

# 적산온도에 의한 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 초기재령 압축강도의 예측 모델식 적용성 평가

## Evaluation on the Prediction Model for the Compressive Strength of Concrete mixing Blast Furnace Slag Powder at early-aged by Maturity Method

양 현 민\*      박 원 준\*\*      이 한 승\*\*\*  
 Yang, Hyun-Min   Park, Won-Jun   Lee, Han-Seung

### Abstract

The exiting studies on the strength prediction by maturity method is mainly focused on concrete using OPC, meanwhile the study on the concrete mixing blast furnace slag powder (BFSP) is insufficient. The purpose of this study is to investigate the relationships between compressive strength and equivalent age by existing Maturity functions, i.e., Nurse-saul function Arrhenius function. This study also compared and examined the strength prediction of concrete mixing BGSP using ACI model and Logistic Curve prediction equation. Therefore, it is intended that fundamental data are presented for quality management and process management of concrete mixing BFSP.

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

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

고로슬래그 미분말(이하 BFSP)은 환경부하저감, 산업부산물의 재활용 측면에서 콘크리트 재료로서 적극 활용되고 있다. 한편, 콘크리트의 초기재령 압축강도는 양생관리 및 거푸집 제거와 같은 공정에 큰 영향을 미치므로 대단히 중요한 품질관리 항목이다. 일반적으로 초기 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 BFSP 혼입 콘크리트에 관하여 검토가 필요한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 BFSP 혼입 콘크리트의 초기재령 압축 강도 예측에 있어서 기존의 대표적인 모델 적용성을 평가하고 향

후 연구방향에 대해서 논의하고자 한다.

## 2. 실험개요

본 실험의 계획은 표 1과 같이 BFSP 치환율 0%, 15%, 30%, 50%의 4개 수준으로 하였다. 또한 양생기간 동안 공기세 온도를 측정하고 재령일별 압축강도를 측정하여 Nurse-saul 함수와 Arrhenius식을 응용한 Freiesleben함수를 활용하여 등가재령을 산정하고 이 등가재령을 본 연구에서 선택한 기준 강도 예측식에 적용하였다.

표 1. 실험계획

BFSP 혼입율	온도조건	W/C	재령일	측정항목	분석항목
0%	10℃	50%	3일	슬럼프, 공기량, 압축강도	적산온도 등가재령
15%					
30%	30℃				
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				

\* 한양대학교 건축환경공학과 석사과정  
 \*\* 한양대학교 ERICA 친환경건축 연구센터, Post-Doc.  
 \*\*\* 한양대학교 건축학부 교수, 교신저자  
 (ercleehs@hanyang.ac.kr)

ACI 제안식:

$$f'_c(t) = \frac{t_c}{(a+bt_c)} f'_c(28) \quad (1)$$

$f'_c(t)$ : 실제재령  $t$ 일에 있어서 콘크리트 압축강도(MPa)  
 $t$ : 임의의 실제재령(Day)  
 $t_c$ : 임의의 재령  $t$ 일에 있어서의 등가재령(Day)  
 $f'_c(28)$ : 재령 28일의 압축강도(MPa)  
 $a, b$ : 강도발현계수

Logistic Curve:

$$F_i = \frac{F_c}{1 + \exp(-K \log M + m)} \quad (2)$$

$F_i$ : 종국강도(MPa)  
 $M$ : 적산온도(°D),  $K, m$ : 회귀계수

### 3. 실험결과

2.1에 실험개요에 따른 등가재령 및 ACI식의 강도발현 회귀계수는 다음 표3, 표4와 같다. 양생온도별 적산온도 및 Logistic Curve의 BFSP 혼입율별 회귀계수 표5, 6와 같다. 혼입율, 적산온도별 측정강도와 예측강도의 결과는 다음 그림(1)과 그림(2)와 같다.

재령 3일에 있어서 BFSP의 혼입율에 따른 실측강도와 예측강도의 차이가 0.3MPa~1.2MPa로 나타나 초기재령에 있어서 회귀계수가 고려된 ACI제안식으로 강도예측이 가능 할 것이라고 사료된다. 한편, 동일한 적산온도에서 BFSP 혼입율별 콘크리트 강도가 감소하고 OPC 실측강도>예측강도 관계와 유사한 경향을 보인다.

표 3. 온도조건에 따른 재령 3일의 등가재령 (Day)

온도조건 (°C)	양생기간 (Day)	Rastrup 함수	Freiesleben 함수
10	3	2	1.5
30	3	4	4.7

표 4. BFSP 혼입율별 회귀계수 (ACI식)

시험체	BFSP 혼입율 (%)	설계기준강도 (MPa)	회귀계수 Rastrup 함수		회귀계수 Freiesleben 함수	
			a	b	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	0.94	7.15	0.92

표 5. 양생온도별 적산온도

양생온도 (°C)	재령 (Day)	적산온도 (D·D)
10	3	60
	7	140
30	3	120
	7	280

표 6. BFSP 혼입율별 회귀계수 (K, m) (Logistic Curve)

시험체	BFSP 혼입율 (%)	K	m	m
OPC	0	1.47	3.17	0.22
B15	15		2.19	4.84
B30	30		2.36	5.37
B50	50		2.90	6.67

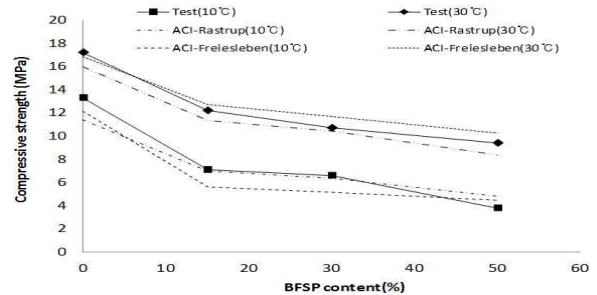


그림 1. 양생온도 및 BFSP혼입율에 따른 강도변화 (ACI 제안식)

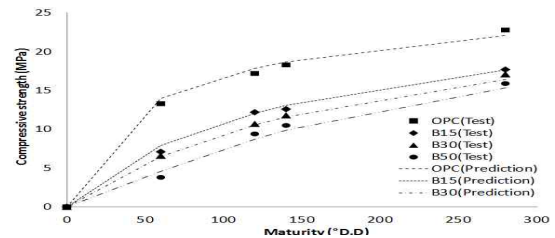


그림 2. 적산온도에 따른 강도변화 (Logistic Curve)

### 3. 결론

본 연구에서는 기존의 강도예측모델을 이용하여 BFSP 혼입 콘크리트에 대한 적용성을 검토하였다. 향후, BFSP 혼입율에 따른 콘크리트의 압축강도-적산온도의 상관성을 높이기 위해서는 등가재령 계산 시 이용되는 활성화 에너지에 대한 연구 및 많은 수준의 압축강도-적산온도의 실험결과를 통해 보다 정확한 예측 모델식 개발이 필요하다고 사료된다.

### 감사의 글

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

### 참고 문헌

- 김무한, 남재현, 김규용, 배수, 한장현, 주지현, 콘크리트 압축강도와 적산온도 관계에 관한 실험적 연구, 대한건축학회학술발표논문집 제 19권 2호, pp.690~695, 1999.10
- Freiesleben Hansen, P. and Pederson, J., Maturity Computer for Controlled Curing and Hardening of Concrete Strength, Nordisk Betong, pp.19~.34, 1977
- Guo Chengju, Maturity of Concrete : Method for Prediction of Early-Stage Strength, ACI Material Journal, July, 1989