

# 재생골재콘크리트의 공학적 특성에 미치는 재생골재 혼합조건의 영향에 관한 실험적 연구

(제2보, 경화콘크리트의 성상 및 비파괴 시험 적용성에 관하여)

## An Experimental Study on the Replacement Proportion of Recycled Aggregate Effecting on the Engineering Properties of Recycled Concrete

(Part2, Properties of Hardened Concrete and Applicability of Non-destructive Test)

O 南相顯\*\* 李相洙\* 柳光禹\* 朴政日\* 金振曉\*\* 金武漢\*\*\*  
Nam, Sang Ill Lee, Sang Su Ryu, Kwang Woo Park, Jeung Ill Kim, Jin Man Kim, Moo Han

### ABSTRACT

The study of recycled aggregate concrete in which demolition waste is utilized to produce aggregate for new concrete, can contribute to the solution of two problems. The first is the shortage of aggregate from river, and the second is the waste disposal problem. In comparison with natural aggregate concrete, recycled aggregate concrete shows reductions in compressive strength, tensile strength, bending strength, shear strength and increases in drying shrinkage and creep. Recycled aggregate concrete may also be less durable due to increase in porosity and permeability.

The purpose of this study is to investigate and analyze the variation of engineering properties according to replacement proportion of recycled aggregates and applicability of non-destructive test in the hardened recycled concrete.

### 1. 서론

본 연구는 콘크리트용 골재로써 콘크리트 폐기물을 사용한 재생콘크리트의 시공성 및 각종 공학적 특성에 미치는 재생골재 혼합조건의 영향에 관하여 실험·실증적으로 비교·분석하기 위한 일련의 실험으로서 본보는 실험계획 및 아직 굳지않은 콘크리트의 성상을 고찰한 제1보에 이은 제2보로서 경화콘크리트의 공학적 특성 및 비파괴 시험 적용성에 관한 것이다.

사료된다. 또한 재생콘크리트의 28일 압축강도는 W/C 40%의 경우 312~360kg/cm<sup>2</sup>의 수준이고 W/C 60%의 경우 235~283 kg/cm<sup>2</sup>의 수준으로서 재생골재를 사용하고도 설계기준 강도가 W/C 40%의 경우 240kg/cm<sup>2</sup>, W/C 60%경우 180kg/cm<sup>2</sup> 수준의 콘크리트를 제조할 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

### 2. 실험결과 및 분석

#### 2.2 보통콘크리트와 재생콘크리트의 각종 공학적 특성의 비교

표2는 재형28일에서의 보통콘크리트에 대한 재생콘크리트의 각종 공학적 발현 비율을 나타낸 것으로 단위용적중량의 비율은 재생골재의 혼합비율이 증가함에 따라 저하하는 경향을 보이는데 이는 재생골재의 비중이 보통골재에 비하여 작기때문으로 사료되며, 압축강도의 비율은 보통콘크리트에 비교하여 재생콘크리트가 W/C 40%의 경우에는 약간 낮으나 W/C 60%의 경우에는 재생이 높은 경우도 있다. 정탄성계수, 초음파속도의 비율은 재생골재의 혼합비율의 증가에 따라 저하하는 경향은 보이지 않으나 반발도 및 동탄성계수의 비율은 재생골재의 혼합비율의 증가에 따라 뚜렷한 저하를 보이고 있어 보통콘크리트에 대한 재생콘크리트의 압축강도 발현이 높은 것이 모르타르 강도증진에 의한 것이 아니라 골재와 모르타르의 부착강도 증진에 의한 것임을 나타내 주고 있다.

#### 2.1 재생골재의 혼합조건별 압축강도의 변화

경화콘크리트의 각종 시험결과를 나타낸 표1 및 물시멘트비와 재형별 재생골재의 혼합조건에 따른 압축강도의 변화를 도시한 그림1에서 알 수 있는 바와같이 W/C 40%, 재형 28일의 경우를 제외하면 물시멘트비에 관계없이 재생골재를 사용한 경우 보통골재를 사용한 NR조합과 동등하거나 약간 높은 수준의 강도발현을 나타내고 있다. 재형에 따른 압축강도 발현에 있어서도 전반적으로 보통콘크리트에 비하여 재생콘크리트의 경우가 높은것으로 나타났으며 특히 재형 28일에서 60일사이의 강도증진을 살펴보면 보통콘크리트의 경우 W/C 40%에서 27kg/cm<sup>2</sup>, W/C 60%에서 7kg/cm<sup>2</sup>의 강도증진이 있는데 반하여 W/C 40% NR조합의 경우에는 105kg/cm<sup>2</sup>의 강도증진을 보이고 있다. 이와같이 보통콘크리트에 비하여 재생콘크리트가 약간 높은 압축강도 발현을 보이는 것은 재생골재의 입형이 세석상으로 골재와 모르타르간의 부착강도를 증진시켰기 때문으로

#### 2.3 재생골재 콘크리트의 각종 비파괴 시험치의 상관관계 분석 및 검토

##### 1) 압축강도와 정탄성계수의 관계

압축강도와 정탄성계수의 관계를 도시한 그림2에서 알 수 있는 바와같이 재생골재의 혼합조건에 따른 상이한 경향은 보이지않고 있으며 압축강도와 정탄성계수의 관계는 상관계수(R)0.76이상으로 양호한 것으로

\* 正會員, 忠南大 大學院(碩士課程)

\*\* 正會員, 忠南大 大學院(博士課程)

\*\*\* 正會員, 忠南大 教授 工博

표 1. 경화콘크리트의 각종 시험결과

물시멘트비(%)		40								60							
골재의 혼합조건		NN	3NR	5NR	NR	3RN	5RN	RN	RR	NN	3NR	5NR	NR	3RN	5RN	RN	RR
SP제 첨가율(%)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	1.0
단 적 위 중 용 량 (kg/l)	7	2.38	2.36	2.35	2.30	2.37	2.35	2.33	2.24	2.39	2.39	2.37	2.33	2.38	2.36	2.32	2.27
	28	2.39	2.37	2.34	2.30	2.38	2.37	2.35	2.25	2.41	2.40	2.39	2.31	2.41	2.40	2.39	2.29
	60	2.42	2.37	2.35	2.32	2.40	2.39	2.37	2.27	2.42	2.39	2.38	2.34	2.41	2.40	2.39	2.29
	90	2.42	2.38	2.36	2.30	2.39	2.38	2.37	2.28	2.36	2.36	2.34	2.30	2.38	2.37	2.33	2.26
	180	2.39	2.37	2.36	2.30	2.39	2.38	2.37	2.28	2.39	2.36	2.34	2.30	2.38	2.37	2.33	2.26
압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	7	299	318	320	319	300	298	299	345	184	199	206	230	213	208	208	221
	28	363	343	321	312	334	328	318	360	248	268	242	283	262	250	246	235
	60	390	380	409	417	392	389	379	402	255	275	274	277	266	276	269	260
	90	386	404	401	422	411	379	383	450	274	262	290	293	267	299	281	299
	180	390	420	380	431	403	417	380	454	279	292	312	325	319	338	313	296
정 탄 수 계 (x10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	7	2.34	2.51	2.35	2.11	2.15	2.35	2.40	2.25	1.91	1.67	1.80	1.57	2.00	1.87	1.94	1.82
	28	2.53	2.91	2.49	2.54	2.33	2.60	2.31	2.45	1.91	2.66	1.89	1.78	2.28	1.80	2.18	2.18
	60	3.09	3.01	2.69	2.86	3.07	2.65	2.64	2.74	2.06	1.83	2.53	1.97	2.72	2.46	2.21	2.01
	90	2.68	3.10	2.78	3.08	2.66	2.88	2.99	2.81	2.72	3.16	2.67	2.68	2.56	2.48	2.76	2.76
	180	2.92	3.44	3.04	2.94	3.50	2.78	3.06	2.75	2.85	2.25	2.32	2.65	2.98	2.76	2.59	2.79
동 탄 수 계 (x10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	7	3.31	3.25	3.34	3.31	3.38	3.22	3.14	3.05	2.95	3.01	3.02	3.06	3.05	2.96	2.86	2.80
	28	3.65	3.55	3.49	3.42	3.49	3.40	3.30	3.12	3.42	3.39	3.36	3.29	3.41	3.32	3.21	2.99
	60	3.74	3.67	3.59	3.56	3.65	3.62	3.44	3.30	3.52	3.48	3.44	3.37	3.51	3.48	3.26	3.14
	90	3.77	3.67	3.64	3.55	3.69	3.62	3.41	3.30	3.54	3.53	3.43	3.41	3.49	3.48	3.36	3.16
	180	3.83	3.67	3.65	3.54	3.68	3.63	3.46	3.34	3.58	3.55	3.53	3.42	3.54	3.53	3.32	3.09
초 속 파 변 (km/sec)	7	4.32	4.26	4.28	4.17	4.19	4.23	4.17	4.17	4.08	4.11	4.17	4.08	4.11	4.17	4.08	3.97
	28	4.28	4.35	4.38	4.28	4.25	4.31	4.31	4.19	4.22	4.32	4.28	4.19	4.32	4.38	4.26	4.11
	60	4.56	4.54	4.47	4.42	4.53	4.47	4.43	4.33	4.44	4.37	4.41	4.33	4.40	4.41	4.31	4.26
	90	4.68	4.65	4.56	4.56	4.66	4.62	4.59	4.47	4.48	4.45	4.39	4.45	4.44	4.41	4.41	4.30
	180	4.68	4.62	4.60	4.52	4.59	4.55	4.59	4.42	4.54	4.50	4.48	4.42	4.54	4.44	4.41	4.30
반 발 도 (R.N)	7	31	33	31	30	30	31	30	32	22	22	24	20	22	24	24	21
	28	36	35	35	33	31	32	31	30	22	21	20	20	21	21	20	19
	60	36	34	34	32	32	31	32	32	23	22	21	19	22	21	20	20
	90	37	36	35	34	30	33	31	32	24	23	21	20	22	21	21	21
	180	39	34	36	35	38	36	36	36	26	24	22	21	24	25	24	24

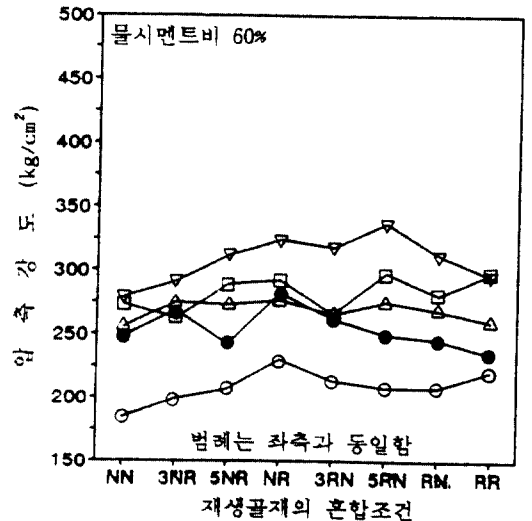
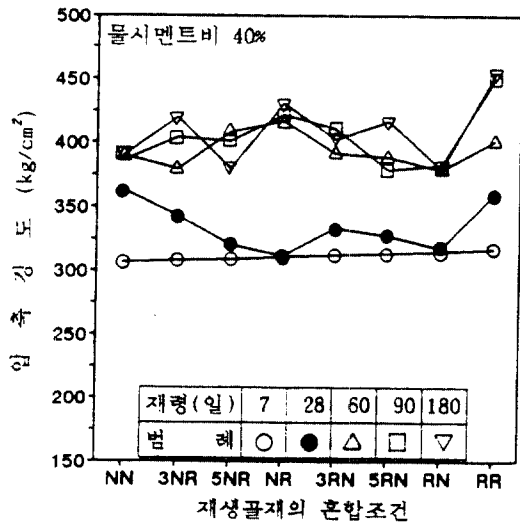


그림 1. 물시멘트비 및 재령별 재생골재의 혼합조건에 따른 압축강도의 변화

나타났다. 본실험자료는 보통 및 재생콘크리트 공회 Parott가 제시한 식 보다는 다소 낮은 탄성계수를 보이나 ACI 363의 규준식과는 동일한 경향을 보이며 국내의 철근콘크리트 구조설계 규준식과도 동일한 수준이나 압축강도가 증가할 수록 본실험식이 약간 낮은 정탄성계수를 보이고 있다. 압축강도와 정탄성계수의 관계에 관한 각종 규준식, 제안식 및 본실험식은 다음과 같다.

표 2. 보통콘크리트에 대한 재생콘크리트의 각종 공학적 특성 비율 (재령 28일의 경우)

공회 조건	W/C	단 양 비	외 양 비	압 축 강 도 비	정 탄 성 계 수 비	동 탄 성 계 수 비	초 음 파 속 도 비	반 발 도 비
N	40	100	100	100	100	100	100	100
	60	100	100	100	100	100	100	100
3NR	40	99	94	115	97	102	97	97
	60	100	108	139	99	102	95	95
5NR	40	98	88	98	96	102	97	97
	60	99	98	99	98	101	91	91
NR	40	96	86	100	94	100	92	92
	60	96	114	93	96	99	91	91
3RN	40	100	92	92	96	99	86	86
	60	100	106	119	100	102	95	95
5RN	40	99	90	103	93	101	89	89
	60	100	99	119	97	104	95	95
RN	40	98	86	91	90	101	86	86
	60	99	99	114	94	101	91	91
RR	40	94	99	97	85	98	83	83
	60	95	95	114	87	97	86	86

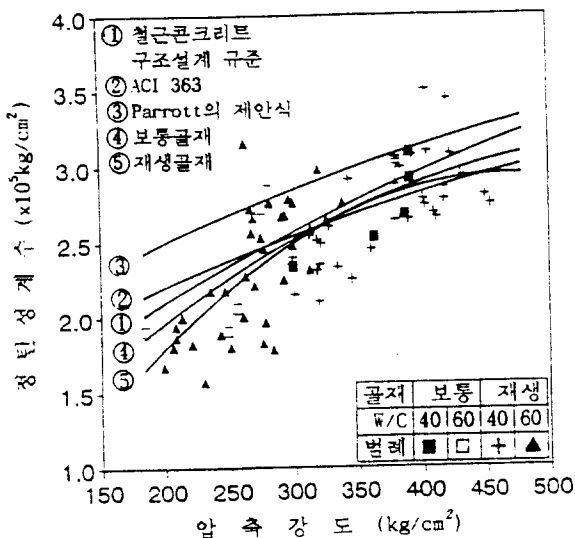


그림 2. 압축강도와 정탄성계수의 관계

① 철근콘크리트구조설계규준식

$$E_s = 2.1 \times 10^5 \times \left(\frac{\gamma}{2.3}\right)^{1.5} \times \sqrt{\frac{F_c}{200}} \quad (\gamma=2.3)$$

② ACI 363<sup>1)</sup>  $E_s = (10600 \sqrt{F_c} + 70310) \times \left(\frac{\gamma}{2.348}\right)$

③ Parrott<sup>2)</sup>  $E_s = 42770 \sqrt{F_c}$

④ 본실험식(보통골재)  $E_s = 0.85F_c^2 + 980F_c + 34400$   
(R=0.780)

⑤ 본실험식(재생골재)  $E_s = 1.50F_c^2 + 1500F_c + 56800$   
(R=0.761)

2) 압축강도와 동탄성계수의 관계

압축강도와 동탄성계수의 관계를 도시한 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 골재조건에 따라서 W/C 40%의 경우에는 보통골재를 사용한 경우가 약간 높은 동탄성계수를 보이나 W/C 60%의 경우에는 재생골재를 사용한 경우가 높은 동탄성계수를 보이는 등 골재조건에 따라 상이하게 나타나고 있으며, 압축강도와 동탄성계수의 상관관계를 살펴보면 W/C 40%에서는 0.988, W/C 60%에서는 0.787의 상관성을 보이고 있고 재생콘크리트의 경우에는 W/C 40%에서 0.813, W/C 60%에서 0.745의 상관성을 보이는 등 재생콘크리트에서도 양호한 상관관계를 보여주고 있으며 물시멘트비에 따라서는 W/C 40%의 경우가 높은 상관관계를 보여 주고 있다. 또한 본 실험자료는 British Standards 및 Lacroix-Jaugy의 제안식 보다 동일 압축강도에서 낮은 동탄성계수를 보이고 있다. 각종 규준 및 본실험식은 다음과 같다.

① British Standards<sup>3)</sup>  $E_d = 8938F_c + 224180$

② Lacroix-Jaugy<sup>4)</sup>  $E_d = 59600 \sqrt{F_c}$

③ 본실험식(보통골재 W/C 40%)  $E_d = 524F_c + 174533$   
(R=0.988)

④ 본실험식(보통골재 W/C 60%)  $E_d = 408F_c + 170090$   
(R=0.787)

⑤ 본실험식(재생골재 W/C 40%)  $E_d = 287F_c + 244709$   
(R=0.813)

⑥ 본실험식(재생골재 W/C 60%)  $E_d = 421F_c + 216801$   
(R=0.745)

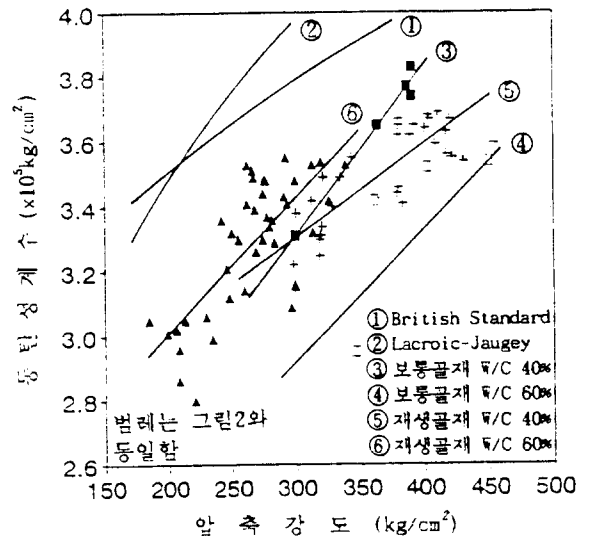


그림 3. 압축강도와 동탄성계수의 관계

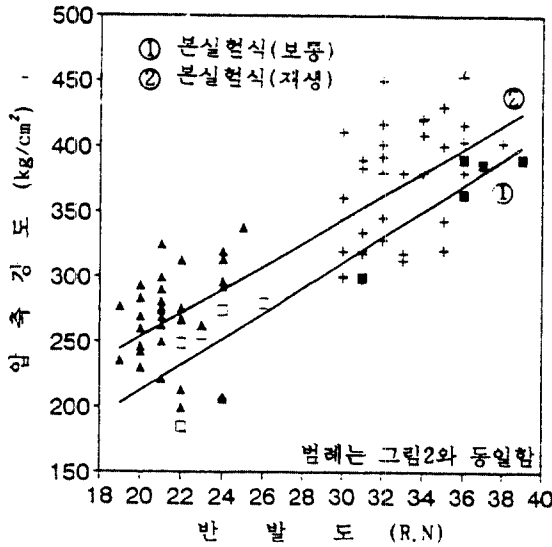


그림 4. 반발도와 압축강도의 관계

### 3) 압축강도와 반발도의 관계

그림 4는 반발도와 압축강도의 관계를 도시한 것으로서 보통콘크리트보다 재생콘크리트의 경우가 동일 반발도에서 약 40kg/cm<sup>2</sup> 정도의 압축강도를 더 발휘하고 있어 반발도에 의한 압축강도 추정시 골재조건에 관한 고려가 필요함을 제시하고 있다. 압축강도와 반발도의 상관관계는 보통콘크리트의 경우에는 R=0.952로 매우 높은 상관관계를 보이고 있으며 재생콘크리트의 경우에도 R=0.813으로서 양호한 상관관계를 보이는 것으로 나타났으며 본실험식은 다음과 같다.

- ① 본실험식(보통골재)  $F_c = 9.89(RN) + 14.16$   
(R=0.952)
- ② 본실험식(재생골재)  $F_c = 9.04(RN) + 73.03$   
(R=0.813)

### 4) 압축강도와 초음파속도의 관계

그림 5는 초음파속도와 압축강도의 관계를 도시한 것으로서 동일 초음파 속도에서 압축강도는 W/C 40%가 60%보다 100kg/cm<sup>2</sup> 정도 높은 압축강도 발현을 보이고 있어 초음파속도에 의한 압축강도의 추정시 물시멘트 비 관한 고려가 필요함을 알 수 있으며 동일 물시멘트 비에서는 재생콘크리트가 보통콘크리트보다 동일한 초음파속도에서 약간 높은 수준의 압축강도를 보이고 있다. 또한 압축강도와 초음파속도의 상관계수는 보통콘크리트의 경우 0.735~0.920이고 재생콘크리트의 경우 0.741~0.802로서 양호한 상관관계를 보여주고 있으며 본 실험식은 다음과 같다.

- ① 보통골재 W/C 40%  $F_c = 148V_L - 301$  (R=0.735)
- ② 보통골재 W/C 60%  $F_c = 180V_L - 536$  (R=0.920)
- ③ 재생골재 W/C 40%  $F_c = 212V_L - 566$  (R=0.741)
- ④ 재생골재 W/C 60%  $F_c = 206V_L - 623$  (R=0.802)

## 3. 결론

재생콘크리트의 공학적 특성에 미치는 재생골재의

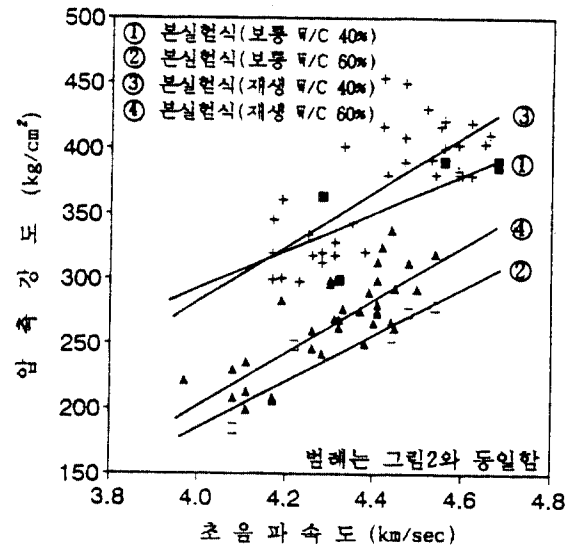


그림 5. 초음파속도와 압축강도의 관계

혼합조건의 영향에 관한 실험적 연구의 제 2보 경화콘크리트의 성장 및 비파괴 시험 적용성에 관하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본실험에서는 재생골재를 사용하여도 보통콘크리트와 동등한 수준의 압축강도를 보이고 있으며, 재생콘크리트의 제형28일 압축강도는 W/C 40%의 경우 312~360kg/cm<sup>2</sup>이고 W/C 60%의 경우 235~280 kg/cm<sup>2</sup>의 수준으로 재생콘크리트를 사용하여 설계기준강도 240kg/cm<sup>2</sup> 수준의 콘크리트의 제조가 가능할 것으로 사료된다.

2) 보통콘크리트에 비하여 재생콘크리트의 반발도 및 동탄성계수의 발현비율은 낮으며 그 차이는 재생골재의 혼합비율이 증가에 따라서 커지고 있으나 초음파 속도는 재생콘크리트의 경우가 약간 높은 값을 보이고 있다.

3) 재생콘크리트는 보통콘크리트와 동일한 수준의 정탄성계수를 나타내고 있으며, 보통콘크리트를 대상으로 한 국내의 철근콘크리트구조설계 기준 및 ACI의 기준과 동일한 수준을 보이고 있다.

4) 재생콘크리트의 압축강도와 동탄성계수, 반발도, 초음파속도의 상관성은 보통콘크리트보다는 다소 낮지만 상관성 0.74이상으로 재생콘크리트에서도 양호한 비파괴 시험적용성을 보이고 있다.

## 참 고 문 헌

- 1) State-of-the Art Report on High Strength Concrete, Reported by ACI Committee 363, July-Aug. 1984, pp.363-411.
- 2) Parrott, etc : the Estimation of the Elastic Modulus of Concrete for the Design of Structures, Garton, Building Research Establishment, 1978, pp. 11.
- 3) British Standards Institution : The Structural Use of Concrete part 1. Design, Materials Workmanship, London, CP 110, 1972, pp.154.
- 4) Russel, H.G., and others : High Strength Concrete, SP-87, American Concrete Institute, Detroit, 1985.