

고칼슘 플라이애시를 활용한 모르타르 및 콘크리트의 기초적 물성

Fundamental Properties of Mortar and Concrete Using High Calcium Fly Ash

이민희^{1*}Min-Hi Lee^{1*}

(Received August 30, 2016 / Revised September 18, 2016 / Accepted September 21 2016)

To evaluate the properties of inorganic composites using a great quantity of high-calcium fly ash generated in combined heat and power plants, high-calcium fly ash and F-class fly ash commonly used as concrete admixtures were substituted with binding materials to examine changes of fluidity and compressive strength depending on the substitution ratio for each curing temperature. According to the experimental result, CFA-mixed mortar showed a tendency to reduce its flow unlike FFA-mixed mortar as the substitution ratio was increased, but its flow loss showed smaller than FFA as time passed. As a result of examining compressive strength depending on mixing FA, FFA-mixed mortar had an optimum range within 50% when curing at ambient temperature, but it was found that the compressive strength is reduced when mixing CFA. When curing at high temperature, FFA did not relatively have a great effect on the substitution ratio, but CFA could expect a strength enhancement effect compared with 100% of OPC when using within 25% of binding materials.

키워드 : 고칼슘 플라이애시, 자원순환, 모르타르, 콘크리트, 무기 결합재, 탄소저감

Keywords : High-calcium fly ash, Recycling, Mortar, Concrete, Inorganic binder, Carbon reduction

1. 서론

최근 정부에서는 자원의 효율적 이용과 함께 환경오염을 최소화하기 위하여 저탄소 녹색 성장이라는 정책을 실시하고 있으며, 2013년부터는 이산화탄소 감축 의무이행 대상국에 편입되어 있다. IEA(International Energy Agency) 조사결과에 의하면 전 세계적으로 2010년 사상 최고치인 306억톤의 이산화탄소를 배출하고 있다. 국내 이산화탄소 배출량은 2009년 5억 2,800만톤으로 캐나다에 이어 8번째로 배출되는 것으로 나타났다. 건설업 중의 경우 전체 산업 이산화탄소 배출량의 40%를 차지하는 것으로 추정되고 있다. 시멘트는 1kg을 제조하는데 약 950g의 CO₂가스를 방출하는 것으로 알려져 있으며, 이는 전세계 이산화탄소 배출량의 7~8% 정도를 차지하고 있기 때문에 시멘트의 사용량을 감소하기 위하여 심혈을 기울이고 있는 실정이다.

최근 건설산업에서 주요 탄소발생원인 시멘트의 사용량을 줄이기 위하여 화력발전소에서 발생하는 플라이애시나 철강산업의 부산물인 고로슬래그 등과 같은 산업폐기물을 이용하는 순환자원 재활용 연구가 활발히 진행되어 현장에 적용되어지기도 하고 있다. 이러한 연구의 일환으로서 시멘트 사용량을 저감시키고자 시멘트를 전혀 사용하지 않고 플라이애시 또는 고로슬래그미분말을 이용한 알루미늄규산염계 무기멘트 무기결합재 연구가 국내에서도 활발하게 이루어지고 있기도 하다(Ahn 2011; Kim 2007).

현재 전 세계적으로 석탄 자원이 고갈됨에 따라 유연탄과 같이 수분이 없고 휘발량이 많은 고품위탄의 수급은 점점 어려워지고 있는 상황이다. 유연탄보다 아래 단계인 아역청탄의 경우 석탄 연소시간이 비교적 짧은 미분탄 연소방식에는 적합하지 않다. 이에 반해 순환 유동층 연소방식은 연료의 종류, 회분, 수분 함유량 등이 변하여도 연소에 미치는 영향이 적고, 미분탄 연소 등 기존 연소로

* Corresponding author E-mail: lmh@howon.ac.kr

¹호원대학교 건축학과 (Department of Architecture, Howon University, Jeonlabuk-do, 54058, Korea)

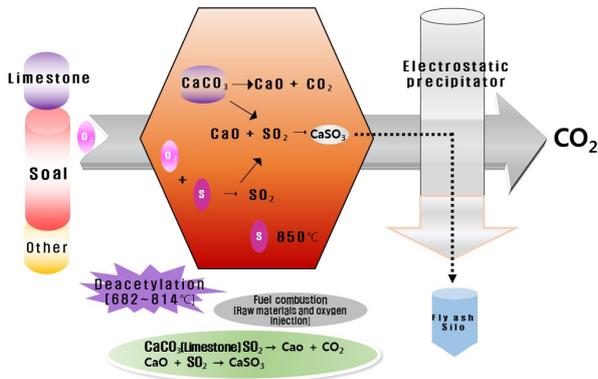


Fig. 1. CFA generation process schematic diagram(An 2013)

에는 적합하지 않은 고유황탄, 저품위탄, 폐기물 등 모든 가연성 물질에 대하여 광범위한 원료 사용이 가능하다. 또한, 연소로 온도를 약 900°C 정도로 유지하여 질소산화물 생성을 억제할 수 있고, 석회석으로 노 내에서 직접 탈황할 수도 있는 등의 장점 때문에 현재 순환유동층 연소방식의 화력발전소가 점점 증가하는 추세에 있다.

미분탄 연소방식의 화력발전소에서 발생하는 플라이애시의 경우 80% 이상이 레미콘 혼화재와 시멘트의 원료로 활용되고 있으나, 순환유동층 연소방식 석탄재의 경우 KS 규격(KS L 5405)에 부합되지 못하여 콘크리트용 혼화재와 시멘트 원료로 사용되지 못하고 전량 매립되고 있어 재활용에 관한 연구 및 활용기술이 요구되어 지고 있다(Sim 2012).

이에 본 연구에서는 순환유동층 연소방식에서 발생하는 석탄재인 고칼슘 플라이애시를 활용한 무기결합재의 모르타르 및 콘크리트 물성 평가를 실시하여 재활용 방안을 제시하고자 하였다.

2. 고칼슘 플라이애시의 개요

2.1 발생

일반적으로 연소시스템 및 연소 온도 등과 같은 연소조건에 따라 플라이애시의 화학성분 및 특성이 다르기 때문에 연소조건에 따라 플라이애시의 종류가 구분된다. 미분탄 연소방식의 F급 플라이애시(F-type Fly Ash, 이하 FFA)는 1,100~1,400°C의 연소온도에서 발생하므로, 화학조성의 용융점에 도달하여 입자의 형태가 Glass상을 띄게 된다. 이에 반해 순환유동층 연소방식의 석탄재인 고칼슘플라이애시(C-type Fly Ash, 이하 CFA)는 900°C의 연소온도에서 발생하며, 노내 탈황을 하기 위해 석회석을 첨가하기 때문에 석탄재에 잉여 석회성분이 잔재하여 CaO 화합물의 형태로 존

Table 1. Classification by chemical composition(An 2013)

Category	Chemical component		Note
I	SiO ₂ Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ CaO	> 50% Moderate < 7%	- Excellent pozzolanic reaction - F-class fly ash
	Other component	Small	
II	SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ CaO	35-50% High Medium Larger than Type I	- Pozzolan + Hydration reaction - C-class fly ash

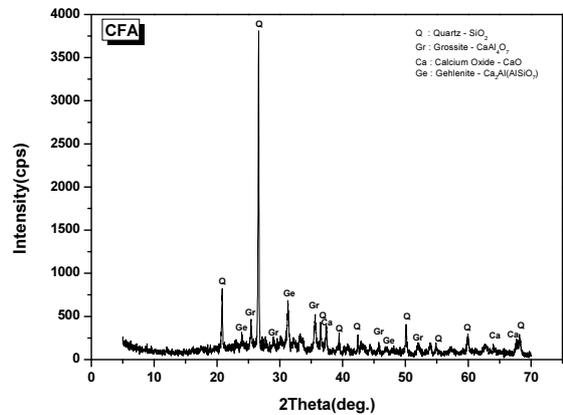


Fig. 2. X-Ray diffraction patterns of CFA

재하게 된다. CaO 화합물이 다량 함유된 재료를 레미콘 혼화재나 시멘트의 원료로 사용할 경우 Free-CaO 성분이 콘크리트의 이상 응결현상, 슬럼프의 손실, 지연제의 사용량 증가, 내구성 저하 등의 문제를 발생시키고, 특히 콘크리트의 팽창, 균열 등의 문제를 발생하여 물성을 저하시킨다고 알려져 있다(Ahn 2011; Kim 2007). 또한 Table 1(ASTM 2009)에 비교해놓은 것처럼 CFA는 FFA에 비해 CaO, MgO, SO₃ 등의 함유량이 높은 반면에 SiO₂, Al₂O₃ 등의 함유량이 낮은 특징을 갖고 있다.

2.2 물성

본 실험에서는 순환유동층 연소방식의 Y 발전소에서 발생된 CFA를 대상으로 화학조성 및 입형, XRD분석을 실시하였다. Table 2는 CFA의 화학조성을 FFA와 비교한 것으로, 시멘트 혼화재료로서 일반적으로 사용되어지고 있는 FFA와는 달리 CaO 42.60%, SO₃ 5.28%로 높았으며, SiO₂ 21.30%, Al₂O₃ 9.79%로 낮은 비율을 구성하고 있음을 확인하였다. 이러한 경향은 석회석 미분말의 혼입 및 황산화물의 탈황시 생성되는 석고의 영향 때문이며(Sakai 1997), 분말도는 4,400cm²/g, 강열감량은 6.41%, 밀도 2.92g/cm³

Table 2. Chemical components and physical properties

	Composition ratio(%)						Ig.loss (%)	Density (g/cm ³)	Fineness (cm ² /g)
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃			
OPC	61.12	22.11	7.1	3.06	3.14	2.21	1.4	3.16	3455
FFA	3.37	60.15	24.99	4.7	0.94	0.18	2.85	2.21	3684
CFA	42.60	21.30	9.79	8.21	6.09	5.28	6.41	2.92	4404

※ OPC: Ordinary Portland cement, FFA: F-type Fly Ash, CFA: C-type Fly Ash

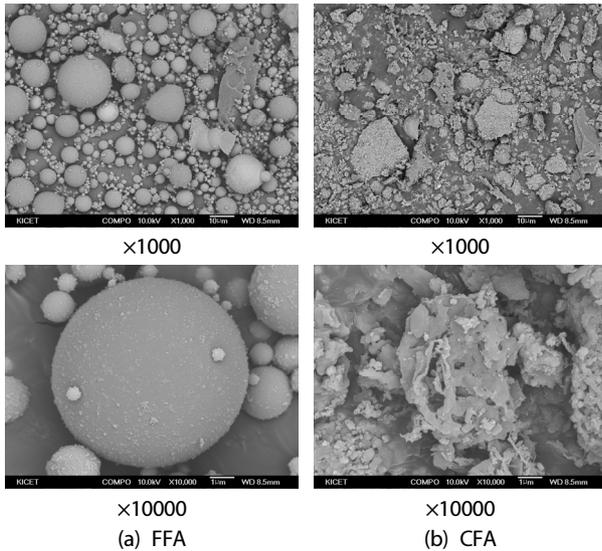


Fig. 3. Image of SEM

로서 FFA와 비교하여 상대적으로 큰 것으로 나타났다. Fig. 2는 CFA의 XRD 분석결과로 Quartz, Grossite, Calcium Oxide, Gehlenite 결정상을 갖는 물질임을 확인하였다.

CFA의 자경성(Horiguchi 2008) 뿐만 아니라 함유되어 있는 CaO 및 SO₃ 성분은 고로슬래그 미분말의 자극제로 활용이 가능할 것으로 사료되는바, 무기결합재로서도 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 3는 본 실험에 사용한 플라이애시의 SEM사진으로 입형을 살펴보면, CFA의 FFA와 같은 구형이 아닌 부정형의 입자들로 구성되어 있어 경화반응이 일어나기 쉬운 형상을 지니고 있음을 확인하였다(Tomari 1992; Tomari 1997).

3. CFA를 활용한 모르타르의 특성

3.1 실험계획 및 사용재료

3.1.1 실험계획

FFA 및 CFA는 결합재 총량의 25~75% 범위로 혼합하여 모르

타르의 물성에 미치는 영향을 검토하였으며, W/B 50%, 잔골재비 1:2.5로 시험체를 제작하였다. 시험체의 양생조건은 상온양생(20℃) 및 고온양생(60℃)으로 하였으며, 재령 1, 3, 7, 28일의 압축강도 측정을 실시하였다. 또한, CFA의 혼입이 작업성 및 모르타르의 경시변화에 미치는 영향을 검토하기 위해 비빔 직후와 30분 경과 후의 플로우 측정을 실시하였다.

3.1.2 사용재료

본 실험에서는 KS L 5201의 규격으로 생산된 국내 S사의 보통 포틀랜드시멘트(ordinary portland cement, 이하 OPC) 및 경남 하동에 위치한 화력발전소의 FFA, Y 발전소의 CFA를 사용하였으며, 그 화학조성 및 물리적 성질은 Table 2와 같다.

3.2 실험결과 및 분석

3.2.1 플로우(Flow)

Fig. 4는 FFA 및 CFA를 혼입한 모르타르의 비빔 직후와 30분 경과 후 플로우를 측정하여 정리한 것이다.

FFA를 혼입한 모르타르의 플로는 비빔 직후 치환율 0%에서 157mm, 치환율 75%에서는 162mm로 FFA 치환율에 증가함에 따라 플로우 값도 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 비빔 30분 경과 후의 플로는 치환율 0%에서 134mm, 75%에서 138mm로, 비빔 직후와 비교하여 약 15% 내외의 플로우 감소가 발생하였으나, FFA의 혼입율에 따른 차이는 보이지 않았다.

CFA를 혼입한 모르타르의 플로는 비빔 직후 치환율 0%에서 157mm, 25%에서 148mm, 50%에서 127mm, 75%에서 114mm로서 FFA와 다르게 치환율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 비빔 30분 경과 후의 플로는 0%에서 134mm, 25%에서 124mm, 50%에서 117mm, 75%에서 103mm로 치환율에 따라 8~17%의 플로우 감소를 확인하였다.

FFA와 CFA의 혼입에 따른 플로우 경향을 살펴보면, FFA를 혼입한 모르타르는 치환율이 증가함에 따라 플로우가 증가하는 경향

Table 3. Experiment condition

Type of fly ash	Substitution ratio(%)	Curing temperature	Measurement item	Mix design
FFA CFA	0, 25, 50, 75	- Ambient temperature curing (20°C) - High temperature curing (60°C)	- Flow (immediately after, 30 minutes) - Compressive strength (1 day, 3 days, 7 days, 28 days)	- B:S=1:2.5 - W/B=50%

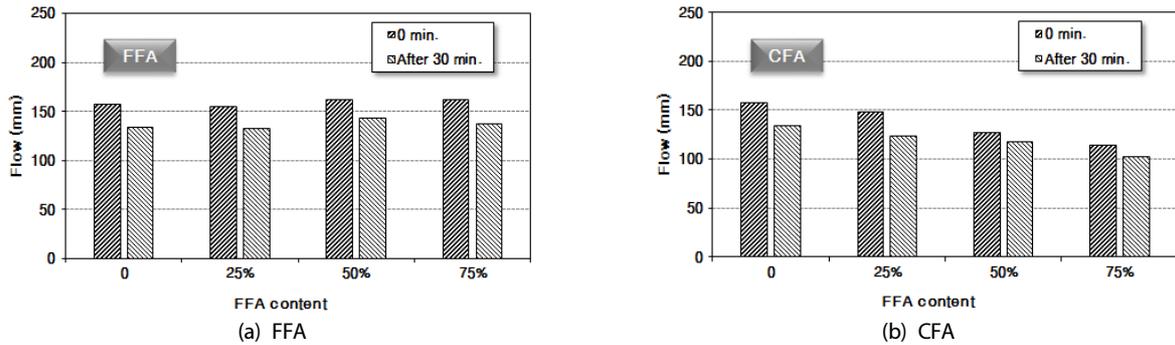


Fig. 4. Flow of mortar

을 보이는데 반해, CFA를 혼입한 모르타르는 치환율이 증가함에 따라 플로우가 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 입형이 구형인 FFA와는 달리 CFA는 각형의 부정형 입자들로 구성되어 있으며, 함유되어 있는 CaO가 물과 반응을 시작하면서 일부 유동성이 상실되기 때문에 사료된다(An 2013).

3.2.2 압축강도

Fig. 5는 20°C의 양생온도조건에서의 FFA 및 CFA의 혼입율에 따른 모르타르 압축강도 측정결과이며, Fig. 6은 60°C에서 양생한 시험체의 압축강도 측정결과이다.

Fig. 5의 혼입율에 따른 압축강도를 살펴보면, FFA의 경우 상온 양생(20°C)에서의 28일 압축강도는 혼입율 0%에서 33.8MPa, 25%에서 35.0MPa, 50%에서 34.1MPa, 75%에서 23.1MPa인 것

로 나타나고 있어 혼입율 50%까지는 압축강도가 증가하는 경향을 보이고 있지만 75%에서는 0%와 비교하여 약 70%수준까지 저하한 것으로 나타났다. 이에 반해, CFA의 경우에는 상온양생(20°C)에서의 28일 압축강도는 혼입율 0%에서 33.8MPa, 25%에서 29.6MPa, 50%에서 18.7MPa, 75%에서 9.2MPa인 것으로 나타나고 있어 혼입율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 6에 나타난 바와 같이 고온양생(60°C)에서의 FFA 혼입 모르타르의 28일 압축강도는 0%에서 23.0MPa, 25%에서 25.3MPa, 50%에서 26.7MPa, 75%에서 23.4MPa로 측정되었다. 이는 상온양생과 비교하여 초기 재령의 압축강도는 증진되었으나, 재령 28일의 압축강도는 재령 28일의 압축강도의 증진은 없음을 확인하였다. CFA 혼입 모르타르의 28일 압축강도는 0%에서 23.0MPa, 25%에서 24.9MPa, 50%에서 20.5MPa, 75%에서 8.6MPa인 것

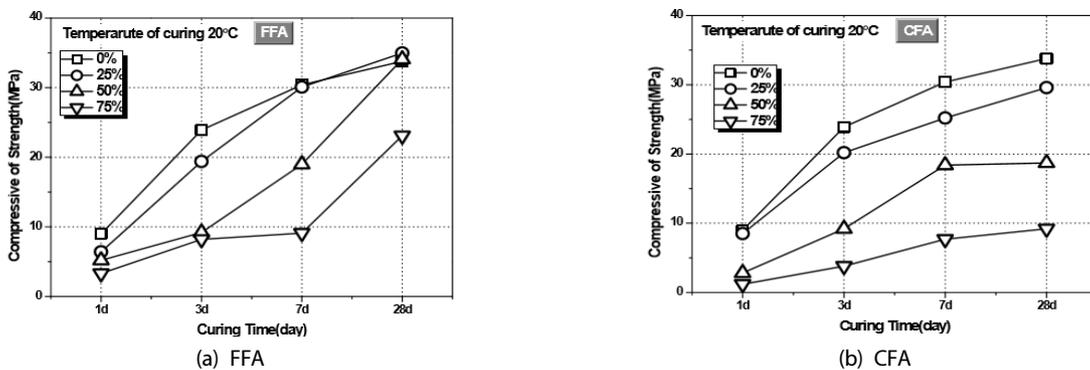


Fig. 5. Compressive strength of mortar(20°C)

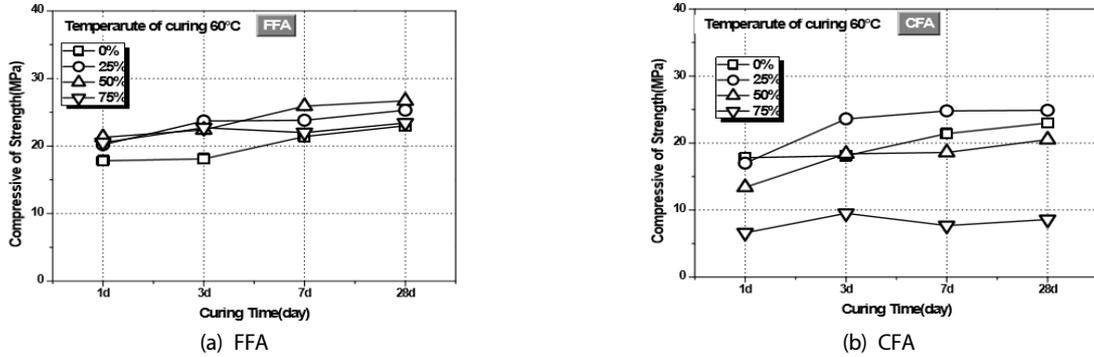


Fig. 6. Compressive strength of mortar(60°C)

로 나타나고 있어 상온양생과 비교하여 1일, 3일 압축강도는 항상 되지만 7일 이후에서는 다소 저하하는 경향을 보이고 있다. 또한 혼입율 25%까지는 압축강도가 다소 향상되기도 하였지만 혼입율이 증가할수록 고온양생에서도 압축강도는 저하하였다. FFA 혼입 모르타르와 비교하여 CFA 혼입 모르타르의 압축강도는 25% 혼입 시 초기재령에서 압축강도가 동등이상의 측정값을 보였으나, 28일 재령에서 약 80%의 압축강도 측정값을 보였다. 이상의 실험 결과, CFA 사용시 혼입율은 25%이내가 적정할 것으로 사료된다.

4. CFA를 활용한 콘크리트의 특성

4.1 실험 계획 및 방법

4.1.1 실험계획 및 콘크리트 배합

본 논문의 실험계획을 Table 4에 나타내었다. CFA의 콘크리트 적용 가능성을 검토하기 위해, 결합재 중량에 대해 슬래그 미분말 40%와 CFA 10%(SC-CFA)를 대체한 결합재, CFA를 10% 대체한 결합재(C-CFA)의 배합조건으로 콘크리트 물성 실험을 실시하였으며, OPC 100% 콘크리트(C)와 비교·검토하였다. 콘크리트의 활용용도로서 레디믹스트 콘크리트 뿐만 아니라 콘크리트 2차 제

품에 활용하기 위한 검토로서 양생온도를 상온양생인 20°C와 고온양생인 60°C에서 양생을 실시하여 비교·검토하였다. 물성평가 항목으로 슬럼프, 공기량과 재령 1일, 3일, 7일, 28일에 압축강도를 측정하였다. 본 논문의 콘크리트 배합은 Table 5에 나타내었다.

4.1.2 사용재료

본 연구에서 적용한 골재는 Table 5에 나타낸 바와 같이 잔골재의 경우 밀도 2.58g/cm³, 조립율 2.70, 흡수율 1.46%, 금강산 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 밀도 2.62g/cm³, 조립율 6.48, 흡수율 1.96%, 최대치수 20mm의 부순자갈을 사용하였다.

4.1.3 실험방법

콘크리트의 비빔방법은 100ℓ 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 건비빔과 모르타르 비빔을 행한 후, 골재를 투입하는 선모르터 비빔방법을 실시하였다. 즉, 각 재료들이 균질하게 분산되도록 시멘트, 모래, 플라이애시를 투입하여 30초간 건비빔한 후, 배합수를 투입하여 60초간 비빔 하였으며, 그 후 굵은골재를 투입하여 120초간 비빔 후 슬럼프 및 공기량, 단위용적중량을 측정하였다. 총 비빔시간은 210초가 소요되었다.

Table 4. Experimental plan

I.D.	Type of binder	CFA (%)	Gypsum (%)	W/B (%)	Curing temperature	Test items
C	C	-	0	40	- Ambient temperature curing (20°C) - High temperature curing (60°C)	· Slump · Amount of air · Unit weight · Setting time (Initial set, Final set) · Compressive strength (1, 3, 7, 28, 56 days)
C-CFA		10	0			
SC-CFA	SC	10	0			

※ C: Ordinary portland cement, SC: Slag cement, CFA: C-type Fly Ash, G: Gypsum(Anhydrite)

Table 5. Concrete mix design

	W/B (%)	Mixing ratio of Binder			S/A (%)	Unit weight(kg/m ³)					
		OPC	BFS	CFA		W	C	BFS	CFA	S	G
C-100	40.0	100	-	-	47	180	450	0	0	806	926
C-CFA		90	-	10		180	405	0	45	797	916
SC-CFA		50	40	10		180	135	180	45	757	919

Table 6. Physical properties of aggregate

Type	Max. size (mm)	Density (g/cm ³)	Fineness modulus	Absorption rate (%)	Unit volume weight (kg/m ³)	0.08mm sieve passing(%)
Fine aggregate	5	2.58	2.70	1.46	1581	0.31
Coarse aggregate	20	2.62	6.48	1.96	1504	0.40

공시체 제작은 콘크리트의 슬럼프를 측정된 후, 재령별 압축강도를 측정하기 위해서 압축강도 측정용 Ø 100× 200mm 원주형 물드를 제작하였다. 24시간 후에 물드를 제거한 다음, 공시체는 소요의 재령까지 21±3℃의 상온수중양생과 61±3℃의 고온증기 양생을 실시하였다.

4.2 실험 결과 및 고찰

4.2.1 슬럼프

결합재 종류별 콘크리트의 슬럼프 측정결과는 Fig. 7에 나타난 바와 같이 CFA를 결합재에 10% 대체하여 사용할 경우 보통 포틀랜드 시멘트에서는 유동성 저하현상이 보여 지지 않고 있으나 고로슬래그 미분말이 40% 혼합됨으로서 유동성이 저하하고 있다. OPC 100%인 C-100의 슬럼프 198mm와 비교하여 C-CFA의 슬럼프는 193mm로 유사하였으며, 고로슬래그 미분말 40%에 CFA 10% 혼합된 SC-CFA는 95mm로 약 50% 수준의 슬럼프 값이 측정되었다.

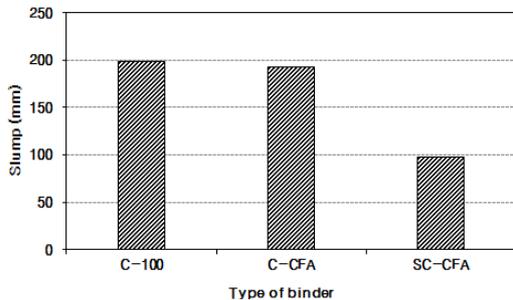


Fig. 7. Slump of concrete

4.2.2 공기량

결합재 종류별 콘크리트의 공기량 측정결과는 Fig. 8에 나타난 바와 같이 OPC 100%인 C-100의 공기량은 5.9%, 보통 포틀랜드 시멘트+고칼슘플라이애시(C-CFA)는 5.3%, 슬래그시멘트+고칼슘플라이애시(SC-CFA)는 4.7%로 콘크리트의 공기량은 OPC를 사용한 콘크리트와 비교하여 감소하는 경향을 보이고 있다. CFA 혼입은 콘크리트의 공기량에 영향을 미치며, CFA 혼입시 적합한 혼화제의 사용이 필요할 것으로 판단된다.

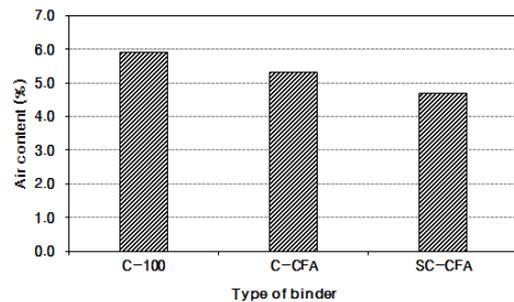


Fig. 8. Air amount of concrete

4.2.3 압축강도

결합재 종류 및 양생온도별 콘크리트 압축강도 측정결과를 Fig. 9와 10에 나타내었다. 20℃ 상온양생의 경우 C-CFA 및 SC-CFA 콘크리트의 압축강도는 OPC 사용한 C-100과 비교하여 재령 1일의 초기 강도는 낮지만 재령 28일 이후의 장기강도는 상대적으로 높은 것으로 나타났으며, CFA 및 (CFA+BFS) 혼입에 따른 (7일 재령 이하에서의) 압축강도 향상 효과는 미비한 것으로 판단된다. 20℃ 상온양생에서의 결합재 종류별 콘크리트 압축강도는 재령 1일의 경우 C-100은 6.0MPa, C-CFA는 2.8MPa, SC-CFA는

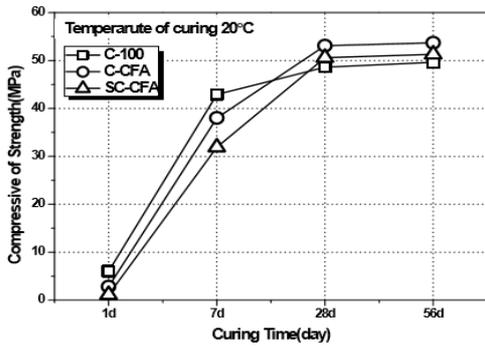


Fig. 9. Compressive strength of concrete(20°C)

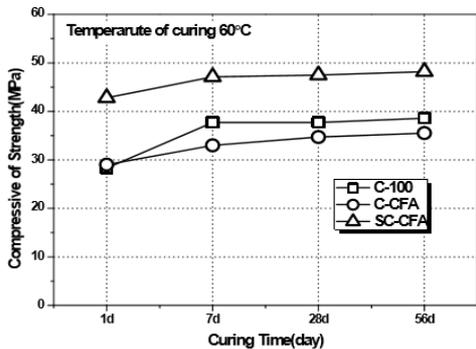


Fig. 10. Compressive strength of concrete(60°C)

1.1MPa로서 초기압축강도는 OPC를 사용한 콘크리트와 비교하여 감소하는 것으로 나타났다.

그러나 재령 56일의 경우 C-100은 49.6MPa, C-CFA는 53.7MPa, SC-CFA는 51.3MPa로서 장기압축강도는 OPC를 사용한 콘크리트와 비교하여 증가하고 있어 초기강도는 작지만 장기강도는 큰 것으로 나타났다.

또한 60°C 고온양생의 경우 콘크리트의 압축강도는 OPC를 사용한 콘크리트와 비교하여 재령 1일의 초기 강도 및 재령 28일 이후의 장기강도가 높게 발현되고 있으며, 압축강도 증진은 상온양생에서보다 효과적인 것으로 판단된다.

60°C 고온양생에서의 결합재 종류별 콘크리트 압축강도는 재령 1일의 경우 C-100은 28.3MPa, C-CFA는 29.0MPa, SC-CFA는 42.8MPa로서 초기압축강도는 OPC를 사용한 콘크리트와 비교하여 증가하는 것으로 나타났다.

또한 재령 56일의 경우 C-100은 38.6MPa, C-CFA는 35.5MPa, SC-CFA는 48.2MPa로서 장기압축강도는 OPC를 사용한 콘크리트와 비교하여 큰 차이는 없는 것으로 나타나고 있으나 CFA 사용에 따른 초기 압축강도가 향상되었음을 확인하였다. 이러한 초기 강도 발현 특성은 콘크리트 2차제품의 결합재로 적용시 거푸집

탈형시기를 앞당기는데 유효한 방법일 것으로 사료된다.

5. 결론

순환유동층 연소방식에서 발생하는 석탄재인 고칼슘 플라이애시를 활용한 무기결합재의 모르타르 및 콘크리트 물성 평가한 결과는 다음과 같다.

1. FFA 혼입 모르타르의 플로우는 비빔 직후에는 혼입율이 증가할수록 다소 증가하는 경향을 나타내었으나, CFA 혼입 모르타르의 플로우는 혼입율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 CFA의 입형이 구형인 FFA와는 달리 각형의 부정형 입자들로 구성되어 있으며, 함유되어 있는 CaO가 가수에 의해 반응을 시작하면서 일부 유동성이 상실되기 때문으로 사료된다.
2. FFA 혼입 모르타르의 상온양생(20°C) 조건 재령 28일 압축강도는 혼입율 50%의 범위까지 증진하는 경향을 보였으나, CFA 혼입 모르타르의 압축강도는 혼입율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다.
3. 고온양생조건에서 CFA 혼입 모르타르의 재령 28일 압축강도는 상온양생과 비교하여 1일, 3일 압축강도는 향상되지만 7일 이후에서는 다소 저하하는 경향을 보였다. 혼입율 25% 범위에서 압축강도는 다소 증가하지만, 그 이상의 범위에서는 혼입율이 증가할수록 압축강도는 저하하는 경향을 보여, 고온양생 사용시 25%이내의 혼입율이 적절할 것으로 사료된다.
4. 20°C 상온양생의 경우 CFA 및 BFS 활용한 결합재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 OPC를 사용한 콘크리트와 비교하여 재령 1일의 초기 강도는 낮지만 재령 28일 이후의 장기강도는 상대적으로 높은 것으로 나타났다.
5. 60°C 고온양생의 경우 CFA 및 BFS 활용한 결합재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 OPC를 사용한 콘크리트와 비교하여 재령 1일의 초기 강도 및 재령 28일 이후의 장기강도가 높게 발현되고 있으며, CFA 및 BFS 활용한 결합재 사용에 따른 압축강도 증진은 보다 효과적인 것으로 판단된다.

References

An, Y.J., Moon, K.J., Yoon, S.J., Lee, M.H., Song, Y.C., Kim, Y.R. (2013). Physical properties of finishing mortar in ondol floor using high-calcium fly ash, Journal of Korea Society

- of Waste Management, **30(7)**, 660–669 [in Korean].
- Ahn, N.S., Lee, J.H., Lee, Y.H. (2011). Sulfate attack according to the quantity of composition of cement and mineral admixtures, Journal of Korea Institute Building Construction, **11(6)**, [in Korean].
- ASTM C 1581–048. (2009). Standard test method for determining age at cracking and induced tensile stress characteristics of mortar and concrete under restrained shrinkage, American Society of Testing and Material.
- Horiguchi, I. (2008). Compressive strength of PFBC coal ash composite with resistance to sulfuric acid solution, JCI' 2008, **30(2)**, 529–534.
- Kim, K.H., Lim, J.Y., Ryu, D.H., Choi, S.W. (2007). The present situation of production and it's utilization of electronic arc furnace oxidizing slag in korea and other countries, Magazine of the Korea Concrete Institute, **19(6)**, 51–57 [in Korean].
- Lee, U. (2012). A Study on the Fluidization of Bed Materials for a CFB Boiler, Master's Thesis, Pusan National University [in Korean].
- Sasaki, H. (1997). "Studies on the effective utilization of coal ash generated from pressurized fluidized-bed combustion power plant", Proceeding of Japan Concrete Institute, **19(1)**, 229–234.
- Sim, J.S., Lee, K.G., Kim, Y.T., Kang, S.K. (2012). Hydration characteristics of coal-fly ash containing high CaO compound, Journal of the Korean Ceramic Society, **49(2)** [in Korean].

고칼슘 플라이애시를 활용한 모르타르 및 콘크리트의 기초적 물성

순환유동층 연소방식에서 발생하는 석탄재인 고칼슘 플라이애시를 활용한 무기결합재의 모르타르 및 콘크리트 물성 평가하였다. 그 결과 고온양생조건에서 CFA 혼입 모르타르의 재령 28일 압축강도는 혼입율 25% 범위에서 압축강도는 다소 증가하지만, 그 이상의 범위에서는 혼입율이 증가할수록 압축강도는 저하하는 경향을 보여, 고온양생 사용시 25%이내의 혼입율이 적정할 것으로 사료된다. 또한 고온양생의 경우 CFA 및 BFS 활용한 결합재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 OPC를 사용한 콘크리트와 비교하여 재령 1일의 초기 강도 및 재령 28일 이후의 장기강도가 높게 발현되고 있으며, CFA 및 BFS 활용한 결합재 사용에 따른 압축강도 증진은 보다 효과적인 것으로 판단된다.