

# 등가재령을 이용한 콘크리트의 강도예측에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Concrete Strength Prediction by Method of Equivalent Ages

○한 장 현<sup>\*</sup>  
Han, Jang-Hyun  
김 규 용<sup>\*\*\*</sup>  
Kim, Gyu-Yong

주 지 현<sup>\*</sup>  
Joo, Ji-Hyun  
남 재 현<sup>\*\*\*</sup>  
Nam, Jae-Hyun

길 배 수<sup>\*\*</sup>  
Khil, Bae-Su  
김 무 한<sup>\*\*\*\*</sup>  
Kim, Moo-Han

### ABSTRACT

The aim of this study is to predict concrete strengths by method of equivalent ages. The method of equivalent ages is to use Arrhenius equation which indicates the influence of curing temperature on the initial hydration ratio in cement. Experimental factors are in this study. The water-cement ratios of concrete mixtures are 0.60, 0.55, 0.50 and 0.45. The curing temperatures within the four chambers are 30, 20, 10 and 5°C.

The test results showed that equivalent age can be used to predict compressive strength of concrete at early ages.

### 1. 서론

콘크리트의 강도를 예측하기 위한 기술적인 방법의 하나인 적산온도방식은 크게 Nurse-Saul함수와 화학반응 속도식의 일종인 Arrhenius식을 응용한 등가재령의 표현식 두 가지 방식이 있다. 이 중 등가재령의 표현식은 초기 시멘트 수화율에 대한 온도의 영향을 나타낸 것으로 임의재령에서의 콘크리트 강도예측에 많이 이용되어 왔다.<sup>1,2)</sup> 따라서 본 연구에서는 그림 1에 나타낸 바와 같이 강도시스템 제안을 위한 일련의 프로세스에서 현장배합표를 수집하고, 각 물시멘트비별 배합을 설정하여 양생온도에 따른 강도발현특성을 검토하고자 하였다. 또한, 등가재령방식의 적용성을 검토하고 기존의 Plowman의 예측식을 이용하여 임의재령에서의 강도를 예측을 함으로써 건설현장에서 구조체콘크리트의 품질관리 및 공정관리에 활용할 수 있는 기초적 자료를 제시하고자 한다.

\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 대학원

\*\* 정회원, 대전대학교 건축공학과 대학원

\*\*\* 정회원, 충남대학교 산업기술연구소 연구원, 공박

\*\*\*\* 정회원, 대전대학교 건축공학과 교수·공박

\*\*\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수·공박

표 1. 실험계획 및 배합

W/C (%)	양생온도 (°C)	목표 슬럼프 (cm)	목표 공기량 (%)	SP (%)	S/A (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위 중량 (kg/m <sup>3</sup> )			측정항목	
							C	S	G	굳지않은 콘크리트	경화콘크리트
60	30	15±2	4.5±1.5	0.3	48	187	312	830	896	· 비빔온도 · 공기량 · 슬럼프	· 압축강도 · 등가재령
55	20						338	820	886		
50	10						366	796	895		
45	5						398	772	904		

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

본 실험의 계획 및 배합은 표 1과 같이 건설생산 현장에서 이용되는 배합을 수집, 분석을 통해 물시멘트비 60, 55, 50, 45%의 보편적인 보통강도 콘크리트의 배합을 설정하였다.

본 연구에서 이용된 등가재령 산정식은 다음과 같다.

$$T_e = \sum \exp[Q \cdot (1/T_s - 1/T_a)] dt \dots \dots (1)$$

Te : 표준온도(20°C) 재령에 해당되는 재령

Ta : 양생온도(°K) Ts : 293(°K)

Q=E/R(5000°K)<sup>3</sup>, E : 활성화에너지, R : 기체상수

2.2 사용재료

본 실험에서 사용된 재료 및 특성은 표 2와 같다.

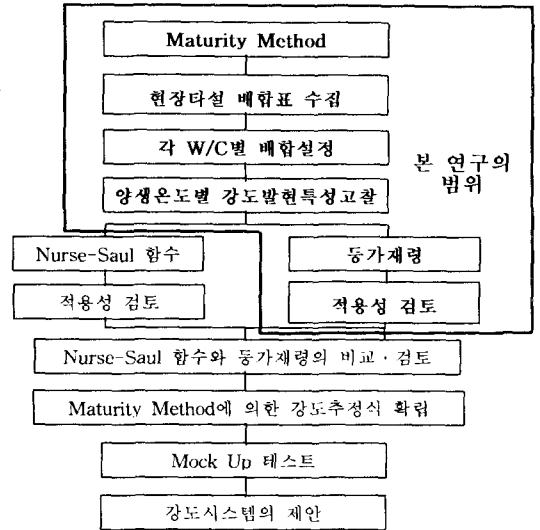


그림 1. 연구의 프로세스 및 범위

3. 실험결과 분석 및 고찰

3.1 굳지않은 콘크리트

본 실험의 굳지않은 콘크리트 시험결과를 표 3에 나타내었다.

3.2 콘크리트의 압축강도 발현 성상

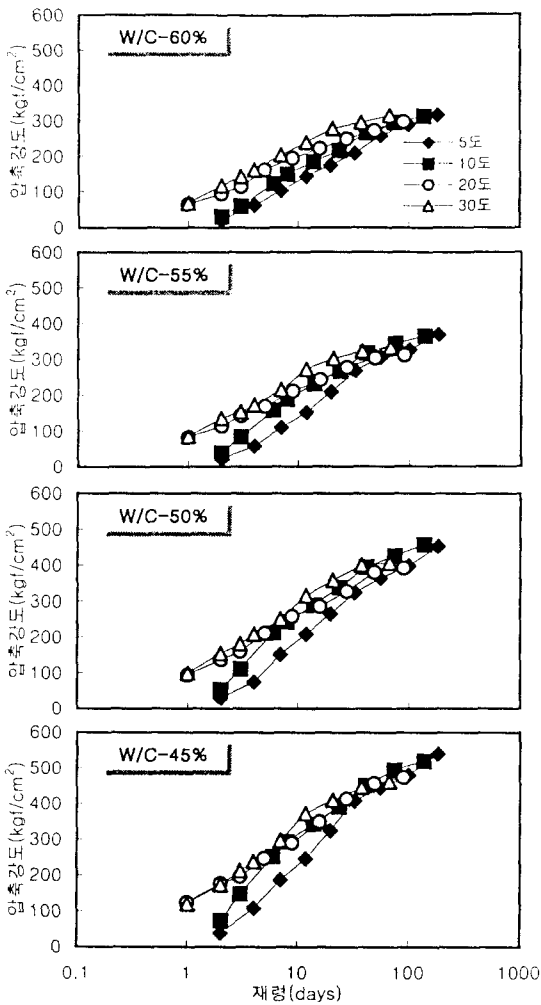
그림 3의 (a)는 재령에 따른 각 물시멘트비에서 양생온도별 압축강도를 나타낸 그림으로 동일한 재령

표 2. 사용재료의 물리적 성질

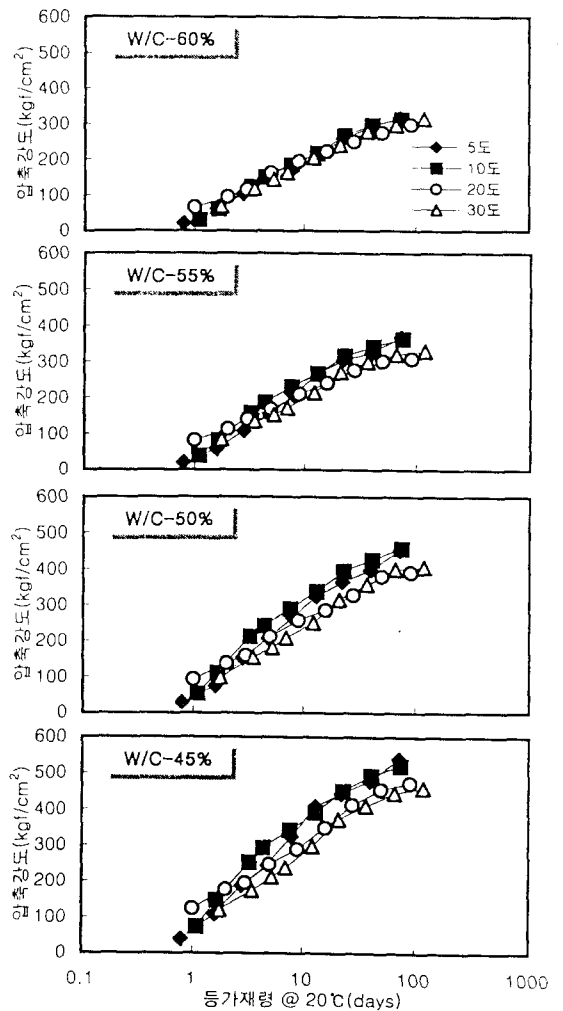
시멘트	보통포틀랜드시멘트 비중 : 3.15, 분말도 : 3,200(cm <sup>2</sup> /g)
고성능감수제	주성분 : Synthetic Polymer 비중 : 1.10
잔골재	강모래 최대치수 : 5(mm) 비중 : 2.56
굵은골재	부순자갈 최대치수 : 25(mm) 비중 : 2.56

표 3. 굳지않은 콘크리트의 시험결과

5°C				10°C			
물시멘트비(%)	슬럼프(cm)	공기량(%)	비빔온도(°C)	물시멘트비(%)	슬럼프(cm)	공기량(%)	비빔온도(°C)
60	14.0	4.2	5.0	60	13.0	4.4	11.0
55	14.5	4.0	5.0	55	19.0	4.2	9.0
50	14.5	3.5	4.5	50	18.5	4.6	12.0
45	15.0	4.5	5.0	45	13.0	4.5	13.0
20°C				30°C			
물시멘트비(%)	슬럼프(cm)	공기량(%)	비빔온도(°C)	물시멘트비(%)	슬럼프(cm)	공기량(%)	비빔온도(°C)
60	13.0	4.1	22.0	60	9.5	5.7	25.0
55	17.0	4.5	22.5	55	10.9	4.9	25.0
50	15.4	5.5	22.0	50	16.5	6.2	24.5
45	19.4	5.6	23.0	45	12.1	6.6	25.0



(a) 양생온도별 재령에 따른 강도발현



(b) 양생온도별 등가재령에 따른 강도발현

그림 3. 재령 및 등가재령에 따른 양생온도별 강도발현 성상

이라도 재령 28일까지 양생온도 20, 30°C의 경우 5, 10°C의 경우에 비해 상대적으로 높은 강도수준을 보이고 있으나, 재령 28일 이후에는 유사한 강도수준을 보이고 있다.

그림 (b)는 등가재령에 따른 양생온도별 압축강도를 나타낸 것으로 그림 (a)에 비해 동일한 등가재령에서의 콘크리트의 강도는 양생온도에 관계없이 유사한 강도수준을 나타내고 있어 이를 이용한 임의재령에서의 강도예측이 가능할 것으로 사료된다.

그러나, 물시멘트비가 낮은 배합일수록 양생온도 20, 30°C에서의 콘크리트 강도가 5, 10°C에 양생된 강도보다 재령이 경과할수록 낮게 나타내고 있다. 이는 본 실험에서 동일하게 사용된 활성화에너지 값(41.57KJ/mol)에 의한 결과로 사료된다.

### 3.3 예측식과 실험치와의 비교

등가재령을 이용한 임의재령에서의 콘크리트 강도예측을 위해 본 연구에서는 기존의 강도예측식 중

Plowman<sup>4)</sup>의 예측식을 이용하여 각 물시멘트비별로 강도를 예측하였으며 이용식은 다음과 같다.

$$S = a + b \ln(\text{Te}) \dots \dots (2)$$

그림 4는 Plowman의 예측식에 의한 강도예측 결과를 나타낸 그림으로 본 실험의 등가재령 범위 내에서 강도 예측율이 높게 나타나 등가재령 방법에 의한 임의재령에서의 콘크리트 강도예측은 가능할 것으로 사료된다.

그러나 보다 정확한 강도예측을 위해서는 국내 1종 포틀랜드시멘트에 대한 물시멘트비별 활성화에너지에 대한 정확한 값이 요구되어 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

등가재령을 이용한 임의재령에서의 콘크리트 강도예측을 위한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- 1) 동일한 등가재령에서 콘크리트의 압축강도는 양생온도에 관계없이 유사한 강도수준을 보여주고 있어 이를 이용한 콘크리트 강도예측이 가능한 것으로 사료된다.
- 2) 본 실험의 수준(활성화에너지 41.57KJ/mol)에서는 물시멘트비가 높을수록 높은 강도 예측율을 보여주고 있다.
- 3) 등가재령을 이용한 강도예측에 있어 보다 정확한 강도예측을 위해서는 국내 보통포틀랜드시멘트에 대한 물시멘트비별 활성화에너지에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

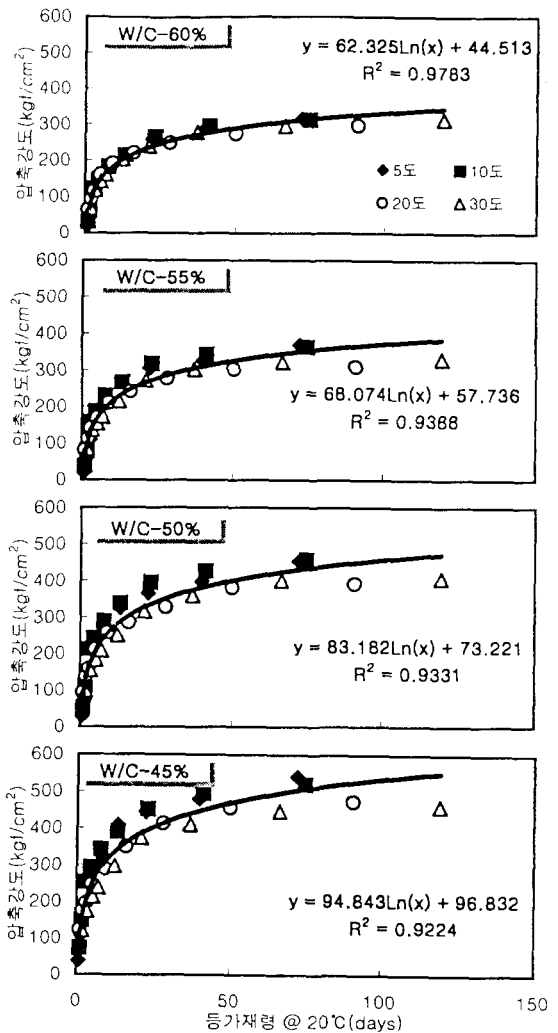


그림 4. Plowman 식에 의한 등가재령과 실측치와의 관계

#### 참고문헌

- 1) 김무한 외, "적산온도에 의한 콘크리트의 압축강도 증진해석에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집 14권 12호 1998년 12월
- 2) 남재현 외, "적산온도에 의한 고강도 콘크리트의 강도예측을 위한 예측모델의 적용성 검토", 대한건축학회논문집 17권 7호 1997년 7월
- 3) "Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method", ASTM C 1074-93
- 4) Plowman, J. M., "Maturity and the Strength of Concrete", Magazine of Concrete Research(London), Vol. 8, No. 22, pp.13~22, 1956