

초대형 매트기초 매스 콘크리트의 응결시간조정에 의한 온도균열저감 공법적용의 기초적 실험

A Fundamental Test of Temperature Crack Reduction Method Application by Setting Time Control of Large-Scaled Mat Foundation Mass Concrete

한 천 구* 이 재 삼** 노 상 균***

Han, Cheon-Goo Lee, Jae-Sam Noh, Sang-Kyun

Abstract

Constructing large-scale mat foundation mass concrete is increasing for the stability of building structure, because a lot of high rise building are being built in order to make full use of limited space. However, It is of increasing concerns that because limited placing equipments, available job-site and systems for mass concrete placement in construction field do not allow to place great quantity of concrete at the same time in large scale mat foundation, consistency between placement lift can not be secured. And also, it is likely to crack due to stress caused by the difference of hydration heat generation time. To find out the solution against above problems, this study is to reconfirm the performance of normal concrete designed by mix proportion and super retarding concrete. The Fundamental test shows what happens if low heat proportioning and control method of setting time are applied at the job-site of newly constructed high rise building. The test result show that slump flow of concrete has been somewhat increased as the target retarding time gets longer, while the air content has been slightly decreased but this is no great difference from normal concrete. The setting time shows to be retarded as target retarding time gets longer, the range of retarding time increases. It is necessary to increase the amount of mix of super retarding agent in the proportion ration by setting curing temperature high since outdoor curing is about 6 hours faster than standard curing, which means the temperature of the concrete will be higher than the temperature of the surrounding environment, due to its high hydration heat when applying in a construction site. The compressive strength of super retarding concrete appears to be lower than normal concrete due to the retarding action in the early stage. However, as the time goes by, the compressive strength gets higher, and by the 28th day the strength becomes the same or higher than normal concrete.

키 워 드 : 매트기초, 매스 콘크리트, 초지연제, 응결시간

Keywords : Mat Foundation, Mass Concrete, Super Retarding Agent, Setting Time

1. 서 론

현재 국내 도심지의 건축공사현장에서는 지가상승 문제에 따른 건축공간의 효율적 활용과 관련하여 초고층화가 급속히 진행되고 있다. 이러한 추세에 의해 건축 구조물의 기초는 안전성 향상을 목적으로 초대형 매트기초 매스 콘크리트를 시공하는 사례가 증가하고 있다. 그러나 초대형 매트기초 매스 콘크리트의 경우는 막대한 량의 콘크리트를 한꺼번에 타설하여야 하지만 현장 여건상 동시에 다량의 콘크리트를 타설할 수 없기 때문에 콘크리

트 상·하부간의 타설 시간차가 발생할 수밖에 없다. 이러한 타설 시간차는 상·하부 타설 콘크리트간의 일체성이 문제시되는 것은 물론이고, 수화열에 의한 온도응력이 발생하여 균열발생 가능성을 증가시키는 원인으로 작용한다.¹⁾

그러므로 본 연구에서는 국내 모처에 건설되고 있는 초고층 건축물을 대상으로 초대형 매트기초 매스 콘크리트의 온도균열을 제어하기 위해 초지연제를 사용한 응결시간조정 공법을 적용하여 상·하부 타설 콘크리트간의 일체성 확보 및 타설 시간차에 따른 온도응력을 해소하고자 하였다.²⁾ 따라서 본 논문에서는 이를 적용하기 위한 일련의 연구 중 기초적 실험으로서 배합설계된 보통 콘크리트 및 초지연 콘크리트의 성능을 재확인하는 것을 연구목적으로 하였다.

* 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

** 청주대학교 대학원 박사과정, 정회원

*** 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원, 공학석사, 정회원

2. 이론적 고찰

2.1 본 연구의 계획공법

본 공법은 매트기초 부재가 매스 콘크리트인 경우 수화열에 의한 온도균열을 제어하기 위한 방법으로 하부에 초지연제를 일정량 혼입하여 제조한 초지연 콘크리트를 타설한 후 상부에 보통 콘크리트를 타설하여 상·하부 타설 콘크리트간의 응결시간을 일체화하고, 저발열 배합으로 수화열 발생시간을 조절함으로써 온도응력을 저감시켜 균열을 제어하는 시공기술이다.

즉, 그림 1과 같이 기존 공법의 경우 먼저 타설하여 경화되는 하부 콘크리트가 나중에 타설되는 상부 콘크리트를 변형시키고, 또한 큰 온도차가 발생하여 충분한 강도를 발현하지 않은 상태에서 상부 콘크리트에 인장력을 발생시켜 균열이 발생하게 된다. 그러나 본 연구에서는 응결시간조정 및 저발열 배합공법으로 타설하게 되면 상부 콘크리트에 인장력이 발생되지 않아 상부 콘크리트의 온도균열을 방지시킬 수 있다.

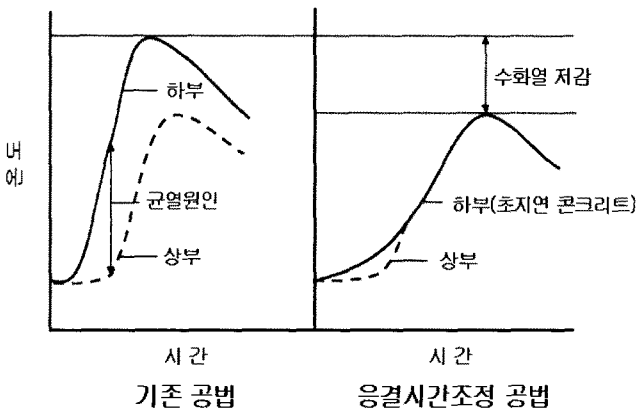


그림 1. 응결시간조정 및 본 연구의 계획공법

2.2 초지연제의 작용기구 및 제조

1) 작용기구의 가설과 추리

초지연제의 지연작용과 관련하여 Young³⁾은 많은 연구와 실험결과와 정리를 통하여 유기화합물의 지연작용기구를 다음과 같은 4가지의 가설로 분류하고 있다.

「흡착성」 : 유기화합물이 시멘트 입자표면에 흡착하여 물과 시멘트의 수화반응을 제어한다.

「침전설」 : 유기화합물이 불용성 물질로 성장함에 따라 시멘트 입자와 물의 접촉을 방해하여 수화반응을 지연시킨다.

「착염형성설」 : 초지연제 분자가 Ca⁺⁺와 착염을 형성하여 Ca(OH)₂ 결정석출을 억제한다.

「핵형성 억제설」 : 유기화합물이 수산화칼슘 결정핵에 흡착하여 결정의 성장을 억제한다.

2) 응결지연후의 수화반응

물과 시멘트의 접촉 후 극초기에 미세하게 일어난 수화반응의

수화생성물에 의하여 치밀한 흡착 층이 장시간에 걸쳐 파괴되고, 그 후 시멘트와 물과의 접촉이 용이하게 되면 시멘트의 수화반응이 서서히 가속화되므로서 초지연제 미첨가 시멘트와 동일한 수화속도로 응결경화에 이르는 것이라고 보고되고 있다.

3) 초지연제의 제조

매트기초 매스 콘크리트에 활용할 수 있는 초지연제는 분말상의 증점제를 교반기를 이용하여 상온의 물에 4/1 000로 혼입하고, 이렇게 희석한 증점제 용액 일정량과 AE제를 초지연제 분말과 물을 1 : 1로 용해시킨 용액에 일정량 첨가한 후 혼합하여 제조하였다.

2.3 초지연제 사용량 및 시간제어

본 연구에 사용된 초지연제를 개발²⁾하는 과정에서 초지연제 혼입률을 0~0.6 %, 콘크리트의 양생온도를 5~50 °C로 변화시켜 종결시간을 측정하는 실험을 하였는데, 종결시간에 따른 초지연제 혼입률 그래프는 그림 2와 같고, 종결시간에 따른 초지연제 혼입률 결정 회귀식은 표 1과 같다. 따라서 이 식을 이용하면 종결시간 계획에 따른 초지연제 사용량을 결정할 수 있다.

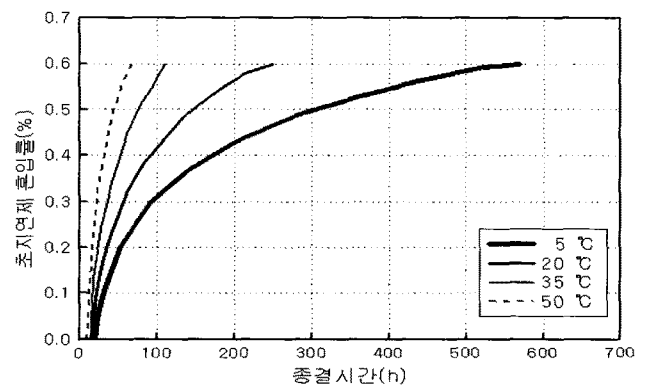


그림 2. 종결시간에 따른 초지연제 혼입률

표 1. 종결시간에 따른 초지연제 혼입률 결정 회귀식

양생온도 (°C)	회귀식 Y=C+K*ln(x)		R ²
	C	K	
5 °C	-0.449	0.166	0.997
20 °C	-0.519	0.205	0.964
35 °C	-0.555	0.244	0.988
50 °C	-0.545	0.277	0.994

3. 실험계획 및 방법

3.1 온도균열억제 계획

일반적으로 알려진 매스 콘크리트의 온도균열저감 대책으로는 배합상의 방법, 시공상의 방법 및 설계상의 방법으로 나눌 수 있

다.⁴⁾ 우선 배합상의 방법으로는 저발열 시멘트 사용, 단위시멘트 량 저감 및 저발열 배합 적용 등이 있고, 시공상의 방법으로는 프리쿨링, 파이프쿨링 및 응결시간조절 등이 있으며, 설계상의 방법으로는 균열유발 줄눈 설치 및 보강철근 배근 등이 있다.

본 연구의 초대형 매트기초 매스 콘크리트는 사진 1과 같이 3동의 주상복합 건축물로서 그림 3과 같이 3.8 m 두께로 1동의 1회 기초타설 콘크리트 물량은 약 13 000 m³가 된다. 따라서 이와 같은 경우는 활용 가능한 매스 콘크리트의 수화열 저감공법을 모두 적용하는 것이 바람직하므로 다음과 같은 사항을 고려하고자 하였다.

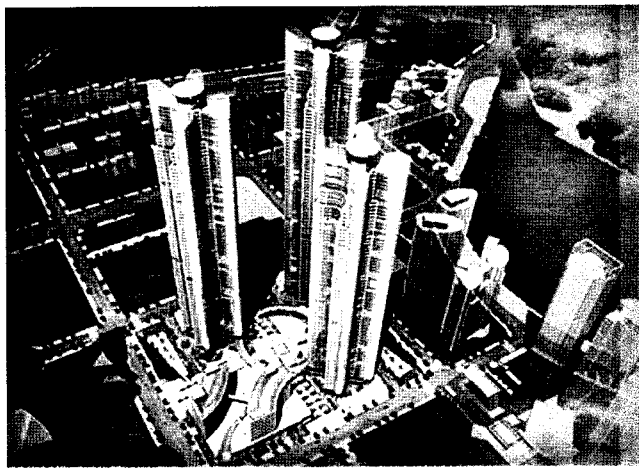


사진 1. 대상 건축물

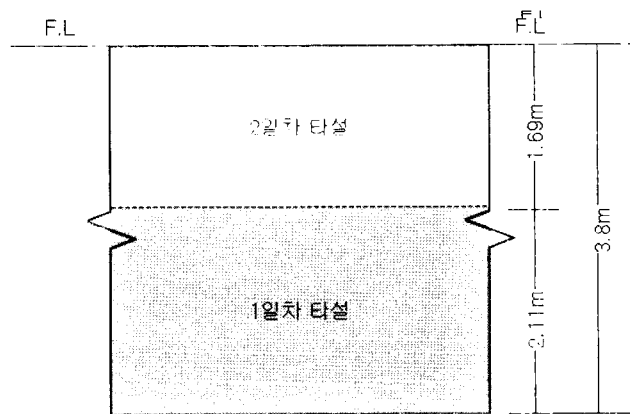


그림 3. 기초 타설방법

1) 저발열 재료 선택

본 공사에 적용하고자 하는 시멘트 등 결합재는 고로슬래그 미분말 함 유량 30 %인 2종 고로슬래그 시멘트(이하 BSC) 75 %에 플라이애시(이하 FA)를 25 % 치환하는 것으로 하여 수화발열량을 최소화 하고자 하였다.

2) 작은 슬럼프 플로우치의 선택

당초 기초매트 매스 콘크리트의 목표 유동성은 슬럼프 플로우 600±100 mm로 설계되어져 있다. 그러나 초대형 매트기초 매스 콘크리트로서 재료분리방지, 수화열저감 목적으로 슬럼프 플로우를 500±75 mm로 변경하였다.

3) 관리재령 연장 및 상·하부 배합변화

매트기초 콘크리트의 설계기준강도는 35 MPa로 설계되어져 있다. 따라서 기초 콘크리트의 수화열을 저감하기 위하여 하부에 타설되는 콘크리트(1일차)는 관리재령을 56일, 상부에 타설되는 콘크리트(2일차)는 관리재령을 28일로 고려, W/B를 38.0 %와 36.5 %로 계획하여 수화발열량을 저감하도록 계획하였다.

4) 응결시간 조정

3.8 m 높이의 매트기초 매스 콘크리트는 1일에 전량을 타설하는 것이 불가능하므로 2일간 타설을 고려하여 하부에 타설하는 콘크리트(1일차)는 8, 24시간 지연에 대하여 검토하고, 상부에 타설하는 콘크리트(2일차)는 6시간 지연에 대하여 검토하여 상·하부 일체화 및 수화발열 시간차를 축소하여 온도응력을 최소화하도록 계획하였다.

5) 표면과 중심부간의 온도차 축소

본 기초적 실험에는 고려되지 않았지만 실제 초대형 매트기초 매스 콘크리트의 시공에서는 중심부와 표면부간의 온도차를 최소화하기 위하여 PE 필름의 에어캡 포장재에서 새롭게 개발된 2중 버블시트를 이용하여 단열보온 양생하는 것으로 계획하였다.

3.2 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 2와 같다. 먼저 배합사항으로 W/B 38.0, 36.5 % 2수준에 대하여 초지연제에 의한 목표 지연시간을 W/B 38.0 %의 경우 0, 8, 24시간, W/B 36.5 %의 경우 0, 6시간으로 총 5배치를 실험계획하였. 또한 보통 콘크리트에 대하여 목표 슬럼프 플로우 500±75 mm, 목표 공기량 4.5±1.5 %를 만족하도록 배합설계하였다.

실험사항으로는 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프 플로우, 공기량, 블리딩 및 응결시간을 측정하는 것으로 하였고, 경화 콘크리트에서는 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

표 2. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B(%)	2	38.0, 36.5
	목표 슬럼프 플로우(mm)	1	500±75
	목표 공기량(%)	1	4.5±1.5
	목표 지연시간	5	38-0*, 38-8*, 38-24*, 36.5-0*, 36.5-6*
시험사항	굳지 않은 콘크리트	4	· 슬럼프 플로우, · 공기량 · 응결시간, · 블리딩
	경화 콘크리트	1	· 압축강도(1, 3, 7, 28, 56일)

* 「-」 앞의 숫자는 W/B, 뒤의 숫자는 목표 지연시간을 의미

3.3 사용재료 및 배합

본 연구에 사용한 재료는 경남 양산에 위치한 (주)D레미콘 사에서 사용하는 일반적인 것을 사용하였으며, 콘크리트의 배합사항은 표 3과 같다. 또한 목표 지연시간에 따른 초지연제 혼입률은 선행연구에 의해 개발된 것으로 종결시간에 따른 초지연제 혼입률을 표 1의 화귀식에 근거하여 결정하였다. 초지연제의 물리·화학적 성질은 표 4와 같다.

표 3. 콘크리트 배합사항

구분	목표 지연시간	배합사항										
		W/B (%)	초지연제 혼입률 (Bx%)	초지연제 혼입량 (kg/m³)	S/a (%)	고성능 AE 감수제	단위재료량(kg/m³)					G
							W	BSC	FA	Si ^m	Si ^{nm}	
38-0	0		0	0								
38-8	8	38.0	0.146	0.459	48	1.15	157	310	103	551	295	929
38-24	24		0.303	0.954								
36.5-0	0	36.5	0	0	48	1.05	160	329	110	541	289	912
36.5-6	6		0.117	0.391								

* W/B 38.0 % : 56일 관리재령(하부 1일차), W/B 36.5 % : 28일 관리재령(상부 2일차)

** 초지연제 혼입률(양생온도 35℃로 가정) = $-0.555 + 0.244 \cdot \ln$ (중결시간),

*** 부순모래, **** 강모래

표 4. 초지연제의 물리·화학적 성질

주 성분	색상 및 형태	밀도 (g/cm³)	pH	작용기
Sucrose, Poly ethylene oxide, Sodium lauryl sulfate	미백색 액상	1.2	7	-OH

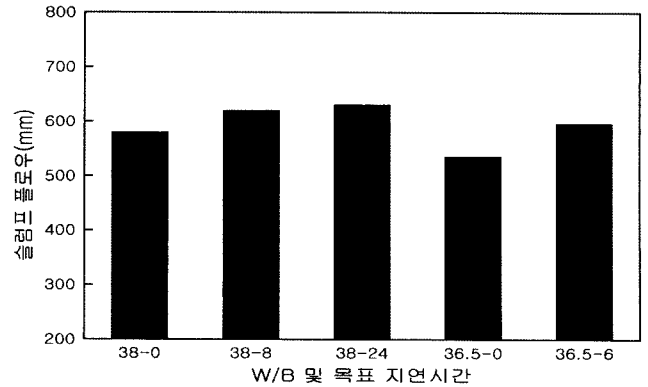


그림 4. W/B 및 목표 지연시간 변화에 따른 슬럼프 플로우

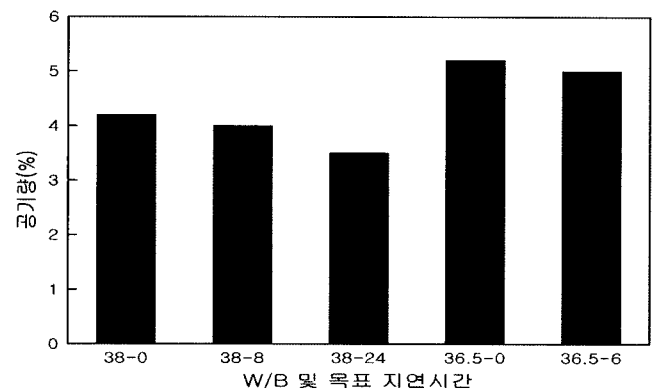


그림 5. W/B 및 목표 지연시간 변화에 따른 공기량

3.4 실험방법

콘크리트의 혼합은 레미콘사 실험실의 강제식 팬타입 믹서를 사용하였는데, 먼저 골재 및 결합재를 투입한 후 건비율을 실시한 다음 물, AE감수제 및 초지연제를 넣어 혼합하는 것으로 하였다.

굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프 플로우의 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421, 블리딩은 KS F 2414, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입저항 시험방법에 따르며, 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 규정에 따라 실시하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

(1) 슬럼프 플로우, 공기량 및 블리딩

그림 4는 W/B 및 목표 지연시간에 따른 슬럼프 플로우를 나타낸 그래프이고, 그림 5는 동일요령으로 공기량을 나타낸 그래프이다. 먼저 초지연제를 혼입하지 않은 보통 콘크리트는 목표 슬럼프 플로우 500±75 mm 및 목표 공기량 4.5±1.5 %의 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

목표 지연시간 증가에 따른 슬럼프 플로우의 경우는 약간 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 목표 지연시간이 길어 질수록 혼입되는 초지연제의 양이 증가하기 때문에 실제 배합에 사용되는 액체양의 증가 및 초지연제의 지연효과 때문으로 판단된다. 그러나 초지연제를 혼입하지 않은 보통 콘크리트와 비교하였을 때 큰 차이는 아닌 것으로 사료되며, 추후 실구조체에 적용할 경우 단위수량 혹은 감수제량을 약간 감소시키면 유동성 보정은 가능할 것으로 판단된다.

또한 공기량의 경우는 목표 지연시간이 길어질수록 약간 감소하는 경향을 나타내었으나, 역시 큰 차이는 없는 것으로 사료되며, 실제 출하 시에는 미세하게나마 AE제량의 추가로 보정이 가능할 것으로 판단된다.

한편 블리딩 실험결과는 모든 배합에서 블리딩이 측정되지 않아 초지연제가 블리딩에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 분석된다.

(2) 응결시간

그림 6은 W/B 및 목표 지연시간 별 경과시간에 따른 관입저항치를 나타낸 그래프이고, 그림 7은 W/B 및 목표 지연시간에 따른 초결 및 종결의 응결시간을 나타낸 그래프이다. 전반적으로 목표 지연시간이 길어질수록 응결시간은 지연되는 것으로 나타났는데, 이와 같은 응결지연 작용은 개발된 초지연제의 주성분인 슈크로스 성분 중 작용기인 수산기(-OH)가 시멘트 입자의 표면이나 극초기

수화반응물에 흡착하여 물과의 접촉을 일시적으로 차단함으로써 수화반응을 장시간 지연시킴에 기인한 것으로 판단된다.⁵⁾

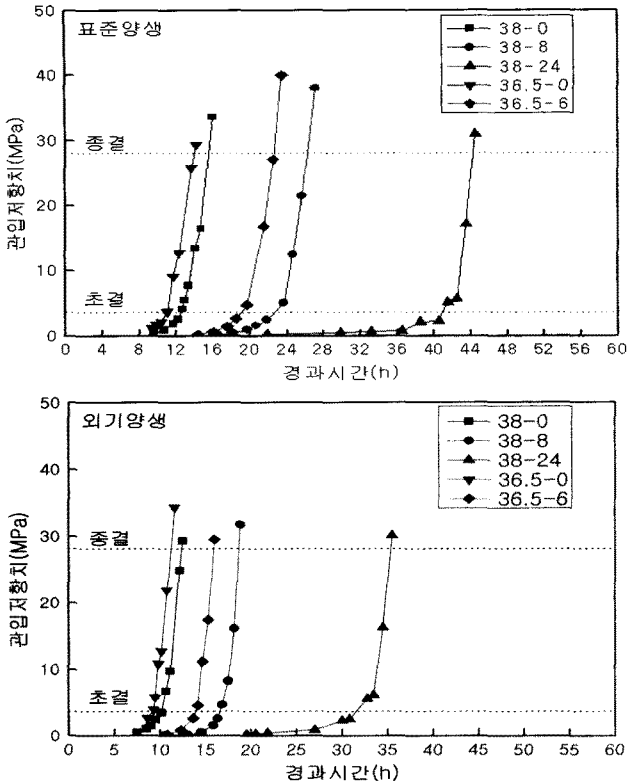


그림 6. W/B 및 목표 지연시간 별 경과시간에 따른 관입저항치

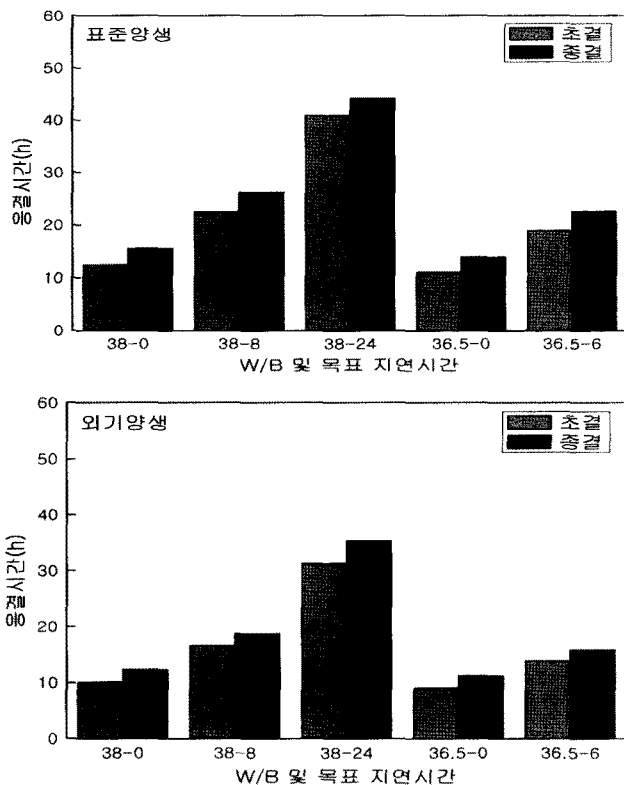


그림 7. W/B 및 목표 지연시간에 따른 응결시간

즉 표준양생의 경우 보통 콘크리트와 비교하였을 때 W/B 38.0 %의 목표 지연시간 8시간의 경우는 약 11시간, 목표 지연시간 24시간의 경우는 약 29시간 정도 지연되었고, W/B 36.5 %의 목표 지연시간 6시간의 경우는 약 8시간 정도 지연되었다. 반면 외기양생(평균 온도 : 26 °C, 평균습도 : 82 %)의 경우 보통 콘크리트와 비교하였을 때 W/B 38.0 %의 목표 지연시간 8시간의 경우는 약 6시간, 목표 지연시간 24시간의 경우는 약 23시간 정도 지연되었고, W/B 36.5 %의 목표 지연시간 6시간의 경우는 약 5시간 정도 지연되었다.

외기양생이 표준양생에 비해 응결시간이 약 6시간 정도 촉진되었는데, 이와 같이 양생온도에 따라 응결시간차이가 크게 나타나고, 초지연제 사용 시 양생온도에 대한 민감한 응결특성을 나타내고 있어 온도조건에 대한 충분한 고려가 필요한 것으로 사료된다.

그림 8은 목표 지연시간과 실측 지연시간의 비교를 나타낸 그래프이다. 앞서 설명한 것과 마찬가지로 외기양생이 표준양생에 비해 응결시간이 촉진되었음에 현장적용 시에는 콘크리트의 높은 수화열로 인해 외기보다 온도가 높게 발생될 것으로 추측됨에 초지연제의 혼입량 산정 시 양생온도를 확실하게 예측하여 혼입량을 증가시키는 배합조정이 요구되었다.

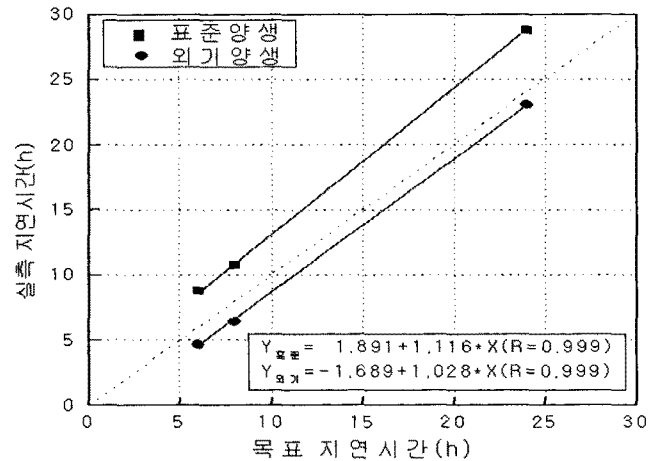


그림 8. 목표 지연시간과 실측 지연시간의 비교

4.2 압축강도 특성

그림 9는 W/B 및 지연시간 별 재령 28일의 표준양생 공시체의 압축강도와 재령경과에 따른 외기양생 공시체의 압축강도를 나타낸 그래프이다. 전반적으로 각 W/B에서 초지연제를 사용하지 않은 보통 콘크리트에 비해 초지연제를 혼입한 초지연 콘크리트가 초기재령의 경우는 지연작용에 기인하여 압축강도가 작게 나타났으나, 재령이 경과함에 따라서는 강도증진 폭이 크게 나타나 재령 28일부터는 보통 콘크리트보다 동등 혹은 그 이상의 값을 나타내었다.

특히 38-24에서는 종결이 35시간이 경과된 후에 나타나 1일 강도가 측정이 불가능하였음에도 불구하고 재령이 경과함에 따라 강도증진 현상이 크게 발휘되어 28일 재령에서는 48.9 MPa로 가장 큰 값을 나타내었다. 이는 수화초기 응결지연작용에 의해 수화반응

이 서서히 진행하게 되면, 수화생성물의 확산이 충분하게 되고, 시멘트 입자의 주변에 불투수층을 생성하는 것을 방지하며, 미세구조 내부 수화 겔의 분포가 균일하게 되는 것에 기인하여 밀실한 수화생성물이 형성되어 내부조직이 보다 치밀화한 것으로 분석된다.⁶⁾

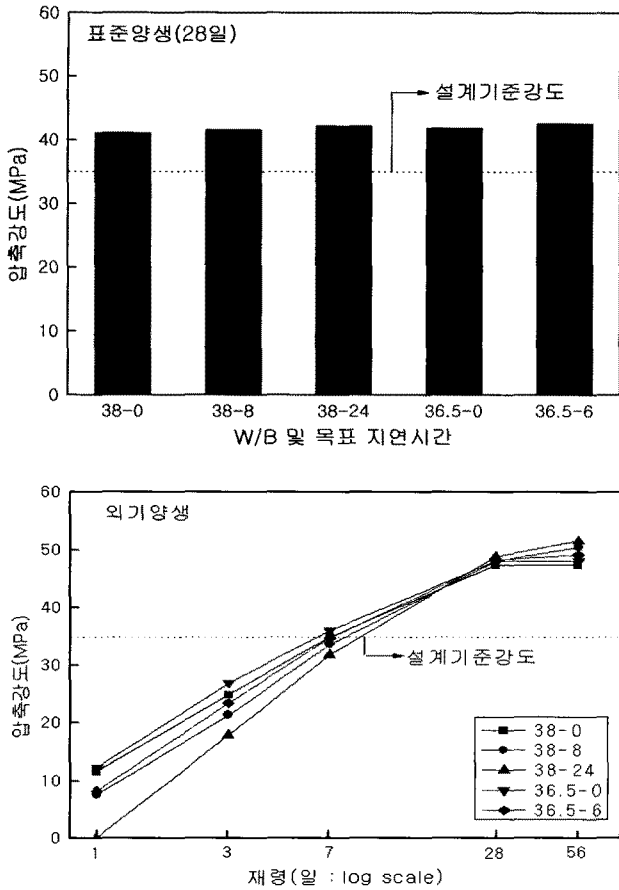


그림 9. W/B 및 목표 지연시간 별 재령경과에 따른 압축강도

또한 28일 압축강도의 경우 표준양생 공시체와 외기양생 공시체 모두 설계기준 강도인 35 MPa를 충분히 만족하는 것으로 나타났다. 표준양생 공시체가 외기양생 공시체에 비해 약 6 MPa 정도 낮게 측정되었는데, 이는 외기양생 공시체의 양생온도가 높았기 때문인 것으로 분석된다.

그림 10은 외기양생 공시체와 표준양생 공시체에 있어 보통 콘크리트와 초지연 콘크리트간의 압축강도를 비교하여 나타낸 그래프이다. 앞서 설명한 것과 마찬가지로 보통 콘크리트에 비하여 초지연 콘크리트는 초기재령의 경우는 압축강도가 작게 나타났으나, 재령이 경과함에 따라 강도증진 폭이 크게 나타나 보통 콘크리트와 동등 혹은 그 이상의 값이 나타난 것임을 확인할 수 있었다.

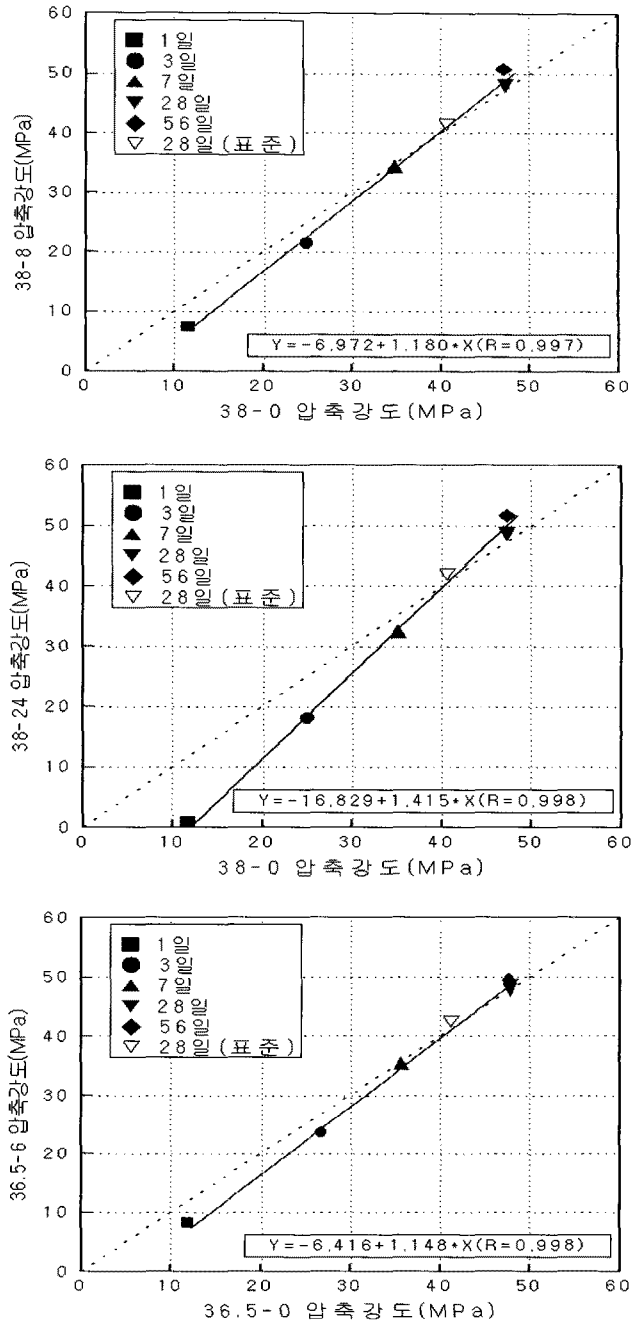


그림 10. 보통 콘크리트와 초지연 콘크리트의 압축강도 비교

5. 결론

본 연구에서는 국내 모처에 건설하고 있는 초고층 건축물을 대상으로 초대형 매트기초 매스 콘크리트의 수화열에 따른 온도 균열을 제어하기 위해 저발열 배합 및 초지연제에 의한 응결시간 조정 공법 등을 적용하여 상·하부 타설 콘크리트간의 일체성 확보 및 타설 시간차에 따른 온도응력 해소를 목적으로 일련의 연구를 진행하는 중 기초적 실험으로서 배합설계된 보통 콘크리트 및 초지연 콘크리트의 성능을 재확인하는 연구를 진행하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 슬럼프 플로우는 보통 콘크리트와 큰 차이는 없었으나, 목표 지연시간이 길어질수록 다소 증가하는 경향을 나타내어, 추후 실구조체에 적용할 경우 단위수량 혹은 감수제량을 감소시키는 배합보정을 검토할 필요가 있었다.
- 2) 공기량은 목표 지연시간이 길어질수록 약간 감소하는 경향을 나타내었으나, 큰 차이는 없는 것으로 사료되지만, 역시 실제 출하 시에는 미세하게나마 AE제량의 추가를 검토할 필요가 있었다.
- 3) 응결시간의 경우 초지연제의 혼입률이 증가할수록 지연시간 증가폭이 커졌으며, 외기양생을 표준양생과 비교하였을 때 응결시간이 약 6시간 정도 촉진되었다. 따라서 실제 현장적용 시 콘크리트의 높은 수화열로 인해 외기보다 온도가 높아질 것이므로 초지연제의 혼입률 산정 시 실제 콘크리트의 양생온도를 정확히 유추하여 혼입량을 적용하는 배합비율이 요구되었다.
- 4) 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도는 초지연제를 사용하지 않은 보통 콘크리트에 비하여 초지연제를 혼입한 콘크리트가 초기재령의 경우 지연작용에 기인하여 압축강도가 작게 나타났으나, 재령이 경과함에 따라 강도증진 폭이 크게 나타나 재령 28일부서는 보통 콘크리트와 동등 혹은 그 이상의 값을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 김진근 외, 매스 콘크리트의 수화열 및 온도응력에 대한 영향요인, 한국콘크리트학회지, 제9권 제3호, pp.15~23, 1997. 7
2. (주)선엔지니어링종합건축사사무소 외, 백설탱액, PEO 증점제, AE제를 일정비율로 혼합한 당류계 초지연제(슈퍼리에 : Superea)의 응결시간차를 활용한 수평분할타설 건축기초 매스콘크리트의 수화열 조정공법, 신기술 제353호, 2002.11
3. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 기문당, pp.618~626, 2005.2
4. 한민철, 고로슬래그를 사용한 초지연 콘크리트의 응결시간 예측, 대한건축학회 논문집, 제22권 제12호, pp.87~95, 2006. 12
5. 한천구 외, 초지연제의 응결시간차에 의해 구분타설된 매스 콘크리트의 수화열 저감 효과에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제19권 제7호, pp.79~86, 2003.7
6. J. F. Young, A Review of Mechanisms of Set-retardation in Portland Cement Paste Containing Organic Admixture, Cement and Concrete Research, Vol.2, pp.415~433, 1972
7. 伊藤眞純 外, 遅延および超遅延のメカニズム'セメント・コンクリート, No.472, pp.31~37, 1986
8. 椎葉大和, 超遅延劑 콘크리트工學, Vol.16 No.3, pp.50~54, 1988

(접수 2009. 4. 2, 심사 2009. 5. 28, 게재확정 2009. 6. 4)