

# 폐콘크리트 미분말을 탈탄산 원료로 사용하기 위한 골재와 시멘트페이스트 분리의 최적 마쇄 조건 분석\*

## Optimal Abrasion Conditions for Separating Aggregate and Cement paste for Using Waste Concrete Fine Powder as Decarbonization Raw Material

김하석\*\* · 이민철\*\*\*

Ha-Seog Kim\*\* · Min-Chul Lee\*\*\*

### Abstract

In this study, we attempted to reduce CO<sub>2</sub> generated during manufacturing by replacing limestone (CaCO<sub>3</sub>), a carbonate mineral used to produce cement clinker, with a decarbonated raw material to which CO<sub>2</sub> is not bound. The raw material for decarbonization was cement paste attached to waste concrete, among various industrial by-products. Waste concrete has cement paste adhered to the aggregate, which cannot be separated efficiently by general crushing and grinding methods. Peeling and grinding methods effectively remove only the cement paste without damaging the original aggregate. The abrasion time, steel ball type, and steel ball ratio were selected as effective factors for Abrasion. An optimal abrasion experiment was conducted to produce waste concrete fine powder containing decarbonated CaO as a cement clinker raw material through an experimental design method. The experiment revealed that the optimal conditions for producing waste concrete fine powder were an abrasion time of 7 minutes, a steel ball size for pulverization of 8 mm, and a steel ball ratio for pulverization of 0.6.

**Keywords:** Carbonated, Decarbonated, Clinker, Waste Concrete, Waste Concrete Powder

## 1. 서 론

### 1.1 연구 목적

세계적으로 다양한 산업에서 발생하는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 감축하는 것이 큰 이슈로 부상하였으며 국내에서도 2020년 7월 14일 “한국판 뉴딜-선도국가로 도약하는 대한민국으로 대전환” 종합계획이

발표되었다(김남조, 2020). 한국판 그린뉴딜의 목표는 경제기반의 친환경·저탄소 전환 가속화 및 이를 통한 인프라·에너지 녹색전환과 녹색산업 혁신을 통한 탄소중립 사회를 지향하는 것이다(기획재정부, 2020). 이에 발맞추어 시멘트업계에서는 2050년 탄소중립 추진을 위한 산·학·연·관 협의체인 “시멘트그린뉴딜위원회”를 출범하고 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)

\*본 연구는 2022년도 산업통상부의 재원으로 한국산업기술평가 관리원-시멘트원료(석회석)대체 순환자원 기술 개발사업의 지원을 받아 수행된 연구로 관계 기관에 감사의 말씀을 올립니다(RS-2022-00155067).

\*\*도담이엔씨 대표이사(주저자: bravo3po@kongju.ac.kr)

\*\*\*그린환경 기업부설연구소 소장(교신저자: mikeleee@hanmail.net)

감축을 위한 다양한 연구를 진행하고 있다(김진만·배성철, 2021). 시멘트 산업에서 발생하는 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )는 시멘트 원료인 석회석( $\text{CaCO}_3$ )을 소성하면서 발생하는 것이 약 65%로 탄산염 원료를 탈탄산화된 대체원료 개발이 매우 중요한 상황이다(김상효·황준필, 2013). 이러한 시멘트 클링커 원료인 석회석 대체 재료로서 산업부산물인 슬래그와 폐콘크리트에 포함되어 있는  $\text{CaO}$ 를 탈탄산 원료로 활용에 대한 연구가 진행되고 있다.

콘크리트는 내구수명 종료 후 건설폐기물로 발생되며 이중 폐콘크리트 점유율은 62%로서 가장 큰 비중을 점유하며, 2019년 5,000만톤 이상 발생하였으며 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 폐콘크리트를 순환골재로 재활용하는 과정 중 발생하는 폐콘크리트 미분말은 폐콘크리트의 약 20%이며, 2019년 기준으로 연간 1,000만톤 수준으로 발생되는 것으로 추산되고 있다(박준서 외, 2016).

폐콘크리트 미분말은 시멘트가 주성분으로 미수화  $\text{CaO}$ 와 수화생성물인 수산화칼슘( $\text{Ca(OH)}_2$ ), 규산칼슘수화물(C-S-H, Calcium silicate hydrate) 등으로 구성되어 있으며 이중 8% 정도는 탄산화되어 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ ) 형태로 존재한다(이승현·구자술, 2019). 따라서 폐콘크리트 미분말을 시멘트 원료로 재활용할 경우 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )를 배출하지 않는 탈탄산염 원료로 활용할 수 있을 것으로 기대되나, 아직까지 시멘트공장에서 석회석 대체원료로 사용되는 사례는 없는 것으로 알려져 있다. 순환자원의 시멘트 원료 적용 연구는 주로 규산질 원료와 점토질 원료 대체 목적으로 진행되어 왔으며, 석회석 대체 원료에 대한 연구 및 실증화 실적은 매우 부족한 상황이다(조윤구 외, 2012).

일반적으로 폐콘크리트를 처리하는 공정은 순환골재를 생산할 목적으로 4차 이상의 파쇄와 골재에 구모르타르 성분 및 미분의 제거를 위해 골재 세척이 병행되고 있다. 하지만 기존의 파·분쇄 방법만으

로는 골재에 포함되어 있는 시멘트페이스트성분을 효율적으로 분리하지 못하며 미분말을 자원화하기 위하여 건식공정을 이용하여야 한다.

따라서 본 연구팀에서는 폐콘크리트에서 시멘트 모르타르만을 효율적으로 분리하기 위하여 기존 파·분쇄 방법이 아닌 박리·마쇄 방법을 이용하였다. 박리·마쇄 방법은 파쇄 및 분쇄 방법과는 달리 골재 간의 마찰과 자유낙하에 의한 운동에너지로 골재 표면에 시멘트 모르타르 성분을 탈리시키는 방법이다. 김진만 외(2008a)는 황산수를 사용한 저속 습식 마쇄법에 의한 순환골재의 최적 마쇄조건에서 실험 인자로 마쇄시간, 세척수량, 피분쇄물양을 선정하였으나 마쇄시간과 피분쇄물양이 박리·마쇄에 유효한 인자이며 세척수량은 영향을 주지 않는다고 말하였다(김진만 외, 2008a). 또한 폐콘크리트로부터 파쇄 방법에 따른 시멘트 모르타르 분리 정도에 관하여 최원영 외(2017)는 파쇄 방법에 따른 콘크리트용 순환골재의 품질을 비교한 결과, 박리·마쇄 방법이 가장 골재와 시멘트 모르타르 분리가 탁월하여 생산되는 순환골재의 밀도와 흡수율 값을 적정하게 한다고 밝혔다(최원영 외, 2017).

국외의 폐콘크리트로부터 골재와 시멘트 모르타르 분리 방안으로 열 부화 처리, 기계식 처리, 산을 이용한 화학적 처리를 대표적으로 들고 있다. 이중 기계식 처리로 드럼을 이용하여 폐콘크리트와 강구를 10개 투입한 후 회전수에 따라 밀도와 흡수율, 발생된 미분량을 측정하여 마모에 의한 골재와 시멘트 모르타르 분리가 효과적임을 밝혔다(Yoda et al., 2003).

이에 본 연구에서는 폐콘크리트로부터 골재와 시멘트 모르타르를 효율적으로 분리하여 시멘트 모르타르를 시멘트 클링커 원료로 사용하기 위하여 습식공정이 아닌 건식공정을 이용한 최적 박리·마쇄 조건에 대하여 실험적 및 통계적으로 검토·분석하였다. 즉, 박리·마쇄 시 영향을 주는 박리·마쇄 시간, 피

분쇄물의 종류, 피분쇄물의 양을 실험 인자로 선정 한 후 직교배열법에 의하여 그 유효성을 검토하여 최적의 박리·마쇄 조건을 도출하였다.

### 1.2 연구 방법

박리·마쇄 시간, 피분쇄물의 종류, 피분쇄물의 양에 대하여 검토하기 위하여 사용한 직교배열법은 결과에 영향을 주는 인자에 관한 정보를 희생시켜서 실험 횟수를 적게 할 수 있도록 한 실험계획의 한 방법이며, 본 연구에서는 인자가 계량치일 경우에 많이 사용되는 식 (1)에 나타난 3수준계를 이용하였다 (박성현, 2016).

$$L_{3m} (3^{(3m-1)/2}) \tag{1}$$

여기서, L=직교배열을 나타내는 문구

m=2 이상의 정수

3m=실험의 크기

(3m-1)/2=직교배열의 열의 수

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 실험계획 및 수준은 Table 1과 Table 2와 같다.

Table 1에 나타난 바와 같이 실험인자로서 박리·마쇄 시간, 피분쇄물의 종류, 피분쇄물의 양으로 실험계획법에 의해 27개 실험배치를 직교배열법을 이용하여 9개 실험 수준으로 배치하였다. 본 실험에 사용한 피분쇄물인 강구는 30mm, 20mm, 8mm 사이즈를 사용하였으며, 25mm 이상 굵은 골재에 중량으로 대체하여 실험하였다. 또한 박리·마쇄 시간은 5, 7, 10분의 3수준으로 하였으며, 이는 본 실험 방법을 현장생산에 적용할 경우 장시간의 처리공정은 생산율을 저하시켜 경제성 저하를 야기시키기 때문이다.

**Table 1.** The Design of Experiment

Factors	Levels			Test Items	
	0	1	2		
A	Abrasion Time (min)	5	7	10	• Fine powder quantity (150 μm under)
B	Steel Ball Type <sup>1)</sup>	1	2	3	
C	Steel Ball Ratio <sup>2)</sup> (%)	0.2	0.4	0.6	• Average particle size (PSA) • CaO content of fine powder (%)

1) 1=30 mm, 2=20 mm, 3=8 mm

2) Volume ratio of steel ball to total aggregate

**Table 2.** The Level of Experiment

ID	A	B	C	Levels
	Abrasion Time	Steel Ball Type	Steel Ball Ratio	
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	5	1	0.2	A <sub>1</sub> =3
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	5	2	0.4	A <sub>2</sub> =5
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	5	3	0.6	A <sub>3</sub> =7
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	7	1	0.4	B <sub>1</sub> =30 mm
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	7	2	0.6	B <sub>2</sub> =20 mm
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	7	3	0.2	B <sub>3</sub> =8 mm
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	10	1	0.6	C <sub>1</sub> =0.2%
A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	10	2	0.2	C <sub>2</sub> =0.4%
A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	10	3	0.4	C <sub>3</sub> =0.6%

Rew) 1, 2 and 3 represent experimental level respectively

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 사용재료

본 실험에서 사용된 순환골재는 연구를 수행하는 자사 중간처리 공정에서 생산된 25mm 이상의 순환 굵은골재를 사용하였다.

#### 2.2.2 실험방법

본 실험은 Fig. 1과 같이 순환굵은골재를 중량비율 별로 1차 투입하고 사용할 피분쇄물을 전체 골재 용적 비율별로 2차 투입한 후 시간별로 박리·마쇄 실험

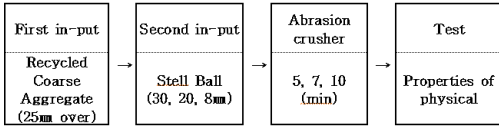


Fig. 1. Experimental Method



Fig. 2. Low Speed Abrasion Crusher

험을 실시하였다.

### 2.2.3 실험장비

Fig. 2는 본 실험에서 페콘크리트로부터 시멘트 모르타르를 효율적으로 분리하기 위한 실험 장치이다. 본 연구에서 사용한 박리·마쇄기는 저속의 회전력 으로부터 골재간의 마찰과 자유낙하충격력으로 골재에 달라붙어 있는 시멘트 모르타르 성분을 효과적으로 제거하는 것으로 8rpm, 50ℓ인 일반 가정식 믹서를 사용하였다. 또한 실험에 사용한 30mm, 20mm, 8mm 강구를 나타냈다.

### 2.2.4 측정항목 및 방법

본 실험을 통하여 얻어진 페콘크리트 미분말을 150 $\mu$ m 이하의 분말을 대상으로 회수율, 평균입경 (PSA), 미분말의 CaO 함량을 측정하였다. 본 실험에 사용한 페콘크리트는 25mm 이상 골재로 박리·마쇄 후 분리되는 시멘트 모르타르양의 정도로 그 효율을 관찰하였다. 또한 페콘크리트로부터 원골재 갈

림 없이 시멘트 모르타르만을 효율적으로 분리한 것과 원골재 또한 박리되는 정도를 CaO 함량을 이용하여 측정하였다. 즉 박리·마쇄로 시멘트 모르타르만을 효율적으로 분리한 경우 CaO 함량이 높게 나타날 것이며, 그렇지 않은 경우 원골재의 갈림 현상이 심화되어 골재의 SiO<sub>2</sub> 성분이 함유될수록 CaO 함량은 낮아지는 결과를 초래하기 때문이다. 평균입경(PSA)은 박리·마쇄에 의하여 생성되는 미분말의 특성을 살펴보기 위한 것으로 각 측정항목의 결과 값을 통계분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Table 3은 박리·마쇄 조건에 따른 미분말양, 평균입경, CaO 함량을 실험계획법에 따라 실시한 결과 표이다.

### 3.1 미분말 생산량

Table 4는 미분말 생산량 측정값을 분산분석하여 그 결과를 실험 요인별로 F-검정한 것이다. 분산분석 결과를 살펴보면 실험요인인 박리·마쇄시간, 피분

Table 3. Test Results

ID	Fine Powder Quantity (g) (150 $\mu$ m under)	Average Particle Size ( $\mu$ m)	CaO Content of Fine Powder (%)
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	241	92.39	37.12
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	227	71.99	36.51
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	190	58.75	36.62
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	377	87.23	36.94
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	473	82.75	37.72
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	326	77.41	38.53
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	720	86.49	37.33
A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	462	69.56	37.40
A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	508	70.21	37.40

**Table 4.** Fine Powder Production Dispersion Analysis Results

Factors	∅	S	F <sub>0</sub>	Evaluation
Abrasion Time	2	177,505	10.56	Accepted at 0.01 of significance level
Steel Ball Ratio	2	22,850	0.33	Not accepted
Steel Ball Type	2	16,513	0.23	Not accepted
Error	6	50,405		
Total	8	227,910		

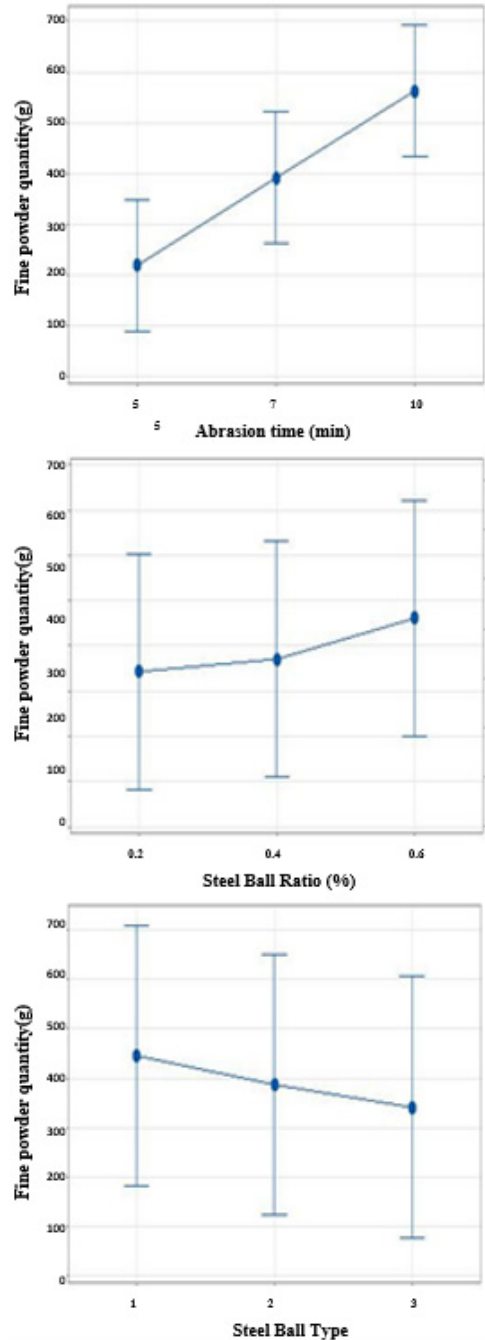
쇄물양, 피분쇄물의 종류의 F 값은 10.56, 0.33, 0.23 이며, 실험치가 자유도(∅) 2, 에러 6이므로 신뢰한계 99%(유의수준 α=0.01), 95%(유의수준 α=0.05) 및 90%(유의수준 α=0.10)에서 각각 F<sub>0.01</sub>, F<sub>0.05</sub> 및 F<sub>0.10</sub>은 각각 10.9, 5.14, 3.46으로 3개 실험 요인 중 박리·마쇄시간은 95%(유의수준 α=0.05) 수준을 만족하여 가장 크게 영향을 주는 요인인 것을 알 수 있다.

하지만 피분쇄물양, 피분쇄물의 종류는 90%(유의수준 α=0.10)에서도 유의하지 않는 것으로 나타나 박리·마쇄 효과에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있다.

Fig. 3은 시험결과를 이용하여 추정한 미분말 양의 값을 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 박리·마쇄 시간의 증가는 미분말 양의 주요한 요인으로 나타났다. 반면 F-검정결과 거의 유효하지 않은 것으로 나타난 피분쇄물양, 피분쇄물종류 경우에도 미세하지만 피분쇄물양의 증대는 미분말의 양의 증가를 유발하며, 피분쇄물의 사이즈가 작아질수록 미분말 발생율은 낮아지는 것을 관찰할 수 있다.

### 3.2 미분말 입도

Table 5는 박리·마쇄 후 생산된 미분말의 입도를 분산분석하여 그 결과를 실험 요인별로 F-검정한 것



**Fig. 3.** Results of Variance at the Factor-level for the Amount of Fine Powder Produced

이다. 분산분석 결과를 살펴보면 실험요인인 박리·마쇄시간, 피분쇄물양, 피분쇄물의 종류의 F 값은

**Table 5** Fine Powder Particle Size Dispersion Analysis Results

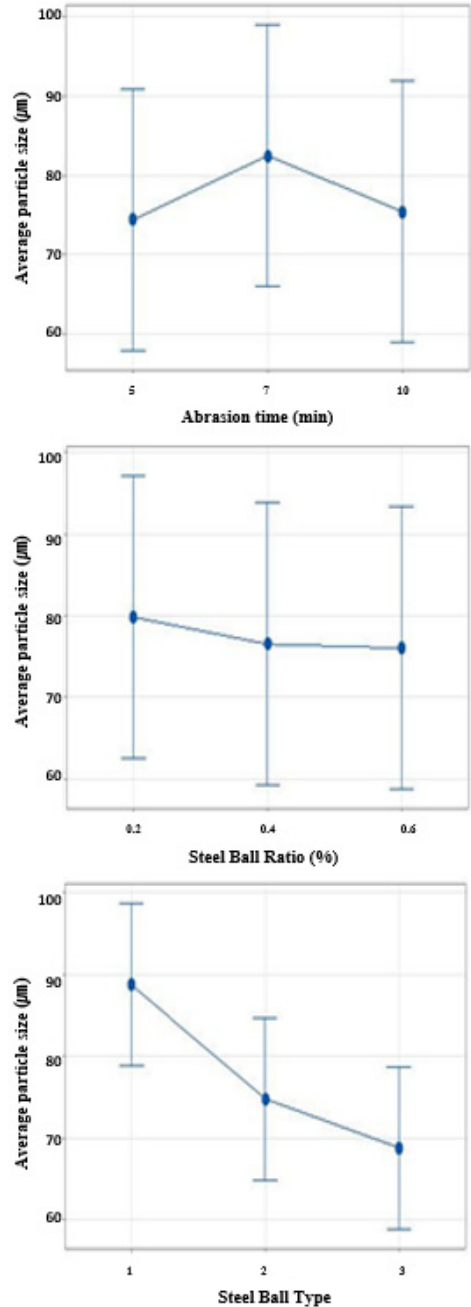
Factors	∅	S	F <sub>0</sub>	Evaluation
Abrasion Time	2	116.1	0.43	Not accepted
Steel Ball Ratio	2	25.55	0.09	Not accepted
Steel Ball Type	2	626.5	6.34	Accepted at 0.05 of significance level
Error	6	806.7		
Total	8	922.8		

0.43, 0.09, 6.34이며, 실험치가 자유도 2, 에러 6이므로 신뢰한계 99%(유의수준  $\alpha=0.01$ ), 95%(유의수준  $\alpha=0.05$ ) 및 90%(유의수준  $\alpha=0.10$ )에서 각각  $F_{0.01}$ ,  $F_{0.05}$  및  $F_{0.10}$ 은 각각 10.9, 5.14, 3.46으로 3개 실험 요인 중 피분쇄물 종류는 95%(유의수준  $\alpha=0.05$ ) 수준을 만족하여 가장 크게 영향을 주는 요인인 것을 알 수 있다. 하지만 박리·마쇄시간, 피분쇄물량은 90%(유의수준  $\alpha=0.10$ )에서도 유의하지 않는 것으로 나타나 생산된 미분말의 입도에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있다.

Fig. 4는 시험결과를 이용하여 추정한 미분말 입도 값을 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 피분쇄물의 사이즈가 작아질수록 입도에 영향을 미치는 주요한 요인으로 나타났다. 반면 F-검정결과 거의 유효하지 않은 것으로 나타난 박리·마쇄 시간의 경우 시간의 증가가 입자 사이즈 크기가 커졌다가 작아지는 현상을 보이고 있다. 피분쇄물량의 경우 양의 증대는 미세하지만 미분말의 입도를 낮아지게 하는 경향을 보이고 있다.

### 3.3 미분말 CaO 함량

Table 6은 박리·마쇄 후 생산된 미분말의 CaO 함량을 분산분석하여 그 결과를 실험요인별로 F-검정한 것이다. 분산분석 결과를 살펴보면 실험요인인



**Fig. 4.** Results of Variance Analysis at the Level of Each Factor on the Particle Size of Fine Powder

박리·마쇄시간, 피분쇄물량, 피분쇄물의 종류의 F 값은 3.54, 1.15, 0.28이며, 실험치가 자유도 2, 에러

**Table 6** Dispersion Analysis of CaO Content of Fine Powder of Waste Concrete

Factors	∅	S	F <sub>0</sub>	Evaluation
Abrasion Time	2	1.485	3.54	Accepted at 0.10 of significance level
Steel Ball Ratio	2	0.8213	1.15	Not accepted
Steel Ball Type	2	0.2554	0.28	Not accepted
Error	6	1.483		
Total	8	2.967		

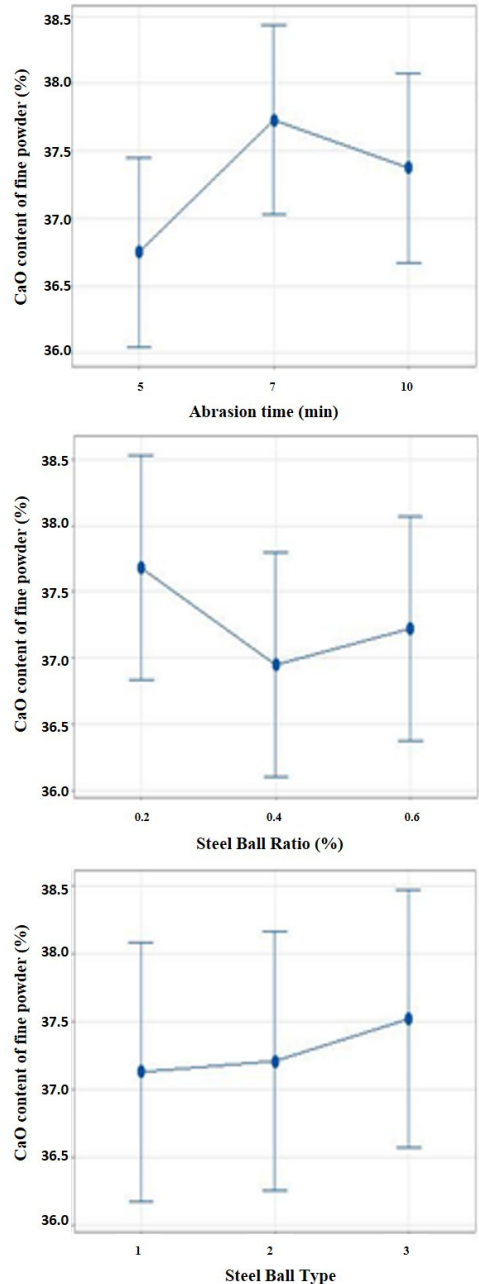
6이므로 신뢰한계 99%(유의수준  $\alpha=0.01$ ), 95%(유의수준  $\alpha=0.05$ ) 및 90%(유의수준  $\alpha=0.10$ )에서 각각 F<sub>0.01</sub>, F<sub>0.05</sub> 및 F<sub>0.10</sub>은 각각 10.9, 5.14, 3.46으로 3개 실험 요인 중 박리·마쇄시간은 95%(유의수준  $\alpha=0.10$ ) 수준을 만족하여 가장 크게 영향을 주는 요인인 것을 알 수 있다. 하지만 피분쇄물량과 피분쇄물의 종류는 90%(유의수준  $\alpha=0.10$ )에서도 유의하지 않는 것으로 나타나 생산된 미분말의 CaO 함량에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있다.

Fig. 5는 시험결과를 이용하여 추정된 미분말의 CaO 함량을 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 박리·마쇄 시간이 길어질수록 CaO 함량이 높아졌다 다시 하락하였다. 이는 박리·마쇄 시간이 길어질수록 페콘크리트의 SiO<sub>2</sub>가 주성분인 원골재도 박리된 결과로 판단된다(김진만 외, 2008b).

반면 F-검정결과 거의 유효하지 않은 것으로 나타난 피분쇄물의 종류의 분쇄물의 사이즈 감소는 미세하지만 미분말의 CaO 함량을 높이지게 하는 경향을 보이고 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 국내 건설폐기물인 페콘크리트를 재활용하는 공정에서 순환골재 생산 시 필연적으로



**Fig. 5.** Results of Variance Analysis of the CaO Content of Fine Powder at the Factor Level

발생하는 페콘크리트 미분말의 시멘트 크링커 원료로 사용 가능성을 확인하기 위한 것으로 페콘크리트로부터 탈탄산된 CaO를 함유한 페콘크리트 미분말

을 골재로부터 분리를 위한 최적 마쇄 조건을 시험한 결과 다음과 같은 결론에 도달할 수 있었다.

1. 박리·마쇄시간, 피분쇄물 종류, 피분쇄물량의 변화에 따른 폐콘크리트 미분말 생산량 변화를 살펴본 결과 박리·마쇄시간이 폐콘크리트 미분말 생산량에 있어 가장 주요한 인자로 나타났다. 이는 폐콘크리트로부터 원골재와시멘트페이스트를 가장 효율적으로 분리하는 유효 인자인 것으로 판단된다.
2. 각 요인별 폐콘크리트 미분말의 입도변화에서는 피분쇄물의 사이즈가 작아질수록 입도에 영향을 미치는 주요한 요인으로 나타났다. 박리·마쇄시간의 경우 시간의 증가가 입자 사이즈 크기가 컸다가 작아지는 현상을 나타냈다.
3. 또한 폐콘크리트 미분말의 CaO 함량 분석 결과 위의 결과와 유사하게 박리·마쇄시간이 가장 유효한 인자인 것으로 분석되었으며, 박리·마쇄시간이 길어질수록 폐콘크리트의 SiO<sub>2</sub>가 주성분인 원골재도 박리되어 CaO 함량이 낮아지는 결과를 나타내 적정 박리·마쇄시간을 적용하는 것이 중요하다.
4. 시멘트 크링커 원료로서 탈탄산된 CaO를 함유한 폐콘크리트 미분말 제조를 위한 최적 마쇄 실험 결과, 박리·마쇄시간 7분, 피분쇄물 종류 8mm, 피분쇄물양 0.6이 폐콘크리트 미분말 생산하는데 최적조건인 것을 알 수 있었다. 생산성에 따른 경제성을 고려할 때 피분쇄물의 크기가 크고 양을 많이 할 경우 박리·마쇄시간을 단축할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 기획재정부(2020), “한국판 뉴딜 종합계획 발표 : 선도국가로 도약하는 대한민국으로 대전환”, 세종.
2. 김남조(2020), “한국판 뉴딜과 지속가능한 관광을 위한 정책방향”, 「한국문화관광정책 논문집」, 81: 22~32.
3. 김상효·황준필(2013), “시멘트 생산과정에 따른 CaO 함량과 CO<sub>2</sub>의 발생량”, 「한국콘크리트학회 논문집」, 25(4): 365~370.
4. 김진만·김하석·박선규(2008a), “저속습식 마쇄방법과 황산수를 이용한 고품질 순환잔골재 제조방법에 관한 실험적 연구”, 「대한건축학회 논문집」, 25(5): 109~116.
5. 김진만·김하석·박선규·김봉주·곽은구(2008b), “황산수를 사용한 저속 습식 마쇄법에 의한 순환잔골재의 최적 마쇄조건”, 「한국콘크리트학회 논문집」, 20(5): 557~563.
6. 김진만·배성철(2021), “시멘트-콘크리트 그린뉴딜위원회”, 「한국콘크리트학회 논문집」, 33(3): 87~90.
7. 박성현(2016), 「현대 실험 계획법」, 서울: 민영사.
8. 박준서·안승일·박상효·조진경·여운호(2016), “건설 폐기물로 배출되는 폐콘크리트 재활용의 실태분석 및 효율화 방안에 관한 연구”, 「대한건축학회 논문집」, 20(2): 97~104.
9. 이승현·구자술(2019), “시멘트계 재료의 CO<sub>2</sub> 고정화에 의한 온실가스 저감”, 「한국콘크리트학회 논문집」, 28(4): 10~14.
10. 조윤구·김준형·현대양(2012), “자원순환형 건설재료인 제철 슬래그의 대량 활용 기술”, 「한국건축시공학회 논문집」, 12(4): 6~11.
11. 최원영·이세현·김성환(2017), “파쇄 방법에 따른 콘크리트용 순환골재의 품질 비교 연구”, 「한국건설순화자원학회 논문집」, 5(2): 121~129.
12. Yoda, K., M. Harada and F. Sakuramoto (2003), *Field Application and Advantage of Concrete Recycled In-situ Recycling Systems*, London: Thomas Telford Sreviceces Ltd, 437~446.



## 요 약

본 연구에서는 시멘트 클링커 제조에 사용되는 탄산염 광물인 석회석( $\text{CaCO}_3$ )을 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )가 결합되어 있지 않은 탈탄산 원료를 사용하여 제조 공정 중에 발생하는 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )를 저감하고자 하는 연구로 다양한 산업 부산물 중 페콘크리트에 부착되어 있는 시멘트페이스트를 이용하고자 하였다. 페콘크리트는 골재에 시멘트페이스트가 부착되어 있는 상태로 일반적인 파·분쇄 방법으로는 효율적으로 분리하지 못하며 원골재 손상없이 시멘트페이스트만을 벗겨내기 위하여 박리·마쇄방법이 유효하다. 박리·마쇄에 영향을 주는 인자로 박리·마쇄시간, 피분쇄물 종류, 피분쇄물양으로 선정하고 실험계획법을 통해 시멘트 클링커 원료로서 탈탄산된 CaO를 함유한 페콘크리트 미분말 제조를 위한 최적 마쇄 실험 결과, 박리·마쇄시간 7분, 피분쇄물 종류 8mm, 피분쇄물양 0.6이 페콘크리트 미분말 생산하는데 최적조건인 것을 알 수 있었으며 생산성에 따른 경제성을 고려할 때 피분쇄물의 크기가 크고 양을 많이 할 경우 박리·마쇄시간을 단축할 수 있을 것으로 판단된다.

**주제어:** 탄산염, 탈탄산염, 클링커, 페콘크리트, 페콘크리트 미분말

---