

순환잔골재를 사용한 모르타르의 제물성에 관한 실험적 연구

A Study on the Properties of Mortar with Recycled Fine Aggregate

(2009년 3월 20일 원고접수, 2009년 5월 30일 심사완료 / Received March 20, 2009, Accepted May 30, 2009)

문대중^{1)*}, 최재진²⁾

*(주)이제이텍 기술연구소장¹⁾, 공주대학교 공과대학 건설환경공학부 교수²⁾

Dae-Joong Moon¹⁾, Jae Jin Choi²⁾

¹⁾ EJtec Corporation, Seongnam, 463-800, Korea

²⁾ Department of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University, Cheonan, 330-717, Korea

Abstract

The properties of recycled fine aggregates which had different source concrete were examined by mortar test. With higher strength of source concrete, specific gravity of recycled fine aggregate was higher and absorption of recycled fine aggregate was lower due to reduction of the volume of adhered cement paste. The compressive strength and flexible strength of mortar with recycled fine aggregate were affected by the interface boundary of new mortar and the strength of adhered mortar. Strength development of mortar with recycled fine aggregate reduced because recycled fine aggregate become a porous material with the smaller strength of source concrete. The drying shrinkage of mortar was about 800~2000 μ m/m. It was about 1.5 times than that of mortar with natural fine aggregate. Relative dynamic modulus of elasticity was a similar level with that of mortar with natural fine aggregate.

키워드 : 순환잔골재, 강도추정, 압축강도, 건조수축, 동탄성계[수

Keywords : recycled fine aggregate, strength of source concrete, compressive strength, drying shrinkage, relative dynamic modulus of elasticity

1. 서론

1990년 중반까지는 우리나라에서 안정된 경제성장과 함께 건설산업이 활발해지면서 콘크리트 구조물이 대량으로 축조되었다. 이들 콘크리트 구조물 가운데는 내구수명을 다하거나 노후화로 인하여 더 이상 사용할 수 없게 되어 해체작업이 이루어지고 있는데 이때 발생하는 콘크리트 폐기물의 양이 최근 들어 급증하고 있는 실정이다. 예로서 1999년도의 경우를 보면 연간 1,400만 톤 정도의 폐콘크리트가 발생되었으며, 2020년도에는 약 10,500만 톤이 될 것으로 추정되고 있다.¹⁻³⁾ 이러한 폐콘크리트를 부가가치가 높은 콘크리트용 골재자원으로 사용하기 위한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있고⁴⁻⁶⁾ 콘크리트 폐기물을 콘크리트용 굵은골재로 제조하는 기술은 정착단계에 와 있다고 볼 수 있다. 그러나 폐콘크리트에서 굵은

골재를 생산하는 과정에서 폐콘크리트 질량의 약 40~50% 정도는 잔입자로서 발생되는데 이의 활용은 미흡한 상태에 있다. 따라서 본 연구에서는 이 잔입자를 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위한 기초적 자료를 얻기 위하여 순환잔골재의 품질 및 이를 사용한 모르타르의 강도특성, 건조수축 및 동결융해 특성에 대하여 실험을 통하여 고찰하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트 및 골재 : 시멘트는 밀도가 3.15g/cm³인 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 밀도가 2.64g/cm³이고 흡수율이 2.63%인 천연 잔골재(이하 VS)를 사용하였다.

(2) 순환잔골재 : 콘크리트 순환잔골재는 모재콘크리트 강도를 3단계로 분류하여 제조한 콘크리트 시험체를 재령

*Corresponding author
E-mail : mcljc@korea.com

Talbe 1. Physical properties of fine aggregate

| Type | Density (g/cm ³) | Absorption (%) | 75µm sieve passing (%) | Adhered cement paste (%) | Fineness modulus (%) |
|------|------------------------------|----------------|------------------------|--------------------------|----------------------|
| VS | 2.64 | 2.63 | 1.00 | 0.0 | 2.97 |
| L | 2.30 | 9.86 | 5.86 | 33.0 | 2.96 |
| M | 2.32 | 9.12 | 4.90 | 38.2 | 2.90 |
| H | 2.34 | 8.01 | 2.45 | 45.2 | 2.85 |

1년에서 파쇄하여 5mm 이하의 입자를 수집한 것으로 보통강도(이하 L), 중간강도(이하 M), 고강도(이하 H) 시료로 분류하였으며, 이들 물성값을 정리한 것이 Table 1 이다.

2.2 실험방법

(1) 순환잔골재의 물성시험 : 밀도 및 흡수율은 KS F 2504에 의해 측정하였다.

(2) 미세 공극량 분포 시험 : 노 건조된 순환잔골재의 적당량을 측정용 셀에 넣은 후 최대압력 30000psi까지 수은을 관입시켜 미세 공극의 직경에 따른 공극량을 측정하였다.

(3) 강도시험 : 40×40×160mm 각주형 공시체를 제작하여 재령 28일의 압축강도 및 휨강도를 측정하였다.

(4) 건조수축시험 : 40×40×160mm 각주형 공시체를 제작하여 재령 7일 동안 20±2°C 에서 수증 양생한 후, 온도 20°C, 상대습도 60% 조건하에서 재령 180일 동안 건조수축시험을 실시하였다.

(5) 동결융해시험 : 재령 28일의 ø100×200mm 원주형 공시체를 제작하여 300사이클 동안 주기적으로 동결융해 반복시험을 실시하여 동탄성계수를 측정하였다.

2.3 모르타르의 배합

순환잔골재를 사용한 모르타르의 물성을 검토하기 위하여 물-시멘트비를 45 ~ 75% 범위로 정한 모르타르의 배합이 Table 2이다.

Table 2. Mixture proportions of mortar

| Type | W/C (%) | S/C (%) | Flow value (mm) |
|---------|---------|---------|-----------------|
| VS | 45 | 2.0 | 200±20 |
| | 55 | 2.5 | 200±20 |
| | 65 | 3.0 | 200±20 |
| | 75 | 3.5 | 200±20 |
| L, M, H | 45 | 1.7 | 200±20 |
| | 55 | 2.2 | 200±20 |
| | 65 | 2.7 | 200±20 |
| | 75 | 3.2 | 200±20 |

증가함에 따라 감소하였으며, 8.0 ~ 10.0% 범위를 나타내고 있다. 이와 같이 모재콘크리트의 강도가 클수록 밀도는 크고 흡수율이 작은 것은 순환잔골재 주위에 부착되어 있는 시멘트페이스트의 공극에 의한 영향이 큰 원인으로 모재콘크리트 강도가 클수록 부착 시멘트페이스트의 공극량이 감소하기 때문으로 생각된다.

순환잔골재의 밀도와 흡수율과의 관계를 나타낸 것이 fig. 2로서 밀도가 증가함에 따라 흡수율이 감소하는 역비례관계를 보이고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 순환 잔골재의 물성

모재콘크리트의 강도에 따른 순환잔골재의 밀도 및 흡수율을 정리한 것이 fig. 1이다.

이 그림에서 순환잔골재의 밀도는 모재콘크리트 강도가 증가함에 따라 증가하며, 2.30 ~ 2.34의 범위를 나타내고 있다. 또한, 순환잔골재의 흡수율은 모재콘크리트 강도가

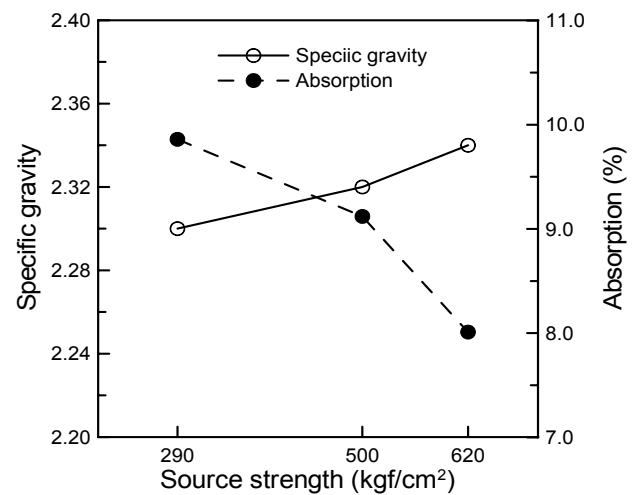


fig. 1 순환잔골재의 밀도 및 흡수율

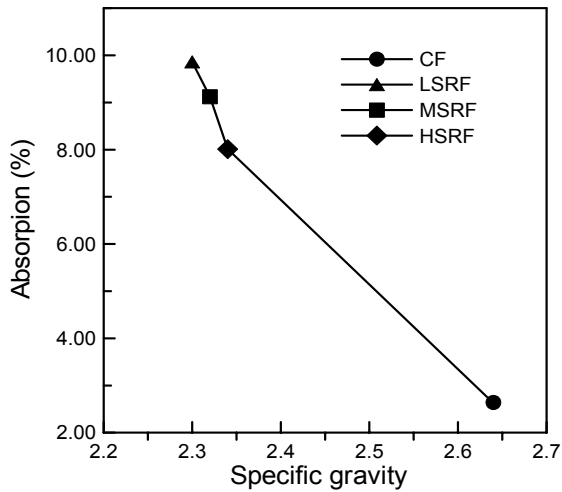


fig. 2 잔골재의 밀도와 흡수율과의 관계

이상의 결과로 본 실험에 사용한 순환잔골재의 품질은 KS 기준에 따르면 순환잔골재 2종을 만족하는 것으로 나타났으며 무근 콘크리트용 잔골재로 이용이 가능하다고 판단된다.

순환잔골재의 품질은 Table 1에서도 알 수 있듯이 모재콘크리트의 강도에 따른 부착모르타르의 영향으로 크게 상이하여 모재콘크리트 강도가 작은 콘크리트의 순환잔골재가 밀도가 작고 흡수율은 큰 값을 나타내고 있다.

이는 순환잔골재에 부착된 모르타르의 다공성에 의한 영향으로 생각되며, 이를 검토하기 위하여 세공경 분포를 측정하여 정리한 것이 fig. 3이다. 이 그림에서 중강도 및

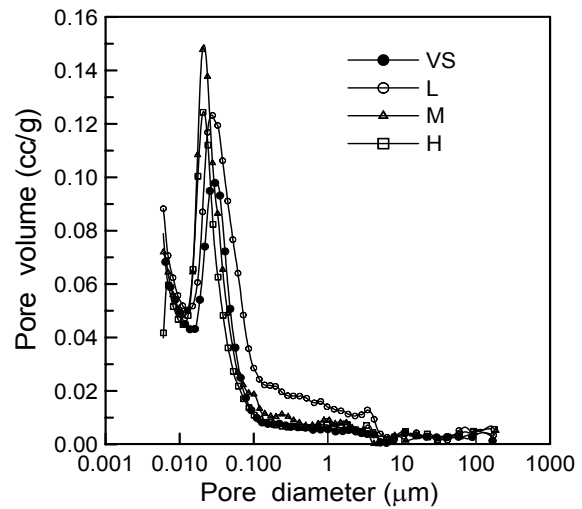


fig. 3 모르타르의 미세 공극 분포

고강도 순환잔골재는 천연잔골재에 비하여 1 μ m 이하의 공극이 많으며, 특히 보통강도의 콘크리트를 모재로 한 순환잔골재는 천연잔골재에 비하여 1 μ m 이상의 공극을 많이 함유하고 있으므로 순환잔골재는 미세 공극을 많이 함유하고 있음을 알 수 있다.

3.2 모르타르의 압축강도 및 휨강도

모재콘크리트 강도별 순환잔골재를 사용한 모르타르의 재령 28일 압축강도 및 휨강도 실험결과를 정리한 것이 fig. 4 및 fig. 5이다.

fig. 4에서 순환잔골재를 사용한 모르타르의 압축강도는

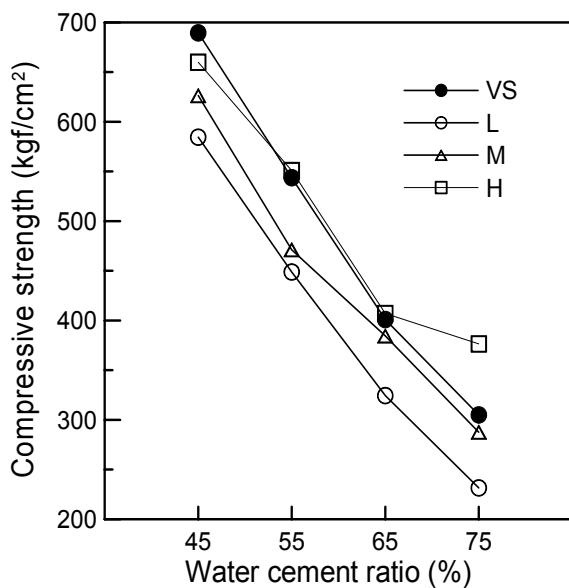


fig. 4 모르타르의 압축강도

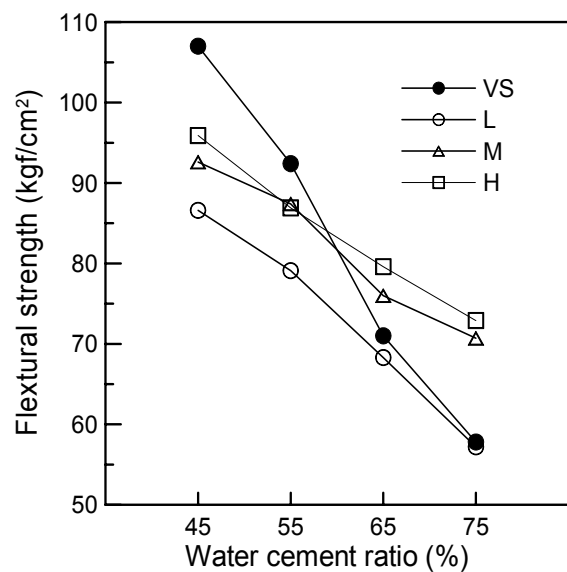


fig. 5 모르타르의 휨강도

천연잔골재를 사용한 모르타르와 유사하게 물-시멘트비가 증가할수록 비례적으로 감소하였으며, 물-시멘트비 45%에서 모르타르의 압축강도는 약 60~70MPa 정도의 값을 나타내었다. 모재콘크리트 강도별 모르타르의 압축강도를 비교해 보면 고강도 순환잔골재를 사용한 모르타르는 천연 잔골재를 사용한 모르타르와 비슷한 압축강도를 보이고 있으며, 순환잔골재를 사용한 모르타르의 압축강도는 모재콘크리트 강도가 작은 순으로 작게 나타남을 알 수 있었다.

fig. 5에서 순환잔골재를 사용한 모르타르의 휨강도도 fig. 4의 압축강도와 비슷하게 모재콘크리트 강도가 작은 순으로 강도발현이 작게 나타났다. 물-시멘트비 45, 55%에서는 모재콘크리트 강도에 관계없이 순환잔골재를 사용한 모르타르의 휨강도는 천연잔골재를 사용한 모르타르의 휨강도에 비하여 작게 나타났으나, 물-시멘트비 65%와 75%에서는 중간강도 및 고강도 순환잔골재를 사용한 모르타르는 천연잔골재를 사용한 모르타르보다 큰 값이며, 저강도 순환잔골재를 사용한 모르타르는 천연잔골재를 사용한 모르타르와 비슷한 값을 보이고 있다. 즉, 순환잔골재에 부착된 모르타르는 물-시멘트비가 작을수록 신모르타르와의 계면영역이 취약해지므로 천연잔골재를 사용한 모르타르의 휨강도보다 그 강도가 작게 나타나는 것으로 생각된다.

이와 같이 순환잔골재를 사용한 모르타르의 강도특성은 순환잔골재에 부착된 모르타르의 강도에 의해 지배적인 영향을 받고 있으며, 모재콘크리트 강도가 작을수록 다공성 재료가 되므로 강도발현이 작게 나타나는 것으로 생각된다.⁷⁾

3.3 모르타르의 건조수축

순환잔골재가 모르타르의 건조수축에 미치는 영향을 검토하기 위하여 180일 동안 모르타르의 건조수축 실험결과를 실시하여 정리한 것이 fig. 6이다.

이 그림에서 모르타르의 건조수축은 재령 91일 이전에 거의 발생하였으며, 재령 180일에서 순환잔골재를 사용한 모르타르의 건조수축은 약 1800~2000 $\mu\text{m}/\text{m}$ 정도로 천연잔골재를 사용한 모르타르보다 1.5배 정도 크게 발생하였으며, 모재콘크리트 강도별 모르타르의 건조수축은 모재콘크리트 강도가 작을수록 약간 크게 나타남을 알 수 있다. 이러한 이유는 순환잔골재에 부착된 모르타르가 다공성이므로 Table 1과 같이 흡수율이 천연잔골재에 비하여 약 3.0%~3.7% 정도 크기 때문으로 생각되며, 흡수율이 가장 큰 저강도 콘크리트를 모재로 한 순환잔골재를 사용한 모르타르가 건조수축이 크게 나타났다.⁷⁾

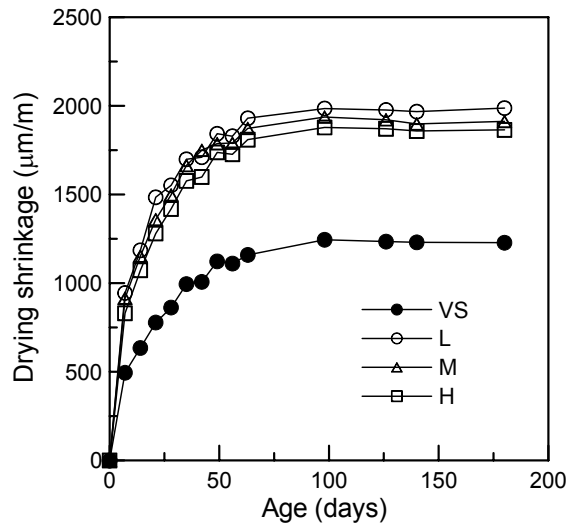


fig. 6 모르타르의 건조수축

3.4 모르타르의 동결융해 특성

순환잔골재를 사용하고 물-시멘트비 55%로 제조한 모르타르의 동결융해 특성을 알아보기 위하여 동결융해 30 사이클을 반복주기로 하여 300 사이클까지 동탄성계수를 측정하여 상대동탄성계수로 정리한 것이 fig. 7이다.

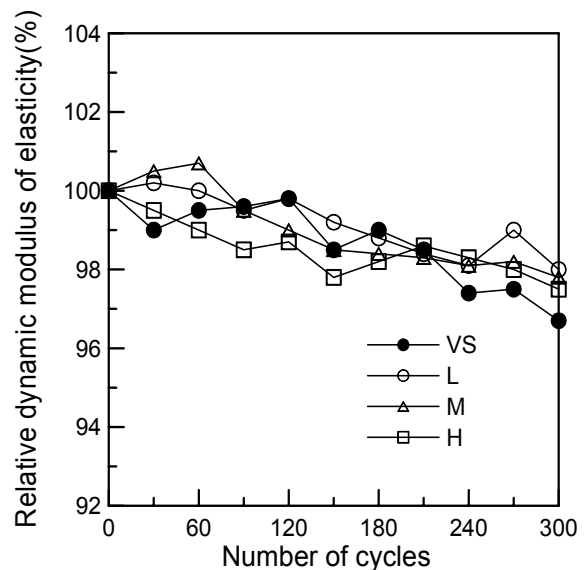


fig. 7 모르타르의 상대 동탄성계수

이 그림에서 알 수 있듯이 순환잔골재를 사용한 모르타르의 상대동탄성계수는 동결융해 300 사이클에서 97% 이상으로 천연잔골재를 사용한 모르타르와 비슷한 경향을 보였다. 또한 모르타르의 상대동탄성계수는 순환잔골재의

모재콘크리트 강도에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.^{8,9)} 이는 순환잔골재의 모재콘크리트가 AE콘크리트로 제조되었기 때문에 동결융해 저항성이 크게 나타나는 것으로 생각되지만, 순환잔골재의 부착모르타르가 동결융해 특성에 미치는 영향에 대해서는 추가적인 연구의 필요성이 있다.

4. 결론

(1) 저강도 콘크리트를 모재로 한 순환잔골재는 고강도 콘크리트를 모재로 한 순환잔골재에 비하여 큰 공극을 많이 포함하고 있었으며, 모재콘크리트 강도가 클수록 밀도가 크고 흡수율이 작게 나타났다.

(2) 순환잔골재를 사용한 모르타르의 압축강도 및 휨강도는 모재콘크리트의 강도에 의한 영향이 지배적이었으며, 고강도콘크리트가 모재인 순환잔골재를 사용한 모르타르는 천연잔골재를 사용한 모르타르와 비슷한 경향을 나타내었다.

(3) 순환잔골재를 사용한 모르타르의 건조수축은 91일 이전에 거의 일어나며, 순환잔골재 부착 모르타르의 다공성에 의한 영향으로 180일에서 천연잔골재를 사용한 모르타르에 비하여 약 1.5배 정도 크게 나타났다.

(4) 순환잔골재를 사용한 모르타르의 상대동탄성계수는 천연잔골재를 사용한 모르타르와 비슷한 수준으로 모재콘크리트에 관계없이 300사이클에서 97% 이상의 우수한 동결융해 저항성을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 산업폐기물재활용기술개발사업단(사) 한국자원리사이클링학회, 리사이클링백서, 청문각, 2004, pp.326-331.
2. 이세현, 건설폐기물 재활용 기술개발 현황 및 촉진방안, 건설폐기물의 효율적 처리 및 재생골재 사용의 활성화 방안에 대한 심포지엄, 2001, pp.135-166.
3. 강병욱, “건설공사의 환경관리”, 재생골재 활용기술 및 제도개선을 위한 대토론회, 2001.12, pp.156-164.
4. 서치호, 김병윤, 재생골재 콘크리트의 내구특성에 관한 실험적 연구, 콘크리트학회 논문집 Vol.17 No.3, 2005, pp.385-392.
5. Henrichsen, A., “Use of Recycled Aggregates in Europe”, International Workshop on Recycled Concrete, JSPS 76 Committee on Construction Materials, 2000.9, pp.1-8.
6. 長瀧 重義, 佐伯 龍彦, 飯田 一彦 (1998) 再生骨材を用いたコンクリートの諸特性, セメント・コンクリート論文集, No.52, pp.462-467.
7. 문대중, 문한영, “재생골재의 품질평가 및 재생골재 콘크리트의 강도특성”, 대한토목학회 논문집, 제 22권 제 1-A호, 2002.1, pp.141-150.
8. P. Kumar Mehta, Paulo J.M. Monteriro, Concrete-structure, Properties, and Materials, Prentice Hall, 1993.
9. 문대중, 문한영, 팽우선, 재생골재를 사용한 콘크리트의 동결융해저항성 평가, 한국콘크리트학회지, 제 14권 3호, 2002.6, pp.307-314.

요 약

모재콘크리트의 품질이 각기 다른 순환잔골재의 특성을 모르타르 시험에 의해 비교 고찰하였다. 모재콘크리트 강도가 클수록 밀도가 컸으며, 부착 시멘트페이스트의 공극량이 감소하므로 흡수율은 작게 나타났다. 순환잔골재를 사용한 모르타르의 압축강도 및 휨강도 특성은 신모르타르의 계면영역과 순환잔골재에 부착된 모르타르의 강도에 의해 지배적인 영향을 받으며, 모재콘크리트의 강도가 작을수록 다공성 재료가 되므로 강도발현이 작게 나타났다. 재령 180일에서 순환잔골재를 사용한 모르타르의 건조수축은 약 1800~2000 μ m/m 정도로 천연잔골재를 사용한 모르타르보다 1.5배 정도 크게 나타났는데 이것은 순환잔골재에 부착된 모르타르가 다공성으로 흡수율이 크기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 그러나 동결융해시험에서 순환잔골재를 사용한 모르타르의 내구성은 천연골재와 비슷한 수준으로 모재콘크리트의 강도에 의한 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

핵심용어 : 순환잔골재, 모재콘크리트 강도, 압축강도, 건조수축, 상대동탄성계수