

마이크로파를 콘크리트강도추정에 활용하는 방안에 관한 연구

A practical use Study on Early Strength Estimation of Concrete with Microwave

김민석^{*} 김병천^{**} 백민수^{**} 이종균^{**} 안형준^{**} 정상진^{***}
Kim, Min-Suk Kim, Byong-Chun Paik, Min-Su Lee, Jong Kyun Ahn, Hyung Jun Jung, Sang-Jin

ABSTRACT

Although construction company try to get good quality control, it's not enough to study about developing objective evaluation method and checking quality method. It is important to meaning concrete quality at placing point, immediate quality checking method is limited. The purpose of this study is to develop new method to know early 28-days concrete strength for getting faithful quality control.

The results of this study are as follows ; 1) With sealed molds, reduce moisture volatilization more than 50% and enlarged 20% accelerated compressive strength than before one. 2) Accelerated compressive strength of concrete specimen shows higher strength when it was in the air for long time 3) Interrelation with 7-days and 28-days strength were 0.781, 0.90. It is higher than before one.

1. 서 론

건설업계에서는 콘크리트 품질관리에 대하여 최선을 다하고 있으나, 시공기술의 객관적 평가기법의 개발과 품질 확인방법 등에 대한 연구가 부족한 형편이다

콘크리트는 타설시점에서의 품질이 중요하나 그 즉시 품질에 대한 판단이 현실적으로는 몇 가지로 제한되어 있다 따라서 본 연구는 마이크로파를 이용하여 콘크리트의 28일 강도를 조기에 판단하여 콘크리트의 품질관리를 보다 신뢰할 수 있도록 실용화하는데 이 연구의 목적이 있다.

2. 실 험

2.1 사용재료

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

2.1.1 시멘트

시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 국내 H사의 제I종 시멘트(보통포틀랜드시멘트)를 사용하였다.

2.1.2 골재

실험에 사용한 골재는 북한강산으로 잔골재는 최대크기를 10mm이하로 입도조정하여 사용하였고 굵은 골재는 25mm이하로 입도조정하여 사용하였다.

2.1.3 급결제

본 실험에서는 초기강도발현시 반응을 촉진시키기 위하여 급결제를 사용하였다. 주성분은 Na_2SiO_3 이며, 비중이 1.38, pH 3.2인 국내 S사의 제품으로, 사용량은 기초실험에서 나타난 결과를 토대로 시멘트 중량의 7%를 사용하였으며, 급결제의 성분은 표 1과 같다.

2.2 배합

본 실험은 마이크로파를 이용한 공동주택의 콘크리트 조기강도 추정법의 현장 적용 가능성을 검토하기 위한 것으로 S사 아파트현장에서 현재 사용하고 있는 배합을 사용하였으며, 배합표는 표 2와 같다.

표 1 급결제의 성분표

성성	비중	pH	성 분 (%)					
액체	1.38	3.2	Na_2SiO_3	NaFSiO_3	규산염	금속염	산화제	안정제
			65	5	6	5	0.5	1

표 2 배합표

W/C (%)	S/A (%)	단위 재료량(kg/m ³)					호칭강도 (kgf/cm ²)
		시멘트	물	잔골재	굵은골재	혼화제	
47.8	45.5	349	167	804	978	1.05	240

2.3 실험계획

2.3.1 일반사항

콘크리트를 비빈 후 표준양생을 위한 시험체를 제작하고, 각 재령별 압축강도를 측정하였다 그리고, 촉진강도 발현시험을 위하여 일정한 양의 시료를 채취하였으며 시멘트량의 7%의 급결제를 첨가하여 본 연구에서 개발 제작한 몰드에 채운후 다짐을 실시하고, 마이크로파에 9분간 가열하였다

2.3.2 몰드조건의 변화

몰드의 경우 마이크로파로 촉진가열을 했을시 수분증발을 최소화 하고자 측면을 구속·접착하고, 밀판과 윗판은 요철을 만들어 밀폐·구속 성능을 향상시켰다 개발된 몰드의 형태는 그림 1과 같다.

2.3.2 몰드내 시험체 내부의 온도

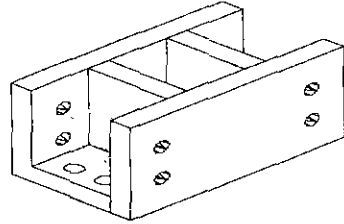
마이크로파를 이용하여 촉진가열시 시험체 내부에 상승하는 온도를 측정하여 시험체 내·외부와의 온도차를 파악하고 내·외부온도차이로 인한 온도균열을 억제할 수 있는 양생온도를 추정하였다

2.3.3 양생온수조 조건의 변화

기존 연구에서는 9분간 마이크로파로 촉진가열을 시킨 후 50℃온수조에서 20분간 양생시켰으나, 시험체 온도측정결과 시험체 내부에 온도가 100℃이상으로 상승됨으로써 시험체 내·외부간의 온도차가

큰 것으로 나타났다.

그 문제점을 보완하고자 80℃온수조에서 점차적으로 온도를 저하시키는 방법을 채택하여 촉진강도의 발현정도를 기존과의 차이점을 파악하고, 표준시험체 강도와 비교·분석하였으며, 실험 진행에 관한 마이크로파에 의한 조기강도판정법의 양생 Cycle은 그림 2와 같다.



3. 실험결과 및 고찰

3.1 마이크로파의 촉진가열 전·후의 중량비교

몰드 조건변화에 따른 마이크로파 촉진가열 전·후 중량측정 결과를 표 3, 그림 3에 나타내었으며, 기존몰드에 비해서 수분증발이 훨씬 줄어들었음을 알 수 있다.

또한, 수분증발이 적을수록 압축강도가 높아짐을 알 수가 있다.

그림 1 개발된 몰드의 형태

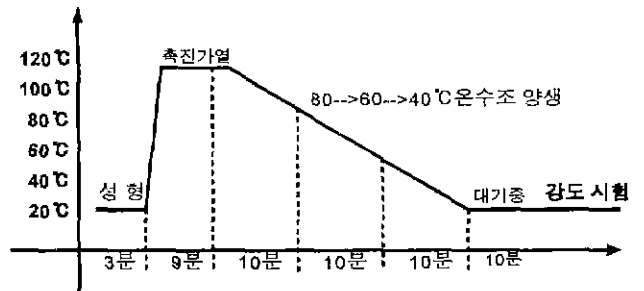


그림 2 마이크로파에 의한 조기강도판정법의 양생 Cycle

표 4 몰드조건변화에 따른 중량차와 압축강도

시험체	촉진가열전 (g)	촉진가열후 (g)	중량차 (g)	압축강도 (kgf/cm ²)
Old-1	3419.7	3354.9	64.8	50.84
Old-2	3397.5	3323.7	73.8	44.85
Old-3	3389.7	3284.5	105.2	38.12
Old-4	3342.6	3258.7	83.9	41.42
Old-5	3364.3	3288.5	75.8	46.71
Old-6	3404.9	3333.1	71.8	48.43
New-1	3386.3	3369.8	16.5	62.44
New-2	3417.6	3405.9	11.7	63.61
New-3	3365.1	3354.4	10.7	68.75
New-4	3359.3	3334.9	24.4	57.77
New-5	3333.4	3299.7	33.7	52.17
New-6	3313.6	3288.5	25.1	56.82

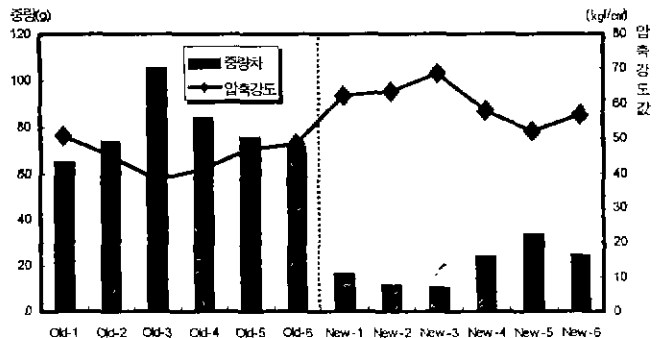


그림 3 몰드 조건변화에 따른 촉진강도발현의 특성

3.2 몰드내 시험체 내부의 온도변화도

Microwave의 가열원리는 쌍극자 회전(dipole rotation)과 이온전도(ionic conduction)에 의한 유전가열(dielectric heating)로서, 가해진 에너지가 매질간의 상호작용에 의해 열로 전환되는 내부가열방식이다. 물분자는 대표적인 유전체로서 수분이 포함된 물질에 Microwave가 조사되면, 물질 내부의 수분이 발열체의 역할을 하게 되어 물질이 빠르게 가열된다. Ionic conduction은 Microwave전기장에서 이온

을 띤 물질들이 전기장에 의해 물질자체가 가진 극성의 반대방향으로 이동할 때 자유이온들이 이온화되지 않은 분자와 충돌하게 되어 열이 발생된다.

본 실험은 몰드안 콘크리트중심내에 열전대를 설치하여, 10초간격으로 온도변화를 측정하였다. 이 실험에 대한 온도변화곡선은 그림 4와 같다. 그림에 따르면, 마이크로파에 의해 축진가열되는 9분까지는 105℃까지 온도가 급격하게 상승되었으며, 온수조에서는 서서히 하강하였다. 그러나 대기중에서 나오는 시점까지 85℃이하로 저하하지는 않았다.

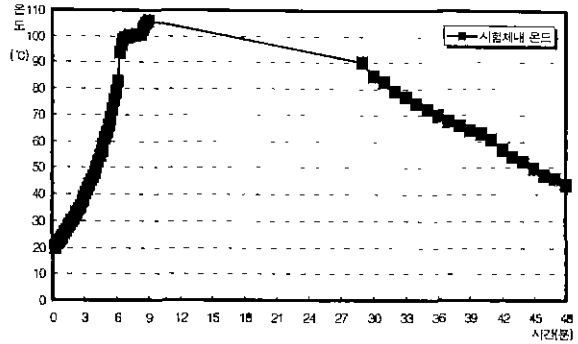


그림 4 콘크리트 중심내의 온도변화

3.2 온도별 양생조에 따른 축진강도의 비교

기존의 실험의 경우 온도하강에 대하여 고려하지 않았다. 그러나 본 실험에서는 온수조 양생시 양생온도 및 시간을 변화시켜, 가장 적합한 온도하강방법을 파악하였다.

표 5 온도하강방법에 따른 압축강도

온도하강방법	80℃	60℃	40℃	대기중	압축강도 (kgf/cm ²)
W8-10-A10	10			10	38.28
W8-10-A20	10			20	68.00
W8-20-A10	20			10	51.03
W8-20-A20	20			20	81.73
W8-30-A10	30			10	67.64
W6-10-A10		10		10	32.95
W6-10-A20		10		20	50.70
W6-20-A10		20		10	38.11
W6-20-A20		20		20	44.63
W8-W6-W4-10-A10	10	10	10	10	83.47

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

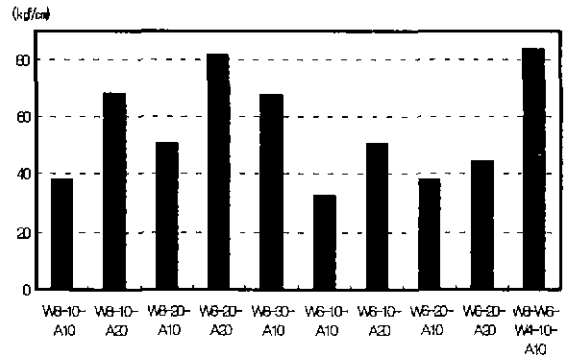


그림 5 온수조 온도변화조건에 따른 축진강도발현의 특성

본 실험결과 온도저하가 급격할 경우 압축강도가 떨어지는 경향을 표 4 및 그림 5에서 관찰할 수 있었다.

완만한 온도하강은 강도증진의 효과가 있지만, 온도저하가 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 내부응력과 내·외부 온도차이로 인한 온도균열이 발생하며, 이 온도 균열이 강도감소를 가져왔다고 판단된다. 더욱이 온도저하가 급할수록 온도균열의 발생빈도는 더욱 커지기 때문에 급격한 온도하강은 수화 및 강도에 나쁜 영향을 미친다고 본다

3.3 축진강도와 표준시험체와의 상관성

적당한 양생시간 및 온수조 온도하강속도를 적용한 콘크리트의 축진시험체의 경우 다른 시험체에 비하여 축진강도가 약 15%정도 증진되었음을 시험을 통하여 알 수 있었다. 그러므로, 실험에서 가장 높은 강도발현을 나타낸 W8-W6-W4-10-A10 시험체와 3일, 7일, 28일 표준강도의 상관성을 표 5, 그림 6, 7 및 8에 나타내었다.

표 5에 나타난 것처럼 표준양생 시험체의 재령 28일 압축강도는 258~280kgf/cm²의 범위를 보였고, 마이크로파에 의한 축진강도는 52~77 kgf/cm²의 범위로 28일 강도에 대해서는 평균 24%정도의 강도를 나타내었다. 또한 축진강도 및 표준압축강도의 표준편차의 비를 살펴보면 축진강도는 11%, 28일 압축강도는 2.4%로 비교적 고른 강도발현을 나타내었다.

그림 7, 8에서 볼 수 있듯이 마이크로파에 의한 축진강도와 7일 및 28일 강도와의 결정계수는 0.781 및 0.90으로 기존 연구에 비하여 상관관계가 높게 나왔다.

표 5 축진강도, 3일, 7일, 28일 표준양생시험체의 압축강도

축진강도 (kgf/cm ²)	3일 압축강도 (kgf/cm ²)	7일 압축강도 (kgf/cm ²)	28일 압축강도 (kgf/cm ²)
52.2	89.7	176.4	259.2
62.4	96.8	182.5	265
64.6	97.6	186.0	267.7
55.3	91.7	180.0	263.3
68.8	100.7	188.4	271.8
54.8	90.7	177.8	262.1
63.4	94.7	190	264.3
59.6	93.43	182.4	261.8
67.8	98.23	183.9	272
71.5	101.8	188.2	277.8
67.3	94.49	192	273.5
54.3	90.95	176.7	258.7
58.6	93.11	181.9	265.7
70.3	100.3	194.1	273.5
75.3	97.95	191.3	277.5
76.8	96.4	194.3	278.6
68.9	99.2	192.3	274.9
70.3	97.3	185.7	271.7
65.8	96.3	190.1	267.4
67.3	93.48	190.8	269.3
74.5	100.6	192.8	280.4

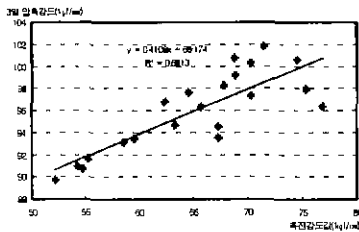


그림 6 축진강도와 3일압축강도와의 상관관계

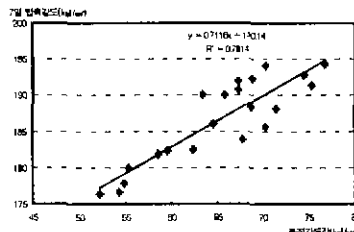


그림 7 축진강도와 7일강도와의 상관관계

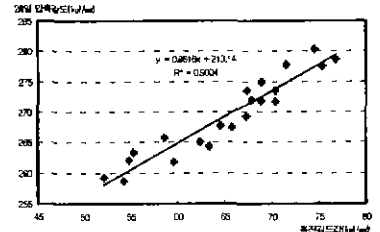


그림 8 축진강도와 28일강도와의 상관관계

4. 결 론

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

1 개량된 몰드를 구속·밀폐를 시킴으로서 수화에 절대적으로 필요한 수분증발을 약 50%이상 감소시킬 수 있었으며, 축진압축강도 또한 기존몰드에 비해 약 20%가 증대되었다. 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.

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 상관관계는 0.781 및 0.90으로 기존 연구에 비하여 상관관계가 높게 나왔다.

4. 본 연구는 마이크로파를 공동주택의 콘크리트강도추정에 활용하는 촉진강도를 몰드의 조건변화 및 온수조양생의 온도변화를 중심으로 표준압축강도와의 상관성을 고찰하였다.

추후 실용화하는 과정에서는 좀 더 많은 시험체와 표준압축강도와의 비교를 통해 상관성에서 보다 명확한 고찰이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 정상진의 4명, 「마이크로파를 이용한 모르타 강도의 조기관정에 관한 기초적 연구, 1999년 추계 학술발표대회논문집」, 1999.10.31
2. 정상진의 4명, 「마이크로파에 의한 콘크리트 강도 추정기법에 관한 실험적 연구, 1999년 추계 학술발표대회논문집」, 1999.10.31
3. ASTM C 684, 「Making, Accelerated Curing, and Testing of Concrete Compression Test Specimens.」
4. 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工學年次論文報告集, 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. 山路文夫, 太田充紀, 「高見親一/セメントモルタルの誘電加熱に関する基礎的研究 (Ⅲ)- 4周強きの推定」, 土木學會 第 38回年次學術講演會講演概要集, pp.123~124, 昭和 58年 9月
7. 柴田長吉郎/工學用マイクロ波應用技術, 電氣書院, 昭和 61年