

고로슬래그미분말 혼입 콘크리트의 적산온도를 이용한 강도예측모델에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Prediction Model for the Compressive Strength of Concrete with Blast Furnace Slag by Maturity Method

양 현 민* **조 명 원**** **이 한 승*****
 Yang, Hyun-Min Cho, Myung-Won Lee, Han-Seung

Abstract

The study on the strength prediction using Maturity is mainly focused on, but the study on the concrete mixing blast furnace slag powder is insufficient. The purpose of this study is to investigate the relationships between compressive strength and equivalent age by Maturity function and is to compare and examine the strength prediction of concrete mixing Blast Furnace Slag Power using ACI and Logistic Curve prediction equation. So it is intended that fundamental data are presented for quality management and process management of concrete mixing Blast Furnace Slag Power in the construction field.

키 워 드 : 고로슬래그 미분말, 적산온도, 압축강도, 콘크리트, 양생온도
 Keywords : blast furnace slag (BFS), maturity method, compressive strength, concrete, curing temperature

1. 서 론

콘크리트의 압축강도는 양생관리 및 거푸집 제거와 같은 공정에 큰 영향을 미치므로 대단히 중요한 품질관리 항목이다. 일반적으로 압축강도의 예측에는 적산온도 방식을 활용한 Nurse-saul 함수와 화학반응 속도식의 일종인 Arrhenius식을 응용한 등가재령 표현식의 두 가지 방식이 있다. 이중 등가재령식의 표현식은 초기 시멘트 수화율에 대한 온도의 영향을 나타낸 것으로 임의재령에서의 콘크리트 강도예측에 많이 이용되어 왔다.

그러나 기존의 강도예측 모델에 관한 연구는 대부분 보통콘크리트를 대상으로 하고 있으며 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트에 관한 연구는 매우 부족한 실정이므로 BFS 혼입 콘크리트에 관하여 검토가 필요한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 BFS 혼입 콘크리트의 압축강도 예측에 있어서 기존의 대표적인 모델 적용성을 평가하고 BFS 혼입을 고려한 콘크리트의 강도예측모델을 제시하고자 한다.

2. 실험개요

본 실험의 계획은 표 1에서 같이 BFS 치환율 0%, 15%, 30%,

* 한양대학교 건축환경공학과 석사과정
 ** 한양대학교 건축공학과 박사과정
 *** 한양대학교 건축학부 교수, 교신저자(ercleehs@hanyang.ac.kr)

50%의 4개 수준으로 하였다. 또한 양생기간 동안 공시체 온도를 측정하고 재령일별 압축강도를 측정하여 Nurse-saul 함수와 Arrhenius식을 응용한 Freiesleben함수를 활용하여 등가재령을 산정하고 이 등가재령을 본 연구에서 선택한 기존 강도예측식인 ACI식과 Logistic Curve 적용하였다.

표 1. 실험계획

BFS 혼입율	온도조건	W/C	재령일	측정항목	분석항목
0%	10°C	50%	3, 7, 14, 28	슬럼프, 공기량, 압축강도	적산온도 등가재령
15%	20°C				
30%	30°C				
50%					

표 2. 배합표

W/C (%)	BFSP (%)	W (kg)	B		S (kg)	G (kg)	Admixture	
			C (kg)	BFSP (kg)			A, E (b × %)	SP (b × %)
50%	0	165	330	0	875	940	0.02	0.2
	15		280.5	49.5				
	30		231	99				
	50		165	165				

3. 실험결과

BFS 혼입율에 따른 회귀계수를 살펴보면, ACI식에서는 BFS 혼입율이 증가할수록 회귀계수가 증가함을 알 수 있다. 표 4와 5는 각각의 강도예측식의 BFS 혼입율별 회귀계수이다.

표 3. 온도조건에 따른 재령일별 등가재령 (Day)

양생온도 (°C)	양생기간 (Day)	Rastrup 함수	Freiesleben 함수
10	3	2.0	1.5
	7	4.7	3.5
	14	9.3	6.9
	28	18.7	13.9
20	3	3.0	3.0
	7	7.0	7.0
	14	14.0	14.0
	28	28.0	28.0
30	3	4.0	4.7
	7	9.3	11.0
	14	18.7	22.0
	28	37.3	44.1

표 4. BFS 혼입율별 회귀계수 (ACI식)

시험체	BFSP 혼입율(%)	설계기준 강도(MPa)	회귀계수		회귀계수	
			Rastrup 함수	Freiesleben 함수	a	b
OPC	0	27	3.52	0.91	4.28	0.90
B15	15		6.24	0.93	6.15	0.91
B30	30		6.76	0.95	6.57	0.94
B50	50		9.10	0.96	7.15	0.95

표 5. BFS 혼입율별 회귀계수 (K, m) (Logistic Curve)

시험체	BFSP 혼입율 (%)	K	m
OPC	0	1.47	3.17
B15	15	2.19	4.84
B30	30	2.36	5.37
B50	50	2.90	6.67

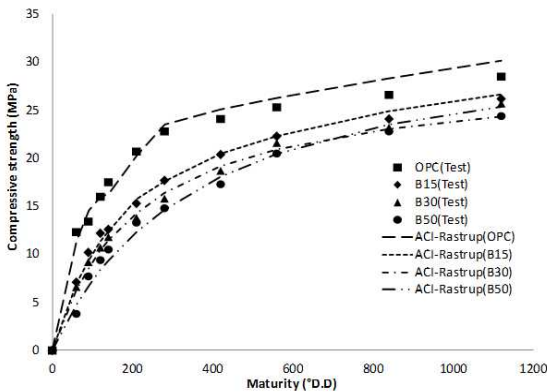


그림 1. 양생온도 및 BFS혼입율에 따른 강도변화 (ACI 제안식)

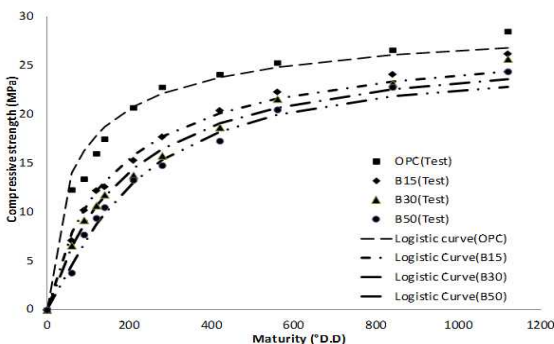


그림 2. 양생온도 및 BFS혼입율에 따른 강도변화 (Logistic Curve)

그림 1과 2는 적산온도에 따른 BFS 혼입율별 압축강도시험결과와 강도예측식에 의한 예측강도를 나타낸 것이다. ACI의 예측강도는 대부분 실험강도와 동일하거나 낮은 값을 나타냈는데, 그 차이는 혼입율이 증가하고 적산온도가 증가 할수록 높게 나타나고 있다.

Logistic Curve의 예측강도는 실험강도와와의 차이가 모든 구간에서 낮은 편차를 나타냈다. 하지만, Logistic Curve의 예측강도 또한 BFS 혼입율이 증가 하고 적산온도가 증가 할수록 그 차이는 높아짐을 알 수 있었다.

3. 결론

본연구에서는 적산온도와 압축강도의 관계를 이용하여 Rastrup 함수와 Freiesleben 함수를 이용한 ACI식과 Nurse-Saul의 함수를 이용한 Logistic Curve를 기초로 본 연구에서는 적산온도를 이용한 고로슬래그미분말 혼입 콘크리트의 압축강도 예측식을 식1, 2와 같이 도출하였다.

$$f'_c(t) = \frac{t_e}{(A_\alpha + A_\beta t_e)} f'_c(28) \quad (식1)$$

$f'_c(t)$: 실제재령 t 일에 있어서 콘크리트 압축강도

t : 임의의 실제재령

t_e : 임의의 재령 t 일에 있어서의 등가재령

$f'_c(28)$: BFS혼입율별 28일 압축강도

A_α : $0.2125(BFS\%)^2 + 0.5421(BFS\%) + 3.52$

A_β : $0.0017(BFS\%)^2 + 0.0036(BFS\%) + 0.916$

$$F_c = \frac{F_\infty}{1 + \exp(-L_k \log M + L_m)} \quad (식2)$$

F_∞ : BFS혼입율별 28일 압축강도

M : 적산온도

L_k : $2.3746 \ln(BFS\%) + 3.1274$

L_m : $0.9628 \ln(BFS\%) + 1.47$

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20120000740, (No.2010-0014051).

참고 문헌

1. 김무한, 남재현, 김규용, 배수, 한장현, 주지현, 콘크리트 압축강도와 적산온도 관계에 관한 실험적 연구, 대한건축학회학술발표논문집 제 19권 제2호, pp.690~695, 1999.10
2. Freiesleben Hansen, P. and Pederson, J., Maturity Computer for Controlled Curing and Hardening of Concrete Strength, Nordisk Betong, pp.19~34, 1977