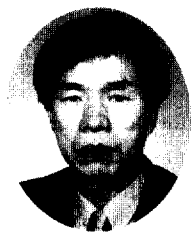
공사기사

서울통신센터 대형 Mat 기초 타설방안 연구

A Study on the Concrete Placing of Large Mat Foundation in Seoul Telecom Center



신 성 우* 전 부 덕** 지 석 원*** 이 상 진****

1. 일반사항

1.1 공사개요

· 규　　모 : 지하 3층, 지상 24층
· 연 면 적 : 88,170m²
· 구　　조 : SRC조
· 콘크리트강도 : 240kg/cm²
· 콘크리트물량 : 6,375m³
· 타 설 깊 이 : G.L.로부터 24m
(여건) 타설시 상부철근 간격이 좁아 Hose를 투입하여 처리

1.2 추진배경

두산건설에서 서울시 양천구 목동에 신축중인 한국통신 서울통신센타 고층부 기초설계가 이중 슬래브 기초에서 매트기초로 변경됨에 따라 현장에서 콘크리트의 대량 타설에 따른 콘크리트 내부의 수화열 증가에 의한 균열억제와 Expansion Joint처리 등에 대한 대책이 필요하게 되었다. 이에 현장에서 1차로 D엔지니어링에 의뢰하여 별첨 1과 같은 의견을 받았으나 당 현장의 공정지연(설계변경으로 2개월 공사중단)과 매출증대로 5단계의 수직분할시공은 당해연도 목표달성에 상당한 지장을 초래할 것이 우려되어 대안으로 고려된 수평분할에 따른 제반 문제점을 도출하고 이에 관한 적절한 대책방안 수립을 한양대학교 산업경영연구소에 의뢰하여 추진하게 되었다.

1.3 공사기간

1994년 10월~1994년 12월

* 정회원, 한양대 건축공학과 부교수
** 두산건설 서울통신센타현장 차장
*** 두산건설 기술연구소 과장
**** 두산건설 서울통신센타 현장 대리

1.4 연구목적

본 연구는 한국통신 서울통신센타의 기초설계 변경에 따른 고층부 매트기초(그림 1 참조) 콘크리트의 타설방안에 관한 것으로 공기에 크게 지장을 초래하지 않는 범위내에서 대량 콘크리트 타설에 따른 균열억제와 제반 품질관리를 위한 방법의 강구와 더불어 향후 두산건설에서 시공하는 매스콘크리트 시공능력 확보를 위한 기술자료 확보에 있다.

1.5 연구내용 및 방법

연구대상으로는 두산건설에서 양천구 목동에 신축 중인 고층부 매트 기초부분을 대상으로 하며 구체적인 연구내용은 다음과 같다.

① 당 현장의 문제점 파악
② 기존 제출안에 대한 검토
③ 대책방안 수립
④ 실제 현장적용

2. 추진내용

2.1 매스콘크리트의 일반적인 특성

본 현장의 매트기초와 같은 매스콘크리트는 대량 타설에 따른 내부 수화열이 매스 내부로부터 표면으로 향한 열전달의 완만성 때문에 쉽게 내부열로 분산되지 않는 특성이 있다. 이러한 수화열에 의한 굳기전의 콘크리트 온도상승은 온도팽창을 수반하게 된다. 이때 내부는 높은 온도가 유지되고 있는 반면에 대기온도에 접한 경화콘크리트 표면층의 냉각은 표면층에 인장응력(f_t)을 발생시켜 균열을 유발한다(그림 2 참조). 이때의 균열폭과 깊이는 고온의 내부와 냉각된 외부 사이의 온도기울기(thermal

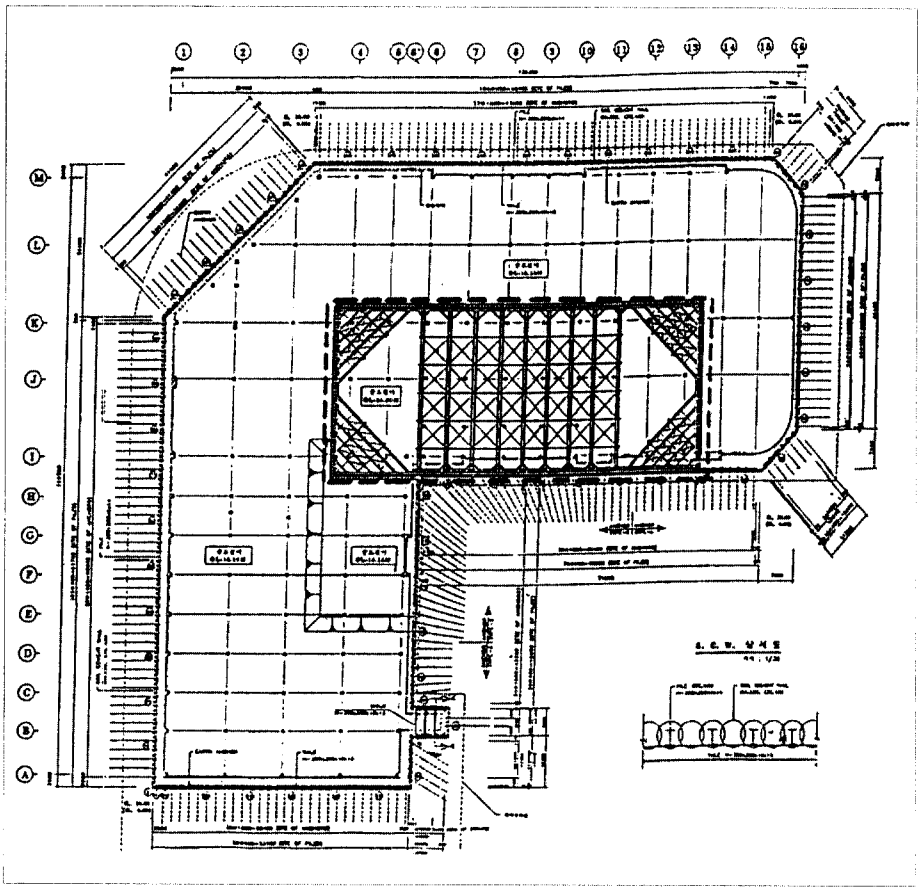


그림 1 현장평면도
(▭ : MAT 기초부분)

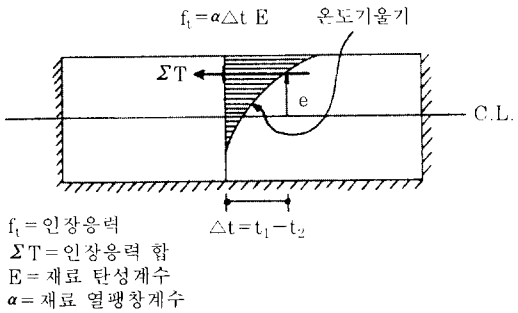


그림 2 온도 기울기

gradient)에 달려있다.

이외에도 깊고 대량인 경우 분할타설시 콘크리트 기간경과에 따른 수직 혹은 수평의 cold joint가 발생하거나 대량 타설에 따른 콘크리트의 품질변화와 골재분리가 발생하는 등 많은 어려움을 내포하고 있다.

2.2 D엔지니어링 안에 대한 검토

방안 : 5회 수직분할 시공에 의한 1회 타설량 조절(별첨 1 참조)

문제점 : ① 수직타설시 밀집된 철근배근에 거푸집의 시공이 어려우며 거푸집 제거 또한 어려움

② 5회 분할타설되더라도 2.7m인 단면 상하를 관통하는 수직 균열방지 어려움

2.3 추진방안

상기와 같은 수직분할은 빈번한 construction joint를 유발할 수 있으며 단면 전체를 관통하는 균열의 조정은 어려울 뿐만 아니라 시공의 난점을 포함하고 있으므로 본 연구에서는 각종 joint를 줄여줄 뿐 아니라 분할 거푸집 시공이 필요없는 수평분할 방식을 택한다. 이때 타설된 수평분할 방식에 따른 수화열 균열억제와 수평타설시 유발될 수 있는 수평층간 내부균열(internal crack)방지를 위한 구체적 검토방안은 다음과 같다.

1) 수화열에 의한 수직균열 방지대책

콘크리트의 열발생 속도는 전체 부피에 대한 표면 면적비(surface to volume ratio)와 주위 환경온도에 따라 달라지며 양쪽이 노출된 15cm의 경우 95%의 열을 노출시키는데 1시간 반, 그리고 1.5m의 경우 1주일, 15m의 경우 2년, 그리고 150m의 경우 200년이 소요되어 단면두께가 열에너지 발산 및 공정에 중요함을 알 수 있다. 따라서 본 연구대상은 매트 기초깊이가 2.7m이므로 3회 (0.9m/회)로 분할 타설하여 내부온도 및 작업의 편의성을 도모하도록 한다. 이때 수화열 및 수평 cold joint 등에 따른 타설 방안 강구를 위하여 다음과 같은 방안이 검토되었다.

■ 방안 1 : 재료에 의한 온도조절

수화열은 시멘트와 물의 화합시 발생함으로 시멘트량을 줄이거나 수화열 발생을 저하시키는 시멘트를 사용하도록 다음과 같이 한다.

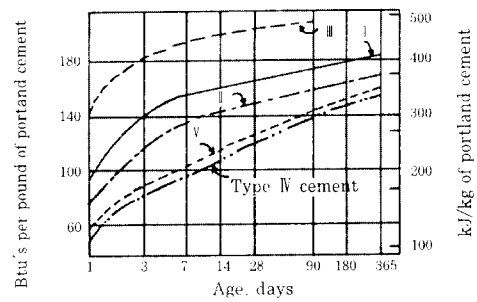


그림 3(a) Typical heat of hydration curves for various cements. Corresponding portland cement type :
USA Type Ⅰ and Canadian Type 10
USA Type Ⅱ and Canadian Type 20
USA Type Ⅲ and Canadian Type 30
USA Type Ⅳ and Canadian Type 40
USA Type Ⅴ Vand Canaian Type 50

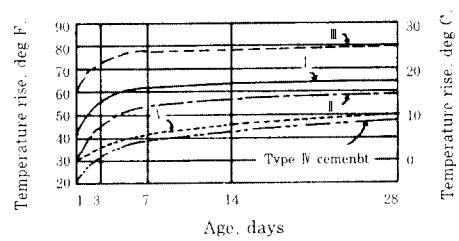


그림 3(b) Typical temperature rise of concrete containing 376lb of cement per cubic yard(220kg per cubic meter)

① 시멘트량을 줄인다—가능한 fly-ash 등의 상용을 권장

② 중용열(2종)이나 저열시멘트(4종) 사용(그림 3 참조)

→ 문제점 : 국내에서도 저열시멘트가 근래에 생산되나 경비가 고가인 단점이 있음.

■ 방안 2 : 타설량 조절

① 타설깊이를 1.5m 이내로 할 것.

② 1회 콘크리트타설량 조절

→ 문제점 : 타설량으로 조절하는 경우 빈번한 construction joint의 발생으로 밀집된 철근배근이나 시공상의 어려움 때문에 가능한 시공줄눈은 배제하는 것이 좋음.

■ 방안 3 : 콘크리트 배합온도 하향

① 골재 및 재료 냉각방법

· 시멘트 : 8℃/시멘트 …… ±1℃ 콘크리트 온도변화

· 골 재 : 2℃/골재 …… ±1℃ 콘크리트 온도변화

· 물 : ±4℃/물 …… ±1℃ 콘크리트 온도변화

…… 냉각수, 일부 얼음

…… 지하수(수질검사 후)

② 혼화제 사용 : 지연제, 감수형 지연제
빠른 온도상승을 지연제 사용으로 반응을 느리게 함.

→ 문제점 : B/P의 여건에 따라 차이가 나므로 특별한 요구가 어려움.

■ 방안 4 : 기계적 방안

냉각 pipe 매립

→ 문제점 : 경비등이 고가임.

■ 방안 5 : 온도기울기의 조절

· 취 지 : 콘크리트 표면에 단열(thermal insulation)을 함으로써 온도기울기(온도차)를 작게 함. 일반적으로 콘크리트는 다음 온도차의 경우 균열을 발생시키므로 이러한 온도차를 줄이는 시공을 함.

· 경계온도차 영국 : 16~20℃ (30~35°F)
미국 : 10~18℃ (17~33°F)
변형 (10^{-4}~2×10^{-4})

따라서 본 연구에서는 20℃를 기준으로 함.

이러한 접근방안은 두께 2.1m 이상인 경우 아래 그림 4는 단열이 없는 경우로서 2~3일 후 70°F (21.1℃)가 된 후 온도가 하향되나 20℃(35°F)의 온도차가 조기에 일어나므로 균열깊이와 폭이 증가된다. 그러나 표면 단열된 경우는 그림 5에서와 같이 표면온도가 완만히 하강하며 온도차도 20℃ (35°F) 이내로 되므로 콘크리트 표면균열이 발생되지 않는다. 그러나 이 경우에도 그림 6과 같이 단열부분을 제거시 온도차가 크게 나므로 단열재를 제거후 1시간 이내에 상층부 콘크리트를 다시 타설함

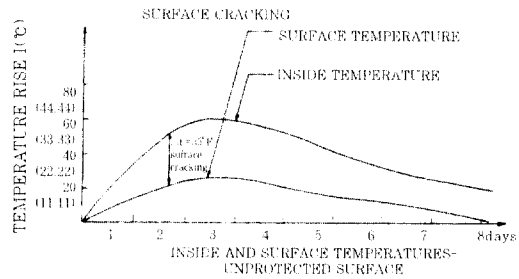


그림 4 표면보호를 하지 않은 콘크리트의 내외부 표면온도 상승

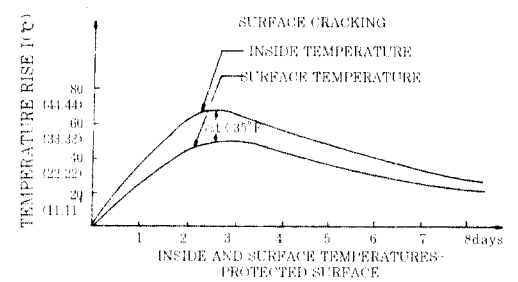


그림 5 표면보호를 한 콘크리트의 내외부 표면온도 상승

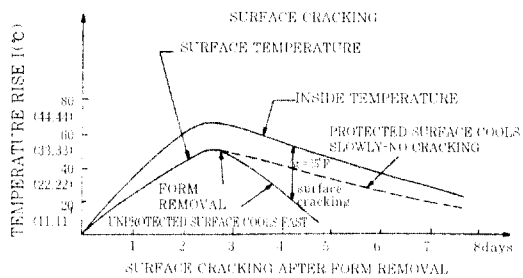


그림 6 거푸집 제거후의 표면균열 발생

이 바람직하며 최상부 콘크리트는 가능한 7주일 정도 단열상태로 주는 것이 바람직하다.

표면온도 보존방안(Thermal Protection)

부재크기, 시기, 시멘트량 및 종류에 따라 각각 다르나 다음과 같은 방안 중에서 결정할 수 있음.

① Polyethlene 거적위에 7~8cm의 모래를 덮은 후 비나 바람에 의한 증기 냉각을 방지하기 위하여 Polyethlene 거적을 다시 덮는다.

→ 특징 : 크거나 작은 면적에 모두 경제적이며 표면에 즉각적인 조치가 가능하다.

② 7~8cm의 물을 채움

→ 특징 : 외기 기온에 문제가 될 수 있다.

③ 단열판(insulation board)을 바람에 날라가지 않도록 안전하게 설치함.

→ 특징 : 재사용 가능

④ 누비이불(quilt)사용

→ 특징 : 겨울, 여름 모두 사용이 가능함

⑤ 공기단열을 이용하는 텐트 사용

→ 특징 : 비교적 경제적임

⑥ 기타 : 톱밥, 흙으로 덮음

온도측정(가능한 여러곳에 : 10~20 points 정도)

온도게이지(Thermal Gauge)를 콘크리트 내부 중간과 콘크리트 표면 10cm 이내에 매립하여 온도곡선을 그리면서 덮개 설치 및 제거 그리고 타설속도 등을 조절한다.

1) 온도측정용 기기 : A상사 구입

→ Wire는 외부로 연결 가능한 길이를 확보

2) 수평타설 층간 내부균열(internal crack) 방지대책

기존 타설된 콘크리트와 새로이 타설되는 콘크리트 사이에는 새로이 타설된 경우 초기의 온도상승에 의한 팽창과 후기의 냉각과 블리딩 등에 따른 수축으로 기존 콘크리트 사이에 cold joint와 균열이 발생될 수 있으므로 D13의 철근을 수직으로 콘크리트가 굳기 전 30~40cm 정도의 길이를 반 정도 매립하여(간격 1~1.5m)수평전단에 대한 장부작용이 가능하도록 한다.

3) 정리

수화열에 의한 매트 기초와 같은 매스콘크리트의 균열방지를 위하여

① 시멘트량이나 종류의 조절

② 재료의 인위적 냉각

③ 빈번한 construction joint

등을 두지 않고도 본 연구에서 추천된 방법인 콘크리트 내외의 온도차를 20℃ 이내로 좁힘으로써 표면균열 조절이 가능할 수 있다. 물론 상기의 모든 방안이 병용되면 매우 효과적이나 경제성이나 시공성이 문제가 되므로 채택이 어려울 것으로 보인다. 단지 시멘트 제조의 경우 fly-ash의 최대사용이 권장되며 이를 위한 현장적용 내용은 3장과 같다.

3. 현장적용

3.1 일반사항

고층 매트 기초부분을 수평으로 3층(layer)으로 나누어 타설할 때의 시공조건 및 현장적용 진행방안은 다음과 같다(별첨 4, 사진 5 참조).

① 타 설 일 : 1994년 12월 6일~12월 8일 (3일간)

② 타설 높이 : 2.7m

③ 총타설방법 : pump car - 3대

1일 타설높이 - 0.9m

총타설물양 - 6,375m^3

3.2 온도측정게이지 매립

1) 게이지 종류

A상사에서 구입한 온도측정 thermal gauge임 (별첨 4, 사진 1 참조)

2) 게이지 매립위치

매스콘크리트의 온도는 중앙부에서 높게 발생하고 그리고 두께에 따른 온도차가 온도균열을 발생하는 원리에 따라 그림 7(a)와 같이 중앙부의 측정크기를 작게 하도록 하였으며 수직인 경우 각 층(layer)의 중앙에 그리고 최상층에는 중앙 이외에도 대기에 접한 최외측 철근에 게이지를 부착하여 대기에 가까운 콘크리트온도를 측정하도록 하였다.

이외에도 양생포의 온도와 대기기온을 함께 측정하였다. 측정된 자세한 위치는 그림 7에 나타나 있다.

3) 게이지 부착방법

온도측정 게이지는 기초철근에 배근된 수직지지 철근(HD 25, 간격 90cm×90cm)를 이용하여 부착하였고 철근으로부터의 온도전달을 방지하기 위하여 먼저 철근에 테이프를 감고 그 상부에 부착시킨 후 다시 절연테이프로써 밀봉하였다(별첨 4, 사진 2, 3 참조).

4) 게이지 측정

온도측정용 게이지는 1개당 2개의 lead선으로 구성되며 측정장소 1군데에서 4개의 게이지가 필요하므로 발생되는 총 lead선은 8개이다. 그러므로 그림 8과 같이 측정 장소당 2개의 4core cable을 이용하여 선을 정리하고 중앙부 측정장소로 유도하였다. 별첨4의 사진4는 중앙부 측정장소에 모아 놓은 전체 센서의 형상 및 측정장치를 나타내고 있다.

온도측정용기기는 디지탈형 전기 저항기(모델명 : SANWA-SD-420C)를 이용하여 측정하였다.

5) 온도측정 시간

콘크리트 최종층을 타설한 후 수화열 측정시간은 최초 15시간까지는 3시간 간격으로 측정하였고 그 후부터는 12시간 간격으로 2일간 측정하였다. 타설 후 4일차 부터는 외기온도가 0℃이하로 급강하하여 측정시간 간격을 6시간으로 좁혀 측정하였다. 자료분석용 데이터를 얻기 위한 전체 측정시간은 타설 6일 후인 144시간까지를 원칙으로 하였으며 그 이후는 내·외부 온도차 그리고 외기온 등을 고려하여 6시간 또는 변동적으로 측정하도록 하였다.

6) 측정온도 보정

전기저항기로 측정한 저항치(KΩ)는 별첨2의 온도환산표를 이용하여 온도(℃)로 보정하였다.

3.3 수평타설 층간 내부수평균열

본 현장의 경우 수평타설층 사이의 면내전단흐름

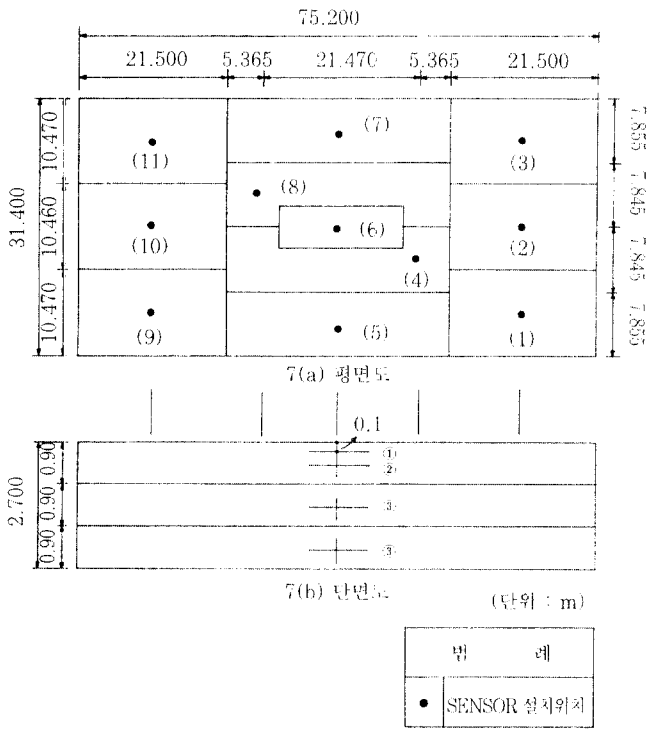


그림 7 온도게이지 매립위치

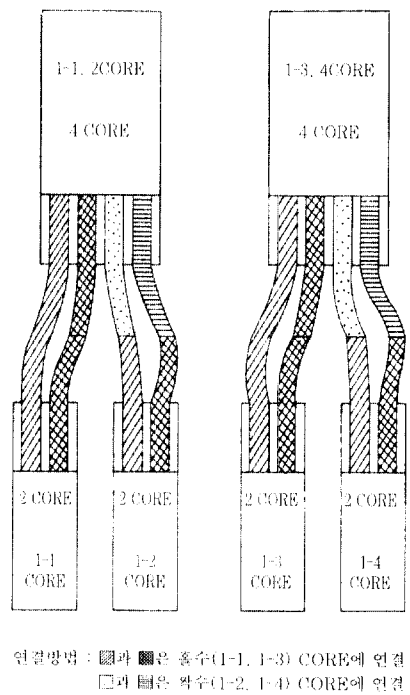


그림 8 게이지선 연결도

에 의한 균열을 제어하기 위하여 별도의 철근매립 없이 90cm×90cm 간격으로 배근되어 있는 수직지지 철근을 이용하였다.

3.4 표면온도보존 방안

고온인 내부콘크리트와 기온에 접하고 있는 외부콘크리트와의 급격한 온도차를 방지하기 위한 외부온도 보존방안으로 거적과 같은 양생포를 비닐을 깐 후 덮어 수분과 온도가 보존되도록 하였다. 별첨 4의 사진 6에는 양생포 설치가 완료된 전경이 나타나 있다. 6일후에는 온도제거 충격을 줄이기 위하여 양생포를 걷고 비닐 덮은 상태를 14일까지 유지한 후 비닐을 제거하였다. 본 연구에서 비교적 양생포와 비닐을 오래 둔 이유는 기초 콘크리트를 친 후 공정상 충분한 여유가 있어 가능한 오랜 기간동안 표면온도를 보존하도록 조치하였다.

3.5 온도측정결과

3.5.1 전체적 분석

실험에서 거푸집 제거 시기를 콘크리트 내부온도가 콘크리트 외부온도와 차이가 10℃ 이내로 되며 외부콘크리트와 기온과의 차가 15℃가 되는 시점을 기준으로 하였다. 그림 9에서 보는 바와 같이 초기 1시간 후에는 최상층열의 중간지점인 ②와 최하층 중간지점인 ④와의 온도차이가 28℃ 가량 되었다. 24시간 후에는 15℃ 온도차이 내로 근접되었으며 이후 72시간(3일 후)후에는 온도차가 거의 없었으나 이후 양생포 내부의 온도가 폐쇄된 열량에 의해 증가되면서 ②지점의 온도는 일시적으로 다시 증가되는 경향을 보여주고 있고 332시간까지 하강 경향을 나타내고 있다. 따라서 대기의 기온이 72시간 이후 0℃ 이하로 떨어짐에 따라 양생포 제거후의 급격한 온도차를 고려하여 양생포 온도와 ②지점이나 ①지점의 온도차가 15℃차 이내인 위치를 그 차로 고려하여 양생포 온도가 ①지점과는 13℃ 그리고 ②지점과는 15℃ 정도가 되는 약 144시간(6일 후)되는 시점을 양생포 제거시기로 하였다. 양생포 제거후 모든 위치에서의 온도하강 속도는 보다 급속히 이루어졌으며 더욱 외기기온에 근접하는 경향을 보여 주었다(그림 9 참조).

3.5.2 부분적 분석

(1) 양단부(게이지 매립위치 No.1, 2, 3, 9, 10, 11)

양단부의 전체적인 온도변화 추이를 분석하면 타설후 12시간까지는 초기 타설부분인 ③, ④번 게이지의 온도보다 후타설된 ①, ②번 게이지 온도가 상

그림 9 시간변화에 따른 콘크리트 평균 수화열

승되고 있음을 알 수 있다.

이는 초기타설 부분의 콘크리트가 경화되면서 발생한 내부열이 발산되어 상부 콘크리트의 온도상승에 기여했기 때문이라고 판단된다.

별첨 3에서 보는 바와 같이 초기 1시간 후에는 최상층 중간지점인 ②번 게이지와 최하층 중간지점인 ④번 게이지와의 온도차이는 30℃ 가량 되었다. 그러나 24시간 후는 13℃ 온도차이 이내로 근접되었고 이후 양생포 제거시기인 144시간 되는 시점에서는 약 15℃ 내외의 온도차를 보이고 있다.

따라서 양단 부분의 콘크리트 내부온도제어는 선·후 타설부분의 온도를 기준치 온도차 20℃ 이내로 맞출 수 있었다.

(2) 중앙부(게이지 매립위치 No.4, 6, 8)

양단부 콘크리트가 경화하면서 수화온도의 상승이 크며 수축응력을 가장 많이 받아 구조적으로 취약할 것으로 예상되는 중앙부의 전체적인 온도변화 추이를 분석하여 보면 다음과 같다.

타설후 12시간까지는 양단부와 유사하게 ①, ②번 게이지의 온도가 ③, ④번 게이지의 온도보다 상승하였다. 콘크리트 타설부분의 도심에 해당하는 No.6 위치의 온도변화는 타설후 48시간 이후 부터는 콘크리트 내부 온도변화가 5℃ 내외로 나타났으며 양생포를 걷고 비닐만으로 보양하는 시점에서도 비닐안의 온도와 ①번 게이지의 온도차가 18℃ 내외로 나타나 기준치 온도차 20℃ 보다 낮음을 알 수 있다.

전체적으로 같은 수직위치에 중앙부의 온도가 가장자리 온도보다 대체적으로 높은 것으로 나타났으며 이는 별첨 3에 자세히 표시되어 있다.

또한 그림 9의 콘크리트 평균 수화열 분포곡선과도 유사하게 거동함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 현장의 매트기초와 같은 매스콘크리트(mass concrete)는 대량타설에 따른 내부 수화열의 제어가 콘크리트 품질관리에 있어서 중요한 관건이 된다. 또한 콘크리트 분할 타설시는 수직 혹은 수평의 cold joint, 콘크리트 품질변화, 골재분리 등의 문제도 수반된다. 따라서 본 연구에서는 분할타설시 콘크리트 균열방지를 위한 대책으로 일반적으로 행하여지는 시멘트량, 시멘트 종류조절, 재료의 인위적 냉각, 빈번한 construction joint를 두지 않고도 1회 콘크리트 타설량 조절, 콘크리트 표면단열 실시 등의 방법으로 콘크리트 내외의 온도차를 20℃ 이내로 좁혀 표면균열 발생을 최소화시킴으로써 본 연구과제를 성공적으로 마칠 수 있었다. 단 향후 본 과제를 보다 일반화하고 표준적인 방법으로 유도함으로써 두산건설의 매스콘크리트(건축, 토목, 고강도, 특수콘크리트 포함)타설방안을 강구하기 위하여는 보다 장기적인 연구과제로 보완되어야 할 것으로 사료된다.

5. 부 록

〈별첨 1〉

D 엔지니어링 안

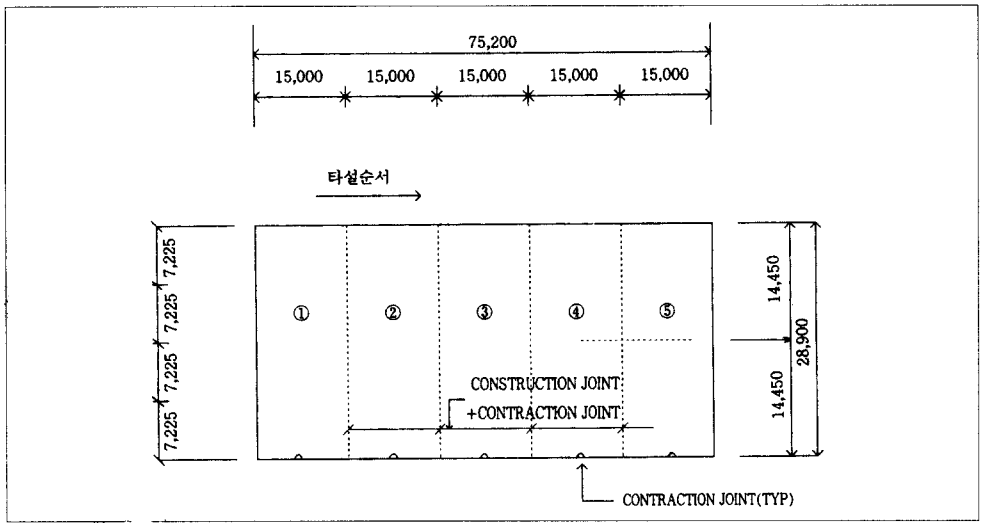


그림 10
평면도

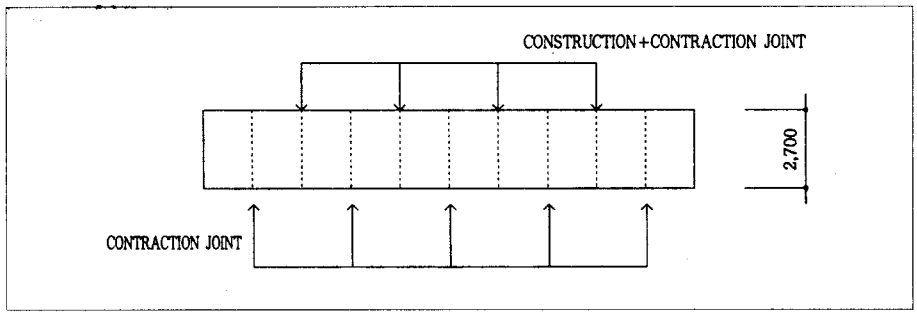
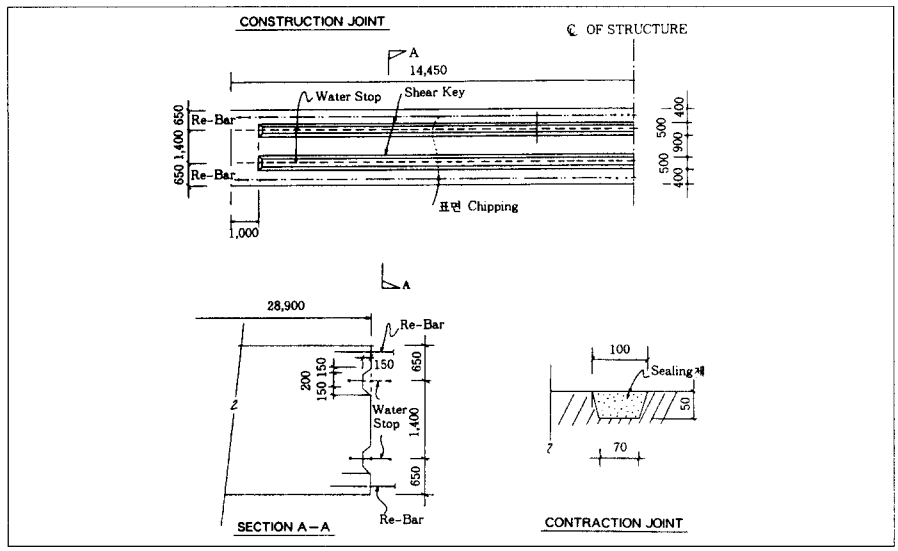


그림 11 단면도



〈별첨 2〉

THERMISTOR vs 온도 환산표

단위 : 온도(℃) (저항) : KΩ)

온 도	저 항	온 도	저 항	온 도	저 항
−20	29.13	−10	16.80	0	9.796
−19	27.49	−9	15.72	1	9.310
−18	25.95	−8	14.90	2	8.851
−17	24.51	−7	14.12	3	8.417
−16	23.16	−6	13.39	4	8.008
−15	21.89	−5	12.70	5	7.618
−14	20.70	−4	12.05	6	7.252
−13	19.56	−3	11.44	7	6.905
−12	18.52	−2	10.88	8	6.578
−11	17.53	−1	10.31	9	6.265
10	5.971	20	3.748	30	2.417
11	5.692	21	3.583	31	2.317
12	5.427	22	3.426	32	2.221
13	5.177	23	3.277	33	2.130
14	4.939	24	3.135	34	2.042
15	4.714	25	3.00	35	1.959
16	4.500	26	2.872	36	1.880
17	4.297	27	2.750	37	1.805
18	4.105	28	2.633	38	1.733
19	3.922	29	2.523	39	1.684
40	1.598	50	1.081	60	0.746
41	1.535	51	1.040	61	0.719
42	1.475	52	1.002	62	0.694
43	1.418	53	0.965	63	0.670
44	1.368	54	0.929	64	0.647
45	1.310	55	0.895	65	0.603
46	1.260	56	0.863	66	0.582
47	1.212	57	0.832	67	0.562
48	1.167	58	0.802	68	0.543
49	1.123	59	0.773	69	0.274
70	0.525	80	0.376	90	0.266
71	0.507	81	0.364	91	9.258
72	0.490	82	0.353	92	0.250
73	0.474	83	0.342	93	0.243
74	0.459	84	0.331	94	0.238
75	0.444	85	0.321	95	0.229
76	0.429	86	0.311	96	0.222
77	0.415	87	0.301	97	0.216
78	0.402	88	0.292	98	0.209
79	0.389	89	0.283	99	

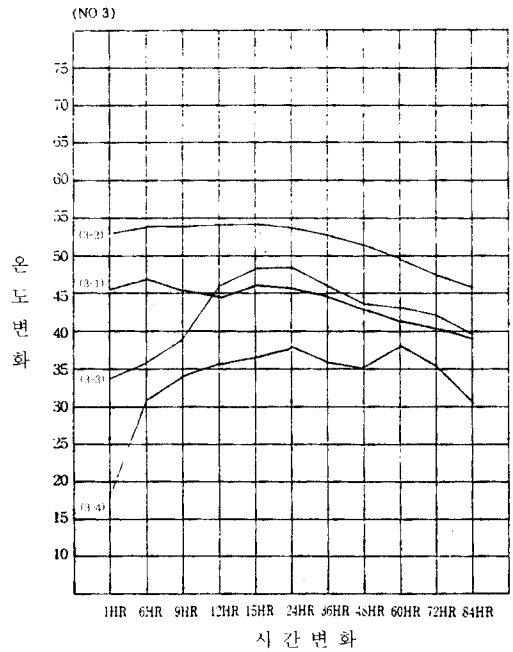
* 온도 환산식

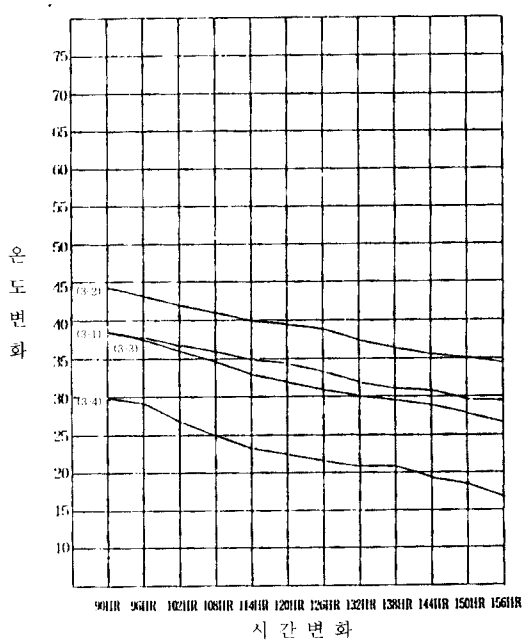
LL# = LOG(RO/1000)/LOG(10)

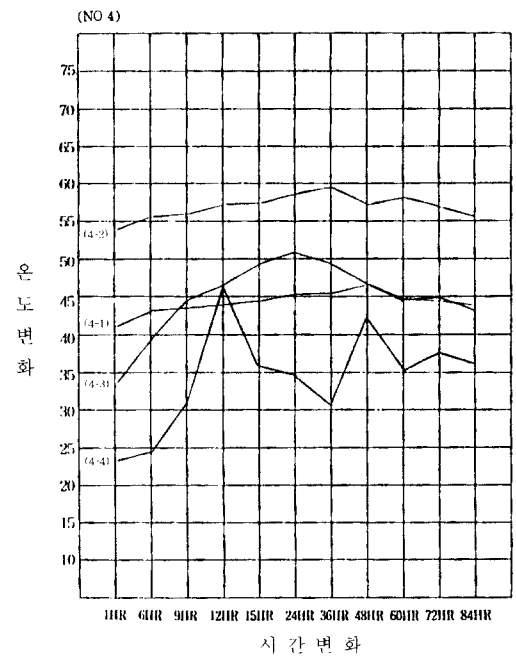
TO# = 51.90502#−60.1385# * LL#+8.535395 * LL# *LL# −.70643# * LL#^3

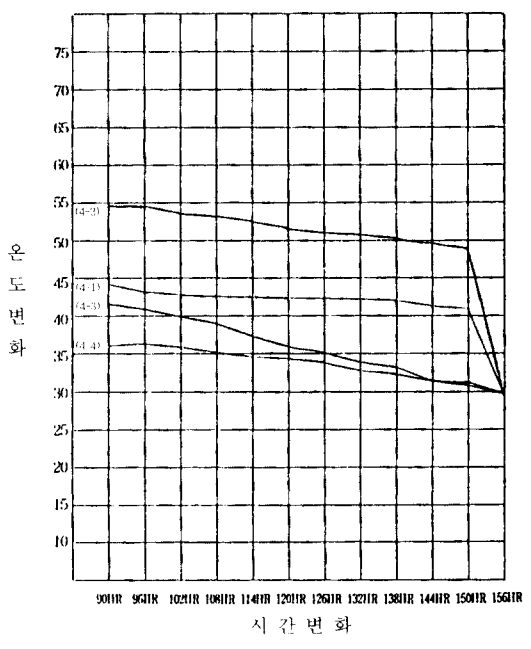
〈별첨 3〉

시간의 변화에 따른 콘크리트 수화열 변위도

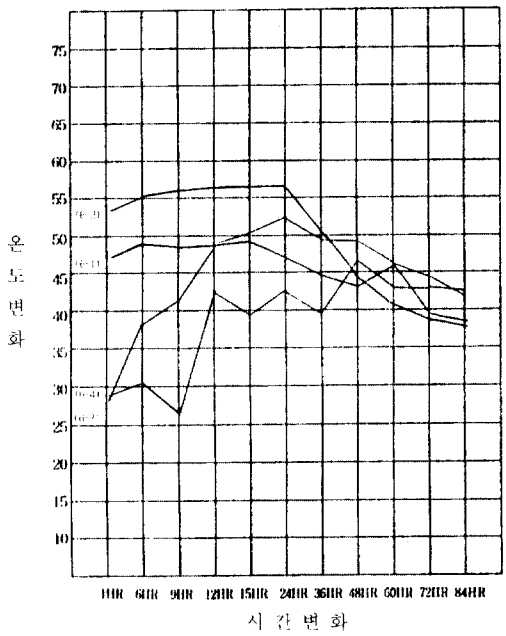


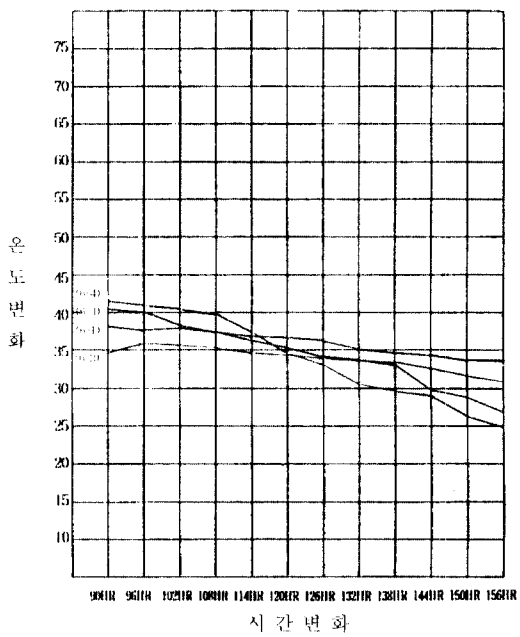




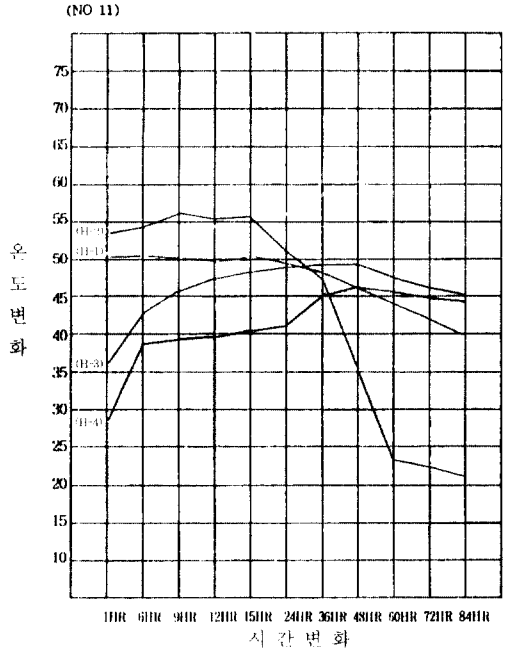


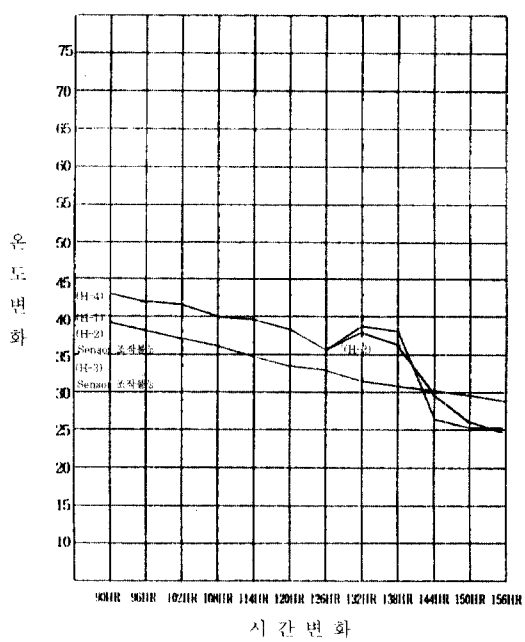
시간의 변화에 따른 콘크리트 수화열 변위도





(NO 11)





〈별첨 4〉

사진 1 온도 측정용 Thermal Gauge

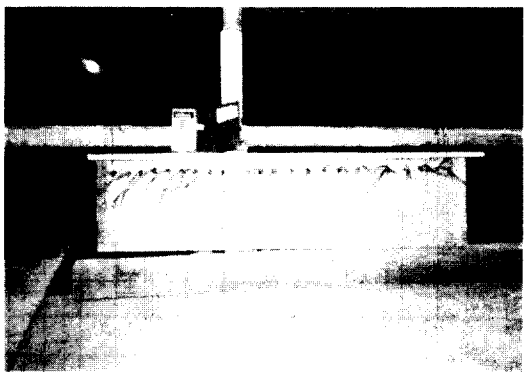


사진 4 각 센서를 기초 중앙 상단부에 모아둔 장면

사진 2 Thermal Gauge 부착 장면

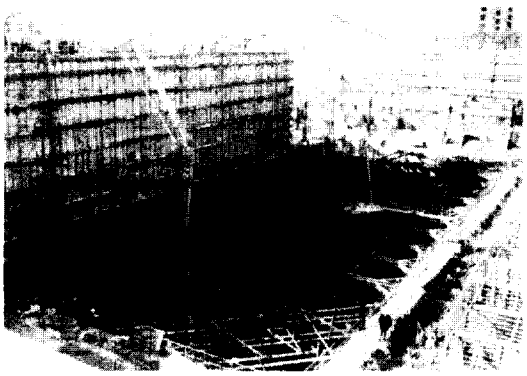


사진 5 콘크리트 타설 장면

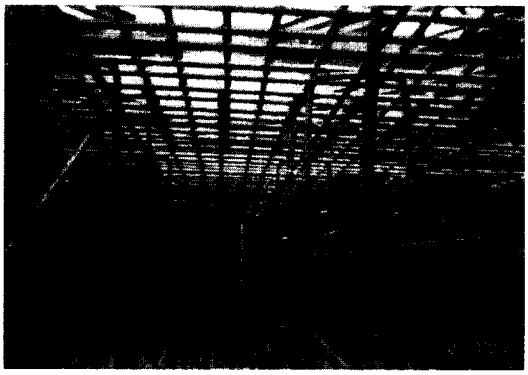


사진 3 Thermal Gauge 부착 완료후 장면

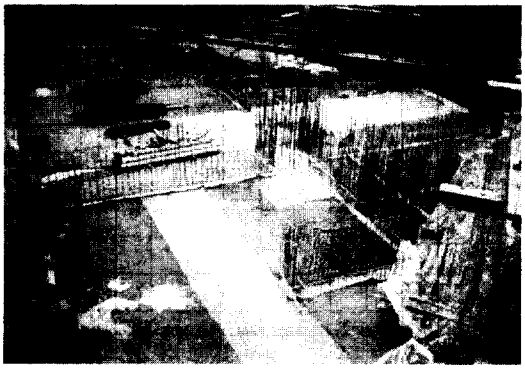


사진 6 양생포 보양 장면