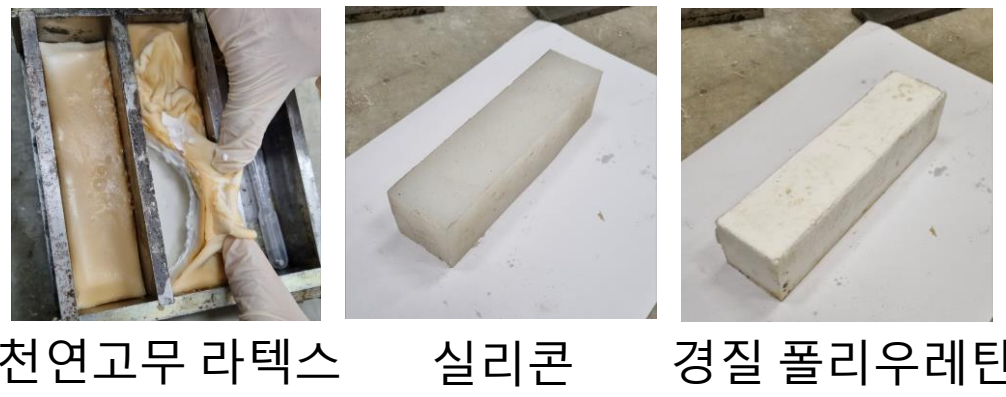
실험방법



- 감쇠비 측정 : ASTM C215 (충격 가진 실험)
- 분석 방법: 하프파워 대역폭법 (Half-power bandwidth method)
- 휨강도 및 압축강도 측정 : KSL ISO 679 (2006)

재료 선정

- 액체상태로 다른 재료와 혼합이 용이할 것
- 감쇠율이 높은 폴리머 재료일 것
- 시공에서 구하기 쉬운 재료일 것



천연고무 라텍스 실리콘 경질 폴리우레탄

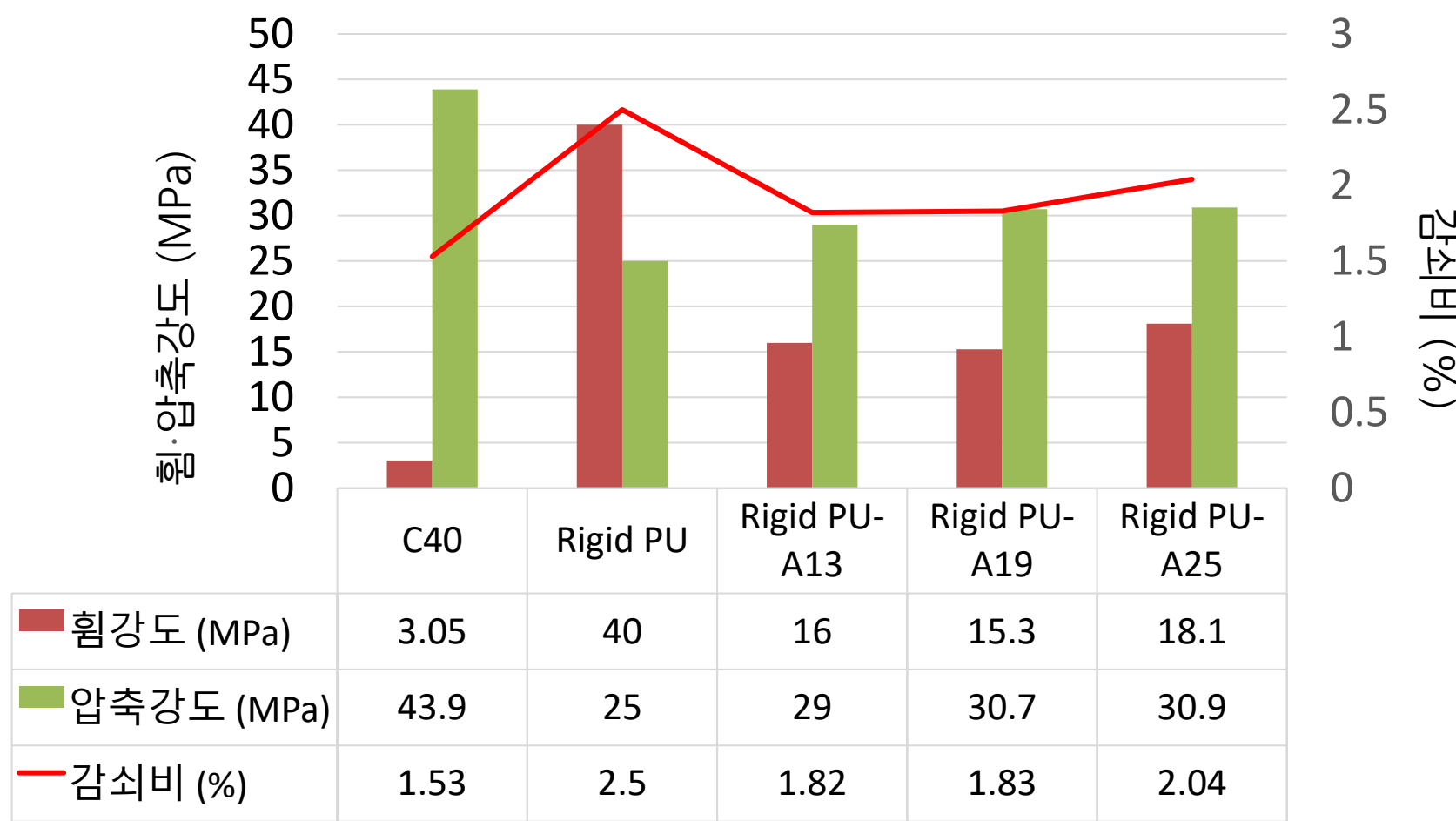
재료명	감쇠비 (%)	휨강도 (MPa)	압축강도 (MPa)
실리콘	23.11%	-	-
경질 폴리우레탄	2.50%	40.0	30.0
콘크리트	1.56%	3.1	43.9

4mm x 4mm x 16mm 몰드에 양생 결과, 후보 재료 중 천연고무 라텍스는 경화 불량, 실리콘은 강도 측정 불가 문제로 제외하고, 최종적으로 콘크리트보다 우수한 감쇠 성능과, 기계적 강도를 모두 만족하는 경질 폴리우레탄을 기본 재료로 선정함.

굵은 골재 혼입

철도 선로의 자갈이 서로 맞물려 진동을 감쇠시키는 원리에 착안하여, 경질 폴리우레탄에 굵은 골재(13·19·25mm)를 혼입해 추가적인 감쇠 성능 향상을 시도함.

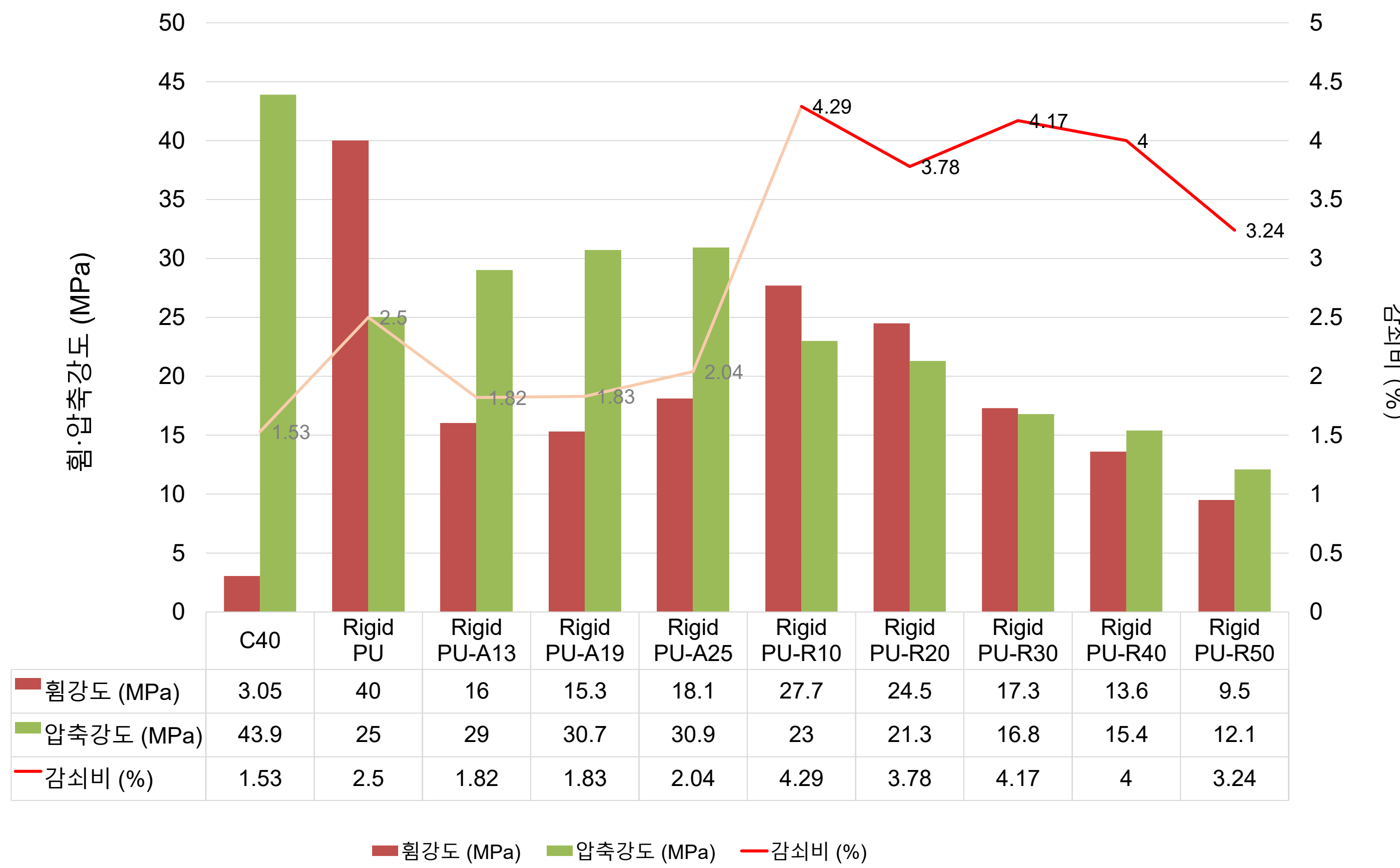
배합명	구분	혼입량
C40	W/C 40% 시멘트 페이스트	-
Rigid PU	경질 폴리우레탄	-
Rigid PU-A13	13 mm 골재 사전 채움 경질 폴리우레탄	전체 부피 50%
Rigid PU-A19	19mm 골재 사전 채움 경질 폴리우레탄	
Rigid PU-A25	25 mm 골재 사전 채움 경질 폴리우레탄	



골재 혼입 실험이 강도 확보에는 효과적이었으나 감쇠 성능 개선에는 한계를 보여, 이를 보완하고자 고무분말을 혼입하는 추가 실험을 진행함.

고무분말 혼입

- 고무분말은 소재 자체의 높은 감쇠 성능을 기대할 수 있고, 페타이어를 재활용해 친환경 경성과 경제성을 확보하며, 경질 폴리우레탄과 비중이 유사해 균일한 혼합까지 예상되므로 이를 혼입하는 실험을 진행함.
- 전체 부피 대비 10%에서 50%까지 단계적으로 혼입하는 실험을 진행함.



최적 배합 도출: 감쇠 성능과 기계적 강도의 균형을 고려 시, 고무분말 10% 혼입 배합(Rigid PU-R10)이 최적으로 판단됨.

3. 결론 및 향후계획

결론

- 고감쇠 폴리머 복합재료 개발: 고무분말을 10% 혼입한 Rigid PU-R10 배합을 통해 우수한 감쇠 성능과 기계적 강도를 동시에 확보한 폴리머 복합재료 개발에 성공함.
- 성능 비교 분석: 최적 배합(Rigid PU-R10)은 일반 콘크리트(C40) 대비 감쇠비가 1.53%에서 4.29%로 약 2.8배 향상되었으며, 압축강도는 52% 수준(43.9MPa → 23MPa)을 유지하여 기존 재료의 한계를 개선함.
- 기대효과: 기존 콘크리트 감쇠비 1.5~2%에서 4~5%까지의 감쇠비 증가는 건물의 지진 응답을 10~30% 감소시킬 수 있으므로, 개발 재료는 층간소음 저감뿐만 아니라 건물의 내진 성능 향상 및 장기적 유지관리 비용 절감에 실질적으로 기여할 수 있을 것으로 기대됨.

한계점 및 향후계획

- 재료의 균질성 확보 문제: 경질 폴리우레탄의 낮은 점도로 인해 고무분말이 균일하게 분산되지 않는 아래로 가라앉는 문제가 발생.
 - 향후 계획: 증점제(Thickener)를 첨가하여 매트릭스의 점도를 조절함으로써 재료의 균질성을 확보하고 성능 편차를 줄여 신뢰성을 확보할 계획.
- 데이터 신뢰성 확보: 각 배합별 시편 제작 수가 제한적이어서 실험 결과의 통계적 신뢰성을 확보하는 데 한계가 있음.
 - 향후 계획: 배합별 시편 수를 충분히 확보하여 데이터의 신뢰도를 높이고, 결과의 오차 범위를 분석할 계획.
- 실용화 연구: 현재는 재료의 기초 물성 평가에 집중하였으나, 구조재·마감재로서 실제 적용을 위한 내구성, 부착성능, 유해성 등에 대한 추가 연구가 필요.
 - 향후 계획: 실용화 단계로 나아가기 위해, 개발 재료의 장기 내구성과 부착 성능에 대한 심층적인 검증을 수행할 계획.