

# 플라이애쉬의 미연탄소 함유량에 따른 고유동콘크리트의 품질에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Quality of High Flowing Concrete according to Ignition Loss of Fly-ash

신홍철\*

강희관\*

최세진\*

김규용\*

김진만\*\*

김무한\*\*\*

Shin, Hong Chol Kang, Hee Kwan Choi, Se Jin Kim, Gyu Yong Kim, Jin Man Kim, Moo Han

### ABSTRACT

It is necessary for manufacturing the high flowing to use the fly-ash as binder of concrete. therefore, Quality of fly-ash is very important to the fluidity of high flowing concrete.

In this study, it is comparing and investigating the fluidity of high flowing concrete used some fly-ash which it's Ignition loss is 2.44, 4.90, 7.10%.

As a result of this experimental study, Ignition loss of fly-ash effects the properties of high flowing concrete, such as air content, flowability, passability etc. but even if valve of ignition loss is upper the specification, properties of high flowing concrete such as setting and hardening time, compressive strength etc.

### 1. 서론

고유동콘크리트는 제조시에 많은 단위시멘트량의 사용으로 인하여 높은 수화열이 발생하게 되므로 수화열 저감효과 및 유동성 향상의 측면에서 혼화재의 사용은 거의 필수적이다. 이와 같은 특징을 지닌 혼화재료중에서 플라이애쉬는 널리 사용되고 있는 대표적인 혼화재로서 플라이애쉬에 대한 국내의 재활용량은 총생산량의 15%로써, 일본 및 미국의 40%, 이탈리아의 60%에 비해서 낮은 재활용 실적을 보이고 있다. 특히, 미국의 경우 플라이애쉬의 재활용량을 높이기 위해 플라이애쉬의 품질을 N, F, C급으로 차등화하여, 사용하는 용도에 따라 다양하게 사용될 수 있도록 하는 등 플라이애쉬의 재활용을 위한 다각적인 노력이 행해지는 반면, 우리나라의 경우는 이에 관한 연구 및 실적이 상대적으로 미진한 실정이다.

이에 본 연구는 플라이애쉬를 미연탄소분 함유량을 기준으로 2.44, 4.90, 7.10%의 3수준으로 설정하여 고유동콘크리트의 유동특성 및 공학특성에 미치는 플라이애쉬 미연탄소 함유량의 영향을 검토함으로써 플라이애쉬의 재이용율을 높이기 위한 기초적인 자료를 제시하고자 한 것이다.

\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 대학원

\*\* 정회원, 공주대학교 건축공학과 교수·공학박사

\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수·공학박사

## 2. 실험계획 및 실험방법

### 2.1 실험계획

본 실험계획은 표 1과 같이 플라이애쉬의 종류에 따른 유동성상을 비교·평가하기 위하여 먼저 모르터의 성상에서 플라이애쉬 종류별 유동성과 간극통과성을 플로우시험 및 V로트 시험을 통하여 확인한 후 콘크리트에서 표 2와 같이 물결합재비의 수준을 0.35로 하고, 플라이애쉬를 강열감량이 2.44, 4.90, 7.10% 3종류를 각각 시멘트 중량대체율 20, 30, 40%의 3수준으로 설정하여, 아직곧지않은 콘크리트에서의 고유동특성과 경화콘크리트의 공학적 특성을 플라이애쉬 종류 및 대체율에 따라 비교·분석하고자 하였다.

### 2.2 실험방법

본 실험의 조합수준은 표 2와 같이 작성하였으며 사용된 플라이애쉬의 물리·화학적 성질은 표 3 및 그림 1에서 보는 바와같이 강열감량(미연탄소 함유량)이 7.1%로 KS규준치(6.0%)를 넘는 C를 제외하고 A, B는 규준치를 만족함을 보여주고 있다. 기타 사용재료는 표 4와 같다.

콘크리트의 비빔은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 (시멘트+세골재+플라이애쉬)→(물+고성능AE감수제)→(조골재)의 단계별로 구성재료를 분할투입하는 방법을 채택하였고, 총 비빔시간은 210~270초 정도가 소요되었다.

## 3. 실험결과 및 검토

### 3.1 플라이애쉬 종류별 모르터 성상 검토

본 실험에 앞서 콘크리트 조합에서 조골재만을 제외한 조합수준을 설정하여 모르터 실험을 행함으로써 플라이애쉬 종류별 유동성, 간극통과성능을 검토하고자 하였다.

그림 2와 3은 고성능AE감수제를 0.8% 동일하게 첨가하여 플라이애쉬 종류에 따른 모르터 플로우치와 V로트 상대유속도의 변화를 나타낸 것으로 플라이애쉬 종류에 따른 모르터 플로우치는 미연탄소 함유량이 KS기준에 만족하는 A, B는 플로우 24cm의 동일한 수준을 보이고 있는 반면, 미연탄소 함유량이 상대

표1. 실험 요인 및 수준

요인	수준	
	모르터	콘크리트
FA 종류	A, B, C	A, B, C
FA 대체율	30	20, 30, 40
W/C	0.35	0.35
단위수량	-	175
S/A	-	50
측정 항목	· V로트 · 플로우	· 공기량, 단위용적중량 · 슬럼프-플로우 · V로트, 응결시험 · 압축강도

표2. 콘크리트 조합

물결합재비	FA 종류	FA 대체율 (%)	진골재율 (%)	단위수량 (kg/m³)	절대용적 (ℓ/m³)			
					C	FA	S	G
0.35	A	20	50	175	127	46	306	306
		30			111	70	302	302
		40			95	94	298	298
	B	20			127	44	307	307
		30			111	68	303	303
		40			95	90	300	300
	C	20			127	46	306	306
		30			111	69	302	303
		40			95	92	299	299

표3. 플라이애쉬의 종류별 물리·화학적 성질

플라이애쉬 종류	분말도 (cm²/g)	강열감량 (%)	습분 (%)	주 성분 (%)				비중
				SiO₂	CaO	Al₂O₃	MgO	
A	3,228	2.44	0.19	66.1	1.20	23.3	0.76	2.13
B	3,144	4.90	0.1	57.9	-	-	-	2.21
C	2,432	7.10	0.1	59.9	-	-	-	2.18
KS 규준	2,400 이상	6.0 이하	1.0 이하	SiO₂+CaO+Al₂O₃=700이상			5.0 이하	-

표4. 기타 사용재료

시멘트	보통포틀랜드 시멘트 비중 3.15
세골재	금강산, 입경2.5mm, 조립율2.60, 비중2.54
조골재	대전산, 입경20mm, 조립율6.61, 비중2.56
혼화제	고성능AE감수제, 폴리카르본산계, 비중1.04~1.06

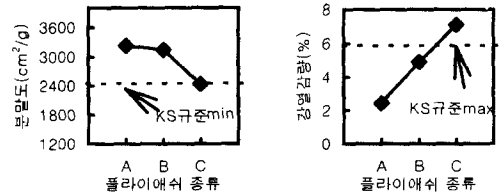


그림 1. 플라이애쉬 종류에 따른 분말도 및 강열감량의 변화

적으로 많은 C는 플로우 16cm로 열악한 성상을 보이고 있다. 또한, 최종도달속도와 V로트 상대유하속도는 미연탄소분이 적을수록 빠른 경향을 보이고 있어 미연탄소 함유량이 적은 플라이애쉬가 유동성 및 간극통과성에 유리한 것으로 나타났다.

### 3.2 콘크리트의 성상 검토

#### 3.2.1 공기량 및 단위용적중량

플라이애쉬 종류 및 대체율에 따른 공기량 및 단위용적중량의 변화를 나타낸 그림 4에서 보는 바와같이 전반적인 공기량의 수준은 1.7~4.0%로 다소 적은 수준을 보이고 있으며, 특히 플라이애쉬의 미연탄소가 연행공기를 흡착한다는 기존문헌에 제시된 것과 달리 C에서 상대적으로 많은 공기량 수준을 보이고 있다. 이는 A, B 보다 고성능AE감수제의 첨가량이 0.3% 많기 때문으로 사료된다. 또한, 단위용적중량의 변화는 공기량 차이에 의해 C에서 A, B 보다 다소 높게 나타나고 있다.

#### 3.2.2 고성능AE감수제의 첨가율 및 슬럼프-플로우

그림 5는 고성능AE감수제의 첨가율에 따른 슬럼프-플로우치의 변화를 나타낸 것으로서 고성능AE감수제를 1.1%로 동일하게 첨가시 슬럼프-플로우는 미연탄소 함유량이 다소 많은 C 경우에서 낮은 수준을 보이고 있으며 또한 0.3% 재첨가시에도 A, B의 경우보다 낮은 수준을 보이고 있다. 이는 플라이애쉬 성분중 미연탄소 함유량이 고성능AE감수제를 흡착하였기 때문으로 사료된다.

#### 3.2.3 플라이애쉬 종류 및 대체율에 따른 V로트 유하시간의 변화

플라이애쉬 종류 및 대체율에 따른 V로트 유하시간의 변화를 나타낸 그림 6에서 보는 바와 같이 전체적으로 미연탄소 함유량이 다소 많은 C 보다 A, B가 양호한 간극통과성을 보여주고 있다. 이는 C가 A, B 보다 상대적으로 유동성이 낮은 것에 기인한 것으로 사료된다.

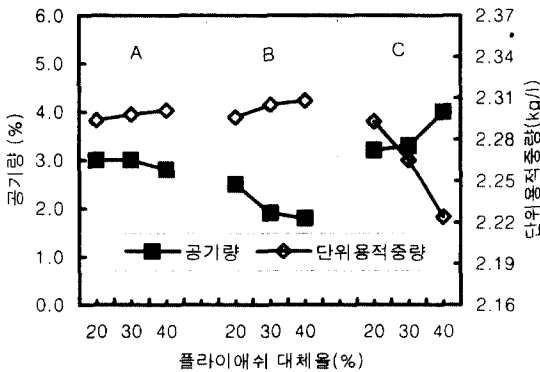


그림 4 플라이애쉬 종류 및 대체율에 공기량 및 단위용적중량의 변화

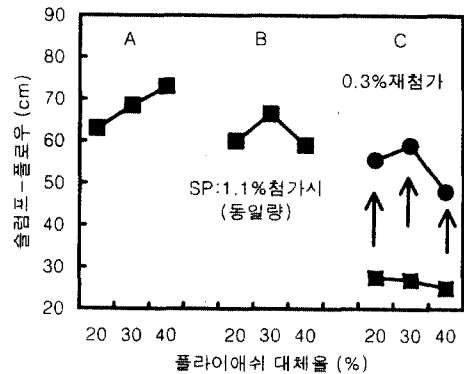


그림 5 플라이애쉬 종류 및 대체율에 따른 고성능AE감수제의 첨가율 및 슬럼프-플로우의 변화

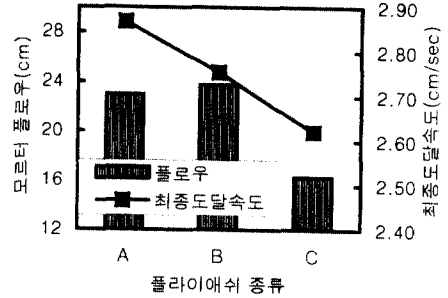


그림 2 플라이애쉬 종류에 따른 모르터 플로우 및 최종도달속도의 변화

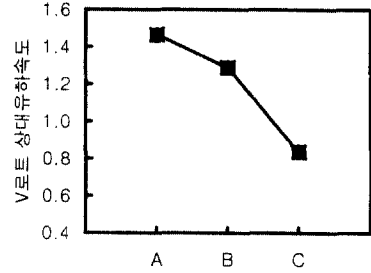


그림 3 플라이애쉬 종류에 따른 모르터 V로트 상대유하속도의 변화

### 3.2.4 플라이애쉬 종류 및 대체율에 따른 응결시간

그림 7은 플라이애쉬 종류 및 대체율에 따른 응결시간을 나타낸 것으로 초결은 8.6시간 종결은 10시간에 이루어지고 있어 JASS 5 개정안에 제시된 초결 20시간을 모든 조합에서 만족하고 있다. 또한, 플라이애쉬 종류에 따른 변화는 미연탄소 함유량이 적은 A, B, C 순으로 초결 및 종결이 되는 것을 보여주고 있다. 또한, 플라이애쉬 대체율이 증가할수록 초결 및 종결이 지연되는 것을 나타내고 있다.

### 3.2.5 각 재령별 압축강도의 발현비율의 변화 및 검토

그림 8은 플라이애쉬 종류 및 대체율에 따른 압축강도의 발현 변화를 나타낸 것으로서 전체적으로 모든 조합에서 4주 압축강도 470~590kgf/cm<sup>2</sup>의 높은 압축강도 수준을 보여주고 있다. 또한, 4주 압축강도에서 플라이애쉬 종류에 따라서는 유사한 강도수준을 나타내고 있고 플라이애쉬 대체율이 증가함에 따라 압축강도 발현수준이 낮게 나타났다.

## 4. 결론

아직군지않은 고유동콘크리트의 고유동특성 및 경화콘크리트의 공학적 특성을 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 플라이애쉬의 미연탄소 함유량에 따라 고유동콘크리트의 공기량 및 유동성, 간극통과성에 다소 영향을 주는 것으로 나타났으며, 함유량이 기준치를 다소 상회한 경우에도 고성능AE감수제의 첨가율 및 합리적인 적용을 행한다면 고유동콘크리트의 각종특성이 크게 저하하지 않을 것으로 사료된다.

2) 응결성상에서는 플라이애쉬의 미연탄소 함유량이 많을수록 플라이애쉬 대체율이 증가할수록 초결 및 종결시간이 늦은 경향을 보이고 있지만 전체적으로 JASS 5 개정안에 제시된 20시간 안에 종결이 이루어지고 있다.

3) 플라이애쉬의 미연탄소 함유량에 따른 압축강도의 차이는 뚜렷하게 보이지 않고 있어 미연탄소 함유량이 기준치를 다소 넘는 경우에서 유동특성을 고려한 조합을 개발한다면 플라이애쉬의 사용율을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

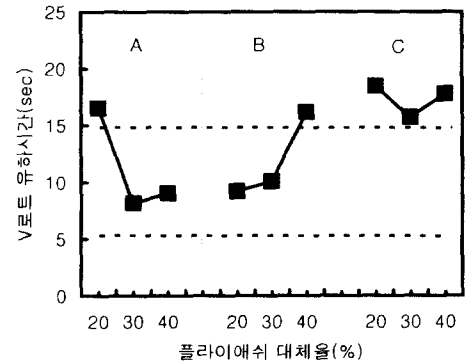


그림 6 플라이애쉬 종류 및 대체율에 따른 V로트 유하시간의 변화

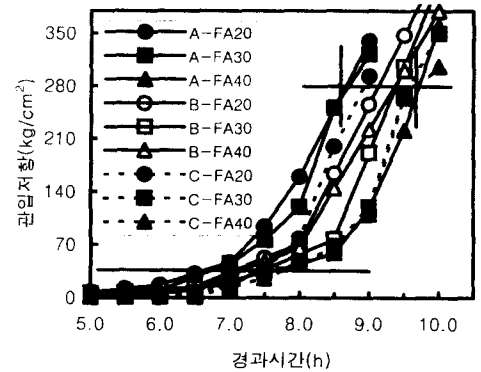


그림 7 플라이애쉬 종류 및 대체율에 따른 응결시간 변화

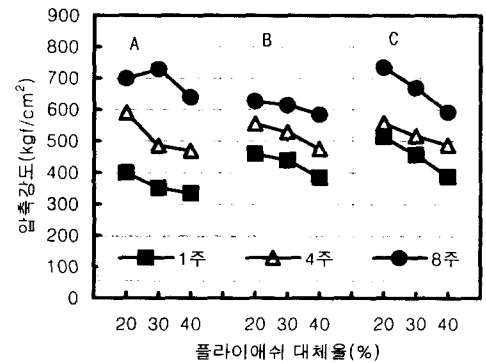


그림 8 플라이애쉬 종류 및 대체율에 따른 압축강도발현의 변화