

마이크로파 가열기법에 의한 저열 포틀랜드시멘트 콘크리트의 조기강도 추정에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Early Strength Estimation of Belite Cement Concrete by Microwave Method

이민경* 황병준* 전판근** 박병근** 김성식*** 정상진****

Lee, Min Kyung Hwang, Byeong Jun Jeun, Pan Keun Park, Byung Keun Kim, Sung Sik Jung, Sang Jin

ABSTRACT

The most recent building trend is going large, high rise, high strength as overlarge project is developing in domestic construction business.

Belite cement has properties like low heat, excellent long term strength, and durability without admixture(fly ash, silica fume). So, Belite cement is suitable for mass structure which is needed high strength, high fluidity and low heat property.

This study is to examine the possibility of site adoption microwave-use early strength estimation method. Based on the existed study related the portland cement, the interrelation between Belite cement and microwave-use early strength estimation method is required.

1. 서론

최근 국내 건설시장의 대형 프로젝트의 추진으로 건축 구조물이 대형화, 고층화, 고강도화 함에 따라 대규모의 매스콘크리트의 시공이 요구되어 온도 응력에 의한 균열이 중대한 문제로 대두되고 있다. 중용열 시멘트보다 수화발열이 낮은 저열 포틀랜드(4종)시멘트는 광물자체의 구성비를 변경하여 제조한 시멘트로 슬래그나 플라이애쉬 등의 혼화재를 사용하지 않고도 저발열화가 가능하고 장기 강도 증진이 매우 우수하며, 내구성을 함께 지니고 있어 Mass구조물 등 고강도, 고유동 및 저발열 특성을 동시에 요구하는 구조물에 최적의 결합재이다.

본 연구는 마이크로파를 이용해 콘크리트의 조기강도를 추정하여 현장적용 가능성을 연구하는 실험

* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 단국대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 대흥ENG 이사, 공학박사

**** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

이다. 지금까지 연구되었던 보통 포틀랜드시멘트(1종)의 실험을 바탕으로, 저열 포틀랜드시멘트와 마이크로파를 이용한 조기강도 추정법과의 상관성을 검토하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

시멘트는 KS L 5201(포틀랜드시멘트)의 규정에 적합한 S사의 저열 포틀랜드시멘트를 사용하였다. 시멘트의 물성표는 표 1과 같다.

표 1 시멘트의 화학성분 및 광물조성

시멘트	화 학 성 분 (%)						광 물 조 성 (%)				비 중	분말도
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	R ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF		
저열(4종) 포틀랜드 시멘트	25.3	3.1	3.6	63.4	1.9	0.64	29	40	3	9	3.22	3,500

2.1.2 골재

본 실험에 사용한 잔골재는 인천산 세척사로 최대크기를 5mm이하로 입도조정하여 사용하였고, 굵은 골재는 광주석산 쇄석을 25mm이하로 입도조정하여 사용하였다.

2.1.3 몰 드

선형연구에서 개발된 고성능플라스틱인 폴리카보네이트(Polycarbonate)로 제작한 몰드를 사용하였다.

2.1.4 급결제

초기강도 발현시 반응을 촉진시키기 위하여 급결제를 사용하였다. 주성분은 Na₂SiO₃ 이며, 비중이 1.38, pH 3.2인 국내 S사의 제품으로, 사용량은 시멘트 중량의 7%를 사용하였으며, 급결제의 특성치는 표 2와 같다.

표 2 급결제의 특성치

성상	비중	pH	성 분 구 성 (%)					
			Na ₂ SiO ₃	NaFSiO ₃	규산염	금속염	산화제	안정제
액상	1.38	3.2	65	5	6	5	0.5	1

2.2 배 합

W/C 45%를 기본배합으로 하였으며, W/C 40~60%로 5%씩 변화시켰고, 슬럼프는 12±2cm로 하였다. 본 실험의 인자는 표 3과 같으며, 배합계획은 표 4와 같다.

표 3 콘크리트 실험의 인자 및 수준

구 분	실험 인 자	수 준
물시멘트비(%)	40%, 45%, 50%, 55%, 60%	5
슬 럽 프(cm)	12±2cm	1
급 속 경 화 제	C × 7%	1
가 열 시 간(분)	6, 9, 12	3
온수조 양생시간(분) (80℃, 50℃)	16(8, 8), 20(10, 10), 24(12, 12)	3
대기중양생시간(분)	8, 10, 12	3

표 4 콘크리트 배합표

W/C (%)	S/a (%)	Slump (cm)	공기량 (%)	단위량(kg/m ³)					혼화제	
				W	C	S	G	AE 감수제	AE제	
										C × 0.15%
40	42	11.4	4.4	170	425	733	1010	C × 0.15%	C × 0.02%	
45		12.8	3.3	170	378	746	1035			
50		10.6	4.2	170	340	757	1056			
55		11.5	4.7	170	309	768	1065			
60		12.6	4.1	170	283	776	1084			

표 5 현장배합 콘크리트 배합표

W/C (%)	S/a (%)	Slump (cm)	공기량 (%)	단위량(kg/m ³)				
				W	C	S	G	혼화제
51.9	46	15±2	4.5±1.5	185	356	806	982	0.712

2.3 실험방법

2.3.1 기초실험 방법

조기강도 추정실험에서 가장 중요한 마이크로파 가열시간에 따른 강도발현 성상을 각 W/C별로 비교·분석하였으며, 마이크로파 가열 후 80℃, 50℃ 온수조 및 대기중에서 각각 8분, 10분, 12분씩, 양생 총 시간 24분, 30분, 36분에 따른 조기강도 발현 성상을 각 W/C별로 비교·분석하였다.

2.3.2 기본배합 실험 방법

기본배합과 표준시험체와의 상관관계를 분석하였다. 실험방법은 콘크리트를 비빈 후 표준양생을 위한 시험체를 제작하고, 각 재령별 압축강도를 측정하였다. 그리고 촉진강도 발현실험을 위하여 일정한 양의 시료를 채취하여 시멘트량의 15%의 급결제를 첨가하여 본 연구에서 개발 제작된 몰드에 채운 후 다짐을 실시한 뒤, 마이크로파로 9분간 가열하고, 온수조 양생 후 강도를 측정하였다. 실험의 진행에 관한 흐름도는 그림 1과 같다.

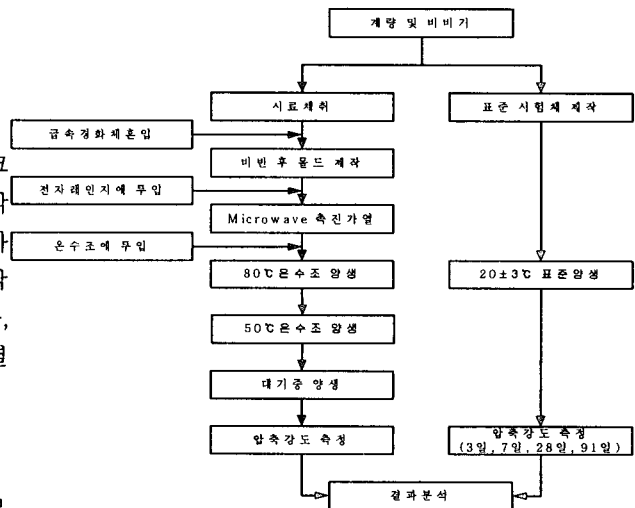


그림 1 실험의 진행 흐름도

3. 실험결과 및 고찰

3.1 마이크로파 가열시간에 따른 강도발현 특성

마이크로파의 가열 시간과 물시멘트비에 따른 강도발현 성상을 그림 2, 3, 4에 나타내었다.

그림에서 볼 수 있듯이 마이크로파를 6분 가열한 모든 실험체의 축진강도 값은 수화반응 미비로 인해 낮은 강도 값을 나타내었고, 9분 가열한 실험체들이 12분 가열한 실험체보다 높은 강도값을 나타내었다. 이는 보통 포틀랜드 시멘트 실험에서와 마찬가지로 9분 이상 마이크로파를 가열하게 되면 내부 열응력으로 인하여 내부균열이 발생하여 오히려 강도가 저하하기 때문으로 사료된다.

3.2 온수조 양생시간에 따른 강도 발현특성

양생시간에 따른 강도 발현성상을 그림 5, 6, 7에 나타내었다.

양생시간이 증가할수록 축진강도 값이 높아졌으며, 이러한 경향은 마이크로파의 가열시간과 물시멘트비에 관계없이 모든 시험체에서 같은 경향을 보이는 것으로 나타났다. 양생시간 30분과 36분의 차이가 양생시간 24분과 30분과의 차이보다 미비한 것으로 나타났다.

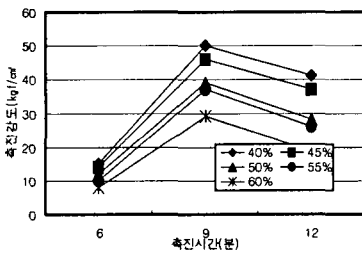


그림 2 마이크로파 가열시간에 따른 축진강도(양생24분)

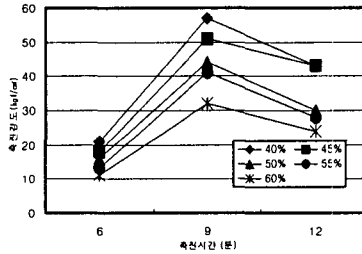


그림 3 마이크로파 가열시간에 따른 축진강도(양생30분)

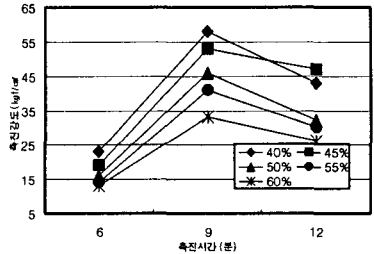


그림 4 마이크로파 가열시간에 따른 축진강도(양생36분)

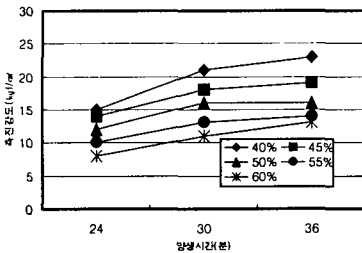


그림 5 양생시간에 따른 축진강도 (6분 가열)

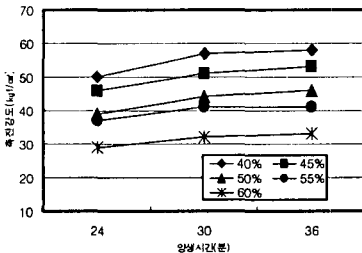


그림 6 양생시간에 따른 축진강도 (9분 가열)

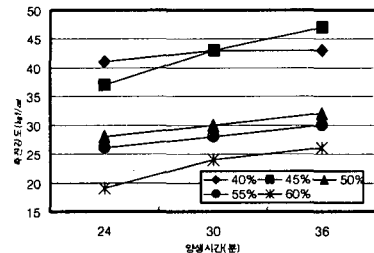


그림 7 양생시간에 따른 축진강도 (12분 가열)

3.3 축진강도와 표준시험체와의 상관성

표준양생시험체의 압축강도 발현현상을 살펴보면 물시멘트비가 낮아질수록 높은 강도를 나타냈으며, 저열포틀랜드시멘트의 특성으로 초기강도 값이 매우 낮음을 알 수 있다. 7일, 28일, 91일 강도와 축진강도와의 상관관계식을 표 6에 나타냈다.

표 6 축진강도와 표준공시체강도와의 상관관계식 및 결정계수

가열 및 양생시간	표준양생 공시체	상관관계식	결정계수
가열6분-양생24분	7일	$y = 6.5x + 27$	$R^2 = 0.85$
	28일	$y = 13.8x + 114$	$R^2 = 0.87$
	91일	$y = 17.2x + 211$	$R^2 = 0.89$
가열6분-양생30분	7일	$y = 4.6x + 32$	$R^2 = 0.87$
	28일	$y = 9.7x + 124$	$R^2 = 0.89$
	91일	$y = 12.2x + 222$	$R^2 = 0.91$
가열6분-양생36분	7일	$y = 4.0x + 36$	$R^2 = 0.72$
	28일	$y = 8.7x + 129$	$R^2 = 0.76$
	91일	$y = 10.9x + 228$	$R^2 = 0.78$
가열9분-양생24분	7일	$y = 2.3x + 17$	$R^2 = 0.94$
	28일	$y = 5.0x + 78$	$R^2 = 0.94$
	91일	$y = 6.2x + 165$	$R^2 = 0.92$
가열9분-양생30분	7일	$y = 1.9x + 21$	$R^2 = 0.94$
	28일	$y = 4.3x + 87$	$R^2 = 0.94$
	91일	$y = 5.3x + 176$	$R^2 = 0.92$
가열9분-양생36분	7일	$y = 1.9x + 20$	$R^2 = 0.96$
	28일	$y = 4.2x + 86$	$R^2 = 0.95$
	91일	$y = 5.2x + 175$	$R^2 = 0.93$
가열12분-양생24분	7일	$y = 2.0x + 46$	$R^2 = 0.92$
	28일	$y = 4.4x + 150$	$R^2 = 0.86$
	91일	$y = 5.8x + 238$	$R^2 = 0.78$
가열12분-양생30분	7일	$y = 1.9x + 42$	$R^2 = 0.84$
	28일	$y = 4.1x + 144$	$R^2 = 0.75$
	91일	$y = 5.2x + 240$	$R^2 = 0.80$
가열12분-양생36분	7일	$y = 1.8x + 41$	$R^2 = 0.79$
	28일	$y = 3.9x + 141$	$R^2 = 0.72$
	91일	$y = 5.0x + 237$	$R^2 = 0.76$

표 6에서 볼 수 있듯이 축진강도와 표준공시체와의 상관성이 모든 조건에서 상관계수가 0.72이상으로 비교적 높게 나타나고 있어, 저열 포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트를 마이크로로파에 의한 조기강도추정방법에 적용이 가능하다고 판단된다.

3.4 현장배합콘크리트 실험결과 및 고찰 현장배합 실험결과를 표 7에 나타냈다.

표 7 축진강도와 표준양생시험체의 압축강도

시험체	축진강도	3일강도	7일강도	28일강도	56일강도
N=1	39	63	112	216	336
N=2	48	75	124	229	348
N=3	44	66	117	221	341
N=4	41	66	116	219	340
N=5	46	71	117	222	346
N=6	45	69	122	223	343
N=7	47	74	123	227	345
N=8	37	56	106	212	332
N=9	40	60	112	216	335
N=10	46	67	122	226	346
N=11	48	78	127	232	351
N=12	42	70	119	224	344

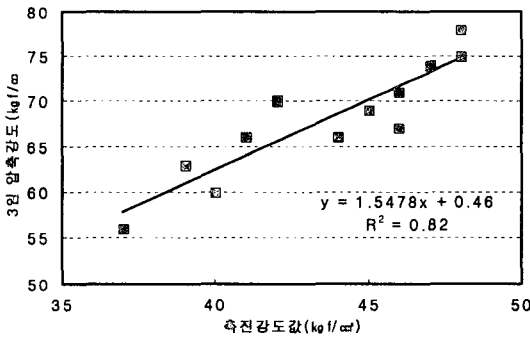


그림 8 3일 강도와 축진강도와의 상관관계

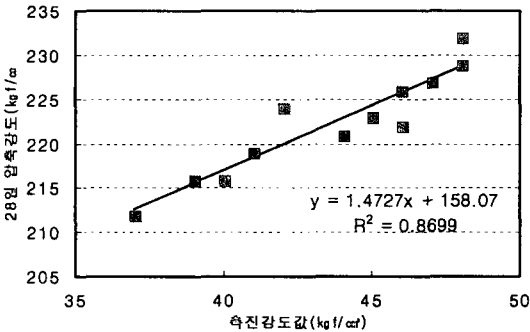


그림 10 28일 강도와 축진강도와의 상관관계

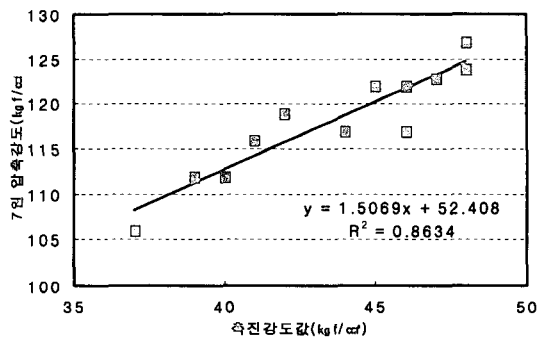


그림 9 7일 강도와 축진강도와의 상관관계

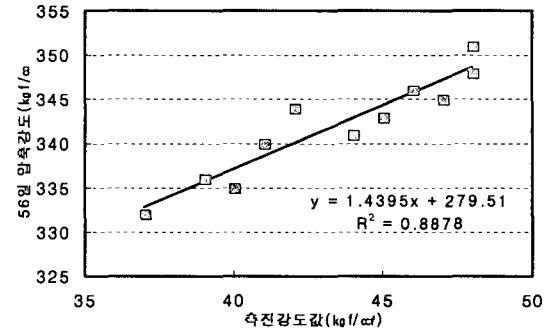


그림 11 56일 강도와 축진강도와의 상관관계

표준양생시험체의 3일, 7일 강도는 각각 28일 평균강도의 31%, 53%를 나타내어 초기강도 발현이 매우 낮음을 알 수 있다. 56일 강도는 28일 강도보다 평균 53%이상 증가하여 저열포틀랜드시멘트의 특성인 장기강도 발현이 매우 우수한 것으로 나타났다.

촉진강도와 표준양생공시체와의 상관관계를 그림 8, 9, 10, 11에 나타내었다.

4. 결 론

(1) 물시멘트비에 따른 촉진강도 발현성상은 물시멘트비가 낮을수록 높은 강도발현을 나타내었으며, 마이크로파 가열 후 양생시간에 따른 촉진강도는 양생시간이 길어질수록 높은 강도를 발현하였다.

(2) 촉진강도와 표준양생시험체와의 상관관계의 경우 마이크로파 촉진시간 9분, 80℃, 50℃, 대기중에서 각각 10분간 양생을 실시한 시험체에서 가장 높게 나타났다.

(3) 현장배합 실험에서 촉진강도와 28일, 56일 양생한 표준공시체와의 상관관계는 상관계수가 각각 0.87, 0.89로 매우 높게 나타났다.

이상의 실험결과로 저열포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트에 마이크로파를 통한 조기강도추정방법의 적용이 가능하다고 판단된다.

본 기초실험을 통해서 저열포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트의 조기강도 평가를 할 수 있게 되어, 최근에 많이 사용되고 있는 저열포틀랜드시멘트의 품질관리를 보다 확실히 할 수 있게 되었다.

촉진강도와 표준시험체와의 상관성이 매우 높아 저열포틀랜드시멘트 콘크리트에 마이크로파를 이용한 조기강도 추정 기법을 적용해도 아무런 문제가 없을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 정상진의 5명, 「콘크리트 종류에 따른 마이크로파를 이용한 조기강도 추정에 관한 연구, 2000년 추계학술 발표대회논문집」, 2000.10.
2. 이종균, 「마이크로파를 이용한 콘크리트 早期強度 推定에 관한 研究」, 단국대학교 대학원 건축공학과 박사 학위논문, 2000.
3. ACI Committee 517 「Recommended Practice for Atmospheric Pressure Steam Curing of Concrete」 in reference 2.