

## 미분 제거방식이 다른 2종의 재생 잔골재가 콘크리트의 특성에 미치는 영향

이문환 <sup>1)\*</sup> · 이세현 <sup>1)</sup> · 심종우 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 건축연구부

(2004년 7월 10일 원고접수, 2004년 12월 17일 심사완료)

### A Study on the Properties of Recycled Concrete Using Recycled Fine Aggregates with different Removal Formulas of Powder In Aggregate

Mun-Hwan Lee <sup>1)\*</sup>, Sea-Hyun Lee <sup>1)</sup>, and Jong-Woo Shim <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Building Research Division, KICT, 2311, Daehwa-dong, Ilsan-gu, Koyang, Kyonggi-do, 411-712, Korea

(Received July 10, 2004, Accepted December 17, 2004)

#### ABSTRACT

The research conducted to study the potential practicability of recycled aggregate concrete by analyzing the characteristics of concretes made of recycled quality aggregates produced by wet and dry process has found the following results.

The air content of recycled aggregate concrete increased with increase of the substitution rate due to mortar included while producing recycled aggregates. However, the concretes with aggregate produced by dry process had relatively low rate of increase in air content. The slump showed generally decreasing trend as the substitution rate of recycled aggregate increased regardless of the wet or dry process. It was assumed that the mortar particles remained in recycled aggregate absorbed the surplus hydration in concrete and decreased fluidity.

The compressive strength generally decreased as the substitution rate of recycled aggregate increased, however there was an increasing trend as well due to decreasing effect of water-cement ratio when the substitution rate of recycled aggregate reached 25, 50 % after mix. This phenomena also appeared in early age, which meant that recycled aggregate concrete should not be retarded in setting when applied in the field. The tensile strength also reached the maximum when wet or dry recycled aggregate replaced with 25 %.

To conclude, recycled aggregates for concrete produced by wet or dry process are expected to demonstrate essential characteristics of concrete without significant decline in physical or dynamic quality when the substitution rate is below 25 % although there are variations subject to water-cement ratio. However, slight differences are expected due to types of recycled aggregate and physical quality.

**Keywords :** recycled fine aggregate, recycled concrete, wet process, dry process

### 1. 서 론

현대 건설산업에 있어서 큰 문제점으로 대두되는 골재 자원의 부족으로 인해 매년 2천만 톤 이상 발생하는 건설 폐기물을 가공하여 양질의 재생골재로 활용하기 위한 노력을 경주하고 있다<sup>4)</sup>.

2003년 12월 공공공사에 양질의 순환(재생)골재 의무화 용 등을 골자로 하는 '건설폐기물재활용촉진에관한법률'이 제정됨으로써, 재생골재를 활용하기 위한 기술적 기반 마련은 이루어진 셈이다. 하지만, 재생골재에 대한 활용기술

은 아직까지 재생 곱은골재에 중점을 두고 개발되어 왔으며, 그에 따라 재생 잔골재에 대한 생산 및 활용기술개발은 부족한 실정이다<sup>5)</sup>. 국내 재생 잔골재 생산기술은 주로 파쇄공정을 통하여 원하는 입경의 골재를 생산하고 있으며, 이로 인해 발생된 미분 및 이물질 제거방식에 있어서 물의 사용여부에 따라 습식공정과 건식공정으로 나눌 수 있다. 재생골재와 이물질 혹은 미분과의 비중차이를 이용하는 습식공정은 이물질의 분리, 미분의 세척효율에 있어서 비교적 우수한 특성을 보이나, 동절기에는 사용에 제약이 따르고 슬러지와 같은 또 다른 폐기물이 발생하게 되는 단점을 가지고 있다. 반면에 건식공정은 이물질 분리와 미분의 제거효과에 있어서는 습식공정에 비하여 상대적으로 낮은 효율을 보이나 계절에 관계없이 가동이 가능하고

\* Corresponding author

E-mail : mhlee@kict.re.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

슬러지 등의 폐기물 발생이 적다는 장점이 있다.

본 연구에서는 이러한 건식과 습식공정으로 생산되는 재생 잔골재를 대상으로 콘크리트를 제조하여 콘크리트용 골재로서의 요건을 상호 비교·검토하고, 콘크리트용 잔골재로서 양자의 활용에 대한 기술적 데이터를 제시하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료

#### 2.1.1 시멘트

본 연구의 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201 규정을 만족하는 보통 포틀랜드 시멘트이며, 이에 대한 물리적 성질과 화학적 성분은 Tables 1, 2와 같다.

**Table 1** Physical properties of cement

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Setting (min)		Soundness (%)	Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )		
		Initial	Final		3 days	7 days	28 days
3.15	3,400	230	390	0.1	22.8	29.7	40.6

**Table 2** Chemical compositions of cement

CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Free CaO (%)	Loss on Ignition (%)
61.3	21.1	5.2	2.8	4.0	2.4	0.6	2.0

**Table 3** Physical properties of fine aggregates with production methods

	NFA*	WRFA**	DRFA***	RFA****	KS F 2573 (Recycled aggregate for concrete)	
					1 Grade	2 Grade
Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.59	2.40	2.37	2.18	> 2.20	
Absorption (%)	0.90	3.12	4.80	6.00	5 >	10 >
Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	1,816	1,748	1,650	1,370	-	
Solid contents (%)	70.0	74.0	69.6	63.0	> 53	
Clay contents (%)	-	0.4	0.6	1.2	1.0 >	
Fineness modulus	2.6	3.2	3.2	4.1	2.3~3.2	
Material finer than 0.08mm sieve (%)	-	0.09	1.10	6.60	5.0 >	
Soundness (%)	-	3.2	5.1	23.5	10 >	

\* NFA : Natural Fine Aggregate

\*\* WRFA : Wet type Recycled Fine Aggregate

\*\*\* DRFA : Dry type Recycled Fine Aggregate

\*\*\*\* RFA : Recycled Fine Aggregate

#### 2.1.2 재생 잔골재

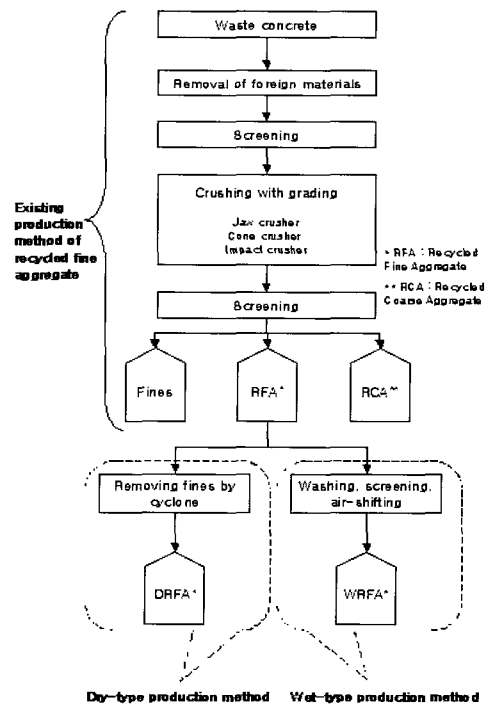
재생 잔골재는 Fig. 1과 같은 공정으로 제조된 다음의 2종을 사용하였다.

##### (1) 습식공정으로 생산된 재생 잔골재<sup>1)</sup>

입도에 따라 5단계 파쇄기를 단계적으로 적용하여 품질을 확보함과 동시에 고압공기에 의한 와류 및 기포 현상을 이용하여 비중이 낮아 세정수 표면에 뜬 부유물질을 배출시킴으로써 이물질 분리 및 골재 세척이 가능한 회전형 잔골재 수처리 장치를 이용하여 생산된 잔골재이다.

##### (2) 건식공정으로 생산된 재생 잔골재<sup>1)</sup>

크러셔에 의하여 40mm 이하로 파쇄된 폐콘크리트를 입도별 파쇄공정과 분급기로 5mm 이하 분을 통과시키고, 1차 싸이클론을 이용하여 이물질 및 미분을 제거한 후, 2단 스크린, 원심력에 의한 싸이클론 공정과 송풍기 등의 미분제거공정으로 0.3mm 이하의 미분 및 이물질을 흡입·분리시켜 생산된 잔골재이다. Table 3은 천연 잔골재와 기준에 재생 굵은골재가 생산되면서 그에 대한 부산물로 생산된 재생 잔골재, 그리고 최근 파쇄 및 미분 제거공정을 개선하여 품질을 높인 두 종류의 재생 잔골재에 대한 물리적 성질을 나타낸 것이다. 이에 따르면 기존 재생 잔골재에 비하여 건, 습식 재생 잔골재 모두 KS F 2573(콘크리트용 재생골재)에서 규정한 재생 잔골재 1종의 요구 품질을 만족시키는 것으로 나타났다. 여기서, Figs. 2, 3은 건, 습식 재생골재를 구분함에 있어 가장 큰 특징이라 할 수 있는 이물질 선별장치의 예를 보여주는 것이다.



**Fig. 1** Production process of recycled fine aggregates

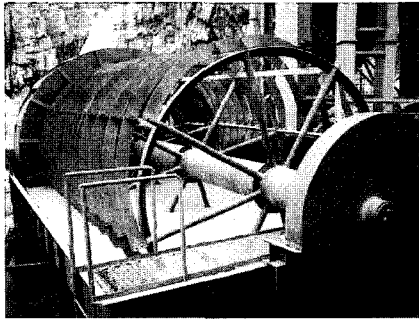


Fig. 2 Wet-type production method with classifier

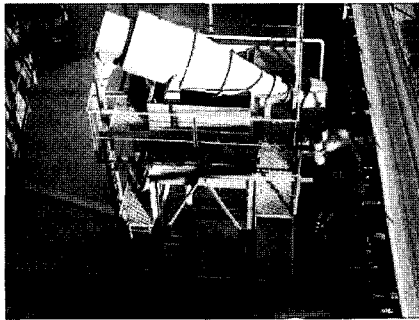


Fig. 3 Dry-type production method with cyclone

### 2.1.3 굵은골재

실험에 사용된 굵은골재는 일반적인 레디믹스트 콘크리트 제조시 사용되고 있는 25mm 이하의 쇄석과 KS F 2573(콘크리트용 재생골재)에서 규정하고 있는 재생 굵은골재 1종의 요구 품질을 만족시키는 골재를 사용하였으며, 이에대한 물리적 성질은 Table 4와 같다.

### 2.1.4 공기연행제(AE제)

AE제는 합성텐사이드(synthetic tensides)가 주성분인 비중  $1.20 \pm 0.02$ 의 액상 혼화제로서 그 특성은 Table 5와 같다.

### 2.1.5 비빔 용수

KASS 05010.2.1.3의 규정에 따른 상수도수를 비빔용수로 사용하였다.

## 2.2 배합계획

본 연구에서는 습식 및 건식 생산방식으로 생산된 재생 잔골재(이하, 재생 잔골재라 함)에 대한 콘크리트용 재생 잔골재로서의 활용가능성을 파악하기 위하여 천연 잔골재를 재생 잔골재로 일정비율 치환함과 동시에 재생 굵은골재의 사용 유무에 따른 콘크리트의 물리적·역학적 특성을 파악하기 위해 다음과 같은 배합인자를 정하였다. 배합 계획시, 설계기준강도는  $24 \text{ N/mm}^2$ 과  $30 \text{ N/mm}^2$ 을 목표로

설정하였고, 이를 위한 단위시멘트량은 기존 레미콘 배합등을 참고로 하여  $330, 380 \text{ kg/m}^3$ 으로 정하였다. 물시멘트비는 상용콘크리트에서 일반적으로 사용되는 45, 55%를 대상으로 하였으며, 재생 잔골재를 치환하지 않은 배합의 목표 슬럼프는 현재 건축현장에서 가장 일반적으로 적용되고 있는 18mm로 하였다. 또한, 천연 잔골재에 대한 재생 잔골재의 치환율은 0, 25, 50, 75, 100%의 5개 수준으로 재생 잔골재 치환율에 따른 콘크리트의 특성변화를 분석하고자 하였다. 또한, 재생 굵은골재 사용 유무에 따른 특성변화를 파악하기 위해 재생 굵은골재 치환율을 0, 30%로 설정하였으며, AE제는 공기량이나 워커빌리티의 증진을 위해 모든 배합에 0.5%가량 첨가하였다. 이에 따른 배합인자 및 수준은 Table 6, 배합계획표는 Table 7에 나타난 바와 같다.

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 공시체 제작 및 양생 방법

실험용 공시체 제작은 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 의거하여 각 배합별로 Fig. 4와 같은 재료 투입순서에 따라 압축강도 및 인장강도 측정용 공시체( $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ )를 제작하고, 24시간 동안 양생한 후, 탈형과 동시에  $20 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 항온수조에 넣어 28일 동안 표준양생하였다.

### 2.3.2 공기량

공기량은 KS F 2421(굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법)에 의하여 워싱턴형 공기량 측정기로 측정하였다.

Table 4 Physical properties of coarse aggregates

Coarse aggregate	Unit weight ( $\text{kg/m}^3$ )	Density ( $\text{g/cm}^3$ )	Absorption (%)	Remark
Crushed	1,509	2.64	1.23	25mm >
Recycled	1,579	2.62	1.12	1 Grade (KS F 2573)

Table 5 Physical properties of air entraining agent

Type	Color	Ingredient	Toxicity	Calcium chloride	Density ( $\text{g/cm}^3$ )
Liquid	Dark brown	Synthetic Tensides	no	no	$1.20 \pm 0.02$

Table 6 Mixing factors and numbers

	Slump (mm)	W/C (%)	Replacement ratio of RFA* (%)	Replacement ratio of RCA** (%)
Factor	180	45, 55	0, 25, 50, 75, 100	0, 30
No.	1	2	5	2

\* RFA : Recycled Fine Aggregate

\*\* RCA : Recycled Coarse Aggregate

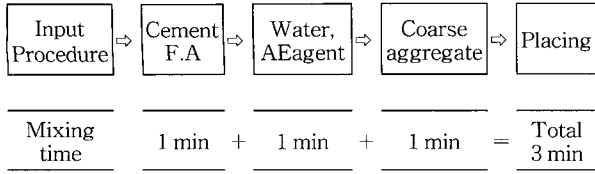


Fig. 4 Mixing procedure

### 2.3.3 슬럼프

슬럼프는 KS F 2401(굳지 않은 콘크리트의 시료 채취 방법)에 따라 시료를 채취하여 KS F 2402(포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법)에 의거하여 측정하였다.

### 2.3.4 압축강도

압축강도 측정은 각 재령별로 공시체를 3개씩 제작하여 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 따라 측정하였으며, 3회 측정값의 평균을 기록하였다.

### 2.3.5 인장강도(조깅 인장강도)

인장강도(조깅 인장강도)는 KS F 2423(콘크리트의 조깅 인장강도 시험방법)에 따라 재하속도는  $0.5\text{N/mm}^2 \cdot \text{min}$ 의 일정한 비율로 가압하여 측정하였으며, 1개조 3개씩으로 하여 그 평균값을 구하였다.

## 3. 실험 결과 및 분석

상기 2종의 재생 잔골재 즉, 수처리 공정을 통하여 생산된 습식 재생 잔골재와 사이클론 공정을 통하여 생산된 건식 재생 잔골재를 사용하여 제조한 콘크리트의 물리적 특성 실험결과는 Table 8과 같다.

### 3.1 공기량

양질의 습식 및 건식 재생 잔골재의 치환율을 각각 25%씩 단계별로 증가시켜 제조한 콘크리트의 공기량 측정결과, Fig. 5와 같이 물시멘트비 45%에서는 습식의 경우(WRAN·WRAR 45)에 4.4~7.0%, 건식의 경우(DRAN·DRAR 45)에 4.2~5.9%로 나타났다. 또한, 물시멘트비 55%에서는 습식의 경우(WRAN·WRAR 55)에 4.0~6.1%, 건식의 경우(DRAN·DRAR 55)에 3.9~5.6%로 나타나 전반적으로 낮은 물시멘트비에서 높은 공기량을 보였다.

#### 3.1.1 재생 잔골재 치환율에 따른 공기량

재생 잔골재의 치환율이 증가함에 따라 공기량은 Fig. 5와 같이 치환율이 25% 증가할 때마다 재생 잔골재의 종별과는 관계없이 평균 0.3~0.4% 증가하였다.

Table 7 Mix proportions of concrete

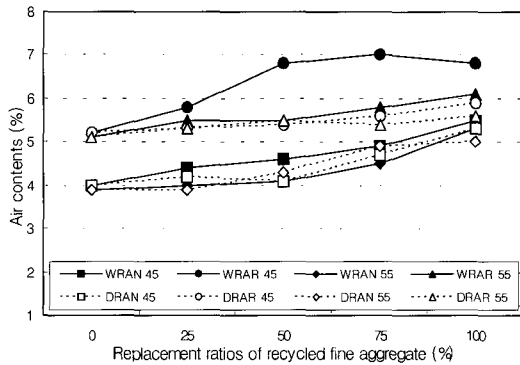
Specimen*	W/C Ratio (%)	Replacement ratio		Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )**								
		RFA(%)	RCA(%)	Cement	Water	CCA	RCA	NFA	RFA			
									Wet	Dry		
W, D	45	0	0	380	171	971	0	779	0	0		
		25		380	171	971	0	584	180	178		
		50		380	171	971	0	390	361	356		
		75		380	171	971	0	195	541	535		
		100		380	171	971	0	0	722	713		
	55	0		30	330	182	983	0	780	0	0	
		25			330	182	978	0	589	182	180	
		50			330	182	978	0	393	364	359	
		75			330	182	978	0	196	546	539	
		100			330	182	978	0	0	727	718	
	45	0	30		380	171	679	289	779	0	0	
		25			380	171	679	289	584	180	178	
		50			380	171	679	289	390	361	356	
		75			380	171	679	289	195	541	535	
		100			380	171	679	289	0	722	713	
		55		0	30	330	182	688	293	780	0	0
				25		330	182	685	291	589	182	180
				50		330	182	685	291	393	364	359
				75		330	182	685	291	196	546	539
				100		330	182	685	291	0	727	718

\* W, D : Wet type and Dry type  
 RAN : no replacement of recycled coarse aggregate  
 RAR : 30% replacement of recycled coarse aggregate  
 45, 55 : Water cement ratio (%)  
 0, 25, 50, 75, 100 : replacement ratio of recycled fine aggregate (%)

\*\* CCA : Crushed Coarse Aggregate  
 RCA : Recycled Coarse Aggregate  
 NFA : Natural Fine Aggregate  
 RFA : Recycled Fine Aggregate

**Table 8** Test results of recycled aggregate concrete

Specimen	Air content (%)		Slump (cm)								Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )						Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	
			0 min		30 min		60 min		90 min		3 days		7 days		28 days			
	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry
RAN 45/0	4.0	4.0	15.0	15.0	6.3	6.3	4.0	4.0	3.5	3.5	14.0	14.0	21.4	21.4	36.1	36.1	3.4	3.4
RAN 45/25	4.4	4.2	13.5	15.0	6.5	6.0	5.5	4.5	3.5	3.0	15.2	15.3	21.3	24.2	32.9	38.4	3.5	3.6
RAN 45/50	4.6	4.1	12.5	12.0	6.0	6.0	4.5	3.5	3.0	2.5	12.3	15.8	18.4	26.0	32.0	36.1	3.5	3.5
RAN 45/75	4.9	4.7	11.0	7.0	3.5	3.5	2.0	3.0	2.5	2.0	14.2	13.1	18.2	23.8	31.2	34.1	3.6	3.3
RAN 45/100	5.5	5.3	8.5	4.5	3.0	2.5	3.5	2.0	2.0	1.0	14.0	11.9	19.1	22.9	32.2	31.9	3.6	2.9
RAN 55/0	3.9	3.9	19.5	19.5	16.5	16.5	12.0	12.0	10.0	10.0	13.8	13.8	20.2	20.2	29.8	29.8	2.7	2.7
RAN 55/25	4.0	3.9	19.5	20.0	15.5	16.0	11.5	12.5	9.0	8.5	14.2	14.3	18.4	21.7	30.9	30.4	2.6	2.8
RAN 55/50	4.1	4.3	17.0	20.0	12.0	10.5	12.0	8.5	7.0	6.5	14.5	14.0	17.9	23.5	29.4	28.3	2.5	2.7
RAN 55/75	4.5	4.9	16.5	14.0	10.5	10.0	8.5	7.5	5.0	3.0	13.4	12.4	20.4	20.8	29.5	27.6	2.3	2.6
RAN 55/100	5.3	5.0	15.5	14.0	7.0	6.0	4.0	5.0	1.0	4.0	13.1	10.8	19.3	19.6	27.4	25.9	2.4	2.5
RAR 45/0	5.2	5.2	18.0	18.0	9.5	9.5	7.5	7.5	5.0	5.0	14.4	14.4	22.6	22.6	34.4	34.4	3.2	3.2
RAR 45/25	5.8	5.3	16.0	16.0	6.5	6.5	4.5	4.5	2.5	2.5	16.4	15.0	26.1	23.3	35.2	36.0	3.4	3.3
RAR 45/50	6.8	5.4	14.0	10.5	5.5	5.0	5.0	3.0	2.5	2.0	17.2	13.9	25.3	25.7	35.1	32.0	3.7	3.0
RAR 45/75	7.0	5.6	12.5	7.5	4.5	3.0	3.0	2.0	1.0	1.5	15.1	13.4	25.9	21.0	34.3	31.3	3.6	3.0
RAR 45/100	6.8	5.9	9.5	4.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.0	16.3	12.3	25.1	19.9	33.3	28.3	3.4	2.8
RAR 55/0	5.1	5.1	19.0	19.0	14.5	14.5	12.5	12.5	7.5	7.5	14.0	14.0	22.1	22.1	30.3	30.3	2.9	2.9
RAR 55/25	5.5	5.3	17.0	19.5	14.0	14.0	13.5	12.0	7.0	8.0	13.4	14.3	21.2	22.8	28.2	30.8	3.1	3.0
RAR 55/50	5.5	5.5	17.0	19.5	13.5	12.5	8.5	9.0	6.5	6.0	11.2	14.5	22.2	23.6	26.1	31.2	2.9	2.8
RAR 55/75	5.8	5.4	16.5	16.0	7.0	9.0	7.5	7.5	4.0	4.5	12.4	12.9	21.3	21.2	25.6	29.7	3.1	2.7
RAR 55/100	6.1	5.6	16.5	14.5	5.5	4.0	4.5	4.5	2.5	3.0	12.0	11.2	21.0	20.5	24.5	28.1	3.1	2.7



**Fig. 5** Air contents with replacement ratios of RFA and W/C ratios

물시멘트비 45%의 경우, WRAN 45에서는 재생 잔골재의 치환율이 25%씩 단계별로 증가함에 따라 평균 0.4% 정도 공기량 증가를 보여 재생 잔골재 치환율 100%에서는 4.0%에서 6.1%로 공기량이 2.1% 증가하였다. 또한, DRAN 45에서는 습식 재생 잔골재를 사용한 콘크리트보다는 적지만 평균 0.3% 정도 공기량이 증가하는 현상이 나타나 재생 잔골재의 치환율이 증가함에 따라 전반적으로 공기량이 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 물시멘트비 55%의 경우, WRAN 55에서는 재생 잔골재 치환율 증가

에 따라 평균 0.4%씩 공기량이 증가하였으며, DRAN 55에서는 평균 0.3%씩 공기량이 증가하는 것으로 나타났다.

기존의 연구결과에 의하면 재생골재 사용한 콘크리트는 재생골재 생산시 다공성 모르타르 입자들이 포함되고 이러한 재생골재를 콘크리트에 적용할 경우 모르타르 입자들이 가지고 있는 기포들에 의해 콘크리트의 전체적인 공기량을 상승시키는 것으로 알려져 있다<sup>6)</sup>. 하지만, Fig. 5에서와 같이 습식 재생 잔골재 콘크리트가 건식 재생 잔골재 콘크리트보다 공기량의 변화가 크게 나타난 원인은 일반적으로 미분은 공기량을 흡착하여 콘크리트의 공기량을 감소시키게 되는데, 건식 재생 잔골재는 파쇄과정시 발생된 미분의 제거율이 습식 공정을 적용한 경우보다 높지 않아 콘크리트 골재로 사용하였을 경우 콘크리트 내부의 공기량을 다소 흡착하였기 때문인 것으로 사료된다.

### 3.1.2 재생 굵은골재 사용에 따른 공기량

굵은골재의 일부를 재생 굵은골재로 치환하여 사용한 콘크리트(RAR)의 경우, 원골재 표면에 붙어있는 모르타르의 영향으로 인해 전반적으로 공기량이 다소 증가하는 것으로 나타났다. RAR 45의 경우 평균 1.3%, RAR 55의 경우에는 평균 1.1% 정도 콘크리트 내부의 전체 공기량이 상승하는 결과를 보였다.

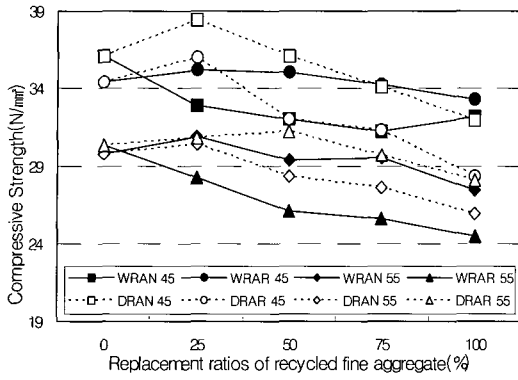
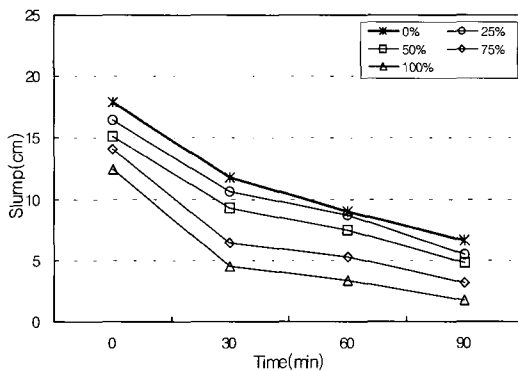
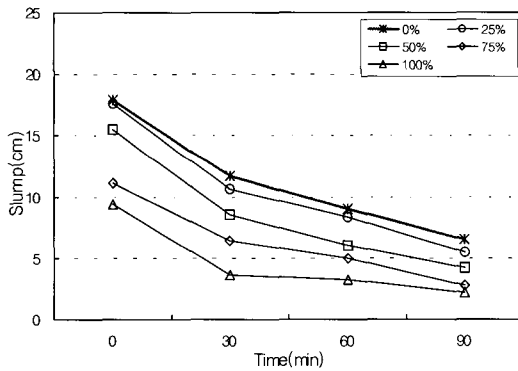


Fig. 6 Slump with replacement ratios of recycled fine aggregate



(a) Wet type



(b) Dry type

Fig. 7 Loss of slump with time since mixing (average)

## 3.2 슬럼프

### 3.2.1 재생 잔골재 치환율에 따른 비빔직후 슬럼프

Fig. 6과 같이 재생 잔골재에 포함된 모르타르 양에 따라 슬럼프 특성에 차이가 있으나, 본 연구에서는 대체적으로 재생 잔골재의 치환율이 높아질수록 비빔직후 슬럼프가 감소하는 경향을 나타내었다.

WRAN·WRAR 45의 경우, Fig. 6과 같이 19.5~10.0 cm로 치환율 증가에 따라 평균 2.5 cm 정도 슬럼프값이

감소된 반면, DRAN·DRAR 45는 18.0~4.5 cm로 치환율 증가에 따라 평균 3.4 cm 정도 슬럼프값이 감소하였다. 또한, WRAN·WRAR 55배합은 21.0~17.0 cm로 재생 잔골재 치환율 증가에 따라 평균 1.0 cm 정도 슬럼프값이 감소된 반면, DRAN·DRAR 55배합은 18.0~4.5 cm로 평균 1.4 cm 정도 슬럼프값이 감소하였다.

RAN·RAR 45의 경우, RAN·RAR 55에 비해 단위수량이 적고 상대적으로 재생 잔골재에 흡착된 배합수가 많기 때문에 재생 잔골재 치환율에 따른 슬럼프 저하폭이 큰 것으로 판단되며, 건식 재생 잔골재 콘크리트의 슬럼프 감소량이 습식 재생 잔골재 콘크리트보다 높게 나타난 원인은 과쇄과정에 발생된 미분이 다량으로 혼입되어 상대적으로 슬럼프 저하폭이 크게 된 것으로 사료된다.

### 3.2.2 재생 잔골재 치환율에 따른 슬럼프 경시변화

Fig. 7은 건식 및 습식 재생 잔골재의 치환율에 따른 재생 잔골재 콘크리트의 경시별 슬럼프를 나타낸 것으로서, 천연 잔골재를 사용하여 제조한 콘크리트의 비빔직후 슬럼프는 평균 17.9 cm로 나타났고, 90분 후 측정된 슬럼프는 6.5 cm로 나타나 약 64% 감소한 것으로 나타났으나, 습식 재생 잔골재를 혼입한 콘크리트(WRA)는 비빔직후의 슬럼프가 평균 14.6 cm에서 3.8 cm로서 약 74% 감소한 것으로 나타났다. 또한, 건식 재생 잔골재를 혼입한 콘크리트(DRA)는 비빔직후 평균 13.2 cm에서 3.3 cm로서 슬럼프가 약 75% 감소하는 것으로 나타났다.

일반적으로 재생골재의 치환율 및 시간이 증가함에 따라 슬럼프는 저하하는 것으로 알려져 있다<sup>3)</sup>. 본 연구에서도 재생 잔골재를 혼입한 콘크리트의 경시별 슬럼프 감소율이 천연 잔골재를 사용한 배합보다 좀더 뚜렷하게 나타나, 재생 잔골재를 콘크리트용 골재로 사용시 혼화제 사용 계획의 개선 등 슬럼프 저하에 대한 대비책이 마련되어야 할 것으로 판단된다<sup>2)</sup>.

또한, 습식 재생 잔골재 콘크리트보다 싸이클론을 이용하여 생산된 건식 재생 잔골재를 사용하여 제조한 배합이 90분 경과 후 측정된 슬럼프 저하율에서 더 높은 것으로 나타났는데, 이는 앞에서 언급한 바와 같이 건식 재생 잔골재 생산과정에서 발생된 미분이 배합수를 흡착하였기 때문인 것으로 사료된다<sup>8)</sup>.

## 3.3 압축강도

### 3.3.1 재생 잔골재 치환율에 따른 압축강도

습식 및 건식 재생 잔골재를 사용하여 제조한 콘크리트의 재령 28일 압축강도는 Fig. 8과 같이 물시멘트비 45%와 물시멘트비 55%에서 각각 25.9~36.1 N/mm<sup>2</sup>와 24.1~30.3 N/mm<sup>2</sup>의 범위를 보였으며, 일부 치환율에서는 천연 잔골재를 사용한 콘크리트와 유사한 압축강도 발현을 보이는

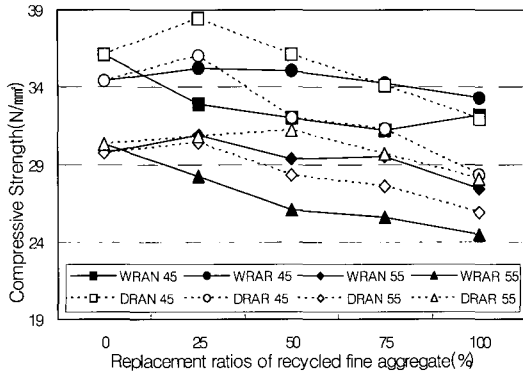


Fig. 8 Compressive strength with replacement ratios of recycled fine aggregates

배합도 있었으나 전반적으로 재생 잔골재 치환율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

물시멘트비 45%의 경우, 습식 재생 잔골재를 사용하여 제조한 배합(WRAN·WRAR 45)에서는 Fig. 8과 같이 치환율이 증가함에 따라 압축강도 범위는 31.2~36.1N/mm<sup>2</sup>로서 재생 잔골재 치환율 25%씩 증가함에 따라 평균 1N/mm<sup>2</sup>가 감소하는 것으로 나타났다. 하지만, 건식 재생 잔골재를 사용하여 제조한 배합(DRAN·DRAR 45)에서는 28.3~38.4N/mm<sup>2</sup>로서 재생 잔골재 치환율 25%까지 증가하다가 감소하는 추이를 보였다. 물시멘트비 55%의 경우, 습식 재생 굵은골재를 사용하지 않은 배합(WRAN·WRAR 55)에서는 압축강도 범위는 24.5~30.9N/mm<sup>2</sup>로서 Fig. 8과 같이 치환율 25%까지는 유사 혹은 다소 증진된 압축강도를 보이다가 점차 감소하는 현상을 보였으며, 건식 재생 잔골재를 사용하여 제조한 배합(DRAN·DRAR 55)의 압축강도 범위도 25.9~30.8N/mm<sup>2</sup>로서 재생 잔골재 치환율 25%까지 증가하다가 감소하는 것으로 나타났다.

따라서, 재생 잔골재 콘크리트는 기존 관련 연구와 유사하게 재생 잔골재의 생산공정과는 관계없이 물시멘트비가 높은 즉, 단위수량이 상대적으로 많아 잉여수량이 많은 배합에서 재생 잔골재 치환율에 따른 강도저하율이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

### 3.3.1 재령에 따른 압축강도

습식 재생 잔골재를 사용한 콘크리트의 재령 3일 압축강도는 WRAN·WRAR 45, WRAN·WRAR 55에서 각각 12.3~17.2N/mm<sup>2</sup>과 11.2~14.5N/mm<sup>2</sup>의 압축강도를 보였으며, Fig. 9와 같이 평균적으로 재생 잔골재 치환율 25%까지는 증가되다가 치환율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 따라서, 습식 및 건식 재생 잔골재를 콘크리트용 골재로서 사용한 콘크리트를 현장에 적용할 경우에도, 25~50%수준의 낮은 치환율을 적용할 경우에는 초기재령에서 거푸집의 해체 등으로 인한 공사하자 등의 발생 우

려는 없을 것으로 판단된다<sup>7)</sup>.

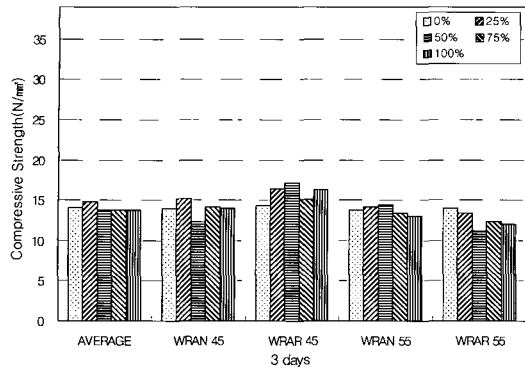
WRAN·WRAR 45에서는 치환율 25%까지 9% 정도 증가한 반면, WRAN·WRAR 55에서는 치환율 50%까지 5% 정도 증가하는 경향을 보였다. 또한, 건식 재생 잔골재를 사용한 콘크리트는 DRAN·DRAR 45, DRAN·DRAR 55에서 각각 11.9~15.8N/mm<sup>2</sup>과 11.2~14.5N/mm<sup>2</sup>의 압축강도를 보였으며, 치환율 50%까지는 증가되다가 감소하는 경향을 보였다. DRAN·DRAR 45에서는 건식 재생 잔골재 치환율 50%까지 약 13% 증가한 반면, DRAN·DRAR 55에서는 치환율 50%까지 약 4% 증가하는 경향을 보였다. 이때 건식 및 습식 생산방식에 관계없이 재생 잔골재 치환율 25~50%에서 전반적으로 증진된 압축강도를 나타낸 원인은 재생 잔골재의 모르타 입자 및 미분말 등에 의한 물시멘트비 저감효과로 사료된다.

습식 재생 잔골재 콘크리트의 재령 7일 압축강도는 WRAN·WRAR 45, WRAN·WRAR 55%에서 각각 18.2~26.1N/mm<sup>2</sup>과 17.9~22.2N/mm<sup>2</sup>의 압축강도를 보였다. 그리고, 건식 재생 잔골재 콘크리트의 재령 7일 압축강도도 DRAN·DRAR 45, DRAN·DRAR 55에서 각각 19.9~26.0N/mm<sup>2</sup>과 19.6~23.6N/mm<sup>2</sup>의 압축강도를 나타내었으며, 재생 잔골재 치환율에 따라 재령 3일과 대체적으로 유사한 압축강도를 발현하였다.

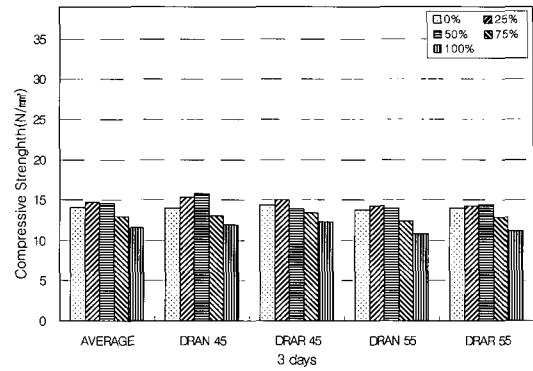
재령 28일 습식 재생 잔골재의 치환율 증가에 따른 콘크리트 압축강도는 WRAN·WRAR 45, WRAN·WRAR 55에서 각각 31.2~36.1N/mm<sup>2</sup>과 24.5~30.9N/mm<sup>2</sup>의 압축강도를 보였다. 건식 재생 잔골재 콘크리트의 재령 28일 압축강도 또한 DRAN·DRAR 45, DRAN·DRAR 55에서 각각 31.3~38.4N/mm<sup>2</sup>과 25.9~30.8N/mm<sup>2</sup>의 압축강도를 보여 재령 3일 및 재령 7일에서 관찰되었던 재생 잔골재 치환율 25~50% 수준에서 최대의 압축강도를 보였다.

일반적으로 콘크리트는 워커빌리티를 확보하기 위하여 강도발현에 필요한 배합수보다 많은 양의 물을 사용하게 되는데, 재생 잔골재에 포함된 미분은 이렇게 사용된 잉여수를 흡착하여 콘크리트의 전반적인 물시멘트비와 블리딩을 줄이고 그에 따라 콘크리트의 내부를 밀실하게 하여 강도 및 내구성능의 증진이 가능한 것으로 사료된다<sup>10)</sup>.

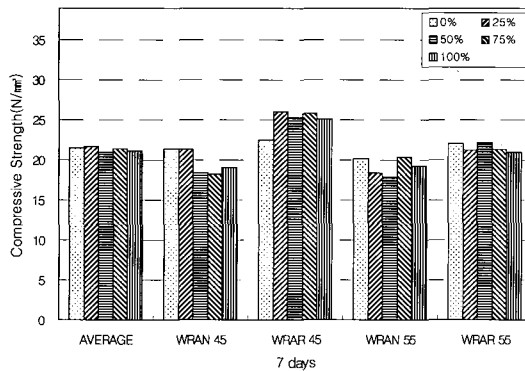
예를 들면, 건식 재생 잔골재 콘크리트의 재령 28일 압축강도는 치환율 25% 이후에 압축강도가 점차 감소하는 것으로 나타났지만, DRAN·DRAR 55에서는 재생 잔골재의 치환율 50% 수준까지도 천연 잔골재를 사용한 배합 이상의 강도발현을 보였다. 또한, DRAN 45에서는 재령 28일의 압축강도 결과에서 DRAR 45가 높은 압축강도를 나타내었지만, DRAN·DRAR 55에서는 반대로 재생 굵은골재를 사용한 배합이 높은 강도를 보였다. 이러한 결과로 보아, 비교적 고품질의 재생골재를 사용하여 제조한 콘크리트의 경우 보통콘크리트와 유사하거나 오히려 다소 개선된 콘크리트의 제조 또한 가능할 것으로 사료된다<sup>9)</sup>.



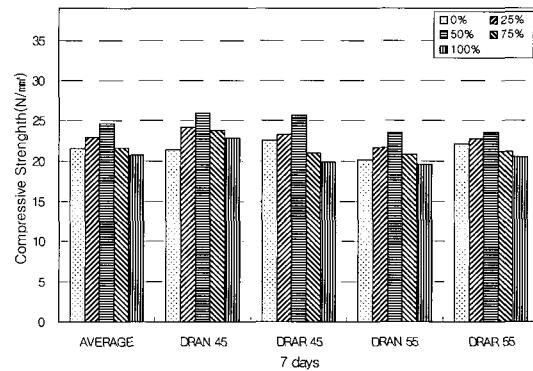
(a) Wet type / 3 days



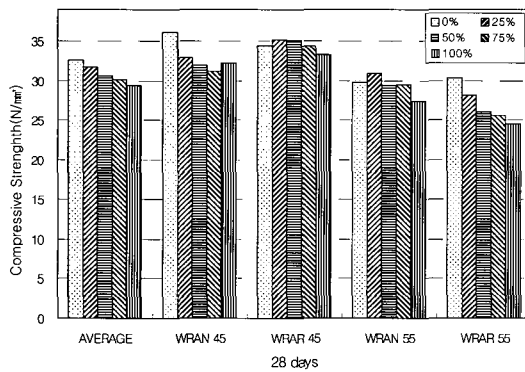
(b) Dry type / 3 days



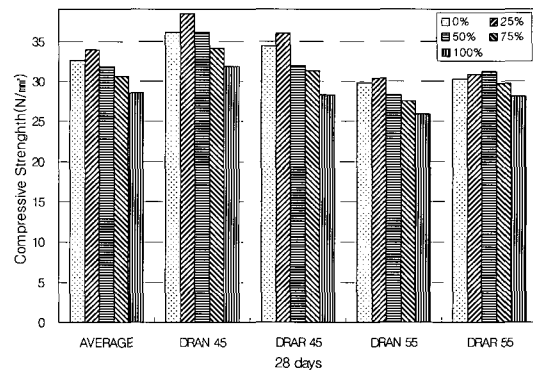
(c) Wet type / 7 days



(d) Dry type / 7 days



(e) Wet type / 28 days



(f) Dry type / 28 days

Fig. 9 Compressive strength with curing days

### 3.4 인장강도

습식 재생 잔골재를 사용한 콘크리트의 인장강도는 Fig. 10과 같이 재생 잔골재 치환율 증가에 따라 WRA N·WRAR 45, 55에서 각각  $3.2\sim 3.7\text{N/mm}^2$ 와  $2.3\sim 3.1\text{N/mm}^2$ 의 범위로 나타났으며, 재생 잔골재 치환율 50% 수준에서 천연 잔골재만을 사용한 배합보다 개선된 결과를 보였다.

또한, 건식 재생 잔골재를 사용한 콘크리트는 DRAN·DRAR 45, 55에서 각각  $2.8\sim 3.6\text{N/mm}^2$ 와  $2.5\sim 3.0\text{N/mm}^2$ 의 범위로 나타났으며, 재생 잔골재 치환율 25~50%에

서 가장 높은 인장강도를 발현하였다. 이 또한 재생 잔골재의 입도범위 속에 포함된 흡수율이 높은 모르타르 입자와 미분말이 콘크리트의 실질적인 물시멘트비 저감을 초래한 결과로 사료된다.

## 5. 결 론

건식 및 습식 생산방식에 의해 생산된 재생 잔골재를 사용한 콘크리트의 특성을 분석하여 콘크리트용 재생 잔골재로서의 활용가능성에 대해 연구·분석한 결과는 다음과 같다.



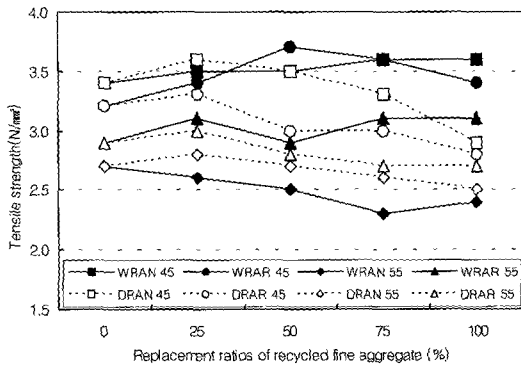


Fig. 10 Tensile strength with replacement ratios of recycled fine aggregate

- 1) 굳지 않은 콘크리트의 공기량은 생산방식에 관계없이 재생 잔골재의 치환율을 증가에 따라, 혹은 색석을 재생 굵은골재로 일부 대체한 배합 등에서 전반적으로 증가하는 경향을 보였다. 하지만, 건식 재생 잔골재 콘크리트의 경우는 습식 재생 잔골재 콘크리트보다 상대적으로 많은 미분이 공기포를 흡착하여 상대적으로 낮은 공기량을 나타냈다.
- 2) 슬럼프는 재생 잔골재의 치환율이 증가됨에 따라 전반적으로 감소되는 경향을 보였으나, 재생 굵은골재를 사용한 경우에는 입형개선 등으로 일부에서는 다소 증가되는 경우도 있었다. 경시별 슬럼프 감소폭은 재생 잔골재 치환율이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 하지만, 건식으로 생산된 재생 잔골재의 경우는 잔골재 내부에 포함된 미분함량이 습식 재생 잔골재보다 많아 치환율 증가에 따른 및 경시별 슬럼프 저하율이 상대적으로 높게 나타났다.
- 3) 재생 잔골재 콘크리트의 압축강도는 재생 잔골재 생산 방식에 관계없이 재생 잔골재의 치환율이 증가함에 따라 전반적으로 감소되는 것으로 나타났으나, 재생 잔골재 치환율 25~50%에서 물시멘트비 감소효과에 의해 부분적으로 증가하는 현상도 나타났다. 한편, 재령별 강도발현 양상에서는 거푸집 해체시기 등에 영향을 미치는 초기강도와 설계기준강도인 28일 압축강도에서 재생 잔골재의 사용이 악영향을 미치지 않음을 알 수 있었고, 물시멘트비의 감소에 따라 압축강도의 피크점에 이르는 잔골재 치환율이 감소되는 경향이지만, 습식 재생잔골재콘크리트의 경우 50%수준까지, 건식 재생 잔골재 콘크리트의 경우 25%수준까지 커다란 강도의 저하현상 없이 적용이 가능함을 알 수 있었다.
- 4) 인장강도 역시, 압축강도와 마찬가지로 재생 잔골재 생산방식(건식/습식)에 관계없이 재생 잔골재 치환율 25~50%를 기준으로 전반적으로 감소하는 결과를 보였다.

5) 전반적으로 습식 생산된 재생 잔골재를 사용한 콘크리트의 경우 공기량, 슬럼프 등에서 건식 생산된 재생 잔골재를 사용한 배합보다 다소 우수한 물성을 보였다. 하지만, 습식 생산방식의 경우 물을 사용하는 용수를 사용하고 계절에 영향을 받는 단점을 고려하면 건식 생산공정도 저렴한 생산비용으로 일정수준이상의 물리적인 성질확보는 가능한 것으로 판단된다.

이상의 결과로 보아, 재생 잔골재의 생산방식 및 물리적 성질에 따라 다소 차이는 있을 것으로 사료되나 습식이나 건식 공정을 통해 재생 잔골재의 성능을 저하시키는 모르타르 입자 혹은 미분을 제거한 양질의 재생 잔골재는 25% 수준의 치환율을 적용할 경우, 물리적·역학적 성질에 심각한 저해 없이 콘크리트의 재성질 발현이 가능한 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 한국레미콘공업협회, “재생골재콘크리트의 제조기술 및 활용방안”, 한국레미콘공업협회, 1998. 4, pp.18~32
2. 신동인, “폐콘크리트의 품질이 재생콘크리트의 특성에 미치는 영향”, 명지대학교 박사학위논문, 1998, pp.57~62
3. 이세현, “재생골재콘크리트의 성능개선에 관한 연구”, 건국대학교 박사학위논문, 2001, p.25
4. 연세대학교, “폐콘크리트를 이용한 재생골재의 표준화 및 품질평가시스템”, 국립기술품질원, 1998, pp.7~17
5. 한국콘크리트학회, “재생(순환)골재 및 재생(순환)골재 콘크리트 정책 및 세미나”, 한국콘크리트학회 재생콘크리트위원회 세미나, 2004, pp.III-24~III-45
6. 建設業協會建設廢棄物處理再利用委員會, “再生骨材コンクリートに関する研究報告書”, 建設業協會建設廢棄物處理再利用委員會, 1986, pp.89~91
7. 建設省土木研究所コンクリート研究室, “再生骨材を用いたコンクリートの設計施工指針(案)”, 土木研究資料, No. 2418, 1986, pp.73~76
8. 森田司郎 他 6名, “再生コンクリートについての基礎的研究”, 第8回生コン技術大會研究發表論文集, 1995, pp.61~66
9. 笠井芳夫, 阿部道彦, 柳啓, “再生コンクリートの諸物性に關する實驗的研究”, セメント・コンクリート論文集 No.50, 1996, pp.802~807
10. Frondistou Y.S., “Waste concrete as aggregate for new concrete,” ACI Journal, 1977, pp.373~376

---

## 요 약

습식 및 건식 생산방식에 의해 생산된 양질의 재생 잔골재를 사용한 콘크리트의 특성을 분석하여 콘크리트용 재생 잔골재로서의 활용가능성에 대해 연구·분석한 결과는 다음과 같다.

재생 잔골재 콘크리트의 공기량은 재생 잔골재의 생산시 포함된 모르타르로 인해 치환률 증가에 따라 공기량이 상승되는 것으로 나타났다. 하지만 건식 생산된 잔골재를 사용한 콘크리트의 경우, 공기량의 증가율이 상대적으로 낮았다. 슬럼프는 습식 및 건식 생산공정과는 관계없이 재생 잔골재의 치환율이 증가됨에 따라 전체적으로 감소되는 경향을 보였다. 이는 재생 잔골재에 있는 모르타르 입자가 콘크리트의 잉여수를 흡착하여 유동성을 저하시켰기 때문인 것으로 판단된다. 압축강도는 재생 잔골재 치환율이 증가함에 따라 전반적으로 감소되는 것으로 나타났으나, 배합에 따라 재생 잔골재 치환율 25, 50%에서 물시멘트비 감소효과에 의한 부분적 증가 현상도 나타났다. 이러한 현상은 조기재령에서도 동일하게 나타나 재생골재콘크리트의 현장적용시에도 응결지연 등에 대한 우려는 없을 것으로 판단된다. 인장강도 결과 역시, 습식 및 건식 재생 잔골재 혼입률 25% 수준에서 가장 우수한 인장강도를 보였다.

이를 종합하면, 재생 잔골재의 종류 및 물리적 성질에 따라 다소 차이는 예상되나, 콘크리트용 골재로서 건식 및 습식 생산된 재생 잔골재를 콘크리트용 골재로서 대체 사용하는 경우, 물시멘트비 등에 따라 다소 차이는 있었으나 전반적으로 치환율 25% 이하에서는 물리적·역학적 성질에 심각한 저하 현상 없이 콘크리트의 제성질 발현이 가능한 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 재생 잔골재, 재생콘크리트, 습식 공정, 건식 공정

---