

# 콘크리트 강도에측을 위한 적산온도 함수의 활성화에너지에 관한 연구

## A Study on the Activation Energy of Maturity Function for Prediction of Concrete Strength

장 종 호 <sup>*</sup>	강 용 식 <sup>**</sup>	김 용 로 <sup>*</sup>
Jong-Ho Jang	Yong-Sik Kang	Yong-Ro Kim
길 배 수 <sup>***</sup>	남 재 현 <sup>****</sup>	김 무 한 <sup>*****</sup>
Bae-Su Khil	Jae-Hyun Nam	Moo-Han Kim

### ABSTRACT

Activation energy value is different according to cement, admixture and water-cement ratio also the relation of age-temperature is as non-linear as activation energy value is large. So to make accurate explanation for the effect of temperature on concrete strength development property, it is necessary to investigation for activation energy value.

This study compares activation energy value recommended by Freiesleben and ASTM with activation energy value obtained by consequence of mortar examination according to ASTM C 1074-93.

As the result of this study, activation energy value obtained by the study is 37.19KJ/mol, and in case of activation energy value obtained by the study explain temperature's influence about concrete strength development more accurate than activation energy value recommend by Freiesleben and ASTM.

### 1. 서 론

콘크리트의 강도를 예측하기 위한 기술적인 방법의 하나인 적산온도방식은 크게 Nurse-Saul 함수와 화학반응속도식의 일종인 Arrhenius식을 응용한 등가재령 함수의 두가지 방식이 있다.<sup>1)</sup> 이 중 등가재령 함수는 초기 시멘트 수화율에 대한 온도의 영향을 정확하게 표현하기 위해 활성화에너지 값이 이용되고 있으나 활성화에너지 값은 시멘트, 혼화재, 물시멘트비 등에 따라 다르게 나타나며 활성화에너지 값이 클수록 재령-온도의 변화는 비선형으로 나타나 콘크리트 강도발현특성에 대한 온도의 영향을 정확하게 설명하기 위해서는 활성화에너지 값에 관한 검토가 필요하다.<sup>2),3)</sup>

따라서 본 연구에서는 ASTM C 1074-93<sup>4)</sup>에 준하여 모르타 시험의 결과로부터 구한 활성화에너지 값과 Freiesleben 및 ASTM에서 권장하고 있는 활성화에너지 값을 비교·평가함으로써 임의 재령에서 보다 정확한 콘크리트의 강도를 예측하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

\* 정희원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정  
\*\* 정희원, 대전대학교 대학원 건축공학과, 석사과정  
\*\*\* 정희원, Tripod Company, 대표이사·공박  
\*\*\*\* 정희원, 대전대학교 건축공학과, 교수·공박  
\*\*\*\*\* 정희원, 충남대학교 건축공학과, 교수·공박

표 1. 실험계획 및 배합

양생 온도 (°C)	W/C (%)	목 표 슬럼프 (cm)	S/a (%)	단 위 수 량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )			측정항목	활성화에너지 (KJ/mol)
					시멘트	잔골재	굵은골재		
*	55	15±2	48	186	338	820	886	· 응결시간 · 압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	- Freiesleben - ASTM 40, 45 - 실험값

\* 모르터 : 5, 20, 40°C, 콘크리트 : 5, 10, 20, 30°C

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

본 실험의 실험계획 및 배합은 표 1에서 보는 바와 같이 물시멘트비 55%의 콘크리트를 제조하여 굵은골재를 제거한 후 ASTM C 1074-93의 활성화에너지 결정방법에 준하여 모르터 시험결과로부터 구한 활성화에너지 값과 Freiesleben 및 ASTM에서 권장하고 있는 활성화에너지 값을 이용하여 콘크리트의 강도발현 특성을 비교·평가하였다.

본 실험에서 사용한 등가재령함수는 다음과 같다.

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

여기에서,  
 Te : 등가재령                      Ea : 활성화에너지(KJ/mol)  
 Ta : 양생온도(, K)                R : 기체 상수(8.314 J/mol)  
 Ts : 293(273+20 ;, K)

2.2 사용재료 및 비빔방법

본 실험에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 2에 나타난 바와 같이 시멘트는 비중 3.15의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며 잔골재는 비중 2.56의 강모래, 굵은골재는 최대치수 25mm의 부순자갈을 사용하였다.

콘크리트의 비빔은 100ℓ의 강제식 팬타입믹서를 이용하여 재료를 일괄투입한 후 건비빔을 60초간 실시하고, 물과 고성능감수제를 첨가하여 1분 30초간 비빔을 실시하였으며 총 비빔시간은 2분 30초 소요되었다.

표 3. 모르터 시험결과

3. 실험결과 및 고찰

3.1 활성화에너지 값 결정

표 3은 활성화에너지를 구하기 위한 모르터 시험결과를 나타낸 것이며 그림 1은 양생온도별 종결도달시간을 제외한 재령의 역수에 대한 강도의 역수 관계를 나타낸 것으로 y절편을 기울기로 나눈 값 K는 양생온도 5, 20, 40°C에 있어서 각각 0.129, 0.225, 0.767로 나타났다. 또한 그림 2는 절대온도 역수에 대한 자연로그 K값의 관계를 나타낸 것으로 직선의 (-)기울기는 활성화에너지(Ea)값을 기체상수(8.314J/mol)로 나눈 값이다. 따라서 본 실험에서 구하여진 활성화에너지(Ea)값은 37.19KJ/mol로 나타났다.

양생온도 (°C)	종결시간 (h : m)	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )					
		×2	×4	×8	×16	×32	×64
5	25 : 10	54	122	222	319	367	414
20	9 : 58	47	130	209	304	412	437
40	5 : 30	65	150	230	313	366	420

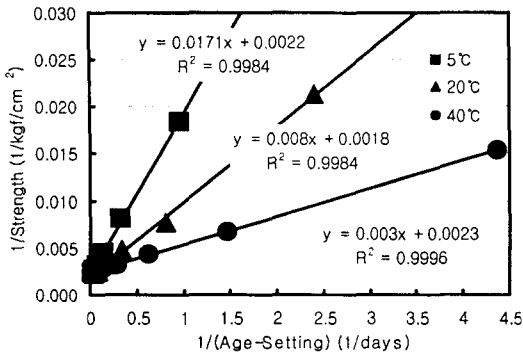


그림 1. 종결도달시간을 제외한 재령의 역수에 대한 강도의 역수관계

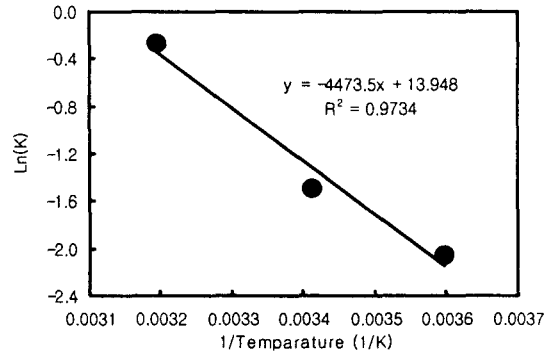


그림 2. 절대온도의 역수에 대한 자연로그 K값의 관계

### 3.2 재령환산계수의 비교

그림 3은 Freiesleben 및 ASTM에서 권장하고 있는 활성화에너지 값과 본 실험에서 구한 활성화에너지 값을 이용하여 재령환산계수로 나타낸 것으로 20℃ 이상에서는 온도가 높아질수록 재령환산계수가 급격히 커지는 것을 알 수 있다. 또한 활성화에너지 값이 클수록 온도에 따른 재령환산계수는 상대적으로 크게 나타나고 있어 시간과 온도의 함수인 등가재령 값이 크게 될 것으로 사료된다.

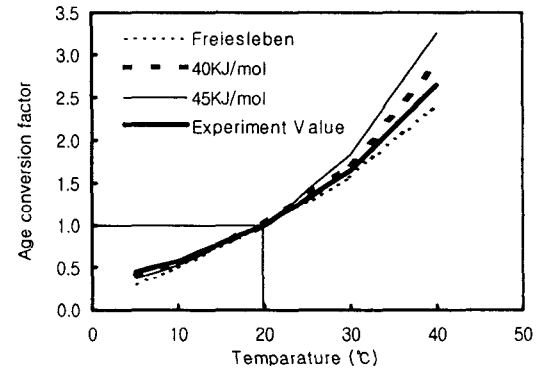


그림 3. 재령환산계수의 비교

### 3.3 강도-적산온도 관계

그림 4는 재령에 따른 양생온도별 압축강도를 나타낸 것으로 재령 28일까지는 양생온도 20, 30℃의 경우가 5, 10℃의 경우에 비해 상대적으로 높은 강도수준을 보이고 있으나 재령 28일 이후에는 유사한 강도수준을 보이고 있다.

그림 5는 활성화에너지별 등가재령에 따른 강도발현 성상을 나타낸 것으로 본 실험에서 구한 활성화에너지 값을 사용한 등가재령 함수가 기존의 Freiesleben 및 ASTM에서 권장하고 있는 활성화에너지 값 보다 결정계수(R²) 값이 높게 나타나고 있어 온도의 영향을 보다 정확하게 설명하고 있는 것으로 나타났다.

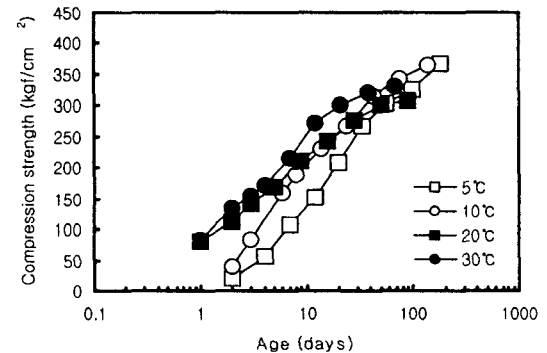


그림 4. 재령에 따른 압축강도의 변화

## 4. 결론

콘크리트 강도예측을 위한 적산온도 함수의 활성화에너지 값을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

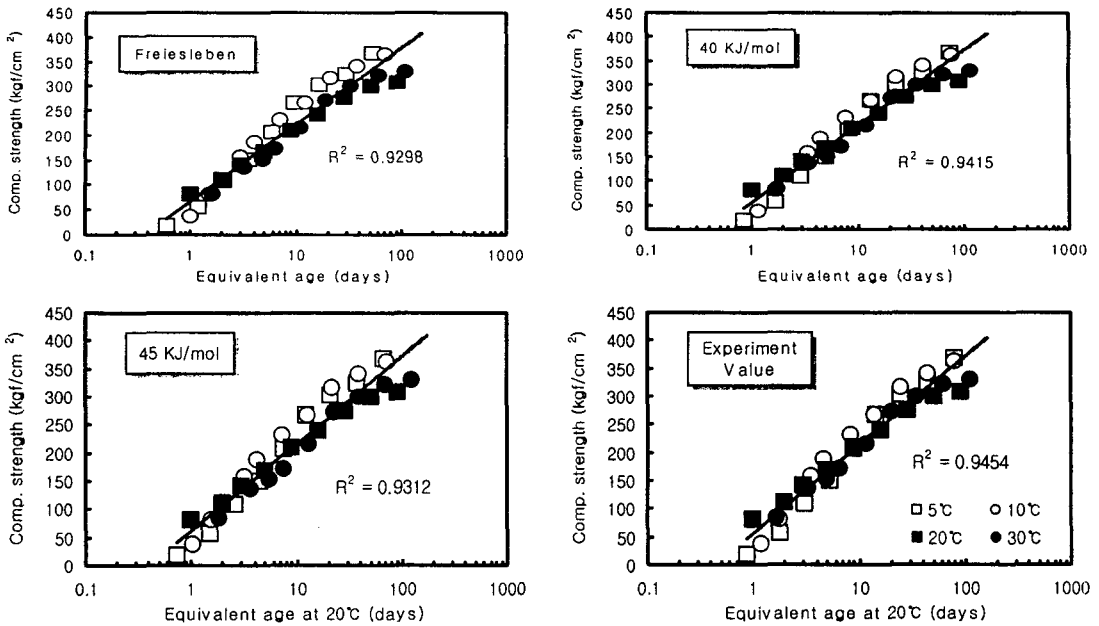


그림 5 등가재령에 따른 강도발현 성상

- (1) 본 실험에서 구하여진 활성화에너지(Ea) 값은 37.19KJ/mol로 나타났다.
- (2) 본 실험에서 구한 활성화에너지 값을 사용한 등가재령 함수가 기존의 Freiesleben 및 ASTM에서 권장하고 있는 활성화에너지 값 보다 결정계수( $R^2$ ) 값이 높게 나타나고 있어 콘크리트 강도 발현에 관한 온도의 영향을 보다 정확하게 설명하고 있는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구과제 「적산온도기법을 활용한 콘크리트 구조물의 강도관리 프로그램 및 시공관리 시스템 개발」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다. [과제번호 : R01-2001-000-00456-0]

#### 참고문헌

1. 김무한 외, 적산온도방식에 의한 콘크리트의 압축강도 증진해석에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 구조계 14권 12호, 1998. 12, pp. 103~110.
2. Tank, R.C., and Cario, N.J., Rate Constant Functions for Strength Development of Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 88, No. 1, January-February, 1991, pp. 74~83.
3. Freiesleben Hansen, P. and Pederson, J., Maturity Computer for Controlled Curing and Hardening of Concrete Strength, Nordisk Betong, 1977, pp.19~34.
4. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method, ASTM C 1074-93.