

배치플랜트배합시험 및 실대부재시험을 통한 콘크리트의 조기강도 발현특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the High Early Strength Development Properties of Concrete according to Batcher Plant Test and Mock-up Test

○ 이 지 환* 이 종 석* 이 상 수** 송 하 영***
Lee, Ji-Hwan Lee, Jong-suk Lee, Sang-Soo Song, Ha-Young

Abstract

In this study, batcher plant composition test and mock-up test were carried out to conduct comparison and analysis on flow behavior and strength properties of concrete at early age. As a result, it was found that slump and amount of air in batcher plant composition test reached the target range. As for compressive strength, composition using HESPC showed the most excellent strength development. In mock-up test which was carried out to find out the strength properties, two methods with specimen and core test body both revealed HESPC as the most excellent composition. However, strength estimation with ultrasonic survey presented less reliable data.

As a result of the previously conducted indoor composition test and the mock-up test in this study, target performance of concrete at early age was 4day/cycle. It was found that the optimum conditions that meet the required strength, 5MPa/18hr and 14MPa/36hr in mullion and transom are; curing temperature above 15°C, W/B 45%, unit-water 165kg/m³ and CHC cement.

키 워 드 : 배치플랜트배합시험, 실대부재시험, 조기강도, 유동특성, 강도특성

Keywords : batcher plant composition test, mock-up test, early strength, Fluidity, strength properties

1. 서 론

현대산업의 발전과 더불어 건축, 토목 분야에서도 대형화, 고층화, 고강도화, 슬립화, 고내구화의 추세가 가속화되고 있으며, 이에 따라 시공기술에서도 대량 연속타설 공법, 신속 시공법, 각종 보수 공법 등의 발달이 이루어지고 있다.

특히, 최근에는 공사기간의 단축을 통한 생산성의 향상과 비용의 절감을 위해 적정 콘크리트의 설계강도 이상의 배합을 적용하거나 콘크리트의 조기강도 발현 성능을 향상시키고자 많은 노력을 기울이고 있으며, 측면 거푸집의 탈형 시기와 관련하여 압축강도 5.0MPa 이상의 조기에 발현하고, 확인하는 것은 공기단축 및 경제성 측면에 있어서 특히 중요하다.

그러나 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 보통강도 콘크리트로 수직부재의 강도발현이 5.0MPa 이상이 되어 측면 거푸집을 탈형하는 시기는 현재의 기술수준으로 24시간 전후로 건설공기에 영향을 미칠 수 있으며, 대부분의 실무현장에서 콘크리트 구조체의 기준강도 이전에 무분별하게 거푸집을 제거하

므로 써, 콘크리트 구조물의 품질저하를 초래하고 있다. 또한 국외의 경우 조강성을 발휘하여 거푸집 탈형시기를 단축하려는 연구 및 적용 사례가 많이 보고되고 있으나, 국내의 경우는 아직까지 적용 사례가 미미한 실정이다.

본 연구에 앞서 조기강도 발현 콘크리트에 대하여 여러 가지 실험변수별로 실내배합시험을 수행하였으며, 그 결과를 토대로 하여 배치플랜트에서 시험 생산을 실시하고, 유동성 평가 및 강도발현 특성에 대한 평가를 실시하고자 한다. 또한, 실구조물에서의 강도발현특성을 알아보기 위해 시멘트 종류별로 Mock-up부재를 제작하여 강도 발현 성상을 실험·실증적으로 검토 및 평가하여 공기단축을 위한 조기강도 콘크리트의 실용화에 이용하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 실험계획

본 연구의 배치플랜트 생산시험 및 실대부재시험에 사용된 배합은 표 1과 같이, 물-시멘트비 45%로 고정하고 시멘트의 종류별로 3Type의 배합으로 설정하였다.

* 국립한밭대학교 공과대학 건축공학과 대학원, 석사과정, 정회원
** 국립한밭대학교 공과대학 건축공학과, 조교수, 공박, 정회원
*** 국립한밭대학교 공과대학 건축공학과, 교수, 공박, 정회원

표 1. 콘크리트 배합

Type ²⁾	W/C (%)	S/A (%)	Unit Weight(kg/m ³)					
			W	C	NS ¹⁾	CS ¹⁾	G	AD
OPC	45.0	48.4	165	367	430	433	931	3.12
CHC	45.0	49.1	160	356	441	445	931	3.03
HESPC	45.0	47.8	170	378	419	422	931	3.40

주 1) NS : 세척사, CS : 부순골재

주 2) OPC : 보통포틀랜드시멘트

CHC : 조기강도특성을 개선한 시멘트

HESPC : 조강포틀랜드시멘트

CHC와 HESPC 배합에 첨가되는 혼화제는 사전 투입량을 계량하여 별도의 투입구를 설치하여 인력투입 하였다. 또한, 혼합시간은 실내배합시험과 동일하게 120초를 적용하였으며, 210m³/hr인 Twin Shaft Mixer를 사용하여 3m³를 Mock-up 부재에 타설하기 위하여 생산하였다.

한편, 굳지않은 콘크리트 유동성 평가를 실시한 후 Mock-up 부재 제작을 통해 굳은 콘크리트의 조기강도특성을 검토 하기위한 평가항목은 표 2와 같이 계획하였다.

표 2. 평가항목

구분	굳지않은 성상	굳은 성상
배치플랜트 생산시험		<ul style="list-style-type: none"> 압축강도 - 3, 7, 28(d)
실대부재시험	<ul style="list-style-type: none"> 슬럼프 공기량 육안관찰(분리) 	<ul style="list-style-type: none"> 압축강도 공시체, 코어시편체, Pundit(초음파) - 12, 18, 24, 36, 42, 48, 66(hr) - 3, 7, 28(d)

2.2 사용재료

본 연구에서 사용된 재료의 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3. 사용재료

구분	물리적 성질
OPC	밀도 3.15g/cm ³ , 분말도 3,378cm ² /g
CHC	밀도 3.15g/cm ³ , 분말도 3,603cm ² /g
HESPC	밀도 3.15g/cm ³ , 분말도 4,400cm ² /g
세척사	최대치수 5mm, 밀도 2.60g/cm ³
부순 모래	최대치수 5mm, 밀도 2.62g/cm ³
굵은 골재	최대치수 25mm, 밀도 2.64g/cm ³
고성능감수제	PC계, 액상, 밀도 1.05g/cm ³

2.3 Mock-up부재 모형도 및 철근배근도

Mock-up부재는 그림 1에서 보는 바와 같이 실구조물의 부재치수와 동일한 모형으로 각 시멘트 종류별로 1개씩 제작하였으며, 철근배근은 최소화하였다.

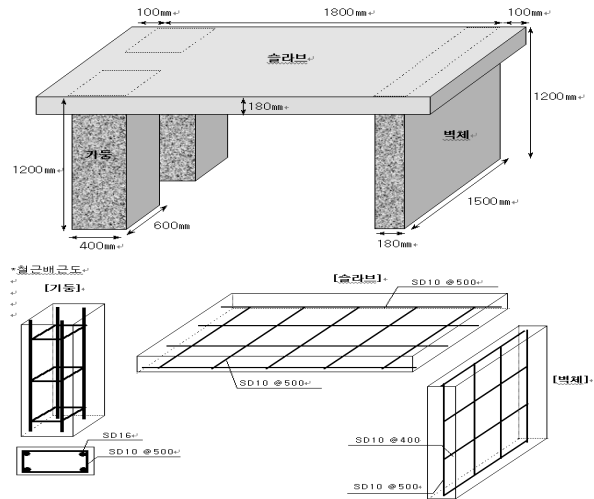


그림 1. Mock-up부재 모형도 및 철근배근도

2.4 실험방법

조기강도 콘크리트의 각종 공학적 특성을 검토하기 위한 굳지않은 성상 및 굳은 성상에서의 실험항목 및 방법은 표 4에 나타난 바와 같다.

즉, 조기강도 콘크리트의 유동특성을 평가하기 위해 굳지않은 성상에서의 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량 시험은 KS F 2421의 시험방법에 준하여 실시하였고, 분리경향은 육안관찰에 의해 실시하였다.

또한, 강도특성을 평가하기 위해 굳은 성상에서의 압축 측정용 공시체(10∅×20)를 제작하여 측정하였으며, 코어공시체 채취 및 초음파 탐사에 의한 강도특성을 평가 하였다.

표 4. 실험항목 및 방법

구분	유동특성 및 강도특성	
실험항목	슬럼프 (KS F 2402)	공기량 (KS F 2421)
측정장비		
실험항목	공시체제작 (KS F2403)	압축강도 (KS F 2405)
측정장비		

3. 실험결과 및 고찰

3.1 배치플랜트 배합시험

표 5는 배치플랜트 배합시험에 따른 굳지않은 정상 및 굳은 정상 결과의 결과를 나타낸 것이다.

표 5. 배치플랜트 배합시험의 실험결과

구분	슬럼프(mm)		공기량(%)		압축강도(MPa)		
	초기	60분	초기	60분	3일	7일	28일
OPC	200	205	5.6	4.8	19.3	25.2	33.1
CHC	155	160	4.0	4.5	20.4	26.2	35.2
HESPC	160	170	5.3	5.2	24.7	29.4	39.3

3.1.1 굳지않은 콘크리트의 정상

그림 2는 시멘트 종류에 따른 배치플랜트에 생산된 콘크리트의 슬럼프 변화를 나타낸 것으로서 CHC와 HESPC의 경우 슬럼프 값이 초기에는 160mm정도의 범위를 보이고 있고, 60분 경시변화 후의 슬럼프 값은 160~170mm의 범위를 보이고 있으며, 실내배합 시험에 비해 다소 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 인력투입에 의한 재료 투입시간의 지연 등으로 초기 유동성이 다소 낮은 것으로 추정된다. 그러나 목표 슬럼프 값인 180±25mm에는 모두 만족하는 것으로 나타났다.

공기량은 실내배합시험과 마찬가지로 CHC를 사용한 배합이 가장 적은 반응을 보였으며 HESPC의 배합이 경시변화 이

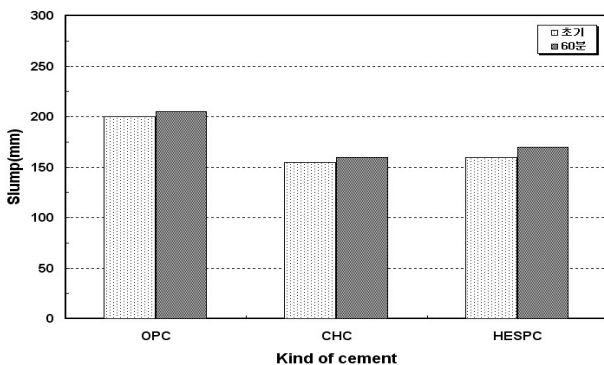


그림 2. 배치플랜트 생산 콘크리트의 슬럼프 변화

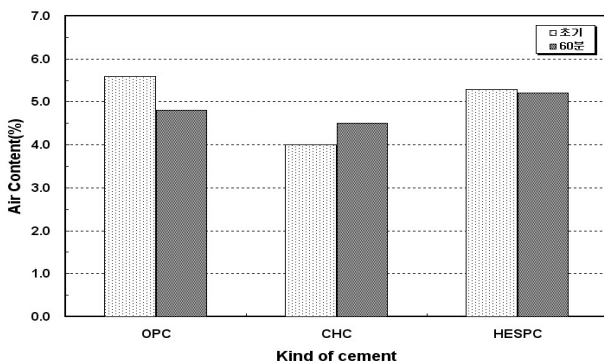


그림 3. 배치플랜트 생산 콘크리트의 공기량 변화

후 가장 큰 반응을 보였고 굳지않은 콘크리트의 공기량은 4.0~5.6% 범위로 나타내고 있어 일반강도 콘크리트의 범주인 4.5±1.5%에 만족한다고 할 수 있다.

3.1.2 굳은 콘크리트의 정상

그림 4는 시멘트 종류에 따른 압축강도 측정 결과를 나타낸 것으로서, HESPC>CHC>OPC 순으로 우수한 강도발현성상을 나타내었다.

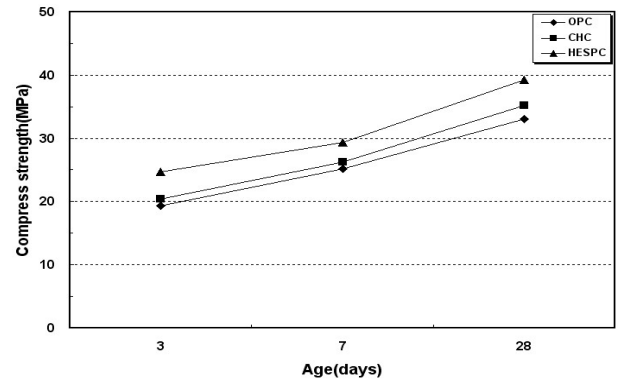


그림 4. 배치플랜트 생산 콘크리트의 압축강도 변화

3.2 실대부재시험

3.2.1 공시체에 의한 강도특성

표 6은 공시체에 의한 강도특성을 알아본 결과를 나타낸 것이다.

표 6. 공시체에 의한 압축강도 시험결과

구분	압축강도(MPa)						
	12hr	18hr	24hr	36hr	42hr	48hr	66hr
OPC	1.1	4.2	8.3	12.0	15.5	16.9	18.9
CHC	1.8	6.7	10.2	14.5	16.4	18.7	19.8
HESPC	2.9	8.9	15.1	18.5	20.9	21.0	24.0

공시체의 압축강도를 측정한 결과 초기재령 12hr에서 HESPC를 사용한 배합이 가장 우수한 강도발현 성상을 나타냈고, CHC와 HESPC를 사용한 배합의 경우 18hr에 5MPa의 강도발현이 가능한 것으로 나타났으나, OPC를 사용한 배합의 경우 5MPa/18hr의 강도발현에 못 미치는 것으로 나타났다. 또한, 재령 66hr 강도에서도 HESPC를 사용한 배합이 가장 우수한 강도발현 성상을 나타냈으며, 이는 실내배합시험과 유사한 결과로 나타났다.

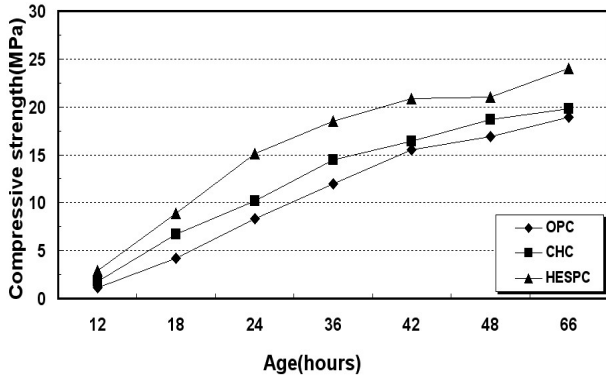


그림 5. 공시체에 의한 압축강도 변화

3.2.2 코아시험체에 의한 강도특성

표 7은 코아시험체 의한 강도특성을 알아본 결과를 나타낸 것이다.

표 7. 코아시험체에 의한 압축강도 시험결과

구분	측정 부위	압축강도(MPa)						
		12hr	18hr	24hr	36hr	42hr	48hr	66hr
OPC	Slab	-	-	-	12.3	15.1	-	18.9
	Column	-	-	-	-	16.6	-	19.4
CHC	Slab	-	-	-	15.9	17.5	-	20.5
	Column	-	-	-	-	19.0	-	21.0
HESPC	Slab	-	-	-	18.4	19.8	-	23.1
	Column	-	-	-	-	23.9	-	25.6

그림 6은 코아공시체의 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 HESPC를 사용한 배합이 가장 우수한 강도발현성을 나타냈으며, 모든 배합에서 초기에는 공시체강도와 큰 차이를 보이지 않고 있으나 재령이 증가할수록 코아시험체의 강도가 전반적으로 공시체강도보다는 높게 측정되었다. 이는 수화열 특성에 의한 온도차이로 인해 공시체 강도보다 다소 높게 발현된 것으로 판단된다.

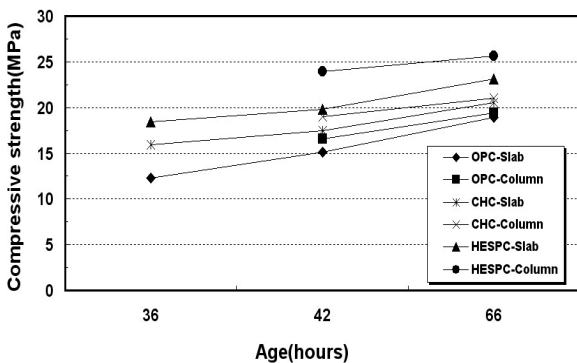


그림 6. 코아시험체에 의한 압축강도 변화

또한, 슬래브보다 기둥의 압축강도가 높은 것으로 나타났으

며, 이 역시 부재의 치수가 큰 기둥이 수화열의 증가에 따른 양생온도의 상승으로 공시체 강도보다는 다소 높게 나타나는 것으로 판단된다.

3.2.3 초음파탐사에 의한 강도특성

표 8은 초음파탐사에 의한 강도특성을 알아본 결과를 나타낸 것이다.

표 8. 초음파탐사에 의한 압축강도 시험결과

구분	측정 부위	압축강도(MPa)						
		12hr	18hr	24hr	36hr	42hr	48hr	66hr
OPC	Slab	0.1	0.1	5.4	9.0	11.2	-	13.8
	Wall	-	-	10.6	13.8	13.7	-	13.7
CHC	Slab	0.8	8.3	11.2	12.8	12.5	-	17.9
	Wall	-	-	17.5	18.1	18.2	-	17.9
HESPC	Slab	3.4	13.0	15.7	17.7	17.6	-	20.3
	Wall	-	-	18.2	21.5	20.2	-	22.2

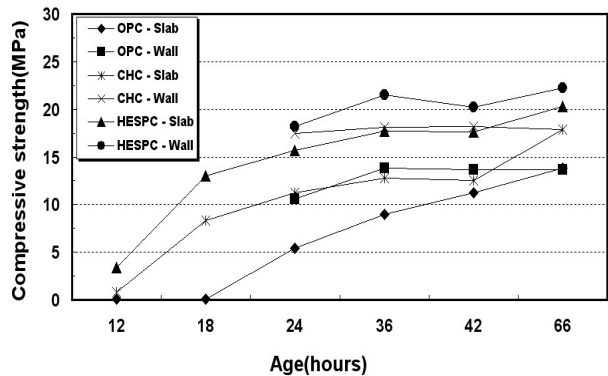


그림 7. 초음파탐사에 의한 압축강도 변화

초음파탐사 분석법의 적용 강도가 10~60MPa인 점을 고려할 때 초기재령(24시간 이전)의 측정결과는 데이터의 신뢰도가 낮을 것으로 판단된다.

그림 7에서 보는 바와 같이 재령 24시간 이후의 압축강도가 코아시험체의 강도측정 결과와 마찬가지로 슬래브보다 벽체의 강도가 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 콘크리트 자중에 의한 다짐효과 등으로 수평부재보다는 수직부재에서의 강도발현이 높은 것으로 판단된다.

4. 결 론

배척플랜트배합시험 및 실대부재시험을 통한 조기강도 콘크리트의 유동특성 및 강도특성을 비교·분석한 결과, 다음과 같

은 결론은 얻을 수 있었다.

- 1) 배척플랜트 생산시험을 실시한 결과, 슬럼프 및 공기량은 목표범위인 $180\pm 25\text{mm}$, $4.5\pm 1.5\%$ 의 품질기준을 모두 만족하였으며, 육안상의 고찰에서 현장의 시공성을 충분히 만족할 것으로 판단되었다. 또한, 압축강도는 재령 3일에는 HESPC를 사용한 배합이 OPC의 7일 강도를 3일 만에 발휘하는 가장 우수한 강도 발현 성상을 나타냈으며, 재령 7일에서 설계강도 24MPa에 모두 만족하는 것으로 나타났고, 재령 28일에서 33.1~39.3MPa의 범위로 측정되었다.
- 2) Mock-up부재의 초기 재령에서의 압축강도 측정을 위해 3가지 방법으로 분석한 결과 공시체에 의한 방법과 코아 시험체에 의한 방법은 일정한 패턴을 나타냈지만 초음파 탐사에 의한 강도 추정치는 데이터의 신뢰도가 낮은 것으로 측정되었다. 코아시험체에 의한 강도측정결과 수화열 특성에 의한 온도차이로 인해 공시체 강도보다 다소 높게 발현된 것으로 판단된다.
- 3) 기존에 실시한 실내배합시험과 본 연구에서의 실패부재 시험결과를 통해 알아본 조기강도 콘크리트의 목표성능인 4day/cycle에서 수직재 및 수평재의 요구강도 5MPa/18hr 및 14MPa/36hr을 만족하는 최적조건은 양생온도 15℃이상, W/B 45%이하, 단위수량 165kg/m^3 , CHC시멘트인 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 콘크리트科学と技術, 山海堂, 1996, pp.1~10.
2. 羽原俊祐: 콘크리트의構造とその物性, わかりやすいセメント科学, No.9, 社団法人セメント協会, 1993, pp.78~104.
3. セメントの常識, 社団法人セメント協会 1992, pp. 14~17.
4. I. Jawed, J. Skalny, F. Young ; Structure and performance of cements, edites by P. Barnes, Applied science publishers, 1980, pp.240.
5. 三浦 尚訳: 네빌의콘크리트바이블, 技報堂出版, 2004, pp.17~18.
6. e.g. Slegers, P.A., et al., The Hydration of Tricalcium Silicate : Calcium Concentration and Portlandite Formation, Cement mad Concrete Research, Vol.7, No.1, 1977, pp.31~38.