

# 재생골재 콘크리트의 역학적 특성

## Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete

최 명 신\*      신 성 우\*\*      이 광 수\*\*\*      안 증 문\*\*\*\*      강 훈\*\*\*\*\*      정 진\*\*\*\*\*

Choi, Myung Shin    Shin, Sung Woo    Lee, Kwang Soo    Ahn, Jong Mun    Kang, Hoon    Jung, Jin

### Abstract

An experimental study was conducted to study the mechanical properties of recycled aggregate concrete in accordance with the different replacement ratios of recycled fine and coarse aggregate, ranging from 0% to 30% and 0% to 50%, respectively. According to increase of these replacement ratios, compressive strengths and elastic modulus are reduced down to 10~20% and 15~30%, respectively. The reducing ratios of elastic modulus are more distinct than that of compressive strength. For the selection of replacement ratios of recycled aggregate for structural concrete properly, it is necessary to evaluate the elastic modulus carefully.

### 1. 서론

국내 건설폐기물의 급증에 따라 폐콘크리트의 효율적 재활용에 대한 필요성이 높아지고 있으며, 정부에서도 관련 법령의 제·개정을 통하여 이를 적극 장려하고 있다. 2001년 12월에 국회 환경포럼 주최로 '재생골재 활용기술 및 제도개선을 위한 대토론회'가 개최되어 재생골재를 활용한 고성능 콘크리트의 개발<sup>1)</sup> 등 재생골재 활용을 위한 기술적·제도적 논의가 이루어진 이후 2003년 12월에는 국회를 중심으로 '건설 폐기물 재활용 촉진에 관한 법률'이 제정되어 건설폐기물의 관리와 재활용을 중심으로 적극적인 정책추진의 기반이 마련되었고, 건설교통부와 한국건설기술연구원에서 수행한 연구결과를 근간으로 콘크리트용 재생골재의 품질기준안이 마련되고 재생골재의 품질인증 제도가 마련되고 있다.<sup>2)</sup>

그리고 실질적인 재활용을 유도하기 위하여 2005년부터 '국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률'의 적용대상 공사로서 일정규모 이상의 공사의 경우 의무적으로 재생골재를 사용하도록 규정하여 공공공사 및 공공택지개발지역에서의 모든 공사에서 의무적 사용이 추진되고 있다.<sup>3)</sup> 또한, 건축물의 골조공사에 건축폐자재를 사용할 경우 높이와 용적을 제한을 일정비율 완화하는 등 인센티브를 부여하는 방안도 추진되고 있어서 민간부문의 건설공사에서도 사용이 확대될 것으로 예상된다.

이에 따라 본 연구는 재생골재 콘크리트를 구조용 콘크리트로서 활용하기 위하여 레미콘 생산에 필요한 적정 배합비 도출과 그 역학적 특성 파악을 목적으로 수행되었으며, 한국건설기술연구원에서 마련된 품질기준안에서 재생골재의 양을 총 골재용적의 30% 이내로 사용할 것을 권장하고 있어서 이 권장치 내외에서 추진 변수를 선정하였다. 또한, 재생골재 콘크리트의 설계기준강도는 최대 30 MPa로 한다는 기준이 있으나 고강도 콘크리트로의 제조 가능성과 역학적 특성을 파악하기 위해서 보통강도(21~24 MPa) 및 고강도 콘크리트(42 MPa)에 대하여 적용하였으며, 천연골재로 생산되는 기존의 레미콘 배합비에 대해서 재생잔골재는 0~30%, 재생굵은골재는 0~50% 범위의 혼입율을 변수로 하여 동일 배합조건에서 재생골재 치환율에 대한 역학적 특성의 변화를 확인하고자 하였다.

\* 정회원, 한양대학교 건축학부 박사수료

\*\*\*\* 정회원, 안산1대학 건축설계과 전임강사

\*\* 정회원, 한양대학교 건축학부 교수

\*\*\*\*\* 정회원, 하이믹스산업(주) 상무이사

\*\*\* 정회원, 여주대학 건축과 부교수

\*\*\*\*\* 정회원, 하이믹스산업(주) 품질관리실장

## 2. 실험 계획 및 방법

실험에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트(I종)를 사용하였으며 물리적 성질은 표 1과 같다. 천연골재는 경기, 인천지역의 부순 자갈 및 세척사가 사용되었고, 재생골재는 레미콘 공장에서 적정 조달거리 내에 있는 생산업체 중에서 비교적 고품질인 재생골재를 선정하였으며, 표 2에 사용 골재의 물리적 성질을 나타내었다. 또한, 고성능감수제의 경우 보통강도는 나프탈렌계, 고강도는 폴리카르본산계를 사용하였으며 보통강도는 180mm의 슬럼프를, 고강도는 600±50mm의 슬럼프플로우를 목표로 하여 투입량이 결정되었다.

재생골재 혼입율에 따른 재생골재콘크리트의 역학적 특성을 비교하기 위해서 재생골재 혼입율을 잔골재는 0~30%, 굵은골재는 0~50% 범위로 하여 각각 압축강도 21, 24, 42 MPa에 대하여 총 60배치의 배합실험을 표 3과 같이 계획하였다.

압축강도 시험은 2000kN UTM에서 실시하였고, 탄성계수를 구하기 위해서 공시체에 폼프레소미터를 설치하여 축변형률을 측정하여 양 면에서 측정된 축길이변화의 평균값으로 변형율을 계산하였다. 응력-변형률 선도에서 0.4f<sub>ck</sub>지점의 할선탄성계수를 구하였으며, 콘크리트구조설계기준<sup>4)</sup>의 탄성계수식으로 계산한 값과 비교하였다. 실험 결과는 표 3에 정리하였으며, 본 논문에서는 압축강도와 탄성계수를 중점으로 분석하여 그림 1~그림 3에 나타내었다.

## 3. 실험 결과 및 분석

재생골재 혼입율에 따른 28일 압축강도(그림1)는 재생 굵은골재만 혼입 하였을 때(표3 : 각 시리즈의 1~5번 batch) 혼입을 증가에 대해서 20% 이내에서는 무혼입 콘크리트와 거의 같으며, 압축강도가 올라갈수록 30~50% 범위의 혼입율에서 10% 내외의 강도 저하를 나타내었고, 재생 잔골재만 혼입하였을 때(각 시리즈의 6, 11, 16번 batch)의 혼입을 증가에 대해서 20% 이내에서는 압축강도 저하율이 5% 이내로 크지 않으나, 잔골재와 굵은골재를 모두 재생골재로 혼입한 배합에서는 압축강도 저하율이 현저하게 나타나며 재생잔골재와 재생굵은골재를 모두 30%씩 사용한 경우 무혼입 콘크리트보다 15~20% 정도의 압축강도 저하를 나타냈다.(그림2) 또한, 재생골재 혼입율에 따른 탄성계수 저하율(그림3)도 압축강도 저하율 변화와 비슷한 경향을 보이거나 더 큰 비율로 줄어드는 것으로 나타났다. 굵은골재만 재생골재를 사용한 경우(각 시리즈의 1~5번 batch : 30% 혼입율에서 11~16% 저하) 보다는 잔골재만 재생골재를 사용한 경우(각 시리즈의 6, 11, 16번 batch : 30% 혼입율에서 10~36% 저하)의 탄성계수 저하율이 더 크게 나타났고, 마찬가지로 재생잔골재와 재생굵은골재를 모두 30%씩 혼입한 경우 무혼입 콘크리트보다 약 30%에 가까운 탄성계수 저하율을 보였다.

표 1. 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종류	비중	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	강열감량 (%)	안정도 (%)	압축강도(MPa)		
					3일	7일	28일
OPC	3.15	3.419	0.99	0.08	21.85	29.20	36.85

표 2. 골재의 물리적 성질

구분	NFA	RFA	NCA	RCA
비중	2.59	2.35	2.61	2.50
흡수율(%)	1.20	4.50	1.00	2.20
단위용적 중량(kg/ℓ)	1450	1520	1558	1505

NFA:천연잔골재

RFA:재생잔골재

NCA:천연굵은골재

RCA:재생굵은골재

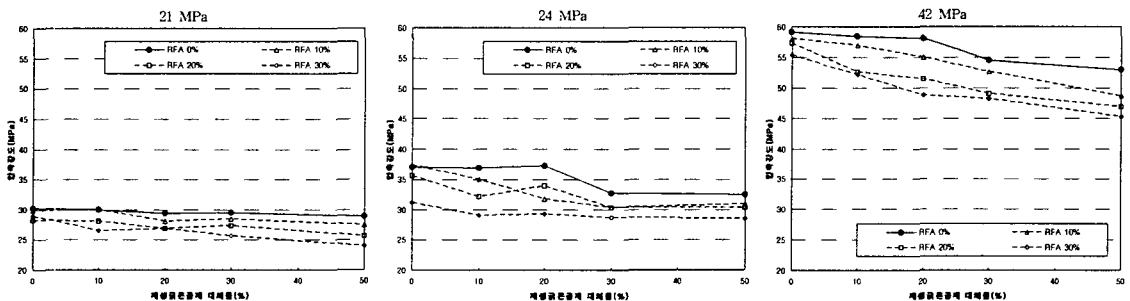


그림 1. 재생골재 혼입율에 따른 28일 압축강도

표 3. 배합 변수 및 실험결과

Batch No.	배합변수				압축강도				탄성계수			조결인장강도		파괴계수		
	$f_{ck}$ (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	RFA (%)	RCA (%)	3일 (MPa)	7일 (MPa)	28일 (MPa)	강도비 (%)	28일 ( $\times 10^3$ MPa)	TEST /Eq.	계수비 (%)	28일 (MPa)	$f_c/f_{ck}$	28일 (MPa)	$f_t/f_{ck}$
A1	21	55	48	0	0	7.2	19.8	30.2	100	25.5	0.99	100	2.34	1/12.9	5.03	1/6
A2					10	7.4	19.3	30.0	99.3	24.8	0.96	97.5	2.28	1/13.2	4.87	1/6.16
A3					20	7.2	19.4	29.4	97.4	22.3	0.88	87.7	2.06	1/14.3	4.37	1/6.73
A4					30	7.0	19.0	29.5	97.7	21.5	0.84	84.4	1.89	1/15.6	4.11	1/7.18
A5					50	7.2	18.7	28.9	95.7	21.2	0.84	83.2	1.64	1/17.6	4.28	1/6.75
A6					0	6.9	18.2	29.8	98.7	25.0	0.98	98.3	2.39	1/12.5	4.57	1/6.52
A7				10	10	6.8	17.9	30.0	99.3	24.3	0.94	95.4	2.23	1/13.5	4.30	1/6.98
A8					20	6.7	18.0	28.1	93.0	22.2	0.89	87.3	2.01	1/14	4.24	1/6.63
A9					30	6.7	17.7	28.4	94.0	20.1	0.80	79.1	1.78	1/16	3.91	1/7.26
A10					50	6.2	17.2	27.4	90.7	19.1	0.78	75.1	1.78	1/15.4	3.98	1/6.88
A11				20	0	6.7	18.4	28.2	93.4	23.4	0.94	92.0	2.25	1/12.5	4.49	1/6.28
A12					10	6.6	16.1	28.0	92.7	21.5	0.87	84.6	2.15	1/13	4.07	1/6.88
A13					20	5.5	15.6	26.9	89.1	19.8	0.81	77.8	1.82	1/14.8	3.74	1/7.19
A14					30	5.2	15.7	27.3	90.4	19.3	0.79	75.8	1.63	1/16.7	3.94	1/6.93
A15					50	4.9	14.1	25.7	85.1	17.0	0.71	66.9	1.55	1/16.6	2.94	1/8.74
A16					0	6.5	15.9	28.9	95.7	22.8	0.90	89.5	2.37	1/12.2	3.98	1/7.26
A17				30	10	5.9	14.7	26.5	87.7	20.4	0.84	80.3	1.83	1/14.5	3.74	1/7.09
A18					20	5.4	13.1	26.8	88.7	19.7	0.81	77.3	1.75	1/15.3	3.34	1/8.02
A19					30	4.5	13.8	25.7	85.1	17.7	0.74	69.4	1.66	1/15.5	3.59	1/7.16
A20					50	4.8	12.8	24.0	79.5	16.4	0.71	64.5	1.53	1/15.7	2.68	1/8.96
B1	24	50	48	0	0	19.5	29.4	37.0	100	28.5	1.03	100	2.89	1/13.7	5.26	1/7.53
B2					10	19.1	28.2	36.9	99.7	25.8	0.93	90.4	2.80	1/14.1	4.60	1/8.61
B3					20	17.5	28.5	37.2	100.5	24.6	0.89	86.3	2.74	1/13.6	4.51	1/8.25
B4					30	17.0	24.9	32.7	88.4	22.7	0.85	79.5	2.54	1/12.9	4.14	1/7.90
B5					50	14.2	24.1	32.4	87.6	22.1	0.84	77.5	2.58	1/12.6	4.27	1/7.59
B6					0	14.8	25.7	37.4	101.1	23.4	0.84	81.9	2.82	1/13.3	5.10	1/7.33
B7				10	10	15.1	25.2	35.0	94.6	22.8	0.84	79.9	2.63	1/13.3	4.77	1/7.34
B8					20	13.5	22.3	31.7	85.7	20.5	0.78	71.7	2.60	1/12.2	4.69	1/6.76
B9					30	12.7	20.8	30.3	81.9	20.8	0.80	72.7	2.47	1/12.3	3.91	1/7.75
B10					50	12.3	19.1	30.9	83.5	20.0	0.77	70.2	2.25	1/13.7	4.20	1/7.36
B11				20	0	13.0	24.6	35.6	96.2	22.3	0.81	78.2	2.77	1/12.9	4.46	1/7.98
B12					10	12.2	20.2	32.1	86.8	20.7	0.78	72.5	2.64	1/12.2	3.96	1/8.11
B13					20	12.7	20.4	33.9	91.6	20.8	0.77	73.0	2.54	1/13.3	3.98	1/8.52
B14					30	9.5	19.9	30.3	81.9	19.8	0.77	69.4	2.40	1/12.6	3.33	1/9.10
B15					50	9.3	19.2	30.3	81.9	18.7	0.72	65.5	2.26	1/13.4	3.38	1/8.96
B16					0	11.7	25.2	31.1	84.1	19.4	0.74	68.1	2.54	1/12.2	3.69	1/8.43
B17				30	10	11.6	24.2	29.0	78.4	18.5	0.73	65.0	2.58	1/11.2	3.30	1/8.79
B18					20	8.4	20.2	29.2	78.9	18.2	0.71	63.9	2.51	1/9.7	2.73	1/8.90
B19					30	8.8	18.6	28.6	77.3	17.9	0.71	62.8	2.29	1/10.9	3.08	1/8.12
B20					50	8.0	18.9	28.5	77.0	17.5	0.69	61.3	2.21	1/10.8	2.57	1/9.26
C1	42	34	45	0	0	38.8	52.1	59.2	100	32.4	0.98	100	3.60	1/16.4	6.78	1/8.73
C2					10	33.9	50.8	58.4	98.6	30.0	0.91	92.5	3.61	1/16.2	5.91	1/9.88
C3					20	30.2	46.6	58.1	98.1	28.6	0.87	88.4	3.58	1/16.2	5.59	1/10.39
C4					30	31.0	48.0	54.5	92.1	28.5	0.89	88.0	3.60	1/15.1	5.18	1/10.52
C5					50	28.1	47.9	53.0	89.5	28.2	0.89	87.2	3.30	1/16.1	5.62	1/9.43
C6					0	30.4	48.8	58.1	98.1	31.1	0.95	96.0	3.30	1/17.6	6.03	1/9.64
C7				10	10	29.8	49.2	56.9	96.1	28.4	0.87	87.7	3.46	1/16.4	5.70	1/9.98
C8					20	30.7	46.0	55.0	92.9	27.4	0.85	84.7	3.42	1/16.1	5.52	1/9.96
C9					30	27.7	46.0	52.6	88.9	26.4	0.84	81.6	3.16	1/16.6	5.03	1/10.46
C10					50	23.7	40.7	48.7	82.3	26.7	0.87	82.4	3.20	1/15.2	5.35	1/9.10
C11				20	0	30.4	48.6	57.3	96.8	28.4	0.87	87.8	3.16	1/18.1	5.32	1/10.77
C12					10	30.9	42.9	52.6	88.9	28.1	0.89	86.8	3.20	1/16.4	5.51	1/9.55
C13					20	28.4	42.9	51.4	86.8	25.9	0.83	79.9	3.25	1/15.8	5.34	1/9.63
C14					30	26.7	42.2	49.0	82.8	25.2	0.82	77.8	3.01	1/16.3	5.04	1/9.72
C15					50	20.2	39.2	46.9	79.2	23.4	0.77	72.2	2.91	1/16.1	4.60	1/10.20
C16					0	25.9	46.3	53.3	93.4	26.3	0.82	81.2	3.17	1/17.4	5.24	1/10.55
C17				30	10	22.3	41.7	52.1	88.0	24.1	0.76	74.3	3.01	1/17.3	4.51	1/11.55
C18					20	22.6	40.7	48.8	82.4	23.0	0.75	71.1	2.87	1/17	5.25	1/9.30
C19					30	23.0	40.3	48.2	81.4	22.3	0.73	68.9	2.86	1/16.9	4.59	1/10.50
C20					50	17.2	36.7	45.2	76.4	18.9	0.63	58.3	2.86	1/15.8	4.54	1/9.96

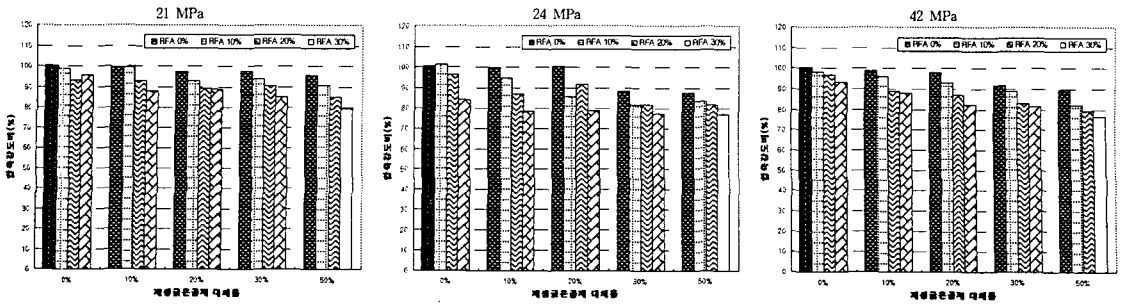


그림 2. 재생골재 혼입율에 따른 28일 압축강도비

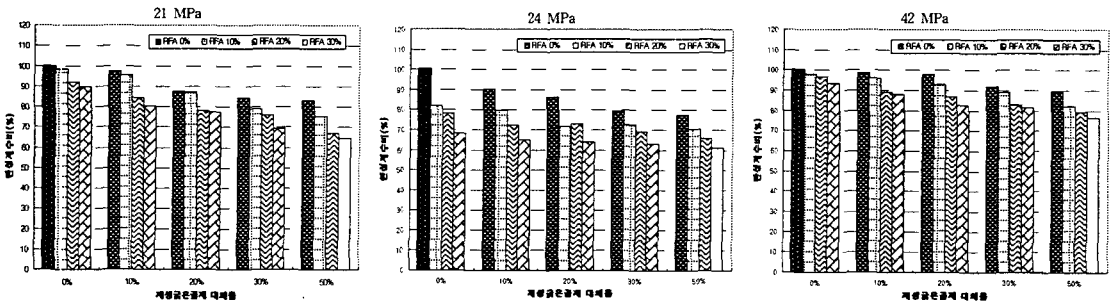


그림 3. 재생골재 혼입율에 따른 탄성계수비

#### 4. 결론

본 연구에서는 재생골재 혼입율에 따른 역학적 특성 중 압축강도 발현과 탄성계수를 중점으로 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 재생골재의 혼입율을 총 골재 용적의 30% 이내로 권장하는 기준을 적용하더라도 재생골재만 혼입 > 재생골재만 혼입 > 재생골재와 재생골재 모두 혼입한 것 순으로 역학적 성능이 10~20% 정도까지 저하되는 점을 감안하여 배합비를 선정할 필요가 있는 것으로 사료된다.
- 2) 재생골재 혼입률 증가에 따른 역학적 특성 변화는 압축강도 및 탄성계수의 저하율이 재생골재 혼입율보다는 재생골재 혼입률 증가에 더욱 민감하게 나타났고, 압축강도 보다는 탄성계수의 저하율이 더 크게 나타났다.

따라서 재생골재 혼입을 산정시 고려할 사항 중 압축강도 저하율 보다는 탄성계수 저하율을 기준으로 무혼입 콘크리트와 동등수준으로 적정 배합비를 결정하는 것이 바람직한 것으로 판단되며, 고품질 재생골재의 품질인증 체계가 마련되어 구조용 콘크리트에 사용되는 재생골재의 품질 변동이 최소화 되도록 관리되어야 그에 따른 콘크리트의 역학적 특성의 변화를 신뢰할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 신성우, "재생골재 활용 고성능 콘크리트 개발", 국회 환경포럼(재생골재 활용기술 및 제도개선을 위한 대토론회), 2001. 12.
2. 이세현, "콘크리트용 재생골재의 품질기준 및 활용", 재생(순환)골재의 합리적 이해 및 활용방안 세미나, 2004. 9.
3. 이세현, "건설폐기물 정책 및 방안", 건설기술인, 통권 66호, 2005.1-2., pp.36-39.
4. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준 해설", 2003년, pp.66-67.