

매스콘크리트의 한중시공에 관한 현장실험연구

A Field Study on the Mass Concreting in Cold Weather Environment

○ 한 민 철* 김 현 우** 김 성 수*** 최 강 순*** 한 천 구****
Han, Min Cheol Kim, Hyun Woo Kim, Seong Su Choi, Gang Soon Han, Cheon Goo

ABSTRACT

Mass concreting in cold weather environment should be focused on the control of thermal crack caused by high hydration heat rather than curing method for protecting from frost damage at early age because the thermal stress have much influence on the quality of structure placed in cold weather. Therefore, in this paper, the control of thermal crack of mass concrete in cold weather environment are dealt with preparing the practice plan for mass concrete and placing the concrete according to the practice plan. According to the results, we can obtain good quality mass concrete without thermal crack caused by the difference of temperature between inner part and outer part.

1. 서론

일반적으로 매스 콘크리트 시공은 시멘트의 수화열에 의한 온도상승으로 초래되는 온도응력균열의 방지에 대한 고려가 우선되어야 한다. 그런데, 이러한 온도균열을 제어하기 위하여는 배합적인 측면에서 단위 시멘트량의 저감 및 혼화재료의 사용, 굵은골재 최대치수의 증가 등으로 대처하고 시공적인 측면에서도 타설온도의 저감, 프리쿨링 및 파이프로쿨링 등 궁극적으로 수화열에 의한 내부콘크리트의 온도를 저감시키는 방법 중요한 것으로 알려져 있다.

그런데, 일부 실무현장에서 이러한 매스콘크리트를 한중환경하에서 시공할 경우는 매스콘크리트의 온도응력으로 인한 균열에 대한 면밀한 고려없이 단순히 초기동해 및 강도저하를 염두에 두어 가열양생, 타설 온도의 상승 및 기온보정강도를 고려한 호칭강도의 상향조정 등 자칫 매스콘크리트의 온도응력을 더욱 증가시킬 수 있는 조치를 취하므로써 타설후 콘크리트의 품질과 연관한 심각한 문제를 유발시키는 경우가 종종 발견되고 있는 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 한중환경에서 매스콘크리트시공을 할 경우 자칫 간과할 수 있는 과도한 온도응력에 의한 온도균열의 제어 및 아울러 저온환경에 따른 콘크리트의 동해 방지까지 만족시키는 궁극적으로 양호한 품질의 매스콘크리트를 한중에 시공하기 위하여 실제 A시멘트 공업주식회사의 킬른용 FAN 기초 공사현장을 대상으로 온도균열제어 계획에서부터 타설후 구조체의 강도 및 온도이력관리에 이르는 종합적인 관리과정에 대하여 보고하고자 한다.

*정회원, 청주대학교 건축공학과 박사과정

***정회원, 아세아시멘트 공업주식회사

**정회원, 청주대학교 건축공학과 석사과정

****정회원, 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2. 현장개요 및 실험계획

본 실험의 현장개요는 사진 1 및 표 1과 같다.

또한, 현장실험 계획은 표 2와 같은데, 굳지 않은 콘크리트의 경우 현장에 도착한 레미콘에 대한 소요의 슬럼프와 공기량을 확인하고 콘크리트의 타설온도를 측정하는 것으로 한다. 경화콘크리트의 실험으로는 먼저 압축강도시험용 표준양생 공시체와 구조체 강도관리용 공시체를 각 타설층별로 제작하는 것으로 한다. 구조체의 온도측정은 구조체의 중앙부, 측부, 구조체 외기온도, 구조체 강도 관리용 공시체 양생온도, 외기온을 측정하는 것으로 한다. 단, 중앙부에서는 타설층의 상, 중, 하로 구분하여 3점을 측정하고, 측부의 경우는 타설층의 중앙에서 측정하는 것으로 한다.

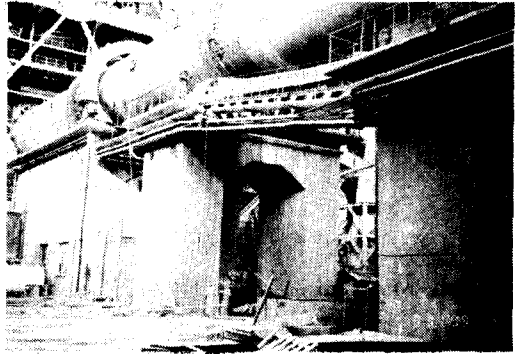


사진 1. 로타리 킬른 및 기초전경

표 1. 현장개요

공사명	A시멘트공업주식회사 FAN기초 증축공사
규모	14.75m × 7.35m × 4.0m
콘크리트	350m ³
타설일	1999년 1월 9일, 13일

3. 매스콘크리트의 온도균열제어 계획

3.1 온도균열지수에 의한 균열발생 가능성 검토

본 연구에서 한중시공시 매스콘크리트의 온도균열 발생가능성 여부는 온도균열지수를 이용하여 검토하고자 하였는데, 온도균열지수는 내부구속이 지배적인 경우와 외부구속이 지배적인 경우로 구분되며, 각각의 경우에 해당하는 온도균열 지수식은 식 1 및 식 2와 같이 표준시방서에서 제시하고 있다. 한편, 이러한 한중 환경하에서 시공하는 매스콘크리트는 낮은 외기온에 기인하여 콘크리트내부와 외기온의 온도차가 크게 증가되는데, 이는 결국 부재내부와 표면의 온도차이를 크게 하는 요인으로 작용하게 된다.

표 2. 실험계획

요인		수준	
실험사항	굳지않은 콘크리트	3	슬럼프, 공기량, 콘크리트온도
	경화 콘크리트	1	<ul style="list-style-type: none"> ■ 압축강도 - 표준양생(7일, 28일) - 구조체 강도관리 (1, 3, 7, 14, 28, 42, 56, 91일)
	온도이력 측정	13	<ul style="list-style-type: none"> ■ 온도측정 - 구조체(8개소) - 외기온, 양생실(5개소)

$$\text{온도균열지수} = 15 / \Delta T_i \text{ (내부구속이 지배적일 경우)} \dots \dots \dots (1)$$

ΔT_i : 내부최고온도시의 내외온도차



타설현장

현장봉합양생

거푸집 탈형후 구조체의 모습

사진 2. 현장실험사진

$$\text{온도균열지수} = 10/(R\Delta T_o) \text{ (외부구속이 지배적일 경우)} \dots \dots (2)$$

R : 외부구속의 구속도

ΔT_o : 부재평균온도와 외기온도균형시 온도차이(°C)

그런데, 본 현장의 시공조건은 콘크리트 표준시방서에서 제시하고 있는 내부구속이 지배적인 경우에 해당됨에 본 연구에서는 이 조건에 따라 온도균열지수를 구하는 것으로 하고 구조체의 균열발생을 제한할 정도의 균열지수를 산정하도록 계획하였는데, 기존의 연구자료를 근거로 계산할 경우 단위시멘트 량 300kg/m³전후, 타설온도 5°C 및 평균기온 -5°C로 상정할 경우 타설높이 80cm 정도에서 부재 중심과 표면의 온도차가 12°C 정도로 제시되었고, 이를 균열지수로 산정하면 1.25정도로 표준시방서상의 균열 발생을 제한하는 값을 만족함을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 이러한 균열지수값을 근거로 배합조정 및 타설구획 등 매스콘크리트와 연관한 시공계획을 수정하여 제시하는 것으로 하였다.

3.2 한중시공시 매스콘크리트의 온도균열 제어 계획

표 3은 앞에서 언급한 온도균열지수에 의한 균열발생 가능성을 검토한 결과를 토대로 매스콘크리트의 한중시공시 온도균열제어 및 양생계획을 시공자의 계획과 본 연구의 온도균열제어계획 및 실제 구조체 적용을 항목별로 구분하여 나타낸 것이다. 이 중 시공자의 계획은 한중콘크리트의 대책에 중점을 두어 계획한 것으로 본 연구에서는 온도균열제어 계획을 중심으로 수정하였는데, 레미콘규격의 경우 가능한 범위에서 단위시멘트량을 저감하고자 굵은골재 최대치수를 크게 하고 호칭강도 및 슬럼프를 저하하여 시공자의 25-240-12 규격을 40-210-5로 계획하였고 타설온도를 5°C이하로 가능한 한 낮게

표 3. 한중시공시 매스콘크리트의 온도균열제어 및 양생계획

구 분	시공자의 계획	본연구의 온도균열 제어계획	실제 구조체적용
레미콘 규격	25-240-12 (설계는 25-210-12)	40-210-5	25-210-8
혼화재	-	플라이애쉬 30%치환 사용	-
타설온도	10°C ~ 20°C	0°C ~ 5°C	좌 동
타설구획	2회 분할타설	5회 분할타설	3회 분할타설
타설간격	-	3일 간격	4일 간격
초기양생	가열보온양생(3일간)	단열보온양생(3일간)	좌 동
계속양생	-	초기양생 후 상층부는 콘크리트 타설로 해결하고, 최상부는 단열보온양생을 4일간 실시	좌 동
양생보호막 설치	가설계획	구조체에서 100cm 떨어진 곳에 쌍줄비계를 설치한 후 보호막설치	좌 동
타설후 온도관리	5°C ~ 10°C	0°C 이하가 되지 않도록 단열보온양생	좌 동
거푸집 탈형시기	시방서에 따름	초기양생은 완료 한다음 거푸집 탈형 후, 콘크리트표면에 양생포 덮음	좌 동
온도측정	봉상 온도계로 기록	열전대(T형) 온도계로 구조체 부위별 온도측정	좌 동
공시체관리	표준양생공시체 (7, 28일)	표준양생공시체(7, 28일) 구조체관리용공시체 (1, 3, 7, 14, 21, 28, 42, 56, 91일)	좌 동

하며 타설구획도 앞에서 언급한 것처럼 균열발생을 제한하기 위하여 80cm 이하의 높이로 5회 분할타설로 계획하였다. 한편, 양생의 경우는 구조체의 초기동해를 면 할 정도로 하고, 그 이후는 급격한 구조체의 온도저하로 인한 균열을 방지하기 위하여 단열보온양생을 실시하도록 계획하였다.

그러나, 타설현장의 실제 구조체의 적용은 레미콘 규격은 레미콘사정 및 공기 등에 제한을 받아 25-210-8로 하고 타설구획의 경우도 3회 분할타설로 하였다.

4. 실험방법

실험방법으로 먼저, 콘크리트의 제조는 레미콘 공장의 일반적인 혼합방법에 따라 배척 플랜트에서 레미콘을 생산하는 것으로 하며, 콘크리트의 배합은 표 4와 같다. 굳지않은 콘크리트의 실험 및 경화 콘크리트의 압축강도 실험방법은 KS 및 표준적인 방법으로 실시한다. 온도측정은 T타입 열전대를 그림 1과 같이 2개층의 소정위치에 매입하고 데이터로거에 연결한 후 소정의 재령까지 측정하는 것으로 하였다.

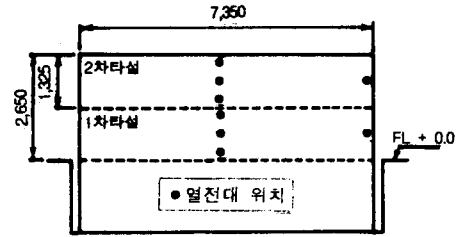


그림 1. 열전대 매입 위치 (단면도)

표 4. 콘크리트 배합표 (25-210-8)

구분	W/C (%)	S/A (%)	W (kg/m ³)	AE/C (%)	중량배합 (kg/m ³)		
					C	S	G
1차	46	48	145	0.6	315	905	1040
2차	45	47	145	0.6	315	920	1030

5. 실험결과 및 분석

5.1 굳지않은 콘크리트의 특성

슬럼프 및 공기량의 경우는 1회 타설시 8cm, 4.7% 2회 타설시 8.5cm, 4.8%로 측정되었고, 콘크리트의 부어넣기 온도의 경우도 3.7℃, 4.2℃로 전반적으로 요구 품질을 만족하는 것으로 나타났다.

5.2 경화 콘크리트의 압축강도특성

그림 2는 각 타설층별 표준양생 공시체와 구조체 관리용공시체의 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저, 표준양생공시체의 경우는 재령 28일에서 1차 타설은 248kg/cm², 2차타설에서는 250kg/cm²으로 나타났다. 구조체 관리용 공시체는 1차타설의 경우 재령 4일에서 2차타설의 경우 재령 5일에서 시방서상의 초기동해 방지에 필요한 압축강도 50kg/cm²를 넘었고, 구조체 콘크리트의 설계기준 강도인 210kg/cm²는 1차 타설의 경우 재령 56일에 216kg/cm², 2차타설의 경우는 227kg/cm²로 나타나 재령 56일에서 발휘되었다. 이는 구조체 관리용 공시체의 경우 실제 구조체의 각 부위와 비교하여 낮은 온도 이력을 갖고 있는 것으로 실제 구조체의 강도발현의 경우는 구조체가 받은 적산온도를 산정하여 보면 재령 7일까지 구조체의 중앙부 중심에서 각각 234DD와 263DD로 동일재령에서의 구조체

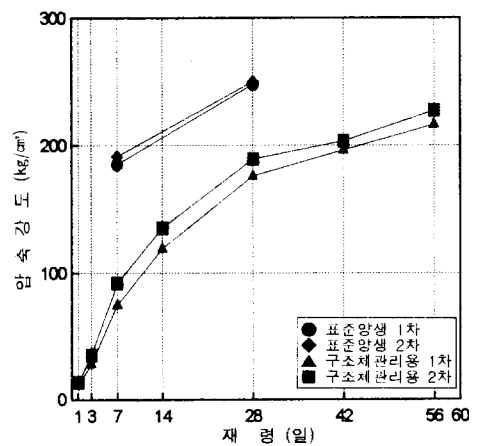


그림 2. 재령경과에 따른 표준 및 구조체 관리용 공시체의 압축강도

관리용 공시체의 적산온도인 81DD보다 150DD전후로 크게 나타나고 있으므로 구조체 관리용 공시체가 설계기준강도를 발휘하는 재령56일에서의 적산온도는 500DD정도이지만 실제 구조체는 내부수화열 등에 기인하여 동일한 적산온도를 갖는 재령은 이보다 더 빠른 재령에서 설계기준강도를 발휘한 것으로 판단된다.

5.3 온도이력특성

그림 4 및 표 5는 타설층별 재령 7일까지의 시간경과에 따른 구조체 각부위별 온도이력을 나타낸 것이다. 전반적으로 구조체의 온도상승은 타설 후 2일에서 3일 전후에 구조체의 중앙부 중심에서 최고온도 34.6℃와 31.2℃정도에 도달한후 서서히 저하하는 것으로 나타났는데, 구조체 위치별로는 중앙부 중심이 가장 크고, 중앙상부, 중앙하부 및 측부의 순으로 높게 나타났다. 이는 외기로부터 열 손실이 가장 작은 위치인 중앙부 중심이 가장 높은 것으로 사료된다.

한편, 콘크리트 표준 시방서상에서 제시하고 있는 온도균열지수를 계산하면 먼저 1차타설의 경우 내부최고온도는 34.6℃이고 그때의 측부온도는 16.3℃이며, 2차 타설의 경우 내부최고온도는 31.2℃와 측부의 온도는 16.5℃로써 이를 온도균열지수로 계산하면 표 6에서 제시된 것처럼 각각 0.82와 1.02로 나타났는데, 이는 유해한 균열의 발생을 억제할 수 있는 수준임을 알 수 있었다.

구조체 외기온의 경우는 전반적으로 타설초기부터 0℃ 이상을 유지하고 있었는데 결국 가열보온양생을 취하지 않더라도 양생포 등을 이용한 적절한 단열보온양생이 수행될 경우 매스 콘크리트의 수화열로 인하여 구조체에 있어서 초기동해와 연관된 문제는 발생되지 않을 것으로 사료된다. 한편, 1차타설시 구조체의 온도이력 중 중앙상부와 중앙중심부는 타설후 3일부터 감소하다 5일부터 증가하는 경향을 보였는데, 이는 2차타설 콘크리트의 경화에 따른 수화열에 기인된 결과로 분석된다.

종합적으로 구조체 콘크리트의 거푸집을 제거한 후 콘크리트의 균열여부를 육안으로 관찰한 결과 구조체 콘크리트의 표면부에는 균열이 전혀 발생하지 않은 것을 확인할 수 있었는데, 이는 매스콘크리트의 한중시공시 한중콘크리트로서의 양생계획보다는 온도응력에 의한 온도균열의 대처방안을 보다 심도 있게 수립하는 것이 양질의 매스콘크리트 품질관리에 중요함을 알 수 있었다.

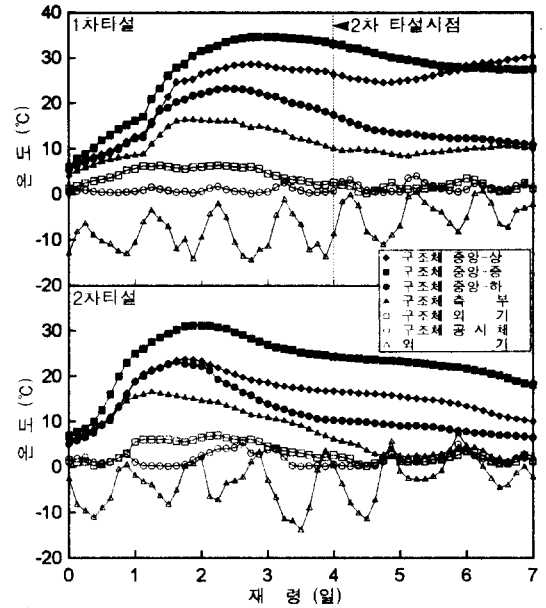


그림 4. 구조체 위치별 온도이력 곡선

표 5. 최고상승온도 및 도달시간

구 분	1차 콘크리트타설				2차 콘크리트타설			
최고상승온도(℃)	28.5	34.6	23.2	16.3	23.7	31.2	23.2	16.5
최고온도 도달시간(hr)	66	69	57	42	42	45	39	30

표 6. 내부온도와 표면온도차에 의한 균열지수

구 분	타설온도 (℃)	내부온도 (℃)	표면온도 (℃)	온도차 (℃)	균열지수
1차타설	4.2	34.6	16.3	18.3	0.82
2차타설	3.7	31.2	16.2	14.7	1.02

6. 결론

본 연구는 A시멘트공장의 로타리킬른 팬(FAN)기초의 매스콘크리트를 한중에 시공할 경우 과도한 온도응력에 의한 온도균열의 방지방안을 실제 현장실험을 통하여 시공계획에서부터 타설후 강도 및 온도이력에 이르기까지 종합적으로 검토하였는 바 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 매스콘크리트의 온도응력에 의한 온도균열을 제어하기 위하여 시방서상의 균열 지수식으로 검토하였는데, 균열발생을 제한하기 위한 방법으로 본 연구에서는 배합적인 측면에서 시멘트량의 저감을 위한 호칭강도의 저하 및 슬럼프치의 저감 그리고 시공적인 측면에서 5℃이하의 타설온도, 5회 분할타설 등의 조치를 취하였다.

2. 강도발현특성으로 구조체 관리용 공시체의 경우 재령 56일에서 목표한 설계기준강도를 발휘하는 것으로 나타났는데, 실제 구조체의 경우는 내부의 수화열등에 기인하여 구조체 관리용 공시체보다 앞서서 설계기준강도가 발휘된 것으로 사료된다.

3. 구조체 콘크리트의 온도이력특성으로 내부최고온도와 외부온도의 차이가 13℃~18℃정도로 나타나 이를 콘크리트 표준시방서상의 균열지수 산정식으로 구한 결과 유해한 균열을 제어할 수 있는 수준으로 나타났는데, 거푸집 제거후 육안관찰결과 균열이 전혀 없는 양호한 콘크리트로 시공됨을 알 수 있었다.

종합적으로 매스콘크리트를 한중환경에서 시공할 경우는 온도응력에 의한 온도균열의 제어에 대한 고려를 중점적으로 수행하고 아울러 구조체 콘크리트의 동해방지를 위한 최소한의 양생계획을 수립한다면 양호한 품질의 매스콘크리트가 성취될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서, 1999.1
2. 대한건축학회, 건축공사표준시방서, 1994
3. 한천구, 한중콘크리트, 대한주택공사 충북지사 기술교육자료, 1998.11
4. 한천구, 매스콘크리트, 아세아 레미콘 기술교육자료, 1998.11
5. 이대근, 김중우, 하재담, 김기수, 오병환, 차수원, "매스콘크리트에서 온도응력에 영향을 주는 인자에 대한 연구", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제10권 1호, 통권 제18집, 1998
6. 이장화, "주변환경을 고려한 온도이력 해석", 콘크리트 학회지, Vol.9 No.3 1997.6
7. 石川雅美, 강석화, "매스콘크리트 온도균열의 평가방법과 해석방법", 콘크리트 학회지, Vol.9 No.3 1997.6
8. 日本建築學會, 寒中コンクリート施工指針・同解説, 1991
9. 日本土木學會, コンクリート標準示方書 施工編, 1989.9