

50~80 MPa급 고성능 콘크리트의 강도증진해석

Analysis Strength Improvement on 50 to 80 MPa Level High Performance Concrete

박 병 관* 이 주 선* 장 기 현* 최 영 화** 한 민 철*** 한 천 구****

Park, Byung-Kwan Lee, Ju-Sun Jang, Ki-Hyun Choi, Young-Wha Han, Min-Cheol Han, Cheon-Goo

Abstract

This research performed strength improvement analysis after evaluating strength characteristics by estimated temperatures to evaluate the real time strength performance of 50 to 80 MPa high performance concrete equipped with heat resistance, and the results are as follows. The lesser W/B and the lesser target slump flow value difference, compression strength was shown to increase, and the more curing temperature becomes, the strength increased accordingly. According to the correlation review result of strength improvement analysis by estimated temperature change performed using logistic analysis model, the compression strength value predicted with logistic curve expression and the compression strength value measured in experiment were shown to have similar correlation, and the strength improvement analysis value by logistic model was shown to be estimated good when W/B is high.

키 워 드 : 적산온도, 압축강도, 고성능 콘크리트

Keywords : Matyritiy, Compressive Strength, High Performance Concrete

1. 서 론

최근 국내 건설현장에서는 공기단축의 방안으로 선 조립철근사용 및 시스템 거푸집의 활용 등 여하의 방법을 강구하고 있다. 이와 같은 방법을 사용하여 공기를 단축한 선진기업에서는 추가적인 공기단축 방법으로 콘크리트의 조기강도 발현기술이로 거푸집 탈형 시기의 단축방법에 대하여도 검토를 하고 있다.

또한, 현재까지 콘크리트의 압축강도는 콘크리트를 부어넣은 후 28 일 또는 91 일 압축강도를 이용하여 콘크리트의 품질을 검토하는데 주로 활용되어 왔는데, 콘크리트의 실시간의 강도확인 및 평가를 위해서는 보다 정확한 강도증진해석이 필요하며, 이에 국내외에서는 많은 연구가 진행하고 있다.

즉, 콘크리트의 강도증진은 시멘트의 수화반응에 의존한 것으로 양생온도와 시간의 이력을 고려하면 콘크리트의 강도를 비교적 정확히 추정할수 있는 것으로 알려져 이를 이용하면 5.0 MPa에 상응하는 측면 거푸집 탈형 시기, 정확한 설계기준 강도 확인 및 실시간 품질평가가 가능할 것으로 예상된다.

그러므로 본 연구에서는 최근 개발되어진 내화성이 겸비된 W/B 25~35 %인 고성능 콘크리트의 적산온도에 의한 강도증진해석을 함으로써 50~80 MPa급 고성능 콘크리트의 현장 적용 및 품질관리에 기여하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 먼저, 실험요인으로 물결합재비(이하 W/B)는 25, 30, 35 % 3 수준에 대하여, 목표 슬럼프플로우를 500±50, 600±50, 700±50 3 수준으로 하고, 시멘트에 대한 질량비로 고로슬래그 미분말(이하 BS) 20 %와 플라이애시(이하 FA) 10 %를 동시에 치환하고, 폭발방지용 유기섬유로서 폴리프로필렌 섬유(이하 PP) 0.025 %와 나일론 섬유(이하 NY) 0.025 %를 1:1로 동시에 혼입한 1 수준으로 하여 총 9 배치를 실험계획 하였다. 양생온도의 경우 현장의 조건을 감안하여 5℃, 20℃, 35℃의 3 수준으로 하였다.

이때 배합사항으로 모든 조건에 대하여 목표 공기량 3.0 ±1.0 %를 만족하도록 배합설계하였다.

* 정회원, 청주대학교 건축공학과 대학원 석사과정

** 정회원, 대구대학교 건축공학과 교수, 공학박사

*** 정회원, 청주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

**** 정회원, 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

표 1. 실험계획

실험요인		시험수준	
배합 사항	W/B(%)	3	25, 30, 35
	목표 슬럼프 플로우(mm)	3	<ul style="list-style-type: none"> • 500±50 • 600±50 • 700±50
	목표 공기량 (%)	1	3.0 ± 1.0
	혼화재 치환율 (%)	1	BS 20+FA 10
	유기섬유 혼입율 (%)	1	PP 0.025+ NY 0.025
	양생온도(°C)	3	5, 20, 35
실험 사항	굳지않은 콘크리트	3	<ul style="list-style-type: none"> • 슬럼프플로우 • 공기량 • 단위용적질량
	경화 콘크리트	1	<ul style="list-style-type: none"> • 양생온도별 압축강도

표 2. 콘크리트의 배합표

W/B (%)	목표 슬럼프 플로우 (mm)	W (kg/m³)	S/a (%)	AE제 (%)	SP제 (%)	단위질량(kg/m³)				
						C	BS	FA	S	G
25	500±50	165	40	0.023	1.10	462	132	66	607	931
	600±50	165	40	0.024	1.25	462	132	66	607	931
	700±50	165	40	0.025	1.40	462	132	66	607	931
30	500±50	165	43	0.017	0.60	550	110	55	693	940
	600±50	165	43	0.017	0.88	550	110	55	693	940
	700±50	165	43	0.017	0.93	550	110	55	693	940
35	500±50	165	47	0.011	0.64	330	94	47	790	912
	600±50	165	47	0.011	0.83	330	94	47	790	912
	700±50	165	47	0.011	0.90	330	94	47	790	912

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적질량을 측정하는 것으로 하였고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3 360	0.08	301	458	21.6	27.3	35.4

표 4. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	조립률	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m³)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.60	2.70	0.46	1 645	1.2
굵은골재	2.66	6.56	0.46	1 532	0.3

표 5. 고로슬래그 미분말의 물리적·화학적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	염기성	화학적성분(%)		
			MgO	SO₃	Cl
2.90	4 300	1.89	5.79	2.10	0.004

표 6. 플라이 애시의 물리·화학적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	강열감량 (%)	SiO₂ (%)	습분 (%)
2.24	3 404	4.6	57.5	0.13

표 7. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도 (g/cm³)
고성능감수제	폴리칼본산계	액상	연황색	1.04
AE제	고급 알콜계	액상	미황색	1.01

표 8. 유기섬유의 물리적 성질

구분	길이 (mm)	직경 (mm)	밀도 (g/cm³)	인장강도 (MPa)	용해점 (°C)
PP 섬유	19	0.040	0.90	560	160
NY 섬유	12	0.012	1.16	918	220

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로서, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 잔골재는 북한 해주산 해사와 경기 광주산 부순모래를 7:3의 비율로 혼합하여 사용하였고, 굵은골재는 경기 광주산 부순골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 4와 같다. 혼화제로서 BS와 FA는 국내산을 사용하였는데, 그 물리·화학적 성질은 각각 표 5, 6과 같다. 혼화제로서 폴리칼본산계 고성능감수제(이하 SP제) 및 AE제는 국내산 E사산을 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 7과 같다. 또한, 폭발방지용 유기섬유로서, 국내 S사산 PP섬유와 NY섬유를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 8과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로서, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였고, 경화 콘크리트

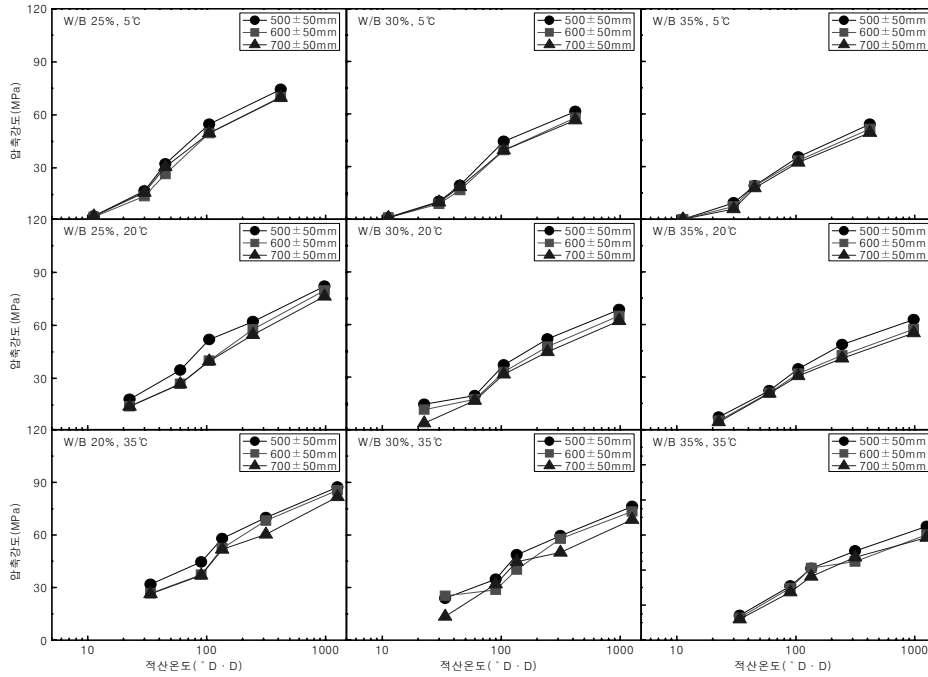


그림 1. W/B 및 목표 슬럼프플로우, 양생온도별 적산온도 변화에 따른 압축강도

트의 실험으로 압축강도시험은 $\phi 100 \times 200$ mm 공시체를 소요 재령까지 양생한 후 KS F 2405의 규정에 의거 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

표 9는 굳지않은 콘크리트의 실험결과를 나타낸 것이다. 모든 배합에서 배합설계에 의하였으므로 모두 목표 슬럼프 플로우 및 목표 공기량 범위를 만족하는 것으로 나타났고, 목표 슬럼프플로우 및 목표 공기량을 만족시키기 위한 SP제와 AE제의 사용량은 표 2와 같이 W/B가 낮을 수록, 목표 슬럼프 플로우가 클 수록 그 사용량이 증가하는 것으로 나타났다.

표 9. 굳지않은 콘크리트 결과

W/B(%)	목표 슬럼프 플로우 (mm)	슬럼프 플로우 (mm)	공기량 (%)	단위용적질량(kg/m ³)
25	500±50	503	2.6	2365
	600±50	650	2.4	2379
	700±50	703	2.2	2396
30	500±50	470	3.1	2352
	600±50	570	2.5	2372
	700±50	665	2.0	2379
35	500±50	468	3.1	2347
	600±50	635	3.5	2337
	700±50	668	3.0	2339

3.2 경화 콘크리트의 특성

3.2.1 적산온도에 따른 압축강도

본 연구에서는 강도발현에 미치는 온도와 시간, 강도간의 관계를 분석하기 위해 Saul의 온도와 재령에 의한 선형관계식 (1)을 사용하였다.

$$M = \int_0^t (T_c - T_0) dt \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

- M : 적산온도(°C · day)
- T_c : 시간 t 동안의 온도
- T₀ : 기준온도(일반적으로 -10°C)

그림 1은 W/B 및 목표 슬럼프플로우, 양생온도별 적산온도 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

먼저 W/B 및 목표 슬럼프플로우별 적산온도 변화에 따른 압축강도는 W/B가 작을 수록, 목표 슬럼프플로우값은 큰 영향이 없으나 미소하게는 작을 수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다.

또한, 양생온도별 압축강도는 양생온도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 양생온도가 높을수록 수화반응 촉진되어 압축강도가 증대된 것으로 분석된다.

3.2.2 로지스틱모델을 이용한 압축강도 해석

본 연구에서는 Saul의 적산온도 개념을 이용하여 강도증진을 해석하고자 로지스틱 곡선에 의한 회귀모델식 (2)를 이용하였다.

$$F_c = \frac{F_\infty}{1 + \exp(-k \log M + m)} \dots\dots\dots (2)$$

여기서,

F_∞ : 적산온도($^{\circ}\text{C} \cdot \text{day}$)

k, m : 실험상수

M : 적산온도($^{\circ}\text{D} \cdot \text{D}$ 또는 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$)

표 10은 로지스틱 해석모델을 이용한 실험상수를 나타낸 것이고, 그림 2~5는 적산온도에 따른 강도증진해석 결과를 나타낸 것이다.

W/B 변화에 따른 강도증진 해석치의 상관성 검토결과에 따르면 전반적으로 로지스틱 모델을 이용한 강도증진 해석의 상관관계수가 0.9642~0.9891 정도로 로지스틱 곡선식에 의해 예측된 압축강도 값과 실험에 의해 측정된 압축강도 값이 유사한 상호관계를 갖는 것으로 나타났고, W/B가 높을 수록 로지스틱 모델에 의한 강도 증진 해석치는 양호하게 추정되는 것을 알 수 있었다.

표 10. 로지스틱 해석모델의 실험상수

W/B(%)	실험상수			
	F_∞	k	m	R^2
25	64.12	1.35	6.14	0.9891
30	87.61	1.10	4.81	0.9761
35	76.03	1.16	5.38	0.9642

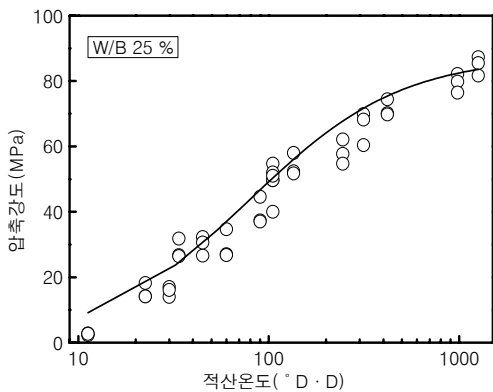


그림 2. 적산온도에 따른 강도증진해석(W/B 25 %)

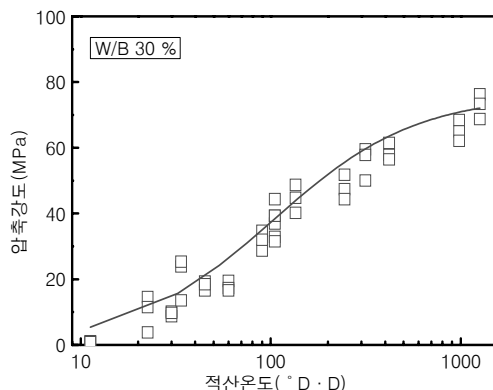


그림 3. 적산온도에 따른 강도증진해석(W/B 30 %)

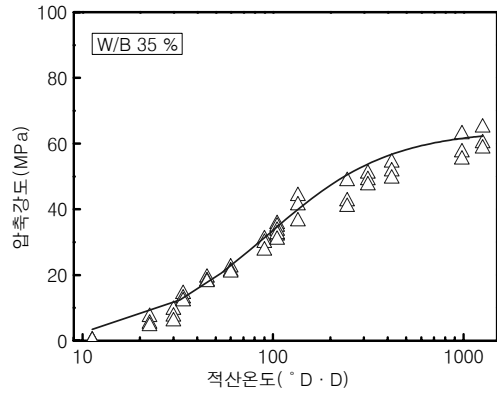


그림 4. 적산온도에 따른 강도증진해석(W/B 35 %)

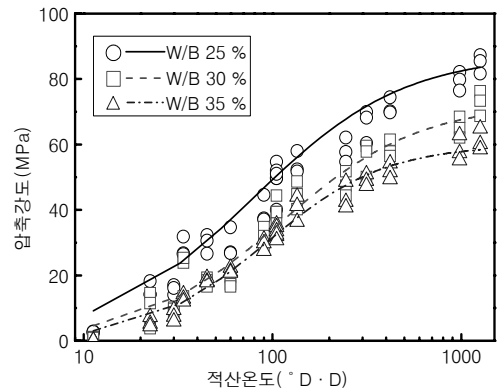


그림 5. 적산온도에 따른 강도증진해석(W/B 25, 30, 35 %)

4. 결 론

본 연구는 내화성을 겸비한 50~80 MPa급 고성능 콘크리트의 실시간 강도 발현성능을 평가하기 위하여 적산온도에 의한 강도발현을 평가하고, 이를 토대로 강도증진해석을 수행하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) W/B 및 목표 슬럼프플로우 변화에 따른 압축강도는 W/B가 작을 수록, 목표 슬럼프플로우값에 차이가 적으나 작을 수록 증가하는 것으로 나타났고, 양생온도 변화에 따라서는 양생온도가 증가할수록 역시 증가하였다.
- 2) 로지스틱 해석모델을 이용하여 적산온도에 의한 강도증진 해석치의 상관성 검토결과에 따르면 로지스틱 곡선식에 의해 예측된 압축강도 값과 실험에 의해 측정된 압축강도 값이 유사한 상호관계를 갖는 것으로 나타났고, W/B가 높을 수록 로지스틱 모델에 의한 강도 증진 해석치는 양호하게 추정되는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 한민철, 한천구 ;기온과 콘크리트, 기문당, 2002
2. 한천구, 윤길봉, 한민철, 전충근, 최영화 ; 초기재령 콘크리트의 강도증진 성상에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제21권, 1호. pp.285~288, 2001