

순환골재콘크리트의 탄성계수 추정에 관한연구

The prediction of Elastic Modulus of Recycled Aggregate Concrete

심종성* 박철우** 박성재***
Sim, JongSung Park, CheolWoo Park, SungJae

김용재**** 김현중****
Kim, YongJae Kim, HyunJoong

ABSTRACT

This study investigated fundamental properties of the recycled aggregate which was produced through recent hi-techniques of recycling. In addition, the mechanical properties of the concrete that used the recycled aggregate were compared to the concrete used the natural aggregate.

From the results of the mechanical property tests, as the recycled aggregate replacement ratio increased, the compressive strength and elastic modulus decreased. When the recycled aggregate completely replaced the natural aggregate, the compressive strength and elastic modulus was about 15% and 35% lower than the natural aggregate concrete, respectively. Based on the test results, equations for prediction of compressive strength and elastic modulus were suggested in the consideration of the amount of the replaced recycled aggregate. Based on the test results and study, the equation predicting the required development length of the recycled aggregate concrete is proposed.

1. 서론

현재까지 연구된 결과에 의하면 순환골재 혼입이 콘크리트의 강도 및 여러 가지 내구성능저하를 초래하는 것은 자명한 사실이다.¹⁾ 그러나 이러한 콘크리트 물성변화의 범위는 아직 명확하지 않다.

한편, 국내에서 생산 및 시판되는 순환골재를 사용한 콘크리트 즉, 순환골재콘크리트의 현장 적용성에 대한 연구는 순환골재콘크리트의 물성과약 및 물성개선단계까지 이루어진 상태이나 구체적인 구조적 성능에 대해서는 아직 명확히 검증되지 않았다. 그러므로, 순환골재콘크리트의 구조부재 적용 및 고부가가치화를 위해서는 순환골재 콘크리트를 사용한 철근콘크리트부재의 확실한 물성과약이 필수적이라 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 최근 생산되는 고도처리 순환골재의 품질을 분석하고 이를 순환골재콘크리트에 적용시 치환율에 따라 발생하는 콘크리트의 물성변화를 검토하고자 하였다. 이를 위하여 일반콘크리트의 탄성계수 산정식을 최근 생산된 순환골재콘크리트에 적용하여 물성변화의 검토를 통해 순환골재콘크리트의 탄성계수추정식을 제안하고자 한다.

*정회원, 한양대학교 토목환경공학과 교수

**정회원, 한양대학교 토목환경공학과 BK 연구교수

***정회원, 한양대학교 토목환경공학과 대학원 박사수료

****정회원, 한양대학교 토목환경공학과 대학원 석사과정

2. 실험내용

2.1 실험개요 및 변수

기존의 연구결과에 따르면 순환골재콘크리트의 내구특성은 사용순환골재의 품질과 치환율에 따라 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 실험에서는 최근 고도처리방식에 의해 생산되는 일산소재의 I업체에서 생산된 순환골재를 사용함으로써 순환골재의 품질을 고정하였으며, 주요 변수인 콘크리트내 순환골재 치환율은 순환굵은골재의 치환량과 순환잔골재의 치환량을 각각 다르게 하여 설정하였다.

표 2.1 실험변수

기 호	사용골재	
	굵은골재	잔골재
NN	천연골재	천연골재
RN	순환골재	천연골재
RR30	순환골재	순환골재로 30%치환
RR60	순환골재	순환골재로 60%치환
RR	순환골재	순환골재

우선 배합에 사용된 굵은골재의 경우 순환굵은골재는 일반골재와 유사한 특성을 나타내는 점을 고려하여 순환굵은골재의 치환율을 세분화하지 않고 일반굵은골재를 100%사용한 경우와 순환굵은골재를 100%사용한 경우로 크게 두 가지로 구분하여 설정하였다. 잔골재의 경우 순환잔골재의 치환량이 60%이상일 경우 순환골재콘크리트가 급격한 성능저하를 보인다는 기존의 연구결과²⁾와 순환골재품질 기준(안)³⁾을 고려하여 일반잔골재사용을 기준으로 순환잔골재 30%, 60%, 100% 치환을 변수로 설정하였다.

표 2.2 배합표

변수	물 (kg)	시멘트 (kg)	잔골재(kg)		굵은골재(kg)		고성능 감수제 (kg)	공기 연행제 (kg)
			천연	순환	천연	순환		
NN	189.10	580.49	661.74	0	851.37	0	4.4	0.022
RN	189.10	580.49	661.74	0	0	841.70	4.4	0.022
RR30	189.10	580.49	463.22	184.83	0	841.70	4.4	0.022
RR60	189.10	580.49	264.70	369.66	0	841.70	4.4	0.022
RR	189.10	580.49	0	616.10	0	841.70	4.4	0.022

2.2 실험재료 및 방법

(1) 실험에 사용된 순환굵은골재는 물성실험결과 KS F 2573(콘크리트용 재생골재)에 의거 1종 품질에 해당하는 순환골재로 판정되었으며, 천연굵은골재는 경기도 포천산 부순굵은골재 KS F 2527(콘크리트용 부순골재)를 모두 만족하는 것으로 판정되었다. 천연잔골재 역시 경기도 포천산 부순모래와 바닷모래가 1:1 비율로 혼합된 것으로서 KS규정을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

(2) 순환골재의 치환은 용적치환을 기준으로 배합설계시 압축강도는 45MPa, 굵은골재 최대치수는 천연골재 및 순환골재 모두 25mm를 기준으로 하였고 공기량은 5%, 잔골재율은 44%로 설계하였다.

(3) 배합에 따른 콘크리트의 탄성계수는 10×20cm 원주형공시체를 제작하여 1일 탈형후 20±2℃ 에서

28일간 수중양생을 실시한 공시체의 표면에 하중가력방향을 기준으로 양면에 strain gage를 부착한 뒤 하중에 따른 변형율을 측정하여 산출하였다.

3. 실험결과 및 고찰

압축강도 측정용 실험체와 동일한 10×20cm 원주형공시체의 양면에 strain gage를 부착하여 응력-변형을 곡선을 측정한 결과[그림 3.1]를 기초로 하여 순환골재콘크리트의 탄성계수를 계산한 결과 그림 3.2 및 표 3.1과 같이 순환골재의 치환율이 증가할수록 탄성계수는 감소하는 양상을 파악할 수 있었다.

현행 콘크리트구조설계기준에서 제시된 일반콘크리트의 탄성계수 추정식은 식 3.1와 같으며 압축강도의 변화에 따른 탄성계수 계산값은 그림 3.1과 같다.

$$E_c = 0.03w^{1.5} \sqrt{f_{ck}} + 7,700 \dots\dots\dots \text{식 3.1}$$

일반콘크리트의 탄성계수 추정식(식 3.1)을 이용해 압축강도에 따른 탄성계수를 계산한 결과, 본 실험의 일반콘크리트의 탄성계수 값과는 약 5000MPa 정도의 차이가 발생하였으며, 이는 탄성계수 추정식이 회귀분석을 이용하여 실제와 근접한 값을 추정할 수 있도록 제안한 식이므로 본 실험에서도 다소 오차가 발생한 것으로 판단된다. 현행 콘크리트구조설계기준에서 제시된 일반콘크리트의 탄성계수 추정식은 식 3.1와 같으며 압축강도의 변화에 따른 탄성계수 계산값은 그림 3.2와 같다.

표 3.1 탄성계수 측정값과 추정값의 비교

변 수	압축강도 (MPa)	실험탄성계수 (MPa)	콘크리트구조설계기준 추정탄성계수 (MPa)	수정 추정탄성계수 (MPa)
NN	45.0	24,185	29,836	29,897
RN	43.3	20,440	29,417	28,058
R30	42.8	17,981	29,292	26,902
R60	41.7	20,000	28,870	25,485
RR	39.1	16,516	28,325	23,881

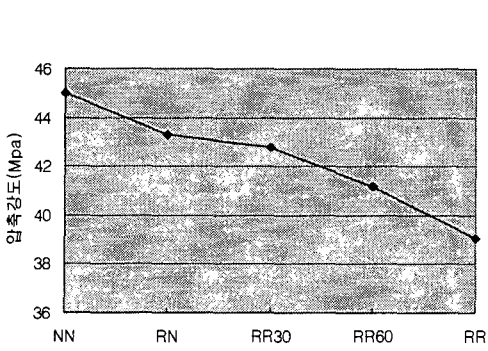


그림 3.1 치환율에 따른 압축강도의 변화

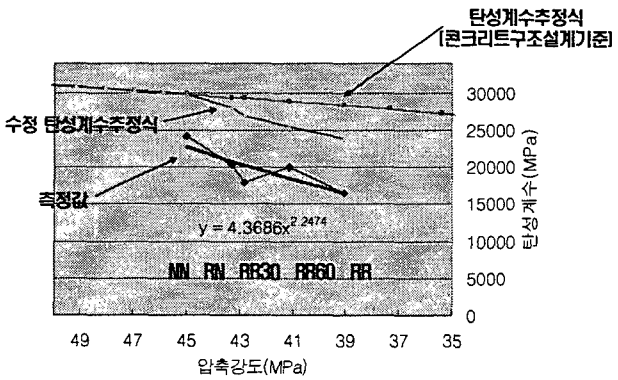


그림 3.2 탄성계수 측정값

순환골재콘크리트는 순환골재의 치환율이 증가할수록 일반콘크리트의 탄성계수 추정식에 비해 탄성계수값이 크게 낮아지는 경향을 보이고 있으며, 이는 현행 콘크리트 구조설계기준의 탄성계수 추정식의 기율기와 다른 양상이므로 일반골재콘크리트의 탄성계수 추정식의 순환골재콘크리트에 대한 적용은 어려워 것으로 판단되어 다음과 같은 순환골재콘크리트용 수정탄성계수 추정식을 제안하고자 하였다.

$$E_{cr} = 0.03w^{1.5}\sqrt{f_{ckr}} + (7,700 - 14.19G - 10.92S) \dots\dots\dots \text{식 3.2}$$

- | | |
|---|-------------------------------------|
| { | E_{cr} = 순환골재 콘크리트의 추정탄성계수 (MPa) |
| | f_{ckr} = 순환골재 콘크리트의 추정압축강도 (MPa) |
| | w = 순환골재 콘크리트의 단위중량 (kg/m^3) |
| | S = 순환골재의 치환율 (%) |
| | G = 순환골재의 치환율 (%) |

상기 식에서는 일반콘크리트의 탄성계수 추정식 중 상수항에 골재의 치환율에 대한 계수항을 추가하여 순환골재콘크리트의 순환골재 치환율에 따른 탄성계수 감소량을 고려하고자 하였으며, 그 결과 그림 3.2와 같이 일반콘크리트와 다른 순환골재콘크리트의 탄성계수 감소 기율기가 반영되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

순환골재콘크리트의 정확한 물성변화 검토를 위한 탄성계수추정식을 제안하였다.

추정식을 바탕으로한 결과로서 현재 제작되는 고도처리에 의한 순환골재콘크리트의 탄성계수는 일반콘크리트보다 약 20% 정도 하회하는 경향을 나타내며, 재령에 따른 탄성계수 변화율은 일반콘크리트와 유사한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국환경기술진흥원에서 주관하는 “2004 차세대 환경 핵심기술개발사업, 폐콘크리트의 고부가가치 자원화 기술개발에 관한 연구”의 일환으로 수행되었으며, 저자들은 한국환경기술진흥원과 (주)인선ENT의 후원에 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

1. 남상일, 재생골재콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 충남대학교 박사학위논문, 1995, pp 35~40
2. 이희철, 프리캐스트 구조체를 위한 플라이애쉬 혼입 재생골재콘크리트의 성능평가, 한양대학교 석사학위논문, 2002, pp. 34~54
3. 순환골재 품질기준(안), 건설교통부, 2004, pp. 2~27
4. 김용재, 순환골재콘크리트의 철근부착특성에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문, 2005, pp 43~45
5. Ajdukiewicz, A. and Kliszczewicz, A., Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPS, Cement & Concrete Composites, 2002, pp. 2~5