

마이크로파를 이용한 저열 포틀랜드(4종)시멘트 모르타의 조기강도 추정에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Strength Estimation of Belite Cement Mortar by Microwave Heating

김민석* 정근호** 이영도*** 정재영**** 정상진*****
Kim, Min-Suk Jung, Keun-Ho Lee, Young-Do Jung, J.Young 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.

In this study, interrelation between mortar and Evaluating strength estimation method is investigated before the concrete experiment.

1. 서론

최근 국내 건설시장의 대형 프로젝트의 추진으로 건축 구조물이 대형화, 고층화, 고강도화 함에 따라 대규모의 Mass 시공이 요구되어 온도 응력에 의한 균열이 증대된 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 실험이다.

지금까지 연구되었던 보통 포틀랜드시멘트(1종)의 실험을 바탕으로, 저열 포틀랜드시멘트와 마이크로파를 이용한 조기강도 추정법과의 상관성을 검토하고자 한다. 본 논문에서는 콘크리트 실험에 앞서 모르타의 상관성을 실험하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 시중에 유통되는 KS 규정에 적합한 S사의 저열 포틀랜드시멘트를 사용하였다. 시멘트의 물성표는 표 1과 같다.

2.1.2 잔골재

본 실험에 사용한 골재는 현장에서 사용하고 있는 최대치수가 10mm이하인 일반모래를 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

2.1.3 몰 드

마이크로파의 투과성이 높고, 고온에서도 변형이 발생되지 않아 반복사용이 가능한 조건을 만족하는, 고성능플라스틱인 폴리카보네이트(Polycarbonate)를 사용하여, 구속, 밀폐시킬 수 있는 구조로 선행연구에서 개발한 몰드를 사용하였다.

2.1.4 급결제

본 실험에서 마이크로파 가열을 통한 강도측진 및 강도성상을 유지시키기 위해 급속 경화제를 사용하였다. 주성분은 Na_2SiO_3 이며, 비중이 1.38, pH 3.2인 국내 S사의 제품으로, 사용량은 시멘트 중량의 15%를 사용하였으며, 급속 경화제의 성분은 표 3과 같다.

* 정회원, 단국대학교 건축공학과 석사과정
** 정회원, 단국대학교 건축공학과 박사과정
*** 정회원, 경동대학교 건축학부 교수
**** 정회원, 한남대학교 건축·토목환경공학부 교수
***** 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수

표 1. 시멘트의 화학성분 및 광물조성

시멘트	화학성분 (%)						광물조성 (%)				비중	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	50	3	9	3.22	3,500

표 2. 골재의 물리적 성질

생산지	최대치수(mm)	표준비중	흡수율(%)	단위용적중량(kg/m ³)	실적율(%)	조립율(F.M)
주문진	5	2.56	1.02	1,590	61.2	2.87

표 3. 금결제의 성분표

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

표 4. 실험 인자 및 수준

구분	가열시간(분)	W/C(%)	양생시간 (분)	
			온수조(80℃, 50℃)	대기중 (20±3℃)
인자	6, 9, 12	40, 45, 50, 55, 60	16(8,8) 20(10,10) 24(12,12)	8, 10, 12
수준	3	5	3	

표 5. 기본배합의 모르터

W/C (%)	단위 재료량 (kg/m ³)			단위중량 (kg/m ³)	플로우값 (mm)
	W	C	S		
45	276	614	1221	2111	160

2.2 배합계획

마이크로파를 이용하여 저열 포틀랜드시멘트 모르터의 조기강도 추정에 영향을 미치는 요인을 분석하고 신뢰도 높은 결과를 도출하기 위하여 기초실험을 실시하였다. W/C는 40%, 45%, 50%, 55%, 60%로 설정하였으며, 45%를 기본배합으로 하였다. 모르터의 예비실험을 통하여 플로우치는 160mm로 설정하였다. 본 실험에 사용한 실험인자 및 수준은 표 4와 같고, 모르터의 기본배합은 표 5와 같다.

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

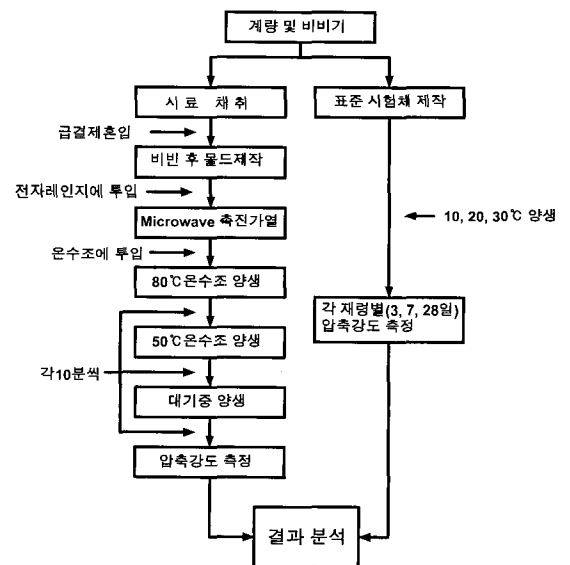


그림 1. 실험의 진행에 관한 흐름도

24분, 30분, 36분에 따른 조기강도 발현 성상을 각 W/C별로 비교·분석하였다.

2.3.2 기본배합 실험 방법

W/C 45%, 플로우치 160mm인 기본배합의 촉진강도와 표준공시체와의 상관관계를 분석하였다. 실험방법은 모르타르를 비빈 후 3일, 7일, 28일 표준양생을 위한 9개의 시험체를 제작하고, 각 재령별 압축강도를 측정한다.

그리고 촉진강도 발현실험을 위하여 일정한 양의 시료를 채취하여 시멘트량의 15%의 급결제를 첨가한 후, 본 연구에서 개발 제작된 몰드에 채워 다짐을 실시한 뒤, 마이크로파에 9분간 가열하고, 80℃, 50℃, 대기중에서 각각 10분씩 양생 후 강도를 측정하여, 촉진강도와 각 재령별 표준공시체와의 상관관계를 비교·분석한다.

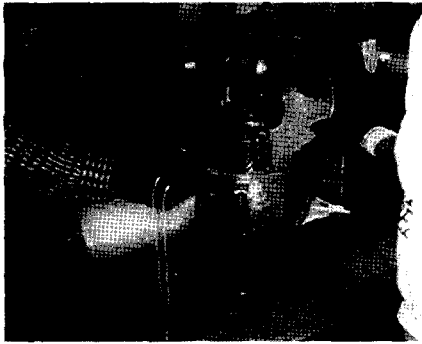


사진 1. 모르타르 기계비빔

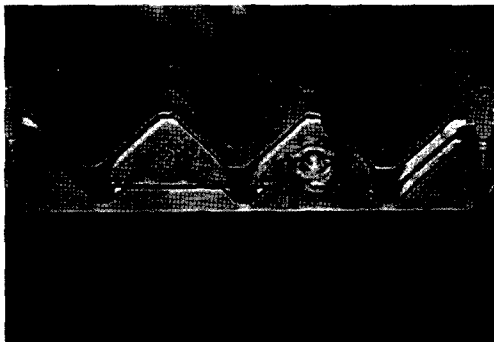


사진 2. 표준양생 시험체 제작

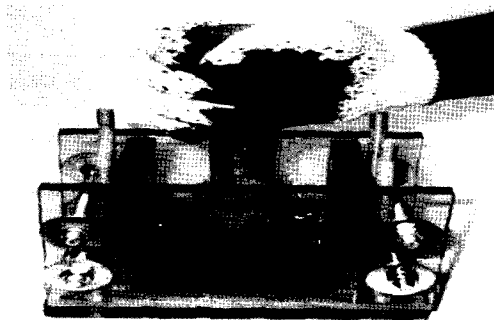


사진 3. 촉진강도 시험체 제작

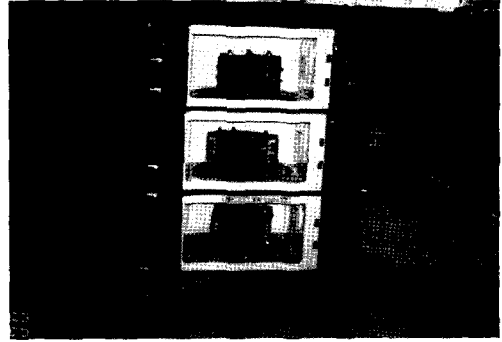


사진 4. 마이크로파 촉진 가열

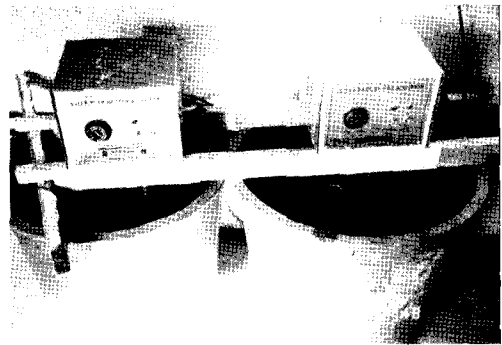


사진 5. 온수조 양생

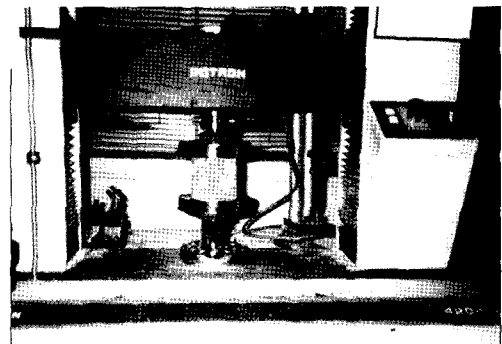


사진 6. 촉진시험체의 압축강도측정

실험의 진행에 관한 흐름도는 그림 1에 나타내었고, 각 단계별 실험과정을 사진 1,2,3,4,5,6에 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 각 실험인자별 촉진강도 발현 특성

W/C, 촉진시간, 양생시간에 따른 촉진강도 값은 표 6에 나타내었다.

1) 80℃, 50℃, 대기중 양생시간에 따른 강도 발현특성 마이크로파의 가열 시간과 물시멘트비에 따른 강도 발현 성상을 그림 2,3,4에 나타내었다.

그림에서 볼 수 있듯이 마이크로파를 6분 가열한 모든 실험체의 촉진강도 값은 수화반응 미비로 인해 낮은 강도 값을 나타내었고, 9분 가열한 실험체들이 12

표 6. 각 실험인자별 촉진강도 값

W/C (%)	촉진 시간	양생 시간	촉진 강도	W/C (%)	촉진 시간	양생 시간	촉진 강도	W/C (%)	촉진 시간	양생 시간	촉진 강도
40%	6	24	36	50%	6	24	29	60%	6	24	24
		30	42			30	35			30	27
		36	43			36	37			36	29
	9	24	69		9	24	57		9	24	47
		30	73			30	58			30	51
		36	75			36	64			36	53
	12	24	61		12	24	52		12	24	44
		30	65			30	56			30	49
		36	66			36	60			36	50
45%	6	24	30	55%	6	24	24	· 촉진시간 단위 : 분			
		30	36			30	28		· 양생시간 단위 : 분		
		36	38			36	31			· 촉진강도 단위 : kgf/cm ²	
	9	24	61		9	24	54				
		30	66			30	56				
		36	69			36	60				
	12	24	60		12	24	50				
		30	63			30	53				
		36	65			36	58				

분 가열한 실험체보다 높은 강도값을 나타내었다. 이는 보통 포틀랜드 시멘트 실험에서도 나타났듯이 9분 이상 마이크로파를 가열하게 되면 내부 열응력으로 인

하여 내부균열이 발생해 오히려 강도가 저하하기 때문으로 사료된다.

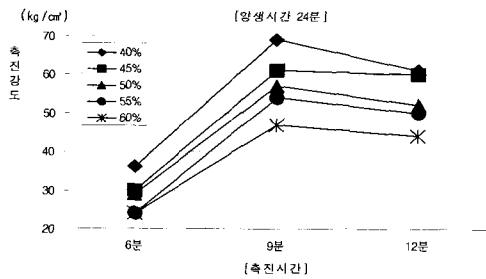


그림 2. 마이크로파 가열에 따른 촉진강도 - 양생 24분

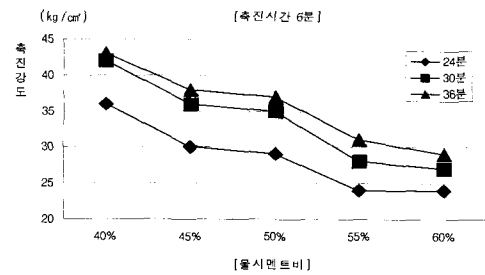


그림 5. 양생시간에 따른 촉진강도 - 6분 가열

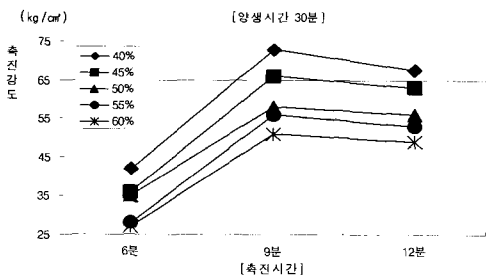


그림 3. 마이크로파 가열에 따른 촉진강도 - 양생 30분

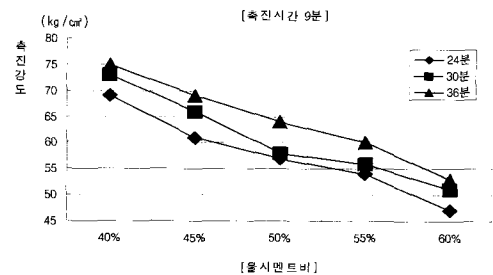


그림 6. 양생시간에 따른 촉진강도 - 9분 가열

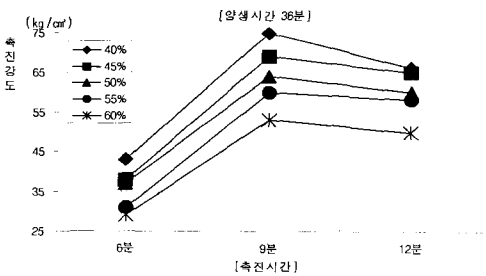


그림 4. 마이크로파 가열에 따른 촉진강도 - 양생 36분

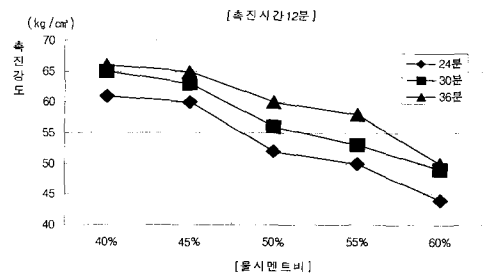


그림 7. 양생시간에 따른 촉진강도 - 12분 가열

2) 양생시간에 따른 강도 발현특성
 양생시간에 따른 강도 발현성상을 그림 5,6,7에 나타내었다. 양생시간이 증가할수록 축진강도 값이 높아졌으며, 양생시간 36분과 30분의 차이가 양생시간 30분과 24분과의 차이보다 미비한 것으로 나타났다.

3.2 축진강도와 표준시험체와의 상관성

W/C 45%, 플로우 160mm 기본배합의 축진강도와 3일, 7일, 28일 표준양생 시험체의 압축강도 값을 표 7에 나타내었다. 표 7에서 볼 수 있듯이 축진강도값은 57~73kgf/cm², 평균 64kgf/cm²의 강도값을 나타내었고, 표준시험체 3일, 7일, 28일 강도값은 각각 179~208kgf/cm², 270~312kgf/cm², 452~493kgf/cm²의 강도를 나타내었다.

축진강도값은 3일, 7일, 28일 표준 시험체 강도값의 평균 33%, 22%, 14%값을 나타내었다.

축진강도와 3일, 7일, 28일 표준시험체와 상관관계를 그림 8,9,10에 나타내었다.

축진강도와 표준시험체 3일, 7일, 28일 강도값과의 상관계수는 각각 0.79, 0.85, 0.88로 매우 높고 고른 상관성을 나타내었다.

4. 결론

1. 마이크로파 가열시간은 물시멘트비, 양생온도와 상관없이 가열시간 9분에서 가장 높은 강도를 나타내었다. 마이크로파를 6분 가열한 모든 실험체의 축진강도 값은 수화반응 미비로 인해 낮은 강도 값을 나타내었고, 12분 가열한 실험체의 경우는 내부 열용력으로 인하여 9분 가열한 실험체보다 오히려 강도가 저하하였다.

2. 마이크로파 가열 후 수중 및 대기중에서 양생시간이 길어질수록 높은 강도를 나타내었다. 양생시간 36분과 30분의 차이가 양생시간 30분과 24분의 차이보다 미비한 것으로 나타났다.

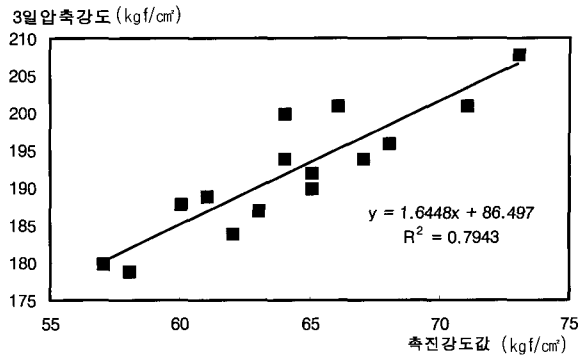


그림 8. 축진강도와 표준시험체 3일 강도와의 상관관계

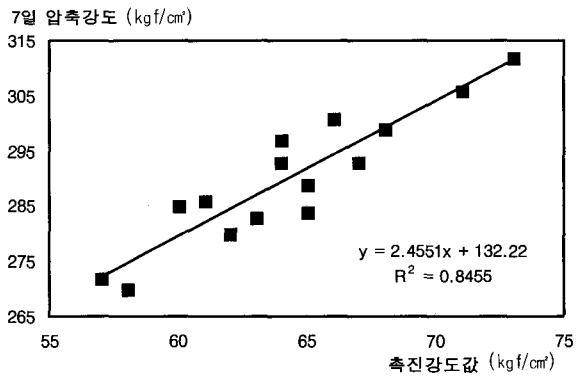


그림 9. 축진강도와 표준시험체 7일 강도와의 상관관계

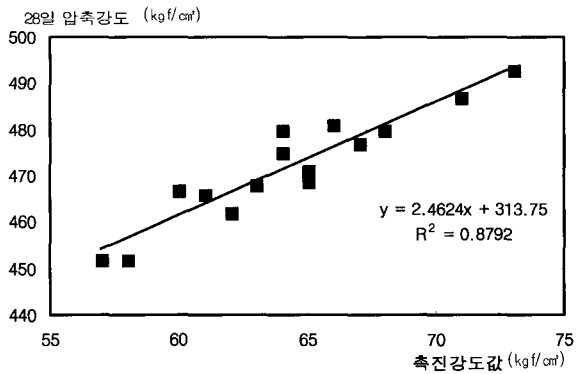


그림 10. 축진강도와 표준시험체 28일 강도와의 상관관계

표 7. 축진압축강도 및 3일, 7일, 28일 표준양생시험체의 압축강도

시험체	축진강도 (kgf/cm ²)	3일 압축강도(kgf/cm ²)	7일 압축강도(kgf/cm ²)	28일 압축강도(kgf/cm ²)	시험체	축진강도 (kgf/cm ²)	3일 압축강도(kgf/cm ²)	7일 압축강도(kgf/cm ²)	28일 압축강도(kgf/cm ²)
N=1	65	190	284	469	N=9	58	179	270	452
N=2	73	208	312	493	N=10	64	200	297	475
N=3	67	194	293	477	N=11	71	201	306	487
N=4	65	192	289	471	N=12	57	180	272	452
N=5	62	184	280	462	N=13	61	189	286	466
N=6	64	194	293	480	N=14	60	188	285	467
N=7	68	196	299	480	N=15	63	187	283	468
N=8	66	201	301	481					

3. 축진강도와 표준시험체 3일, 7일, 28일 압축강도와 상관계수는 각각 0.79, 0.85, 0.88로 매우 높고 고른 상관성을 나타내었다.

본 실험을 통해서 마이크로파에 의한 저열 포틀랜드 시멘트 모르타의 조기강도추정기법을 제시하였다. 이 자료를 토대로 최근 많은 건축구조물에 사용되는 저열 포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트의 조기강도를 평가하는데 신뢰성을 확보함으로써 그 품질관리를 보다 확실히 할 수 있을 것이다.

축진강도와 표준시험체와의 상관성이 매우 높아 저열 포틀랜드시멘트 모르타에 마이크로파를 이용한 조기강도 추정 기법을 적용해도 아무런 문제가 없을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 정상진외 4명, 「마이크로파를 이용한 조기강도 추정에 관한 개발기법 연구」, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 제 19권 제2호 1999. 10. 30 pp. 648~653
2. 한천구, 「콘크리트 강도의 조기추정에 관한 기초연구(시멘트 페이스트 및 몰탈의 산중화 방법에 관하여)」, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 5, No. 1, 1985, pp. 397~400
3. 진영각, 「마이크로파 공학의 기초, 청문각」, 1998. 1
4. ACI Committee 517 「Recommended Practice for Atmospheric Pressure Steam Curing of Concrete」 in reference 2.
5. 星野政幸外 2名 「マイクロウェーブ加熱養生によるコンクリート強度即時判定に関する研究」, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol.17, No.1 1995.
6. 「マイクロ波を利用したコンクリート早期強度判定」, セメント・コンクリート No. 538, 12. 1991.
7. Verbeck, G.J. and Helmuth, R.H., 「Structure and Physical Properties of Cement Paste.」 Proc. Symp. Chem. Cement Tokyo, 1936.