

# 플라이 애시의 치환범위 상향을 위한 콘크리트의 기초적 특성 분석

## Analysis of Fundamental Properties of Concrete for Rising up Fly Ash Contents

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

한천구<sup>1)</sup> 박용규<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>청주대학교, 건축공학과 <sup>2)</sup>청주대학교, 건축공학과 박사과정

Cheon-Goo Han<sup>1)</sup>, Yong-Kyu Park<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Cheongju, 360-764, Korea

<sup>2)</sup>Doctor Course, Cheongju University, Cheongju, 360-764, Korea

### Abstract

In this study, increasing the range of replacement rate of FA with concrete properties were analyzed to provide basic data of FA replacement 0-40 % and curing temperature 5-35°C range. As a result of the increased fluidity in proportion to the increase in FA, but decreased air. Setting time delayed at replacement rate increases and low temperature, simple insulation temperature history of the FA up to 40 % replacement rate increases the maximum temperature was low 8°C, the highest temperature reaching time delay of 13 hours. FA replacement up stream of the curing temperature, compressive strength compared to the higher plane, it was found that improved strength development. In carbonation tests with increasing the replacement ratio of FA carbonation depth was increased. Therefore, continued research on carbonation measures was to be necessary.

**키워드** : 플라이 애시, 혼화재료 치환율, 양생온도, 간이단열온도, 중성화

**Keywords** : Fly ash, Replacement of Admixture, curing temperature, simple insulation temperature, carbonation

## 1. 서론

최근 세계 각국에서는 온실가스 저감을 위한 다양한 제도 및 정책이 발표되고 있다. 우리나라의 경우도 “저탄소 녹색 성장”이라는 국가 비전아래 대통령 직속기구인 녹색성장위원회를 조직하여 국가 3대 전략과 10대 정책 방향을 설정하고 있는 실정이다.<sup>1)</sup>

이러한 국가전략에 부응하여 건설 분야에서도 온실가스 저감을 위한 노력은 다양한 방면에서 진행 중에 있는데, 그 중 산업부산물인 플라이 애시(이하 FA)를 이용하여 이

산화탄소 배출량이 적은 콘크리트 생산을 위한 연구가 다 방면으로 진행되고 있다.<sup>2)</sup>

그러나 FA를 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC)에 치환하여 사용할 경우 작업성 개선, 수화발열의 저감, 장기강도 증진, 경제성 향상 및 공급 안정성 등의 장점을 극대화시키기 위해 2000년대 초반부터 FA의 치환율 상향을 위한 실험적 연구<sup>4-8)</sup>가 많이 진행되어져 왔지만, 공기량 감소, 응결지연, 초기강도 저하, 내구성 저하 등의 단점으로 FA의 국내 실제 시멘트 대체율은 10 % 전후로 다량 사용에는 아직까지 부족한 점을 보이고 있다.

그러므로 본 연구에서는 FA 사용량의 치환 범위를 상향시키기 위한 방법을 모색하기 위하여 다양한 계절 조건으로 즉, 겨울철을 상정한 양생온도 5°C, 표준기의 20°C,

\* Corresponding author  
E-mail: bud23@naver.com

여름철의 35℃에서 FA 시멘트의 최대 치환범위인 30 %를 초과하여 40 %까지 치환범위를 상향시켜 콘크리트의 유동성, 강도 및 중성화 깊이 등 제반 특성을 분석하므로써 차후 FA 상향 치환 콘크리트의 문제점 해결방안에 관한 기초자료로 제공하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 배합사항은 Table 2와 같다.

먼저 W/B는 50 %(목표 강도 30 MPa)의 1수준에 대하여 OPC를 사용한 것을 플레인 배합으로 하고, FA를 10 %, 20 %, 30 %, 40 % 5수준으로 변화시키며, 양생온도를 5, 20, 35℃의 3수준으로 하여 총 15배치를 실험계획하였다. 배합사항으로는 목표 슬럼프치를  $120 \pm 15$  mm, 목표 공기량을  $4.5 \pm 1.5$  %가 만족되도록 플레인 콘크리트를 배합 설계한 다음 배합 변수별에는 동일한 배합 조건을 적용하였다.

Table. 1 Design of experiment

Factors		Levels	
Mixture	W/B (%)	1	50
	Target slump (mm)	1	$120 \pm 25$
	Target air (%)	1	$4.5 \pm 1.5$
	Admixture replacement(%)	5	- OPC - FA : 10, 20, 30, 40
	Curing temperature (°C)	3	5, 20, 35
Experiment	Fresh mortar	3	· Slump · Air content · Setting time <sup>1)</sup>
	Hardened mortar	3	· Simple insulation temperature test · Compressive strength <sup>2)</sup> (1, 3, 7, 28, 91 days) · Carbonation (1, 4, 8, 13, 26 weeks)

\* 1) Only measurement in curing temperature  
2) Measurement by cure temperature variation

Table. 2 Mixture proportions

Binder Composition	W/B (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	Admixture replacement	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )			
				C	FA	S	G
Plain			0	364	0	797	910
FA10			10	328	36	791	903
FA20	50	182	20	291	73	785	896
FA30			30	255	109	779	889
FA40			40	218	146	773	882

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량 및 응결시간을 측정하는 것으로 하였고, 경화 콘크리트에서는 간이단열온도 측정, 계획된 재령에서 압축강도 및 축진 중성화 깊이를 측정하는 것으로 하였다.

### 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로 시멘트는 국내산 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 굵은골재 및 잔골재는 충북 옥산산을 사용하였다. FA는 국내 K사산을 사용하였고, 유동성 확보를 위한 혼화제는 나프탈렌계 고성능 감수제를 사용하였는데, 각 재료의 물리적 성질은 Table 3-Table 6과 같다.

Table. 3 Physical properties of cement

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Soundness (%)	Setting time(min.)		Compressive strength(MPa)		
			Initial time	Final time	3 days	7 days	28 days
3.15	3 144	0.18	230	375	20.9	28.4	38.9

Table. 4 Physical properties of aggregate

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	F.M	Water absorption (%)	Passing amount of 0.08 mm sieve(%)
Blended fine aggregate	2.58	2.7	1.46	0.31
Coarse aggregate	2.62	6.48	0.58	0.40

Table. 5 Physical and chemical properties of FA

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Ignition loss (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)
2.20	4 012	2.5	52.4	23.2	6.2	6.9

Table. 6 Physical properties of admixture

Kinds	Main ingredients	Appearance	Density (g/cm <sup>3</sup> )
SP	Naphthalene	White yellow(liquid)	1.05

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 실시하였다. 굳지 않은 콘크리트에서 슬럼프치는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421, 응결시간은 KS F 2436에 의거 실시하였다. 또한, 경화 콘크리트에서 압축강도는 KS F 2403에 의거  $\varnothing 100 \times 200$  mm 공시체를 제작한 다음 실험계획에 따라 양생한 후 KS F 2405에 의거 압축강도를 구하였다. 간이단열온도이력 시험은 Fig. 1~2와 같이 직접 시험법으로 각 배합조건에 따라 제조한  $\varnothing 100 \times 200$  mm 콘크리트 공시체에 열전대를 시험체 중앙에 매설한 후 두께 100 mm의 단열재로 6면을 밀봉한 입방 시험장치에 넣어 온도이력계에 의해 온도변화를 1시간 간격으로 7일간 측정하였다.

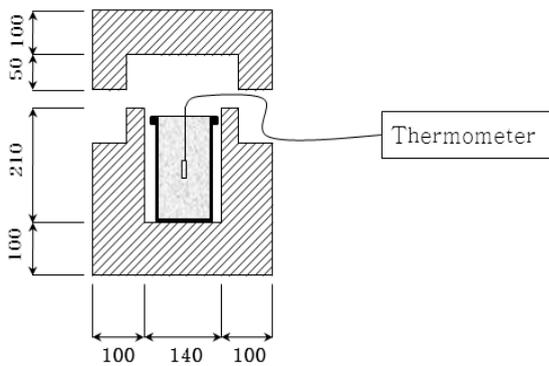


Fig. 1 Simple insulation temperature test drawings

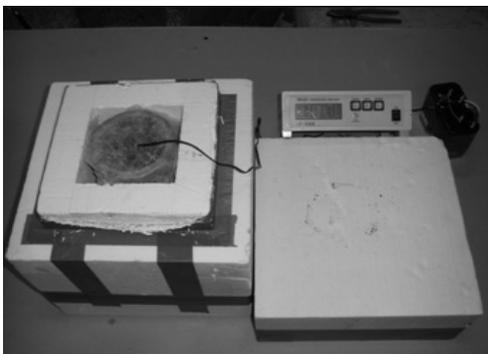


Fig. 2 Simple insulation temperature test

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

#### 3.1.1 유동성

Fig. 3은 FA 치환율 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 유동성을 나타낸 그래프이다.

먼저, Plain 배합은 목표 슬럼프치인  $120 \pm 25$  mm를 만족하는 것으로 나타났다. 전반적으로 FA 치환율이 증가할수록 Plain에 비해 유동성이 증가하여 FA 40 %를 치환한 경우에는 180 mm로 가장 크게 나타났다. 이는 FA 치환에 따른 밀도 차이로 분체의 체적이 증가함으로써 FA의 미세한 구형입자의 증가로 시멘트 페이스트와 골재사이의 마찰저항을 줄여주는 볼베어링 작용과 함께 FA의 시멘트 대비 높은 분말도로 인해 내부의 공극을 채움으로써 보다 연속입도 분포를 형성함에 기인한 것으로 분석된다.

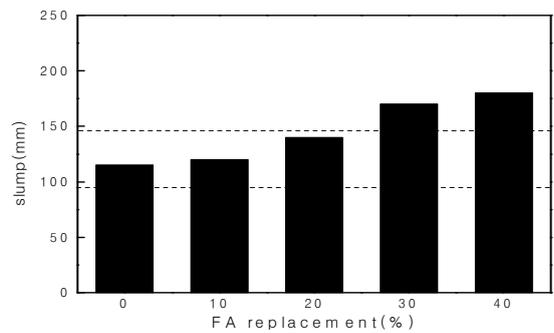


Fig. 3 Slump with FA replacement

#### 3.1.2 공기량

Fig. 4는 FA 치환율 변화에 따른 공기량을 나타낸 그래프이다. 먼저, Plain 배합의 경우는 목표 공기량  $4.5 \pm 1.5$  %를 만족하는 것으로 나타났으며, 전반적으로 FA 치환율이 증가

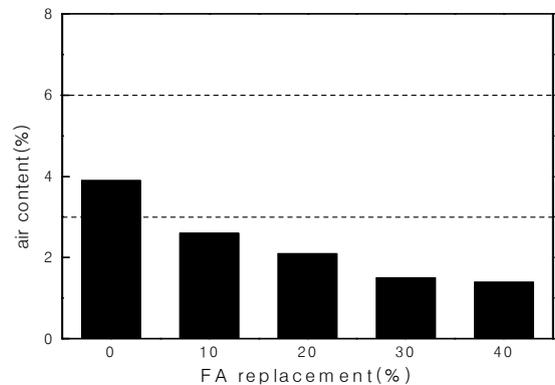


Fig. 4 Air content with FA replacement

할수록 공기량이 크게 감소하는 것으로 나타났는데, 크기는 1.4 %까지 저하하였다. 이는 FA에 포함되어 있는 미연소탄분에 의한 AE제의 흡착작용에 기인한 것으로 분석된다.

특히, FA상향 치환에 따른 공기량은 직선적으로 저하하여 품질관리에 어려운 문제점으로 대두되고 있는 만큼, 차후 공기량 저하 대책에 관한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 3.1.3 응결시간

Fig. 5는 경과시간에 따른 FA 치환율 별 관입저항치를 양생온도별에 따라 나타낸 것이고, Fig. 6은 양생온도 별 FA 치환율에 따른 초결 및 종결시간을 나타낸 그래프이다.

먼저, 응결시간은 양생온도가 고온일수록 또한, FA 치환율이 적은 배합일수록 다소 빠르게 진행되는 것으로 나타났다. 특히 양생온도 5°C의 경우, Plain은 14시간이 경과하여 초결, 19시간 경과 후 종결되었고, FA를 40 % 치환한 경우에는 17시간이 지난 초결, 25시간 경과 후 종결되

는 것으로 나타났다. 하지만, 양생온도 35°C일 경우 Plain은 7.5시간이 경과하여 초결, 9.3시간 경과 후 종결되었고, FA를 40 % 치환한 경우에도 8.3시간이 지나 초결, 10.3시간이 경과 후 종결되는 것으로 나타났다.

특히, 35°C와 같이 양생온도가 높아질수록 그림 6과 같이 FA 치환율 증가에 따른 초결에서 종결에 도달하는 시간차가 감소하는 것을 알 수 있었는데, 이는, 초기 양생온도가 고온일수록 빠른 수화반응으로 FA와 반응할 수 있는 수산화칼슘의 증가에 의한 포졸란 반응이 촉진된 결과로 분석된다.<sup>13)</sup>

## 3.2 경화 콘크리트의 특성

### 3.2.1 간이단열온도이력

Fig. 7은 경과시간에 따른 FA 치환율 별 간이단열온도이력을 나타낸 것이고, Fig. 8은 FA 치환율에 따른 최고온도를 나타낸 그래프이다.

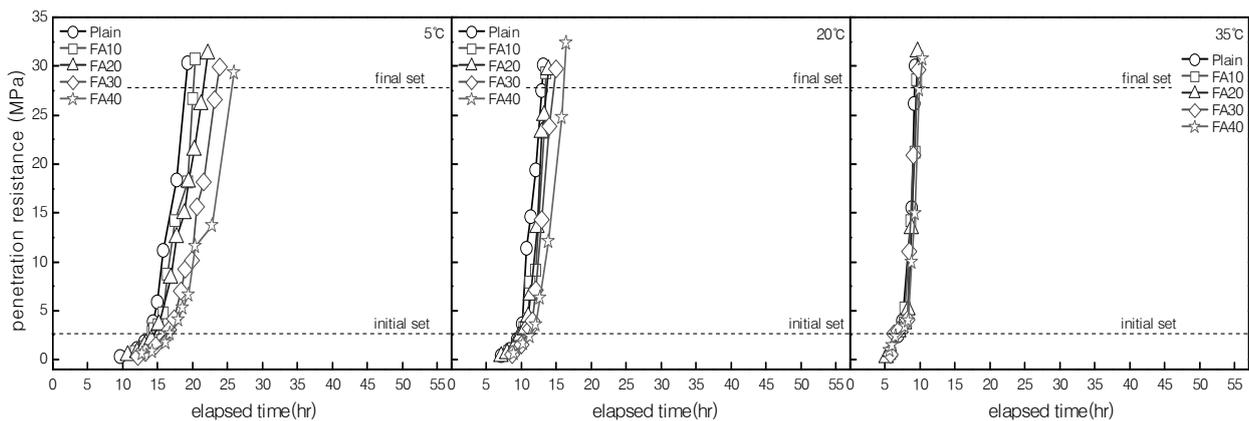


Fig. 5 Penetration resistance with elapsed time

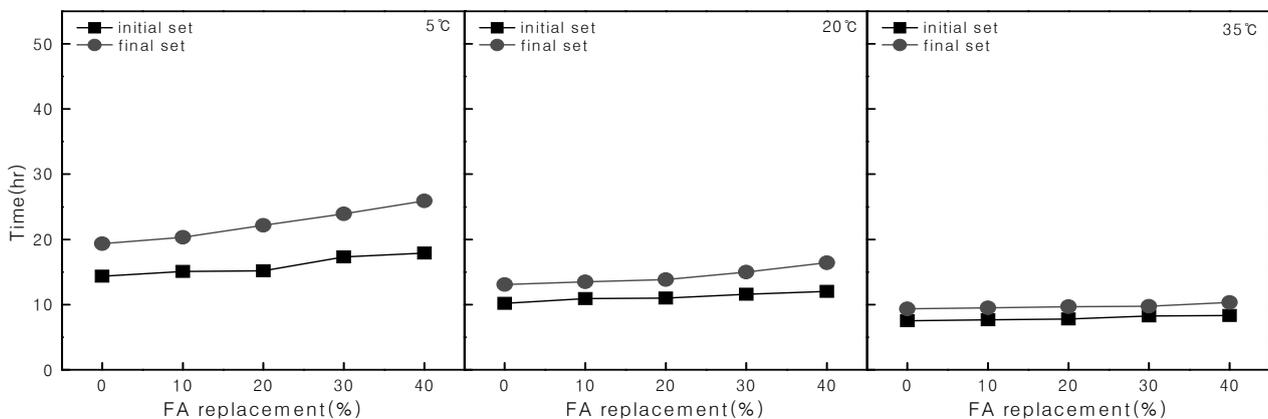


Fig. 6 Initial and final set time with FA replacement

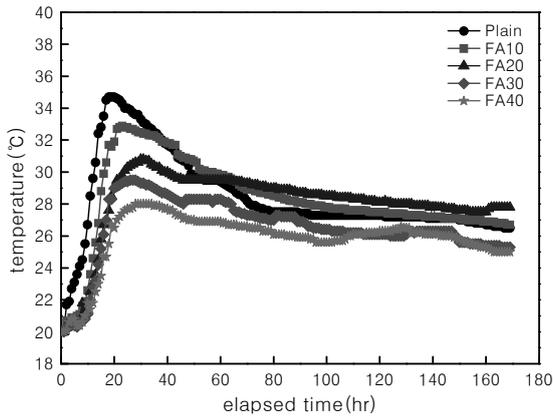


Fig. 7 Insulation temperature with FA replacement by elapsed time

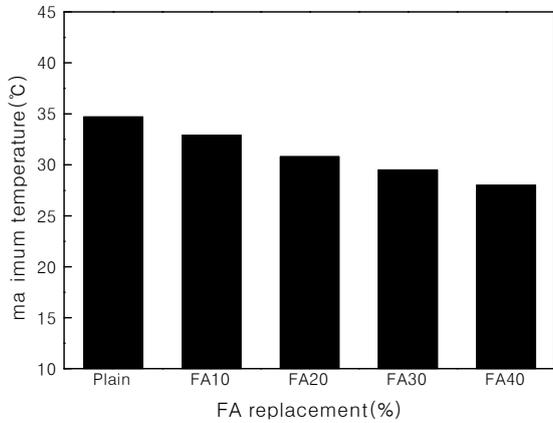


Fig. 8 Maximum temperature with FA replacement

먼저, Plain의 경우는 최고온도가 34.7°C, 최고온도 도달 시간이 18시간으로 초기 수화발열이 활발한 것으로 나타났으며, 최고온도 이후 온도 저하가 급격히 저하하는 경향을 나타내었다. FA 치환율에 따라서는 FA 치환율이 증가할수록 최고온도가 낮아지는 경향을 보였으며, 최고온도 도달시간의 경우도 전반적으로 지연되는 경향을 보였다. 즉, FA 치환율이 40 %까지 증가 할수록 최고온도는 Plain에 비해 약 8°C 전후로 감소하였고, 최고온도 도달시간은 약 12시간 전후로 수화발열속도가 늦어지는 것으로 나타났는데, 이는 1차적으로 OPC에 FA가 치환되면서 수화속도가 빠른 시멘트의 양이 줄어들어 수화반응속도가 지연되었고, 또한 FA의 포졸란 반응으로 인하여 후기에는 차이가 작아지는 것으로 분석된다.

### 3.2.2 압축강도

Fig. 9는 재령 및 양생온도 별 FA 치환율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, Fig. 10은 양생온도 및 재령

별 FA 치환율 변화에 따른 플레인에 대한 압축강도 발현 비율을 나타낸 그래프이다.

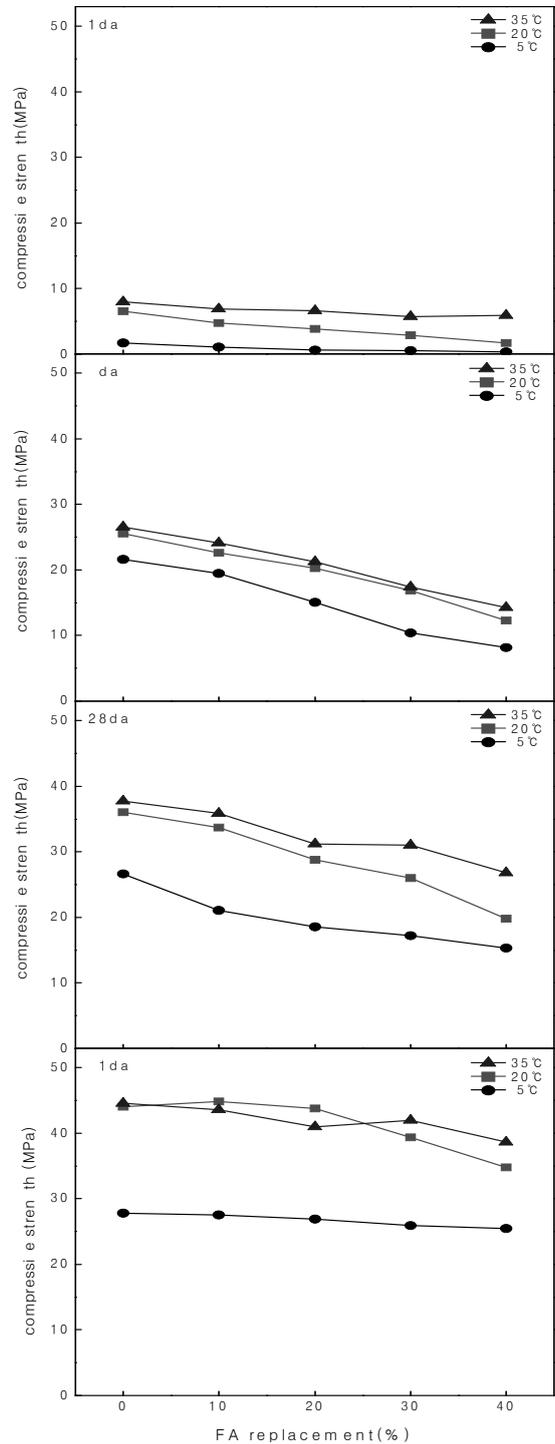


Fig. 9 Compressive strength with FA replacement

먼저 양생온도 5°C에서 Plain의 경우 1일의 초기재령 압축강도는 1.7 MPa로 매우 낮게 나타났는데, FA를 치환한 경

우에는 FA 치환율이 증가 할수록 더욱 더 저하하는 것으로 나타났다. 한편, 재령경과에 따라서는 모두 압축강도가 증가하였는데, Plain의 경우에 재령 7일 압축강도는 21.6 MPa에서 재령 91일은 27.5 MPa로 압축강도 증가율이 128.5 %로 나타났지만 FA를 40 % 치환한 경우에는 재령 7일 8.2 MPa에서 재령 91일 25.4 MPa로 증가율이 311.4 %로 나타나 FA 치환율이 증가 할수록 재령 경과에 따른 강도 증진성이 높아지는 것으로 나타났다. 또한, 재령 91일 압축강도에서 FA 40은 FA를 다량 치환함에도 불구하고 Plain 압축강도의 약 91.6 %의 강도발현율을 보였다.

양생온도 20℃에서의 FA 치환율별 재령경과에 따른 압축강도는 양생온도 5℃에서와 마찬가지로 FA 치환율이 증가 할수록 압축강도가 저하하여 FA를 40 % 치환한 경우에는 초기 1일 재령에서 1.7 MPa의 강도값을 나타냈다. 반면, 재령 28일 압축강도로서 Plain은 36.1 MPa로 나타났고, FA 치환한 경우에도 재령증가에 따라 강도 증진성이 향상되어 FA를 40 %치환의 경우에는 19.8 MPa로 Plain의 약 54.8 %의 강도 발현율을 나타내었다.

후기재령 91일에서는 Plain의 경우 44 MPa의 강도값을 나타냈으며 FA 40 %를 치환한 경우는 34.8 MPa의 강도값으로 Plain의 약 79 %의 강도 발현율을 나타내었다.

양생온도 35℃에서의 FA 치환율별 재령경과에 따른 압축강도는 Plain의 경우 초기재령 1일은 7.5 MPa의 강도값을 나타냈고, FA 치환율이 증가 할수록 역시 압축강도가 감소하였지만, 비교적 작은 값으로 FA를 40 % 치환한 경우는 5.9 MPa로 Plain과 큰 차이가 없었다. 이는 초기재령 온도가 높아 빠른 수화반응으로 포졸란 반응 또한 빠르게 진행됨에 기인된 것으로 사료된다. 재령 91일 압축강도는 Plain의 경우는 44.6 MPa로 나타났고, FA 치환율 40 %의 경우에는 38.6 MPa로 86.5 %의 강도값을 나타냈지만, FA를 30 % 정도 까지 혼입한 경우에는 혼입율이 증가 할수록 재령 7일 이후 강도 증진성이 점점 높아지게 나타났다.

전반적으로 FA의 혼입율이 증가 할수록 압축강도는 저하하였지만, 양생온도 5℃에서 Plain의 28일 압축강도가 양생온도 35℃에서의 FA 40 % 치환 콘크리트보다 낮게 나타났고, 재령 91일에서는 양생온도 35℃의 FA 40 % 치환 콘크리트가 약 139.2 % 정도 강도 발현이 더 높은 것으로 나타나, 양생온도가 FA 치환범위 상향 콘크리트의 수화반응에 미치는 영향이 매우 큰 것을 알 수 있었다.<sup>4)6)10)</sup>

### 3.2.3 수화발열현상과 압축강도

Fig. 11은 FA 치환율별 간이단열온도의 최고온도와 28

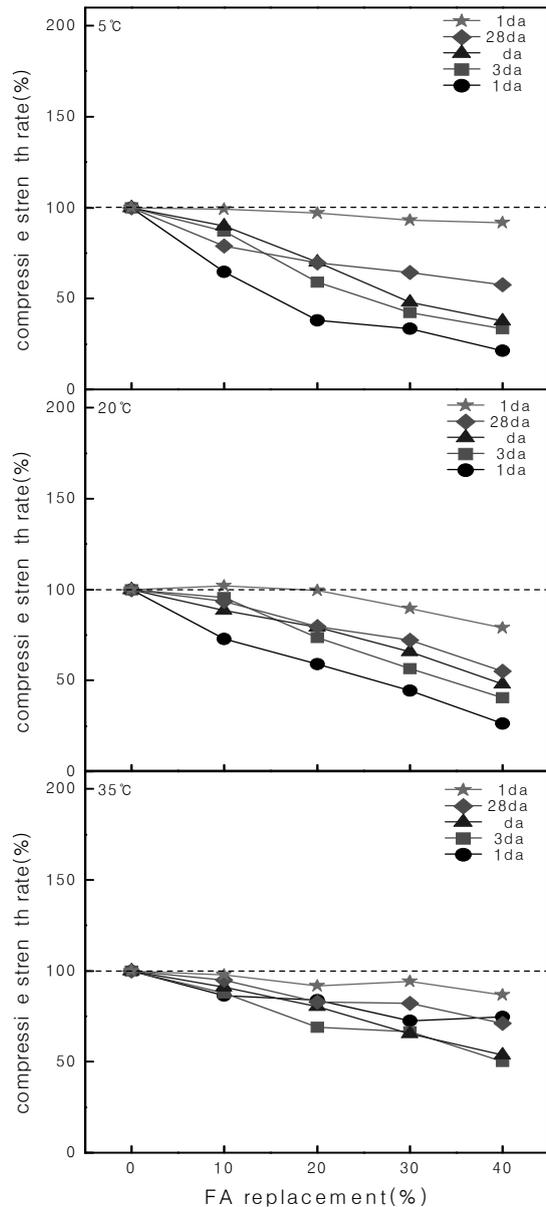


Fig. 10 Compressive strength rate with FA replacement

일 압축강도 관계를, Fig 12는 초기재령에서의 적산온도에 따른 강도증진해석을 나타낸 그래프이다.

수화발열현상과 압축강도는 FA의 치환율이 증가함에 따라 간이단열온도 최고값은 저하하고 있으며 이에 따른 28일 압축강도 역시 저하하는 것으로 나타났고, 수화발열에 의한 초기재령에서의 적산온도에 따른 강도증진은 FA의 치환율이 증가할수록 적산온도는 작아지는 것을 알 수 있어, 결국 동일 적산온도일때 치환율이 증가할수록 초기 재령의 압축강도는

낮아지는 것으로 나타나 FA의 치환율 증가에 의해 수화발열

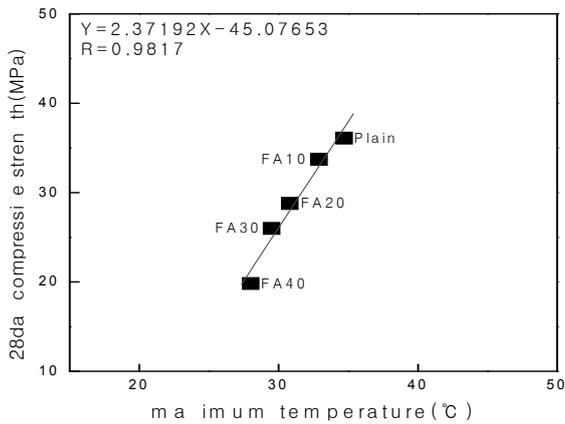


Fig. 11 Compressive strength and maximum temperature with FA replacement

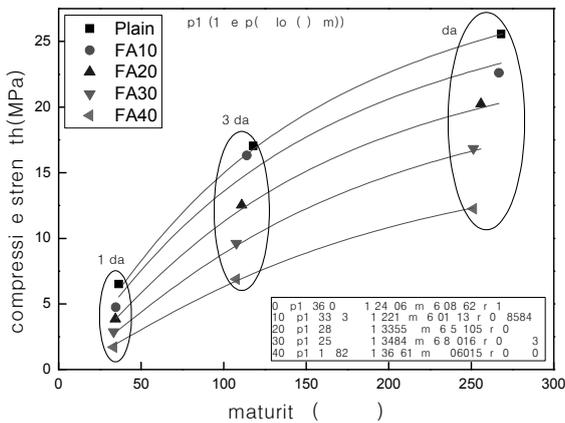


Fig. 12 Estimation of the strength development by maturity

의 저감에 대한 이점과 동시에 압축강도의 저하를 가져오게 됨을 재 확인 할 수 있었다.

### 3.2.4 촉진 중성화

Fig. 13은 FA 치환율 별 경과시간에 따른 중성화 깊이를 나타낸 것이고, Fig. 14는 경과시간 별 FA 치환율에 따른 중성화 깊이를 나타낸 그래프이다.

전반적으로 Plain은 재령이 경과함에 따라 중성화 깊이가 미소하게 커지는 반면, FA 치환율을 상향시킨 경우의 중성화 깊이는 크게 증가하는 것을 알 수 있었다.

즉, 재령 26주일 때의 Plain은 4.2 mm로 비교적 양호하게 나타났으나, FA 치환율 40 %는 25.3 mm이었는데, 이는 FA를 사용한 콘크리트의 경우 포졸란 반응에 따른 Ca(OH)<sub>2</sub>의 소비가 콘크리트 자체의 pH를 저하시키는 자기중성화 현상에 기인하여 중성화 속

도가 상대적으로 빠른 것으로 분석된다.<sup>7)12)15)</sup>

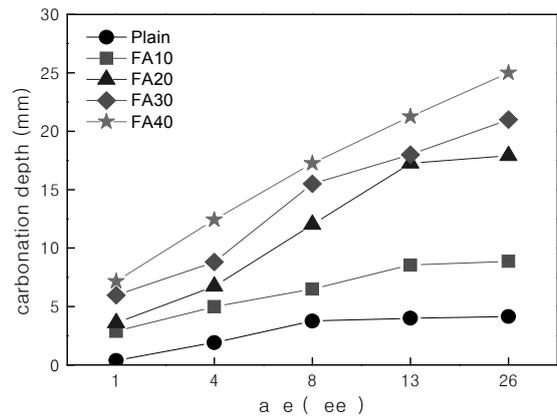


Fig. 13 Carbonation depth with elapsed time

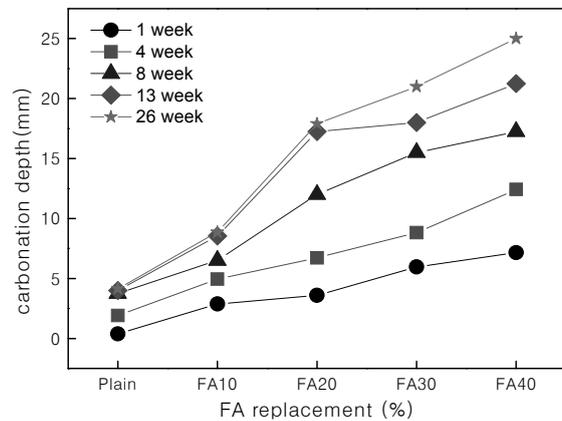


Fig. 14 Carbonation depth with FA replacement

## 4. 결론

본 연구는 FA의 치환범위 상향을 위한 기초 자료 제공으로 FA를 40 %까지 치환하여 양생온도별 콘크리트의 제반 특성을 분석하되 추후 성능 향상을 위한 기초자료로 제시하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) FA 치환율 증가에 따른 굳지 않은 특성으로 유동성 및 공기량은 일반적인 특성을 나타내었고, 응결시간은 FA 치환율이 증가 할수록 지연되었지만, 양생온도 35°C에서는 FA를 40 %까지 치환한 경우라도 표준양생온도 20°C에서의 응결시간보다 3시간이나 단축되는 것으로 나타났다.

2) 경화 콘크리트의 특성으로 간이단열온도이력은 FA

치환율이 증가함에 따라 Plain에 비해 최고온도는 8°C 정도 감소하였고, 최고온도 도달시간은 13시간 지연되는 것을 알 수 있었다.

3) 압축강도는 FA 치환율이 증가하고 양생온도가 낮을수록 감소하였지만, FA 치환 콘크리트의 경우는 그 치환율이 증가 할수록 비례적으로 강도증진성이 향상되어 온도의존성이 매우 큼을 알 수 있었다.

4) 중성화 깊이의 경우 전반적으로 Plain은 재령이 경과함에 따라 미소하게 커지는 반면, FA를 상향 치환한 경우는 큰 폭으로 커지는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과로부터 FA의 치환율 상향은 유동성 향상, 수화열 저감 및 장기강도 증진성에서는 양호하였지만 공기량 감소 현상, 낮은 양생온도에 따른 응결지연, 초기강도 저하 및 중성화 촉진 등에 따른 대책마련의 지속적인 연구 진행이 필요 한 것으로 판단되었다.

### 참고문헌

- 1) 조용주, 녹색성장 시대에서 콘크리트 기술, 콘크리트 학회지, Vol. 21, No. 5, pp.22~27, 2009. 9
- 2) 박찬규, 이회근, 이승훈, 플라이애쉬 다량 치환 콘크리트 현장 적용, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, Vol. 21, No. 1, pp.271~272, 2009. 5
- 3) 이정아, 백대현, 박중호, 한민철, 한천구, 플라이애시를 다량 사용한 모르타의 품질향상 방안, 대한건축학회 학술 발표대회 논문집, Vol. 28, No. 1, pp.435~438, 2008. 10
- 4) 이진용, 최수홍, 강석화, 이광명, 많은 양의 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 굳기전 특성 및 강도 발현, 한국콘크리트학회 학술발표 논문집, Vol. 10, No. 2, pp. 99~104, 1998. 11
- 5) 조현수, 김병진, 이진용, 이광명, High Volume 플라이애시 콘크리트의 내구성 연구, 한국콘크리트학회 학술

- 발표논문집(I), Vol. 12, No. 2, pp. 455~460, 2000. 11
- 6) 박찬규, 이승훈, 김한준, 플라이애쉬 치환율이 높은 콘크리트의 압축강도 발현 특성, 한국건축시공학회 학술 발표 논문집, Vol. 7, No. 2, pp. 67~70, 2007. 11
- 7) 김우상, 강태경, 백민수, 김성식, 정상진, 플라이애시를 다량 치환한 콘크리트의 탄산화 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), Vol. 23, No. 1, pp.207~210, 2003. 4
- 8) 오병환, 플라이애쉬 및 플라이애쉬 콘크리트의 제반특성 및 이용, 콘크리트학회지, Vol. 3, No. 3, pp. 5~22, 1991. 9
- 9) 한국산업표준, KS L 5405 플라이애쉬, 19 97
- 10) 한민철, 고온조건하에서 플라이애시를 사용한 콘크리트의 압축강도증진 해석, 한국건축시공학회 논문집 Vol. 6, No 3, pp. 99~105, 2006. 9
- 11) 椎葉大和, フライッシュを大量使用したコンクリートの諸性状, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23, No. 2, pp. 127~132, 2001. 5
- 12) 友澤史紀, フライッシュを外割混合したモルタルの中性化特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, No. 2, pp. 109~114. 1999. 5
- 13) Use of Fly Ash in Concrete(ACI Committee 226), ACI Materials Journal, Vol. 84, No. 5, pp. 381~409, 1987. 9

### 플라이 애시의 치환범위 상향에 따른 콘크리트의 기초적 특성에 관한 연구

본 연구는 플라이 애시의 치환범위 상향에 따른 콘크리트의 제반 특성을 분석하여 추후 성능 향상을 위한 기초자료로 제공하기 위해 플라이 애시의 치환범위 0-40 % 및 양생 온도 5-35°C에 따른 기초적 특성을 분석하였다. 그 결과 유동성은 FA의 증가에 따라 비례적으로 증가하였으나, 공기량은 감소하였다. 응결시간은 치환율 증가 및 저온일수록 지연되는 특성을 나타냈으며, 간이단열온도이력은 FA 치환율이 40 %까지 증가함에 따라 최고온도는 8°C정도 낮아졌고, 최고온도 도달시간은 13시간 정도 지연되는 것을 알 수 있었다. FA 치환 상향에 따른 압축강도는 양생온도가 높을수록 플레인 대비 강도증진성이 향상됨을 알 수 있었다. 중성화의 경우는 FA 치환율이 증가할수록 깊이가 점차 커지는 것을 알 수 있어 중성화 대책에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.