

플라이애시의 활성도지수 평가에 관한 기초적 연구

Fundamental Study on Evaluation method of Activity Factor of Fly Ash

박 상 준*

Park, Sang-Joon

Abstract

In the evaluation method of KS on the activity factor of fly ash, same amount of cement should be replaced with fly ash. Therefore, contradictory effects on concrete strength exist, i.e. strength decrease due to low content of cement and strength increase of strength due to filling-pore-function of fly ash. European Committee for Standardization (CEN) specifies the method 1 to 4, adding fly ash without reducing the content of cement, for the evaluation method on activity factor of fly ash. This study investigates the applicability of the method 2 of CEN to mix design of concrete. The followings are derived :

There is a key ratio of fly ash mixing which enhances the incremental ratio of mixing water to improve fluidity of mortar. The incremental ratio of mixing water is maximized about 11% ratio of fly ash mixing. Compressive strength most slightly increases at that ratio of fly ash mixing. Activity factor of fly ash increases as water-cement ratio becomes low and contents of fly ash becomes high. Moreover, quality of fly ash and condition of mix design affect the applicable amount of fly ash and available range of water-cement ratio. However, this method has some problems for practical purpose because activity factors of fly ash for some cases are over 1.0. Further research should be conducted to develop more useful method of evaluating activity factor of fly ash.

키워드 : 플라이애시, 활성도지수, 배합수 증가율, 압축강도 감소율

Keywords : Fly ash, Activity factor, Incremental ratio of mixing water, Reduction ratio of compressive strength

1. 서 론

최근 국내의 건설환경은 자원의 고갈과 환경오염에 대한 관심이 집중되면서 산업폐기물이나 부산물을 각종 건설재료로 재활용하는 방안이 다각도로 검토되고 있다. 즉, 플라이애시나 고로슬래그 미분말, 그리고 석회석 미분말 등의 각종 콘크리트용 혼화재료는 콘크리트의 각종 성능을 크게 개선시킬 뿐만 아니라 산업부산물을 재활용한다는 측면에서도 매우 유용한 재료²⁾라 할 수 있다.

이러한 이유로, KS에서는 콘크리트용 각종 혼화재료의 품질이 일정수준 이상이 되도록 규정하고 있는데, 이중 플라이애시의 활성도지수는 실제 모르타르나 콘크리트의 강도에 매우 커다란 영향을 미치게 됨에도 불구하고, 단지 플라이애시 자체의 품질관리용으로만 활용되고 있다.

즉, 현행 플라이애시의 활성도지수 평가방법은 시멘트에 대하여 플라이애시를 일정량 차환한 시험 모르타르와 플라이애시를 차환하지 않은 기준 모르타르의 압축강도비 만으로 평가하도록 규정¹⁵⁾되어 있는데, 이는 시멘트량이 감소되어 강도가

낮아지는 효과와 플라이애시를 혼합함으로서 공극충전효과나 포출란 반응에 기인하여 오히려 강도가 증진되는 특성 등이 상호 복합되어 평가되기 때문에, 실제 플라이애시 자체가 모르타르나 콘크리트의 강도증진에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는데 많은 어려움이 있다.

이러한 이유로, 유럽표준화협회 (이하 CEN이라 칭함)에서는 플라이애시를 전체 시멘트량에 대하여 치환하지 않고, 추가하는 방식으로 활성도지수를 평가하는 방안 (method 1~4)^{9),10)}을 제안하고 있는데, 이는 국내의 평가방법에 비해 시멘트량이 감소하게 되는 것에 기인한 모르타르나 콘크리트의 강도 감소 특성을 배제하고, 플라이애시 자체가 모르타르나 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 보다 정량적으로 평가할 수 있는 방안이라고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 플라이애시가 모르타르나 콘크리트의 강도특성에 미치는 영향을 정량적으로 평가하여 콘크리트의 배합설계 단계에 활용하기 위한 기초단계 연구로서 KS, 그리고 BC EN 206-1(2000)에서 제시하고 있는 활성도지수 평가방법 (method 2)을 복합하여 플라이애시의 활성도지수를 평가할 수 있는 방안에 대하여 검토하였다.

* 정희원, (주)대우건설 기술연구원 건축연구팀, 선임연구원

2. 이론적 고찰

KS L 5405 (2004)¹⁵⁾에서 제시하고 있는 플라이애시의 활성도지수 평가는 앞에서도 언급한 바와 같이, 기준 모르타르의 압축강도에 대한 시험 모르타르의 압축강도 비를 백분율로 나타낸 것으로서, 단지 모르타르나 콘크리트용 혼화재료로 사용하기 위한 플라이애시 자체의 품질특성만을 고려하고 있다. 즉, 플라이애시의 활성도지수 관련 국내 품질규준을 보면 플라이애시 1종의 경우는 재령 28일에 90% 이상, 재령 91일에는 100% 이상을 요구하고 있고, 플라이애시 2종의 경우는 각각 80%와 90% 이상의 강도 비를 요구하고 있다. KS L 5405의 부속서 1 (플라이애시의 모르타르에 의한 흐로값 비 및 활성도지수의 시험방법)에서 제안하고 있는 표준적인 모르타르의 배합조건 (주문진 표준사의 경우)과 산출방법을 각각 정리하면 아래 표 1 및 식 (1)과 같다.

표 1. KS L 5405의 부속서1 (모르타르의 배합)

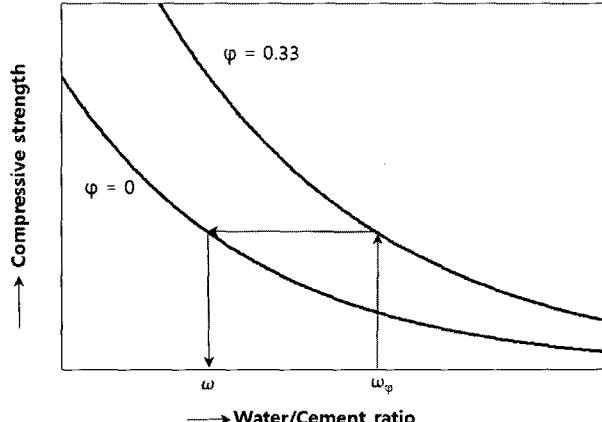
모르타르의 종류	시멘트 (g)	시료 (g)	표준모래 (g)	물 (g)
기준 모르타르	510±2	0	1,250±5	247±1
시험 모르타르	382.5±1.5	127.5±0.5		

$$A = \frac{c_2}{c_1} \times 100 \quad \text{식(1)}$$

여기서, A : 활성도지수 (%)

c_1 : 각 재령에서의 기준 모르타르 시험체 6개의 압축강도의 평균 값 (MPa)

c_2 : 각 재령에서의 시험 모르타르 시험체 6개의 압축강도의 평균 값 (MPa)

그림 1. 활성도지수 (k) 결정을 위한 기본 개념도¹⁰⁾

한편, CEN에서는 그림 1과 식 (2)에서와 같이 각종 혼화재료의 활성도지수를 고려하여 적정의 강도수준을 만족하는 물-시멘트비를 도출하도록 하는 기본 개념을 바탕으로, 총 4종류의 활성도지수 산출 방법을 제안하고 있는데, 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

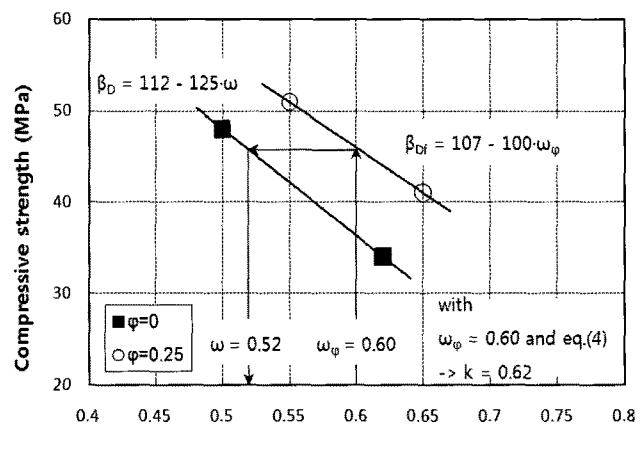
$$\omega = \frac{\omega_\varphi}{(1 + k \cdot \varphi)} \quad \text{식(2)}$$

여기서, ω : 혼화재료를 혼합하지 않은 상태에서, ω_φ 와 동일한 강도를 발휘하는 물-시멘트비

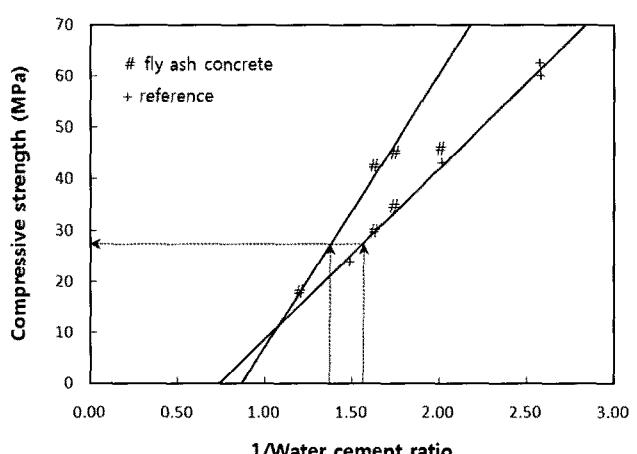
ω_φ : 혼화재료를 혼합했을 때의 물-시멘트비

k : 활성도지수

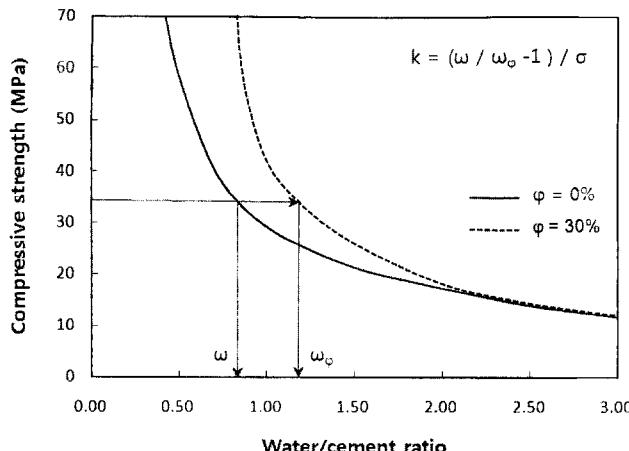
φ : 시멘트에 대한 혼화재료의 비율



(a) 직선회귀법 (linear relationship)



(b) 상호관계법 (reciprocal relationship)



(c) 동일 유동성 기준법 (equal workability)

그림 2. CEN에서 제안하는 혼화재료의 활성도지수 결정방법^{9),10)}

(1) 모르타르법 (method 1, mortar)

모르타르의 압축강도와 물-시멘트비와의 상호관계를 이용하여 혼화재료의 적정 첨가량 및 활성도지수를 구하는 것으로서, 굵은 골재의 영향을 고려하지 않고, 단지 두 지점간의 회귀분석을 통하여 구하는 방법이다. 즉, 평가방법은 간편하나, 신뢰할 수 있는 강도의 범위가 두 지점 내에서만 유효하게 된다는 점, 그리고 콘크리트 단계에서 중요한 영향요인인 굵은 골재의 영향을 고려하지 않는다는 등의 특징이 있다.

(2) 직선회귀법 (method 2, linear relationship)

직선회귀법은 본 연구에서 검토한 활성도지수 평가 방법으로서 먼저, 시멘트량을 일정하게 하고, 여기에 각종 혼화재료를 추가하는 방식으로 혼합한 후, 각각의 목표 플로를 만족하는 적정의 물-시멘트비와 이때의 압축강도를 1차 회기분석하여 계수 값과 활성지수를 구하는 방법이다.

즉, 직선회귀법은 모르타르법과는 달리 시멘트나 혼화재료, 그리고 잔골재의 종류 및 사용량 등 다양한 변수를 대상으로 활성지수를 구할 수 있다는 점에서 모르타르법에 비해 다소 유리하나, 이 또한 모르타르법과 마찬가지로 배합조건에서 혼화재료의 사용량이나 물-시멘트비가 일정범위 이상 또는 이 하의 범위에서만 신뢰성 측면에서 유효하게 되는 특징이 있다. (그림 2(a) 참조)

(3) 상호관계법 (method 3, reciprocal relationship)

상호관계법은 앞에서 언급한 모르타르법이나 직선회귀법과 같이 두 지점간을 1차 회귀분석하여 평가한다는 측면에서는 유사한 개념이나, 모르타르가 아닌 콘크리트를 대상으로 한다는 측면에서 유효하다. 즉, 굵은 골재의 특성이 반영된다는 점과 결합재 형태의 혼화재료를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 물-결합재비가 동일하게 되는 조건에서만 평가하는

것이 특징이라 할 수 있다. 일반적으로 그림 2(b)에서와 같이 물-결합재비의 역수[1/(W/B)]와 압축강도간의 상호관계를 분석하는 것으로 제안하고 있다.

(4) 동일 유동성 기준법 (method 4, equal workability)

이는 화학혼화제인 감수제를 이용하여 동일 유동성을 갖는 콘크리트의 압축강도와 물-시멘트비와의 상호관계를 분석하고, 이를 바탕으로 활성도지수를 도출하는 방법이다.

즉, 기준콘크리트에서 시멘트량은 각각 200kg/m³, 300kg/m³, 400kg/m³을 대상으로 하고, 여기에 물-결합재비와 혼화재료의 종류 및 혼입량을 변화시켜 쌍곡선 (hyperbolic)이나 직선회귀 (linear) 중 1가지 방법을 선택하여 분석하도록 제안하고 있다. 일반적으로 유동성이 높은 콘크리트일수록 활성도지수가 낮게 되는 경향을 나타낸다. (그림 2(c) 참조)

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구의 실험요인 및 수준은 표 2와 같다. 먼저, 기준 모르타르의 배합비는 KS L 5405 (플라이애시)의 단위수량비 및 압축강도비 시험방법에 따라 정하였으며, 플라이애시의 혼입율 변화에 따른 모르타르의 물-시멘트비는 기준 모르타르의 물-시멘트비에서 측정된 플로 ($170 \pm 10 \text{ mm}$)값 그리고, 기준 모르타르의 물-시멘트비에 대하여 0.1정도를 상향조정한 모르타르의 플로 ($230 \pm 10 \text{ mm}$)값을 만족하는 2개 수준으로 하였다.

표 2. 실험요인 및 수준

요 인	수 준	
배합비 (C : S)	1	1 : 2.45
물-시멘트비	2	<ul style="list-style-type: none"> 기준 모르타르의 플로를 만족하는 경우 기준 모르타르의 물-시멘트비에 0.1씩을 상향조정 한 물-시멘트비의 플로를 만족 하는 경우
플라이애시 첨가율(%)	4	0, 5, 15, 25
평가항목	3	<ul style="list-style-type: none"> 플로 압축강도(7일, 28일) 활성도지수

한편, 플라이애시의 혼입율은 플라이애시를 혼입하지 않은 기준 모르타르와 시멘트 중량에 대하여 각각 5%, 15%, 25%를 혼입하는 총 4개 수준으로 하는 등 총 8배치에 대하여 검토하는 것으로 계획하였다. 평가항목으로는 모르타르의 플로와 재령 7일, 28일의 압축강도를 측정하는 것으로 하였으며,

그 결과를 바탕으로 활성도지수를 구하는 것으로 계획하였다.

3.2 사용재료

본 실험에 사용한 각종 사용재료(시멘트, 플라이애시)의 물리적 성질은 표 3~4와 같다. 즉, 시멘트는 국내 H사의 1종 포틀랜트 시멘트를, 플라이애시는 밀도 2.29의 보령산을 사용하였으며, 잔골재는 주문진산 표준사(KS L 5100)¹¹⁾를 사용하였다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm³/g)	응결시간(h:m)		강열감 량(%)	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

밀도 (g/cm³)	비표면적 (cm²/g)	단위수량비 (%)	강열감량 (%)	습분 (%)	SiO₂ (%)
2.29	3,520	100	2.59	0.20	53.0

3.3 시험방법

시험방법으로 먼저, 모르타르의 혼합은 KS L 5109¹³⁾에 따라 실시하였으며, 플로는 KS L 5111¹⁴⁾, 압축강도는 KS L 5105¹²⁾에 의거 표준적인 방법으로 실시하였다. 한편, 플라이애시의 활성도지수는 CEN Committee TC104 SC1에서 제안하고 있는 “Determination of k-values for additions (Method 2)”¹⁰⁾를 이용하여 평가하였는데, 즉 시멘트량은 일정하게 하고, 여기에 플라이애시를 추가하는 방식으로 혼입한 후, 각각의 목표 플로를 만족하는 적정의 물-시멘트비를 구하였다. 그리고 재령 7일과 28일에서 압축강도를 평가하였는데, 이때 평가된 강도는 1차 회기분석을 통하여 계수를 도출하고, 아래의 식(3)을 이용하여 활성도지수를 구하였다.

$$K = \left(\frac{\omega \cdot b_o}{a_o - (a_f - b_f \cdot \omega)} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\varphi} \quad \text{식(3)}$$

여기서, ω : 플라이애시를 첨가한 모르타르의 물-시멘트비

φ : fly-ash/cement

a_o, b_o, a_f, b_f : 물-시멘트비와 압축강도의 상호관계를 1차

회기분석하여 구한 값($y = b_o - a_o x$,

$y = b_f - a_f x$)

표 5. 모르타르의 배합

목표 플로(mm)	플라이애시 첨가율 (%)	W/C	W/B	단위용적질량 (kg/m³)			
				W	C	FA	S
170±10	0	0.48	0.48	247	510	0	1250
	5	0.49	0.47	251		25.5	
	15	0.50	0.43	255		76.5	
	25	0.52	0.42	265		127.5	
230±10	0	0.58	0.58	296	510	0	1250
	5	0.60	0.57	305		25.5	
	15	0.61	0.53	310		76.5	
	25	0.62	0.49	315		127.5	

표 6. 모르타르의 시험결과

목표 플로 (mm)	플라이애시 첨가율 (%)	시험결과		
		플로 (mm)	압축강도 (MPa)	
			7일	28일
170±10	0	175	24.5	36.2
	5	173	28.2	42.4
	15	175	28.4	42.0
	25	174	28.6	41.5
230±10	0	232	19.1	29.4
	5	230	19.3	33.6
	15	228	20.0	32.5
	25	225	22.1	34.2

4. 실험결과 및 분석

4.1 유동특성

모르타르의 배합 및 시험결과는 표 5, 6 및 그림 3과 같다. 전반적으로 플라이애시의 첨가율이 증가할수록 목표 유동성을 만족하기 위한 물-시멘트비도 함께 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 앞에서도 언급한 바와 같이 플라이애시를 사용함에 있어, 시멘트 중량에 대해 치환하지 않고, 추가하는 방식으로 혼입하였기 때문인 것으로 분석된다. 그러나 이와는 반대로 물-결합재비는 플라이애시 첨가율이 증가할수록 감소하는 것으로 평가되었는데, 이는 목표 유동성을 만족하기 위해 증가된 배합수와 함께 혼입된 플라이애시가 모르타르의 유동성 향상에 일정부분 기여하게 되는 특성이 복합되어 나타난 결과로 분석된다^{4), 7)}. 한편, 플라이애시의 혼입율이 증가할수록 물-시멘트비와 물-결합재비간의 차이가 크게 되는 반면 플라이애시의 혼입율이 감소할수록 그 차이가 점차로 적게 되

는 것을 알 수 있는데, 이는 앞에서 언급한 바와 같이 본 평가 방법 (method 2)의 경우 신뢰성 있는 활성도지수를 구하기 위한 최소의 혼화재료 사용량이 존재한다는 것을 의미하는 것이다. 즉, 본 연구범위에서 최소 플라이애시 혼입율은 약 10% 이상인 것으로 평가되었다.

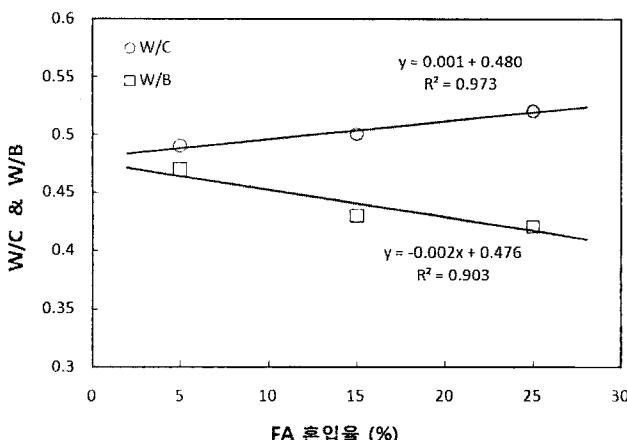


그림 3. 플라이애시 혼입율 변화에 따른 W/C와 W/B의 특성

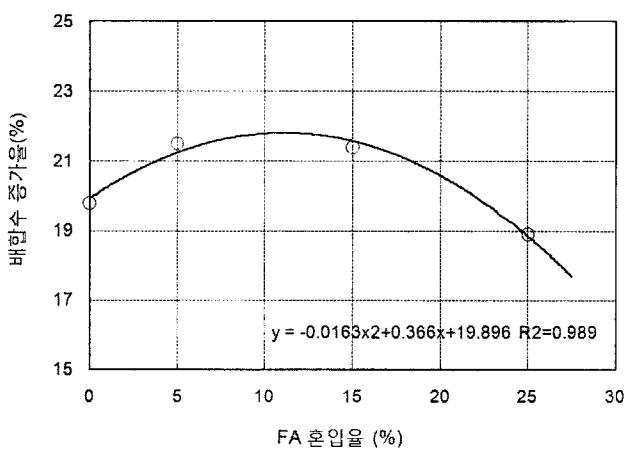


그림 4. 플라이애시 혼입율과 배합수 증가율과의 상호관계

그림 4는 플라이애시 혼입율과 목표 유동성을 만족하기 위한 배합수 증가율간에 상호관계를 나타낸 것이다. 즉, 분석결과, 기본 모르타르의 목표 플로인 170mm에서 플로를 230mm로 증가시키는 과정에서 가장 높은 배합수 증가율을 갖는 플라이애시 혼입율이 존재한다는 것을 알 수 있었다.

즉, 본 연구범위에서는 플라이애시 혼입율 11%까지는 플라이애시 혼입율이 증가할수록 배합수 증가율도 비례하여 증가하는 것으로 나타났으나, 플라이애시 혼입율이 11% 이상인 15%와 25%의 경우는 플라이애시 혼입율이 5%인 경우에 비해 오히려 배합수 증가율이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 단지 배합수만으로 플라이애시를 혼입한 모르타르나 콘크리트의 유동성을 향상시킴에 있어 플라이애시의 품질특성에 따라 배합수가 최대가 되는 플라이애시 혼입율이 존

재^{6),7)}한다는 것을 시사하는 것이다. 즉, 플라이애시의 경우 미세입자이고, 구상의 입자형상을 갖기 때문에 공극충전 및 볼베이링 효과에 기인하여 모르타르나 콘크리트의 유동성 향상에 유리하다는 기존연구결과^{2),3)}와 다소 상이한 결과인 것이다.

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

4.2 강도특성

그림 5는 그림 4와 동일한 요령으로 플라이애시의 혼입율 변화에 따른 강도감소율을 나타낸 것이다. 즉, 굳지않은 상태에서 기본 모르타르의 목표 플로인 170mm를 230mm로 증가시키는 과정에서 가장 높은 배합수 증가율을 갖는 플라이애시 혼입율이 압축강도 측면에서는 가장 적게 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 배합수가 가장 많이 증가한 모르타르의 경우가 강도감소율도 가장 큰 것으로 나타났는데, 특히 7일 재령의 경우가 28일 재령에 비해 더욱 현저한 것으로 나타났다. 이러한 결과를 감안하여 볼 때, 플라이애시를 모르타르나 콘크리트에 사용함에 있어 그의 사용량에 관계없이 반드시 향상된 품질성능을 발휘하는 것이 아니라, 플라이애시의 종류나 모르타르 또는 콘크리트의 배합조건, 그리고 목표성능 등에 따라 적정의 사용량을 결정하는 것이 우선되어져야 한다는 점, 그리고 굳지않은 상태에서 동일 유동성을 만족하기 위한 단위수량의 변화특성과 압축강도 사이에 밀접한 관계⁵⁾가 있다는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구범위에서는 재령에 따른 구분 없이, 플라이애시 혼입율이 약 12%정도인 경우의 강도감소율이 가장 큰 것으로 분석되었는데, 이때의 강도감소율은 재령 7일에 31.9%, 그리고 재령 28일에는 약 22.5%인 것으로 평가되었다.

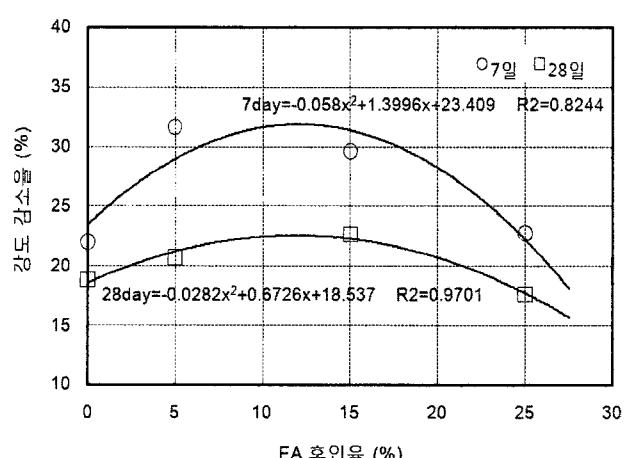


그림 5. 플라이애시 혼입율과 강도 감소율과의 상호관계

4.3 활성도지수

그림 6은 플라이애시를 사용한 모르타르의 활성도지수를 구하기 위하여 플라이애시 혼입율 변화에 따른 물-시멘트비와 재령 28일의 압축강도간의 상호관계를 나타낸 것이고, 표 7은 플라이애시의 활성도지수 평가결과를 정리한 것이다.

평가결과, 물-시멘트비가 낮을수록, 그리고 플라이애시의 사용량이 증가할수록 활성도지수도 커지는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 모르타르나 콘크리트에 플라이애시를 사용함에 있어 플라이애시의 활성도지수를 평가하는 방법뿐만 아니라 활성도지수를 고려할 수 있는 적정의 물-시멘트비 범위와 플라이애시 사용량이 존재⁸⁾한다는 것을 의미하는 것이다. 즉, 평가과정에서 나타난 결과로, 플라이애시 혼입율이 5%이고, 물-시멘트비가 0.6~0.7 범위인 경우, 그리고 플라이애시 혼입율이 각각 15%와 25%이면서, 물-시멘트비가 0.6 이하인 경우의 활성도지수는 1.0 이상을 상회하는 것으로 평가된다는 것이다.

따라서 플라이애시의 사용량이 적고, 물-시멘트비가 일정 수준 이하일 경우에는 플라이애시를 사용함에 따른 강도증진효과 보다는 모르타르의 배합조건에서 물-시멘트비가 낮아짐에 기인한 강도증진 효과가 더욱 크다는 것을 알 수 있었다.

본 연구범위에서 모르타르나 콘크리트의 배합설계 시 활성도지수를 고려할 수 있는 물-시멘트비 범위와 플라이애시 사용량은 각각 0.6 이하와 15% 이상인 것으로 평가되었다.

이상, 콘크리트의 배합설계에 활용할 목적으로 플라이애시를 혼입한 모르타르의 굳지 않은 상태 특성 및 활성도지수를 검토한 결과, 플라이애시의 특성 및 배합조건 등에 따라 적용 가능한 플라이애시의 사용량이나 물-시멘트 범위 등이 존재함을 알 수 있었으며, 그의 사용량 변화에 따른 활성도지수도 구할 수 있었다.

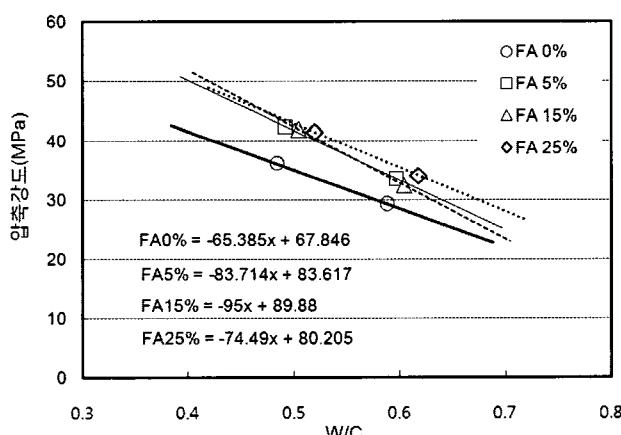


그림 6. 플라이애시의 혼입율 변화에 따른 활성도지수 평가결과

표 7. 플라이애시의 활성도지수 평가결과 (28일 재령)

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

그러나 상기의 연구결과는 CEN에서 제안하고 있는 여러 가지의 활성도지수 평가방법 중 직선회귀법 (method 2)만을 대상으로 한 것으로서, 콘크리트단계에 활용하기에는 많은 어려움이 있다. 따라서 이를 실용화하기 위해서는 앞에서 언급한 다양한 평가방법에 대한 심도 있는 추가연구가 필요할 뿐만 아니라 기존 국내의 평가방법을 활용할 수 있는 방안에 대한 추가연구도 따라야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

플라이애시가 모르타르나 콘크리트의 강도특성에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고, 이를 콘크리트 배합설계에 활용할 목적으로 플라이애시의 활성지수 평가방안에 대하여 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 모르타르의 유동성을 향상시키는데 있어 배합수 증가율이 가장 크게 되는 플라이애시 혼입율이 존재한다는 것을 알 수 있었다. 즉, 본 연구범위에서는 플라이애시 혼입율이 약 11%정도인 경우에서 배합수 증가율이 최고가 되는 것으로 분석되었으며, 이때의 모르타르 플로를 170mm에서 230mm로 증가시키기 위한 배합수의 증가율은 약 22.0% 정도인 것으로 평가되었다.
- (2) 배합수 증가율이 가장 크게 되는 플라이애시 혼입율의 경우 압축강도가 가장 적게 증가하였다. 즉, 본 연구범위에서는 재령에 따른 구분 없이, 플라이애시 혼입율 약 12% 정도에서 강도감소율이 가장 큰 것으로 분석되었는데, 이때의 강도감소율은 재령 7일에 31.9%, 그리고 재령 28일에는 약 22.5%인 것으로 평가되었다.
- (3) 플라이애시의 활성도지수는 물-시멘트비가 낮을수록, 그리고 플라이애시의 사용량이 증가할수록 커지는 것으로 나타났다. 그러나 플라이애시의 품질특성 및 배합조건 등에 따라 적용 가능한 플라이애시의 사용량이나 물-시멘트 범위 등이 존재한다는 것을 알 수 있었다.
- (4) 실험과정에 나타난 일부의 결과에서 플라이애시의 활

성도지수가 1.0 이상을 상회하는 것으로 평가됨으로서, 현 수준의 실용화에는 많은 어려움 있는 것으로 평가되었다. 따라서 이를 극복하기 위한 다양한 평가 방법에 대한 심도 있는 추가연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 김무한, 최세진, 플라이애시를 잔골재 대체재로 사용한 모르타르의 유동성 및 압축강도특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), Vol.18, No.12, 2002.
2. 윤재환 편저, 포틀랜드시멘트 및 콘크리트, 세진사, 2000.
3. 이승현외, 플라이애시 혼합 시멘트 페이스트의 유동성 평가, 한국콘크리트학회 2000년 가을 학술발표회 논문집(Ⅱ), Vol.12, No.2,
4. 한국산업규격 KS L 5100-'06 : 시멘트 강도시험용 표준사
5. 한국산업규격 KS L 5105-'07 : 수경성 시멘트 모르타르의 압축강도시험방법
6. 한국산업규격 KS L 5109-'01 : 수경성 시멘트 페이스트 및 모르타르의 기계적 혼합방법
7. 한국산업규격 KS L 5111-'07 : 시멘트 시험용 플로 테이블
8. 한국산업규격 KS L 5405-'04 : 플라이애시
9. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 2005.
10. 한국콘크리트학회, 콘크리트표준시방서 해설, 2003
11. 한상훈외, 새로운 걸보기 활성에너지 함수에 의한 플라이애시 콘크리트의 압축강도 예측, pp.237~243, 한국콘크리트학회 논문집, Vol.13, No.3, 2001.
12. 한천구, 콘크리트의 특성과 배합설계, 기문당, 1998.
13. 한천구외, 분리저감형 유동화제를 이용하는 고유동 콘크리트의 특성에 미치는 플라이애시의 영향, 대한건축학회 논문집(구조계), Vol.18, No.3, 2002.
14. European Committee for Standardization : CEN TC 104 SC1, 1998.
15. J.L.J.Vissers, 99560343-KPS/MEC 99-6597-Final version, k- Value determination for type Ⅱ additions, KEMA, the Netherlands, 2000.

(접수 2008. 7. 15, 심사 2008. 7. 31, 개재확정 2008. 8. 7)