

플라이애시의 활성지수 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation of Activity factor of Fly ash

박 상 준* 원 철** 유 재 강***
Park, Sang Joon Won, Cheol Yoo, Jae Kang

ABSTRACT

A fundamental study was executed in order to evaluate quantitatively the effect on strength characteristic of concrete or mortar by fly ash. As a result, it was confirmed that the appropriate usage of fly ash is in existence comply with mix condition and characteristic of fly ash. And, we could evaluate the activity factor of fly ash. But, there are many problem in actual application because that the object of this study is only Method(2) out of the evaluation methods of activity factor proposed by CEN. Therefore, it is necessary to keep up an additional study.

1. 서론

최근 국내의 건설환경은 자원의 고갈과 환경오염에 대한 관심이 집중되면서 산업폐기물이나 부산물을 각종 건축재료로 재활용하는 방안이 다각도로 검토되고 있다. 즉, 플라이애시는 콘크리트의 혼화재료라는 측면에서 각종 성능을 크게 개선시킬 뿐 만 아니라 산업부산물을 재활용한다는 측면에서도 매우 유용한 재료라 할 수 있다. 따라서, KS에서는 플라이애시에 대하여 각종 품질을 규정하고 있는데, 이중 활성지수는 실제 모르터나 콘크리트의 강도에 매우 커다란 영향을 미치게 됨에도 불구하고, 단지 품질관리용으로만 활용하고 있다. 즉, 현행 활성지수의 평가방법은 시멘트에 대하여 플라이애시를 일정량 치환하는 형식으로 되어 있어, 시멘트량이 감소되어 강도가 낮아지는 특성과 플라이애시를 혼합함으로써 강도가 증진되는 특성 등이 복합되어 나타나기 때문에, 실제 플라이애시 자체가 모르터나 콘크리트의 강도증진에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 없다.

이러한 이유로, 유럽표준화협회(이하 CEN이라 칭함)에서는 플라이애시를 전체 시멘트량에 대하여 치환하지 않고, 추가하는 방식으로 활성지수를 평가하는 방안(method 2)을 제안하고 있는데, 이는 기존의 평가방법에서 시멘트량이 감소하게 되는 것에 기인한 모르터의 강도 감소 특성을 배제하고, 플라이애시 자체가 모르터의 압축강도에 미치는 영향만을 정량적으로 평가하고자 한 것이다.

따라서, 본 연구에서는 플라이애시가 모르터나 콘크리트의 강도특성에 미치는 영향을 정량적으로 평가하여 배합설계단계에 활용하기 위한 기초연구로서 KS, 그리고 CEN에서 검토하고 있는 활성지수 평가방법을 복합하여 플라이애시의 활성지수 평가방안에 대하여 검토하였다.

* 정회원, (주)대우건설기술연구소 전임연구원
** 정회원, (주)대우건설기술연구소 선임연구원
*** 정회원, (주)대우건설기술연구소 연구원

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험요인 및 수준은 표 1과 같다. 먼저, 기준 모르터의 배합비는 KS L 5405(플라이애시)의 단위수량비 및 압축강도비 시험방법에 따라 정하며, 플라이애시의 혼입을 변화에 따른 모르터의 물시멘트비는 기준 모르터의 물시멘트비에서 측정된 플로우(170±10mm) 그리고, 기준 모르터의 물시멘트비에 대하여 0.1정도를 상향조정된 모르터의 플로우(230±10mm)를 만족하는 2개 수준으로 한다. 한편, 플라이애시의 혼입량은 플라이애시를 혼입하지 않은 기준 모르터와 시멘트 중량에 대하여 각각 5%, 15%, 25%를 혼입하는 총 4개 수준으로 하며, 시험은 플로우와 압축강도를 측정한다.

표 1 실험요인 및 수준

요 인		수 준	
배합사항	배합비 (C : S)	1	1 : 2.45
	W/C	2	· 기준 모르터의 플로우를 만족하는 경우 · 기준 모르터의 W/C에 0.1를 상향조정 한 W/C의 플로우를 만족하는 경우
	플라이애시 첨가율(%)	4	0, 5, 15, 25
평가항목		3	· 플로우 · 압축강도(7일, 28일) · 활성지수

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 각종 사용재료(시멘트, 플라이애시)의 물리적 성질은 표 3~4와 같다. 즉, 시멘트는 국내 H사의 1종 포틀랜드 시멘트를, 플라이애시는 비중 2.29의 보령산을 사용하며, 잔골재는 주문진산 표준사(KS L 5100)를 사용한다.

표 3 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	응결시간(h:m)		LOI (%)	안정성 (%)	압축강도(MPa)		
		초결	종결			3일	7일	28일
3.15	3,200	3:50	6:10	0.7	0.05	19.5	29.3	39.7

표 4 플라이애시의 물리·화학적 성질

비중	비표면적 (cm ² /g)	단위수량 비(%)	압축강도 비(%)	강열감량 (%)	습분 (%)	SiO ₂ (%)
2.29	3,520	100	90	2.59	0.20	53.0

2.3 시험방법

시험방법으로 먼저, 모르터의 혼합은 KS L 5109에 따라 실시하며, 플로우는 KS L 5111, 압축강도는 KS L 5105에 따라 실시한다. 한편, 플라이애시의 활성지수는 CEN Committee TC104 SC1에서 제안하고 있는 "Determination of k-values for additions(Method 2)" 를 이용하여 평가하는데, 먼저 시멘트량은 일정하게 하고, 여기에 플라이애시를 추가하는 방식으로 혼합한 후, 각각의 목표 플로우를 만족하는 적정의 W/C를 구한다. 그리고 재령 7일과 28일에서 압축강도를 평가하는데, 이때 평가된 강도는 1차 회기분석을 통하여 계수를 도출하고, 아래의 식을 이용하여 활성지수를 구한다.

$$K = \left(\frac{w \cdot b_o}{a_o - (a_f - b_j \cdot w)} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\varphi}$$

여기서, w : 플라이애시를 첨가한 모르터의 물-시멘트비

φ : fly-ash/cement

a_o, b_o, a_f, b_j : 물-시멘트비와 압축강도의 상호관계를 1차 회기분석하여 구한값($y = b_o - a_o x$, $y = b_j - a_f x$)

3. 실험결과 및 분석

3.1 유동특성

모르터의 배합 및 시험결과는 표 5와 같다. 전반적으로 플라이애시의 첨가율이 증가할수록 목표 유동성을 만족하기 위한 W/C도 함께 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 앞서서도 언급한 바와 같이 플라이애시를 사용함에 있어, 시멘트 증량에 대해 치환하지 않고, 추가하는 방식으로 혼합하였기 때문인 것으로 분석된다. 그러나, 이와는 반대로 W/B는 플라이애시 첨가율이 증가할수록 감소하는 것으로 평가되었는데, 이는 목표 유동성을 만족하기 위해 증가된 배합수와 플라이애시의 유동특성이 복합되어 나타난 결과로 분석된다.

한편, 그림 1은 플라이애시 혼입율과 목표 유동성을 만족하기 위한 배합수 증가율간에 상호관계를 나타낸 것이다. 분석결과, 기본 모르터의 목표 플로우인 170mm에서 플로우를 230mm로 증가시키는 과정에서 가장 높은 배합수 증가율을 갖는 플라이애시 혼입율이 존재한다는 것을 알 수 있었다. 즉, 본 연구범위에서 플라이애시 혼입율 5%까지는 배합수 증가율이 증가하나, 이후 15%와 25%의 경우는 플라이애시 혼입율 5%인 경우에 비해 오히려 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 플라이애시의 특성에 따라 모르터나 콘크리트의 유동성을 향상시키기 위한 배합수가 최대가 되는 FA 혼입율이 존재한다는 것을 시사하는 것이다.

본 연구범위에서는 플라이애시 혼입율이 약 11% 정도인 경우에서 배합수 증가율이 최고가 되는 것으로 분석되었으며, 이때의 모르터 플로우를 170mm에서 230mm로 증가시키기 위한 배합수의 증가율은 약 22.0% 정도인 것으로 평가되었다.

3.2 강도특성

그림 2는 플라이애시의 혼입율 변화에 따른 강도 특성을 나타낸 것이다. 즉, 기본 모르터의 목표 플로우인 170mm에서 플로우를 230mm로 증가시키는 과정에서 가장 높은 배합수 증가율을 갖는 플라이애시 혼입율이 강도 측면에서 가장 낮게 증가하는 것으로 나타났는데, 특히 7일 재령의 경우가 28일 재령에 비해 현저한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 플라이애시를 모르터나 콘크리트에 사용함에 있어 그의 사용량에 관계없이 반드시 개선된 성능을 발휘하는 것이

표 5 모르터의 배합

목표 플로우 (mm)	플라이애시 첨가율 (%)	배합사항						시험결과		
		W/C	W/B	W	C	FA	S	플로우 (mm)	압축강도 (MPa)	
									7일	28일
170±10	0	0.48	0.48	247	510	0	1250	175	24.5	36.2
		0.49	0.47	251		25.5		173	28.2	42.4
				255		76.5		175	28.4	42.0
	25	0.52	0.42	265		127.5		174	28.6	41.5
230±10	0	0.58	0.58	296	510	0	1250	232	19.1	29.4
	5	0.60	0.57	305		25.5		230	19.3	33.6
	15	0.61	0.53	310		76.5		228	20.0	32.5
	25	0.62	0.49	315		127.5		225	22.1	34.2

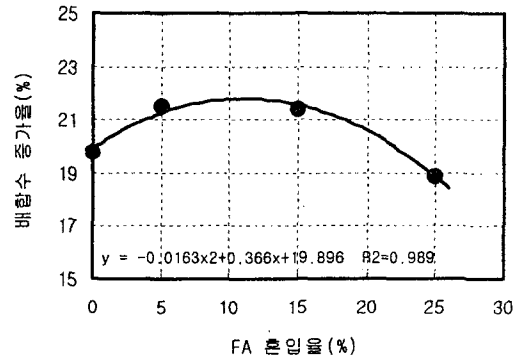


그림 1 플라이애시 혼입율과 배합수 증가율과의 상호관계

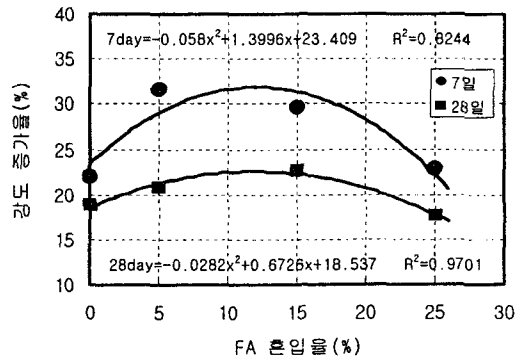


그림 2 플라이애시 혼입율과 강도 감소율과의 상호관계

아니라, 플라이애시의 종류나 콘크리트의 배합조건, 그리고 목표성능 등에 따라 적정의 사용량을 결정하는 것이 우선되어야 한다는 것을 알 수 있었다.

3.3 활성지수

그림 5는 플라이애시를 사용한 모르터의 활성지수를 구하기 위하여 플라이애시 혼입을 변화에 따른 W/C와 재령 28일의 압축강도간의 상호관계를 나타낸 것이고, 표 6은 그림 5를 바탕으로 구한 플라이애시의 활성지수 평가결과를 나타낸 것이다.

평가결과, W/C가 낮을수록, 그리고 플라이애시의 사용량이 증가할수록 활성지수도 커지는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 모르터나 콘크리트에 플라이애시를 사용함에 있어 플라이애시의 활성지수를 반영해야 하는 적정의 W/C의 범위와 플라이애시의 사용량이 존재한다는 것이다. 즉, 플라이애시의 사용량이 적고, W/C가 일정수준 이하일 경우 플라이애시를 사용함에 따른 강도증진효과 보다는 W/C가 낮아짐에 기인한 영향이 더 큰 것으로 분석되었다.

본 연구범위에서 모르터나 콘크리트의 배합설계시 활성지수를 고려해야 하는 W/C 범위와 플라이애시 사용량은 각각 0.6 이상과 15% 이상인 것으로 나타났다.

이상, 플라이애시의 혼입을 변화에 따른 굳지 않은 상태 및 활성지수를 검토한 결과, 플라이애시의 특성 및 배합조건 등에 따라 적정의 사용량이 존재함을 알 수 있었으며, 그의 사용량 변화에 따른 활성지수도 구할 수 있었다. 그러나 상기의 연구결과는 CEN에서 제안하고 있는 활성지수 평가방법중 Method(2)만을 대상으로 한 것이기 때문에 실제 활용하기에는 많은 어려움이 있다. 따라서 이를 실용화하기 위해서는 많은 추가연구가 요구된다.

4. 결론

플라이애시가 모르터나 콘크리트의 강도특성에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 목적으로 플라이애시의 활성지수 평가방안에 대하여 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 모르터의 유동성을 향상시키는데 있어 배합수 증가율이 가장 크게 되는 플라이애시 혼입율이 존재하는 것으로 나타났는데, 본 연구범위에서는 11% 정도인 것으로 나타났다.
- (2) 배합수 증가율이 가장 크게 되는 플라이애시 혼입율의 경우 압축강도가 가장 적게 증가하였다.
- (3) 플라이애시의 활성지수는 W/C가 낮을수록, 그리고 플라이애시의 사용량이 증가할수록 커지는 것으로 나타났다. 그러나 이를 실제 활용하기 위해서는 많은 추가연구가 필요하다.

참고문헌

1. J.L.J.Vissers ; 99560343-KPS/MEC 99-6597-Final version "k-Value determination for type II additions" , KEMA, the Netherlands, 2000. 1
2. European Committee for Standardization : CEN TC 104 SC1, 1998. 2

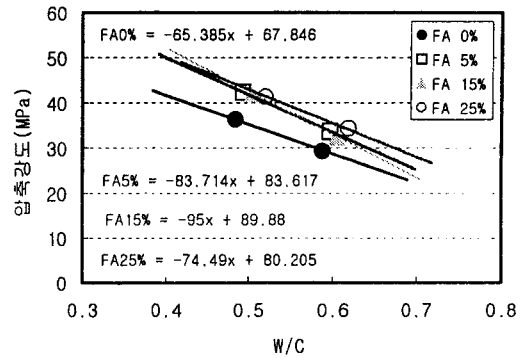


그림 5 플라이애시의 혼입율 변화에 따른 활성지수 평가결과

표 6 플라이애시의 활성지수 평가결과(28일 재령)

FA 혼입율(%) \ W/C	0.60	0.65	0.70
5	-	-	-
15	0.8132	0.4674	0.1954
25	0.8531	0.7145	0.6018