

## 재생골재 콘크리트의 내구특성에 관한 실험적 연구

서치호<sup>1)\*</sup> · 김병윤<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 건국대학교 건축대학 건축공학과

(2004년 10월 20일 원고접수, 2005년 4월 15일 심사완료)

### An Experimental Study on the Durability of Recycled Aggregate Concrete

Chi-Ho Seo<sup>1)\*</sup> and Byung-Yun Kim<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Architecture Engineering Konkuk University, Seoul, 143-701, Korea

(Received October 20, 2004, Accepted April 15, 2005)

#### ABSTRACT

The object of this study is to prove the quality and reliability of recycled aggregate concrete by finding a way to improve the durability of the material through the experiment on the accelerated carbonation, freezing and thaw, and drying shrinkage, analysing the influence on the durability to promote more active use of recycled aggregate concrete. The result of study as follows. (1) Resistibility to the freeze and thaw of the recycled aggregate concrete showed relative dynamic modulus of elasticity over 90% which is very good, and all cycles show 99.2~91.0% dynamic modulus of elasticity which is improved compared with the 97.5~90.6% relative dynamic modulus of elasticity of ordinary concrete made of broken stone. (2) Carbonated thickness of the recycled aggregate concrete and the normal concrete was similar or it appeared with the tendency which it diminishes more or less. (3) Length change rate in drying contraction of the recycled aggregate concrete made of the recycled aggregate was lower than the ordinary concrete made of the broken stone by 18.5~3.9% in all blending.

**Keywords :** recycled aggregate, carbonation resistance, drying shrinkage, Freeze and thaw, Durability

#### 1. 서 론

최근 주거환경개선을 위한 재건축, 재개발 등의 건설공사 증가는 콘크리트 폐재량의 증가에 따른 폐재처리장의 부족과 양질의 천연골재 부족 및 환경파괴 등의 많은 사회적 문제를 야기 시키고 있다. 따라서 이를 해결하기 위하여 콘크리트덩어리에서 추출되는 재생골재를 콘크리트 용으로 재이용 할 수 있는 방안이 다각적으로 활발히 진행되고 있다. 이와 관련하여 2003년 12월에 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」이 국회 본회의에서 통과되어 건설폐기물의 친환경적 적정처리, 천연골재의 대체자원으로 활용가능한 양질의 재생골재 생산 유도 및 재생골재 사용 의무화 등의 근거가 마련됨으로서 향후 재생골재 콘크리트에 대한 사회적인 요구는 한층 더 증가할 것으로 예상된다.<sup>1)</sup>

이와 같은 관점에서 재생골재는 60년대 이후 산업화 시대에 축조된 구조물에 대한 재개발, 재건축으로 인한 구조

물의 해체공사시 발생하는 폐콘크리트를 파쇄하여 생산되는 골재로서 이에 대한 효율적 활용여부에 따라 콘크리트 용 골재 등의 새로운 골재원으로 그 가능성을 평가받고 있는 고부가가치의 건설재료이다.

그러나 수년간 재생골재에 대한 활용 연구, 기술적 지침 마련, 활용에 대한 관련 법안 마련 등이 이루어지고 있음에도 불구하고, 재생골재 품질관리의 어려움, 관련 연구의 미비 등을 이유로 상하수도, 가스, 송유관 매설시 사용하는 매립재 등과 같은 저급용도에 한정되어 사용되고 있는 실정이다.<sup>2)</sup>

그러므로 이러한 상황 속에서 지금까지 비구조용으로 국한되어 사용되어 온 재생골재 콘크리트의 활용 증대를 위해서는 구조용으로서의 사용방안을 모색하는 것은 필수적이라 할 수 있다. 현재 실내실험 및 문헌분석을 통하여 재생골재 콘크리트의 다양한 특성들이 분석되고 그에 따른 각종 기준 및 지침들이 정비되고 있지만, 국내에서 구조용 재생골재 콘크리트에 대한 내구적 특성 분석을 통한 장기 안정성 검토를 실시한 예는 매우 부족한 실정이다. 따라서 다양한 내구특성 실험을 통한 구조용 재생골재 콘크리트의 내구성평가를 실시하여 그 적용성을 검증하는 연구

\* Corresponding author

E-mail : chseo@kkucc.konkuk.ac.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

는 매우 시급하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 재생골재 콘크리트의 적극적인 활용을 위하여 재생골재를 대체율에 따라 혼합골재로 하는 재생골재 콘크리트의 동결융해 저항성, 탄산화 저항성 및 건조수축에 대한 시험을 실시하여, 내구성특성의 영향요인을 분석하고 내구성 증진방안을 강구함으로써 재생골재 콘크리트의 품질과 신뢰성을 확보하는데 그 목적이 있다.

## 2. 기존의 연구동향

### 2.1 연구동향

Y. Kasai<sup>3)</sup>는 재생골재를 0, 30, 50 및 100% 대체 사용한 재생골재 콘크리트의 건조수축에서는 50% 이하의 대체율에서 보통 콘크리트와 대단히 유사한 건조수축률을 나타내며, 100%로 대체할 경우 건조수축은 보통 콘크리트보다 더 커지게 된다고 발표하였다. 양생조건에 따른 재생골재 콘크리트의 건조수축에 대해 崎山<sup>4)</sup> 등은 재생골재 콘크리트 공시체의 양생조건이 길이변화에 주는 영향을 실험적으로 조사하여, 재생골재의 대체율이 50%의 피막 양생 재생콘크리트의 길이변화는 천연골재 콘크리트의 피막 양생한 경우와 거의 동등하게 된다는 연구발표를 하였다.

柳橋<sup>5)</sup> 등의 재생골재 콘크리트의 촉진탄산화깊이 시험에서는 재생골재를 사용한 콘크리트가 쇄석을 사용한 콘크리트와 동등하거나 약간 큰 탄산화깊이가 나타났으며, 이는 단위시멘트량의 차이에 의한 것으로 보고하였다. 또한 立屋<sup>6)</sup> 등의 연구에서도 가열 파쇄한 재생골재를 이용한 고품질 재생골재 콘크리트의 촉진탄산화 실험에도 동일한 결과를 나타내었으며, 이는 재생골재 콘크리트도 보통 콘크리트와 같이 물시멘트비에 의해 의존한다는 내용을 발표하였다.

재생골재를 보통골재로 치환 사용한 재생콘크리트의 내동결융해성에 대해서는 笠井 등의 연구<sup>7)</sup>에서, 보통골재를 재생골재로 10, 20, 30, 50, 100% 치환 사용한 재생콘크리트에서, 100% 치환 사용한 경우 내구성지수는 66%, 치환율 50% 이하의 경우는 내구성지수가 94~100% 정도로 내동결융해성에 대해서는 우수한 결과를 나타내었으며, 이러한 경향은 菊池, 道正 등의 연구에서도 비슷하게 보고 되었는데, 치환율 30%이하에서는 내동결융해성이 문제가 없다고 보고<sup>8)</sup>하였다.

또한 재생골재를 전량 사용한 재생콘크리트의 내동결융해성에 대해서는 柳, 笠井의 연구<sup>9)</sup>에서, 통상적인 방법으로 파쇄 제조된 재생골재를 전량 사용한 재생콘크리트의 내구성지수는 물시멘트비가 클수록 점점 작아지는 경향을 보이고, 물시멘트비가 50%와 55%는 내구성지수 90% 이상을 보이고, 물시멘트비가 65%는 80%로 저하된다고 보

고하였다. 콘크리트중의 재생골재의 사용량이 증가됨에 따라 내구성 지수가 저하되는 경향을 보이고, 이런 정도는 재생골재의 흡수율 등의 영향이 큰 것으로 판단된다.

### 2.2 본 연구의 위치

Table 1은 국내 재생골재 관련연구가 시작된 1993년부터 현재까지 재생골재를 혼합골재로 하는 구조용 재생골재 콘크리트의 관련연구발표 횟수를 KS F 2573(콘크리트용 재생골재)의 규격에 따라 정리한 것으로, 본 연구 범위의 1종 재생골재를 사용한 재생골재 콘크리트의 내구성특성에 관한 연구는 매우 부족한 실정으로 구조체 적용을 위한 장기안정성 관련연구가 절실히 요구된다.

## 3. 실험

### 3.1 사용재료

#### 3.1.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201 규정을 만족하는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

#### 3.1.2 플라이애쉬

본 실험에 사용된 플라이애쉬의 특성은 Table 2와 같다.

#### 3.1.3 굵은골재

천연 굵은골재는 일반적으로 레디믹스트 콘크리트 제조시 적용되고 있는 25mm 이하의 쇄석을 사용하였다. 재생골재는 KS F 2573(콘크리트용 재생골재)의 1종의 규격을 만족하는 재생골재를 사용하였으며, 이에 대한

Table 1 Location of study

Property	Recycled aggregate concrete							
	Mechanical				Durability			
	Recycled aggregate				Recycled aggregate			
Type (KS F 2573)	1	2	3	-	1	2	3	-
Absorption (%)	3% down	5% down	7% down	7% up	3% down	5% down	7% down	7% up
Year								
2003~	○	◎				○	○	
2000~2002	◎	○	○	◎		○	○	
~1999		◎	●	◎			○	○

\* ○ : 1~2 Time, ◎ : 3~4 Time, ● : 5 Time up

Table 2 Properties of fly-ash

Chemical properties(%)			Physical properties			
Moisture content	Ignition loss	SiO <sub>2</sub>	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fine-ness (cm <sup>2</sup> /g)	Ratio of unit water (%)	Ratio of comp. strength (%)
0.2	2.7	58.6	2.25	3,770	100	88.4

물리적인 성질은 Table 3과 같다. 또한 재생골재의 대체율에 따른 혼합골재의 입도분포는 Fig. 1과 같다.

### 3.1.4 잔골재

본 실험에서 사용한 잔골재는 인천산 세척 해사를 사용하였다. 물리적 성질은 KS F 2504(잔골재의 비중 및 흡수량 시험방법), KS F 2505(골재의 단위용적 중량 시험방법)에 따라 기초 물성을 시험하였으며, 그 결과는 다음 Table 4와 같다.

## 3.2 배합계획

본 실험은 재생굵은골재를 대체율에 따라 혼합골재로 하는 재생골재 콘크리트의 내구특성을 도출하고, 이를 천연골재를 사용한 보통 콘크리트와 비교·분석하기 위하여 배합을 계획하였다. 재생골재 콘크리트의 물리적 및 역학적 특성 연구에 대한 분석을 통해 설계기준강도는 구조용 활용가능 범위로 현재 범용으로 사용되고 있는 24MPa로 설정하였다. 흡수율이 보통골재에 비해 다소 높은 재생골재의 특성을 고려하여 단위수량은 175, 185 kg/m<sup>3</sup>으로 결정하여 그 내구특성을 비교하였다. 일반적인 콘크리트용 혼화재로서의 Fly-Ash는 약 7~12%가량 사용되는 것으로 보고 되고 있으나, 본 실험적 연구에서는 학술적인 성격으로 현장적용을 위하여 0, 10%로 대체하여 재생골재 콘크리트에 대한 영향을 분석하고자 하였다.

또한 기존 문헌이나 연구결과에 의하면, 천연골재에 대한 재생골재의 최적 혼입률은 약 25~30% 수준으로 알려져 있으나, 본 연구에서는 재생골재의 적극적인 활용을 위하여 0, 15, 30, 45, 60%씩 총 5개 수준의 단계별로 대체하여, 재생굵은골재의 대체율에 따른 특성 변화를 관측하고자 하였다.

이에 따른 배합 인자 및 수준은 Table 5와 같다.

## 3.3 실험방법

### 3.3.1 동결융해 저항성

재생골재 콘크리트의 동결융해 작용에 의한 내구성 저하를 검토하기 위하여 80×100×400 mm의 시험체를 제작하여 2주간 수중양생을 실시한 후 KS F 2456(급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항시험법)의 시험방법 중 B방법인 기중동결, 수중융해 조건으로 콘크리트 시편에 간극수의 빙점 이하의 온도와 빙점 이상의 온도를 주기적으로 가하여 실험을 실시하였다.

### 3.3.2 탄산화 저항성

시험체의 전처리는 실험체를 탈형한 후, 습윤상태에서 20±2℃를 유지하며 4주간 양생하고, 상대습도 60±5%, 온

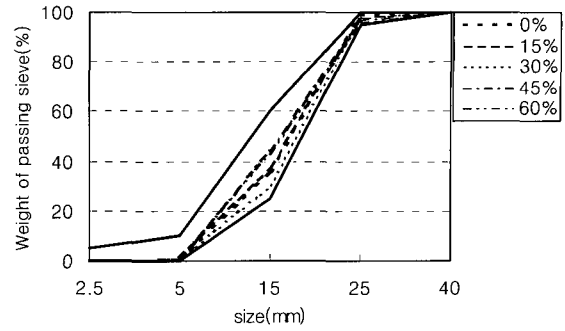


Fig. 1 Combined aggregate grading

Table 3 Properties of recycled coarse aggregate

Type	Unit volume weight (t/m <sup>3</sup> )	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	Solid volume (%)	Finess modulus
Aggregate	1.67	2.69	1.15	56.43	7.28
Recycled aggregate	1.52	2.61	2.62	61.27	6.64

Table 4 Properties of fine aggregate

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	Finess modulus	Unit volume weight (t/m <sup>3</sup> )	Solid volume (%)
Sand	2.57	1.42	2.79	1.62	55.76

Table 5 Factors and levels of mixing

Type	fck (MPa)	W (kg/m <sup>3</sup> )	Recycled aggregate replacement ratio (%)	Fly-ash replacement ratio (%)
Factors	24	175, 185	0, 15, 30, 45, 60	0, 10
Levels	-	2	5	2

도 20±2℃의 항온항습실에서 다시 4주간 정치·건조하였다. 축진탄산화 시험은 전 양생기간 8주 경과 후 온도 20±2℃, 상대습도 60±5%, 탄산가스농도 5.0±0.2%의 조건으로 행하였다. 실험체 주변의 환경조건을 균등하게 하기 위하여 시험체의 간격을 20mm 이상으로 하고 시험체의 측면이 수직이 되도록 배치하였으며, CO<sub>2</sub>의 균등한 공급을 위해 주입구 노즐을 분산 배치하였다.

측정은 소정의 재령(1, 2, 4, 8주)에서 실험체의 끝단부터 약 5cm 직각으로 절단하고, 1%의 페놀프탈레인 용액을 분사한 후, 콘크리트 표면에서 착색부분(자적색)까지의 거리를 4개면에서 1개소씩 버니어캘리퍼스로 계측하여 평균 값을 탄산화 깊이(탄산화 심도)로 판정하였다.

### 3.3.3 건조수축

재생골재 콘크리트의 건조수축에 의한 길이변화 시험은 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법)에 의한 방법 중 다이얼게이지법을 사용하여 측정값을

10<sup>3</sup>mm까지 측정을 실시하였으며, 공시체는 100×100×400 mm로 KS F 5105의 10항에 규정한 성형방법에 의거 제작하고, 20±2℃의 실내에서 습윤상태를 유지한 후 성형 24 시간 뒤에 탈형하였다. 탈형 후 온도 20±2℃에서 수증양 생하고, 재령 7일이 되었을 때 온도 20±2℃, 습도 60±5%의 항온항습실에서 다이얼게이지를 고정하여 측정하고, 이 시점을 기준으로 1, 4, 8, 12주차의 콘크리트 내부의 잉여 수 증발에 따른 수축변화 정도를 측정하였다.

#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1 동결융해 저항성

###### 4.1.1 상대동탄성계수

1종 재생굵은골재를 대체율에 따라 혼합골재로 하는 설계기준강도 24MPa의 재생골재 콘크리트의 동결융해 저항성 실험결과, 1종 재생굵은골재를 사용한 1급 재생골재 콘크리트의 상대동탄성계수는 300 cycle이 경과한 후, 재생골재 대체율에 관계없이 전 배합에서 90%를 상회하는 우수한 결과를 보였다. 또한, 1급 재생골재 콘크리트의 전 cycle에서는 99.2~91.0%의 상대동탄성계수의 범위를 보여 일반쇄석을 사용한 보통 콘크리트의 상대동탄성계수 범위인 97.5~90.6%에 비해 향상된 내동해성을 보여주고 있다.

이러한 현상은 재생골재 대체율 30% 이상에서는 내동해성이 저하된다는 기존의 연구결과<sup>10)</sup>와는 다소 상이한 결과로서, 이는 기존 연구에 사용되었던 재생골재의 흡수율이 7% 이상으로서 현재 KS F 2573(콘크리트용 재생골재)의 1종을 만족하지 못했던 품질에서 기인한 것으로 사료된다.

###### 4.1.2 질량감소율

일반적으로 동결융해작용에 의하여 콘크리트에 발생하는 스케일링이나 팽아웃 현상으로 인해 콘크리트의 표면 탈락을 발생시킴으로써 질량을 감소시키게 된다. 본 실험

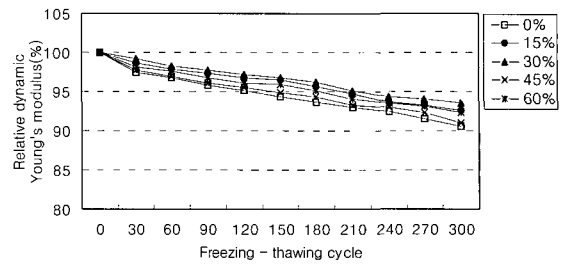


Fig. 2 Freezing-thawing cycle and relative dynamic Young's modulus

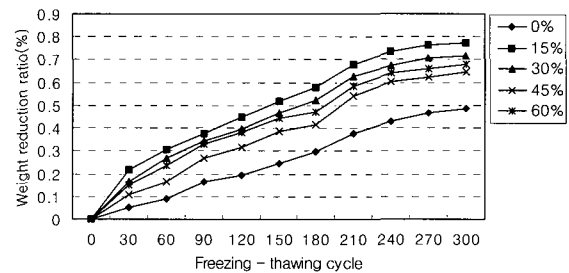


Fig. 3 Freezing-thawing cycle and weight reduction ratio

에서 1종 재생굵은골재를 사용하고 설계기준강도가 24 MPa인 재생골재 콘크리트의 동결융해 실험결과, 사이클 수에 따른 질량감소율은 Fig. 3과 같다.

재생굵은골재를 대체율에 따라 혼합골재로 하는 모든 재생골재 콘크리트에서 대체율이 증가함에 따라 대체적으로 낮은 경향의 질량감소율을 보였으나, 모두 0.8% 범위 미만의 감소율로서 그 차이는 미미한 것으로 판단된다.

###### 4.1.3 플라이애쉬 혼입에 따른 동결융해 저항성

플라이애쉬 10%를 혼입한 재생골재 콘크리트의 동결융해 저항성에 대한 특성을 평가하기 위한 시험 결과는 다음 Fig. 4와 같다.

1종 재생굵은골재로 대체하고 플라이애쉬를 혼입한 재생골재 콘크리트는 동결융해 300 사이클 전 과정에서 상

Table 6 Properties of fresh and hardened concrete

Specimen	f <sub>ek</sub> (MPa)	W(kg/m <sup>3</sup> )	Replacement ratio(%)	Slump (cm)	Air content (%)	Compressive strength (MPa)		
						3 days	7 days	28 days
I -a-1	24	175	0	16.5	4.5	12.9	18.3	27.8
I -a-2			15	17.5	4.8	12.9	19.2	27.7
I -a-3			30	16.5	4.9	12.3	20.7	28.9
I -a-4			45	17.0	4.3	14.4	20.1	28.4
I -a-5			60	17.5	5.0	16.1	24.0	30.7
I -b-1		185	0	18.5	4.2	13.8	19.9	27.7
I -b-2			15	20.0	4.0	13.6	20.6	27.6
I -b-3			30	20.0	4.6	13.9	21.1	28.6
I -b-4			45	18.5	4.5	15.2	23.1	29.7
I -b-5			60	20.5	5.0	15.6	23.0	31.0

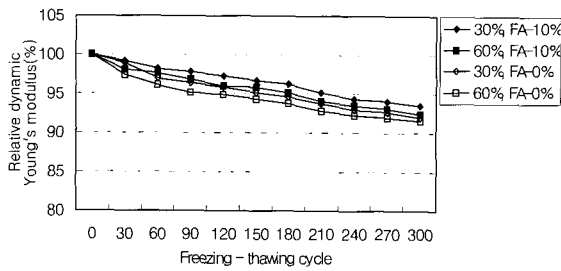


Fig. 4 Relative dynamic Young's modulus of concrete with fly-ash

대 동탄성계수가 평균 96.2%로 플라이애쉬 무혼입 재생골재 콘크리트의 94.8% 보다 재생골재 대체율과 무관하게 다소 향상된 결과가 나타났다.

#### 4.1.4 공기량과 내구성지수

내구성지수와 내동해성능 등 내구성능 지표를 가장 크게 지배하고 있는 인자인 공기량과 재생골재 콘크리트의 내구성지수와의 관계를 고찰하여 본 결과는 다음의 Fig. 5 와 같은 직선회귀의 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. 그림에서와 같이 균지 않은 재생골재 콘크리트의 본 실험 결과의 공기량 범위인 3.8~5.3%에서는 내동해성에 아무런 문제가 없을 것으로 판단된다. 또한 재생골재의 대체율이 높아짐에 따라 균지 않은 재생골재 콘크리트의 공기량은 점차 높아지는 경향을 나타내는데, 이는 재생골재에 부착된 연행공기를 포함한 모르타르의 영향으로 보고<sup>11)</sup> 되고 있다. 이러한 부착 모르타르의 내구성지수에 미치는 영향은 본 실험 범위 내에서는 나타나지 않았으며, 이는 쇠석과 별 차이가 없는 양질의 1종 재생골재를 사용하였기 때문으로 판단된다. 그러므로 공기량과 내구성지수와의 높은 상관관계를 통하여 재생골재 콘크리트 또한 보통 콘크리트와 마찬가지로 내동해성능을 향상시키기 위하여 콘크리트 제조시에 철저한 공기량 관리와 AE제 등 각종 인위적 방법을 통한 적정 공기량의 확보가 필요한 것으로 판단된다.

## 4.2 촉진탄산화 저항성

### 4.2.1 재생골재 대체율에 따른 촉진탄산화 깊이

재생골재 콘크리트의 탄산화 저항성은 재생골재에 붙어 있는 모르타르가 탄산화를 촉진시키는 역할을 하기 때문에 보통 콘크리트보다 다소 낮은 것으로 알려져 있다. 본 실험적 연구에서의 재생골재 대체율에 따라 보통골재와 혼합 사용한 재생골재 콘크리트의 촉진탄산화 저항성 실험결과와 Fig. 6과 같다.

그림은 재생골재로 대체한 재생골재 콘크리트의 탄산화 깊이 변화를 각 재령별로 나타낸 것으로, 보통 콘크리트의 경우 탄산화 깊이는 1.66~7.29mm로 나타나, 재생

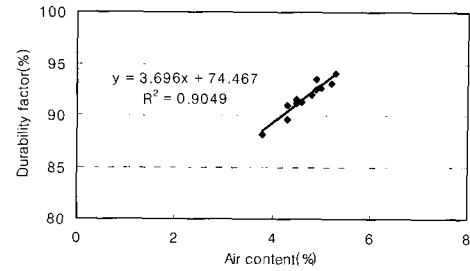


Fig. 5 Air content and durability factor

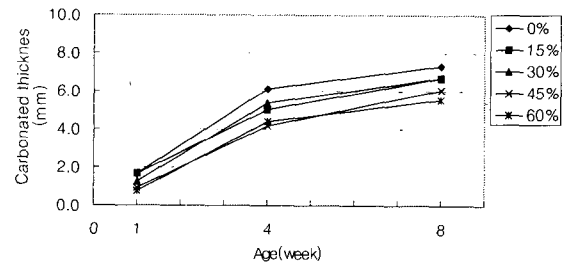


Fig. 6 Carbonated thickness of recycled aggregate concrete

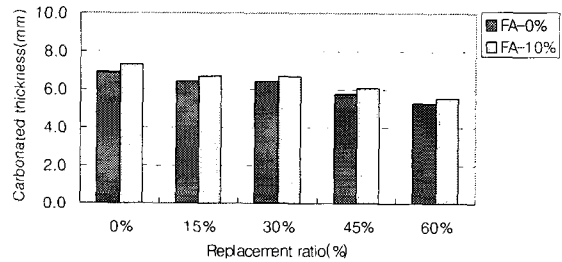


Fig. 7 Carbonated thickness of recycled aggregate concrete with fly-ash

골재로 대체함에 따른 탄산화 깊이 범위 0.74~6.71 mm와 유사한 경향을 나타냈다. 또한 1종 재생골재로 대체한 재생골재 콘크리트는 재령 8주에서의 촉진탄산화 깊이는 대체율이 15, 30, 45, 60% 증가함에 따라, 6.71, 6.70, 6.06, 5.54mm로 대체하지 않은 보통 콘크리트의 7.29mm와 유사하거나 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 재생골재로 100% 대체한 재생골재 콘크리트의 이산화탄소 확산계수 시험결과 상대습도 45% 이상에서는 보통 콘크리트와 차이를 보이지 않으며, 탄산화 현상이 현저하게 진행되지 않는다는 최근 연구발표<sup>12)</sup>와 유사한 결과로, 이는 쇠석보다 비교적 둥근 입형을 가지고 있어 입형 개선효과로 인한 실적률의 증가가 콘크리트 내부를 밀실하게 만들어 탄산가스의 침투가 적었던 것으로 판단된다.

### 4.2.2 플라이애쉬 혼입에 따른 촉진탄산화 깊이

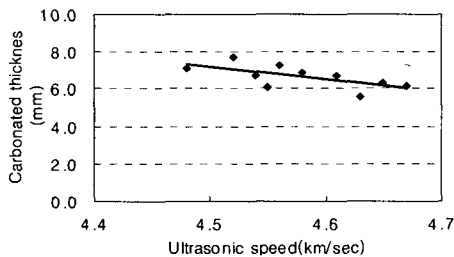
Fig. 7은 재생골재를 대체율에 따라 혼합 사용한 재

생골재 콘크리트에서 플라이애쉬 10% 혼입과 무혼입의 변화에 따른 촉진탄산화 깊이를 나타낸 것이다. 재생골재를 대체율에 따라 혼합사용하고, 시멘트 대체재로 플라이애쉬 10% 혼입한 재생골재 콘크리트는 플라이애쉬를 무혼입한 재생골재 콘크리트보다 재생골재 대체율에 상관없이 약 5% 정도의 촉진탄산화 깊이가 촉진되는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 플라이애쉬의 결합재 치환의 경우 시멘트 수화생성물인 수산화칼슘의 소비를 증대시켜 콘크리트의 알칼리도를 저하시켜 탄산화를 촉진시키는 것으로 판단된다.

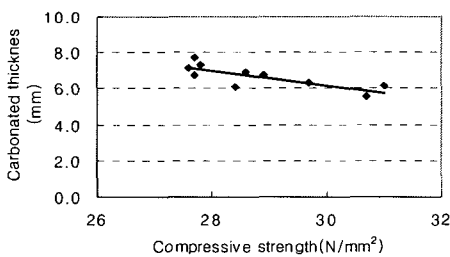
#### 4.2.3 촉진탄산화 깊이와 영향인자

탄산화는 콘크리트의 밀실도를 반영하는 항목으로서 밀실한 콘크리트일수록 탄산화가 늦어지게 된다. 따라서 본 연구에서는 설계기준강도 24MPa로 재생골재를 대체율에 따라 혼합사용한 재생골재 콘크리트의 배합에서 재령 28일 재생골재 콘크리트의 초음파속도와 촉진탄산화 깊이와의 관계를 Fig. 8(a)에, 압축강도와 촉진탄산화 깊이와의 관계를 Fig. 8(b)에 나타내었다.

일반적으로 콘크리트의 탄산화저항성은 물시멘트비에 의해 평가되어지고 있으나, 본 실험적 연구의 범위에서는 동일한 물결합재 비이지만, 다소나마 탄산화 깊이의 차이가 보여 졌다. 그러나 그림에서와 같이 재생골재의 대체율에 관계없이 탄산화 깊이와 초음파 속도 및 탄산화 깊이와 압축강도 사이에는 비교적 좋은 대응이 보여 졌기 때문에 압축강도를 향상시키고, 콘크리트 내부를 밀실하게



(a) Carbonated thickness and ultrasonic speed



(b) Carbonated thickness and compressive strength

Fig. 8 Carbonated thickness and effect factor of recycled aggregate concrete

하는 것에 의해 재생골재 콘크리트에서도 보통 콘크리트와 동등하거나 향상된 탄산화 저항성의 내구특성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

### 4.3 건조수축

#### 4.3.1 재생골재 대체율에 따른 길이변화율

일반적인 재생골재 콘크리트의 건조수축에 의한 길이변화 특성은 재생골재의 대체율이 증가함에 따라 원골재에 부착한 모르타르가 많을수록 길이변화율은 다소 커지는 것으로 알려져 있으나, 본 연구범위에서의 실험결과는 Fig. 9에서와 같이 1종 재생골재를 혼합 사용한 1급 재생골재 콘크리트의 재령 12주에서의 건조수축에 의한 길이변화율은 전 배합에서  $4.1 \sim 4.6 \times 10^{-4}$  정도로 나타나, 대체 사용하지 않은 보통 콘크리트의 길이변화율  $4.8 \times 10^{-4}$  보다 18.5~3.9% 작게 나타났다.

#### 4.3.2 플라이애쉬 혼입에 따른 길이변화율

플라이애쉬와 같은 포졸란은 시멘트 수화물에 미세한 공극의 부피를 증가시키는 역할을 한다. 즉, 콘크리트의 건조수축은 3~20 nm 크기의 공극을 채우고 있는 물과 직접적인 연관이 있으므로, 미세한 공극을 많이 만드는 플라이애쉬를 사용한 콘크리트는 일반적으로 큰 건조수축 변형률을 나타낸다고 한다.

본 연구범위에서 측정된 재생골재 콘크리트의 대체율과

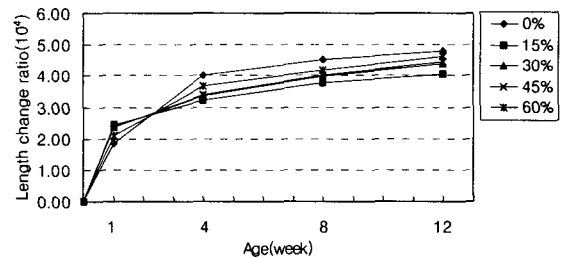


Fig. 9 Length change ratio of recycled aggregate concrete

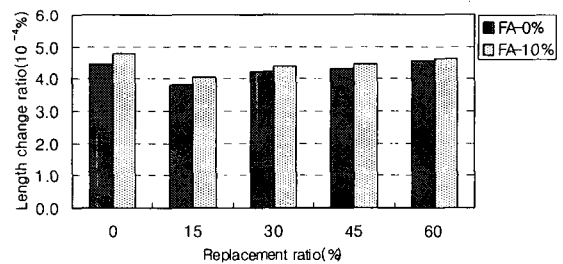


Fig. 10 Length change ratio of recycled aggregate concrete with Fly-ash

플라이애쉬 혼입에 따른 재령 12주의 길이변화율은 Fig. 10과 같으며, 전 배합에서 플라이애쉬를 혼입한 재생골재 콘크리트의 길이변화율이 플라이애쉬 무혼입 재생골재 콘크리트보다 평균 4.0% 높게 나타났다. 그러나 이는 보통 콘크리트의 8.1%의 절반 수준으로 재생골재 콘크리트의 길이변화율에 있어 플라이애쉬 혼입이 보통 콘크리트에 비해 상대적으로 효과적일 것으로 판단된다.

이러한 경향은 동일한 물결합제비에 대하여 보통 포틀랜드 시멘트와 플라이애쉬에 대한 변형률을 비교하여, 모든 배합에서 플라이애쉬가 보통 포틀랜드 시멘트에 비해서 큰 건조수축 변형률을 나타낸다는 기존의 연구<sup>13)</sup> 경향과 유사하였다. 이는 물결합제비가 동일할 때 시멘트의 일부를 플라이애쉬로 치환을 하면, 플라이 애시는 물과 직접 반응하지 않으므로 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 플라이애쉬가 더 높은 물시멘트비를 갖게 되어 더 많은 잉여수량으로 다소 큰 건조수축 변형률을 보이는 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

재생골재를 구조용 콘크리트의 골재로 활용하기 위하여 재생골재를 대체율에 따라 혼합골재로 하는 재생골재 콘크리트의 내구특성에 관한 실험적 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 재생골재 콘크리트의 동결융해 저항성 시험에서 상대 동탄성계수는 300 cycle이 경과한 후, 전 배합에서 90%를 상회하는 우수한 결과로서 일반채석을 사용한 보통 콘크리트의 상대 동탄성계수 범위인 97.5~90.6%와 유사한 내동해성을 보여주고 있다.
- 2) 재생골재 콘크리트의 축진탄산화 깊이는 보통 콘크리트와 유사하거나 다소 감소하는 경향으로 나타났으며, 시멘트 대체재로 플라이애쉬 10% 혼입한 재생골재 콘크리트는 플라이애쉬를 무혼입한 재생골재 콘크리트보다 재생골재 대체율에 상관없이 약 5% 정도의 축진탄산화 깊이가 축진되는 것으로 나타났다.
- 3) 재생골재 콘크리트의 건조수축에 의한 길이변화율은 보통 콘크리트의 길이변화율보다 18.5~3.9% 작게 나타났다. 플라이애쉬를 혼입한 재생골재 콘크리트의 길이변화율은 플라이애쉬 무혼입 재생골재 콘크리트보다 평균 4.0% 높게 나타났으나, 이는 보통 콘크리트 8.1%의 절반 수준으로 재생골재 콘크리트의 길이변화율에 있어 플라이애쉬 혼입이 보통 콘크리트에 비해 상대적으로 효과적일 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트의 재활용, 한국콘크리트학회, 2004, pp.13~14.
2. 한국콘크리트학회, 재생골재 및 재생골재 콘크리트 정책·기술 세미나, 한국콘크리트학회, 2004, IV-1~5.
3. Kasai Y., "Durability of concrete using recycled coarse aggregate, Reuse of Demolition Waste", Vol.2, 1988, pp.623~632.
4. 崎山和陸, 福部聰, 笠井芳夫, "保存要件を変えた再生コンクリートの長さ変化に関する-実験", 日本建築學會大會學術講演梗概集, 材料・施工, 1997, 9, pp.1069~1070.
5. 柳僑邦生, "神山行男, 高品質再生粗骨材を用いた再生コンクリートに関する研究", 콘크리트工學年次論文集, Vol. 22, No. 2, 2000, pp.1123~1128.
6. 立屋敷久志, "加熱すりもみ法により回収した高品質再生骨材コンクリートの性状", 콘크리트工學年次論文集, Vol.23, No.2, 2001, pp.61~66.
7. 飛板, 笠井芳夫, "再生骨材を混合使用したコンクリートの物性に関する實驗的研究(その 3) 凍結融解試驗結果について", 日本大學理工學部學術講演會 論文集, 1983, pp.187~188.
8. 菊池雅史, 道正泰弘, 安永 亮, 江原恭二, "再生骨材の品質が再生コンクリート品質に及ぼす影響", 日本建築學會構造系論文集 第474号, 1995. 8, pp.11~20.
9. 柳僑邦生, 笠井芳夫, "再生コンクリートの諸物性に関する實驗的研究", セメント・コンクリート, No.50, 1996.
10. 再生コンクリートの利用技術の開発(その2), 平成6年度報告書, (財)國土開發技術研究センター, 平成7年3月, pp.399~400.
11. 문대중, 문한영, "재생골재를 사용한 콘크리트의 내동해성", 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 13권 2호, 2001, pp.85~88.
12. 이명규, 정상화, 윤건호, "재생콘크리트의 내구성에 관한 실험연구", 대한토목학회논문집, 23권 1A호, 2003. 1, pp.85~93.
13. 南波篤志, 阿部道彦, "再生コンクリートの力學特性および乾燥收縮に及ぼす再生粗骨材の品質の影響", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.17, No.1, 1996.
14. 김병윤, 서치호, "싸이클론의 건식 공정으로 생산된 재생골재를 사용한 콘크리트의 중성화저항성 및 건조수축에 관한 실험적 연구", 대한건축학회학술발표논문집, 24권 1호, 2004, pp.267~270.

---

## 요 약

본 연구는 재생골재 콘크리트의 적극적인 활용을 위하여 재생굵은골재를 대체율에 따라 혼합골재로 하는 재생골재 콘크리트의 동결융해 저항성, 탄산화 저항성 및 건조수축에 대한 시험을 실시하여 내구특성의 영향요인을 분석하고 내구성 증진방안을 강구함으로써 재생골재 콘크리트의 품질과 신뢰성을 확보하는데 그 목적이 있다. 연구결과는 다음과 같다. (1) 재생굵은골재를 혼합골재로 하는 재생골재 콘크리트의 동결융해 저항성은 모든 대체율에서 90%를 상회하는 상대동탄성계수로 나타나 우수한 결과를 보였으며, 전 사이클에서는 99.2~91.0%의 상대동탄성계수의 범위를 보여 쇄석을 사용한 보통 콘크리트의 상대 동탄성계수 범위인 97.5~90.6%에 비해 향상된 내동해성으로 나타났다. (2) 재생골재 콘크리트의 촉진탄산화 깊이는 대체율이 증가함에 따라 대체하지 않은 보통 콘크리트와 유사하거나 다소 감소하는 경향으로 나타났다. (3) 재생굵은골재를 혼합골재로 하는 재생골재 콘크리트의 건조수축에 의한 길이변화율은 전 배합에서 쇄석을 사용한 보통 콘크리트보다 18.5~3.9% 작게 나타났다.

**핵심용어 :** 재생골재, 탄산화, 건조수축, 동결융해, 내구성

---