

초기재령 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

An experimental study on the mechanical properties of early age concrete

이 광 교^{*} 양 은 익^{**} 이 성 태^{***} 김 명 유^{*} 박 진 호^{*}
Lee, Kwang Gyo Yang, Eun Ik Yi, Seong Tae Kim, Myung You Park, Jin Ho

ABSTRACT

Recently, the concern for mechanical properties at early age concrete are increasing because of the importance of the thermal stress and the determination of removal time of formwork and prestressing work.

In this study, an estimation for the development of compressive strength and elastic modulus with age in concretes isothermally cured (10°C, 20°C) and having W/C ratio of 30, 40, and 50% were investigated. According to experiment results, the development of compressive strength and elastic modulus shows higher values at early ages as the W/C ratio decreases and curing temperature increases. When the maturity concept, for estimation of the strength, is adopted, a modification for W/C ratio is required at early ages.

1. 서론

최근 들어서는 구조물의 대형화와 프리스트레스 콘크리트의 사용이 점점 늘고 있는 추세이다. 이로 인해 온도응력, 프리스트레싱의 도입시기, 거푸집의 제거시기, 프리캐스트 제품의 수송절차와 운송시기의 결정에 있어서 초기재령 콘크리트의 역학적 특성에 대한 연구가 많은 연구자들 사이에 관심의 대상이 되고 있다. 콘크리트의 압축강도는 시멘트 수화반응의 진행과 더불어 증가하며, 초기재령에서의 열적특성과 재령에 따라 변화하게 된다. 따라서 콘크리트의 강도와 재령 및 양생온도에 대한 관계를 적절히 표현한다면 콘크리트의 강도발현을 고려한 시공을 할 수 있다.

본 연구의 목적은 각 종 콘크리트 물성에 대한 다양한 양생온도(10, 20, 30, 40, 50°C)의 등온 및 변온조건의 영향을 검토하고자 하는 것이며, 본 논문에서는 10°C와 20°C로 등온양생된 콘크리트(W/C: 30, 40, 50%, OPC 사용)에 대한 재령 7일까지의 역학적 특성에 대한 실험결과를 살펴보았다. 특히,

* 정회원, 강릉대학교 토목공학과 대학원

** 정회원, 강릉대학교 토목공학과 교수

*** 정회원, 충청대학 토목공학과 교수

재령 3일 이전인 극 초기에서의 콘크리트 강도의 발현특성을 비교/검토하였다.

2. 성숙도(Maturity)

그 동안 콘크리트의 온도영향에 대한 다양한 성숙도(Maturity)의 표현들이 연구되어왔다. 성숙도의 기본개념은 콘크리트가 동일한 성숙도에 도달할 때 그 온도이력에 관계없이 동일한 강도를 얻을 수 있다는 것이다. 본 논문에서는 현장에서 폭넓게 사용되고 있는 Nurse-Saul의 성숙도 함수를 사용하였으며 그 표현은 다음과 같다.

$$M = \sum_0^t (T - T_0) \Delta t \quad (1)$$

여기서, t는 재령(day), T는 평균온도(°C), T₀는 콘크리트의 경화가 진행되지 않는 온도(°C)를 나타낸다.

Bergström은 T₀의 값은 물의 동결점보다 낮은 온도에서 콘크리트의 경화가 발생하지 않는다는 사실을 제안하였으며, 일반적으로 Bergström이 제안한 -10°C가 폭넓게 사용되고 있다. 한편 Rastrup은 시간과 온도의 복합적 영향을 표현하기 위해 식(2)에 나타난 바와 같은 등가재령(Equivalent age)의 개념을 제안했다. 여기서 T_r는 기준온도를 의미하는데 일반적으로 20°C가 사용된다.

$$t_{ea} = \frac{\sum_0^t (T - T_0) \Delta t}{T_r - T_0} \quad (2)$$

3. 실험

3.1. 재료 및 배합

배합에 사용된 시멘트로는 국내 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트가 사용되었으며, 목표 슬럼프 및 공기량을 조절하기 위하여 J사의 나프탈렌계 고성능 감수제를 사용하였다. 골재는 강릉지역에서 생산된 골재를 사용하였으며, 굵은골재의 최대치수는 25mm이다. 골재의 물리적 특성은 표 1과 같다. 실험에 사용된 배합은 표 2와 같으며, 단위수량은 175kg/m³으로 일정하게 하였다. 또한, 배합시 양생온도를 고려하여 배합수 온도를 조절하여 사용하였다.

표 1 골재의 물리적 특성

종류	비중	흡수율(%)	(F.M.)
잔골재	2.60	0.93	2.88
굵은골재	2.75	0.74	7.18

표 2 콘크리트 배합설계

Name	W/C (%)	S/a (%)	unit weigh (kg/m ³)				S.P (%)
			W	C	S	G	
A	30	39	175	583	598	989	0.6
B	40	41		438	678	1032	1.0
C	50	43		350	742	1041	1.4

3.2. 실험방법

본 연구에서는 압축강도 실험에 일반적으로 사용되는 φ10×20cm의 원주공시체를 사용하였고, 모든 공시체는 타설 후 즉시 밀봉하여 각 양생온도로 설정된 항온양생실에서 봉함양생을 하였으며, 모든 공시체는 재령 1일이 되는 시간에 탈형하여 다시 봉함양생을 실시하였다. 압축강도의 측정에는 배합수가

첨가된 시간으로부터 비슷한 수준의 성숙도를 갖는 재령에서 측정되었다. 또한, 탄성계수 측정을 위하여 공시체의 길이방향 변위 측정시 2개의 LVDT(용량 10mm)와 지지대 어셈블리로 구성되는 Compressormeter를 이용하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1. 성숙도에 따른 압축강도

그림 1은 각 배합별로 등가재령으로 표현된 성숙도에 따른 압축강도의 크기를 나타낸 것이다. 그림 1로부터 각각의 배합에 대하여 대체로 동일 성숙도에서는 비슷한 크기의 압축강도가 측정되었음을 알 수 있다. 그러나 W/C비 30%의 경우 등가재령 1일 이후부터 성숙도의 개념과 잘 일치하지만, W/C비가 높아질수록 성숙도 개념이 적용될 수 있는 등가재령이 3일 이후로 점차 늦어지는 결과를 나타내고 있다. 따라서 압축강도 예측을 위하여 성숙도의 개념 적용 시 초기재령에서는 W/C비에 따른 보정이 필요할 것으로 판단된다.

표 3 압축강도 시험결과(kgf/cm²)

W/C (%)	Tem. (°C)	Age(day)							
		0.63	0.75	1	2	3	5	7	10
30(A)	10	3.1	8.6	74.1	259.8	343.2	430.2	450.7	489.0
40(B)		4.3	8.60	44.1	144.1	203.3	274.6	305.7	336.1
50(C)		-	8.7	27.2	84.3	124.0	185.1	205.4	229.6
		Age(day)							
		0.5	0.63	1	2	3	7		
30(A)	20	2.6	94.8	212.1	348.0	424.4	486.5		
40(B)		8.9	81.0	119.9	227.4	271.8	339.7		
50(C)		10.3	44.2	65.4	139.0	185.6	246.6		

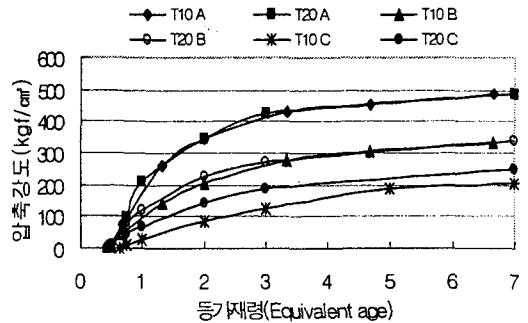


그림 1 각 배합별 등가재령에 대한 압축강도

4.2. 재령에 따른 압축강도와 탄성계수의 발현특성

그림 2는 표 3의 재령 7일 측정값을 기준으로 각각 양생온도별 압축강도 발현율을 나타낸 것이다. 실험 결과에 따르면 콘크리트의 압축강도는 재령에 따라 증가하는 경향을 보였으며, W/C비가 낮고 양생온도가 높을수록 재령 초기의 발현율이 높게 나타났다. 이는 초기재령에서 양생온도가 증가함에 따라 시멘트 반응물들의 수화속도가 빨라지고 이에 따라 압축강도의 발현 속도가 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 양생온도에 따른 각 배합별 탄성계수 측정결과를 ACI 318-02모델식과 비교한 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3을 살펴보면 탄성계수의 발현상태는 재령 3일 이전의 극 초기에 급격한 발현율을 나타내었으며, W/C가 낮고 온도가 높을수록 초기 발현속도가 빠르게 나타났다. 한편, 양생 온도 10°C의 W/C비 40%를 제외한 두 양생온도의 경우, 측정값과 ACI모델식으로부터 예측된 결과에는 다소 차이가 있었다. 또한 W/C비 30%(A)의 경우, 예측값이 실험값보다 크게 추정되나 W/C비 50%(C)의 경우, 그와는 반대의 결과를 보였다. 이는 W/C비 및 양생온도에 따라 콘크리트 내부 조직의 특성이 달라지기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 초기재령의 탄성계수를 예측하고자 할 경우, 양생온도 및 W/C비에 따른 콘크리트의 특성에 대한 고려가 필요하며 초기재령에서 탄성계수예측을 위

하여 기존의 제안식을 적용할 경우 적절한 평가가 곤란할 것으로 판단된다.

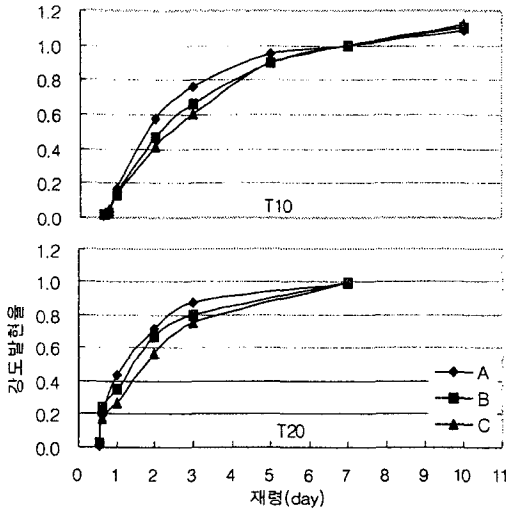


그림 2 양생온도에 따른 압축강도 발현 특성

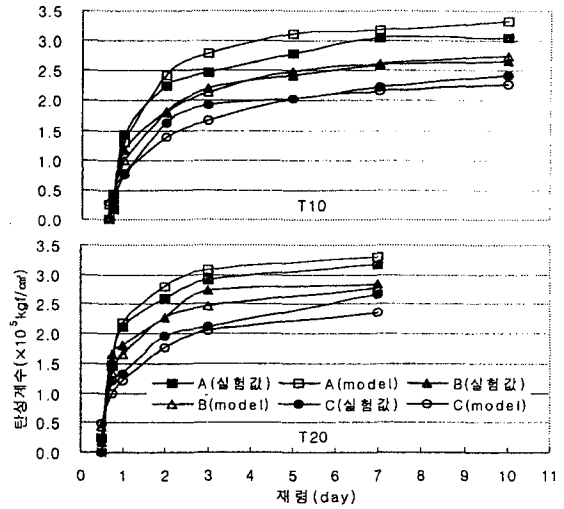


그림 3 각 배합별 탄성계수 비교

5. 결론

초기재령 콘크리트의 역학적 특성 변화에 관한 특성을 살펴보기 위해 이론적 고찰과 실험을 실시하였으며 본 연구의 범위에서 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 강도 예측을 위하여 등가재령으로 표현된 성숙도의 개념을 적용할 경우, 정확한 예측을 위해서는 W/C비에 따라 그 적용시점이 달라지며, 재령 3일 이전의 극 초기에서 W/C비에 따른 보정이 필요할 것으로 판단된다.
- 2) 압축강도 및 탄성계수의 발현은 대체로 W/C비가 낮고 양생온도가 높을수록 극 초기재령에서 높은 발현율을 보였다. 따라서 극 초기의 강도특성을 필요로 할 경우에는 콘크리트의 극 초기재령에 대한 역학적 특성에 대한 평가가 반드시 검토되어야 한다.
- 3) 기존의 ACI 탄성계수 예측모델식은 양생온도 및 W/C비에 따라 예측값에 차이가 있음을 알 수 있었다. 따라서 압축강도를 사용하여 초기재령의 탄성계수를 예측하고자 할 경우, 기존의 제안식을 적용하면 적절한 평가가 곤란할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. G. Chengju, "Maturity of Concrete: Method for Predicting Early-Stage Strength", ACI Materials Journal, V.86, No.4, Jul.-Aug. 1989, pp.341-353.
2. 김무한 외, "등가재령을 이용한 콘크리트의 강도예측에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 1999, pp.337-340.