

## 개질 CaO 팽창재 활용 CFBC 인공잔골재 건조 모르타르의 건조수축 성능평가에 관한 연구

# Performance Evaluation for Dry Shrinkage of Dry Mortar Using Artificial Aggregate Made from Circulating Fluidized Bed Combustion Ash and Modified CaO Type Expansive Admixture

박지선<sup>1</sup> · 송태협<sup>2\*</sup>

Ji-Sun Park<sup>1</sup> · Tae-Hyeob Song<sup>2\*</sup>

(Received November 12, 2018 / Revised December 19, 2018 / Accepted December 19, 2018)

The purpose of this study is to investigate the feasibility of CFBC artificial fine aggregate as a substitute for natural aggregate used in dry mortar. The basic performance of the flow, compressive strength and dry shrinkage of the dry mortar was evaluated. Four types of test dry mortar specimens using natural aggregate without expansion admixture, a specimen with modified CaO expansion admixture and natural aggregate, a specimen with modified CaO expansion admixture and CFBC artificial fine aggregate, and a specimen using CFBC artificial fine aggregate without modified CaO expansion admixture were evaluated respectively. As a result of evaluation of drying shrinkage performance at 20th day of age, the dry shrinkage performance of the specimen using modified CaO expansion admixture was found to be the highest at  $250 \times 10^{-6}$ . On the other hand, the specimen containing the modified CaO expansion admixture with CFBC artificial aggregate exhibited a shrinkage of  $410 \times 10^{-6}$ , and the drying shrinkage of specimen using natural fine aggregate without expansion admixture was  $450 \times 10^{-6}$ . When the modified CaO expansion material was used, and exhibited performance equal to or higher than that of the shrinkage-drying property.

**키워드** : CFBC, CaO, 건조 모르타르, 건조수축

**Keywords** : Circulatin Fluidized Bed Combustion, CaO, Dry mortar, Dry shrinkage

## 1. 서론

공동주택의 바닥재로 널리 사용되고 있는 건조 모르타르는 저비용 고품질의 천연골재 수급 부족으로 인하여 원재료 가격의 상승 부담 뿐만 아니라 건조 모르타르 제품의 품질 확보에 애로를 겪고 있는 실정이다. 국내에서 생산되는 건조 모르타르 제품에 사용되는 잔골재 중에는 품질이 저급한 돌로마이트 등을 분쇄하여 사용하는 사례도 있다. 국내 건설 현장에서의 골재 수급 부족 현상은, 수년간 지속되어 온 것으로 앞으로도 지속될 전망이다. 정부에서도 천연 골재사용을 대체하는 대체재 또는 신공법을 통해 천연골재사용량을 줄일 수 있도록 정책방향을 설립하고 시장에서 이를 유도할 수

있는 방안을 강구중이다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport et al, 2017).

이 연구에서는 건조 모르타르에 사용되는 천연잔골재를 대체하는 인공잔골재로 순환유동층보일러(Circulating Fluidized Bed Combustion, 이하 CFBC라 한다.)에서 발생하는 애시를 활용하여 생산되는 인공잔골재를 건조 모르타르에 적용하고 건조수축 성능을 평가해 보고자 한다.

CFBC 인공잔골재를 건조 모르타르에 활용할 경우, 골재 자체의 높은 흡수율로 인하여 건조 수축에 의한 균열 발생이 상당하다. 이러한 건조 수축 문제를 해결하기 위하여 이 연구에서는 개질 CaO 팽창재를 혼입하여 건조 모르타르를 제작하였다. 개질 CaO

\* Corresponding author E-mail: [thsong@kict.re.kr](mailto:thsong@kict.re.kr)

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 국민생활연구본부 수석연구원 (Department of Living and Built Environment Research, KICT, Gyeonggi-do, 10223, Korea)

<sup>2</sup>한국건설기술연구원 국민생활연구본부 연구위원 (Department of Living and Built Environment Research, KICT, Gyeonggi-do, 10223, Korea)

팽창재는 석회계, 알루미늄계 및 석고계 원료를 이용하여 소성가 공한 후, CaO-4CaO3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>SO<sub>3</sub>-CaSO<sub>4</sub>계 클링커를 생성하여 벤 토나이트와 혼합 분쇄하여 제조하였다. 개질 CaO 팽창재는 CaO 계가 주요 광물로 작용하므로 초기재령에서 안정적인 팽창반응을 하며, 중장기 재령에서는 벤토나이트에 의한 흡습조건에서 수산화 칼슘과 CSA 그리고 석고 화학물간의 2차 수화반응으로 에트리징자 이트와 칼슘카보네이트가 생성되어 균열의 발생을 저하시키는 기능을 가진다(Ahn et al, 2010; Mehta et al, 2006; Song et al, 2016). 따라서 CFBC 인공잔골재의 높은 흡수율로 야기되는 초기 재령의 건조수축 문제를 제어할 수 있다.

이 연구에서는 CFBC 인공 잔골재의 천연 골재를 대체할 수 있는 가능성을 파악하기 위하여 골재의 기본적인 물리화학적 성분을 분석하였다. 더불어 개질 CaO 팽창재를 혼합한 건조 모르타르를 자체 제조하여 천연 잔골재를 사용한 건조 모르타르와의 건조 수축량 비교를 통해 CFBC 인공 잔골재의 대체 가능성을 확인해 보고자 하였다.

## 2. CFBC 인공 잔골재

이 연구에서 사용한 CFBC 인공 잔골재는 강원도에 소재한 순 환유동층 보일러의 애시를 활용하여 생산한 S사의 제품을 활용하였다. 강원도 소재 순환유동층 보일러는 1000MW급 세계 최대 초 임계 순환유동층 보일러로 화처리장 없이 연소잔재물은 전량 재활 용되도록 설계되었다.

이 보일러에서 발생하는 애시는 기존의 국내 순환유동층 보일러 에서 발생하는 애시가 탈황공정으로 인하여 연소 잔재물에 free-CaO 및 SO<sub>3</sub>의 함량이 높은 것과는 달리 S사에서 인공잔골재 생산시 사용한 애시는 free-CaO의 함량이 약 10wt%로 낮은 특성이 있다(Kim et al, 2017; Lee et al, 2015). Table 1.은 순환유동층 보일러로부터 집진한 플라이 애시의 물리·화학적 특성을 나타낸다.

### 2.1 CFBC 인공 잔골재의 제조

이 연구에서 사용한 CFBC 인공 잔골재는 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 순환유동층 보일러로부터 집진한 플라이애시로부터 수 화반응에 의한 안정화 처리 공정을 거쳐 제조하였다.

### 2.2 CFBC 인공 잔골재의 특성

S사 인공잔골재의 특성을 살펴보기 위하여 체분석과 단위중량 을 측정된 결과는 Table 2와 같다. 밀도와 흡수율은 각각 Fig. 2(a),

Table 1. Properties of the CFBC fly ash

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Contents of chemical component(wt%)							
		CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
2.89	7,500	24.5	27.9	13.3	6.14	15.45	8.87	1.350	1.010

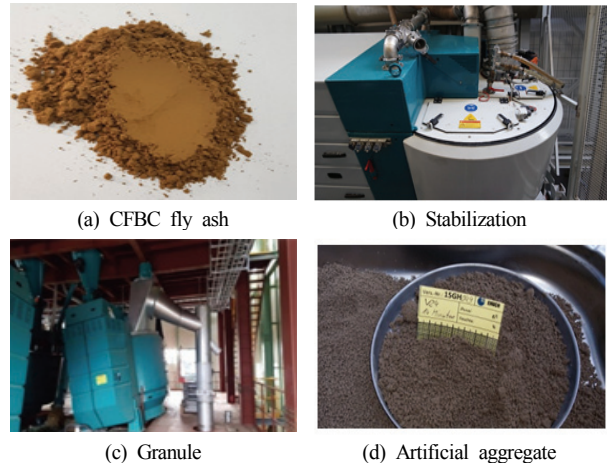


Fig. 1. Manufacturing process of CFBC artificial aggregate

Table 2. Sieve analysis and of CFBC artificial aggregate

Classification	Contents(%)	Classification	Unit weight(g/ml)
9.5mm	0.5	2.36-4.75mm (#8)	1.08
4.45mm (#4)	4.6	1.18-2.36mm (#16)	1.07
2.36mm (#8)	11.4	0.60-1.18mm (#30)	1.05
1.18mm (#16)	18.4	0.30-0.60mm (#50)	0.98
0.60mm (#30)	19.0	0.15-0.30mm (#100)	0.91
0.30mm (#50)	12.6	0.15mm 이하	0.84
0.15mm (#100)	9.9	2.36mm 이하	1.19
FAN	23.6	2.36-0.15mm	1.16

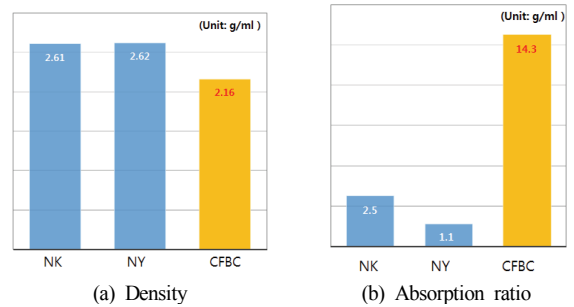


Fig. 2. Density and absorption ratio of CFBC artificial aggregate

(b)와 같다. Fig. 2에서 비교군인 NK와 NY는 각각 K 지역과 Y지역 에서 채취한 천연골재를 나타낸다. CFBC 인공잔골재의 밀도는 2.16으로 천연골재 NY와 비교하면 21% 낮다. 반면에 흡수율은 Fig.

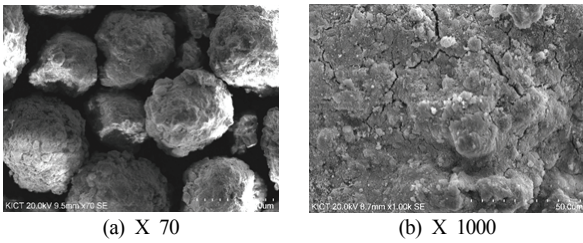


Fig. 3. SEM analysis of CFBC artificial aggregate

2(b)에서 나타난 바와 같이 비교군인 NK 천연 잔골재와 비교하여 약 4.2배나 높게 측정되었다.

이러한 높은 흡수율은 건조 모르타르의 작업성을 저해하는 요인으로 작용되며 특히, 배합 초기 급격하게 수분을 흡수할 수 있어 혼련 과정에서도 배합에 배출되지 않는 특성을 가지고 있다. 따라서 이를 개선하기 위한 인공 잔골재의 흡수율 저감 기술은 필요하다.

Fig. 3은 CFBC 인공잔골재의 표면을 주사현미경으로 각각 70배와 1000배의 배율에서 촬영한 사진이다. 일반 70배율에서는 확인이 어려웠던 골재표면에서의 균열을 1000배율에서는 확인할 수 있었다. 이러한 균열은 천연 골재에서는 확인하기 어려운 현상으로 골재표면 사이의 균열이 초기 배합시 수분의 흡수를 급격히 높이는데 일조를 하는 것으로 판단된다.

### 3. CFBC 인공잔골재의 건조수축 성능평가

건조 모르타르에 사용되는 천연 골재를 대체하고자 순환유동층 보일러에서 발생하는 플라이 애시를 활용하여 생산한 CFBC 인공 잔골재의 플로우, 압축강도와 건조수축 성능을 평가하였다.

#### 3.1 사용재료 및 시험방법

압축강도와 건조수축 성능평가를 위하여 제작한 건조 모르타르 시험체는 4가지 종류이다. 천연 잔골재를 사용하고 팽창재를 첨가하지 않은 기준 시험체(이하, Plain 시험체라 한다.), 천연 잔골재에 개질 CaO 팽창재를 첨가한 시험체(이하, Plain-Ex 시험체라 한다.), CFBC 인공 잔골재를 사용하되, 개질 CaO 팽창재를 첨가하지 않은 시험체(이하, CFBC 시험체라 한다.), CFBC 인공 잔골재에 개질 CaO 팽창재를 첨가한 시험체(이하, CFBC-EX 시험체라 한다.)로 각각의 시험체에 대하여 기본적인 성능인 플로우, 압축강도 그리고 건조수축 성능평가를 위하여 길이변화를 측정하였다.

건조 모르타르 제작에 사용된 OPC의 물리적 특성은 Table 3과 같다. 개질 CaO 팽창재의 특성은 Table 4와 같으며 각 시험체의

Table 3. Properties of the OPC

Fineness of Powder(cm <sup>2</sup> /g)	Setting Time(min.)		Compressive strength(MPa)		
	Initial	Final	3days	7days	28days
3.49	200	336	21.0	29.5	39.4

Table 4. Properties of the Modified CaO Type Expansive Admixture

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Specific Surface Area(cm <sup>2</sup> /g)	Contents of Chemical Component(wt%)					
		CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Total Alkali
3.07	3,420	63.5	4.8	12.2	16.5	1.0	2.5

Table 5. Mixing design table

Specificity	OPC	CFBC		Quartz sand				AD*	W/M	Flow
		#100	#30	#4	#5	#6	#7			
Plain	15%	-	-	20%	20%	34%	11%	-	19.0	185 mm
Plain-ex	15%	-	-	20%	20%	34%	11%	5%		
CFBC	15%	20%	5%	-	26%	25%	9%	-	20.0	
CFBC-ex	15%	20%	5%	-	26%	25%	9%	5%		

\* Binder ratio

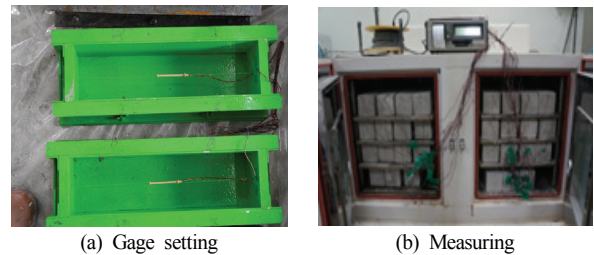


Fig. 4. Measurement of dry shrinkage

배합표는 Table 5와 같다.

플로우와 압축강도는 KS L 5220 건조 시멘트 모르타르에서 지정하고 있는 시험법에 따라 각각 측정하였다. 길이변화 측정기간은 재령 20일간으로 하였으며 시편 내부에 스트레인게이지를 부착하여 길이변화를 측정하였다. Fig. 4는 길이변화 측정현황을 나타낸다.

#### 3.2 성능평가 결과

플로우값은 시험체 모두 약 185 mm로 유사하였으며 압축강도 값은 재령 3일과 7일 기준으로 Plain 시험체는 각각 3.2 MPa, 5.9 MPa를 나타내었으며, Plain-Ex는 각각 4.2 MPa, 6.6 MPa를 발휘하였다. CFBC 시험체는 각각 2.5 MPa, 5.6 MPa를 발휘하였으며,

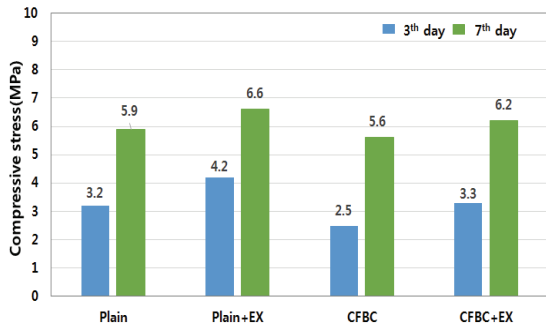


Fig. 5. Test results of compressive stress

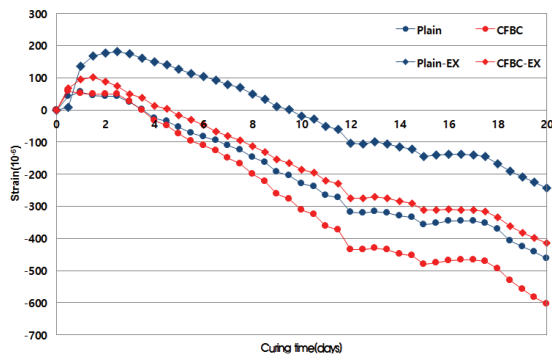


Fig. 6. Test results of dry shrinkage

CFBC-EX 시험체는 각각 3.3 MPa, 6.2 MPa를 발휘하였다. Fig. 5에 압축강도 결과를 정리하였다.

각 시험체에 대한 건조수축 시험결과는 Fig. 6과 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 4가지 시험체 모두 재령 1~2일차에서는 수화 작용으로 인한 팽창이 발생하였으나 이후 건조수축이 진행되는 것을 관찰되었다.

예상한 바와 같이 천연 잔골재에 팽창재를 혼입한 시험체인 Plain-Ex 시험체가 가장 높은 팽창 거동을 나타내었으며 수축량은 4가지 시험체 중에서 가장 낮은  $-250 \times 10^{-6}$ 의 변형률을 나타내었다. 팽창재의 혼입없이 천연 골재를 CFBC 인공 잔골재로 대체한 시험체인 Plain-EX는  $-600 \times 10^{-6}$ 의 수축을 나타내었다. CFBC 인공 잔골재에 팽창재를 혼입한 시험체인 CFBC-EX는  $-420 \times 10^{-6}$ 의 수축량을 나타내어 천연 잔골재만 사용한 시험체인 Plain의 건조 수축량  $-450 \times 10^{-6}$ 과 비교하여 동등이상의 성능을 발휘하였다.

이 연구에서 수행한 압축강도, 플로우, 그리고 건조수축 성능평가 결과로부터, 개질 CaO를 활용한 팽창재 혼입 건조 모르타르는 천연골재를 사용한 건조 모르타르 시험체와 동등이상의 성능을 발휘하여 CFBC 인공 잔골재의 천연골재 대체재로의 가능성을 확

인할 수 있었다.

그러나 개질 CaO는 원료의 특성상 다른 팽창재와 비교하여 상대적으로 안정적인 팽창반응을 가지지만 상용 제품에 적용하기 위해서는 장기적인 거동 특성에 대한 평가 또한 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

이 연구에서는 건조 모르타르에 사용되는 천연 골재의 대체재로 CFBC 인공 잔골재를 활용가능여부를 확인하고자 건조 모르타르의 기본적인 성능인 플로우와 압축강도 및 건조 모르타르에서 제품의 품질을 규정하는데 중요한 성능인 건조수축성능을 평가하였다.

이를 위하여 천연 골재만 사용한 시험체, 천연 골재에 개질 CaO 팽창재를 혼입한 시험체, CFBC 인공잔골재에 개질 CaO 팽창재를 혼입한 시험체, 마지막으로 CFBC 인공 잔골재만 사용한 시험체 4종을 제작하여 성능을 평가하였으며 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) 재령 20일 기준 건조수축 성능 평가결과, 천연 규사에 개질 CaO 팽창재를 사용한 시험체의 건조수축 성능이 변형률 기준  $250 \times 10^{-6}$ 으로 가장 높게 나타났다. 한편, CFBC 인공 잔골재에 개질 CaO 팽창재를 혼입한 시험체는 수축량이  $410 \times 10^{-6}$ 을 나타내었으며 천연 잔골재를 사용한 건조 모르타르의 건조수축량은  $450 \times 10^{-6}$ 으로 개질 CaO 팽창재를 활용할 경우에는 천연 골재를 사용한 건조 모르타르의 건조 수축 성능과 동등 이상의 성능을 발휘하였다.
- 2) 압축강도를 비롯한 기본적인 성능에 대한 평가를 토대로 판단할 경우에는 개질 CaO 팽창재 혼입 기술을 건조 모르타르에 적용할 경우, 천연 골재를 사용한 기존의 건조 모르타르 제품과 동등 이상의 성능을 발휘할 것으로 기대되지만, 장기 거동에 대한 특성평가도 함께 이루어져야 상용제품에 대한 적용이 가능할 것으로 판단되어 향후에 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2018년도 한국건설기술연구원 중소·중견기업 수요 기반 기술사업화 지원사업 연구비 지원(과제번호: 20180491-001)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

## References

Ahn, T.H., Kishi, T. (2010). Crack Self-healing Behavior of Cementitious Composite Incorporating Various Mineral Admixtures, *Journal of Advanced Concrete Technology* **8(2)**, 171–186 [in Korean].

Kim, T.H., Shin, J.H., Lee, D.H., Lee, S.S. (2017). Properties of strength and SEM of non-cement matrix that mixing with circulating fluidized bed combustion boiler fly ash, **37(2)**, 1052–1053 [in Korean].

Lee, S.H., Lee, K.H., Roo, D.W., Ha, J.H., Cho, Y.K. (2015). Hydration and Insulation Characteristics of a Ground Granulated Blast Furnace Slag Based Non-Sintered Cement Using Circulating Fluidized Bed Combustion Ash as a Activator, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **27(3)**, 245–252 [in Korean].

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Ministry of Oceans and Fisheries (2017). Stabilization Policy of Aggregate Supply and Demand, Document of the National Policy Coordination Conference, 4–6 [in Korean].

Mehta, P. K., Monteiro, P.J.M. (2006). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, McGrawHill, Third edition, 91–93.

Song, T.H., Park, J.S., Kim, D.B. (2016). Performance Evaluation of Dry Shrinkage and Crack Recovering for Concrete Utilizing Reformed CaO and CSA System Expansive Admixture, *Journal of Korean society of Hazard Mitigation*, **16(6)**, 1–8 [in Korean].

### 개질 CaO 팽창재 활용 CFBC 인공잔골재 건조 모르타르의 건조수축 성능평가에 관한 연구

이 연구에서는 건조 모르타르에 사용되는 천연 골재의 대체재로 CFBC 인공 잔골재의 활용가능여부를 확인하고자 건조 모르타르의 플로우와 압축강도를 포함한 기본적인 성능시험과 건조모르타르에서 제품의 품질을 규정하는 데 중요한 성능인 건조수축 성능을 평가하였다. 이를 위하여 천연 골재만 사용한 시험체, 천연 골재에 개질 CaO 팽창재를 혼입한 시험체, CFBC 인공잔골재에 개질 CaO 팽창재를 혼입한 시험체, 마지막으로 CFBC 인공 잔골재만 사용한 시험체를 4종을 제작하여 각 시험체별 길이변화량을 측정하였다. 건조수축 성능 평가결과 재령 20일 기준 천연 규사에 개질 CaO 팽창재를 사용한 시험체의 건조수축 성능이 변형률  $250 \times 10^{-6}$ 으로 가장 높게 나타났다. 한편, CFBC 인공 잔골재에 개질 CaO 팽창재를 혼입한 시험체는 수축량이  $410 \times 10^{-6}$ 을 나타내었으며 천연 잔골재를 사용한 건조 모르타르의 건조 수축량은  $450 \times 10^{-6}$ 으로 개질 CaO 팽창재를 활용할 경우에는 천연 골재를 사용한 건조 모르타르의 건조수축 성능과 동등 이상의 성능을 발휘하였다.