



## 미시적 탄산화 거동에 기초한 순환 골재의 최적 탄산화 개질 기간

신진학<sup>2)</sup> · 김한식<sup>1)\*</sup> · 하정수<sup>2)</sup> · 정란<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>삼성물산 건설부문 주거성능연구소 <sup>2)</sup>단국대학교 건축공학과

### Optimum Carbonation Reforming Period of Recycled Aggregate Based on the Microscopic Carbonation Conduct

Jin-Hak Shin,<sup>2)</sup> Han-Sic Kim,<sup>1)\*</sup> Jung-Soo Ha,<sup>2)</sup> and Lan Chung<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Residential Engineering Team, Samsung C&T Co. Ltd. Engineering & Construction Group, Yongin 17015, Rep. of Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin 16890, Rep. of Korea

**ABSTRACT** Increase in demotion and repair works on buildings in the construction market generates a large amount of construction waste. Recycling of construction waste is important for saving of resources, preservation of environment and constant advance of the construction industry. Accordingly, the environmental and economic value of recycled aggregate, which is produced after waste concrete is crushed, is increasingly highlighted. It is generally known that compared to concrete made of ordinary aggregate, concrete made of recycled aggregate has low quality, and the low quality is dependent on the amount of the bonding heterogeneous (cement paste and mortar) as well as the amount of the pores within the bonding heterogeneous. Reports on carbonation mechanism shows that the pores of cement-based materials are filled up by the progress of carbonation. Therefore, this study aims at an estimation of the period for optimum carbonation reforming appropriate for the thickness of the bonding heterogeneous of recycled aggregate, based on carbonation mechanism, with a view to improving the product quality by means of filling up the pores of the bonding heterogeneous of recycled aggregate. This study drew the carbonation depth according to the passage of age by calculating the bonding ratio and bonding thickness of the bonding heterogeneous as against the particle size distribution of recycled aggregate as well as by chemical quantitative analysis according to the age of accelerated carbonation of mock-up samples imitating bonding heterogeneous. Based on the correlation between the age of accelerated carbonation and carbonation depth, this study also proposed the estimated period of carbonation reforming of recycled aggregate appropriate for the thickness of the bonding heterogeneous.

**Keywords** : recycled aggregate, bonding cement paste, bonding mortar, accelerated carbonation

### 1. 서 론

최근, 건설시장에서는 재개발, 재건축, 리모델링 등 기존의 건물을 철거하거나 보수하는 사례가 늘어나면서 건설폐기물이 일정 수준까지 증가하였고, 현재는 어느 정도 안정화된 추세에 있지만, 여전히 가장 큰 비율을 차지하고 있다.<sup>1)</sup> 따라서, 건설폐기물의 배출을 최소화하고 건설폐기물을 자원으로 재활용해야 할 대책마련이 절실하다고 할 수 있다. 건설폐기물의 재활용은 자원절약과 환경보전 그리고 건설 산업의 지속적인 발전을 실현하는데 있어서 중요하다. 이와 더불어 건설재료 중 하나인 천연

골재가 부족해지고, 국가 자원의 절약 및 환경보전 측면에서 재활용 재료에 대한 사회적 관심이 증대되면서 폐콘크리트의 재처리 과정에서 생산되는 순환 골재의 가치가 환경적, 경제적인 측면에서 대두되고 있다.

이에 국토교통부는 순환 골재의 효율적인 활용을 위하여 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률을 제정하였으며, 콘크리트용 ‘순환 골재 품질기준’을 공포하여 순환 골재 품질에 따른 용도와 관리를 할 수 있도록 하였다.<sup>2-3)</sup>

그러나 골재 품귀 현상의 사회적 필요성을 틈타 저급한 순환 골재를 구조용 골재 등으로 무분별하게 사용할 가능성이 있기 때문에 대부분의 국가에서 심각하게 규제하고 있으며, 대부분 아스팔트 및 도로보조기층용 등 저부가가치 산업에 머물고 있다.<sup>4-5)</sup> 또한, 도로시설이 진행된 도심에서는 신규수요의 부족에 따라 새로운 용도의 개척이 필요한 시점이다.

\*Corresponding author E-mail : hansic.kim1230@gmail.com

Received November 30, 2015, Revised January 21, 2016,

Accepted March 21, 2016

©2016 by Korea Concrete Institute

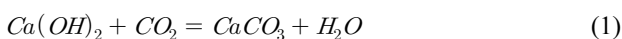
순환 골재는 주로 폐 콘크리트의 분쇄에 의해 얻어져 입형이 좋지 않고 미세균열이 존재하며, 원 골재 표면에 부착한 시멘트 페이스트에 의해 높은 수분흡착이 발생된다. 이 때문에, 배합 과정에서 순환 골재를 사용한 콘크리트는 천연 골재를 사용한 콘크리트 보다 더 많은 수분이 요구되어, 결과적으로 W/C가 증가하여 경화된 순환 골재 콘크리트의 내구성은 저하하고 건조수축은 증가하며, 강도 및 탄성계수는 하향하는 특성을 나타낸다. 따라서, 순환 골재의 특성을 향상시키기 위한 전처리 작업은 순환 골재 적용범위를 확장하기 위해 매우 필수적이고 중요하다.

순환 골재를 구조용 콘크리트에 적용하기 위해서는 고품질의 순환 골재가 요구되지만, 고품질의 순환 골재를 생산하기 위해서는 높은 코스트와 환경부하가 발생하여 적용이 어려운 현실이다. 따라서, 환경 친화적이고 낮은 코스트로 순환 골재의 품질 향상이 가능한 기술개발이 사회적으로 요구되고 있다.

이에 일부 연구자들은 순환 골재 콘크리트의 특성을 향상시킬 목적으로 왕겨 재, 플라이 애시, 실리카폼, 고로 슬래그 미분말 및 메타 카올린 등의 여러 종류의 광물질 혼화재료를 사용하였다.<sup>6-8)</sup> 이러한 연구 결과로부터 광물질 혼화재료를 사용한 순환 골재 콘크리트가 사용하지 않은 경우보다 좋은 성능이 발휘되는 것으로 나타났다. 그러나, 언급된 방법들은 순환 골재 자체의 특성을 향상시키는 것 보다는 배합비와 배합 방법을 조절한 것이다.

일반적으로 순환 골재의 품질 향상을 위해 사용되는 방법은 공극이 많고 노후화 된 부착 시멘트 페이스트에 초점을 맞추어 약한 표면을 제거하거나 강화하는 방법의 두 가지가 있다. 이에 일부 연구자들은 순환 골재를 실리카폼 용액, 콜로이드 실리카 용액에 함침하거나 규산나트륨의 가수분해 반응으로 생성되는 SiO<sub>2</sub>를 통해 Ca(OH)<sub>2</sub>을 결속시켜 표면을 강화시키는데 이용하였다.<sup>9-12)</sup> 또한 위의 강화하는 방법과는 달리, 일부 연구자들은 HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>에 순환 골재를 미리 담가두거나 마쇄방법을 변경하여 표면에 부착된 모르타르를 제거하는 방법을 사용하였다.<sup>13-14)</sup>

순환 골재를 사용한 콘크리트는 일반 골재를 사용한 콘크리트에 비해 성능이 저하한다고 알려져 있고, 성능 저하의 원인은 부착 이질재(시멘트 페이스트 및 모르타르)의 양과 부착 이질재에 내포하는 공극의 양에 따라 좌우된다고 보고되고 있다.<sup>15)</sup> 또한 탄산화 메커니즘에 대한 보고에 따르면 탄산화의 진행에 의해 식 (1)과 같이 시멘트계 재료의 주된 수화물 중 하나인 수산화칼슘이 이산화탄소와 반응하여 탄산칼슘을 생성함에 따라 공극이 충전된다고 알려져 있다.<sup>16-17)</sup>



따라서, 본 연구에서는 순환 골재에 부착한 이질재의

공극 충전에 의한 품질향상을 목표로 하여 탄산화 메커니즘을 기반으로 순환 골재의 부착 이질재 두께에 적합한 최적 탄산화 개질 기간의 추정을 목적으로 한다. 이에 따라, 먼저 국내에서 유통되고 있는 순환 골재의 입도분포를 파악하여, 염산 처리에 의한 부착 이질재의 부착율과 두께를 산정하여 부착 이질재를 가정한 모의시험체의 축진 탄산화 재령에 따른 화학적 정량분석을 통해 재령 경과에 따른 탄산화 깊이를 도출하였다. 또한, 축진 탄산화 재령과 탄산화 깊이에 대한 상관관계를 바탕으로 부착 이질재 두께에 적합한 순환 골재의 탄산화 개질 추정 기간을 제안한다.

## 2. 실험계획 및 방법

탄산화 메커니즘을 기반으로 순환 골재의 부착 이질재 두께에 적합한 최적 탄산화 개질 기간의 추정을 위한 시험항목에 대한 시험 방법 및 표준에 대하여 Table 1에 나타내었다.

### 2.1 순환 골재 입경분포 및 이질재 부착율 시험방법

순환 골재 입경분포와 이질재(시멘트 페이스트 및 모르타르)의 부착율을 산정하기 위한 순환 골재의 개념도를 Fig. 1에 나타내었다. 순환 잔 골재의 경우 표면에 시멘트 페이스트가 부착되어 있는 형태로 존재하며, 순환

Table 1 Test methods and standards of test items

Test item	Test method and standard
Average particle size and particle size distribution	KS F 2502
Density and absorption	KS F 2503, KS F 2504
Acid treatment	Using 9.9% hydrochloric acid
Chemical quantitative analysis	Thermogravimetric analysis (TGA)

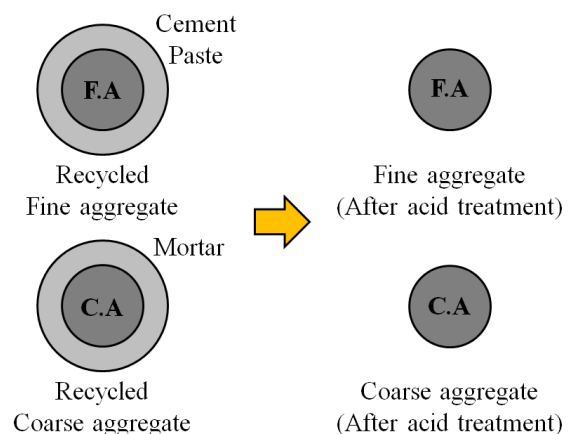


Fig. 1 Conceptual recycled aggregates

굵은 골재의 경우 모르타르가 부착되어 있는 형태로 존재하게 된다.

따라서, 이를 제거하고 부착율 및 두께를 산정하기 위해 산 처리 전과 후로 나누어 시험을 수행하였다.

순환 골재의 평균 입경 산정을 위한 입도분포시험은 KS F 2502 체가름 시험방법에 의거하여 수행하였으며, 골재가 남은 각 체 크기와 상부 체 크기의 평균 값을 골재의 크기로 가정하였다. 이 값에 각 체에 남은 골재의 질량 백분율을 곱하여 식 (2)와 같이 완전 구형으로 가정한 순환 잔 골재와 순환 굵은 골재 각각의 평균 입경을 산출하였다.

$$d_{avg.} = \sum \left[ \frac{(siv_r + siv_u)}{2} \times R_{m,\%} \right] \quad (2)$$

- 여기서,  $d_{avg.}$  : 순환 골재 평균 입경(mm)
- $siv_r$  : 골재가 남은 체의 크기(mm)
- $siv_u$  : 골재가 남은 체의 상부체 크기(mm)
- $R_{m,\%}$  : 각 체에 남은 골재의 질량 백분율(%)

그러나, 잔 골재 및 굵은 골재 최대치수인 5 mm, 25 mm 체에 남은 입자의 경우 위 방법으로 산출할 경우, 입자 크기가 다소 크게 평가되는 것을 고려하여, 입자 10개의 실제 크기를 평균값으로 산정하였다.

순환 골재 산 처리 전과 후(농도 9.9%의 염산을 사용하여 질량변화가 없을 때 까지 수행)의 밀도 및 흡수율 시험을 KS F 2503, KS F 2504에 의거하여 수행하였다. 시험 결과에 의해 염산 처리 전 순환 골재의 질량 값에 밀도를 반영하여 용적을 산정하였고, 염산 처리 후 부착 이질재를 제거한 원 골재의 용적도 동일한 방식으로 산정하여 부착 이질재의 용적비를 계산하였다. 또한, 식 (2)에 의해 도출된 순환 골재의 평균 입경에 대한 부착 이질재의 용적과 원 골재의 용적을 산출하여, 각각의 용적차를 바탕으로 순환 골재의 부착 이질재 두께를 산출하였으며, 그 과정을 식 (3)~(5)에 나타내었다. 그리고, 염산처리 전과 후의 절건 질량에 의한 순환 골재의 부착율을 식 (6)에 의해 산출하였다.

$$V_{d_{avg.}}^{at.} = V_{d_{avg.}} \times \frac{V_{ac} - V_{ac}}{V_{ac}} \quad (3)$$

$$V_{d_{avg.}}^a = V_{d_{avg.}} - V_{d_{avg.}}^{at.} \quad (4)$$

$$thk_{at.} = \frac{d_{avg.} - d_{avg.}^a}{2} \quad (5)$$

$$R_{at,\%} = \frac{m_{ac}^- - m_{ac}}{m_{ac}^-} \times 100 \quad (6)$$

- 여기서,  $V_{d_{avg.}}^{at.}$  :  $d_{avg.}$ 에 대한 부착 이질재의 용적(mm)
- $V_{d_{avg.}}$  :  $d_{avg.}$ 에 대한 용적(mm<sup>2</sup>)
- $V_{ac}^-$  : 염산 처리 전 골재의 용적(mm<sup>2</sup>)
- $V_{ac}$  : 염산 처리 후 골재의 용적(mm<sup>2</sup>)
- $V_{d_{avg.}}^a$  :  $d_{avg.}$ 에 대한 원 골재의 용적(mm<sup>2</sup>)
- $thk_{at.}$  : 순환 골재의 부착 이질재 두께(mm)
- $d_{avg.}^a$  :  $V_{d_{avg.}}^a$ 에 의한 원 골재의 입경(mm)
- $R_{at,\%}$  : 순환 골재의 이질재 부착율(%)
- $m_{ac}^-$  : 염산 처리 전 절건 질량(g)
- $m_{ac}$  : 염산 처리 후 절건 질량(g)

## 2.2 부착 이질재의 모의 시험체 제작

순환 골재의 부착 페이스트 및 모르타르를 가정한 시험체의 제작 및 촉진 탄산화 개념도를 Fig. 2에 나타내었다. 모든 시험체는 가로 50 mm, 세로 50 mm로 제작하였다. 그리고, 시멘트 페이스트 시험체의 두께는 내부에 원 잔 골재를 포함하지 않는 최대치수 5 mm의 페이스트 덩어리 입자의 존재 가능성을 고려하여 5 mm로 제작하였다. 또한, 모르타르 시험체의 두께는 내부에 원 굵은 골재를 포함하지 않는 최대치수 25 mm의 페이스트 덩어리 입자가 포함될 수 있음을 고려하여 25 mm로 제작하였다.

촉진 탄산화 시험체 제작에 사용한 시멘트 페이스트 및 모르타르 배합표를 Table 2에 나타내었다. 설계기준강도는 고층 건물이 없던 2000년대 이전 가장 많이 사용된 설계 기준강도가 21 MPa임을 고려하여 21 MPa로 결정하였

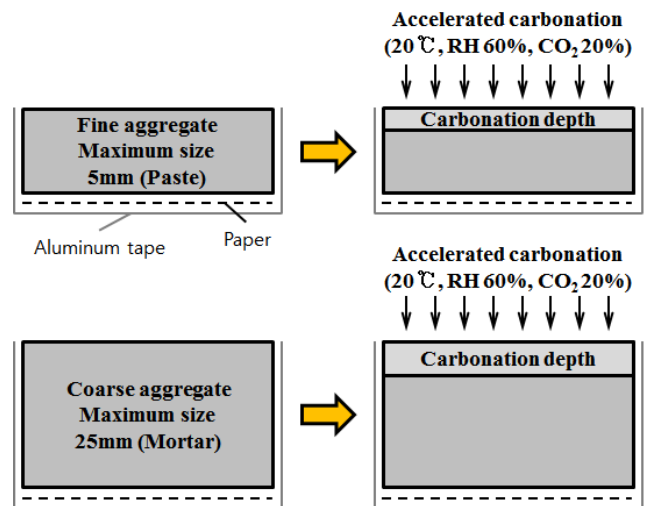


Fig. 2 Conceptual accelerated carbonation

Table 2 Mix proportion

Mixture type	W/C <sup>1)</sup> (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )		
		W <sup>2)</sup>	C <sup>3)</sup>	S <sup>4)</sup>
Cement Paste	49.85	587	1177	-
Mortar		264	529	1367

\*<sup>1)</sup>Water-cement ratio, <sup>2)</sup>Water, <sup>3)</sup>Cement, <sup>4)</sup>Fine Aggregate

고, 국내 레미콘 회사에서 현재 사용되고 있는 25-21-150 콘크리트 배합을 기초로 물-시멘트비(W/C)를 반영하여 페이스트와 모르타르의 배합으로 조정하였다.

Fig. 3과 같이 제작한 시험체는 익일 탈형 후  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 수중에서 재령 4주까지 양생을 실시하고, 아세톤에 침지하여 수화를 정지 시켰다. 이후, 탄산화 깊이의 정확한 측정을 위해 상부 면을 제외한 나머지 면은 알루미늄 테이프로 밀봉하여 탄산가스의 투입을 방지하였다. 그리고 알루미늄 테이프 접착 이물질이 발생하여 열중량분석에 영향이 있을 것으로 판단되어, 재단을 통해 제거되는 측면을 제외하고, 하부 면에 종이를 덧대어 알루미늄 테이프의 접착부가 발생하지 않도록 처리하였다. 촉진 탄산화는 온도  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 습도  $60 \pm 5\%$ , 이산화탄소 20%의 조건에서 진행하였으며, 탄산화 진행이 완료된 시험체는 각 재령마다 아세톤에 침지하여 내부 수분과 이산화탄소를 제거하는 것으로, 목표 재령 이후의 탄산화 반응을 억제하였다.

### 2.3 촉진 탄산화에 의한 시멘트 수화물의 정량분석

탄산화 진행에 의한 시멘트 수화물 변화의 정량분석을 위해 각각의 시험체를 알루미늄 유봉을 이용하여  $75 \mu\text{m}$  정도의 미분말 형태 시료로 제작하였고, Mettler-toledo사의 열중량분석(Thermogravimetric Analysis; TGA) 시험 장비를 이용하여 가열속도  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 설정하여  $1,000^\circ\text{C}$ 까지 측정을 실시하였다. 탄산화를 실시하지 않은 시멘트 페이스트 시료와 14일간 촉진 탄산화를 수행한 시료의 TG-DTG 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

수산화칼슘은  $450\sim 550^\circ\text{C}$  범위에서 분해하고, 탄산칼슘은  $600\sim 900^\circ\text{C}$  범위에서 분해한다는 기존의 보고를 바탕으로 각 수화물의 분해온도 범위를 시험 결과에 반영하여 중량 감소를 통한 수화물의 정량 분석을 수행하였다.<sup>18)</sup>

Fig. 4의 시험결과를 토대로 앞서 언급한 온도 범위를 적용하여 Fig. 5의 절차에 따라 시멘트 페이스트 및 모르타르 시료의 화학성분 중량비율을 계산하였다. 먼저 탄산화를 실시하지 않은 시료에 대해서 식 (7)에 의한 수산화칼슘의 탈수량과, 식 (8)에 의한 탄산칼슘의 탈탄산가스량 및 자유수의 탈수량을 열중량분석 결과에 의해 산출하였다. 이 값을 기준으로 탈수량의 mol수를 계산하여 수산화칼슘량을 산출하고, 탈탄산가스량의 mol수를 계산하여 탄산칼슘량을 산출하여, 자유수를 제외한 시료의 총 중량에 대한 백분율로 정량하였다. 상기의 과정에 따라 탄산화를 실시하지 않은 시멘트 페이스트 시료 및 모르타르 시료의 자유수량, 수산화칼슘량, 탄산칼슘량 기준치 산출 결과를 Table 3, 4에 나타내었다. 또한, Fig. 5의 절차에 따라 탄산화를 실시한 시료도 동일한 방법으로 수산화칼슘량과 탄산칼슘량을 계산하여 기준치에 대한 변화량을 산출하였다.

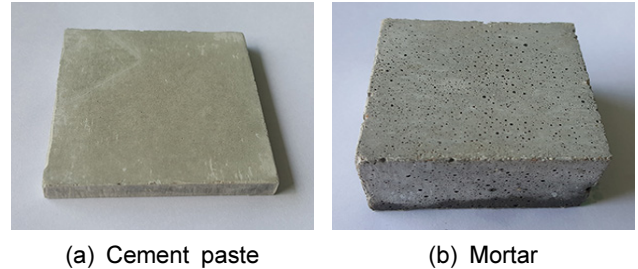
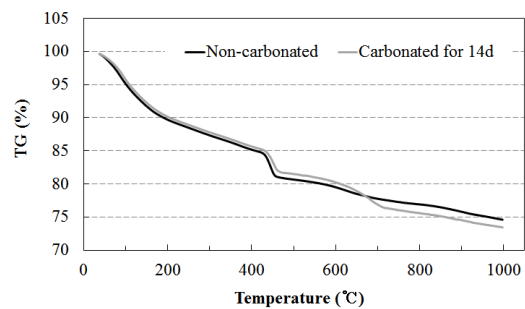
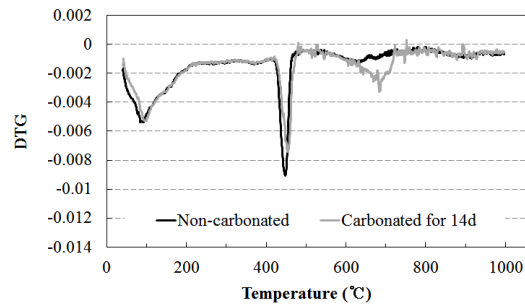


Fig. 3 Specimen production



(a) TG curve



(b) DTG curve

Fig. 4 TG-DTG curves of cement paste

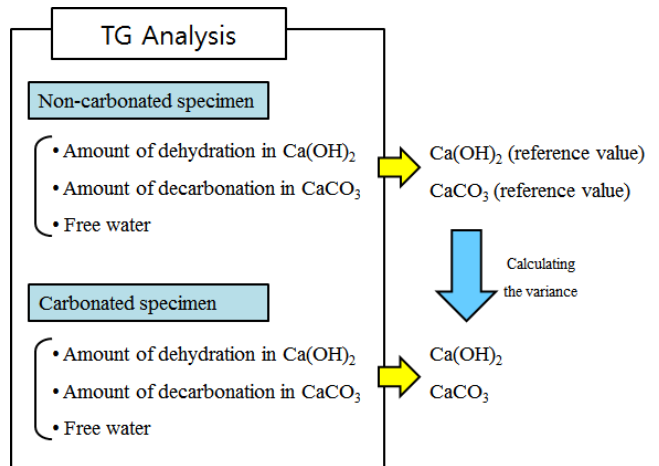


Fig. 5 Calculated flow chart of chemical components

**Table 3** Calculation of the reference value (Cement paste specimen)

Mass in 5.5786 mg (mg)			
Free water (Decrease at 105°C)	0.5559	Mass ratio (%)	
Amount of dehydration in Ca(OH) <sub>2</sub>	0.3151	Ca(OH) <sub>2</sub>	25.803
Amount of decarbonation in CaCO <sub>3</sub>	0.2097	CaCO <sub>3</sub>	9.4951

**Table 4** Calculation of the reference value (mortar specimen)

Mass in 5.2437 mg (mg)			
Free water (Decrease at 105°C)	0.4622	Mass ratio (%)	
Amount of dehydration in Ca(OH) <sub>2</sub>	0.2985	Ca(OH) <sub>2</sub>	25.677
Amount of decarbonation in CaCO <sub>3</sub>	0.1706	CaCO <sub>3</sub>	8.1461

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 순환 골재의 평균 입경 및 이질재의 부착율

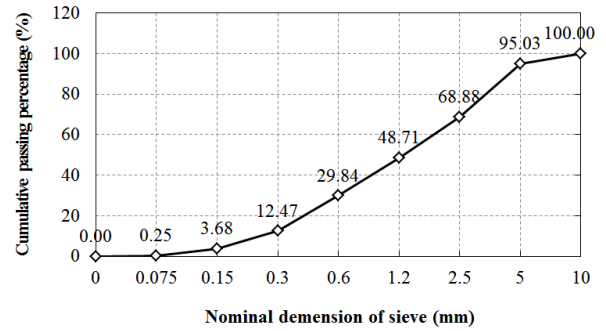
##### 3.1.1 순환 잔 골재

순환 잔 골재의 체가름 시험결과를 Fig. 6에 나타내었고, 입자크기와 입도분포를 Fig. 7에 나타내었다. 체가름 시험결과와 경우, 일반적으로 KS F 2523에서 규정한 체의 호칭치수에 대한 누적 통과백분율로 나타낸다. 그러나, 본 시험에서는 평균 입경의 정확성을 위해 KS A 5101-1에서 규정하고 있는 체눈의 크기를 적용하였으며, 2.1에서 언급한 바와 같이 최대치수인 5 mm 체에 남은 입자의 크기가 다소 크게 평가되는 것을 고려하여 입자 10개의 실제 크기를 측정하여 평균값으로 계산을 수행하였다. 식 (2)를 통해 산출된 Fig. 7의 각 체의 평균크기에 각 체의 잔류 질량 백분율을 곱한 값을 누적 합산한 결과, 시멘트 페이스트가 부착되어 있는 순환 잔 골재의 평균 입경은 1.82 mm로 산출되었고, 그 모식도를 Fig. 8에 나타내었다.

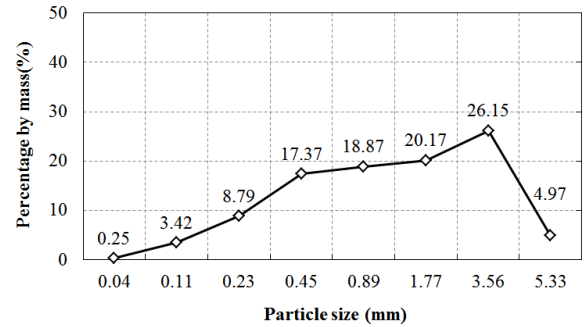
염산처리에 전과 후의 절건 밀도 및 흡수율을 Table 5에 나타내었다. 염산 처리 전의 순환 잔 골재의 밀도와 흡수율은 각각 2.35 g/cm<sup>3</sup>, 4.73%로 측정되었으며, 염산 처리 후의 밀도와 흡수율은 각각 2.53 g/cm<sup>3</sup>, 1.51%로 측정되었다. 식 (6)에 의해 계산한 페이스트의 부착율을 Table 6에 나타내었다.

순환 잔 골재의 부착 이질재 두께 산정은 표건 밀도 시험 결과를 토대로 완전 구 형태로 가정하여, 식 (3)~(5)에 따라 수행하였다. 먼저, 순환 잔 골재의 염산 처리 전 질량 값에 밀도를 반영하여 용적을 산정하였고, 염산 처

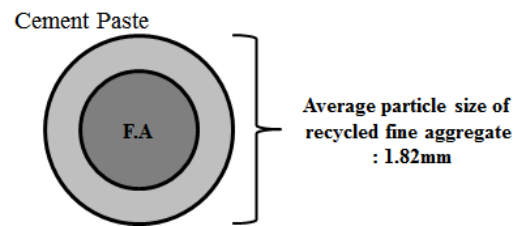
리 후 부착 페이스트를 제거한 원 골재의 용적도 동일한 방식으로 산정하여 부착 이질재의 용적비를 산출하였다. 또한, 식 (2)에 의해 도출된 순환 잔 골재의 평균 입경에 대한 부착 이질재의 용적과 원 골재의 용적을 산출하여, 그 결과를 토대로 원 골재의 입경을 계산하였으며, 순환 잔 골재의 평균 입경과의 차이를 통해 순환 골재의 부착



**Fig. 6** Result of sieve analysis test



**Fig. 7** Particle size distribution of recycled fine aggregates



**Fig. 8** Average particle size of recycled fine aggregate

**Table 5** Density and absorption test results

Acid treatment	Density in absolute dry condition (g/cm <sup>3</sup> )	Percentage of water absorption (%)
Before	2.35	4.73
After	2.53	1.51

**Table 6** Bonding ratio of cement paste

Specimen Number	1	2	3	Average
Bonding ratio of cement paste (%)	18.68	18.84	18.81	18.78



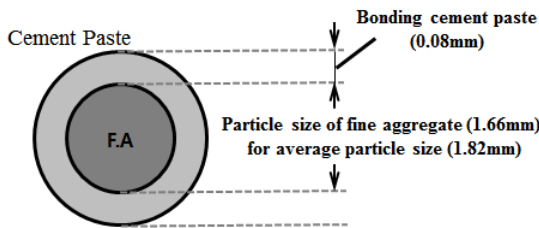
이질재 두께를 산출하였다.

상기의 결과에 따라 순환 잔 골재의 평균 입경 1.82 mm에서 원 잔 골재 1.66 mm, 부착 시멘트 페이스트 0.16 mm(반지름 0.08 mm)로 구성되어 있는 결과를 얻었다. 또한, 순환 잔 골재 내부에 원 잔 골재를 포함하지 않은 시멘트 페이스트 덩어리가 존재할 수 있고, 그 크기 또한 최대치수 5 mm 수준까지 존재할 수 있다. 따라서, 최악 조건으로 설정한 5 mm의 시멘트 페이스트 덩어리가 내부까지 완전 탄산화 되는 것을 가정하기 위하여 5 mm(반지름 2.5 mm)를 추가로 설정하였다. 시험 결과에 의한 순환 잔 골재의 구성과 최악조건으로 설정한 순환 잔 골재의 구성을 Fig. 9에 나타내었다.

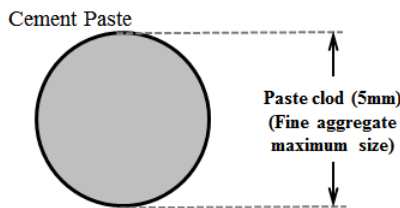
### 3.1.2 순환 굵은 골재

순환 굵은 골재의 체가름 시험결과를 Fig. 10에 나타내었고, 입자크기와 입도분포를 Fig. 11에 나타내었다. 순환 잔 골재와 동일한 방법으로 식 (2)에 의해 평균 입경을 산정한 결과, 모르타르가 부착되어 있는 순환 굵은 골재의 평균 입경은 14.43 mm로 산출되었으며, 그 모식도를 Fig. 12에 나타내었다.

염산처리 전과 후의 절건 밀도 및 흡수율을 Table 7에



(a) Composition of test results



(b) Recycled fine aggregate not containing fine aggregate

Fig. 9 Composition of recycled fine aggregate

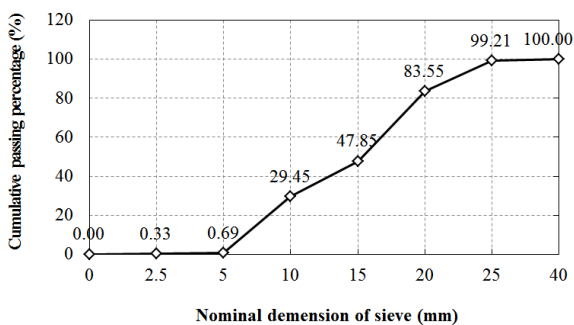


Fig. 10 Result of sieve analysis test

나타내었다. 염산 처리 전의 순환 굵은 골재의 밀도와 흡수율은 각각 2.16 g/cm<sup>3</sup>, 6.88%로 측정되었으며, 염산 처리 후의 밀도와 흡수율은 각각 2.48 g/cm<sup>3</sup>, 2.33%로 측정되었다. 또한, 식 (6)에 의해 계산한 모르타르의 부착율을 Table 8에 나타내었다.

식 (3)-(5)에 의해 순환 잔 골재와 동일한 방법으로 계산을 수행한 결과, 순환 굵은 골재는 구성은 평균 입경 14.43 mm에서 원 굵은 골재 10.52 mm, 부착 모르타르 3.91 mm(반지름 1.96 mm)인 것으로 산출되었다. 또한, 순환 굵은 골재도 내부에 원 굵은 골재를 포함하지 않는 모르타르 덩어리가 존재할 수 있고, 그 크기 또한 최대치수 25 mm 수준까지 존재할 수 있다. 따라서 최악조건으로 설정한 25 mm의 모르타르 덩어리가 내부까지 완전 탄산화 되는 것을 가정하기 위하여 25 mm(반지름 12.5 mm)를 추가로 설정하였다. 시험 결과에 의한 순환 굵은 골재의 구성과 최악조건으로 설정한 순환 굵은 골재의 구성을 Fig. 13에 나타내었다.

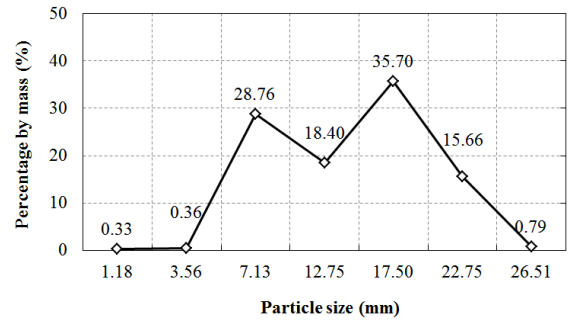


Fig. 11 Particle size distribution of recycled coarse aggregates

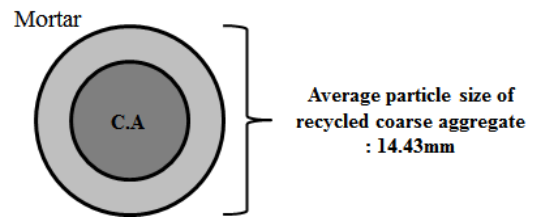


Fig. 12 Average particle size of recycled coarse aggregate

Table 7 Density and absorption test results

Acid treatment	Density in absolute dry condition (g/cm <sup>3</sup> )	Percentage of water absorption (%)
Before	2.16	6.88
After	2.48	2.33

Table 8 Bonding ratio of mortar

Specimen Number	1	2	3	Average
Bonding ratio of mortar (%)	58.4	53.1	55.5	55.7

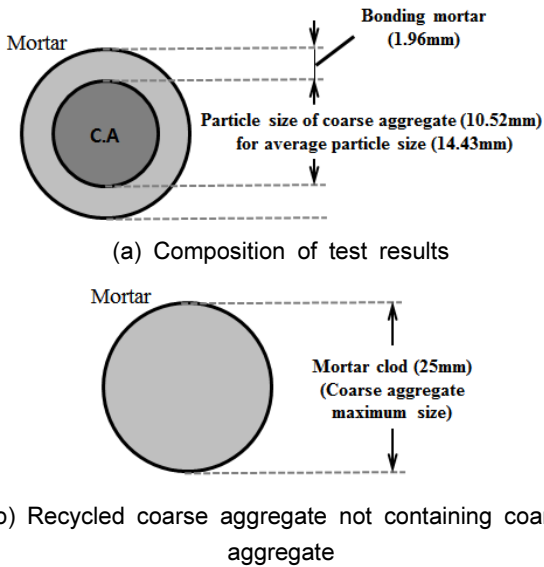


Fig. 13 Composition of recycled coarse aggregate

### 3.2 화학적 정량분석에 기초한 순환 골재의 최적 탄산화 개질 기간

#### 3.2.1 시멘트 페이스트

탄산화를 실시하지 않은 페이스트 시험체의 재령 경과에 따른 수화물 변화량을 Fig. 14에 나타내었다. 탄산화를 실시하지 않은 시료 내에서 재령경과에 따라 수화물의 증감이 있다면, 탄산화를 실시한 시료에서는 수화반응과 탄산화에 의한 복합적인 데이터가 도출될 수 있다. 따라서, 탄산화에 국한한 수화물 변화의 정량분석을 위해 촉진 탄산화 시험체와 동일한 20°C, RH60%의 환경조건에서 재령 경과에 따른 수산화칼슘과 탄산칼슘의 증감량을 계산한 결과, 0.4% 이내(수산화칼슘 기준치 25.8, 탄산칼슘 기준치 9.5에서 변화, Table 3)로 나타났다. 이것은 자극 작용으로 2차반응을 하는 기타 혼화재료를 사용하지 않고, OPC 100%를 사용한 모의 시험체를 제작한 후 28일간 수중양생을 실시하여 충분한 수분 공급으로 대부분의 수화반응이 진행되었기 때문으로 판단된다. 따라서, 재령 경과에 따른 수산화칼슘의 추가 생성과 탄산칼슘의 감소는 고려하지 않는 것으로 하였다.

탄산화를 실시한 페이스트 시험체의 탄산칼슘 생성 mol수에 대한 수산화칼슘 분해 mol수를 Fig. 15, 탄산칼슘 생성 mol수에 대한 수산화칼슘 이외 수화물의 탄산화에 의한 탄산칼슘 생성 mol수를 Fig. 16에 나타내었다. 또한, 각 재령에서 시멘트 페이스트의 수화물 변화량을 Table 9에 나타내었다.

탄산화 진행에 따른 수산화칼슘의 분해와 탄산칼슘의 생성 mol 비는 식 (1)과 같이 1:1 반응을 하는 것을 알 수 있다. 따라서, 실제 시험 데이터를 바탕으로 분석을 수행한 결과, 총 탄산칼슘의 생성량은 수산화칼슘의 탄산화에 의해 42.2%가 생성되었으며, 나머지 57.8%의 탄산칼

슘은 수산화칼슘 이외의 수화물의 탄산화에 의해 생성된 것으로 나타났다.

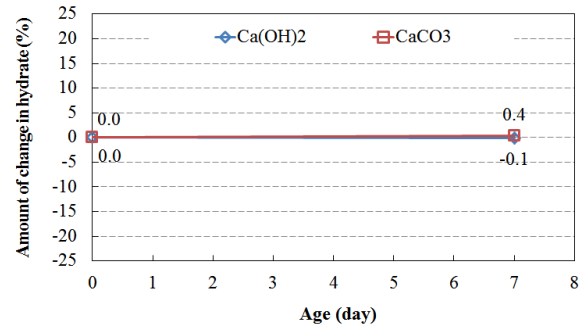


Fig. 14 Amount of change in hydrates of specimen that do not implement the carbonation

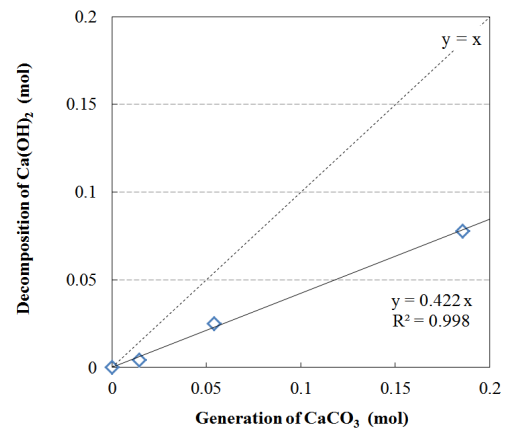


Fig. 15 Decomposition of Ca(OH)<sub>2</sub> for generation of CaCO<sub>3</sub>

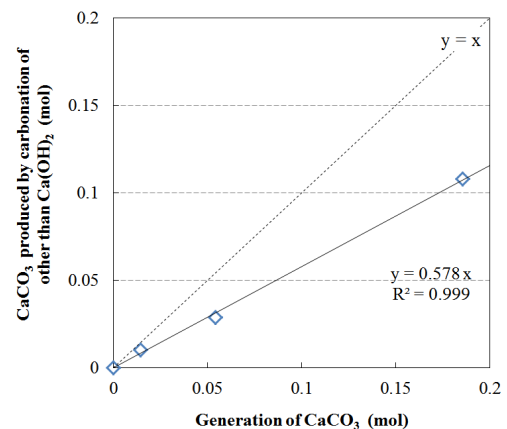


Fig. 16 CaCO<sub>3</sub> produced by carbonation of other than Ca(OH)<sub>2</sub> for generation of CaCO<sub>3</sub>

Table 9 Change of hydrate in cement paste (mol)

Change of hydrate	0d	3d	14d	21d
Decomposition of Ca(OH) <sub>2</sub> (mol)	0	0.0044	0.0251	0.0779
Generation of CaCO <sub>3</sub> (mol)	0	0.0144	0.0540	0.1858

따라서, 탄산화 기간 21일에서 탄산칼슘의 총 생성량 18.59%는 수산화칼슘의 탄산화에 의해 7.84%가 생성되었으며, 수산화칼슘 이외의 수화물의 탄산화에 의해 10.75%가 생성된 것으로 도출되었다. 탄산화 기간 21일에서의 수산화칼슘 및 이외 수화물의 생성 증량비에 대한 각각의 탄산칼슘 생성 증량비를 Fig. 17에 나타내었다.

탄산화 기간 21일 재령에서 수산화칼슘의 탄산화에 의한 탄산화 깊이와 수산화칼슘 이외 수화물의 탄산화에 의한 탄산화 깊이 및 탄산화 진행에 따른 탄산가스 흡수량을 Fig. 18에 나타내었다.

탄산화 깊이 산정은 식 (9)~(10)에 따라 수산화칼슘의 탄산화에 의한 탄산화 깊이와 식 (11)~(15)에 따라 수산화칼슘 이외의 수화물의 탄산화에 의한 탄산화 깊이로 나누어 식 (16)과 같이 계산을 수행하였다. 또한, 수산화칼슘 이외 수화물 탄산화 깊이 산정은 Fig. 18와 같이 질량 보존의 법칙에 기초하여 탄산화 반응에 의한 탄산가스 흡수량을 포함하여 산정하였다.

재령에 따른 탄산화 깊이의 계산 결과, 탄산화 기간 21일에서 수산화칼슘의 탄산화에 의한 탄산화 깊이는 0.29 mm, 수산화칼슘 이외 수화물의 탄산화에 의한 탄산화 깊이는 0.51 mm로 산출되었으며, 총 탄산화 깊이는 0.80 mm로 도출되었다.

탄산화 기간 21일과 동일한 방식으로 계산한 총 탄산화 깊이를 Fig. 19에 나타내었다. 재령이 경과함에 따라 탄산화

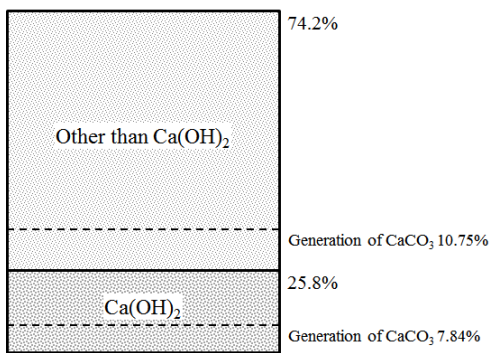


Fig. 17 Generation of CaCO<sub>3</sub> for weight ratio of the hydrates in specimen of carbonation 21days

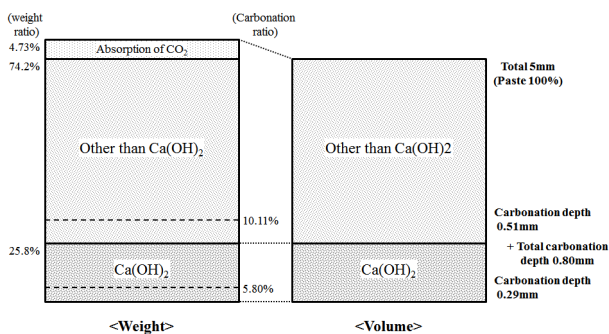


Fig. 18 Carbonation depth in specimen of carbonation 21days

1) 수산화칼슘의 탄산화에 의한 탄산화 깊이

$$R_{car.\%}^{CH} = CH_0 - CH_x \quad (9)$$

$$depth_{car.}^{CH} = thk_{tp} \times \frac{R_{car.\%}^{CH}}{100} \quad (10)$$

여기서,  $R_{car.\%}^{CH}$  : 탄산화에 의한 Ca(OH)<sub>2</sub>의 탄산화율(%)  
 $CH_0$  : 탄산화 0일 Ca(OH)<sub>2</sub> 증량백분율(%) (기준, 25.8)  
 $CH_x$  : 탄산화 x일 Ca(OH)<sub>2</sub> 증량백분율(%) (21일, 20.0)  
 $depth_{car.}^{CH}$  : Ca(OH)<sub>2</sub>의 탄산화에 의한 탄산화 깊이 (mm)  
 $thk_{tp}$  : 시험체 두께(5 mm)

2) 수산화칼슘 이외의 탄산화에 의한 탄산화 깊이

$$\Delta CC^{other} = (CC_x - CC_0) \times R_{CC}^{other} \quad (11)$$

$$absorb_{CO_2}^{other} = \frac{\Delta CC^{other}}{MW_{CC}} \times MW_{CO_2} \quad (12)$$

$$\Delta R_{CC}^{other} = \frac{\Delta CC^{other}}{100 - CH_0 + absorb_{CO_2}^{other}} \times 100 \quad (13)$$

$$R_{car.\%}^{other} = (100 - CH_0) \times \frac{\Delta R_{CC}^{other}}{100} \quad (14)$$

$$depth_{car.}^{other} = thk_{tp} \times \frac{R_{car.\%}^{other}}{100} \quad (15)$$

여기서,  $\Delta CC^{other}$  : Ca(OH)<sub>2</sub> 이외의 탄산화에 의한 CaCO<sub>3</sub> 변화(%)  
 $CC_x$  : 탄산화 x일 CaCO<sub>3</sub> 증량백분율(%) (21일, 28.1)

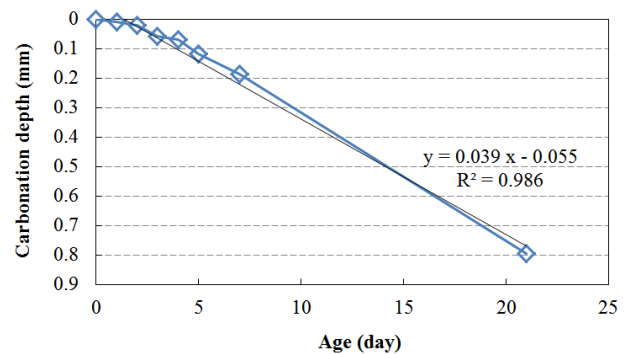


Fig. 19 The relation between the carbonation depth and the age



- $CC_0$  : 탄산화 0일  $CaCO_3$  증량백분율(%)  
(기준, 9.5)
- $R_{CC}^{other}$  :  $Ca(OH)_2$  이외의 탄산화에 의한  $CaCO_3$  생성비(0.578)
- $absorb_{CO_2}^{other}$  :  $Ca(OH)_2$  이외의 탄산화에 의한  $CO_2$  흡수량(%)
- $MW_{CC,CO_2}$  :  $CaCO_3, CO_2$  분자량
- $\Delta R_{CC}^{other}$  :  $Ca(OH)_2$  이외의 탄산화에 의한  $CaCO_3$  변화율(%)
- $R_{car.\%}^{other}$  : 탄산화에 의한  $Ca(OH)_2$  이외의 탄산화율(%)
- $depth_{car.}^{other}$  :  $Ca(OH)_2$  이외의 탄산화에 의한 탄산화 깊이(mm)

3) 총 탄산화 깊이

$$depth_{car.}^{all} = depth_{car.}^{CH} + depth_{car.}^{other} \quad (16)$$

여기서,  $depth_{car.}^{all}$  : 총 탄산화 깊이(mm)

깊이가 증가하고 있으며, 재령 경과에 따른 탄산화 깊이 계산 데이터를 선형 회귀분석 수행 결과  $y=0.039x-0.055(R^2=0.986)$ 으로 도출되었다.

도출된 추세선을 통해 3.1.1의 순환 잔 골재의 평균 입경에 대한 부착 페이스트 두께 0.08 mm에 적합한 탄산화 기간은 재령 3.46일(≒4일)인 것으로 도출되었다. 또한, Fig. 6(b)와 같이 골재를 포함하지 않은 순수 페이스트 순환 잔 골재 덩어리로 가정된 잔 골재 최대치수 5 mm의 반지름인 2.5 mm에 적합한 탄산화 기간은 재령 65.51일(≒66일)인 것으로 도출되었다.

그러나, 최악 조건으로 가정한 5 mm의 페이스트 덩어리 잔 골재가 실제 순환 골재 내에 포함될 확률은 현저히 낮고, 탄산화 장비 등의 가동에 의한 에너지 사용을 고려하여 최악 조건의 탄산화 기간은 고려하지 않는 것으로 하였다. 하지만, 5 mm 페이스트 덩어리의 포함율이 높아질 경우에는 추가적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

3.2.2 모르타르

탄산화를 실시하지 않은 모르타르 시험체의 재령 경과에 따른 수화물 변화량을 Fig. 20에 나타내었다. 페이스트와 동일한 방법으로 계산을 수행한 결과, 재령 경과에 따른 증감량은 1.4% 이내(수산화칼슘 기준치 25.7, 탄산칼슘 기준치 8.1에서 변화, Table 4)로 나타났다. 따라서, 재령 경과에 따른 수산화칼슘의 추가 생성과 탄산칼슘의 감소는 고려하지 않는 것으로 하였다.

탄산화를 실시한 모르타르 시험체의 탄산칼슘 생성 mol수에 대한 수산화칼슘 분해 mol수를 Fig. 21, 탄산칼슘 생성 mol수에 대한 수산화칼슘 이외 수화물의 탄산화에 의한 탄산칼슘 생성 mol수를 Fig. 22에 나타내었다.

또한, 각 재령에서 모르타르의 수화물 변화량을 Table 10에 나타내었다.

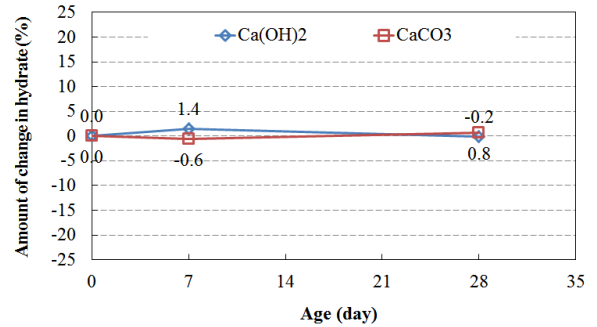


Fig. 20 Amount of change in hydrates of specimen that do not implement the carbonation

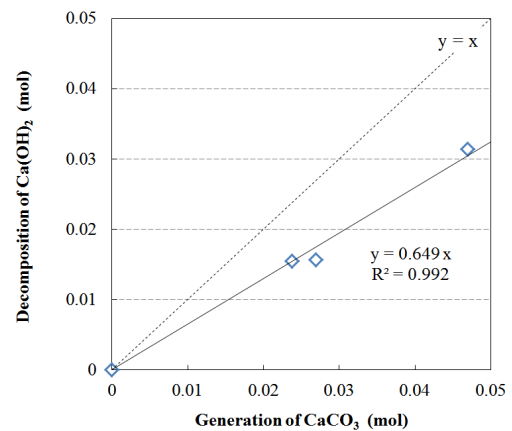


Fig. 21 Decomposition of  $Ca(OH)_2$  for generation of  $CaCO_3$

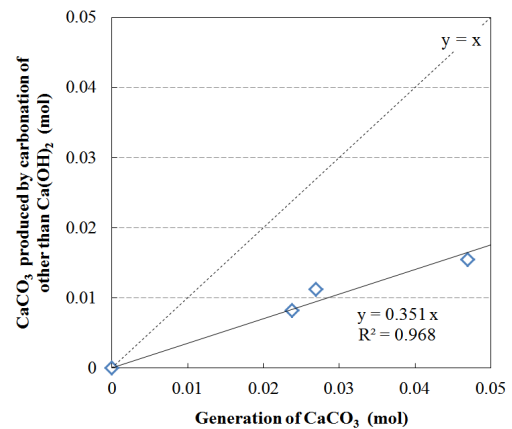


Fig. 22  $CaCO_3$  produced by carbonation of other than  $Ca(OH)_2$  for generation of  $CaCO_3$

Table 10 Change of hydrate in mortar (mol)

Change of hydrate	0d	5d	7d	14d
Decomposition of $Ca(OH)_2$ (mol)	0	0.0157	0.0155	0.0314
Generation of $CaCO_3$ (mol)	0	0.0269	0.0237	0.0469

페이스트와 동일한 방법으로 시험 데이터를 바탕으로 분석을 수행한 결과, 총 탄산칼슘 생성량은 수산화칼슘의 탄산화에 의해 64.9%가 생성되었으며, 나머지 35.1%의 탄산칼슘은 수산화칼슘 이외의 수화물의 탄산화에 의해 생성된 것으로 나타났다.

따라서, 탄산화 기간 28일에서 탄산칼슘의 총 생성량 4.30%는 수산화칼슘의 탄산화에 의해 2.79%가 생성되었으며, 수산화칼슘 이외의 수화물 74.3%의 탄산화에 의해 1.51%가 생성된 것으로 도출되었다. 탄산화 기간 28일에서의 수산화칼슘 및 이외 수화물의 생성 중량비에 대한 각각의 탄산칼슘 생성 중량비를 Fig. 23에 나타내었다.

탄산화 기간 28일 재령에서 수산화칼슘의 탄산화에 의한 탄산화 깊이와 수산화칼슘 이외 수화물의 탄산화에 의한 탄산화 깊이 및 탄산화 진행에 따른 탄산가스 흡수량을 Fig. 24에 나타내었다.

탄산화 깊이 산정은 시멘트 페이스트와 동일한 방식으로 식 (9)~(16)에 따라 수행하였다. 그러나, 모르타르 시험체의 경우 페이스트 시험체와는 다르게 내부에 시멘트 페이스트(C)와 잔 골재(S)를 포함하고 있으므로 탄산화 깊이 산정 시 Fig. 24와 같이 전체 시험체 크기와 용적비를 고려하여 탄산화 깊이를 산정하였다.

재령에 따른 탄산화 깊이의 계산 결과, 탄산화 기간 28일에서 수산화칼슘의 탄산화에 의한 탄산화 깊이는 2.90 mm, 수산화칼슘 이외 수화물의 탄산화에 의한 탄산화

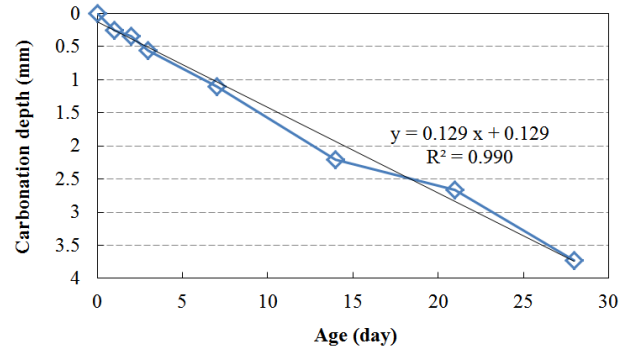


Fig. 25 The relation between the carbonation depth and the age

깊이는 0.83 mm로 산출되었으며, 총 탄산화 깊이는 3.73 mm로 도출되었다.

탄산화 기간 28일과 동일한 방식으로 계산한 총 탄산화 깊이를 Fig. 25에 나타내었다. 재령이 경과함에 따라 탄산화 깊이가 증가하고 있으며, 재령 경과에 따른 탄산화 깊이 계산 데이터를 선형 회귀분석 수행 결과  $y=0.129x+0.129(R^2=0.990)$ 으로 도출되었다.

도출된 추세선을 통해 3.1.2의 순환 굵은 골재의 평균 입경에 대한 부착 모르타르 두께 1.96 mm에 적합한 탄산화 기간은 재령 14.19일(≒14일)인 것으로 도출되었다. 또한, Fig. 9(b)와 같이 골재를 포함하지 않은 순수 모르타르 순환 굵은 골재 덩어리로 가정한 굵은 골재 최대치수 25 mm의 반지름인 12.5 mm에 적합한 탄산화 기간은 재령 95.90일(≒96일)인 것으로 도출되었다.

그러나, 최악 조건으로 가정한 25 mm의 모르타르 덩어리 굵은 골재가 실제 순환 골재 내에 포함될 확률은 현저히 낮고, 탄산화 장비 등의 가동에 의한 에너지 사용을 고려하여 최악 조건의 탄산화 기간은 고려하지 않는 것으로 하였다. 하지만, 25 mm 모르타르 덩어리의 포함율이 높아질 경우에는 추가적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 순환 골재의 부착 이질재 두께에 적합한 최적 탄산화 개질 기간을 평가하기 위하여, 먼저 국내에서 유통되고 있는 순환 골재의 입도분포를 파악하고, 순환 잔 골재와 순환 굵은 골재의 부착 페이스트와 모르타르의 두께를 산정하였다.

이질재의 두께에 기초한 순환 골재의 부착 시멘트 페이스트 및 모르타르의 모의 시험체를 제작하여 촉진 탄산화를 실시하고, 화학적 정량분석을 통하여 촉진 탄산화에 의한 탄산화 깊이를 도출하였으며, 각 부착 두께에 적합한 최적 탄산화 개질 기간을 평가하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

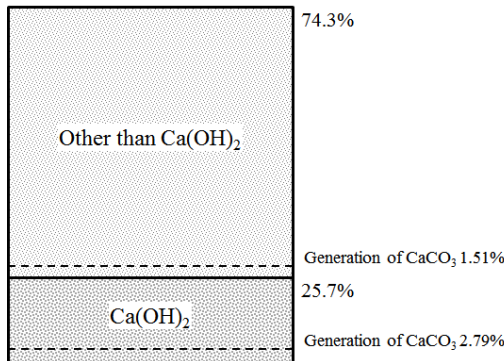


Fig. 23 Generation of CaCO3 for weight ratio of the hydrates in specimen of carbonation 28days

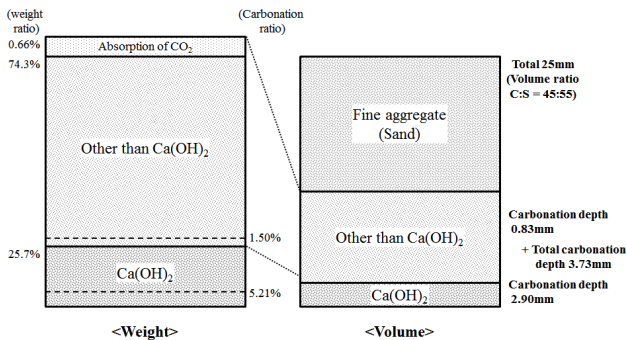


Fig. 24 Carbonation depth in specimen of carbonation 28days

- 1) 입도 분포 시험에 의한 순환 잔 골재의 평균 입경은 1.82 mm로 산정되었으며, 염산 처리를 실시하여 각각의 입경을 계산한 결과 원 잔 골재의 평균 입경은 1.66 mm, 부착 시멘트 페이스트는 0.16 mm(반지름 0.08 mm)로 산출되었다.
- 2) 입도 분포 시험에 의한 순환 굵은 골재의 평균 입경은 14.43 mm로 산정되었으며, 염산 처리를 실시하여 각각의 입경을 계산한 결과 원 굵은 골재의 평균 입경은 10.52 mm, 부착 모르타르는 3.91 mm(반지름 1.96 mm)로 산출되었다.
- 3) 탄산화를 실시한 시멘트 페이스트 시험체의 경우, 총 탄산칼슘의 생성량 중에 수산화칼슘의 탄산화에 의해 42.2%가 생성되었으며, 나머지 57.8%는 수산화칼슘 이외의 수화물의 탄산화에 의해 생성된 결과를 얻었다. 또한, 모르타르 시험체의 경우, 총 탄산칼슘의 생성량 중에 수산화칼슘의 탄산화에 의해 66.5%가 생성되었으며, 나머지 33.5%는 수산화칼슘 이외의 수화물의 탄산화에 의해 생성된 결과를 얻었다.
- 4) 탄산화 깊이의 산정은 수산화칼슘의 탄산화에 의한 탄산화 깊이와 수산화칼슘 이외의 수화물의 탄산화에 의한 탄산화 깊이로 나누어 총 탄산화 깊이를 계산하였다. 탄산화 21일 시멘트 페이스트 시험체의 경우, 수산화칼슘의 탄산화에 의한 탄산화 깊이는 0.29 mm, 수산화칼슘 이외의 탄산화에 의한 탄산화 깊이는 0.51 mm로 산정되어 총 탄산화 깊이는 0.80 mm로 도출되었다. 또한, 탄산화 28일 모르타르 시험체의 경우, 수산화칼슘의 탄산화에 의한 탄산화 깊이는 2.90 mm, 수산화칼슘 이외의 탄산화에 의한 탄산화 깊이는 0.83 mm로 산정되어 총 탄산화 깊이는 3.73 mm로 도출되었다.
- 5) 본 연구의 결과로부터 순환 잔 골재의 평균 입경 1.82 mm에 대한 부착 페이스트 두께 0.08 mm에 적합한 탄산화 기간은 재령 3.46일(≒4일)이며, 순환 굵은 골재의 평균 입경 14.43 mm에 대한 부착 모르타르 두께 1.96 mm에 적합한 탄산화 기간은 14.19 일(≒14일)인 것으로 도출되었다.
- 6) 따라서 본 연구에서 제안한 순환 골재의 부착 이질재 두께 측정방법은 순환 골재의 품질 평가에 있어서 기반 자료로 이용될 수 있을 것으로 판단되며, 부착 이질재 두께에 따른 탄산화 개질 기간 평가 방법은 순환 골재의 탄산화 개질 기술에 대한 기초적 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 향후, 본 기술의 실용화를 위해서는 탄산화 개질에 의한 순환 골재 및 이를 이용한 순환 콘크리트의 품질 개선 효과에 대한 검토가 필요 할 것으로 판단된다.

## References

1. Korea Environment Corporation, Generation and Processing Status of National Waste(2013), No. KECO2014-PE14-38, Ministry of Environment, 2014. pp.22-30.
2. Waste Resources Management Division, Construction Waste Recycling Promotion Act, Law No. 13527, Ministry of environment, 2015, pp.1-20.
3. Technology Policy Division, Quality Standard of Recycled Aggregate, Bulletin No. 2013-92, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013, pp.5-82.
4. Tam, V.W.Y., Gao, X.F., and Tam, C.M., "Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach", *Cement and Concrete Research*, Vol.35, No.6, 2005, pp.1195-1203.
5. Xiao, J., Li, W., Fan, Y., and Huang, X., "An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996-2011)", *Construction and Building Materials*, Vol.31, 2012, pp.364-383.
6. Tangchirapat, W., Buranasing, R., Jaturapitakkul, C., and Chindaprasirt, P., "Influence of rice husk-bark ash on mechanical properties of concrete containing high amount of recycled aggregates", *Construction and Building Materials*, Vol.22, No.8, 2008, pp.1812-1819.
7. Corinaldesi, V., and Moriconi, G., "Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete", *Construction and Building Materials*, Vol.23, No.8, 2009, pp.2869-2876.
8. Kou, S., Poon, C., and Agrela, F., "Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures", *Cement and Concrete Composites*, Vol.33, No.8, 2011, pp.788-795.
9. Katz, A., "Treatments for the improvement of recycled aggregate", *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol.16, No.6, 2004, pp.597-603.
10. Cheng, H., and Wang, C., "Experimental study on strengthen concrete regenerated aggregate with water glass", *New Building Materials* Vol.12, 2004, pp.12-14.
11. Kim, N.Y., Kim, H.J., and Bae, J.S., "A Study on the Property Estimation of Recycled Coarse Aggregate and Characteristic of Recycled Aggregate Concrete Using the Surface Coated Treatment Method", *Journal of The Korean Society of Civil Engineers A*, Vol.28, No.4A, 2008, pp.603-609.
12. Choi, H.B., "Water Absorbption Controlling Type Surface Treatment Method for Quality Enhancement of Recycled Aggregate", *Journal of The Korean Institute of Building Construction*, Vol.15, No.6, 2015, pp.561-567.
13. Tam, V.W.Y., Tam, C.M., and Le, K.N., "Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol.50, No.1, 2007, pp.82-101.

14. Kim, J.M., Kim, H.S., Park, S.G., Kim, B.J., and Kwak, E.G., "Optimum Abrasing Condition for Recycled Fine Aggregate Produced by Low Speed Wet Abraser Using Sulfur", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.20, No.5, 2008, pp.557-563.
15. Korean Agency for Technology and Standards, *Recycled Aggregates for Concrete*, KS F 2573, Ministry of Trade, Industry and Energy, 2014, pp.6-8.
16. Powers, T.C., "A Hypothesis of Carbonation Shrinkage", *Journal of the PCA Research and Development Laboratories*, Vol.4, No.2, 1962, pp.40-50.
17. Papadakis, V.G., Costas, G., Vayenas, and Michael N. F., "Physical and chemical characteristics affecting the durability of concrete", *ACI Materials Journal*, Vol.88, No.2, 1991, pp.186-196.
18. Song, H., Mun, K.J., and Soh, Y.S., "Mechanical Properties and Pore Structure of Cement Matrix at High Temperature", *Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol.20, No.1, 2004, pp.107-114.

**요 약** 건설 시장에서는 기존의 건물을 철거하거나 보수하는 사례가 늘어나면서 막대한 양의 건설 폐기물이 발생되고 있다. 건설폐기물의 재활용은 자원절약과 환경보전 그리고 건설 산업의 지속적인 발전을 실현하는데 있어서 중요하다. 이에 따라, 폐 콘크리트를 파쇄한 후 생산되는 순환 골재의 가치가 환경적, 경제적인 측면에서 대두되고 있다. 순환 골재를 사용한 콘크리트는 일반 골재를 사용한 콘크리트에 비해 성능이 저하한다고 알려져 있고, 성능 저하의 원인은 부착 이질재(시멘트 페이스트 및 모르타르)의 양과 부착 이질재에 내포하는 공극의 양에 따라 좌우된다고 보고되고 있다. 탄산화 메커니즘에 대한 보고에 따르면 탄산화의 진행에 의해 시멘트계 재료의 공극이 충전된다고 알려져 있다. 따라서, 본 연구에서는 순환 골재에 부착한 이질재의 공극 충전에 의한 품질향상을 목표로 하여 탄산화 메커니즘을 기반으로 순환 골재의 부착 이질재 두께에 적합한 최적 탄산화 개질 기간의 추정을 목적으로 한다. 이에 따라, 본 연구에서는 순환 골재의 입도분포에 대한 부착 이질재의 부착율과 부착 두께를 산정하여 부착 이질재를 가정한 모의시험체의 축진 탄산화 재령에 따른 화학적 정량분석을 통해 재령 경과에 따른 탄산화 깊이를 도출하였다. 또한, 축진 탄산화 재령과 탄산화 깊이에 대한 상관관계를 바탕으로 부착 이질재 두께에 적합한 순환 골재의 탄산화 개질 추정 기간을 제안하였다.

**핵심용어** : 순환 골재, 부착 시멘트 페이스트, 부착 모르타르, 축진 탄산화