파이프 쿨링(Pipe Cooling)을 이용한 수화열 제

-영락교회 현장-

김광만|부산수영로교회현

수화열로 인한 콘크리트의 균열을 방지하기 위한 방안은 ?

양생중인 콘크리트 표면에 손을 대보면 따뜻한 것을 느끼게 되는데 이는 콘크리트가 양생할 때 수화 반응을 일으키면서 발생하는 수화열 때문인 것으로알고 있다. 수화열은공기면과접촉하는 면이 넓은 슬래브나 두께가 얇은 콘크리트에서는 열의 발산이 잘 이루어져 내부와 외부의 온도차가 적어져 문제가 안되지만 규모가 큰 매스콘크리트에서는내 · 외부의 온도차가 커져 내 · 외부의 팽창차이로 균열이 발생, 구조적 문제를발생시킬수있다.

콘크리트의규모가얼마이고, 내 · 외부의온도차가 얼마일 때 문제가 되는가에 대해서는 국내의 콘크리트 표준 시방서에는 800mm-1,000mm 두께를 매스콘크리트로 규정하고 있고, 온도 차이에 대하여는 온도균열지수 공식을 통하여 온도 차이가 30℃이면 균열 확률이 100 %, 15℃차이이면 40 %로 나타내고 있다.[1)]

또한 수화열에 의하여 콘크리트의 온도가 상승하여 온도차의 최대값이 25-30℃ 정도에 이르면 열응력이 발생하고 응력의 해소과정에서 온도균열이 형성된다.[2)]

본공사전에타워크레인기초를대상으로수화열을측정하였다

기초내부에온도센서를설치하여온도변화를측정하였다

해외공사 시방[3)]에 의하면 내,외의의 두 지점간 온도차는 20℃ 이 조정(Control)되도록 규정하고 즉양생중인 콘크리트의내 · 외부 도차가 20℃를 넘을 때 균열이 발 수 있으므로 조치를 취해야 한다 이다.

콘크리트표준시방서에의하면 응력에 대한 검토도 해야 하고 온 열에 대한 제어방법으로 철근의 골재의 프리 쿨링(Pre-Cooling), 줄눈의 설치 등을 하도록 되어있 현실적으로적용되지않고있는실 며, 보통 시도되고 있는 방법으로는 지연형 혼화 사용하거나, 플라이 애쉬(Fly Ash) 또는 저발열 트(Belite, 4종)를사용하기도한다.

그러나레미콘공장설비문제, 단가상승문제가 며 균열 저감 효과가 아직까지는 확실하지 않은 으로 국내 현장에 적용할 수 있는방안은 아니라 각됐다.

비슷한 조건의 타워 크레인 기초를 통한 사전 조사

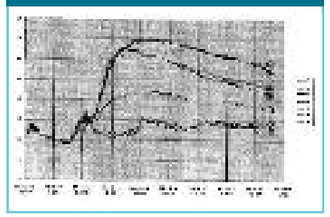
영락교회현장은폭2.4m, 높이1.7m, 길이 3(규모가 큰 Post Tensioning 보가 있어 수화열에

균열이 검토돼야 했다. 그래서 본공사 전에 규모가 비슷한 타워 크레인의 기초를 대상으로 수화열을 측정 및분석조사해보기로했다.

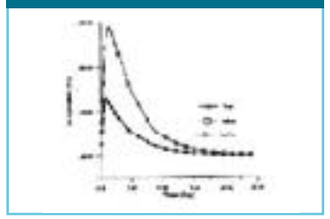
타워 크레인 기초는 가로 1.7m, 세로 1.7m, 높이 1m로써 포스트텐션닝(Post Tensioning)보와 같은 강도인 300kg/cm² 콘크리트를 타설하고 양생중 내,외부 온도차를 측정했다. 온도센서(Thermo couple)를기초 내부에서 외부까지 단계별로 설치하고 측정장비(Data Logger)를 이용하여콘크리트타설후5일동안의 온도변화를 측정해, 도표 1과같은결과를얻었다.

양생중의외기온도는 25-30℃ 정도였고, 48시간 경과 후에 콘크리트 내부 최대온도가 70℃ 일 때 콘크리트표면온도가 44℃로 26℃의 온도차가있었다. 이는위에서언급한콘크리트 내, 외부의 온도차가 20℃를 넘어 균열이 발생할 수도 있다는 결과였으나 실제 기초에는 균열이 발생하지는 않았다. 그러나독립된기초구조에는균열이발생하지않을수 있지만 기둥과 보로 구속되어 있는 대형 포스트 텐션닝(Post Tensioning)보에는 균열이 발생할 수 있다고 판단했다.

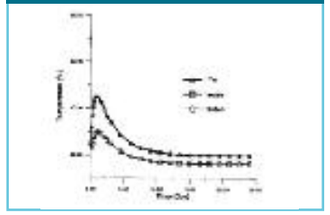
(도표1) 타워크레인을대상으로실시한규모가큰 콘크리트의내, 외온도차는26℃였다



(도표2) 쿨링파이프(Cooling Pipe)를설치하지않았을 때의추정결과



(도표3) 쿨링파이프(Cooling Pipe)를설치했을때의 추정결과



규모가 큰 콘크리트의 수화열 방지를 위한 파이프 쿨링(Pipe Cooling) 시스템 !

영락교회현장에서는수화열을억제할수있는여러가지 방안을 검토해 보았다. 토목현장에서 많이 사용하는 저발열 시멘트(Belite, 4종)[4]를 이용한 콘크리트를 사용하는 것은큰물량이아닌영락교회 현장에서는 적당하지 않았고 비용도 비싼 방안이었다.

지연형 감수재를 사용하는 방안은시멘트의 양을 줄여 발열 온도를 낮추는 방안으로 국내에 검증된 자료가많지않아품질에 확신을가질 수없었다.

포스트 텐션닝 보를 절반 나누어 치는방안도 고려했으나, 이 방안은 포스트 텐션닝 구조에서는 시공줄눈(Construction Joint)에 구조적 문제가 생길 수있어적절한 방안이 아니라는판단을하였다.

다른 방안을 조사하다가 해외 현장의 동료로부터 수화열의 권위자인 KAIST의 김진근 교수가 개발한 수화열 제어 프로그램이 국제적으로인정을받고있다는 이야기를들었다. 그래서 김교수를 방문해자문을 구했는데 영락교회 현장에 적용할 수 있는 파이프 쿨링(Pipe Cooling) 시스템의 간단한 계산 결과와 내부에 1"(Inch) 파이프를 3가닥 정도 설치하고 분당 15L의 물을 순환시키면 균열 억제가 될 수 있다는 조언을얻을수있었다.

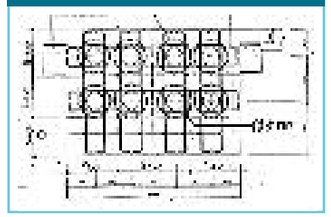
김교수의 계산 결과에 의하면 내부에 쿨링 파이프(Cooling Pipe) 를 설치하지 않았을 때는 도표 2와 같이 중앙부의 최고 온도는 80℃ 표면의 온도는 45℃로 내 · 외부의 온도차가 약 35℃ 발생하며, 파이프 쿨링(Pipe Cooling) 시스템을 설치했을 때는 도표 3과 같이 내부 최고 온도가 45℃일때 표면의 온도는 30℃로 내 · 외부의 온도차를 약 15℃로 억제할수있다고추정했다.

수화열 억제를 위한 시공 계획

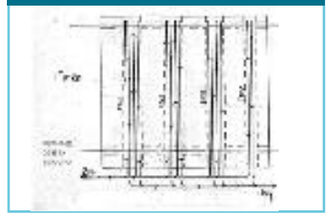
이를 근간으로 영락교회 현장에서는포스트텐션닝보의내부에 1" Pipe 4가닥을 설치하고 순환펌프를 설치하여 지하수를 순환시켰으며 콘크리트 자체의 수화열 감소를 위해 슬럼프를 15cm에서 12cm로 변경하고 유동화재인 로마디(Lomar-D)[5]를사용하여슬럼프를 조정했다.

타워크레인기초때와같이온도 측정 센서를 설치하고 강도 300 kg/cm²의 콘크리트를 포스트 텐션닝 보에 타설했다. 보의 옆면에는 두께 50mm의 스티로폴을 설치했고 상부에는 양생중 보양포로 덮어 외기를차단했다

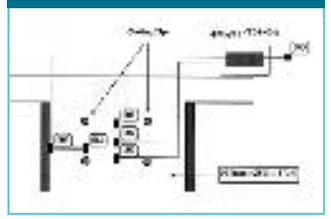
포스트텐션닝보내부에 1"(Inch)파이프를4가닥을설치했다



순환펌프를 설치한 후 지하수를 이용하여 양생중 물이 순환되도록했다.



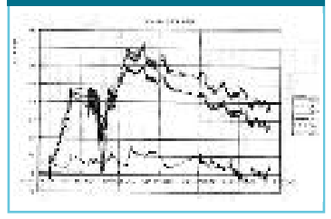
포스트텐션닝보의내부에서외부까지5개의온도측정 센서를설치했다.



파이프 쿨링(Pipe Cooling System) 적용 결과

양생중의 외기 온도는 영하 2℃ 영상 15℃였고 양생 기간중 내부의 온도변화를측정한결과는쿨링 파이프(Cooling Pipe)를 설치한 내부 온도가 타설 후 약 120시간 후에 최고온도인 72℃까지 올라갔을 때표면부의 온도는 60℃로 온도차를 12℃로당초예상했던 15℃이하로유지됐다.

파이프쿨링시스템통해포스트텐션닝보의내, 외부의 온도차를12℃이하로유지했다.



과 수화열로 인한 균열은 발생 않았다. 쿨링 파이프(Cooling 내부는 포스트 텐션닝 보의 양 업 후에 시멘트 페이스트(Pas 그라우팅했다.

다른 현장에서도 적용해 보기를…

위에서도 언급했지만수화열 도차로 인한 균열을 실질적으 지할수있는방안에대한국내 를 찾아보았지만구할수없었 락교회 현장의 사례는 현장에 접 경험한 실질적인 결과로서 수화열 제어가 요구되는현장에 도움이되리라생각한다.

비용면에 있어서도 실제 투 비용은 2백만원 미만으로 저렴 적용방법이 간단해 현장에서 려움없이사용할수있는수화 감방안이라고생각한다.

이 지면을 빌어 바쁘신 중에 장의 어려움을 이해하고적극적 도움을 주셨던 KAIST의 김진 수님께감사드린다.

(각주)

1. 대한토목학회 ‘ 콘크리트표준시방서 ’ 제29장매스콘크리트pp 228-250
2. 김진근 ‘ 콘크리트균열의원인 ’ 콘크리트학회지제6권4호, 1994, pp 9-10
3. 쌍용건설싱가폴선택시티현장의온도조절시방서
4. 쌍용양회Belite 시멘트(02) 2270-5379
5. Lomar-D : 콘크리트감수재로슬럼프를조정하는데사용하였다