

초기강도 향상 혼화재를 사용한 플라이애시 다량치환 콘크리트의 건조수축 해석

Estimation of Drying Shrinkage of High Volume Fly-Ash Concrete Using Early Strength Improvement Admixture

박 천 진* **손 호 정**** **백 대 현**** **한 민 철***** **한 천 구******
 Park, Chun-Jin Son, Ho-Jeong Back, Dae-Hyun Han, Min-Cheol Han, Cheon-Goo

Abstract

The purpose of the study was to analyze dry shrinkage of HVFAC (high volume fly ash concrete) with admixture to improve early strength. The results were as follows. In dry shrinkage of HVFAC with admixture to improve early strength, F3 had the lowest amount of dry shrinkage. The next is in order of Plain, F3-f15 and F3-f15r5. The study used index function model for analysis on dry shrinkage. Coefficient of determination was more than 0.97 in all mix, which made it possible to have a good estimation.

키 워 드 : 건조수축, 플라이애시, 초기강도
Keywords : Drying Shrinkage, Fly-Ash, High Early Strength

1. 서 론

최근 국내외적으로 자원재활용, 원가절감 등의 이유로 플라이애시(이하 FA)를 활용이 점차 증가되고 있는 추세에 있다. 그런데, 이러한 FA는 수화열 저감 등의 장점을 가지고 있는 반면, 초기강도 저하 등의 문제점이 있어 다량사용이 어려운 실정으로 본 연구팀에서는 FA 다량 치환 콘크리트의 초기강도 향상을 위한 일련의 연구를 진행한바 있다.

이에 본 연구에서는 FA를 다량 사용한 콘크리트의 적극적 활용을 위한 일련의 실험중 내구성 검증 차원에서 건조수축 거동을 정량적으로 평가하고 이를 해석하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 사용재료로서 시멘트, 골재 및 혼화재는 국내에서 일반적으로 유통되는 것을 사용하였고, 실험사항으로 경화콘크리트에서 건조수축 길이변화율을 측정하였는데, 실험방법은 KS 규준에 의거하여 실시하였다.

* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 정회원
 ** 청주대학교 건축공학과 박사과정, 정회원
 *** 청주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사, 정회원
 **** 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

표 1. 실험계획

실험요인	실험수준	
배합사항	W/B(%)	1 50
	목표 슬럼프 플로우 (mm)	1 180±25
	목표 공기량(%)	1 4.5±1.5
	혼화재료 치환율(%)*	4 • OPC100(Plain) • OPC70+F30 • OPC55+F30+f15 • OPC50+F30+f15+r5
실험사항	경화 콘크리트	1 • 건조수축 길이변화율 (180일간)

* F: 플라이애시, f: 미분시멘트, r: 순환골재미분말

표 2. 배합사항

구분	W/B (%)	W (kg/m³)	S/a (%)	AE (%)	SP (%)	절대용적배합(l / m³)				
						W	C	FA	f	r
Plain	50	182	45	0.006	0.69	182	115.5	-	-	-
F3		182	45	0.05	0.55	182	80.8	49.6	-	-
F3-f15		182	45	0.05	0.70	182	63.5	49.6	17.3	-
F3-f15r5		182	45	0.05	0.70	182	57.7	49.6	17.3	7.7

3. 실험결과 및 분석

3.1 건조수축 특성

그림 1은 초기강도 향상 혼화재를 사용한 FA다량치환 콘크리트의 건조수축 길이변화율과 일본 토목학회의 건조수축 해석 모델을 이용한 해석결과를 나타낸 것이다.

먼저, Plain 배합의 경우 180일의 건조수축 길이변화율이 668×10^{-6} 정도로 나타났고, F3의 경우 Plain 배합에 비해 건조수축 길이변화율이 약 33×10^{-6} (4.9%) 정도 저감하였다. 초기강도 향상 혼화재로 종류에 따라서는 F3-f15의 경우 Plain 배합에 비해 7×10^{-6} (1%), F3에 비하여 40×10^{-6} (6.2%) 정도 증가하였고, F3-f15r5의 경우는 Plain에 비해 31×10^{-6} (4.6%), F3에 비해 64×10^{-6} (10%) 정도 증가하는 것으로 나타났다.

한편, 일본토목학회의 건조수축 해석모델(식 (1) 참조)에 의한 해석결과 전반적으로 배합별 건조수축 측정치와 차이를 보이고 있었는데, 이는 혼화재 치환이 건조수축에 미치는 영향을 충분히 반영하지 못함을 시사한다.

$$\epsilon'_{cs}(t-t_0) = [1 - \exp(-0.108(t-t_0)^{0.56})] \cdot \epsilon'_{sh} \quad (1)$$

여기서, ϵ'_{sh} : 최종수축변형 ($\times 10^{-5}$)

$\epsilon'_{cs}(t, t_0)$: 콘크리트의 재령 t_0 로부터의 수축량 ($\times 10^{-5}$)

t : 재령(일), t_0 : 건조개시 재령(일)

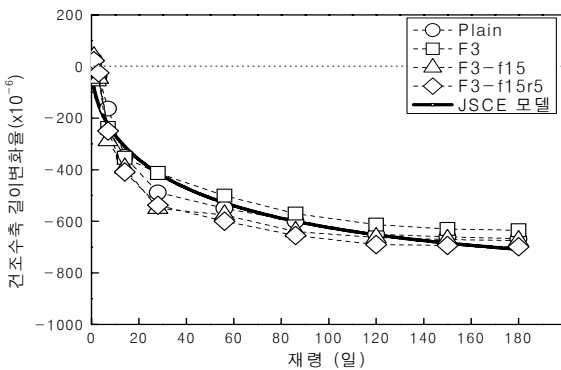


그림 1. 초기강도 향상 혼화재를 사용한 FA 다량치환 콘크리트의 건조수축 길이변화율

3.2 건조수축 해석

본 연구에서 적용한 시간경과에 따른 콘크리트의 건조수축 해석에 대한 모델은 지수함수 모델로서 식 (2)과 같다.

$$\epsilon_{sh}(t-t_0) = [1 - \exp(-b(t-t_0)^c)] \cdot \epsilon_{sh\infty} \cdot 10 \quad (2)$$

여기서, $\epsilon_{sh\infty}$: 최종수축변형 ($\times 10^{-6}$)

$\epsilon_{sh}(t, t_0)$: 콘크리트의 재령 t_0 로부터의 수축량 ($\times 10^{-6}$)

b, c: 실험상수(재료요인에 의한 값)

t: 재령(일), t_0 : 건조개시 재령(일)

그림 2는 본 연구에서 제시한 지수함수 모델을 이용한 건조수축 해석 결과를 나타낸 것이다.

전반적으로 모든 재령에 걸쳐 해석치가 실험치를 양호하게 추정함을 알 수 있으며, 특히 초기강도 향상 혼화재로 종류변화에 따른 건조수축량을 충분히 반영하는 것을 알 수 있다.

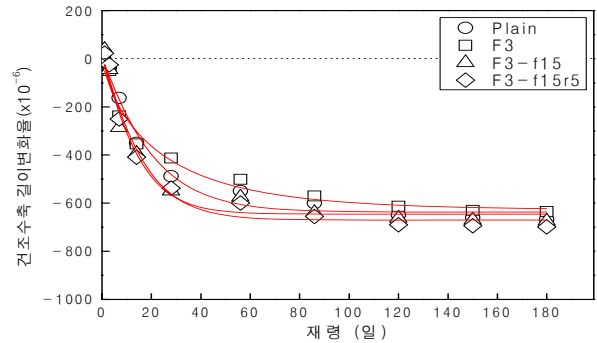


그림 2. 지수함수 모델을 이용한 건조수축 길이변화 해석

표 3. 지수함수 모델을 이용한 회귀분석에 의한 실험상수

구분	OPC	F3	F3-f15	F3-f15r5
$\epsilon_{sh\infty}$	-637.3	-628.9	-645.7	-670.3
b	0.03	0.85	0.04	0.04
c	1.09	0.07	1.14	1.13
R2	0.9825	0.9767	0.9728	0.9782

본 연구에서 제시한 지수함수 모델은 일본 토목학회의 해석모델과 유사하지만, 일본 토목학회식을 포함한 일부 모델식에서는 혼화재의 영향을 반영할 수 있는 변수가 고려되지 않아 정확한 추정에 어려움이 있을 것으로 판단되며, 이러한 혼화재료의 영향을 고려하는 변수 도입의 필요성이 제기된다.

표 3은 본 연구에서 제시한 지수모델에 의한 건조수축 길이변화 해석결과에 따른 회귀계수를 나타낸 것이다. 전반적으로 최종 건조수축량은 FA를 단독으로 치환한 F3의 경우 가장 작은 것으로 나타났으며, Plain, F3-f15, F3-f15r5의 순이었다. 아울러 해석한 결과치의 결정계수는 모두 0.97이상으로 양호하게 추정됨을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 초기강도 향상 혼화재를 사용한 경우의 건조수축 길이변화로, F3의 경우 가장 낮았으며, 그 다음으로 Plain, F3-f15, F3-f15r5의 순으로 나타나 초기강도 향상 혼화재를 사용함에 따른 건조수축 저감은 크지 않았다.

- 2) 초기강도 향상 혼화재를 사용한 FA 다량치환 콘크리트의 건조수축 해석결과 기존 일본토목학회 모델식은 혼화재의 영향을 정확하게 고려하지 못하는 것을 알 수 있었으며, 본 연구에서 지수함수모델을 사용함에 따라 혼화재료의 영향이 적절히 반영됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 한천구, 황인성, 이승훈, 김규동, 콘크리트의 초기 강도발현에 미치는 혼화재료의 영향, 대한건축학회 논문집 구조계, 제19권 제9호 pp. 95~102, 2003.9
2. 한국동서발전주식회사, 다량 Fly Ash 콘크리트의 초기강도 향상 및 내구성 평가, 2009