

혼화재치환 시멘트 모르타의 응결시간을 이용한 겉보기 활성화에너지 산정

Estimation of the Apparent Activation Energy of the Cement Mortar Incorporating Admixtures Considering Setting Time

최현규* 손호정** 백대현** 임춘근*** 한민철**** 한천구*****
Choi, Hyun Kyu Son, Ho Jung Baek, Dae Hyun Lim, Choon Keun Han, Min Cheol Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This study compares the apparent activation energy(Ea) by ASTM C 1074 with that by setting time. As the result of this study, it is found that Ea by setting time was ranged from 15~21 KJ/mol. This value is smaller than that 30~50 KJ/mol by ASTM C 1074.

요약

본 연구에서는 혼화재치환에 따른 시멘트 모르타의 양생온별 응결시간을 이용하여 겉보기 활성화에너지 값(Ea)과 ASTM C 1074 방법을 비교하였다. 그 결과, 응결시간을 이용한 Ea값은 15~21 KJ/mol의 범위로 나타났는데, ASTM C 1074 방법에서의 Ea값의 범위인 30~50 KJ/mol의 범위보다 작은 값으로 나타났다.

1. 서론

본 연구에서는 혼화재치환에 따른 시멘트 모르타의 양생온도별 응결시간을 이용하여 Arrhenius 개념에 의한 겉보기 활성화에너지(Ea) 값을 산정하고, ASTM C 1074 방법에 의한 Ea값과 비교하여 응결시간에 의한 Ea값 산정방법의 타당성에 대하여 분석하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

본 연구에서 실험계획은 표 1과 같고, 사용재료는 국내산 재료를 사용하였으며, 실험방법은 KS의 관련규격에 의해 실시하였다.

표 1. 실험계획

	실험요인		실험수준	
	배합사항	W/C (%)	1	50
목표 슬럼프(mm)		1	150±10	
배합비		1	1:3	
혼화재 치환		3	· OPC · BS ¹⁾ -20% · PD ²⁾ -20%	
양생온도(℃)		3	5, 20, 35	
실험사항	측정사항	2	· 응결시간 · 압축강도	

1) BS:고로슬래그, 2) PD:프리히터더스트

* 정회원, 청주대, 대학원, 석사과정
 ** 정회원, 청주대, 대학원, 박사과정
 ** 정회원, 청주대, 대학원, 박사과정
 *** 정회원, 삼성물산(주), 건설부문, 공학박사
 **** 정회원, 청주대, 건축공학과, 조교수, 공학박사
 ***** 정회원, 청주대, 건축공학과, 교수, 공학박사

3. 실험결과 및 분석

본 연구에서 구하고자하는 Ea의 경우 ASTM C 1074는 식 (1)에 의해 산정하고, 응결시간을 이용하는 방법은 응결시점에도 수화반응에 의한 미세구조가 어느정도 생성된다고 가정하여, 수화반응이 빨리 일어나면 초결과 종결시간이 짧아지기 때문에 수화반응속도 상수(k_T)와 반비례 한다고 할 수 있다. 이에 식 (1)의 식 중 $\ln(k_T)$ 대신 $\ln(1/t_f)$ 으로 대체하고 식 (2)를 회귀분석하여 Ea를 산정하였다.

$$\ln(k_T) = \ln A - \frac{Ea}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad \dots \dots (1) \quad \ln(1/t_f) = \ln A - \frac{Ea}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad \dots \dots (2)$$

여기에서, k_T : 반응속도상수, A : 빈도계수, Ea : 겔보기 활성화에너지
 R : 가스상수(8.314 J/mol), T : 절대온도(°K, 273+°C), t_f : 종결시간

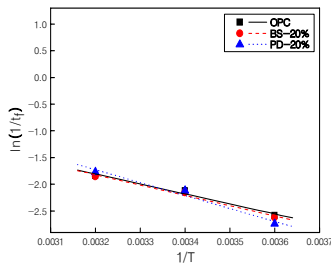


그림 1. 응결시간을 이용한 비선형 회귀분석

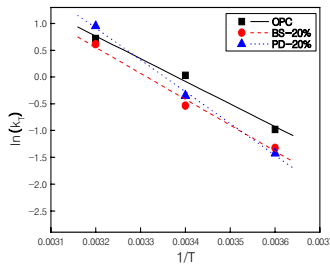


그림 2. ASTM C 1074를 이용한 Arrhenius plot

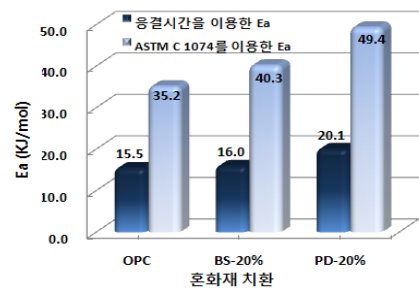


그림 3. 응결시간 Ea값 과 ASTM Ea값 비교

그림 1과 그림 2는 응결시간 및 ASTM 방법을 이용한 Arrhenius plot을 나타낸 것이고, 그림 3은 응결시간을 이용한 Ea값과 ASTM C 1074의 방법으로 구한 Ea값을 비교한 것이다.

표 2는 그림 1을 이용하여 응결시간에 의한 Ea값을 나타낸 것으로 OPC는 15.5 KJ/mol, BS-20%는 16.0 KJ/mol, PD-20%는 20.1 KJ/mol로 산정되었다. 표 3은 ASTM C 1074방법을 이용한 Ea값으로 OPC가 35.18 KJ/mol, BS-20%는 40.26 KJ/mol, PD-20%가 49.38 KJ/mol로 나타났다. 혼화제치환별 Ea값은 PD-20%, BS-20%, OPC 순으로 크게 나타났고, 응결시간을 이용한 Ea값이 ASTM의 방법보다 작게 나타났다. 이러한 차이는 본 연구는 응결시간을 이용하여 산정하였고, ASTM은 압축강도 시험방법을 이용한 결과로서, 응결단계에서의 수화반응 정도와 강도발현 단계에서의 수화반응 정도의 차이가 나타났기 때문에 응결시 양생온도의 영향이 충분히 반영되지 못하여 응결시간을 이용한 Ea값이 ASTM의 Ea값 보다 작게 나타난 결과로 판단된다.

표 2. 응결시간을 이용한 Ea

W/C (%)	혼화제	$\ln\left(\frac{1}{t_f}\right) = P_1 - P_2 \times \frac{1}{T}$			Ea (KJ/mol)
		$P_1(\ln A)$	$P_2(Ea/R)$	결정계수(R^2)	
50%	OPC	4.17	1866.5	0.990	15.5
	BS-20%	4.35	1927.5	0.992	16.0
	PD-20%	6.03	2423.0	0.987	20.1

표 3. ASTM C 1074를 이용한 Ea

W/C (%)	혼화제	$\ln(k_T) = P_1 - P_2 \times \frac{1}{T}$			Ea (KJ/mol)
		$P_1(\ln A)$	$P_2(Ea/R)$	결정계수(R^2)	
50%	OPC	14.31	4231.83	0.994	35.18
	BS-20%	16.05	4842.55	0.995	40.26
	PD-20%	19.92	5939.79	0.999	49.38

4. 결론

본 연구에서는 혼화제치환 시멘트 모르타의 응결시간을 이용한 Ea값을 비교하였는데, 결과를 요약하면 다음과 같다. 응결시간을 이용한 Ea값과 ASTM 방법을 이용한 Ea값 모두 PD-20%, BS-20%, OPC 순으로 크게 나타났고, 응결시간을 이용한 Ea값은 15~21 KJ/mol의 범위로 나타났는데, ASTM C 1074 방법에서의 Ea값 범위인 30~50 KJ/mol의 범위보다 작은 값으로 나타났다.