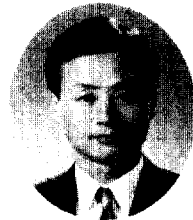


사우디아라비아에서의 서중콘크리트 시공 Hot Weather Concrete Construction in Saudi Arabia



장 석 준* 이 상 태**

1. 서 론

사우디아라비아에서도 그 지역적 위치나 계절에 따라 기온이나 습도의 차가 많으나 일반적으로 여름철에는 50℃를 넘는 높은 기온, 낮은 상대습도, 열풍 등이 복합적으로 작용하는 열악한 환경에 놓이게 됨에 따라 서중콘크리트로서의 특성을 갖게 되어 그에 대한 대책이 필요하다.

서중콘크리트는 일반적으로 타설시 콘크리트 온도가 높아 소요 워커빌리티를 얻기 위한 단위수량의 증가, 운반중의 슬럼프저하, 조기응결, 수화열에 의한 콘크리트 온도상승의 증가, 수분의 증발에 의한 소성 수축균열 및 온도균열의 발생, 장기강도의 감소 등이 발생하게 된다.

따라서 필자는 1988년 AL Jubail Riyadh Line "C", Pumping Station 공사에 직접 참여한 시공사례를 중심으로, 서중콘크리트로서 고품질을 확보하기 위한 시공대책에 관하여 다음사항을 중심으로 기술하고자 한다.

1) 콘크리트 온도의 규정

- 2) 재료의 냉각, 얼음의 사용, 지연제의 사용
- 3) 과도한 혼합방지
- 4) 직사광선 노출로부터 콘크리트 재료 및 생산설비의 보호
- 5) 운반, 타설, 마무리 작업까지의 시간제한
- 6) 콘크리트 타설 후의 양생
- 7) 압축강도 측정용 공시체의 보호 및 양생

2. 콘크리트의 제조

2.1 콘크리트의 온도

서중콘크리트와 관련된 기술은 매스콘크리트 건설과 관련해서 얻어진 경험에 근거를 하고 있는데 최적의 콘크리트 온도는 10℃ 정도이나 경제성이나 실용적인 측면에서는 어려운 문제가 되고 있다.

일반적으로 타설시 최고의 온도를 30℃ 정도로 규정하는 것이 합리적이고 실용적이라 할 수 있다. 콘크리트의 온도를 낮게 유지할수록 단위수량 및 단위 시멘트량을 줄일 수 있으므로 그 강도 및 경화된 콘크리트의 제성질을 개선시킬 수 있다.

* 현대산업개발(주) 토목부, 과장

** 현대산업개발(주) 토목부, 이사

그림 1은 23°C, 습윤양생 조건하에서 양생시킨 콘크리트에 대해 콘크리트의 온도에 따른 재령별 콘크리트의 압축강도 변화 및 압축강도의 비교를 잘 보여주고 있다.

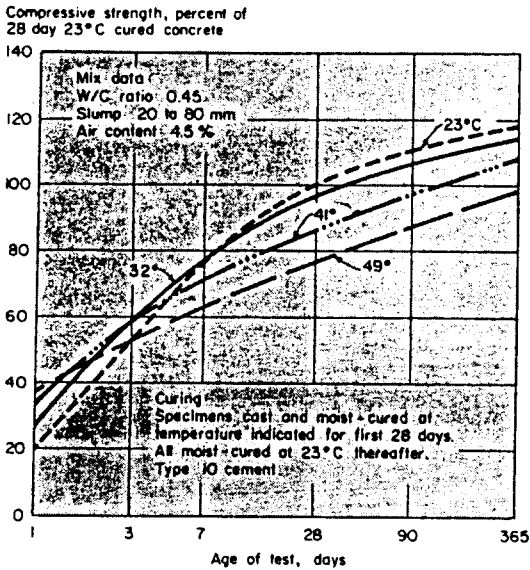


그림 1 콘크리트의 온도가 압축강도에 미치는 영향

콘크리트의 제조에 사용되는 재료의 온도로 부터 이들을 비해서 만든 콘크리트의 온도를 추정할 경우에는 식 (1)을 사용할 수 있다.

$$T = \frac{C_s(T_a W_a + T_c W_c) + T_m W_m}{C_s(W_a + W_c) + W_m} \quad (1)$$

여기서, T : 제조시의 콘크리트 온도
 W_a 및 T_a : 골재의 중량 및 온도
 W_c 및 T_c : 시멘트의 중량 및 온도
 W_m 및 T_m : 비비기에 사용한 물의 중량 및 온도
 C_s : 시멘트 및 골재의 비열, 0.2-0.22

시멘트는 비열이 낮고 그 사용량도 적으므로 콘크리트의 온도에 미치는 영향이 제일 낮다. 일반적으로 시멘트 온도 $\pm 8^\circ\text{C}$ 변화에 대하여 콘크리트의 온도가 $\pm 1^\circ\text{C}$ 변화한다고 보고 있다.

식 (1)에 근거로 하여 콘크리트 온도에 대한 골재와 배합수의 영향은 일반적으로 그림 2와 같다.

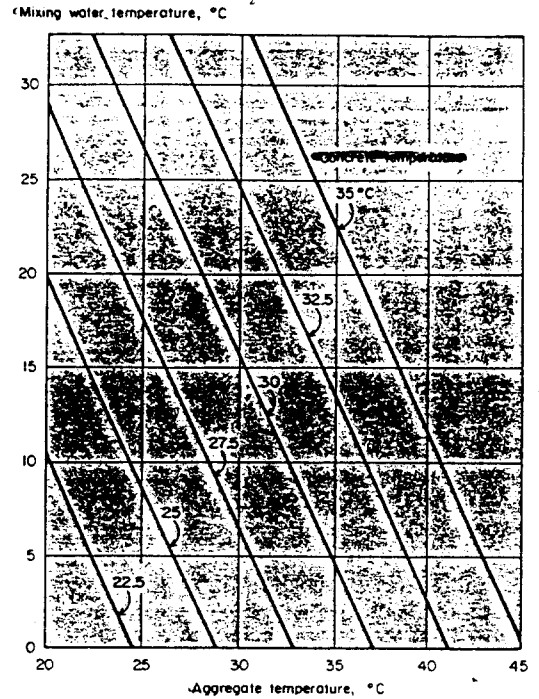


그림 2 배합수 및 골재의 온도와 콘크리트 온도와의 관계

2.2 재료의 냉각

2.2.1 골재

일반적으로 골재온도 $\pm 2^\circ\text{C}$ 변화에 대하여 콘크리트의 온도가 $\pm 1^\circ\text{C}$ 변화한다고 보는데, 콘크리트 체적의 65-85%를 골재가 점유하므로 콘크리트의 온도에 미치는 영향이 크다. 따라서 골재 야적시 작사 광선을 피하기 위한 시설을 설치하거나, 스프링쿨러를 이용한 살수, 골재의 냉각, 투입 직전 냉수로 세척하는 방법 등을 통하여 골재의 온도를 낮추는 것이 필요하다.

골재의 냉각방법에 따라 골재 함수량의 큰 변화가 초래되므로 배합설계시에는 이점을 고려해야 한다.

2.2.2 배합수

식 (1)에서 알 수 있는 바와 같이 물의 비열은 1 이고 시멘트나 골재의 비열은 0.2 정도이기 때문에 중량의 관점에서만 보면 배합수는 시멘트나 골재보다 콘크리트의 온도에 미치는 영향이 크며 또

한 배합수는 다른 재료보다 쉽게 온도를 낮출 수 있고, 관리가 용이하다. 일반적으로 배합수의 온도가 $\pm 4^{\circ}\text{C}$ 변화에 따라 콘크리트 온도가 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 변화 한다고 본다.

냉각수를 사용하여 콘크리트를 제조하게 될 때 식 (1)은 다음과 같이 된다.

$$T = \frac{C_s(T_a W_a + T_c W_c) + T_m W_m + T_{rm} W_{rm}}{C_s(W_a + W_c) + W_m + W_{rm}} \quad (2)$$

여기서, T_m 및 W_m : 냉각수의 중량 및 온도

2.2.3 얼음의 사용

배합수에 얼음을 사용하면 콘크리트 온도를 효과적으로 낮출 수 있다. 일반적으로 콘크리트 1M^3 의 온도를 1°C 낮추는데는 5.8Kg 정도의 얼음을 필요로 하는데 얼음덩어리(block)를 사용하는 방법과 얼음조각(ice flake)를 사용하는 방법이 있다. 두 경우 모두 콘크리트의 혼합이 끝나기 전 완전히 녹아야 한다.

얼음을 사용할 때에는 식 (1)은 식 (3)과 같이 된다.

$$T = \frac{C_s(T_a W_a + T_c W_c) + T_m W_m - 79.6 W_i}{C_s(W_a + W_c) + W_m + W_i} \quad (3)$$

여기서, W_i : 얼음의 중량

2.3 혼화제

서중콘크리트에서는 수화반응이 촉진되어 콘크리트의 응결이 조기에 발생하므로 지연제의 사용이 필수적이다. 지연제를 사용하게 되면 콘크리트의 운반 및 타설 지연에 의한 반죽질기 저하를 억제하여 시공성과 작업성을 확보할 수 있으며 콜드조인트의 발생을 방지할 수 있기 때문에, 현장에서는 일반적으로 지연형 감수제가 많이 사용되고 있다. 또한 콘크리트의 공기연행이 어렵기 때문에 AE제 사용시는 그 사용량을 증가시켜야 한다.

2.4 혼합

시멘트 또는 모래의 온도가 높으면 시멘트가 붕

치는 현상(cement ball)이 발생 한다. 따라서 이 현상을 방지하기 위해서는 믹서안에 먼저 소요수량의 반 정도를 투입한 후 굵은골재, 산골재, 시멘트, 잔여 배합수의 순으로 투입하는 것이 경험상 유리한 것으로 판단된다.

과다한 혼합시간은 콘크리트의 응결을 촉진하기 때문에 적합한 혼합속도를 유지하면서 혼합시간이 최소가 되도록 한다.

3. 콘크리트의 시공

3.1 콘크리트의 타설시기

여름철 낮기온이 50°C 를 넘는 사우디아라비아와 같은 지역에서 콘크리트를 하루중 언제 타설할 것인가 하는 문제는 콘크리트의 냉각과 더불어 중요한 문제이다.

높은 대기온도하에서는 콘크리트 재료의 냉각에 그 한계가 있고 기포집, 철근, 믹서트럭의 온도가 상승 되었고 작업자들의 작업성 또한 떨어진 다. 따라서 이러한 여러가지 사항을 고려하면 하루중 대기온도가 제일 높은 시기는 피하는 것이 좋고, 콘크리트 재료인 골재의 온도는 대기온도가 제일 높은 시각보다 1-2시간 경과후 최고점에 도달한다는 것을 고려한다면 오후시간에 타설하는 것은 바람직하지 못한 것으로 판단된다.

따라서 하루중 콘크리트 타설시기는 아침시간 또는 늦은 저녁이 좋은데 작업성 및 경제성을 고려하여 가능하면 이른 아침(작업개시 후 30분경과 시)에 콘크리트 타설을 시작하여 오전중에 타설을 완료할 수 있도록 타설계획을 잡는 것이 필요하다.

3.2 배차계획

서중콘크리트에서는 시간의 경과에 따라 콘크리트의 슬럼프 감소가 크게 발생되므로 배차계획은 매우 중요하다. 콘크리트 생산후 60분이 경과하면 원 슬럼프의 40% 정도가 감소하고, 90분이 경과하면 60% 정도가 감소하므로 배치프랜트에서 현장까지의 운반시간, 펌프카의 타설능력, 구

조물의 형상과 크기 및 타설장소의 분산시 펌프카의 이동시간 등을 고려하여 적절한 배차간격을 사전에 조정해야 한다.

현장 상황에 따라 타설이 지연된다고 예상될 때에는 즉시 배치프랜트의 책임자와 연락하여 배차시간을 조정해야 하며, 믹서트럭의 공급이 지연될 때에는 배치프랜트와의 연락뿐만 아니라 다음 믹서트럭이 도착할 때까지 쿨드조인트 및 플러그(plug)현상을 방지하기 위해 펌프카의 타설속도를 최대한 늦추어야 한다.

3.3 콘크리트의 타설

콘크리트의 타설전에는 거푸집 및 철근 등에 살수를 실시하여 습윤상태의 유지 및 냉각 효과를 얻도록 하며 펌프카의 준비, 진동기, 양생제, 각종 타설기구의 준비 및 작업원의 확보를 통해 빠른 타설과 마무리 작업이 될 수 있도록 작업계획을 수립해야 한다.

콘크리트의 타설이 지연되면 슬럼프의 저하가 크게 되고 쿨드조인트 발생 및 가수를 유발할 수 있으므로 조속히 타설할 수 있도록 한다. 또한 마무리 작업을 빨리 끝낼 수 있도록 타설 면적을 가능하면 작게 유지하고 벽체등과 같이 증발타설을 실시할 때는 가능하면 사이클타임을 고려하여 쿨드조인트가 발생하지 않도록 타설두께를 45cm 이하로 하여 타설하는 것이 바람직하다.

배치 프랜트와 현장간의 거리가 멀어 콘크리트 생산 후 1시간 이내에 콘크리트 타설이 불가능할 경우 드라이 믹스된 상태로 운반하고 현장에서 배합수와 지연제를 혼합할 수 있도록 필요한 시설을 설치해야 한다.

3.4 마무리 작업

서중콘크리트에서는 콘크리트가 조기에 경화되고 콘크리트 표면 건조가 빨라 소성 수축균열이 발생하기 쉬우므로 콘크리트 타설 후 빠른시기에 마무리 작업을 해야 하며, 표면마감시간은 기온이나 상대습도 등에 따라 경험에 근거해서 정한다. 만약 콘크리트 타설과 마무리 작업 사이에 시간차가 클 경우 콘크리트를 보호할 수 있는 적절한 조

치를 다음에 기술한 3.5와 같이 취해야 한다.

3.5 양생전 보호

콘크리트중의 수분의 증발 속도가 $0.5\text{kg}/\text{m}^2/\text{hr}$ 초과시에는 타설전 콘크리트에 대한 보호조치가 있어야 하며, 수분의 증발 속도가 $1.0\text{kg}/\text{m}^2/\text{hr}$ 초과시에는 특히 주의해야 한다.

대기온도, 상대습도, 풍속에 따른 콘크리트의 수분 증발속도를 구하는 방식은 아래 그림 3을 이용하면 편리하다.

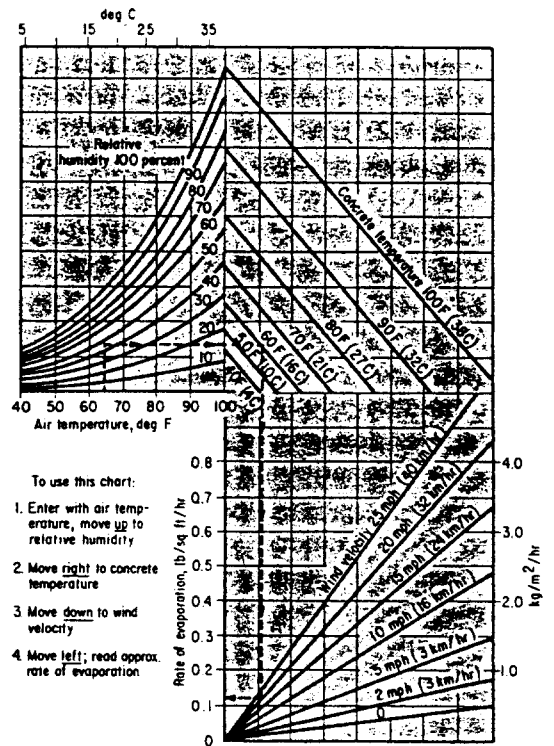


그림 3 대기온도, 상대습도, 풍속에 따른 콘크리트의 수분증발 속도

수분의 증발속도는 기온이 높을수록, 콘크리트의 온도가 높을수록, 풍속이 클수록, 상대습도가 작을수록 커지게 된다. 일반적으로 상대습도가 50%일 때는 90%일 때보다 증발속도는 5배 정도 증가되고, 콘크리트의 온도가 20℃일 때는 10℃일 때보다 증발속도는 2배 정도 증가되며, 풍속이 16km/hr 일 때는 0km/hr일 때보다 증발속도는 4배 정도가 증가된다.

따라서 수분의 증발이 문제가 될 때에는 방풍막, 차광막 등을 사용하여 수분의 증발이 최소화될 수 있도록 해야 되며 사전보호조치가 충분하지 못하면 타설을 피하는 것이 좋다.

3.6 양생

서중콘크리트의 양생에 있어서 중요한 점은 물의 보급이나 증발방지를 통해 수화에 적정한 수량이 충분히 확보 되어야 하며 직사광선에 의한 콘크리트의 온도상승을 방지해야 한다. 특히 서중콘크리트에서는 타설 직후 또는 타설중 기 타설된 콘크리트에 소성 수축균열이 발생하기 쉬우므로 이 점에 유의해야 한다. 일반적으로 막양생제를 도포하는 것으로 양생작업을 완료한 것으로 생각되기 쉬우나 수화에 따른 콘크리트의 자기탈수(self desiccation) 현상을 고려하면 담수양생을 통한 습윤양생이 최적의 방법이다.

다음에서 필자가 사우디아라비아에서 슬래브 콘크리트의 경우에 적용했던 양생방법을 기술해보겠다.

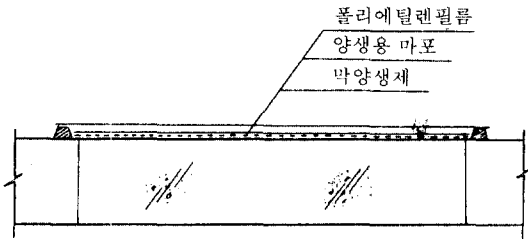


그림 4 양생방법

1) 막양생제(curing compound)

콘크리트 타설후 콘크리트 표면수가 없어지기 직전 막양생제를 도포하면 콘크리트 표면에 얇은 막을 형성함으로써 해서 콘크리트 혼합수의 증발을 방지하여 양생효과를 얻을 수 있다.

특히 서중조건에서는 소성 수축균열이 발생하기 쉬운데 수광이 없어진 직후 막양생제를 도포하면 대부분의 플라스틱 수축균열을 방지할 수 있다. 막양생제의 사용에 따른 비용이 저렴하므로 소성 수축균열을 방지하기 위해 막양생제를 사용하게 되면 현장 작업관리상 상당히 효율적이다.

2) 양생용 마포

막양생제 도포 후 시간이 경과되어 콘크리트 표면이 경화된 다음 물의 살수와 함께 양생용 마포를 덮는데 양생용 마포는 직사광선을 차단하고 수분의 증발을 경감하는 역할을 해준다.

3) 폴리에틸렌필름

폴리에틸렌필름은 수분의 증발을 차단하는 효과와 20℃가 넘는 밤과 낮사이의 기온차에 따른 콘크리트 온도변화를 경감할 수 있는 효과를 얻을 수 있다. 특히 양생용 물의 확보가 쉽지 않은 현장에서는 폴리에틸렌 필름의 사용이 절대적이며 수분의 증발을 차단함으로써 양생 작업관리를 효율적으로 시행할 수 있다.

3.7 압축강도 측정용 공시체 제작

서중조건하에서 제작된 공시체를 잘 보호하지 못하면 기 타설된 본체 콘크리트의 품질을 잘 나타낼 수 없으므로 특히 주의해야 한다. 시험용 공시체는 상대적으로 본체 콘크리트보다 체적이 작기 때문에 온도의 영향에 민감하며 본체 콘크리트보다 빠르게 건조되므로 공시체 제작후 24시간까지는 직사광선을 피하여 16℃-27℃ 범위내에서 잘 보호하고 공시체 노출면의 수분증발을 방지하기 위한 조치를 시행하며 24시간 경과 후 시험실에서 표준양생조건하에서 양생하도록 한다.

4. 맺는말

높은 기온, 낮은 상대습도, 열풍 등의 열악한 환경하에서의 서중콘크리트의 신뢰성 확보를 위해서는 콘크리트의 제조에서부터 운반, 타설, 양생에 이르기 까지 철저한 시공계획이 필요하다.

특히 현장의 책임자로서 콘크리트 제조보다는 콘크리트의 타설관리에 더욱 관심을 두게 되는데 제조후 1시간 이내에 타설이 완료될 수 있도록 철저한 작업준비와 구조물의 형상과 크기 및 펌프카의 이동여부에 따른 이동시간을 고려한 배차계획, 조기 마무리 작업 및 양생 등에 특히 중점을 두어 유의할 필요가 있다. 이러한 사항은 서중콘크리트 타설상의 중요 유의사항으로서, 향후 필자의 작은 경험이 이 분야의 연구 결과가 현장 적용성을 가질 수 있도록 하는데 조그마한 도움이 되었으면 하는 바람으로 글을 맺고자 한다. [E]