

등가재령에 의한 플라이애시 치환 시멘트 모르타르의 강도증진해석

Estimation of Compressive strength of the Fly Ash Substitution cement mortar by Equivalent Age

손 호 정* 정 은 봉** 정 상 현*** 안 상 구*** 한 천 구**** 한 민 철*****

Son, Ho-Jungn Han, Sang-Yoon Cheong, Sang-Hyeon Ahn, Sang-Ku Han, Cheon-Goo Han, Min-Cheol

Abstract

This study was conducted to investigate the strength development of fly ash concrete using the strength development estimation for the ready mixed concrete for construction of nuclear reactors. The findings are as follows. First, the higher the curing temperature becomes, the shorter the setting time becomes. In addition, the compressive strength also increased as the curing temperature gets higher. The apparent activation energy derived from ASTM C 1074 showed 34.75 KJ/mol. The results of concrete strength estimation confirmed that Gompertz model formula has good accuracy.

키 워 드 : 겔보기 활성화 에너지, 등가재령, 양생온도
Keywords : apparent activation energy, setting time, curing temperature

1. 서 론

본 연구에서는 원전 구조물용으로 사용되는 플라이애시를 치환한 콘크리트의 강도증진 해석을 목적으로 원전 구조물에 사용되는 레미콘 배합의 모르타르를 채취하여 ASTM C 1074 방법의 활성화 에너지값(이하 E_a)을 산정한 후 등가재령에 의한 강도증진해석을 실시함으로써, 등가재령 방법을 이용한 강도예측 추정식의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, W/B 50 % 1수준에 대하여 플라이애시(이하 FA)를 20 % 치환한 레미콘 배합의 모르타르를 채취하고 양생온도를 5℃, 20℃, 35℃ 3수준으로 달리하여 양생을 실시하는 것으로 실험계획 하였다. 이때 콘크리트의 목표 슬럼프는 150±15 mm, 목표 공기량은 4.5±1.5 %를 만족하는 범위의 레미콘을 주문하여 적용하는 것으로 하였다.

실험 사항으로 굳지 않은 모르타르에서 응결시간을 측정하는

것으로 하였고, 경화 모르타르에서 종결시점을 기준으로 ×2, ×4, ×8, ×16, ×32, ×64 배수로 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

실험방법으로 굳지않은 모르타르의 응결시간은 KS F 2436 규정에 의거하여 측정하였고, 경화 모르타르의 압축강도는 KS L 5105 규정에 의거하여 실시하였다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
기본 배합	W/B(%)	1	50
	목표 슬럼프(mm)		150±15
	목표 공기량(%)		4.5±1.5
실험 변수	양생온도(℃)	3	5, 20, 35
실험 사항	굳지않은 모르타르	1	- 응결시간
	경화 모르타르	1	- 압축강도)

1) 종결시간에 대하여 ×2, ×4, ×8, ×16, ×32, ×64 배수로 압축강도 측정

3. 실험결과 및 분석

3.1 응결시간 및 압축강도

그림 1은 양생온도 별 경과 시간에 따른 관입저항치를 나타낸 것이다. 당연한 결과로 양생온도가 높을수록 시멘트의 수화반응을 촉진시켜 응결시간 축진되는 것으로 나타났다. 즉, 양생온도 20℃ 및 35℃의 경우 종결 시간은 약5~9시간으로 나타난 반면, 양생온도 5℃의 경우 종결 시간은 약 17 시간으로 높은 온도

* 청주대학교 건축공학과 박사과정, 교신저자
(sonmr50@hanmail.net)

** 청주대학교, 건축공학과 석사과정

*** (주)포스코 건설 연구원

**** 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

***** 청주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

에서 양생한 시험체의 경우가 응결이 촉진되었다.

표 2는 양생온도 변화에 따른 압축강도 측정 결과를 나타낸 것이다. 전반적으로 양생온도가 높을수록 활발한 수화반응에 기인하여 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다.

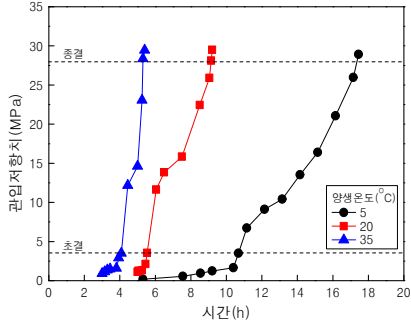


그림 1. 양생 방법 적용 및 온도측정 위치

표 2. 압축강도 측정결과

양생온도 (°C)	압축강도(MPa)					
	중결시간 × 배 재령					
	2배	4배	8배	16배	32배	64배
5	3.7	6.7	10.7	16.9	17.4	19.2
20	4.0	6.8	10.7	14.2	18.2	21.4
35	4.9	8.4	11.4	14.4	19.5	23.7

표 3. ASTM C 1074 의 방법을 이용한 Ea

W/B (%)	1차 회귀식			Ea (KJ/mol)
	기울기	기체상수 (J/mol · K)	결정계수	
50	4 180.2	8,314	0.99651	34.75

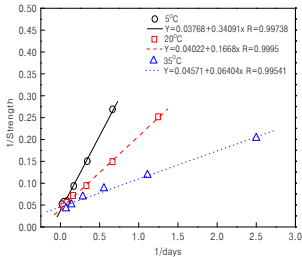


그림 2. 반응속도 상수(k_T) 산정을 위한 회귀방정식

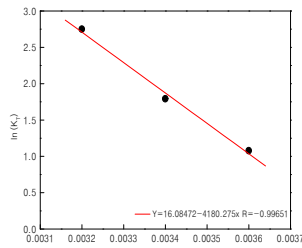


그림 3. 양생온도와 반응속도 상수(k_T)의 회귀방정식

3.2 결보기 활성화 에너지(Ea) 산정

ASTM C 1074 방법에 의한 Ea값 산정은 응결 시간 및 압축강도 측정 후 재령의 역수와 강도의 역수를 회귀분석하여 1차 회귀식을 구한 후 회귀선의 절편을 기울기로 나누어 반응속도 상수(k_T)를 구하였다. 그리고 반응속도 상수에 자연로그를 취한 값을 y축에 도시하고, 각 양생온도의 역수값을 X축에 도시하여 플롯한 후, 1차 회귀식으로 얻어진 회귀식의 기울기 값을 기체상수(R=8,314 J/mol · K)로 나누어 Ea값을 산정하였다.

그림 2는 반응속도 상수(k_T)의 산정을 위한 회귀방정식을 도출한 것이고, 그림 3 및 표 3은 반응속도 상수(k_T)에 의한 Ea값 산

정식과 결과분석으로부터 Ea값을 계산한 것으로 Ea값은 34.75 KJ/mol로 나타났다.

3.2 등가재령에 의한 강도증진 해석

Ea를 이용하여 식(1)을 활용하여 등가재령을 산정한 후 Plowman 예측식과 Gompertz 예측식을 이용하여 강도예측 해석을 수행하였다.

$$t_e = \int_0^t \exp\left(\frac{Ea}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T}\right)\right) dt \quad \text{식 (7)}$$

여기서,

t_e : 등가재령(days)

T_r : 20°C에서의 절대온도(293° K)

그림 4는 등가재령에 따른 Plowman 예측식과 Gompertz 예측식의 강도증진해석 결과를 나타낸 것이고, 그림 5는 강도해석치와 압축강도 실측치를 상호 비교한 것이다. 먼저 Plowman 예측식의 경우 결정계수는 0.945로 나타났고, Gompertz 예측식의 경우 결정계수는 0.975로 Plowman 식에 비하여 높은 값을 나타내어 강도추정이 가능함을 알수 있었다. 한편 압축강도 실측치와 압축강도 해석치는 Gompertz 예측식의 해석치가 실측치를 양호하게 추정하는 것으로 나타났고, Plowman 예측식은 비교적 큰 산포를 보여 강도증진 해석결과치의 정확도가 떨어지는 것으로 나타났다.

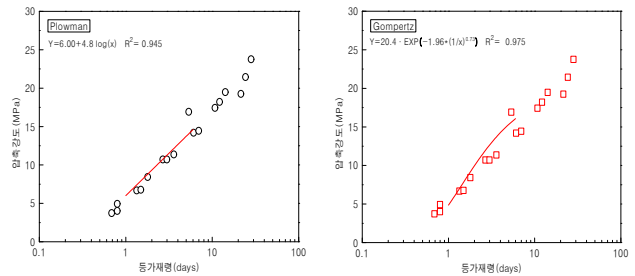


그림 4. 등가재령에 따른 강도증진해석 결과

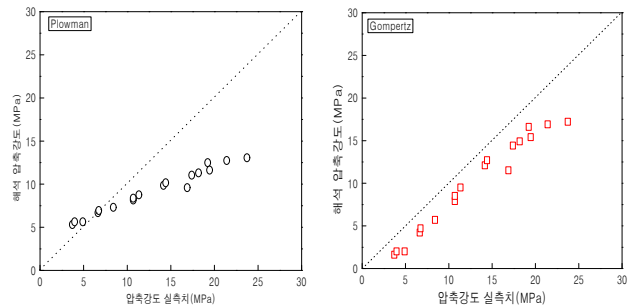


그림 5. 압축강도 측정치와 해석 압축강도의 상호비교

4. 결 론

본 연구에서는 플라이애시를 사용한 원전구조물용 레미콘 배합

의 강도증진해석을 수행하였는데 결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저, 응결시간은 양생온도가 높을수록 응결시간은 촉진되었고, 압축강도 역시 증가하는 것으로 나타났다. ASTM C 1074 방법에 의한 겔보기 활성화에너지(Ea)는 34.75 KJ/mol로 나타났고, 등가재령에 의한 강도증진 해석결과 Gompertz 모델식이 양호한 정밀도를 갖는 것을 확인 할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(2010161010004J)입니다.

참 고 문 헌

1. 한민철, 등가재령 방법에 의한 고온조건하 플라이애시 사용 콘크리트의 압축강도 증진 해석, 대한건축학회 논문집(구조계), 제24권 제4호, pp.105~112, 2008.4