

積算溫度를 活用한 強度豫測모델의 建設生産現場 適用性 검토에 關한 研究

A Study on the Investigation of Application in Construction Field of Strength Prediction Model using Maturity Method

주 지 현* 장 종 호* 김 재 환* 길 배 수** 남 재 현*** 김 무 한****
Joo, Ji-Hyun Jang, Jong-Ho Kim, Jae-Hwan Khil, Bae-Su Nam, Jae-Hyun Kim, Moo-Han

Abstract

If predicting of compressive strength of construction in construction field at early age is possible, rational strength management & schedule plan is possible. With method for predicting strength of concrete, many researchers have been making study of maturity method.

On the other hand, nowadays rationalization of construction capacity and reduction of a term of works due to improvement of construction capacity and application of a new method of construction is gathering strength with important issue. In accordance with this present condition, construction is being progressed in winter, but proper construction method and countermeasure for strength management is not established in case of winter construction.

Therefore to investigate application in construction field at winter of strength prediction model that developed at former study, this study aim to measure application of developed strength prediction model through manufacture of mock-up concrete according to kind of strength level at 5℃.

키 워 드 : 적산온도, 강도예측모델, 건설생산현장, 시공관리

Keywords : Maturity method, Strength prediction model, Construction field, Construction management

1. 서 론

현재 건설생산현장에서 이루어지고 있는 거푸집 제거 시기 결정, 설계기준강도 확보 등의 강도관리는 건축공사표준시방서 등의 규준에 준하여 실시되거나 공사현장에 반입되는 콘크리트의 샘플을 채취하여 표준양생을 실시한 시험체의 압축강도 시험을 통하여 이루어지고 있다. 그러나, 이러한 방법의 의해서는 거푸집 제거 가능 강도 및 설계기준강도 발현의 확인은 가능하지만 그 시점을 예측할 수 없다는 단점이 있기 때문에 건설생산현장에서 공정관리 또는 강도관리에서 한계가 있을 수밖에 없다.

또한, 최근 들어 시공성의 개선 및 새로운 공법의 적용 등에 의한 시공의 합리화 및 공기 단축문제가 중요한 관심사로 대두되고 있는 상황이다. 이에 따라 동절기에도 공사가 진행되고 있지만, 아직까지 동절기 공사의 경우 강도관리에 적절한 시공법 및 대책이 마련되어 있지 않은 실정이다.

한편, 구조체콘크리트의 압축강도를 예측하기 위한 방법으

로서 적산온도에 대한 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있는데 이를 도입하여 초기재령에서 구조체콘크리트의 압축강도를 예측할 수 있으면 보다 합리적인 강도관리 및 공정계획이 가능하게 된다. 이에 따라 선행연구에서 건설생산현장의 공정관리 효율성과 합리성을 극대화하기 위해 강도예측모델을 개발하였다.

따라서, 본 연구에서는 양생온도 5℃에서 설계기준강도 21, 27, 35, 50MPa 4수준의 모의부재 콘크리트를 제작하여 개발된 강도예측모델의 적용성을 평가함으로써 동절기 건설생산현장의 거푸집제시기 결정 등 강도관리 및 공정관리를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표1에서 보는 바와 같이 양생온도 5℃에서 보통강도 영역 콘크리트인 설계기준강도 21, 27MPa의 2수준과 고강도영역 콘크리트인 설계기준강도 35, 50MPa의 2수준을 설정하여 모의부재 콘크리트를 제작하고, 이를 적산온도 방법에 의해 개발된 강도예측모델의 적용성을 평가함

* 충남대학교 건축공학과 박사과정, 정회원

** (주)트라이포드, 대표이사·공박, 정회원

*** 대전대학교 건축공학과 교수·공박, 정회원

**** 충남대학교 건축공학과 교수·공박, 정회원

으로서 동결기 강도관리 및 공정관리를 위한 기초적 자료를 제시하고자 하였다. 또한, 본 연구에서 사용한 등가재령함수인 Freiesleben 함수는 식(1)과 같으며, 기존 연구에서 개발된 강도예측모델은 식(2)와 같다.

표 1. 실험계획

양생 온도 (°C)	설계 기준 강도 (MPa)	W/B (%)	목표 슬럼프 (cm)	플라이 애시 대체율 (%)	잔골재율 (%)	단위 수량 (kg/m ³)	측정 항목
5	21	55.0	18±2	10	48	180	·공기량 (%)
	27	45.0	18±2	10	46	178	·슬럼프 (cm)
	35	37.5	24±2	15	45	175	·온도이력 (°C)
	50	30.0	24±2	15	43	168	·응결시간 ·압축강도 (MPa)

$$M = \int_0^t \exp[Ea/R \cdot (1/T_s - 1/T_a)] dt \quad \text{식(1)}$$

여기에서,

- M : 등가재령
- Ta : 양생온도 (°K)
- Ts : 293(273+20 : °K)
- Ea : 활성화에너지(KJ/mol)
- R : 기체 상수(8.314 J/mol)

$$S = \frac{S_u(M - M_0)^k}{6 + (M - M_0)^k} \quad \text{식(2)}$$

여기에서,

- S : 예측강도 (MPa)
- Su : 종국강도 (MPa)
- M : 적산온도(등가재령)
- M0 : 종결시간까지의 적산온도(등가재령)
- θ, k : 회귀계수

2.2 사용재료

본 연구에서 사용한 재료의 물리적 성질은 표 2에 나타낸 바와 같이 시멘트는 비중 3.15의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 혼화제는 비중 2.13의 플라이애시를 사용하였다. 또한 잔골재는 비중 2.58의 제염사, 굵은골재는 최대치수 25mm의 부순자갈을 사용하였으며, 혼화제는 나프탈렌계 고성능 감수제를 사용하였다.

2.3 모의부재 콘크리트 배합

표 3은 모의부재 콘크리트 배합을 나타낸 것으로 물결합재비는 설계기준강도 21, 27, 35, 50MPa에 있어서 각각 55.0, 45.0, 37.5, 30.0%로 설정하였으며, 목표 슬럼프는 물결합재비 55.0, 45.0%의 경우 18±2cm, 물결합재비 37.5, 30.0%의 경우 21±2cm로 설정하였다.

표 2. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질
시멘트	보통포틀랜드시멘트(비중 3.15, 분말도 3,630cm ² /g)
혼화제	플라이애시(비중 2.13, 분말도 2,976cm ² /g)
잔골재	제염사(최대치수 5mm, 비중 2.58, 조함율 2.41)
굵은골재	부순자갈(최대치수 25mm, 비중 2.89, 조함율 6.94)
혼화제	나프탈렌계 고성능감수제

표 3. 모의부재 콘크리트 배합

설계 기준 강도 (MPa)	W/B (%)	목표 슬럼프 (cm)	FA 대체율 (%)	잔골재율 (%)	단위 수량 (kg/m ³)	단위 중량 (kg/m ³)				
						C	FA	S	G	Ad
21	55.0	18±2	10	48	180	294	33	812	978	1.64
27	45.0	18±2	10	46	178	356	40	755	986	1.98
35	37.5	24±2	15	45	175	397	70	712	968	3.74
50	30.0	24±2	15	43	168	476	84	655	966	4.48

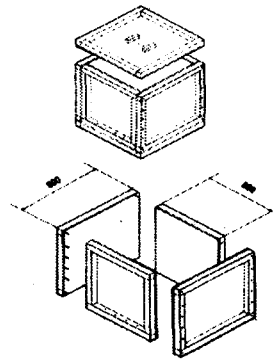


그림 1. 모의부재 거푸집

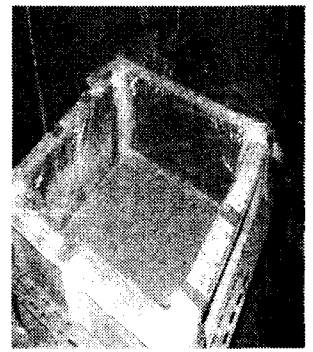


사진 1. 모의부재 형상

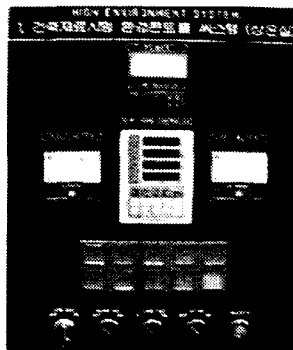


사진 2. 온도관리 챔버

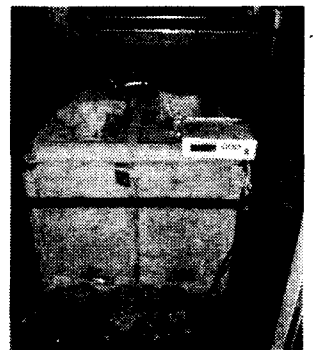


사진 3. 모의부재 양생장면

2.4 비빔방법

콘크리트 비빔은 용량 100L의 강제식 팬타입 믹서를 사용하여, 플라이애시, 시멘트, 잔골재를 투입하여 30초간 건비빔을 실시한 후, 물과 고성능감수제를 투입하여 각각 60초씩 비빔을 실시하고 굵은골재를 투입하여 60초간 비빔을 실시하였으며, 총 비빔시간은 2분 30초가 소요되었다.

2.5 모의부재 제작 및 양생방법

모의부재 콘크리트는 그림 1 및 사진 1에서 보는 바와 같이 60×60×60cm의 거푸집을 제작하여 높이 30cm까지 콘크리트를 타설하여 제작하였으며, 타설 후 48시간 후 거푸집 탈형하고, 각 재령별은 $\phi 10 \times 20$ cm의 코어 공시체를 채취하여 압축강도를 측정하였다.

또한 모의부재 콘크리트의 양생은 사진 2 및 3에서 보는 바와 같이 온도조절이 가능한 챔버에서 평균양생온도 5℃를 유지하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지않은 콘크리트 성상 검토

표 4는 설계기준강도별 콘크리트의 굳지 않은 콘크리트 성상의 측정결과를 나타낸 것이다.

3.2 응결성상 검토

그림 2는 설계기준강도별 경과시간에 따른 관입저항치의 변화를 나타낸 것으로 설계기준강도 21, 27, 35, 50 MPa의 경우 초결시간은 21시간 29분, 20시간 16분, 21시간 32분, 20시간 44분으로 나타나고 있으며 종결시간은 29시간 36분, 27시간 28분, 27시간 27분, 26시간 20분으로 종결시간은 설계기준강도가 높을수록 빠르게 나타났다.

3.3 압축강도 발현성상 검토

그림 3은 설계기준강도별 재령에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 재령이 경과함에 따라 압축강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 재령 28일의 압축강도의 경우 설계기준강도 21, 27, 35, 50MPa에서 각각 16.07, 21.28, 31.10, 32.16MPa로 나타나 설계기준강도를 만족시키지 못하는 것으로 나타났다. 이는 평균양생온도 5℃의 저온환경 하에서 양생되어 수화발현이 지연되었기 때문으로 사료된다.

그러나, 재령 56일에는 대부분의 배합에서 설계기준강도를 만족하는 것으로 나타나고 있어 실제 건설생산현장에서 겨울철에 한중콘크리트를 타설할 경우에는 외기온도가 낮은 것을 고려하여 강도관리 재령을 증가시키는 것이 합리적일 것으로 사료된다.

표 4. 설계기준강도별 굳지않은 콘크리트의 성상 측정결과

설계기준 강도 (MPa)	W/B (%)	측정 항목		
		고성능감수제 첨가율 (%)	공기량 (%)	슬럼프 (cm)
21	55.0	0.5	5.5	17.0
27	45.0	0.5	3.7	18.5
35	37.5	0.8	2.5	24.0
50	30.0	0.8	2.5	24.5

3.4 강도에측모델의 적용성 평가

표 4는 강도에측모델의 계수도출결과를 나타낸 것으로 전반적으로 설계기준강도가 낮을수록 결정계수 값이 높게 나타나고 있으나, 설계기준강도 21, 27, 35, 50MPa에서 각각 결정계수 값이 0.9921, 0.9893, 0.9732, 0.9643으로 모두 높은 수치를 보이고 있다.

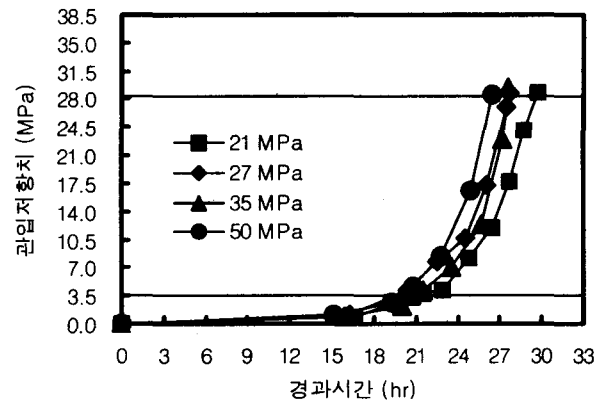


그림 2. 설계기준강도별 경과시간에 따른 관입저항치의 변화

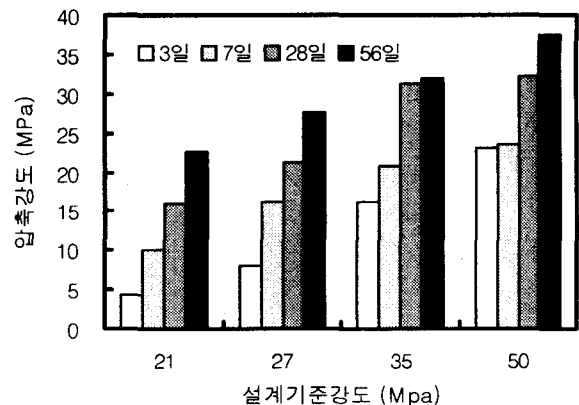


그림 3. 설계기준강도별 재령에 따른 압축강도의 변화

표 5. 강도에측모델의 계수도출 결과

설계기준강도 (MPa)	Su	θ	k	Mo	SSE ¹⁾	R2
21	43.5	5.8759	0.6132	0.5597	6155	0.9921
27	54.5	4.9346	0.5312	0.5432	4824	0.9893
35	58.4	3.421	0.4815	0.3254	14759	0.9732
50	72.2	4.864	0.6752	0.3824	853.8	0.9643

1) SSE : Sum of Square Error

그림 4는 코어강도와 강도에측모델에 의한 예측강도와의 관계를 나타낸 것으로 설계기준강도가 낮을수록 코어강도와 예측강도가 유사하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 설계기준강도가 높을수록 초기재령에서 강도차가 커지고 있는 것으로 나타났다.

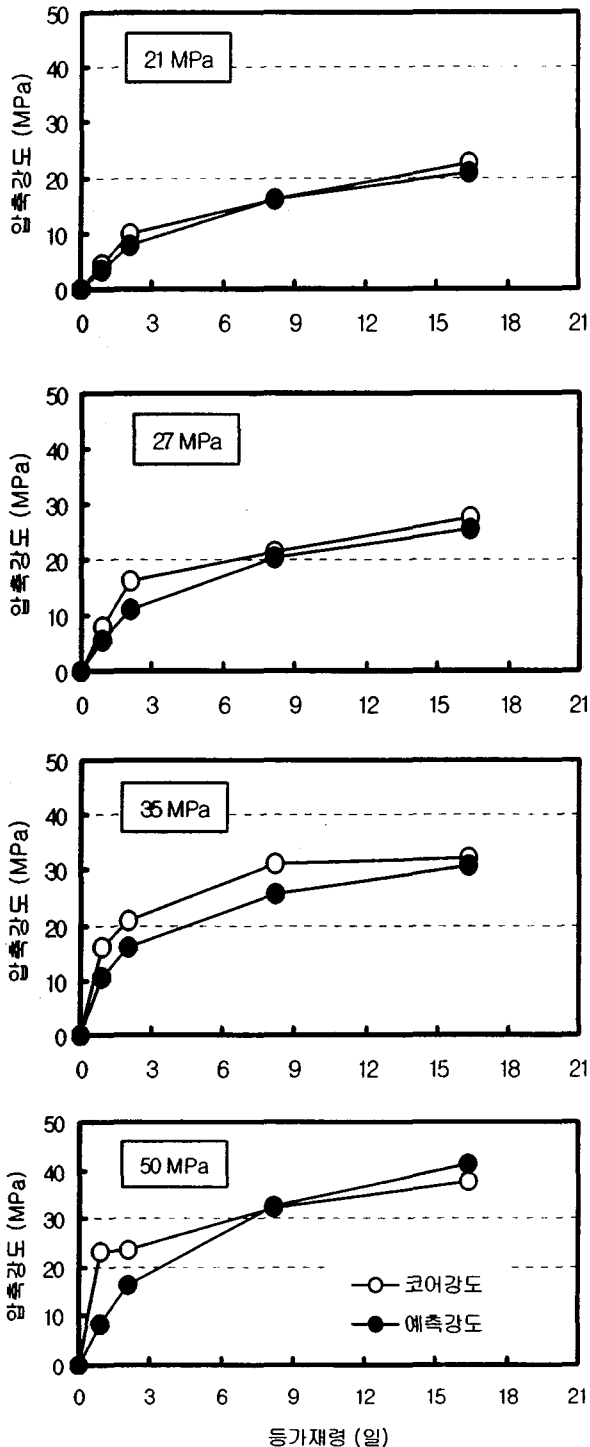


그림 5. 코어강도와 강도예측식에 의한 예측강도의 관계

그러나, 그 차이는 유의할만한 정도는 아니며, 예측강도가 코어강도보다 낮게 나타나고 있어 실제 건설생산현장에서 거푸집탈형시기를 결정하는데 있어 안전율을 고려해야 하기 때문에 본 강도예측모델을 이용한 동결기 구조체 콘크리트의 강도추정이 가능할 것으로 사료된다.

4. 결 론

동결기 설계기준강도별 적산온도를 활용한 강도예측모델의 건설생산현장 적용성 평가에 관한 실험·실증적 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 용결시간 측정결과, 초결시간은 설계기준강도에 관계없이 유사하게 나타났으며, 종결시간은 설계기준강도가 높을수록 빠르게 나타났다.
- 2) 압축강도 측정결과, 재령 28일의 압축강도는 모두 설계기준 강도를 만족시키지 못하는 것으로 나타났는데, 이는 평균양생온도 5°C의 저온환경 하에서 양생되어 수화발현이 지연되었기 때문으로 사료되며, 실제 건설생산현장에서 동결기 한중콘크리트를 타설할 경우에는 외기온도가 낮은 것을 고려하여 강도관리 재령을 증가시키는 것이 합리적인 것으로 사료된다.
- 3) 동결기 설계기준강도별 적산온도를 활용한 강도예측모델의 건설생산현장 적용성 평가 결과, 예측강도가 실측강도보다 다소 낮은 수치를 보이고 있지만 실제 건설생산현장에서 거푸집제거시기를 결정하는데 있어 안전율을 고려해야 하기 때문에 본 강도예측모델을 이용한 구조체 콘크리트의 강도 추정이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김무한 외, "콘크리트 압축강도와 적산온도 관계에 관한 실험적 연구", 대한건축학회학술발표논문집 제19권 2호 1999. 10, pp.690-695
2. 김무한 외, "적산온도에 의한 콘크리트의 압축강도 추정모델의 적용성 검토", 한국구조물진단학회 가을학술발표 논문집 1998. 11, pp.45-48
3. 김무한 외, 적산온도방식에 의한 콘크리트의 압축강도 증진해석에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 구조계 14권 12호, 1998. 12, pp. 103-110
4. "Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method", ASTM C 1074-93
5. 김무한 외, "적산온도 방법에 의한 강도예측모델 개발 및 건설생산현장에서의 강도관리에 관한 연구", 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 15, No. 1, 2003. 2, pp. 87-94