

# 탄산나트륨을 이용하여 제조한 순환잔골재의 품질 특성

## Characteristics of Recycled Fine Aggregate by Sodium Carbonated Water

(Received June 14, 2011 / Revised June 27, 2011/ Accepted June 30, 2011)

홍성록<sup>1)</sup> 김하석<sup>2)</sup> 곽은구<sup>3)</sup> 박선규<sup>4)</sup> 김진만<sup>5)\*</sup>

<sup>1, 2, 3, 5)</sup>공주대학교, 건축공학과 <sup>4)</sup>목원대학교, 건축학부

Sung-Rog Hong<sup>1)</sup> Ha-Seog Kim<sup>2)</sup> Eun-Gu Kwak<sup>3)</sup> Sun-Gyu Park<sup>4)</sup> Jin-Man Kim<sup>5)</sup>

Department of Architecture, Kongju University, Cheonan-City, Chuncheongnam-Do, 330-717, Korea

Division of Architecture, Mokwon University, -City, Chuncheongnam-Do, 330-717, Korea

### Abstract

Amount of disposed construction materials like waste concrete is growing fast and use of the recycled aggregate for concrete has been seriously considered. But the use of the recycled aggregate is very limited because recycled aggregate has very low quality. Therefore, quality of recycled aggregate is very important in the manufacturing of recycled aggregate concrete. We have studied a series of research according to chemical processes and investigate the alkaline elimination effect of recycled aggregate and quality variation of recycled aggregate by sodium carbonate. Thereafter we have evaluated quality of recycled fine aggregate and experimented quality of this aggregate. As a results, we find that it is easy to eliminate the calcium hydroxide in recycled aggregate by sodium carbonate and the quality of recycled aggregate increase by elimination of alkaline.

**키워드** : 순환골재, 탄산나트륨, 수산화칼슘, 알칼리, 이산화탄소

**Keywords** : Recycled Aggregate, Sodium Carbonate, Calcium Hydroxide, Alkaline, Carbon Dioxide

## 1. 서론

도시 재개발 및 환경 정비에 대한 수요가 증가함에 따라 60~70년대에 건설된 SOC 및 주택의 해체가 증가하고 있다. 이러한 구조물의 해체공사 시 발생하는 막대한 량의 건설 폐기물은 도시 및 주거환경 파괴의 주범이 되고 있다. 1990년대에 연간 1천 6백만 톤 발생하던 건설폐기물은 2008년 연간 약 6천 4백만 톤으로 5배 이상 증가하였으며, 국내 폐기물 중 50%이상을 점유하게 되었다.<sup>1,2,3)</sup> 이에 따라 건설 폐기물 중 60% 이상을 차지하고 있는 폐콘크리트는 2000년 약 1,500 만 톤에서 2020년에는 약 1억 톤 이상으로 급격히 증가할 것으로 예상된다. 이에 건설교통부에서는 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률 제35조의 규정에

의거 건설폐기물의 재활용을 촉진하기 위한 「순환골재 품질기준」을 2005년 8월에 개정하여 폐콘크리트의 다양하고 폭넓은 활용을 권장하고 있다. 하지만 국내에서 폐콘크리트를 이용하여 생산되고 있는 순환 골재의 경우 높은 흡수율과 낮은 밀도로 인해 순환골재 품질 기준안에 제시되어 있는 구조용 콘크리트 골재로서 사용하지 못하고 부가가치가 낮은 성토, 복토용 등으로 대부분 사용되어 지고 있다. 일반적으로 순환골재의 품질이 저조한 이유는 시멘트가 수화한 후 생성된 고흡수성 물질들과 공극으로 이루어져 있는 시멘트 페이스트가 원골재에 부착되어 있기 때문이다. 또한 시멘트 페이스트에 10~15% 정도 함유된 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)은 골재의 pH를 12 이상으로 만들어 이러한 골재를 사용할 경우 지하수나 빗물에 의해 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)이 지속적으로 용출되어 토양, 수자원을 알칼리화 시켜 생태계를 파괴시키는 비점오염원의 문제점이 된다.<sup>4)</sup>

\* Corresponding author  
E-mail: jkim@kongju.ac.kr

한편, 온실가스의 증가는 지구의 기후변화에 원인이 되었고 온실가스를 배출하는 산업 역시 많은 규제를 받게 되었다. 콘크리트의 시멘트 제조 공정은 다량의 CO<sub>2</sub>를 배출하여 지구 온난화의 원인이 되고 있지만 장기적으로 콘크리트는 생산 중에 발생한 CO<sub>2</sub>를 일부 흡수하는 것으로 알려져 있다.<sup>5,6)</sup> 콘크리트가 시간이 많이 지났음에도 일부의 CO<sub>2</sub>를 흡수하는 이유는 콘크리트의 내부물질들이 CO<sub>2</sub>와 반응되지 않았기 때문이다. 대기와 맞닿는 표면적이 적어 안쪽까지 탄산화가 되지 않은 것이다. 반대로 콘크리트를 이용하여 CO<sub>2</sub>를 흡수하는데 효율적인 방법은 콘크리트를 파분쇄하여 작은 입자로 만들어 주고 많은 반응면적을 만들어 단시간에 많은 양을 접촉하게 하는 것이다.

콘크리트의 구성 물질은 골재가 약 70%를 차지하고 시멘트 페이스트 25%와 공극 5%로 이루어져 있으며, 이 중 시멘트 페이스트 15%가 Ca(OH)<sub>2</sub>로 이루어져 있다. 하지만 CO<sub>2</sub>와 반응하는 Ca(OH)<sub>2</sub>은 알칼리계 물질로서 물과 접촉 시 이온화는 잘되지만 용해율이 낮아 신속히 제거하기는 어렵다. 또한 CO<sub>2</sub>는 낮은 온도와 높은 압력에서 용해가 잘되는 특성을 가지고 있어 물에 용해되는 속도가 느리고 양도 작아 비효율적이다. 하지만 NaOH을 촉매제로 이용할 경우 보다 빠르고 많은 양의 CO<sub>2</sub>를 용해할 수 있으며, 물에 희석한 NaOH에 CO<sub>2</sub>를 반응시킨 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>수용액은 순환골재의 Ca(OH)<sub>2</sub>과 반응하여 CaCO<sub>3</sub>으로 변환된다. 이러한 Ca(OH)<sub>2</sub>의 제거는 일반적으로 구조용 콘크리트 골재로서 사용되지 못하고 성토나 복토용으로 사용되어지고 있는 순환골재의 지속적인 Ca(OH)<sub>2</sub>의 용출에 의한 문제인 수자원을 알카리화해 생태계를 파괴하는 것을 막을 수 있을 것으로 사료된다.<sup>7,8,9)</sup>

따라서 본 연구에서는 지구 온난화의 원인이 되는 CO<sub>2</sub>를 고정하여 CO<sub>2</sub>배출 저하와 건설폐기물의 재자원화 및 고품질화를 목적으로 수행한 일련의 연구로, 촉매인 NaOH을 CO<sub>2</sub>와 반응시켜 제조한 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>에 의한 순환골재의 Ca(OH)<sub>2</sub>의 제거효과와 이에 따른 순환골재의 품질 특성을 고찰하기 위한 실험을 수행하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

본 연구는 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>을 이용해 순환골재의 Ca(OH)<sub>2</sub>를 제거하고, Ca(OH)<sub>2</sub>를 제거한 순환골재의 물리적 특성을 검토하기 위한 일련의 실험을 실시하였다. 본 실험에 있어서 수차례의 예비 실험을 실시한 결과, 순환골재의 알칼리 제거에 영향을 주는 주요한 인자로는 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>의 농도와 교반시간인 것으로 나타났다. 즉, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>의 농도가 높아지면

반응속도가 빨라지고 교반시간이 늘어날수록 반응물의 생성이 잘되는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 농도 및 교반 시간을 실험변수로 하여 순환골재와 반응시켰으며, 반응된 순환골재의 알칼리 제거효과와 순환골재의 품질을 평가하기 위한 실험을 실시하였다.

### 2.1 실험 계획

Table 1은 제조된 탄산나트륨을 이용하여 순환골재의 알칼리 제거 및 알칼리가 제거된 순환골재의 품질 특성을 실험하기 위한 계획을 나타낸 것이다. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>의 농도는 5, 10%의 2수준으로 하였고, 교반시간은 3, 6, 9분의 3수준으로 설정하였다. 순환골재의 알칼리 제거 효과를 측정하기 위하여 pH실험을 실시하였고, 수산화칼슘의 제거에 의한 순환골재의 품질변동을 평가하기 위하여 밀도, 흡수율 및 입도 시험을 실시하였다. 또한 XRD와 DT-TGA는 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>와 CO<sub>2</sub>의 반응물 생성으로 두 물질의 반응과 반응정도를 확인해 보기 위하여 측정하였다.

Table 1 Experimental plan

| Factors                               | Levels  | Test items  |
|---------------------------------------|---------|---|
| Concentration of sodium carbonate (%) | 5, 10   | · pH<br>· Specific gravity<br>· Absorption ratio<br>· Grading curve |
| Stirring time (min)                   | 3, 6, 9 | · XRD<br>· DT-TGA   |

### 2.2 실험재료

Table 2는 본 실험에서 사용된 순환골재의 물리적 특성을 나타낸 것으로, 밀도 2.26g/cm<sup>3</sup>, 흡수율 6.59%, 단위용적 1.47t/m<sup>3</sup>인 순환골재를 사용하였다. 또한 본 실험에서 사용된 탄산나트륨 수용액은 순도 98%의 수산화나트륨을 증류수에 희석하여 CO<sub>2</sub>와 반응시켜 농도 5, 10%를 맞추어 사용하였다.

Table 2 Physical properties of recycled fine aggregate

| Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Fineness modulus | Absorption ratio(%) | Unit weight (t/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|------------------|---------------------|---------------------------------|
| 2.26                         | 2.81             | 6.59                | 1.47                            |

#### 2.2.1 용액의 제조

Fig 1은 본 연구의 실험에서 사용된 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 제조하기

위한 시험 장치이며 제조된  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 과  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 을 반응시키는 장치를 나타낸 것이다.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 의 제조는 식 (1)에 나타난 화학 반응식에 의하여 수산화나트륨을 증류수에 희석시킨 후  $\text{CO}_2$ 를 투입하여 제조하였다.

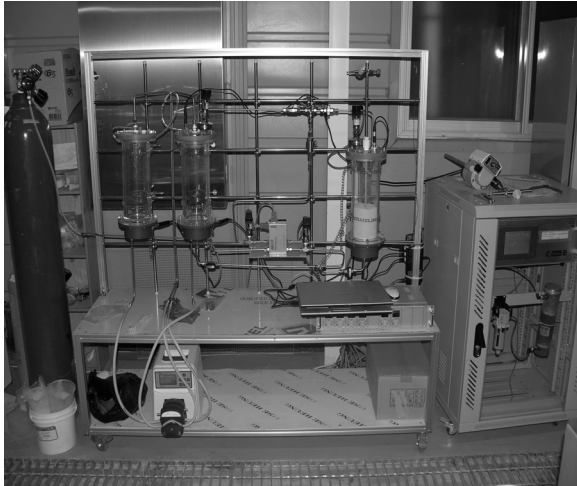
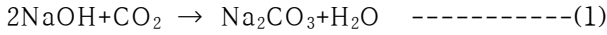


Fig. 1 Manufacturing equipment of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

### 2.3 실험방법

Table 3은 탄산나트륨 수용액 제조 및 제조된 탄산나트륨과 골재와의 반응과정을 나타낸 것이다. 탄산나트륨에 의한 순환잔골재의 알칼리 제거 효과 및 품질 변화를 평가하기 위하여, 탄산나트륨 반응 전후의 순환잔골재 pH와 밀도, 흡수율, 입도를 측정하였다. 순환잔골재의 pH는 pH meter를 이용하여 측정하였고, 순환잔골재의 밀도와 흡수율은 KS F 2504, 입도는 KS F 2502에 준하여 측정하였다.

Table 3 Manufacturing process of sodium carbonate and reaction process

|  |   |  |
|--|---|--|
| Injection                              | → | Reaction   |
| NaOH liquid                            |   | $2\text{NaOH} + \text{CO}_2$                         |
| CO <sub>2</sub> gas                    |   | ↓  |
|  |   | $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$        |
|  |   | ↓  |
| Injection                              | ← | Reaction   |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> liquid |   | $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{R} \cdot \text{A}^*$ |
| R · A*                                 |   | ↓  |
|  |   | $2\text{NaOH} + \text{CaCO}_3$                       |

\* R · A : Recycled aggregate

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 알칼리 제거 효과

Fig. 2는 실험과정에 있어서 수용액의 pH를 나타낸 것이다. A구간은 탄산나트륨 수용액을 제조하는 과정으로, 증류수에 수산화나트륨을 희석하고 이산화탄소를 넣어주어 pH가 약 10정도를 나타내었다. A구간에서 B구간은 탄산나트륨 수용액에 수산화칼슘을 넣어 교반시킨 과정으로 pH가 조금씩 상승하여 pH 13정도를 나타내었다. 이 구간이 수산화칼슘이 탄산나트륨에 의해 탄산칼슘으로 침출되는 과정으로 pH가 높게 나타나는 이유는 반응 후 수산화나트륨이 남아 알칼리성분을 나타내기 때문이다. B구간에서 C구간을 보면 반응이 끝난 공정수에 이산화탄소를 넣은 구간으로 pH가 탄산나트륨의 수용액 pH와 비슷한 정도를 나타낸다. 수산화칼슘을 제거한 공정수에 다시 이산화탄소를 투입하게 되면 탄산나트륨이 되어 계속적으로 공정에 사용할 수 있다. Fig. 2에서 보듯이 탄산나트륨수용액 제조 시에는 약염기였고 순환골재를 넣으면 강염기가 된다.

이것은 순환골재의 수산화칼슘이 공정수에 영향을 주었기 때문인 것으로 사료된다. 즉 교반시간이 지난 후에도 공정수가 강염기가 되는 것은 탄산나트륨과 수산화칼슘이 반응하여 탄산나트륨은 수산화나트륨이 되고, 수산화칼슘은 탄산칼슘으로 침전되기 때문이다. Fig. 3의 침전물의 분석결과 Calcite(탄산칼슘)가 나타났고 수산화칼슘이 제거되었음을 볼 수 있다.

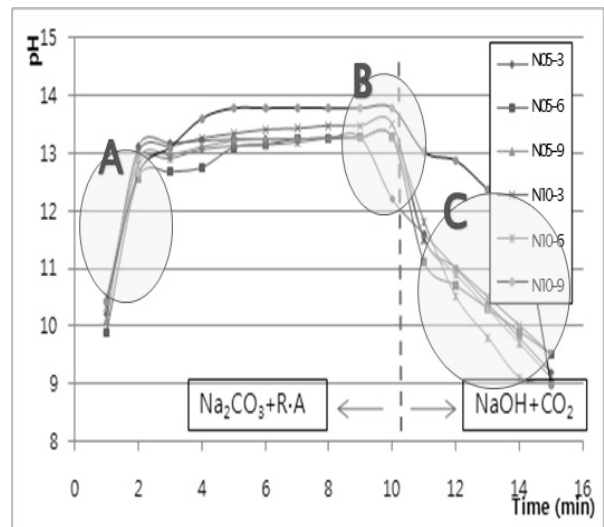


Fig. 2 Change of pH in 1 cycle process

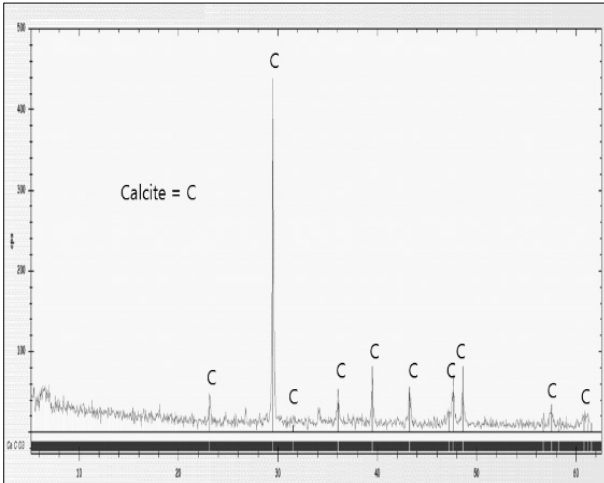


Fig. 3 Analysis result of XRD of precipitation sludge

### 3.2 밀도

Fig. 4는 탄산나트륨 농도 및 반응시간에 따른 순환잔골재의 밀도를 나타낸 것이다. 탄산나트륨에 반응하기 전에 비하여 탄산나트륨에 반응시킨 순환잔골재의 밀도는 모든 수준에서 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 즉 반응 전 순환골재의 밀도보다 탄산나트륨 반응 후 순환골재의 밀도가 약 5~10% 향상되었고 탄산반응 후 교반시간이 늘어나도 일정 수준 밀도가 변한 후 더 이상 변화는 없는 것으로 나타났다. 특히, 탄산나트륨 5% 농도 수용액과 탄산나트륨 10% 농도 수용액 모두 밀도를 향상시키지만 농도에 따른 차이는 거의 없었다.

### 3.3 흡수율

Fig. 5는 탄산나트륨 농도 및 반응시간에 따른 순환잔골재의 흡수율을 나타낸 것이다. 탄산나트륨에 반응시키지 않은 순환잔골재의 흡수율과 농도 5%로 3분 교반한 순환잔골재의 흡수율은 비슷한 값을 나타내었으며, 나머지 수준에서는 흡수율이 낮아지는 것을 확인하였다. 즉, 농도 5%로 3분, 6분 교반한 순환잔골재의 경우, 순환잔골재의 수산화칼슘이 수용액에 잘 용해되지 않았기 때문인 것으로 사료되며 9분 교반의 경우는 수산화칼슘이 반응할 수 있는 충분한 시간이 있어 흡수율이 많이 낮아졌다. 농도 10%로 3분 교반한 경우 투입한  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 빠르게 반응하여 흡수율이 크게 떨어졌지만 6분, 9분의 경우는 크게 낮아지지 않았는데 이것은 교반시간이 길어지면서 입자가 작아져 흡수율의 감소를 상쇄시키는 것으로 사료된다.

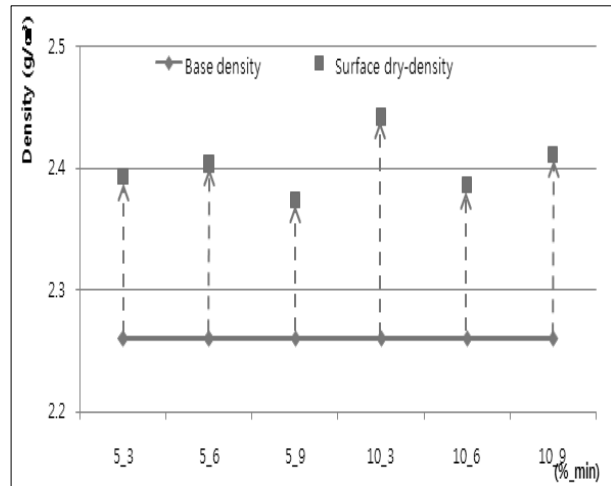


Fig. 4 Density according to experimental factor (The former numbers are the concentration of sodium carbonate and the latter numbers are the in X-axis string time for reaction)

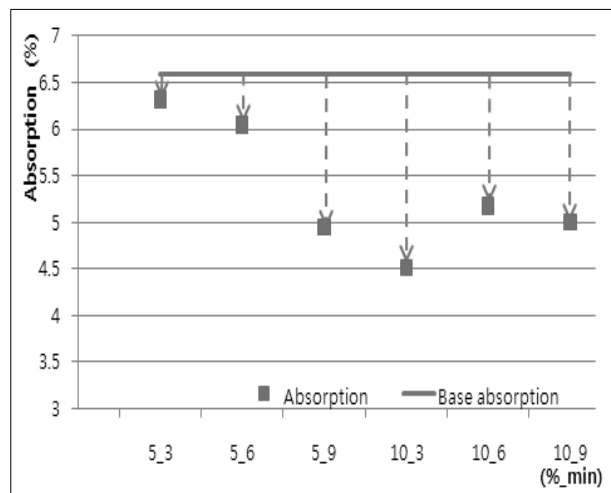


Fig. 5 Absorption of recycled fine aggregate

### 3.4 입도

Fig. 6은 탄산반응 전 순환골재의 입도와 탄산반응 후 실험 수준별 입도를 나타낸 곡선이다. 탄산나트륨과 반응 전후의 순환잔골재의 입도곡선은 반응전보다 반응후의 입도가 더 미세해진 것으로 나타났으며, 특히, 순환잔골재의 입경 2.5mm와 1.2mm 사이에서 변화가 가장 크게 나타났고 Base와 비교하여 입자의 크기가 작아졌다. 또한 순환잔골재의 입경 0.6mm 이하의 작은 입자들의 경우에는 입도 변화에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

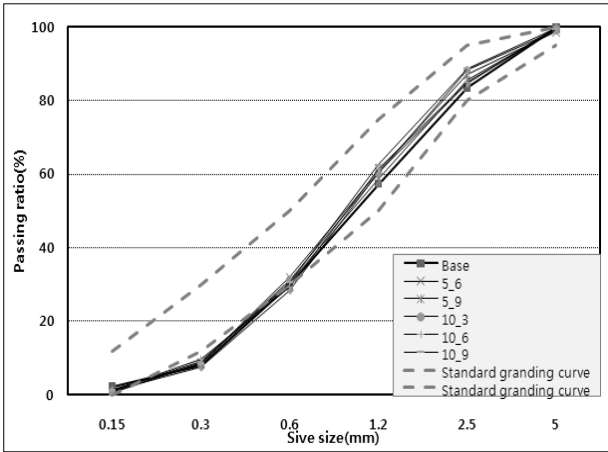


Fig. 6 Grading curve of recycled fine aggregate

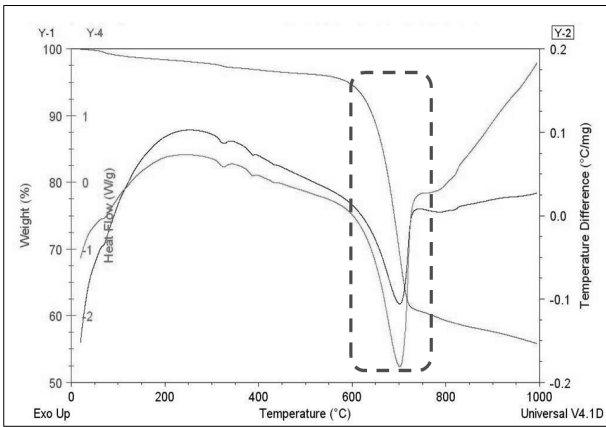


Fig. 7 Analysis result of DT-TGA

### 3.5 DT-TGA 열분석

Fig. 7은 순환잔골재의 탄산나트륨에 의하여 반응시키는 과정에서 발생한 침전질을 DT-TGA에 의하여 열분석을 한 결과를 나타낸 것이다. 수산화칼슘의 탈수 온도인 450°C에서는 중량의 변화가 거의 없어 수산화칼슘이 극소량이라는 것을 알 수 있다. 또한, 탄산칼슘의 탈탄산 온도인 600~700°C 사이에서 중량의 변화가 가장 심한 것으로 나타나 탄산칼슘이 다량 함유되어 있다는 것을 알 수 있었다.

## 4. 결론

탄산나트륨을 이용하여 골재의 알칼리를 제거하고 골재의 품질을 평가한 결과, 본 연구의 범위에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 탄산나트륨과 순환골재가 반응하여 알칼리를 나타내

는 수산화칼슘을 제거하는 것이 가능하였고, 탄산나트륨과 반응시킨 후의 순환잔골재의 품질은 전반적으로 향상되는 것으로 나타났다. 특히, 교반시간이 늘어 날수록 반응이 잘 일어나 순환잔골재의 품질이 향상되었고, 탄산나트륨 농도는 차이가 없는 것으로 나타났다.

- 2) DT-TGA 열분석을 실시한 결과, 탄산나트륨과 수산화칼슘의 반응 침전물이 탄산칼슘인 것을 확인할 수 있었고, 수산화칼슘은 나타나지 않았으므로 탄산반응으로 수산화칼슘을 제거할 수 있다는 것을 확인하였다.

- 3) 본 연구 결과에서 얻은 것처럼 탄산나트륨과 순환골재의 반응으로 수산화칼슘이 제거되어 공정수가 알칼리로 변하는 것은 확인할 수 있었지만, 탄산나트륨에 의한 순환잔골재의 정확한 품질변화를 평가하기 위해서는 골재의 알칼리도가 어떻게 변화하는가에 대한 추가적인 실험이 필요할 것으로 판단된다. 또한 탄산나트륨의 농도와 교반시간에 따른 침전물 성분 변화에 대하여도 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국 산업 기술진흥원의 지역혁신인력양성사업과 2010년 광역경제권 연계협력사업 [이산화탄소 고정화 원료의 토건재료화 기술개발]의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

## 참고문헌

- 1) 환경부, 2003년 전국폐기물 발생현황
- 2) 환경부, 2008년 전국폐기물 발생현황
- 3) 이도현, 폐콘크리트의 재활용 및 기술개발 동향, 건설산업 부산물의 재활용 기술 동향, 대한주택공사 주택도시연구원, 2006
- 4) Concrete Microstructure, Properties and Materials, P.Kumar Metha, 2006, pp 29 ~ 32
- 5) Claus Pade, Maria Guimaraes, The CO<sub>2</sub> uptake of concrete in a 100 year perspective, Cement and Concrete Research, 37, 2007, pp. 1348 ~ 1356.
- 6) S. Jacobsen, P. Jahren, Binding of CO<sub>2</sub> by Carbonation of Norwegian OPC Concrete, CANMET/ACI International Conference on Sustainability and Concrete Technology, Lyon, November 2002.

- 7) 김진만 외 5인, 탄산수 및 마쇄방법으로 제조된 순환잔골재의 품질특성에 관한 연구, 한국폐기물학회학술발표대회논문집, 2008년, pp.239 ~ 244
- 8) 김진만, 김하석, 선정수, 곽은구, 임대빈, CO<sub>2</sub> 가스를 이용한 마쇄방법에 따른 순환골재 품질 검토, 한국폐기물학회 추계학술연구회발표논문집, 2006. 11, pp.344 ~ 348.
- 9) 김하석, 선정수, 최훈국, 장서연, 임대빈, “실험계획법에 의한 고품질 순환잔골재 제조에 관한 기초적 연구,” 한국콘크리트학회 봄학술발표회논문집, 제19권, 제1호, 2007년, pp. 617 ~ 620.

### 탄산나트륨을 이용하여 제조한 순환잔골재의 품질 특성

콘크리트 같은 많은 건설 폐기물이 빠르게 늘어나고 있으며, 콘크리트에 재활용 골재의 사용이 심각하게 고려되고 있다. 그러나 순환골재의 사용은 품질이 낮기 때문에 매우 한정적으로 사용되고 있다. 그러므로 순환골재의 품질은 콘크리트의 제조에서 매우 중요하다. 본 연구는 지구 온난화의 원인이 되는 CO<sub>2</sub>를 고정하여 CO<sub>2</sub>배출 저하와 건설폐기물의 재자원화 및 고품질화를 목적으로 수행한 일련의 연구로, 촉매인 NaOH을 CO<sub>2</sub>와 반응시켜 제조한 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>에 의한 순환잔골재의 Ca(OH)<sub>2</sub>의 제거효과와 이에 따른 순환잔골재의 품질 특성을 고찰하기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 순환잔골재를 사용하는데 있어 문제시 되는 알칼리 성분을 제거하고자 공정수를 탄산나트륨 용액으로 대체하여 수산화칼슘을 탄산칼슘으로 침출시키는 방법을 계획하였고, 순환잔골재의 알칼리성분 제거 후의 품질 특성에 대하여 검토하였다. 본 연구의 결과, 수산화칼슘이 탄산나트륨 용액에 의해 탄산칼슘으로 제거된다는 것을 확인할 수 있었고, 생성물에 대하여 열분석(DT-TGA)을 실시한 결과 탄산칼슘인 것을 확인하였다. 탄산처리한 순환잔골재의 밀도는 원골재 보다 높아졌고 흡수율은 낮아지는 것을 확인할 수 있었으며, 탄산나트륨의 농도와 교반시간에 대해 결과치가 달랐는데 이것은 고정된 수산화칼슘의 양에 대한 탄산나트륨 용액의 반응 양에 의한 것으로 판단된다. 즉, 탄산 반응 후 순환잔골재의 밀도, 흡수율 및 입도 등의 물리적 성질은 전반적으로 개선되는 것을 확인할 수 있었다.