

# 등가재령을 이용한 콘크리트의 강도예측에 의한 건설생산현장에서의 강도관리에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Strength Control by Prediction Strength of Concrete using Equivalent Age in Construction Field

○주 지 현\*  
Joo, Ji-Hyun  
길 배 수\*\*  
Khil, Bae-Su

최 성 우\*  
Choi, Sung-Woo  
남 재 현\*\*\*  
Nam, Jae-Hyun

박 선 규\*  
Park, Sun-Gyu  
김 무 한\*\*\*  
Kim, Moo-Han

### ABSTRACT

Nowadays, strength control is performed by test of compressive strength of concrete which is taken in construction field. But because it is possible to confirm only compressive strength of concrete by that way, it is difficult to performing strength control or process plan. So if we can predict compressive strength of concrete, we can decide when shores and forms can be removed safely, plan process efficiently.

This study intends to propose basic data for strength control as determination the time of formwork removal through investigating propriety of strength prediction using Freiesleben function.

### 1. 서 론

현재 건설생산현장에서 이루어지고 있는 거푸집 제거 시기 결정, 설계기준강도 확보 등의 강도관리 는 건축공사표준시방서 등의 규준에 준하여 실시되거나 공사현장에 반입되는 콘크리트의 샘플을 채취 하여 표준양생을 실시한 시험체의 압축강도시험을 통하여 이루어지고 있다. 그러나, 이러한 방법에 의 해서는 거푸집 제거 가능 강도 및 설계기준강도 발현의 확인은 가능하지만 그 시점을 예측할 수 없다 는 단점이 있기 때문에 건설생산현장에서 공정계획 또는 강도관리에서 한계가 있을 수밖에 없다. 이에 따라 콘크리트의 강도예측을 할 수 있으면 보다 합리적인 강도관리 및 공정계획이 가능하게 된다.

따라서 본 연구는 현재 보편적으로 사용되고 있는 물시멘트비 55, 50%의 콘크리트를 제조하여 양생 온도별 콘크리트의 강도발현특성을 파악한 후 등가재령의 일종인 Freiesleben 함수<sup>1)2)</sup>를 이용하여 기존 에 제안된 강도예측모델의 콘크리트 강도예측에 관한 검증 및 모의부재 제작은 통한 실구조물 적용의 타당성 검토를 통해 건축공사현장에서의 거푸집제거시기결정 등의 강도파리를 위한 기초적 자료를 제 시하여 건설생산현장에서 공정의 단축 및 합리화를 도모하고자 한다

\* 심희원, 충남대학교 대학원 건축공학과

\*\* 강희원, 대전대학교 내국원 건축공학과

\*\*\* 심희원, 대신대학교 건축공학과 교수·공박

< > 심희원, 충남대학교 건축공학과 교수·공박

표 1 실험계획 및 배합

종류	W/C (%)	양생 온도 (°C)	목표 슬럼프 (cm)	목표 공기량 (%)	고성능 감수제 (%)	S/A (%)	단위수량 (kg/m³)			측정 항목	분석요인	
							단위수량 (kg/m³)	C	S		G	등가재령함수
실린더 모의부재	55	5 10	15±2	45±15	0.3	48	186	338	820	886	압축 강도	Freiesleben Flowman Curve Logistic Curve Gompertz Curve
	50	20 30					183	366	796	895		

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

본 연구의 실험계획 및 배합은 표 1과 같으며 본 실험에서 사용한 등가재령함수인 Freiesleben 함수는 다음과 같다.

$$Te = \int_0^t \exp[Ea/R \cdot (1/Ts - 1/Ta)] dt$$

여기에서

Ta : 양생온도(°K)

Ea : 활성화에너지(KJ/mol)

Te : 표준온도와 같은 재령

Ts : 293(273+20 : °K)

R : 절대온도(°K)

2.2 사용재료 및 비법방법

본 실험에서 사용한 재료는 표 2와 같으며, 콘크리트의 비법은 모든 재료를 일괄투입하여 100ℓ 강제식 팬타입 믹서를 사용하였다. W60×D60×H60cm의 모의부재의 내부온도는 Maturity Meter에 연결된 Thermocouple을 이용하여 측정하였다. 치기가 끝난 모의부재의 온도측정 위치는 그림 1과 같다.

표 2 사용재료의 물리적 성질

시멘트	OPC, 비중 3.15, 분말도 3,200cm²/g
고성능감수제	폴리카르본산계, 비중 1.10
잔골재	강모래, 최대치수 : 5mm, 비중 : 2.56
굵은골재	부순자갈, 최대치수 : 25mm, 비중 : 2.56

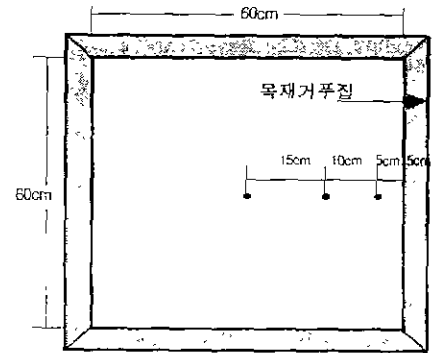


그림 1 모의부재의 온도측정위치

3. 실험 결과 및 분석

3.1 강도와 적산온도관계

그림 2는 물시멘트비 55, 50%의 콘크리트를 양생온도에 따른 강도 발전성상을 Freiesleben의 활성화에너지를 이용하여 양생온도 20°C를 기준으로 한 등가재령함수로 나타낸 것으로 콘크리트의 강도에 대한 온도의 영향을 잘 설명하고 있는 것으로 나타났다.

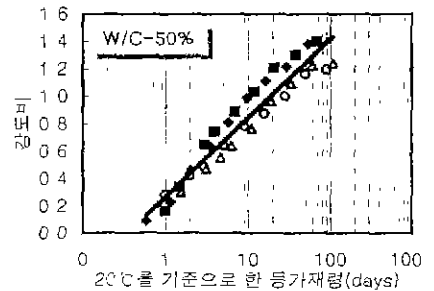
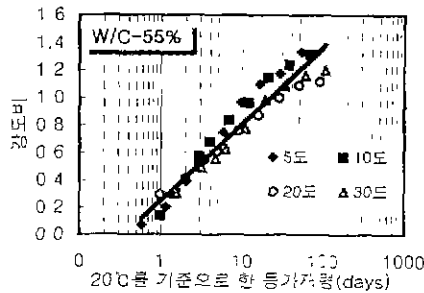


그림 2 Freiesleben-활성화에너지를 이용한 등가재령

### 3.2 강도예측식에 의한 강도예측

표 3에 각 강도예측모델식의 계수도출결과를 나타내었다. 또한, 그림 3은 Plowman, Logistic 및 Gompertz식<sup>3)</sup>을 이용한 강도예측결과를 나타낸 것으로 모든 예측모델식에서 초기재령의 경우 높은 상관성을 보이고 있으며 전체적으로 물시멘트비가 높을수록, Logistic, Gompertz식이 Plowman식에 비해 상대적으로 결정계수가 높게 나타나고 있다. 이에 따라 본 실험에서는 Logistic과 Gompertz식의 경우 유사한 강도예측율을 보이고 있지만 Logistic식이 재령 전반에 걸쳐 높은 상관성을 보이고 있어 이를 이용하는 것이 강도관리에 보다 유리할 것으로 사료된다.

### 3.3 등가재령을 이용한 강도관리

Freiesleben함수를 이용한 등가재령의 강도예측모델을 이용한 강도관리측면으로 거푸집제거시기를 예측할 수 있다. 이에 본 연구에서는 부계조건, 즉 기동, 기초, 보엿, 측벽의 경우 압축강도 시험을 행할 경우 거푸집을 제거할 수 있는 압축강도 50kgf/cm<sup>2</sup>이 발현하는데 소요되는 재령을 본 연구에서 이용된 예측모델로부터 산정하여 KS, JASS 5, ACI에서 제시하고 있는 거푸집존치기간 및 압축강도 50kgf/cm<sup>2</sup> 발현재령을 표 4에 나타내었다.<sup>4),5),6)</sup>

그림 4는 모의부재와 공시체의 온도변화곡선을 나타낸 것으로 측정한 모의부재의 온도이력값을 이용하여 코어공시체의 등가재령을 산정하였다.

모의부재의 압축강도와 내부온도측정결과를 표

5에 나타내었으며, 그림 5는 양생온도 20°C에서 거푸집제거 가능압축강도 50kgf/cm<sup>2</sup> 발현하는데 소요되는 재령을 본 실험의 예측모델에서 산정된 재령과 JASS 5에서 규정하고 있는 재령 및 KS, JASS 5, ACI에서 제시하고 있는 거푸집존치기간을 비교한 것으로 압축강도 50kgf/cm<sup>2</sup>을 발현하는데 소요되

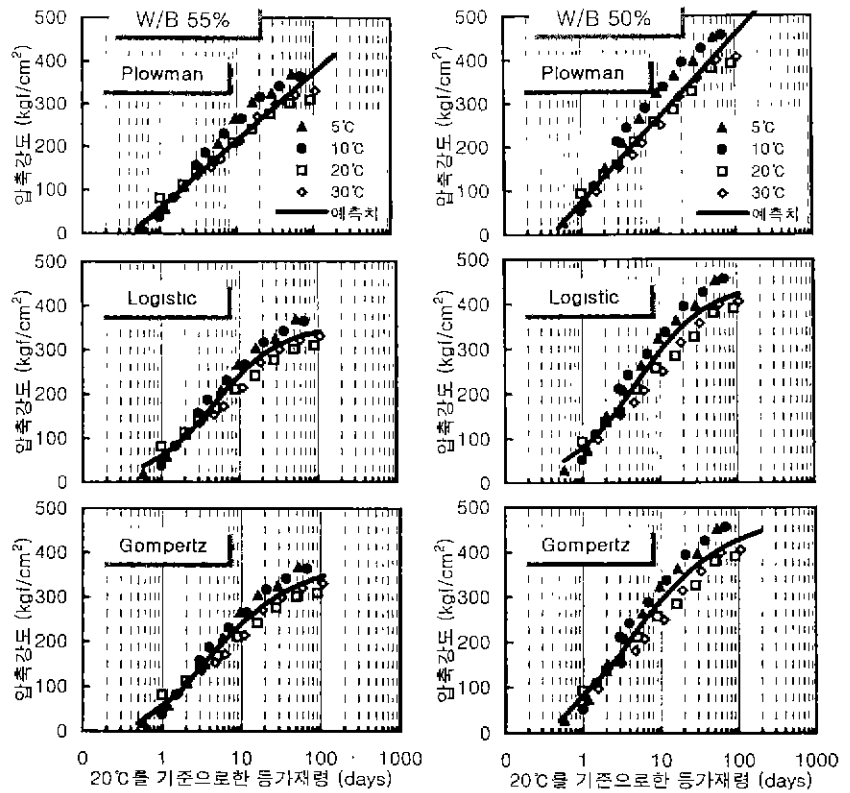


그림 3 강도예측모델을 이용한 강도예측결과

표 3 각 강도 예측모델식의 계수도출 결과

Plowman의 모델식							
$S = a + b \log(M)$							
물시멘트비 50%			물시멘트비 55%				
a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>		
73.221	83.182	0.9331	57.736	68.074	0.9338		
Logistic의 모델식							
$F_c = \frac{F_\infty}{1 + \exp(-K \log M + m)}$							
물시멘트비 50%			물시멘트비 55%				
F <sub>∞</sub>	K	m	R <sup>2</sup>	F <sub>∞</sub>	K	m	R <sup>2</sup>
445.03	0.9576	1.5362	0.9361	354.72	1.0254	1.6052	0.9526
Gompertz의 모델식							
$F_c = F_\infty \exp(-a(1/M)^b)$							
물시멘트비 50%			물시멘트비 55%				
F <sub>∞</sub>	a	b	R <sup>2</sup>	F <sub>∞</sub>	a	b	R <sup>2</sup>
491.01	1.9423	0.5759	0.9373	338.54	2.0040	0.6182	0.9522

표 4 기초, 보형, 기둥 및 벽의 거꾸집존치기간 및 압축강도 50kgf/cm<sup>2</sup>을 얻기위한 재령(O.P.C, 20℃ ≤)

	KS	JASS 5	ACI	예측식
존치기간	4	4	1	-
소요재령(w/c-50,55)	-	1.0, 1.5	-	0.58, 0.82

표 5 모의부재 내부온도와 압축강도 측정결과

측정재령 (days)	측정재령(Δt)까지의 온도 (℃)		실측강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	W/C 55%	W/C 50%	W/C 55%	W/C 50%
3	10.8	10.9	90	109
4	9.1	9.5	105	118
7	5.2	5.5	159	196
28	2.6	2.8	285	339

는 재령이 JASS 5에 비해 본 실험의 예측모델에 의한 재령이 W/C 50%, 55%에서 0.42일, 0.68일 빠르게 나타났고, 각 기준의 존치기간에 비해 상당히 앞당겨진 것으로 나타나 이를 활용할 경우 건축공사현장에서 거꾸집제거시기를 단축시킬 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 코어 공시체 및 현장양생공시체의 강도가 예측모델보다 높게 발현하고 있어 Logistic curve식에 의한 실구조물에서의 강도예측이 타당할 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

- 1) 강도예측모델에 의한 강도예측결과 모두 높은 상관성을 보여 이를 이용한 보통강도콘크리트의 강도예측이 가능한 것으로 사료되며, 강도관리를 위해서는 재령전반에 걸쳐 높은 상관성을 나타내는 Logistic모델을 사용하는 것이 합리적일 것으로 사료된다.
- 2) 본 실험범위 내에서 강도관리측면으로 양생온도 20℃의 경우 Logistic모델 사용시 압축강도 50kgf/cm<sup>2</sup> 발현시점이 기준에 제안된 기준과 비교하여 빠르게 나타나고 있어 이를 건축공사현장에서 사용할 경우 거꾸집제거시기의 단축에 의한 공기단축이 가능할 것으로 사료된다

#### 참 고 문 헌

1. Guo Chengju, Maturity of Concrete - Method for Predicting Early-Stage Strength. ACI Material Journal, 1989. 7
2. 김무한 외, 콘크리트의 압축강도와 적산온도에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제 19권 제2호 1999. 10. 30
3. Plowman, J. M., " Maturity and the Strength of Concrete", Magazine of Concrete Research, Vol 8, No. 22, 1956 pp 13~22
4. 한국콘크리트학회, 콘크리트표준시방서, 1999
5. 日本建築学会, 建築工事標準仕様書・同解説. JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 1997
6. ACI Committee 347, Guide to Formwork for Concrete

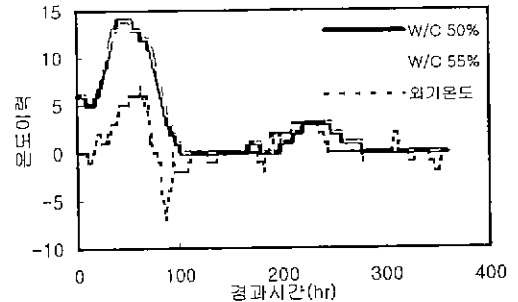


그림 4. 모의부재의 온도변화곡선

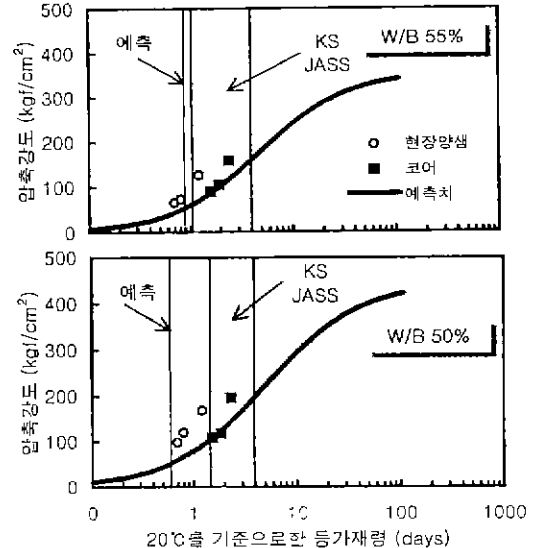


그림 5 Logistic식에 의한 강도추정 및 모의부재강도와와의 관계