

# 마이크로파에 의한 PC접합모르타르의 조기강도추정에 관한 연구

## A Study on Early Strength Estimation of Precast Concrete joint Mortar with Microwave

원준연\* 박일용\* 백민수\*\* 이종균\*\* 안형준\*\*\* 정상진\*\*\*\*  
Won, Joon-Yuen Park, Il-Yong Paik, Min-Su Lee, Jong Kyun Ahn, Hyung Jun Jung, Sang-Jin

### ABSTRACT

A large PC structure building is a system that consisted of bearing wall and slab joint. It has general structure stability from unity that each members tied at joint. The strength of mortar that packing in joint among panels is important to internal force in entire building system. So, if we could get early strength estimation with microwave,

It would bring good construction planning, reduce construction time, and judge building stability and so on.

The purpose of this study is to develop early estimation method for making better quality control and constructing good PC panel structure.

The results of this study were as follows ; 1) With sealed molds, reduced moisture volatilization to more than 60% and enlarged 30% accelerated compressive strength than before one. 2) To get more accelerated strength, we should control maximum temperature difference to 30°C downward 3) Interrelation with 7-days and 28-days strength were 0.831, 0.902, and it is above than before one.

### 1. 서론

대형 PC구조물은 내력벽과 바닥판이 서로 연결, 조합되어 구성되는 시스템으로 일체식 철근콘크리트구조와 달리 각부재가 접합부에서 결합 집성되어 전체적으로 일체화를 통하여 구조안정을 이루고 있다. 그러므로 패널상호의 접합부내에 충전되는 모르타르의 강도가 건물전체의 내력을 좌우하는 중요한 요소이므로 그 강도를 조기에 추정할 수 있다면 실용적인 시공계획으로 인한 공기단축과 함께 그 건물의 안정성까지 판단하여, 품질관리는 물론 신뢰성 높은 PC판넬 구조가 시공될 수 있다. 따라서 본 연구는 마이크로파를 이용하여 PC접합부용 모르타르의 강도를 조기에 추정하기 위한 추정법을 제시하는데 그 목적이 있다.

- \* 정회원, 단국대학교 건축공학과 석사과정
- \*\* 정회원, 단국대학교 건축공학과 박사과정
- \*\*\* 정회원, 강남대학교 건축공학과 교수
- \*\*\*\* 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

시멘트는 KS L 5201(포틀랜드시멘트)의 규정에 적합한 H사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다.

#### 2.1.2 잔골재

본 실험에 사용한 골재는 현장에서 사용하고 있는 최대치수가 10mm이하인 일반모래를 사용하였다.

#### 2.1.3 몰드

마이크로파를 이용한 강도축진 실험시 발생하는 고열에 견디기 위해서는 고성능플라스틱이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 그 중 성능이 우수한 폴리카보네이트(Polycarbonate)를 사용하였다.

#### 2.1.4 급결제

본 실험에서는 초기강도발현시 반응을 촉진시키기 위하여 급결제를 사용하였다. 주성분은  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 이며, 비중이 1.38, pH 3.2인 국내 S사의 제품으로, 사용량은 기초실험에서 나타난 결과를 토대로 시멘트 중량의 15%를 사용하였으며, 급결제의 성분은 표 1과 같다.

#### 2.1.5 배합

본 실험은 마이크로파를 이용한 PC접합모르타르 초기강도 추정법의 현장 적용 가능성을 위한 것으로 S사 아파트현장에서 현재 사용하고 있는 배합을 사용하였으며, 강도축진을 위한 급결제 이외의 혼화제는 사용하지 않았다. 본 실험에 사용한 배합표는 표 2와 같다.

표 1 급결제의 성분표

성상	비중	pH	성분구성 (%)					
			$\text{Na}_2\text{SiO}_3$	$\text{NaFSiO}_3$	규산염	금속염	산화제	안정제
액상	1.38	3.2	65	5	6	5	0.5	1

표 2 PC접합 모르타르의 배합표(1:2)

W/C (%)	단위 재료량(kg/m <sup>3</sup> )				단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )	플로우값 (mm)
	W	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	S		
42.8	235	494	55	1440	2224	135

## 2.2 실험계획

### 2.2.1 일반사항

표준 강도를 측정하기 위해 KS L 5109에 의하여 시험체를 제작하고, 각 재령별 압축강도를 측정하였다. 또, 축진강도용 시료를 채취하여 급결제를 혼입 후, 몰드에 채워 다짐을 실시하고, 전자레인지에서 9분간 가열한다.

### 2.2.2 몰드형태의 변화

8×8×8cm 크기의 몰드크기를 KS L 5105의 규정에 맞는 크기(5×5×5cm)로 줄여 제작하였고, 마이크로파로 축진가열을 했을 시 수분증발을 최소화 하고자 측면을 구속·접착하였으며, 밑판과 윗판은

요철을 만들어 밀폐성을 향상시켰다. 그 비교는 기존몰드와 개발된 몰드와의 촉진하기전과 후의 중량차 및 압축강도를 파악하였으며, 평면도는 그림 1과 같다.

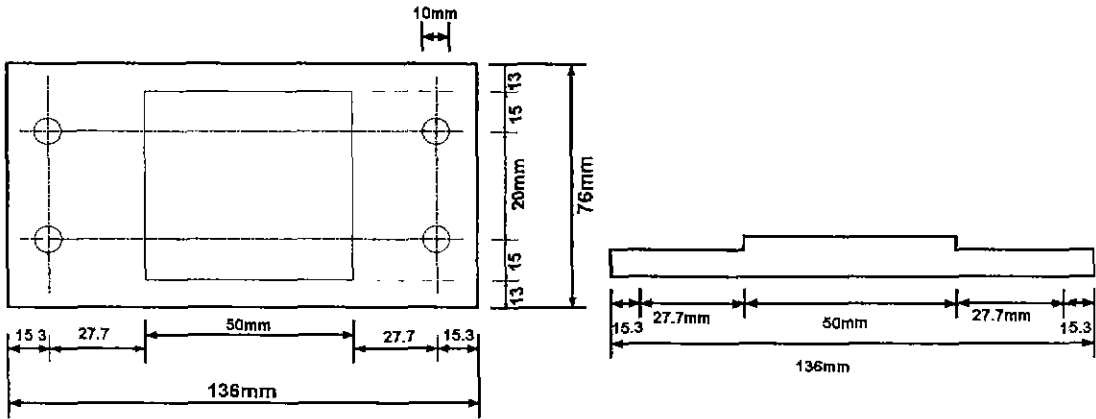


그림 1 개발된 몰드 평면도

### 2.2.3 양생온수조 조건의 변화

기존 연구에서는 9분간 마이크로파로 촉진 가열을 시킨 후 50℃ 온수조에서 20분간 양생 시켰다.

그러나, 본 연구에서는 개발된 몰드에 공시체 성형 후 촉진양생 실시한 뒤, 온수조양생 단계에서 갑작스런 온도하강으로 열수축의 차이에서 오는 내부응력과 내·외부온도차이로 인한 온도균열효과 등을 평가하기 위하여 온수조의 양생온도 및 시간을 변화시켜 실험을 실시하며, 온수조양생온도 변화에 따른 촉진가열시험체의 수화 및 압축강도에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

그 실험의 진행에 관한 플로우차트는 그림 2와 같다.

### 2.2.4 촉진강도와 표준공시체와의 상관성

최적의 온도하강구배를 구한 촉진강도용 시험체와 28일 표준강도 시험체와의 상관관계성을 비교·고찰하였다.

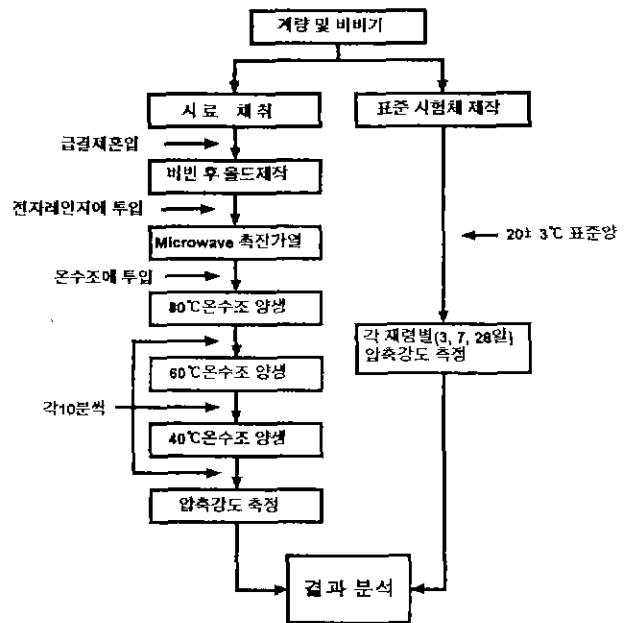


그림 2 실험의 진행에 관한 flow chart

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 마이크로파의 축진가열 전·후의 중량 비교

물드형태에 따른 마이크로파 축진가열 전·후 중량의 시험결과를 표 3, 그림 3에 나타내었다. 표에 따르면, 기존몰드에 비해서 수분증발이 훨씬 줄어들었음을 알 수 있으며, 그림 3에 따르면 수분증발이 적을수록 압축강도가 증가하는데 이는 수분증발이 억제됨으로써 수화에 필요한 수분을 확보하므로 강도가 증가하는 것으로 판단된다.

기존몰드의 시험체와 새롭게 개량된 몰드의 시험체의 표면을 모두 관찰해본 결과 기존몰드에는 수분증발에 따른 미세한 균열이 다량 나타나 있었지만, 개량된 몰드내의 시험체에서는 극히 미량만이 발견되었다.

시멘트를 고온에서 수화하였을 때 생성되는 겔의 이질성과 강도발현은 다음 두 가지로 설명할 수 있다. Verbeck과 Helmuth<sup>6)</sup>에 의하면 상온에서 수화를 거치지 않고 성형즉시 가열하면 시멘트 중의 C<sub>3</sub>S가 초기에 급격히 수화반응을 일으켜 물과 대부분이 반응하며, 온도가 높을수록 내부에 치밀한 CSH층이 형성된다고 하였다.

그러므로, 급격한 수화반응이라도 필요한 수분의 양이 절대적으로 필요하다는 것을 생각할 수 있다.

#### 3.2 양생온수조 조건에 따른 축진강도의 비교

본 실험에서는 양생온도 및 시간의 인자에 다양한 변화를 주어 실험을 실시하여 가장 적합한 양생온도를 파악하는 것을 목표로 하였다.

본 실험결과를 표 4 및 그림 4에 나타내고 있다. 표에 의하면 양생온도 온도저하가 급격할수록 압축강도가 저감하는 경향을 나타내고 있으며, 완만한 온도하강은 강도증진의 효과가 있지만, 하강온도가 급격할수록 오히려 강도가 저감되는 경향을 보이고 있었다 이는 마이크로파에 의한 축진가열 후 온수조에서 양생하는 단계에서 갑작스런 온도하강으로 인하여 완전히 굳지 않은 시험체내의 액상성분과 고체 성분사이의 열수축 차이에서 오는 내부응력 및 내·외부 온도차이로 인한 온도균열이 발생하며, 이 온도 균열이 강도감소를 가져왔다고 판단된다. 더욱이 하강속도가 급할수록 온도균열의 발생빈도는 더욱 커지기 때문에 급격한 온도저하는 수화 및 강도에 나쁜영향을 미친다고 본다.

본 실험에서는 모든 시험체의 표면을 관찰해 본 결과 표면에는 균열이 발생하지 않았다. 그러나 시

표 3 물드형태변화 따른 중량차와 압축강도

시험체	축진가열전 (g)	축진가열후 (g)	중량차 (g)	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )
Old-1	1533.4	1510.2	23.2	44.88
Old-2	1527.5	1510.8	16.7	47.41
Old-3	1551.3	1515.2	36.1	39.71
Old-4	1570.4	1542.8	27.7	39.49
Old-5	1548.3	1512.2	36.1	36.74
Old-6	1528.9	1499.6	29.3	33.77
New-1	1531.5	1523.1	8.4	53.57
New-2	1513.4	1505.5	8.0	53.79
New-3	1560.5	1551.1	9.4	50.16
New-4	1544.9	1533.8	11.2	45.54
New-5	1521.7	1513.7	8.1	53.57
New-6	1548.6	1540.0	8.6	50.71

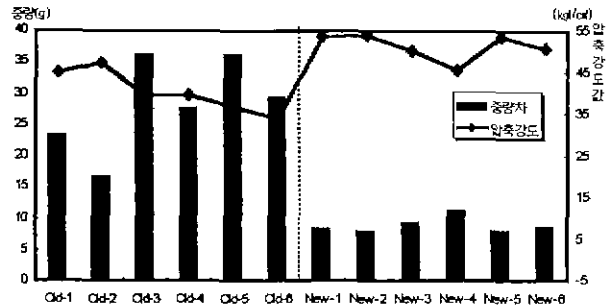


그림 3 물드형태에 따른 축진강도발현의 특성

험체의 내부의 온도와 외부온도와 30℃ 이상 차이가 난 경우 강도의 저하가 큰 것으로 나타났다.

따라서 본 실험결과 촉진가열시킨 후 나온 시험체와의 내·외부온도차의 최대 온도차는 30℃ 내외라고 사료된다.

표 4 온도하강방법에 따른 압축강도

온도하강방법에 따른 시험체 표기법	80℃	60℃	40℃	대기중 (20℃)	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )
W8-10-A10	10분			10분	38.92
W8-10-A20	10분			20분	61.28
W8-20-A10	20분			10분	51.60
W8-20-A20	20분			20분	67.60
W8-30-A10	30분			10분	60.16
W6-10-A10		10분		10분	34.40
W6-10-A20		10분		20분	56.04
W6-20-A10		20분		10분	43.60
W6-20-A20		20분		20분	47.20
W8-W6-W4-10-A10	10분	10분	10분	10분	76.12

※ W8:80℃ 온수조, W6:60℃ 온수조, W4:40℃ 온수조, A:대기중

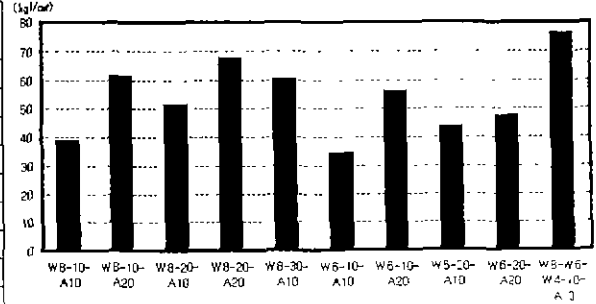


그림 4 온수조 조건에 따른 촉진강도발현의 특성

### 3.3 촉진강도와 표준시험체와의 상관성

위 실험에서 가장 높은 강도발현을 한 W8-W6-W4-10-A10 촉진시험체는 급격한 온도하강으로 인한 타 시험체에 비하여 촉진강도가 약 10%정도 증진되었음을 시험을 통하여 알 수 있었다.

그러므로, 온도하강속도를 고려한 촉진강도용 시험체와 7일·28일 표준강도와와의 상관성을 표 5, 그림 5 및 6에 나타내었다

표 5에 나타난 것처럼 표준양생 시험체의 재령 28일 압축강도는 390~427kgf/cm<sup>2</sup>의 범위를 보였고, 마이크로파에 의한 촉진강도는 48.7~63.8kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로 28일강도에 대해서는 평균 14%정도의 강도를 나타내었다. 또한 촉진강도 및 표준압축강도의 표준편차의 비를 살펴보면 촉진강도는 8%, 28일 압축강도는 3%로 비교적 고른 강도발현을 나타내었다.

그림 5에서 볼 수 있듯이 마이크로파에 의한 촉진강도와 7일 및 28일강도와와의 결정계수는 0.831 및 0.902로 기존 연구에 비하여 상관관계가 높게 나왔다.

표 5 촉진강도, 7일 및 28일 표준양생시험체의 압축강도

시험체	촉진강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	7일압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	28일압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )
N=1	60.4	240.9	413.4
N=2	49.6	218.8	394.1
N=3	53.2	225.1	398.0
N=4	61.7	243.6	422.2
N=5	63.8	248.5	427.0
N=6	54.8	229.4	399.8
N=7	59.5	237.4	411.1
N=8	51.3	225.4	396.6
N=9	63.8	241.7	418.5
N=10	50.6	231.1	401.6
N=11	63.5	244.2	423.6
N=12	62.0	247.8	424.9
N=13	61.7	218.1	422.2
N=14	48.7	234.8	390.4
N=15	57.9	243.4	415.6
N=16	56.4	225.6	405.8
N=17	61.7	243.6	422.2
N=18	61.8	247.1	425.1
N=19	54.8	229.4	399.8
N=20	56.3	237.4	410.3
N=21	51.3	225.4	396.6

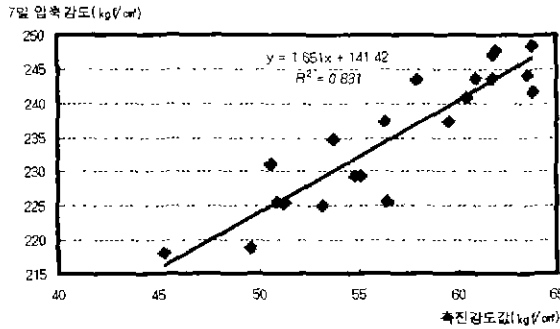


그림 5 7일강도와 축진강도와의 상관관계

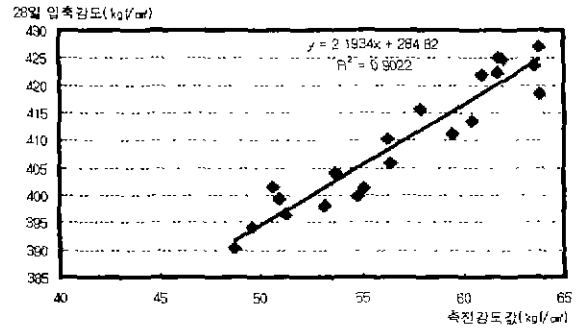


그림 6 28일 표준압축강도와 축진강도와의 상관관계

#### 4. 결 론

본 연구는 마이크로파를 이용한 PC접합모르타르의 조기강도추정에 관한 연구로서 몰드의 개량 및 온수조 양생온도 변화를 중심으로 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 개발된 몰드를 구속·밀폐를 시킴으로서 수화에 절대적으로 필요한 수분증발을 약 60%이상 감소시킬 수 있었으며, 축진압축강도 또한 기존몰드에 비해 약 30%가 증대되었다. 몰드를 완전히 구속·밀폐시킬 경우 수분증발을 억제시킬 수 있다. 그러나 무조건 구속·밀폐시키는 것은 수분증발을 막는다는 많은 도움이 되나, 탈형시 시험체의 손상 등이 발생할 수 있으므로 측면구속 및 상하면 요철을 사용한 몰드의 형태가 가장 효과적인 형태로 사료된다.

2. 급격한 온도하강은 완전히 굳지 않은 시험체내의 액상성분과 고체 성분사이의 열수축 차이에서 오는 내부응력 및 내·외부 온도차이로 인한 온도균열이 발생하며, 이로 인하여 온도 균열이 강도감소를 가져왔다. 따라서 최대 온도차를 30℃이하로 온도저하량을 조절하면서 냉각시켜야 축진강도의 증진을 가져올 수 있었다.

3. 80℃에서 10분, 60℃에서 10분, 40℃에서 10분 후 대기중에서 10분간 양생으로 양생온도를 조절 한 시험체가 최고의 압축강도를 발현하였다. 이 시험체를 기준으로 한 7일 및 28일 표준압축강도와의 결정계수는 0.831 및 0.902로 기존 연구에 비하여 상관관계가 높게 나왔다.

#### 참고문헌

- 1) 정상진외 4명, 「마이크로파를 이용한 모르타 강도의 조기판정에 관한 기초적 연구, 1999년 추계학술발표대회논문집」, 1999.10.31
- 2) 진영각, 「마이크로파 공학의 기초, 청문각」, 1998. 1
- 3) ACI Committee 517 「Recommended Practice for Atmospheric Pressure Steam Curing of Concrete」 in reference 2.
- 4) 尾野政幸外 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.
- 5) 「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.
- 6) Verbeck, G.J. and Helmuth, R.H., 「Structure and Physical Properties of Cement Paste.」 Proc. Symp. Chem. Cement Tokyo, 1936.