

통계적 분석에 의한 순환골재 콘크리트의 물성 평가

Evaluation on Various Properties of Recycled Aggregate Concrete by Statistical Analysis



박원준*
Won-jun Park

1. 서 언

재개발이나 재건축과 같은 건설프로젝트로 인하여 발생되는 건설폐기물은 2006년 이후 국내 발생 폐기물의 50% 이상을 차지하고 있으며 이 가운데 폐콘크리트의 점유율이 약70%인 점을 감안할 때, 폐콘크리트의 자원순환을 도모하기 위한 순환골재의 역할과 사용가치는 매우 크다고 볼 수 있다.

일본의 경우, 30년 전부터 정책적인 연구추진의 결과로 순환골재의 JIS 규격화(JIS A 5021, 5022, 5023), 콘크리트 2차 제품에 순환골재의 적극적인 활용화, 국제적인 연구 활동 등을 통하여 건축공사 표준시방서(JASS)에 재생골재 콘크리트 신설에 이르렀다. 한편, 유럽의 경우도 콘크리트용 순환골재에 관하여 BS 8500-2(2002)와 같은 규격이 신설되었고, 국내의 경우도 활발한 연구가 진행되어 2000년대에 순환골재 KS규격화를 통한 콘크리트 표준시방서에 순환골재 콘크리트(11장, 2009)가 신설되어 있다.

이처럼 순환골재에 관한 연구는 꾸준히 진행되어 왔으며, 순환골재의 적용에 관한 연구는 국내외적으로 상당수의 연구논문이 학술발표 및 논문집을 비롯하여 각종 저널에 매년 보고가 이루어지고 있다. 그렇지만, 대부분의 연

구는 소정의 목표성능 충족 또는 상용화의 관점에서 수행되었으며, 각각 특정 시멘트나 순환골재 등을 이용하여 제작된 콘크리트에 대해서 특정 양생 조건하의 역학특성을 조사한 것으로 나타났다. 따라서 순환골재 전반에 관하여 콘크리트에 적용하였을 경우, 다양한 역학특성을 일반화하는 연구는 매우 부족한 실정이다.

본고에서는 통계적 분석에 의하여 평가된 순환골재 콘크리트의 다양한 특성을 소개하고 향후 순환골재의 연구 방향에 대하여 논의하고자 한다.

2. 순환골재 콘크리트 물성평가

국외현황(일본)

일본의 전체적인 연구는 콘크리트의 물성평가 및 구조부재로의 적용성 평가로 나누어지며, 1980년대부터 발표된 순환골재 관련 연구논문(일본건축학회, 일본 콘크리트공학회 기준)은 약 800여 편에 이른다. 이 가운데, 순환골재 콘크리트의 재료적 특성평가에 관한 논문은 2010년 기준으로 140편 이상으로 추정되고 세부적인 현황은 표 1과 같이 정리된다.

* 한양대학교 친환경건축연구센터 연구조교수

Research assistance professor, Hanyang University,
Sustainable Building Research Centre(SUSB)
E-mail : jooney1010@hanyang.ac.kr

<표 1> 일본의 순환골재에 재료적 특성평가에 관한 논문 현황

	논문편수	비고
물시멘트비	40편 이상	재령 7, 28, 91일 W/C: 30~50%
탄성계수 및 압축강도	140편 이상	재령 28일
단위용적질량	100편 이상	재령 28일 강도범위: 20~60MPa
조갯인장강도	50편 이상	
휨강도	10편 이상	
동탄성계수	10편 이상	
건조수축율	10편 이상	재령 3, 6개월

국내현황

국내학회(대한건축학회 기준)에 보고된 순환골재를 활용한 콘크리트의 특성평가에 관한 논문은 주로 실험적 연구에 초점을 두었고 100편 이상이 보고되었고, 구조부재로의 적용 및 평가 또한 30여편 이상의 논문이 보고된 것으로 확인되었으며, 이를 토대로 예상해 보면 실제 관련 연구는 훨씬 많을 것으로 판단된다. 하지만, 국내연구의 상당수는 순환골재를 비롯한 다양한 순환재료(산업부산물)의 콘크리트 적용 및 평가가 같이 수반되어 순환골재 중심의 일반화평가에는 다소 부족한 점이 있다. 따라서 본고에서는 일본의 연구 데이터를 기반으로 순환골재 콘크리트의 특성을 통계적 분석을 통하여 다음과 같이 정리 및 소개하고자 한다.

2.1 물시멘트비와 압축강도 추정

물시멘트비와 압축강도와의 관계는 오래전부터 연구가 되어왔으며, 순환골재를 사용한 콘크리트의 경우 물시멘트비(x1) 범위 30~75%에서의 압축강도 추정은 물시멘트비와 순환골재 품질에 따라 아래와 같이 간략하게 일반화가 가능하다.

$$\sigma = k \times \frac{130}{1.026^{x_1}}$$

k : 순환골재 종류에 의한 보정계수
 고품질: 1.06, 중품질: 1.0, 저품질: 0.9

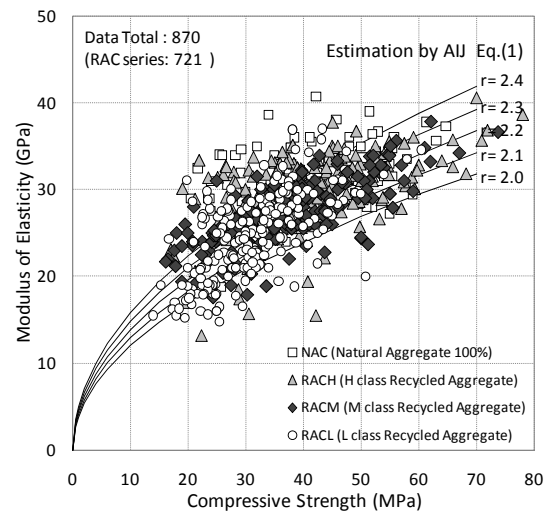
2.2 탄성계수 추정

순환골재를 사용한 콘크리트의 탄성계수는 혼화제의 영향을 고려하지 않는 경우로 가정하여, 국내외적으로 다양한 모델이 제안된 것처럼 다음과 같이 단위용적중량, 압축강

도, 순환골재의 품질 및 치환율의 변수로 표현이 가능하다.

$$E = R_1 \times R_2 \times 24 \times \left(\frac{\sigma}{30}\right)^{0.5} \times \left(\frac{\gamma}{2.2}\right)^{1.2}$$

E : 탄성계수 (GPa)
 σ : 압축강도 (MPa)
 γ : 단위용적질량 (t/m³)
 R_1 : 순환골재 종류에 따라 정해지는 보정계수
 1.05(고품질 순환골재), 1.0(중·저품질 순환골재)
 R_2 : 순환골재 치환율에 따라 정해지는 보정계수
 1.1(치환율 30% 이하), 0.95(치환율 50% 이상)



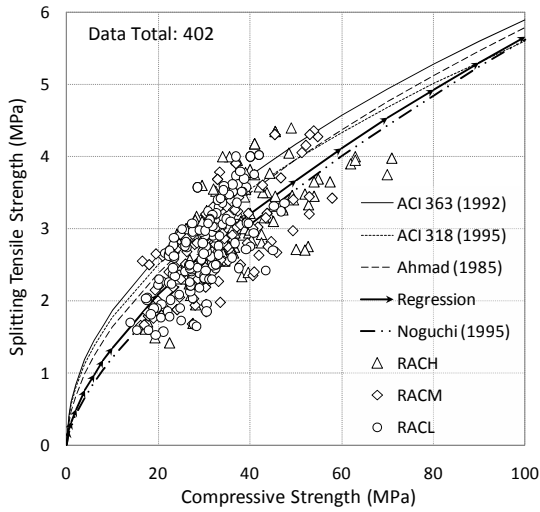
NAC: 일반골재를 사용한 콘크리트
 RACH: 고품질 순환골재(JIS A 5021)를 사용한 콘크리트
 RACM: 중품질 순환골재를 사용한 콘크리트(JIS A 5022)
 RACL: 저품질 순환골재를 사용한 콘크리트(JIS A 5023)
 [그림1] 순환골재 종류별 압축강도와 탄성계수의 관계

2.3 조갯인장강도의 추정

일반적으로 압축강도로부터 조갯인장강도의 추정은 ACI 식을 비롯하여 고강도 콘크리트에 대해 연구가 많이 진행되어 왔다. 순환골재 콘크리트의 경우도 아래와 같이 일반화가 가능하다고 사료된다.

$$\sigma_{sp} = a \times 0.323 \times \sigma^{0.622}$$

σ_{sp} : 조갯인장강도 (MPa)
 σ : 압축강도 (MPa)
 a : 순환골재의 종류에 의한 영향계수
 고품질: 0.991, 중품질: 0.985, 저품질: 1.022



[그림3] 순환골재 종류별 압축강도와 쪼갬인장강도와의 관계

2.4 휨강도의 추정

콘크리트 휨강도 또한 ACI식을 비롯하여 고강도 콘크리트에 대해 다양한 모델이 제안되어 왔다. 순환골재 콘크리트의 경우는 아래와 같이 일반화가 가능하다.

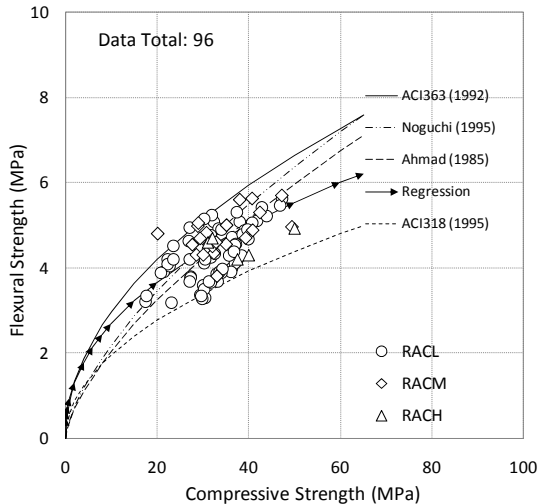
$$\sigma_f = b \times 0.951 \times \sigma^{0.450}$$

σ_f : 휨강도 (MPa)

σ : 압축강도 (MPa)

b : 순환골재의 종류에 의한 영향계수

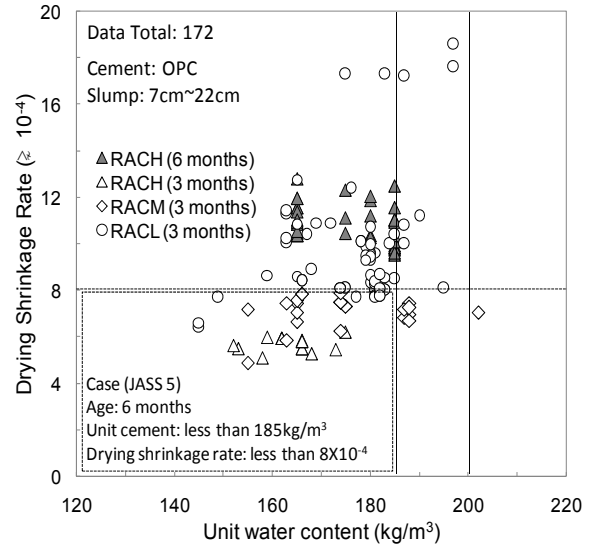
고품질 및 중품질: 1.037, 저품질: 0.946



[그림4] 순환골재 종류별 압축강도와 휨강도와의 관계

2.5 건조수축률 분포

순환골재를 이용한 콘크리트의 경우, 고품질의 순환골재를 사용해도 재령 6개월에는 8×10^{-4} 이상의 건조수축률이 발생하는 것이 확인되어, 비록 고품질 순환골재를 사용한다 하여도 흡수율이 천연골재보다 상대적으로 높아져 콘크리트에 영향을 주어 건조수축율의 증가에 미치고 있는 것이라고 생각할 수 있다.



[그림5] 단위수량과 건조수축률(3개월)과의 관계

3. 결론 및 향후 연구방향

국내 연구는 순환골재를 대상으로 하며, 대량치환 및 산업부산물물을 병용하여 소정의 요구성능을 충족시키기 위한 실험적 연구가 대부분이다. 본고에서는 순환골재의 흡수율과 밀도를 기준으로 순환골재재 품질에 따른 콘크리트의 각종 특성을 통계적으로 분석하여 소개하였다. 결론적으로, 본고에서 소개한 통계적 분석도 순환골재를 등급별로 구분하여 통계분석한 점에서 일반화의 한계가 있다.

또한, 그림 1에서 나타난 바와 같이 콘크리트 배합설계에 따라 순환골재 콘크리트의 적용범위는 일반(고강도) 콘크리트와 비교하여도 손색이 없지만, 대량생산 레벨의 차원에서 순환골재가 가지는 리스크를 고려할 때, 실험실 레벨의 성능검증 또는 실용화 연구는 오히려 순환골재의 상용화의 가능성과 연구범위를 한정시킬 수 있다. 다시 말해서 순환골재는 생산 특성상 원골재 정보, 폐콘크리트의 정보에 대한 접근에 소홀하다.

향후 순환골재를 활용한 콘크리트의 연구에서는 흡수율과 밀도를 비롯한 골재 요구 수준에 대한 연구와 함께 원골재 및 부착 모르타르(폐콘크리트 정보)에 대한 연구가 함께 수반되어야 할 것으로 사료된다. 이러한 연구는 실험실 레벨에 국한이 아니라 순환골재 생산에도 고려되어야 할 것으로 판단된다. 순환골재는 미래건설재료로서 그 잠재적 활용가치가 매우 높지만, 일본의 경우 30년 이상 연구가 진행되어 왔지만 실제 콘크리트용 골재로서의 사용량은 4% 미만이다. 이 점을 고려할 때, 향후 국내 연구도, 순환골재의 활용을 보다 다각적이고 체계적으로 모색할 필요가 있다고 사료된다.

참고문헌

1. 박원준, “순환골재를 사용한 콘크리트의 압축강도와 탄성계수와의 관계에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집(구조계), Vol. 28, No. 1, 2012, pp. 109-116.
2. 박원준, “순환골재를 사용한 콘크리트의 압축강도와 각종 역학특성과의 관계에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집(구조계), Vol. 28, No. 3, 2012, pp. 43-50.
3. 레미콘통계연보, 경제산업성 제조산업국 주택산업 요업건재과, 2009
4. 쇄석통계연보, 경제산업성 제조산업국 주택산업 요업건재과, 2009