

슬립폼 적용을 위한 고강도콘크리트의 조기강도 발현성상에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Early Strength Development of High-Strength Concrete to Apply Slip-Form

주 지 현*	여 동 구*	강 석 표*
Joo, Ji-Hyun	Yeo, Dong-Koo	Kang, Suk-Pyo
길 배 수**	남 재 현***	김 무 한***
Khil, Bae-Su	Nam, Jae-Hyun	Kim, Moo-Han

ABSTRACT

Nowadays, with high-storied and large-sized of structures, high-strength concrete is applied to the various kinds of concrete structure. Among of them, for reduction of completion time, high-strength concrete is applied to the high-storied tower, building which is constructed continuously by the slip-form method and it is expected to be on the increase. In this case, it is very important to grasp development of early-strength to apply the slip-form method. But the strength data prior 1 day is rare.

Therefore, to apply slip-form method in field, this study aim is to present basic data for development of early-strength of high-strength concrete, through examining development of strength by different curing temperature, replacement of fly-ash.

1. 서 론

최근 콘크리트구조물이 고층화, 초고층화 됨에 따라 고강도콘크리트가 각종 콘크리트 구조물로의 적용이 검토되고 있다. 그 예로서 슬립폼 공법에 의해 연속적으로 건설되는 초고층 타워 및 직경이 큰 사일로 등의 건설에 있어서 고강도콘크리트가 현재 이용되고 있으며 앞으로 보다 널리 이용될 것으로 예상된다.¹⁾ 이 경우 고강도콘크리트를 슬립폼 공법에 적용하는데 있어 거푸집 탈형이 타설 후 수 시간 이내에 이루어져야 하기 때문에 조기재령에서의 강도발현성상을 파악하는 것은 공정관리측면에서 매우 중요하다. 그러나, 아직까지 슬립폼 공법에 있어 거푸집 탈형시점에 대한 정량적인 판단기준이 확립되어 있지 않고 있으며, 거푸집 탈형이 이루어지는 재령 1일 이전의 강도발현성상에 대한 충분한 데이터가 확보되어 있지 않다.²⁾

따라서 본 논문에서는 양생온도별 플라야에서 대체율에 따른 고강도콘크리트의 응결성상 및 강도발현성상을 비교·분석함으로써 건설공사현장에서 슬립폼 공법을 적용하기 위한 조기강도발현에 관한

* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과

** 정회원, R & F Tech. Co. Ltd. R & D Center 위촉연구원 · 공박

*** 정회원, 대전대학교 건축공학과 교수 · 공박

**** 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수 · 공박

표 1. 실험계획 및 배합

배합 기호	W/B (%)	양생 온도 (°C)	목표 슬럼프 플로우 (cm)	플라이 애시 대체율 (%)	고성능 감수제 첨가율 (%)	잔골 재율 (%)	단위 수량 (kg/m ³)	단위중량 (kg/m ³)				측정항목
								C	FA	S	G	
FA15	29.5	20	55±5	15	소정의 첨가율	41	171	493	87	632	994	· 유동성상 : 공기량, 슬럼프, 슬럼프-플로우 · 응결시험 · 경화성상 : 압축강도 (몰투입~14시간, 1, 3, 7, 14, 28일)
FA5		30		5				551	29	641	1008	

기초적 자료를 제시하고자 하였으며, 또한 조기재령에서의 고강도콘크리트의 압축강도와 적산온도와의 관계를 검토하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

본 연구의 실험계획 및 배합은 표 1에서 보는 바와 같이 물결합재비 29.5%에서 플라이애시 대체율을 5, 15%의 2수준으로 설정하여 고강도콘크리트를 제조한 후, 각 양생온도 20, 30, 40°C에서의 응결성상 및 조기강도발현성상을 비교·분석하고자 하였다. 압축강도의 경우 조기강도발현성상을 검토하기 위해 물을 투입한 후 4~14시간까지의 압축강도를 측정하였으며, 이 후 재령 1, 3, 7, 14, 28일에 실시하였다. 또한, 재령 1일 이전의 압축강도와 적산온도와의 관계를 검토하였다.

2.2 사용재료 및 비빔방법

본 실험에서 사용한 재료는 표 2와 같으며, 콘크리트의 비빔은 100ℓ 강제식 팬타입 믹서를 이용하여 모든 재료를 일괄투입하여 건비빔한 후 물과 고성능감수제를 투입하였다.

표 2. 사용재료

시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트, 비중 : 3.15, 분말도 : 3,200cm ² /g
잔골재	제염사, 최대치수 : 5mm, 비중 : 2.62, 조립율 : 2.87
굵은골재	부순자갈, 최대치수 : 20mm, 비중 : 2.65, 조립율 : 6.50
고성능감수제	나프탈렌계, 비중 : 1.198
플라이애시	비중 : 2.17, 분말도 : 3,610cm ² /g

3. 실험 결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 측정결과

굳지않은 콘크리트의 측정결과는 표 3과 같다.

표 3. 굳지않은 성상 측정결과

배합기호	양생온도 (°C)	SP (%)	슬럼프-플로우 (cm)	공기량 (%)
FA15	20	1.5	53×51	4.0
	30	1.3	54×56	2.2
	40	1.3	60×58	2.6
FA5	20	1.4	54×52	4.0
	30	1.3	55×54	2.8
	40	1.3	57×56	3.4

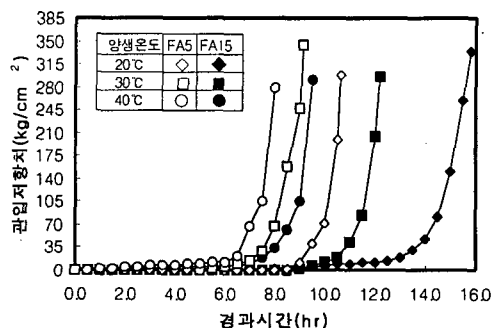


그림 1. 양생온도별 관입저항시험결과

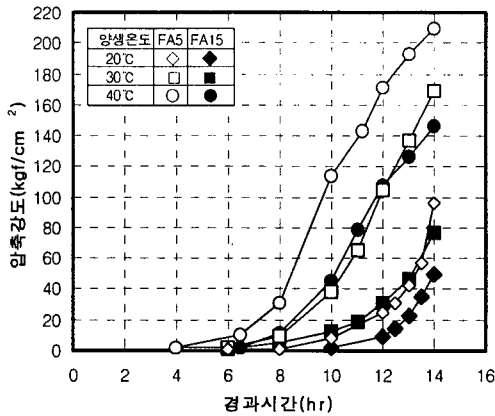


그림 2. 양생온도별 강도발현성상(물투입~14h)

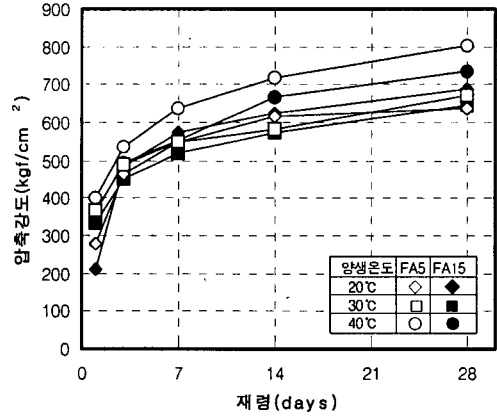


그림 3. 양생온도별 강도발현성상(재령 1~28일)

3.2 응결성상 분석 및 검토

그림 1은 양생온도별 배합조건에 따른 관입저항치를 나타낸 것으로 FA15의 경우, 초결도달시간이 양생온도 40°C에서 8시간 3분, 양생온도 30°C에서 10시간 54분, 양생온도 20°C에서 13시간 40분으로 나타나 양생온도 20°C에 비하여 양생온도 40°C에서 약 5시간, 양생온도 30°C에서 약 3시간 초결도달시간이 빠르게 나타나고 있다. FA5의 경우 양생온도 40°C에서 6시간 37분, 양생온도 30°C에서 7시간 40분, 양생온도 20°C에서 9시간 26분으로 나타나 양생온도 20°C와 비교하여 양생온도 40°C에서 약 3시간, 양생온도 30°C에서 약 2시간 강도발현이 빠르게 나타나고 있으며 FA15와 비교하여 초결도달시간이 빠르게 나타나고 있고, 또한 양생온도에 따른 차이가 작게 나타나고 있다.

3.3 압축강도발현성상 분석 및 검토

그림 2는 물투입 시점으로부터 14시간까지의 압축강도발현성상을 나타낸 것으로 응결성상과 유사하게 플라이애시 대체율이 낮을수록 양생온도가 높을수록 압축강도가 높게 나타나고 있다. 또한 경과시간에 따른 압축강도 증진성상을 살펴보면 초결도달시간과 유사한 시점에서 강도발현율이 증가하기 시작하는 것으로 나타났으며, 슬립폼 공법에 있어서 거푸집 탈형이 가능한 20kgf/cm²의 압축강도³⁾를 발현하는데 소요되는 시간은 FA15의 경우 양생온도 40°C에서 약 8시간 30분, 양생온도 30°C에서 약 11시간, 양생온도 20°C에서 약 13시간, FA5의 경우 양생온도 40°C에서 약 7시간, 양생온도 30°C에서 약 8시간 30분, 양생온도 20°C에서 약 11시간 정도로 나타나고 있다.

그림 3은 재령 1일에서 28일까지의 압축강도발현성상을 나타낸 것으로 양생온도가 높을수록 강도가 높게 나타나고 있으나 재령 3일에서 그 차이가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 재령 28일의 경우 압축강도 600~800kgf/cm²의 강도발현을 보이고 있다.

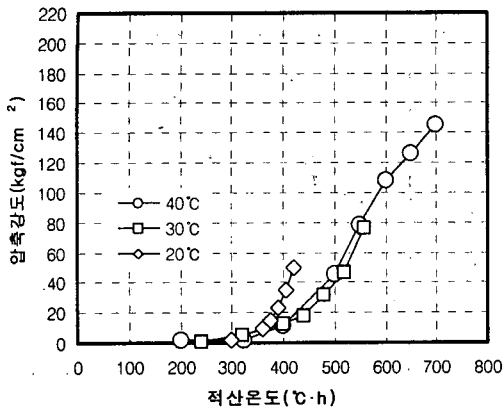
3.4 적산온도와 압축강도관계 분석 및 검토

적산온도와 압축강도관계를 나타내기 위해 사용된 적산온도는 다음과 같은 식⁴⁾에 의해 구하였다.

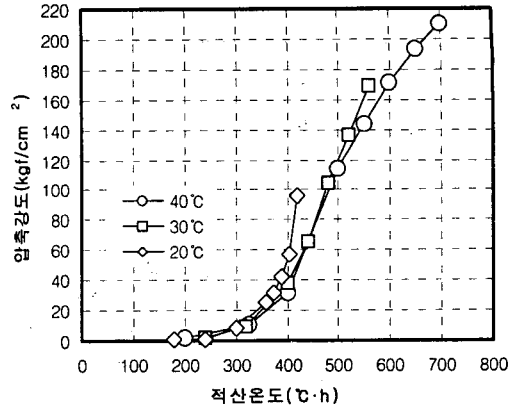
$$\text{적산온도 } (^\circ\text{C} \cdot \text{T}) = \sum (\theta + 10) \Delta t$$

여기에서 t : 물투입 시점부터의 양생시간(시간) θ : Δt 시간중의 양생온도(°C)

그림 4는 적산온도와 물투입 시점부터 14시간까지의 압축강도와의 관계를 나타낸 것으로 FA5, FA15 모두 동일 적산온도에서 양생온도 30°C와 40°C의 경우 유사한 강도발현성상을 보이고 있으나



(a) FA15



(b) FA5

그림 4. 적산온도와 압축강도

양생온도 20°C의 경우 양생온도 30°C, 40°C와 비교하여 적산온도 400°C·h 전후에서 높은 강도발현성상을 보이고 있다. 이는 Nurse-Saul 함수를 이용한 적산온도가 양생온도 20°C의 경우 고온영역인 양생온도 30°C, 40°C 경우와 비교하여 과대평가하고 있기 때문으로 사료된다.⁵⁾

4. 결론

슬립폼 적용을 위한 고강도콘크리트의 조기강도 발현성상에 관한 실험적 연구를 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 실험에서 슬립폼 거푸집을 탈형할 수 있는 20kgf/cm² 압축강도를 발현하는데 FA15의 경우 양생온도 40°C에서 약 8시간 30분, 양생온도 30°C에서 약 11시간, 양생온도 20°C에서 약 13시간, FA5의 경우 양생온도 40°C에서 약 7시간, 양생온도 30°C에서 약 8시간 30분, 양생온도 20°C에서 약 11시간 정도 소요되는 것으로 나타나고 있다.
- 2) 물 투입한 후 14시간까지의 강도발현성상을 살펴보면 초결도달시간과 유사한 시점에서 슬립폼 거푸집을 탈형할 수 있는 압축강도를 발현하고 있으며 이 시기에서 강도발현율이 증가하기 시작하는 것으로 나타났다.
- 3) 물투입 시점에서 14시간까지의 압축강도와 적산온도의 관계를 살펴보면 양생온도 20°C의 경우 고온영역인 양생온도 30°C, 40°C와 비교하여 적산온도가 과대평가 되어있는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. ACI Committee 347, Guide to Formwork for Concrete, pp.347R26~347R28
2. 中川好正 外, ポルトランドセメントを使用したコンクリートの初期強度予測, 日本コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No. 1, 1996, pp.507~512
3. 一瀬賢一, 若材齡時における高強度コンクリートの力学的性質に関する研究, 日本コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 22, No. 2, 2000, pp.985~990
4. 김무한 외, 콘크리트의 압축강도와 적산온도에 관한 실험적 연구, 대한건축학회학술발표논문집, 제 19권 제 2권, 1999. 10, pp.690~695
5. Carion, N.J., The Maturity Method, HandBook on Nondestructive Testing of Concrete, 1991, pp.101~146