

# 열량계와 겔보기 활성화 에너지를 이용한 콘크리트의 압축강도 예측에 관한 실험적 연구

## A Experimental Study on Prediction of Compressive Strength of Concrete Based on Maturity Using Apparent Activation Energy

김 한 솔\*                      장 종 민\*\*                      김 영 관\*\*\*                      이 한 승\*\*\*\*  
Kim, Han-Sol                      Jang, Jong-Min                      Kim, Yeung-Kwan                      Lee, Han-Seung

### Abstract

Predicting the compressive strength of concrete is important for shortening construction time and reducing construction costs. In this study, the coefficients required for maturity method and compressive strength prediction equation were calculated by measuring the cement hydration reaction rate, concrete setting time and ultimate strength. The experiment was conducted in an isothermal environment of 10°C, 20°C and 30°C using a normal Portland cement, and the experiment was conducted with a total of 9 levels of W/C (40%, 50%, 60%) of 3 levels for each temperature. As a result of comparing the predicted strength and the measured strength for each blend, only an error of less than 5% was found for all blending and curing periods.

키 워 드 : 적산온도, 압축강도, 콘크리트  
Keywords : maturity, compressive strength, concrete

### 1. 서 론

콘크리트의 압축강도는 초기 재령에서 콘크리트 내부의 온도 변화에 크게 좌우된다. 현재 콘크리트 내부의 온도를 통해 콘크리트의 초기 재령 압축강도를 예측하기 위하여 시간에 대한 콘크리트 온도를 이용한 적산온도법을 통한 콘크리트의 초기 압축강도를 구하는 공식이 정립되어 있다. 이를 이용해 콘크리트 구조물의 초기 예상 압축강도를 구할 수 있으며, 거푸집 탈형 시기를 예측하여 공사비 절감 및 공기 단축을 기대할 수 있다. 그러나 기존의 강도예측 모델에 관한 연구는 시멘트의 겔보기 활성화 에너지를 크게 고려하지 않거나 근사값을 사용하여 예측 정확성에 관한 검토가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 미소수화열량계를 이용하여 시멘트의 겔보기 활성화 에너지를 구하고, 이를 Arrhenius의 등가재령 산정식과 Chrino 쌍곡선 기반 압축강도 예측식을 산정하여 재령별 예측강도와 실측강도를 비교하였다.

### 2. 실험방법

미소수화열량계를 이용한 시멘트의 열유속 측정 실험을 통해 시멘트의 누적열유속을 측정하였고, Arrhenius 화학반응 속도식을 이용하여 시멘트의 온도별 겔보기 활성화 에너지를 산정하였다. 실험재료는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고 10°C, 20°C 및 30°C의 등온환경에서 측정하였다. 표 1과 같이 각 배합별 3수준의 온도에서 양생하고, 응결시간과 중구강도를 측정하였다.

표 1. 실험계획

No.	Name	W/B (%)	Temperature (°C)			Measurement item
1	OPC-40	40	10	20	30	Temperature,
3	OPC-50	50	10	20	30	Maturity,
5	OPC-60	60	10	20	30	Setting time,
						Equivalent age

표 2. 콘크리트 배합

No.	Name	Strength (MPa)	W/B (%)	W (kg)	s/a (%)	S1 (kg)	S2 (kg)	G (kg)	Ad (C wt%)		Properties	
									AD	AE	Slump (mm)	Air (%)
1	OPC-40	50	40	175	47	478	328	948	1.4	0.1	210	2.5
2	OPC-50	40	50	175	49	519	355	949	1.05	0.1	190	4.2
3	OPC-60	30	60	175	52	565	387	917	1.0	0.1	175	5.1

\* 한양대학교 스마트시티공학과 석사과정

\*\* 한양대학교 스마트시티공학과 박사과정

\*\*\* 세화산업 기술연구소 소장

\*\*\*\* 한양대학교 ERICA 건축학부 교수, 교신저자(ercleehs@hanyang.ac.kr)

각 배합별로 콘크리트의 응결시간과 종국강도, 그리고 실험에 사용된 시멘트의 겔보기 활성화 에너지를 측정하고 Arrhenius식을 이용한 등가재령 산정식에 적용한 후, Carino의 쌍곡선 모델에 기반한 압축강도 예측식에 활용하여 예측 압축강도를 산정하였다. 3, 7, 14, 28 재령일에 KS F 2405을 기준으로 측정한 실측강도와 예측강도를 비교하였다.

### 3. 실험결과

표 3은 각 조건별 콘크리트의 종국강도(28일 강도)와 응결시간을 나타낸 것이다. 표3과 같이 도출된 실험상수값을 압축강도 예측식에 적용하였다.

표 3. 압축강도 예측모델에 적용된 실험값

Temp (°C)	Name	W/C (%)	Final Strength (MPa)	Setting Time (day)	$E_a$ (kJ/mol)
30	OPC-40	40	54.3	0.150	36.9
	OPC-50	50	39.8	0.244	36.5
	OPC-60	60	27.6	0.272	34.3
20	OPC-40	40	51.6	0.233	36.5
	OPC-50	50	39.0	0.334	35.3
	OPC-60	60	25.5	0.406	32.3
10	OPC-40	40	50.2	0.457	36.1
	OPC-50	50	39.0	0.643	34.1
	OPC-60	60	19.3	0.772	30.3

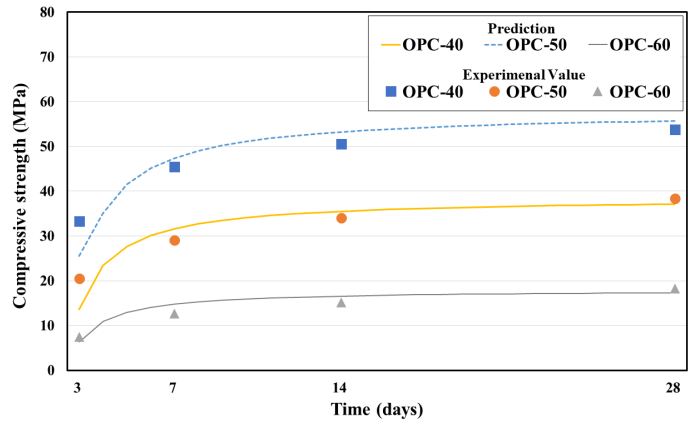


그림 1. 실측강도와 예측강도 비교(20°C)

그림 1은 등가재령별 강도측정시험을 통한 실험강도와 강도예측식의 예측강도를 비교한 것이다. 7일 이상 재령일에서는 모든 배합에서 예측강도보다 실측강도가 낮게 측정되었으며, 7일, 14 재령일에서는 5%내의 오차가 발생하였고 28일에서 3%내의 오차가 발생하였다. 7일 이상 재령일에서는 모든 배합에서 예측강도와 실측강도의 차이가 낮게 나타났으나, 재령일 3일에서 W/C가 낮아질수록 오차율이 증가하였다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 적산온도법 기반 압축강도 예측식을 산정하기 위하여 시멘트의 겔보기 활성화 에너지와 콘크리트의 응결시간, 종국강도를 측정하였다. 실험을 통해 얻은 계수들을 Carino 쌍곡선을 이용한 예측강도식에 대입한 후 실측강도와 비교하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 미소수화열량계를 이용하여 겔보기 활성화 에너지를 산정한 결과 양생온도가 높을수록, W/C가 낮을수록 높게 나타나는 경향성을 보였다.
- 2) 응결시간은 모든 양생온도에서 OPC-60, OPC-50, OPC-40의 순서로 지연되는 것으로 나타났으며, W/C가 높을수록 종국강도는 낮아지고 종결시간은 길어지는 경향성을 보였다. W/C
- 3) 본 연구를 통하여 산정된 콘크리트의 배합별 응결시간, 종국강도 및 시멘트의  $E_a$ 를 압축강도 예측식에 적용하여 실측강도와 예측강도를 비교한 결과, 7일 이상 재령일에서 5% 미만의 오차가 발생하였다.

### Acknowledgement

이 연구는 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이다.(No.2015R1A5A1037548)

### 참 고 문 헌

1. 문동환, 장현오, 이한승, 콘크리트 매립형 무선 온도도 센서 기반 적산온도법을 이용한 콘크리트 압축강도 예측에 관한 실험적 연구, 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집, pp.94~95, 2018