

# 2성분계 콘크리트의 구조체 보정강도(mSn) 산정을 위한 적산온도 기반 콘크리트의 압축강도 예측 연구

## A Study on the Prediction of Concrete Strength Based on Maturity Method for Calculating the Concrete Strength Correction Value (mSn) of Two-Component Concrete

김한솔<sup>1</sup> · 이한승<sup>2\*</sup>  
Kim, Han-Sol<sup>1</sup> · Lee, Han-Seung<sup>2\*</sup>

**Abstract** : The compressive strength of concrete is greatly affected by the temperature inside the concrete at the initial age immediately after pouring. In the KCI Concrete Standard Specification, only the temperature correction strength (Tn) according to the curing temperature is applied in the mixing strength calculation formula, and mSn is not considered. The formula based on the Chrino model of the blast furnace slag concrete was calculated, and the strength of the structural concrete and the strength of the water cured specimen in the same mixture were compared with the predicted strength. As a result, the error between the predicted strength and the measured strength was greater in the structural concrete than in the concrete specimen.

**키워드** : 적산온도, 고로슬래그, 콘크리트  
**Keywords** : maturity, ground granulated blast-furnace slag, concrete

### 1. 서론

최근, 콘크리트 구조물의 손상, 붕괴 등의 사고위험과 시공 후 하자발생을 예방하기 위한 콘크리트의 양생 및 강도관리의 중요성이 대두되고 있다. 콘크리트의 압축강도는 타설 후 초기 재령에서의 양생온도에 영향을 받으며, 정확한 배합강도 산정을 위해서는 실험실에서의 표준 양생 공시체와 외부 환경에 노출된 구조체 콘크리트간 강도 차이를 보정하는 구조체 보정강도(mSn)을 고려할 필요가 있으나, 현재 콘크리트 표준시방서에서는 배합강도 산정식에서 양생온도에 따른 기온보정강도 (Tn)만 적용되고 mSn은 고려하고 있지 않다. 본 연구에서는 mSn을 고려한 콘크리트 배합강도 산정식을 개발하기 위해, 고로슬래그 혼입 콘크리트의 Chrino의 쌍곡선 모델에 기반한 강도예측식을 산정하고, 구조체 콘크리트를 모사한 Mock-Up 시험체의 코어링을 통한 실측강도와 동일배합에서의 수중 양생공시체 강도를 강도예측식의 예측강도와 차이를 비교하였다.

### 2. 실험

미소수화열량계를 활용하여 시멘트 페이스트와 고로슬래그를 혼입한 시멘트의 온도별 수화열을 측정하고 이를 Arrhenius 화학반응 속도식에 대입하여 활성화 에너지(Ea) 및 속도상수를 계산 후, 고로슬래그 혼입 콘크리트의 응결시간 및 종국강도 산정하여 이를 Chrino의 쌍곡선 모델(식 (1))에 대입하여 강도예측식을 산정하였다. 여기서,  $S_u$ : 종국강도,  $t_c$ : 등가재령,  $k_T$ : 속도 상수,  $t_0$ : 응결시간,  $E_a$  겔보기 활성화 에너지,  $R$ : 가스 상수(8.314J/mol·K),  $T_r$ : 표준 양생 온도(293K),  $T$ : 등가재령을 계산할 실험체의 양생온도(K)이다.

표 1. 실험 개요

Category	Experimental Level	Unit
W/B	50	%
Temperature	10~30	°C
GGBFS	0, 40	replacement ratio (% of B)

$$S = \frac{S_u \cdot k_T(t_e - t_0)}{1 + k_T(t_e - t_0)}$$

식 1. Chrino 압축강도 예측식

$$t_e = \int_0^t \exp\left(\frac{E_a}{R}\right) \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T}\right) dt$$

식 2. 등가재령 산정식

1) 한양대학교 스마트시티공학과, 박사과정  
2) 한양대학교 ERICA 건축학부, 교수, 교신저자(ercleehs@hanyang.ac.kr)

구조체 콘크리트를 모사한 Mock-Up 시험체는 구조체 콘크리트를 모사한 800mm\*800mm\*200mm의 콘크리트를 보통 콘크리트와 3종 고로슬래그를 혼입한 고로슬래그 콘크리트 각각 1개씩 타설하여 제작하였으며, 실험 조건은 표 1과 같다. 외부 환경에서 양생한 Mock-Up 시험체를 3, 7, 14, 28 재령일에서 코어 채취한 시험체의 압축강도를 측정하고, 동일한 온도조건에서 실내 습윤 양생한 KS F 2403에 의거한  $\phi 100\text{mm}$  콘크리트 공시체의 압축강도를 각각 식 1의 강도예측식과 비교하였다.

### 3. 실험 결과

표 2는 재령별 구조체 콘크리트로부터 절취한 시험체와 동일 환경에서의  $\phi 100\text{mm}$  콘크리트 공시체의 압축강도, 강도예측식에서 계산된 압축강도를 보여준다. 표 3은 코어 채취한 구조체 강도, 습윤양생 공시체 강도를 각각 강도예측식 예측강도와 비교하여 그 차이를 비교한 것이다. 실험 결과 동일 환경에서 양생하였을 때 모든 배합에서 코어 채취한 시험체의 압축강도가  $\phi 100\text{mm}$  콘크리트 공시체의 강도보다 낮은 값을 보였다. 강도예측식에서의 예측강도와 실측강도를 비교했을 때 오차는 모든 재령일에서 구조체 강도가 공시체 강도보다 크게 발생하였다.

표 2. 재령별 외부양생 콘크리트의 실측강도와 강도예측식에서 계산된 예측강도

배합	OPC 100% 콘크리트				OPC 60%, GGBFS 40% 콘크리트			
	3	7	14	28	3	7	14	28
재령(일)	3	7	14	28	3	7	14	28
코어 채취한 구조체 강도(MPa)	17.4	25.9	32.7	36.5	11.4	18.7	27.8	32.1
습윤양생 공시체 강도(MPa)	19.0	33.4	37.6	40.1	15.3	23.7	29.5	35.8
강도예측식 예측강도(MPa)	21.9	32.0	35.2	38.6	14.9	23.5	30.3	34.9

표 3. 외부양생 콘크리트의 재령별 실측강도와 예측강도 비교

배합	OPC 100%				OPC 60%, GGBFS 40%				
	3	7	14	28	3	7	14	28	
재령(일)	3	7	14	28	3	7	14	28	
예측강도와 실측강도 오차 (MPa)	코어 채취한 구조체 강도 (MPa)	-4.5	-6.1	-2.5	-2.1	-3.5	-4.8	-2.5	-2.8
	습윤양생 공시체 강도 (MPa)	-2.9	1.4	2.4	1.5	0.4	0.2	-0.8	0.9

### 4. 결론

본 연구에서는 구조체 콘크리트를 모사한 Mock-Up 시험체를 제작하여 외부양생 후, 코어링을 통한 구조체 강도와 동일 환경에서의 공시체 강도를 강도예측식과 재령별로 비교하였다. 실험 결과 동일한 온도조건에서 양생하였음에도 조체 콘크리트의 강도가 콘크리트 공시체보다 1.6MPa~7.5MPa 적게 발현되었으며, 강도예측식과 비교했을 때 구조체 콘크리트의 강도의 오차가 실내 습윤 양생한 공시체보다 크게 발생하였다. 이는 구조체 콘크리트의 시료절취에 따른 코어 내 골재의 손상과 외부 환경으로 인하여 강도가 열화됨으로써 실내 양생한 콘크리트 공시체의 중국강도를 적용한 강도예측식과 차이가 발생한 것이 원인으로 판단된다. 외부환경에 따른 강도열화 및 코어 채취에 따른 손상을 구분하고 외부환경에 따른 강도열화값을 구조체 보정강도에 압축강도 예측식에 산입하여 더 정확한 구조체 콘크리트의 압축강도 예측이 가능할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 논문은 2022년 과학기술정보통신부 한국연구재단(과제번호: NRF-2022R1A2C1093253)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 양현민, 조명원, 박원준, 이한승, 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 적산온도 산정과 압축강도 예측에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집. pp. 443-444.