

양생방법에 따른 순환굵은골재 콘크리트의 강도특성

Effects of Curing Method on the Mechanical Properties of Recycled Coarse Aggregate Concrete

전에스터* 윤현도** 유영찬*** 이세현*** 심종우**** 최기선****
Jeon, Esther Yun, Hyun Do You, Young Chan Lee, Sea Hyun Shim, Jong Woo Choi, Ki Sun

ABSTRACT

Recently, Korea government prepared Act on facilitation of construction waste recycling in December 2003 for effective recycling of rapidly increasing construction wastes, and has enforced the Act on Jan. 2005. This Act limits the definition of recycled aggregates to the aggregates which obtained quality certificate and for this purpose, government has operated quality standard and certificate system of recycling aggregate.

The objective of this experimental study is to evaluate the mechanical properties of recycled coarse aggregate concrete according to curing method by ready-mixed concrete. Compressive strength ratio of recycled aggregate concrete under air-dry curing/wet curing was 74~91%. KCI code for conventional concrete overestimated elastic modulus for recycled coarse aggregate concrete.

1. 서 론

최근 주거환경 개선, 재건축, 재개발 등의 증가로 인해 발생하는 건설폐기물이 전체 폐기물의 48.9%를 차지¹⁾하고 있어 건설폐기물의 처리에 대한 문제점이 대두되고 있으며, 천연골재의 고갈 등으로 인해 순환골재를 콘크리트의 재료로 사용하는 방안이 활발히 진행되고 있다. 이에 정부에서는 『건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률』²⁾을 제정하여 천연골재의 대체자원으로 활용가능한 순환골재 생산을 유도하고 있어 향후 순환골재에 대한 사회적 수요는 증가될 것으로 예상된다. 그러나 실제 공사에 순환골재를 사용하는 데에는 레미콘 공장에서의 Pre-wetting, 순환골재의 대량 취급으로 인한 이물질의 발생 및 혼합 가능성 등을 고려하여야 하며, 이로 인해 발생가능한 성능저하에 관한 추가적인 검증이 요구된다. 그러나 현재까지 대부분의 연구는 실험실 내의 엄격한 품질조건(표건상태의 골재, 표준양생) 하에서 제작된 콘크리트에 관한 것이며, 순환골재의 품질 또한 제조사별로 다양하여 일관성 있는 결과를 내지 못하는 실정이다. 따라서 본 연구는 순환골재 콘크리트의 현장 적용성을 평가하기 위한 연구로서 순환골재 품질기준(흡수율 3.0%이하, 절건밀도 2.5g/cm³이상)의 하한치를 만족하는 순환굵은골재를 사용하여 레미콘 배합에 의해 생산된 순환골재 콘크리트의 양생방법별 재료역학적 특성을 평가하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험계획

본 연구에서는 레미콘 배합에 의한 순환골재 콘크리트의 재료역학적 특성 및 현장적용성을 순환골

* 정희원, 충남대 건축공학과 박사과정

** 정희원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

*** 정희원, 한국건설기술연구원, 수석연구원, 공학박사

**** 정희원, 한국건설기술연구원 연구원

은골재의 치환율(0, 30, 60, 100%) 및 양생방법(표준, 기건양생)을 변수로 하여 그 영향을 평가하고자 하였으며, 실험계획 및 배합조건은 각각 표 1 및 표 2에 나타내었다.

2.2 순환 굵은골재

본 연구에서 사용한 순환골재는 건설교통부에서 제정된 콘크리트용 순환골재 품질기준[표 1]의 하한치를 만족하는 골재를 선정함으로써 국내에서 적용가능한 순환골재의 특성치를 대표할 수 있도록 하였다. 품질성능 하한치를 설정하기 위한 항목으로는 콘크리트의 품질에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 골재의 절건밀도 및 흡수율을 선정하였으며, 총 5회의 반복시험을 통해 표 3과 같은 품질을 갖는 순환굵은골재를 생산하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공기량 및 슬럼프

순환골재 콘크리트의 현장 적용성을 고려하기 위하여 콘크리트 배합을 끝낸 직후와 타설현장(약 1 시간 거리)에서의 공기량 및 슬럼프를 각각 측정하여 경시변화를 평가하였다. 그림 1과 같이 타설 직후에 측정된 콘크리트의 공기량은 4% 내외, 슬럼프는 190mm 내외로 측정되어 순환골재 치환율에 따른 큰 차이를 보이지 않았으며, 타설현장에서의 공기량 및 슬럼프는 다소 저하하는 것으로 나타났다. 그러나 순환굵은골재로 치환하지 않은 A0시험체에서 현장에서의 슬럼프 손실이 순환골재 콘크리트에 비해 크게 나타나 목표 슬럼프인 150mm에 미치지 못하였다. 이러한 결과는 기존의 연구결과와는 다소 상반된 결과로써 순환골재의 표건상태 보정을 위한 Pre-wetting시 여분의 물이 투입된 것 이외에도 순환굵은골재의 입형 개선효과에 기인한 것으로 판단된다.

3.2 압축강도

그림 2에 순환굵은골재 치환율(0, 30, 60, 100%)에 따른 압축강도 특성을 양생방법(기건, 표준양생) 및 재령(28, 56일)에 따라 비교하여 나타내었다. 양생방법에 따른 압축강도 특성에서 표준양생된 공시체는 순환골재의 치환율에 따른 강도저하 현상이 최대 8.47%로 큰 편차를 보이지 않은 반면, 기건양생 조건의 공시체의 경우에는 재령일수에 관계없이 순환골재의 치환율에 따라 압축강도가 비교적 크게

표 1 실험계획

| 시험체명 | 순환굵은골재 치환율(%) | 양생 방법 | f _{ck} (MPa) |
|------|---------------|-------|-----------------------|
| A0 | 0 | 기건 | 27 |
| A30 | 30 | | |
| A60 | 60 | | |
| A100 | 100 | | |
| W0 | 0 | 표준 | |
| W30 | 30 | | |
| W60 | 60 | | |
| W100 | 100 | | |

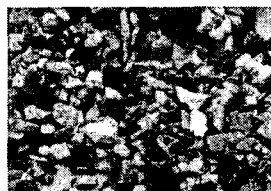
표 2 콘크리트의 배합조건

| 시험체 종류 | 순환굵은골재 치환율 (%) | f _{ck} (MPa) | W/C (%) | S/a (%) | 단위중량(kg/m ³) | | | | | |
|--------|----------------|-----------------------|---------|---------|--------------------------|-----|-----|-----------|-----------|------|
| | | | | | W | C | S | G1 (천연골재) | G2 (순환골재) | AD |
| RG0* | 0 | 27 | 43.6 | 46 | 132 | 392 | 823 | 960 | 0 | 2.94 |
| RG30 | 30 | | | | | | 823 | 672 | 267 | |
| RG60 | 60 | | | | | | 823 | 394 | 533 | |
| RG100 | 100 | | | | | | 825 | 0 | 888 | |

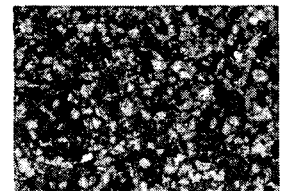
* RG0 : RG(Recycled aggregate), 0[Replacement level(%)]

표 4 골재의 물리적 특성 및 입형

| 구분 | 입경 (mm) | 절건밀도 (g/cm ³) | 흡수율 (%) | 단위용적중량 (kg/ℓ) |
|--------|---------|---------------------------|---------|---------------|
| 천연굵은골재 | 25 | 2.61 | 0.64 | 1.51 |
| 순환굵은골재 | 20 | 2.49 | 2.99 | 1.56 |



(a) 천연굵은골재

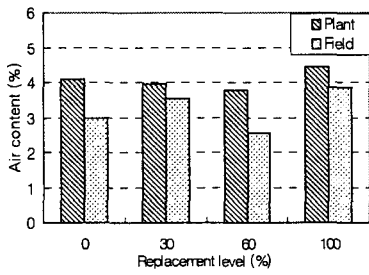


(b) 순환굵은골재

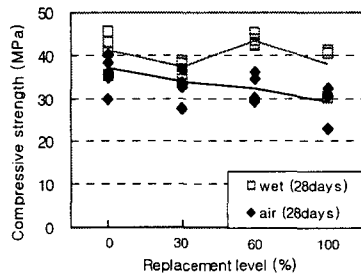
저하(최대 26.75%)되는 경향을 보였다. 즉, 표준양생 조건의 공시체에서는 기존의 순환골재 콘크리트에 대한 재료특성치 연구결과에서 나타난 바와 같이 순환골재 치환율에 따른 강도저하 현상이 작을 뿐만 아니라, 일부 배합에서는 천연골재 콘크리트에 비하여 압축강도가 증가되는 경우도 나타나고 있으나, 기건양생 조건에서는 천연골재 콘크리트에 비하여 약 21% 정도 압축강도가 저하되는 것으로 나타났다.

3.3 탄성계수

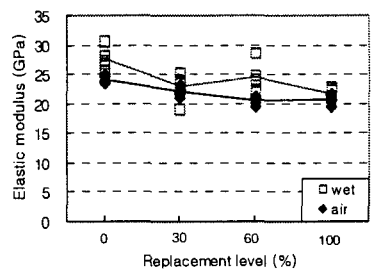
그림 3은 양생방법 및 순환골재 치환율에 따른 재령 28일 콘크리트 공시체의 정탄성계수를 콘크리트구조설계기준[표 5]³⁾과 비교한 것으로 표준양생한 공시체가 기건양생에 비해 4.6~20.3%정도 높은 값을 나타내는 것으로 나타났으며, 기건양생에서는 공시체별로 큰 편차를 보이지 않았다. 천연골재 콘크리트는 규준식에 근접한 범위의 탄성계수 값을 보이는 반면, 순환골재 콘크리트는 양생방법에 관계없이 치환율이 증가함에 따라 감소되는 경향을 보였다. 따라서 콘크리트용 순환골재의 품질기준을 만족하는 골재(흡수율 3.00%, 절건밀도 2.49g/cm³)를 사용하더라도 콘크리트 탄성계수의 저하가 발생



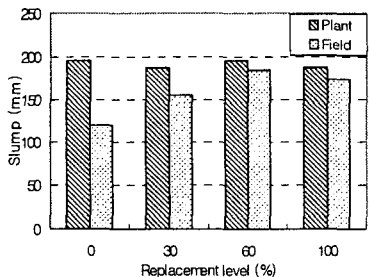
(a) 공기량 변화



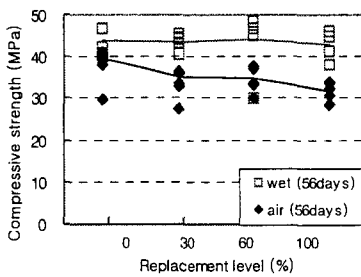
(a) 28일 강도



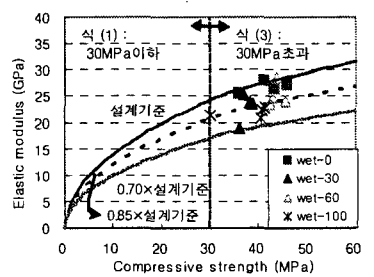
(a) 양생방법별 탄성계수



(b) 슬럼프 변화



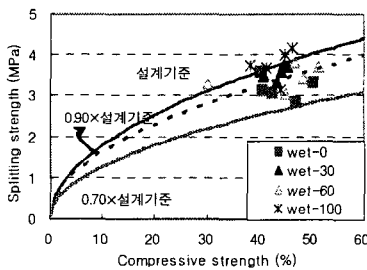
(b) 56일 강도



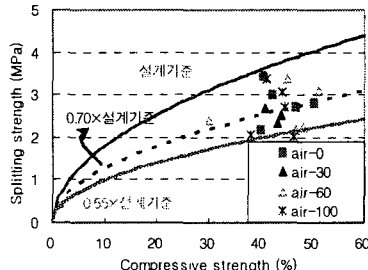
(b) 규준식과 비교(표준양생)

그림 1 굳지않은 순환골재 경시변화

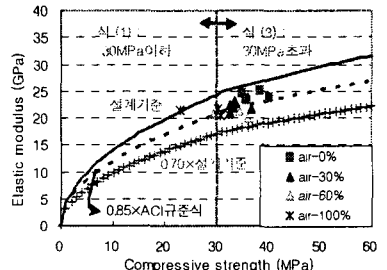
그림 2 재령에 따른 압축강도



(a) 표준양생



(b) 기건양생



(c) 규준식과 비교(기건양생)

그림 4 쪼갬인장강도-압축강도 관계

그림 3 탄성계수

되므로 이를 설계에 고려할 수 있는 보정계수의 제안이 필요할 것으로 판단되며, 탄성계수에 관한 규준식에 0.85의 보정계수를 적용한 결과 본 연구 범위 내에서의 실험값을 만족하는 것으로 나타났다.

표 5 콘크리트의 탄성계수 규준식

| | | |
|------------------|---|---------------------------------------|
| | 단위질량 1,450~2,500kg/m ³ | 단위질량 2,300kg/m ³ (보통골재) |
| 압축강도 30MPa 이하 | $E_c = 0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}}$ | $E_c = 4,700\sqrt{f_{ck}}$ |
| 압축강도 30MPa 초과 | $E_c = 0.030 w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} + 7,700$ | $E_c = 3,300\sqrt{f_{ck}} + 7,700$ |

3.4 콘크리트 사용승인 평가

현행의 콘크리트구조설계기준에 따른 순환골재 콘크리트의 사용승인 평가결과를 나타내면 표 6과 같다. 표에서 보는 바와 같이 양생조건에 관계없이 모든 공시체의 압축강도 단일 값은 f_{ck} 보다 큰 것으로 나타나 상기 표준양생 조건에 의한 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다. 한편, 현장양생(기건양생) 조건에 대한 강도특성치를 살펴보면, 치환율이 60% 이상인 콘크리트에서는 압축강도 비가 85% 미만인 것으로 나타났다. 특히, 순환골재를 100% 치환한 경우는 상기 기준의 예외규정(공시체에서 측정된 압축강도 값이 f_{ck} 보다 3.5 MPa이상)도 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

표 6 순환골재 콘크리트의 강도특성치 비교

| | 설계기준 강도 (MPa) | 28일 압축강도(MPa) | | 기건/ 표준 | 조건 검토 | | |
|-----------------|---------------------|------------------|-------|-----------|-------|----|-----|
| | | 기건 | 표준 | | ① | ② | ③ |
| 순환 골재 치환율 | 0% | 27 | 36.97 | 41.33 | 0.89 | 만족 | 만족 |
| | 30% | | 33.81 | 37.29 | 0.91 | 만족 | 만족 |
| | 60% | | 32.35 | 43.50 | 0.74 | 만족 | 만족 |
| | 100% | | 29.17 | 38.11 | 0.77 | 만족 | 불만족 |

- ① 3번의 연속강도 시험의 결과 그 평균값이 f_{ck} 이상
- ② 개개의 강도시험값이 f_{ck} 보다 3.5MPa이상 낮지 않을 때
- ③ 공시체에서 측정된 압축강도 값이 f_{ck} 보다 3.5MPa이상

4. 결 론

- 1) 천연골재 및 순환골재를 사용한 콘크리트의 공기량 및 슬럼프는 레미콘 운송에 위한 경시변화에 따라 측정값이 저하되는 것으로 나타났다.
- 2) 기건양생에서의 압축강도는 순환골재의 치환율에 따라 압축강도가 약 25% 정도 저하되는 경향을 나타내어, 순환골재 콘크리트의 구조부재 적용시 양생방법 및 보호조치에 대한 보다 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 콘크리트 구조설계기준에 따라 콘크리트의 사용승인을 위한 평가를 실시한 결과, 순환골재의 치환율이 60% 이상에서는 기건양생/표준양생의 압축강도 비율이 80% 미만인 것으로 나타났다. 따라서, 순환골재의 치환율을 30% 정도로 제한하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 4) 순환골재 콘크리트의 탄성계수는 표준양생방법에 의한 경우가 기건양생에 비해 약 5~20%정도 높게 나타났으며, 치환율이 증가함에 따라 다소 낮아지는 경향을 보였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출원하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2005 건설핵심기술연구개발사업 05건설핵심D02 “건설폐기물 재활용 기술 개발”의 일부로서, 관계제위께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. “2004 전국 폐기물 발생 및 처리현황”(2005), 환경부
2. “건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률”(2003)
3. “콘크리트구조설계기준”(2003), 한국콘크리트학회