

서중콘크리트 및 한중콘크리트의 시공

Hot Weather and Cold Weather Concreting



최동욱*

1. 서론

콘크리트의 강도 및 내구성은 초기 콘크리트가 접하는 주위의 온도에 의하여 크게 영향을 받을 수 있는데 서중콘크리트 및 한중콘크리트의 시공은 경화된 콘크리트의 성질이 기후조건(온도, 상대습도, 풍속 및 일광의 직사 등)에 의하여 크게 영향을 받는 대표적인 경우이다. 본 고에서는 '96년에 개정된 건설교통부의 콘크리트표준시방서(이하 '표준시방서'로 약칭)에 나타난 서중콘크리트 및 한중콘크리트의 시공규준을 고찰하였고 또한 미국의 규준을 미국콘크리트학회(American Concrete Institute, 이하 'ACI'로 약칭)의 305위원회(서중콘크리트) 및 306위원회(한중콘크리트)의 보고서를 중심으로 검토하여 보았다.¹⁾²⁾³⁾ 그러므로 한국과 미국의 규준을 비교 검토함으로써 서중 및 한중콘크리트 시공에 관련하여 보다 폭넓은 이해를 고취하고자 하는 것이 본 고

의 주요 목표이었다. 본 고에서는 국내 규준과 미국 규준만이 검토되었으므로 향후 일본, 유럽 등의 관련 규준도 소개될 수 있다면 다행이겠다.

2. 서중콘크리트

2.1 서중콘크리트 시공의 일반사항

일반적으로 고온에서 타설 및 양생된 콘크리트의 초기강도는 상대적으로 저온에서 타설 및 양생된 콘크리트의 초기강도에 비하여 높는데 이는 고온으로 인하여 시멘트의 수화작용이 촉진되어 강도 발현이 빠른 속도로 이루어지기 때문이다. 반면에 고온에서 시공된 콘크리트의 장기강도는 저온에서 시공된 콘크리트의 강도 보다 상대적으로 낮다. 이러한 경향은 그림2.1에 기존의 실험적 연구결과를 인용하여 표시되어 있는데 그림2.1에서 40°C와 32°C의 고온에서 타설 및 양생된 시험체의 28일 강도는 13°C에서 타

* 정회원, 안성산업대학교 건축공학과 전임강사

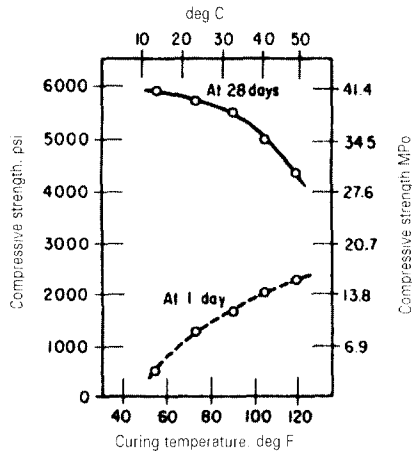


그림 2.1 Effect of curing temperature on compressive strengths of concrete

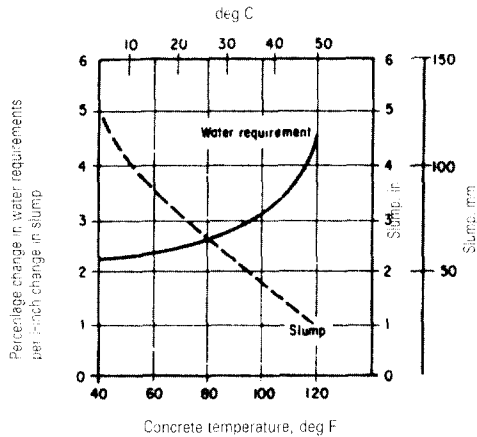


그림 2.2 Effect of concrete temperature on slump and on water required to change slump (average data for Type I and II cements)

설 및 양생된 콘크리트 시험체 강도의 각각 83% 및 90% 수준임을 알 수 있다.¹¹⁾

여름철에는 고온의 물과 골재를 사용하게 되므로 콘크리트 온도가 높아지고 소요 슬럼프를 얻기 위한 단위수량이 증가한다. 따라서 낮은 불-시멘트비에 의해 콘크리트 강도가 저하되게 된다. 표준시방서는 콘크리트 온도 10°C의 상승에 의하여 소요 슬럼프를 얻기 위한 단위수량이 2~5% 증가한다는 수치를 제시하고 있다.

콘크리트의 습윤양생은 서중콘크리트의 강도발현에 매우 큰 영향을 미친다. 기존의 연구결과에 의하면 23°C의 습윤상태(100% 상대습도)에서 양생된 콘크

리트 시험체의 28일 강도를 100%라고 할 때 23°C-60% 및 38°C-25%에서 양생된 시험체의 28일 강도는 각각 73% 및 62%인 것으로 나타나 있다.¹²⁾

표준시방서는 하루평균기온이 25°C를 넘는 시기는 서중콘크리트로 시공하여야 하며, 타설시 콘크리트의 온도는 35°C 이하로 하여야 한다고 규정하고 있다. 미국의 경우에도 대부분의 시방서는 타설시 콘크리트 온도가 85-90°F(29-32°C)를 초과하지 않도록 규정하고 있다. 이와 같이 서중콘크리트의 시공에는 (1) 콘크리트의 온도를 제어하고 (2) 배합 물-시멘트비가 높아지지 않도록 하며 (3) 적절한 양생(습윤양생, 또는 습윤양생과 온도양생)을 하는 것이 콘크리트의 강도와 내구성을 증진시키기 위하여 반드시 필요하다.

2.2 서중콘크리트 시공 기준

표준시방서는 서중콘크리트에 관련하여 아래와 같이 규정하고 있다.

가. 일반사항

서중콘크리트의 시공에 있어서는 고온에 의해 콘크리트의 품질이 저하되지 않도록 재료, 배합, 비비기, 운반, 치기 및 양생 등에 대하여 적절한 조치를 취해야 한다.

나. 재 료

(1) 콘크리트의 재료는 온도가 될 수 있는 대로 낮아지도록 배려하여 사용해야 한다.

(2) 감수제 및 AE감수제는 KS F 2560에 적합한 지연형의 사용을 표준으로 한다.

(3) 유동화제는 대한토목학회 기준 「유동화콘크리트 시공지침 동해설」에서 정한 지연형의 사용을 표준으로 한다.

다. 배 합

콘크리트의 배합은 소요의 강도 및 워커빌리티를 얻을 수 있는 범위 내에서 단위수량 및 단위시멘트량을 될 수 있는 대로 적게 해야 한다.

라. 콘크리트 비비기

비빈 직후의 콘크리트 온도는 기상조건, 운반시간 등의 영향을 고려하여 칠 때 소요되는 콘크리트 온도가 얻어지도록 하여야 한다.

마. 운 반

콘크리트를 운반할 때는 운반 도중 콘크리트가 건조되거나 가열되거나 하는 일이 적은 장치 및 방법을 사용해야 한다.

바. 콘크리트 치기

(1) 콘크리트를 치기 전에는 지반, 거푸집 등 콘크리트로부터 물을 흡수할 우려가 있는 부분을 습윤상태로 유지해야 한다. 또 거푸집, 철근 등이 직사일광을 받아서 고온이 될 우려가 있는 경우에는 살수, 덮개 등의 적절한 조치를 해야 한다.

(2) 콘크리트의 치기는 될 수 있는 대로 빨리 실시해야 하며 비벼서 치기를 시작할 때까지의 시간은 1.5시간을 초과해서는 안된다.

(3) 치기할 때의 콘크리트 온도는 35°C이하야 한다.

(4) 콘크리트 치기는 콜드조인트가 생기지 않도록 적절한 계획에 따라 실시해야 한다.

사. 양 생

콘크리트 치기를 끝냈을 때에는 즉시 양생을 시작하여 콘크리트 표면이 건조하지 않도록 보호해야 한다. 또 특히 기온이 높고 습도가 낮은 경우에는 타설 직후의 급격한 건조에 의해 균열이 발생하는 수가 있으므로 직사일광, 바람 등을 방지하기 위하여 필요한 조치를 취해야 한다.

2.3 서중콘크리트 관련 한국 및 미국의 기준

2.3.1 일반사항

표준시방서는 하루평균기온이 25°C를 넘는 경우에 서중콘크리트로서 시공하도록 하고 있으며 이 경우 다음과 같은 위험성의 증가를 지적하고 있다.

- 운반 중의 슬럼프저하
- 연행공기량의 감소
- 콜드조인트(cold joint)의 발생
- 표면 수분의 급격한 증발에 의한 균열의 발생

ACI 305위원회는 보고서는 (1) 높은 온도에 의한 수화작용 속도의 증가, (2) 굳지 않은 콘크리트로부터의 높은 수분증발율을 서중콘크리트의 위험성으로 지적하고 있다. 굳지 않은 콘크리트와 경화된 콘크리트의 경우 잠재적 위험성은 각각 다음과 같다.

A. 굳지 않은 콘크리트

- 단위수량의 증가
- 슬럼프의 저하 및 이로 인한 가수의 필요성

- 수화작용 속도의 증가로 인한 타설, 다짐, 마감 등의 문제점 및 콜드조인트의 발생

- 소성수축균열(plastic shrinkage crack)의 발생
- 연행공기량 제어의 어려움 증가

B. 경화된 콘크리트

- 단위수량의 증가 및 타설 초기의 고온으로 인한 28일 강도 및 장기강도의 저하

- 건조수축균열(drying shrinkage crack)의 발생
- 열응력에 의한 균열의 발생
- 균열의 발생으로 인한 철근부식 등 내구성의 감소
- 수밀성의 감소

2.3.2 콘크리트 구성성분의 영향

표준시방서는 콘크리트 각 구성성분의 온도가 콘크리트의 온도에 미치는 영향에 관하여 다음과 같은 수치를 제시하고 있다.

- 골재의 온도 $\pm 2^\circ\text{C}$ 에 대하여 콘크리트의 온도 $\pm 1^\circ\text{C}$ 의 변화

- 물의 온도 $\pm 4^\circ\text{C}$ 에 대하여 콘크리트의 온도 $\pm 1^\circ\text{C}$ 의 변화

- 시멘트 온도 $\pm 8^\circ\text{C}$ 에 대하여 콘크리트의 온도 $\pm 1^\circ\text{C}$ 의 변화

위에서 콘크리트 체적의 약 60-80%를 차지하는 골재의 온도가 콘크리트의 온도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그러므로 표준시방서는 적당한 시 설을 통하여 골재에 일광의 직사를 피하고 찬물을 사용하여 굵은 골재에 살수하는 방법 등을 사용하여 골재의 온도를 낮추도록 하고 있다. 또한 콘크리트 온도는 물 온도의 영향을 받으므로 제빙 및 쇄빙의 설비를 갖춘 경우에 얼음을 사용하여 물의 온도를 낮추는 방법도 제시하고 있다.

미국의 경우에도 구성성분의 온도가 콘크리트의 온도에 미치는 영향에 관하여 유사한 수치를 제시하고 있으며 굵은 골재 및 물의 온도를 조절하여 콘크리트 온도를 낮추도록 하고 있다.

굵은 골재의 온도를 낮추기 위하여 다음의 두 가지 방법이 제시되어 있다.

(1) 찬물을 사용하여 굵은 골재에 살수하는 방법

지하수 등을 사용하여 골재 파일에 살수하는 방법과 물의 냉각장치와 물 및 골재의 저장시설 등을 갖추어 냉각수를 골재 저장고에 살수하는 방법이 있다.

(2) 강제적으로 골재에 공기를 순환시키는 방법
이 방법을 사용하면 온도, 상대습도 및 공기의 강제 순환 속도에 따라 효율이 다르지만 굵은 골재의 온도를 7°C로 낮출 수 있다.

또한 얼음 혹은 액화질소(Liquid Nitrogen)를 사용하여 콘크리트의 온도를 낮추는 다음 네 가지 방법이 제시되어 있다.

(1) 냉각시킨 물을 사용하는 방법

기계적 냉각장치와 보온 처리된 물의 저장시설 등을 설치하여 냉각시킨 물을 사용하면 콘크리트의 온도를 최대 6°C 정도 낮출 수 있다.

(2) 액화질소를 사용하여 물을 냉각시키는 방법

저장된 물에 액화질소를 직접 주입하여 물의 온도를 낮추는 방법으로 콘크리트의 온도를 최대 11°C 정도 낮출 수 있다. 보온 처리된 물의 저장시설, 액화질소의 저장시설 등이 필요하므로 비교적 고가의 시설비가 필요하다.

(3) 얼음을 사용하여 콘크리트의 온도를 낮추는 방법

물의 일부를 얼음을 사용하여 대체시키는 방법으로 물의 양에 의하여 사용할 수 있는 얼음의 양이 제한되지만 콘크리트의 온도를 최대 11°C 정도 낮출 수 있다. 제빙 및 쇄빙의 설비가 필요하므로 비교적 많은 시설비가 소요된다.

(4) 액화질소를 사용하여 배합 직후 콘크리트의 온도를 낮추는 방법

액화질소를 배합 직후의 콘크리트에 직접 분사하여 배합후 콘크리트의 온도를 낮추는 방법으로 콘크리트의 온도를 10°C에 도달하게 할 수 있다. 비교적 고가의 방법이지만 실용성이 뛰어나며 다량의 액화질소를 콘크리트에 직접 분사하여도 콘크리트의 강도 및 내구성에 영향을 미치지 않는다는 결과가 발표되어 있다.

콘크리트의 구성성분 중에서 시멘트 온도가 콘크리트 온도에 미치는 영향은 비교적 크지 않은 편이다. 그러나 서중에는 공장으로부터 매우 고온의 시멘트가 공급될 수 있으며 표준시방서는 매우 높은 온도의 시멘트를 사용하는 것은 피해야 한다고 명시하고 있다. 미국의 경우에 포졸란(플라이애쉬 등) 및 고로슬래그 등 시멘트와 유사한 성질을 갖는 재료를 시멘

트의 일부와 치환하여 사용하여 수화작용의 속도 및 강도의 발현을 지연시키는 방법도 권장하고 있는데 이 경우 치환량은 통상 시멘트 총량의 25% 이하이다.

2.3.3 혼화제의 사용

표준시방서는 고온에서 시멘트의 수화작용이 활발하여져서 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프가 급격히 감소하는 경우 수화작용의 속도를 지연시키는 지연형 감수제(동결융해저항의 목적으로 AE제가 사용되는 경우는 지연형 AE감수제)를 사용하는 방법과 지연형 고성능감수제 혹은 유동화제를 사용하여 효과적으로 단위수량을 제한하는 방법을 제시하고 있다. 단, 지연형 AE감수제 및 고성능감수제 등을 사용한 경우 타설 직전에 연행공기량을 확인하도록 하고 처음 사용되는 혼화제는 반드시 시험배합을 통하여 성능을 확인하여야 한다.

2.3.4 배합 및 비비기

표준시방서는 재료의 온도로부터 이들을 비벼서 만든 콘크리트의 온도를 추정하고자 하는 경우에 식 2.1을 사용하도록 하고 있다.

$$T = \frac{C_s(T_a W_a + T_c W_c) + T_m W_m}{C_s(W_a + W_c) + W_m} \quad (2.1)$$

식 2.1에서 사용단위는 °C와 kg이며

T = 콘크리트의 온도

C_s = 0.2(시멘트 및 골재의 비열)

T_a, W_a = 골재의 온도 및 무게

T_c, W_c = 시멘트의 온도 및 무게

T_m, W_m = 물의 온도 및 무게이다.

위의 식 2.1은 미국 규준에 나타난 식 2.2와 거의 동일하다.

$$T = \frac{0.22(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_a W_{wa}}{C_s(W_a + W_c) + W_w + W_{wa}} \quad (2.2)$$

단, 물의 온도조정을 위하여 얼음을 사용하는 경우 식 2.3을 구별하여 다음과 같이 나타내고 있다.

$$T = \frac{0.22(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_u W_{uc} - 79.6 W_i}{C_s(W_a + W_c) + W_w + W_{uc} + W_i} \quad (2.3)$$

식2.2 및 식2.3에서

T_a, W_a = 골재의 온도 및 절건 상태의 골재 무게

T_c, W_c = 시멘트의 온도 및 무게

T_w, W_w = 물의 온도 및 무게

T_u, W_{uc} = 골재에 포함된 물의 무게(골재의 절건 상태를 기준으로 한 인여분의 무게)

T_i, W_i = 얼음의 온도 및 무게이다.

또 빈 직후 콘크리트의 슬럼프를 이용하여 타설시 슬럼프를 추정할 수 있도록 하고 있는데 이를 소개하면 다음과 같다.

방법 A

1. 비비기(3분 비빔-3분 휴식-2분 재 비빔)
2. 슬럼프를 측정함
3. 15분 재 비빔
4. 슬럼프를 재 측정하여 이것을 약 30-40분의 운반시간 경과후 타설시 슬럼프로 추정함.

방법 B

1. 비비기(3분 비빔-3분 휴식-2분 재 비빔)
2. 비비진 콘크리트를 젖은 마포로 덮음
3. 20분 경과후 2분간 재 비빔을 하고 목표의 슬럼프에 도달하도록 가수함
4. 총 사용된 수량을 약 30-40분의 운반시간 경과후 타설시 목표 슬럼프를 만족시키는 수량으로 정함.

2.3.5 운반 및 타설

국내 및 미국의 규준은 모두 운반 및 치기에 관하여 비교적 상세하게 설명하고 있으나 다음과 같은 점이 특히 공통적인 사항이라고 사료된다.

- 저온의 콘크리트를 사용할 것
- 빠른 속도의 타설 및 다지기가 가능하도록 배합 및 시공계획을 정할 것
- 운반 및 타설중 콘크리트의 온도가 급격히 상승되지 않도록 주의할 것
- 기상조건을 미리 고려할 것
- 타설과 양생기간 중에 수분의 손실을 최대한 억제할 수 있도록 조치할 것

2.3.6 양생

전술한 바와 같이 기존의 실험결과에 의하면 23°C의 습윤상태(100% 상대습도)에서 양생된 콘크리트 시험체의 28일 강도를 100%라고 할 때 23°C-60%에서 양생된 시험체 및 38°C-25%에서 양생된 시험체의 28일 강도는 각각 73% 및 62%인 것으로 나타나 있다.⁽⁶⁾ 이 실험결과는 높은 온도와 낮은 상대습도의 기상조건에서 적절한 강도발현을 위하여 적절한 양생이 매우 중요함을 나타내고 있다. 그러므로 표준시방서는 타설후 적어도 24시간 동안 노출면이 건조하지 않도록 살수 또는 덮개 등의 방법으로 습윤상태를 유지할 것과 적어도 5일 이상 양생할 것을 권장하고 있다.

미국의 경우 적어도 7일 이상의 습윤양생을 권장하며 7일 이전에 양생방법을 바꾸고자 할 경우는 반드시 3일이 경과한 후에 할 것을 규정하고 있다. 타설후 콘크리트를 고온, 일광의 직사, 낮은 상대습도 및 높은 풍속으로부터 보호하는 습윤양생이 이루어지지 않을 경우 그 영향으로서

- (1) 과도한 수축 및 균열의 발생
- (2) 내구성의 감소
- (3) 강도의 감소

등을 들고 있다. 또한 1시간에 3°C 이상 또는 24시간 동안 28°C 이상의 급격한 온도감소가 예상될 경우는 적절한 온도양생을 하여야 한다고 명시하고 있다.

2.3.7 넓은 면적을 갖는 슬래브의 시공

표준시방서는 특히 넓은 면적을 갖는 슬래브(flat work)의 시공에 있어서 기온이 높고 상대습도가 낮은 경우 콘크리트 표면이 갑자기 건조하여 균열이 생기기 쉬우므로 살수, 덮개 및 막양생 등의 적절한 조치를 취할 것을 권장하고 있다. 넓은 면적을 갖는 슬래브의 시공에 관련하여 다음의 표2.1 및 그림2.3으로 나타낸 미국 규준은 비교적 사용하기 편리하므로 소개하고자 한다. 표2.1에 의할 경우 콘크리트 온도에 대하여 상대습도가 표2.1에 나타난 수치 이하이면 균열 발생의 우려가 크므로 철저한 습윤양생을 하거나 시공을 중단하여야 한다. 그림2.3은 콘크리트 온도, 외기온도, 상대습도, 풍속 등을 사용하여 슬래브로부터의 수분증발율을 결정하는 방법이다. 그림2.3

표 2.1 Typical concrete temperatures for various relative humidities potentially critical to plastic shrinkage cracking

Concrete temperature (°C)	Relative humidity (%)
40.6	90
37.8	80
35.0	70
32.2	60
29.4	50
26.7	40
23.9	30

영하 5~2°C 수준으로 알려져 있다. 또한 영상 4~5°C 이하의 지온에서는 수화작용이 지연되고 강도발현이 늦어지게 된다. 그러므로 한중콘크리트의 시공에서는

- (1) 콘크리트가 초기에 동해를 받지 않도록 할 것
- (2) 콘크리트의 강도 발현이 원만히 이루어지도록 온도를 유지시킬 것
- (3) 콘크리트가 충분한 강도를 갖기 이전에 급격한 온도변화에 의한 열응력을 받지 않도록 할 것
- (4) 거푸집 및 동바리의 해체시 소요의 콘크리트 강도가 확보되었는지 확인 할 것 등에 주의하여야 한다.

3.2 한중콘크리트 시공 기준

표준시방서는 한중콘크리트의 시공에 관련하여 아래와 같이 규정하고 있다.

가. 일반사항

- (1) 하루의 평균기온이 4°C 이하로 예상될 때는 한중콘크리트로 시공해야 한다.
- (2) 한중콘크리트를 시공할 때는 콘크리트가 동결하지 않도록, 또 한냉하에서도 소요의 품질이 얻어지도록 재료, 배합, 비비기, 운반, 치기, 양생, 거푸집 및 동바리 등에 대하여 적절한 조치를 취해야 한다.

나. 재 료

- (1) 시멘트는 포틀랜드시멘트를 사용하는 것을 표준으로 한다.
- (2) 동결되어 있거나, 또는 빙설이 혼입되어 있는 골재는 그대로 사용해서는 안된다.
- (3) 고성능감수제, 고성능AE감수제, 방동?내한제 등의 특수한 혼화제를 사용할 때는 품질이 확인된 것을 사용해야 한다.
- (4) 재료를 가열할 경우에는 물 또는 골재를 가열해야 하며, 시멘트는 어떠한 경우라도 직접 가열해서는 안된다. 골재의 가열은 온도가 균등하고 또 지나치게 건조하지 않는 방법으로 해야 한다.

다. 배 합

- (1) 한중콘크리트에는 AE콘크리트를 사용하는 것을 원칙으로 한다.
- (2) 단위수량은 초기동해를 작게 하기 위하여 소요의 워커빌리티를 유지할 수 있는 범위 내에서 될 수 있는 대로 적게 해야 한다.

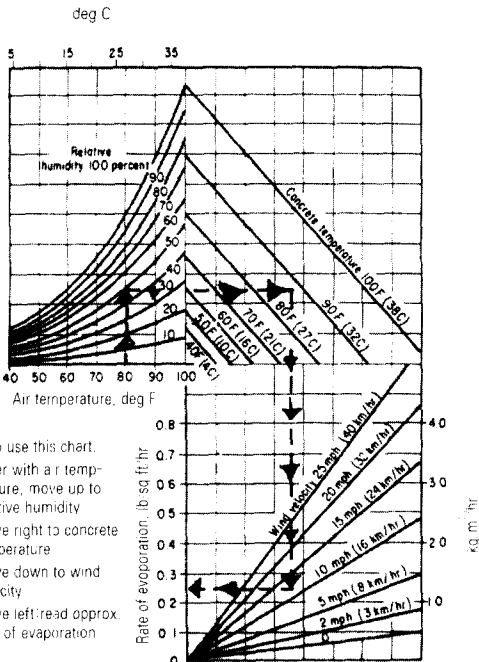


그림 2.3 Effect of Concrete and air temperatures, relative humidity, and wind velocity on the rate of evaporation of surface moisture from concrete

을 사용하여 결정된 수분증발율이 1.0 kg/m²/hr 이상일 경우 소성수축균열의 발생 가능성이 크므로 시공을 중단하는 것이 좋다.

3. 한중콘크리트

3.1 한중콘크리트 시공의 일반사항

시멘트 수화작용이 중단되는 이론적 최저 온도는

라. 비비기

(1) 콘크리트를 비빈 직후의 온도는 기상조건, 운반시간 등을 고려하여 칠 때에 소요의 콘크리트 온도 가 얻어지도록 해야 한다.

(2) 가열한 재료를 믹서에 투입하는 순서는 시멘트가 급결하지 않도록 정해야 한다.

(3) 콘크리트를 비빈 직후의 온도는 각 배치마다 변동이 작아지도록 관리해야 한다.

마. 운반 및 치기

(1) 콘크리트의 운반 및 치기는 열량의 손실을 가능한 한 줄이도록 해야 한다.

(2) 칠 때의 콘크리트 온도는 구조물의 단면치수, 기상조건 등을 고려하여 5-20°C의 범위에서 정한다.

(3) 콘크리트를 칠 때에는 철근이나 거푸집 등에 방설이 부착해 있어서는 안된다.

(4) 시공이음부에서 구 콘크리트가 동결되어 있는 경우에는 적당한 방법으로 이것을 녹이고 이어 쳐야 한다.

(5) 치기가 끝난 콘크리트는 노출면이 외기에 장시간 방치되는 일이 없도록 해야 한다.

바. 양 생

(1) 양생방법 및 양생기간은 외기온도, 배합, 구조물의 종류 및 크기 등을 고려하여 정해야 한다.

(2) 콘크리트는 치기후 초기에 동결하지 않도록 잘 보호하고, 특히 바람을 막아야 한다.

(3) 심한 기상작용을 받는 콘크리트는 표3.1의 압축강도가 얻어질 때까지는 콘크리트의 온도를 5°C 이상으로 유지해야 하며, 특히 2일간은 0°C 이상이 되도록 유지해야 한다.

(4) 콘크리트에 열을 가할 경우에는 콘크리트가 급격히 건조하거나 국부적으로 가열되거나 하지 않도록 해야 한다.

(5) 콘크리트는 시공 중에 예상되는 하중에 대하여 충분한 강도가 얻어질 때까지 양생해야 한다.

(6) 보온양생 또는 급열양생을 끝마친 후에는 콘크리트의 온도를 급격히 저하시켜서는 안된다.

사. 거푸집 및 동바리

(1) 거푸집은 보온성이 좋은 것을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

(2) 동바리의 기초는 지반의 동상이나 동결된 지반의 융해에 의하여 변위를 일으키지 않도록 해야 한다.

(3) 거푸집 떼어내기는 콘크리트의 온도를 갑자기 저하시키지 않도록 해야 한다.

아. 관 리

(1) 소정의 품질을 갖는 콘크리트를 만들기 위해서는 일반적으로 실시하는 관리시험 외에, 콘크리트의 치기 온도와 양생 중의 콘크리트 온도 또는 보온된 공간의 온도를 측정해야 한다.

(2) 양생을 끝낼 시기, 거푸집 및 동바리의 떼어낼 시기에 대하여는 현장의 콘크리트와 가급적 동일한 상태에서 양생한 공시체의 강도시험에 의하거나 콘크리트의 온도기록으로부터 추정된 강도에 의해 정한다.

3.3 한중콘크리트 관련 한국 및 미국의 기준

3.3.1 일반사항

표준시방서는 하루평균기온이 4°C이하가 되는 기상조건 하에서는 한중콘크리트로 시공하여야 한다고 규정하고 있다.

미국의 기준에서 한중콘크리트의 기상조건은 (1) 하루평균기온(최고기온과 최저기온의 평균치)이 5°C이하가 되는 기상이 3일 이상 연속되는 경우와 (2) 10°C이하의 온도가 연속적으로 12시간 이상 지속되는 경우이다.

3.3.2 배합시 콘크리트 온도

표준시방서는 배합시 콘크리트의 온도를 전술한 식2.1을 사용하여 추정할 수 있도록 하고 있다.

미국 기준에는 식2.1과 유사한 식3.1이 소개되어 있다.

$$T = \frac{0.22(T_s W_s + T_a W_a + T_i W_i) + T_m W_m + T_{ms} W_{ms} + T_{su} W_{su}}{C_s (W_s + W_a + W_i) + W_m + W_{ms} + W_{su}} \quad (3.1)$$

식3.1에서 단위는 °C와 kg이고

T = 콘크리트의 온도

T_s, W_s = 잔 골재의 온도 및 절건 상태에서 잔 골재의 무게

T_m, W_m = 굵은 골재의 온도 및 절건 상태에서 굵은 골재의 무게

T_i, W_i = 시멘트의 온도 및 무게

T_a, W_a = 물의 온도 및 무게

W_{wa} , W_{wa} = 각각 잔 골재 및 굵은 골재에 포함된 물의 무게(절건 상태를 기준으로 골재에 포함된 물의 무게)이다.

단, 배합후 콘크리트의 온도는 표3.2에 나타난 최저온도보다 같거나 커야한다고 규정하고 있는데 표 3.2에서 단면의 크기가 큰 부재일수록 낮은 콘크리트 온도가 허용됨을 알 수 있다.

3.3.3 재료의 가열

일반적으로 콘크리트의 온도를 높이기 위하여 시멘트를 직접 가열하는 것은 대부분의 지방에서 금지하고 있다. 이는 매우 고온의 시멘트가 물과 혼합될 경우 flash set 등의 바람직하지 않은 수화작용을 일으킬 수 있기 때문이다.

표준시방서는 콘크리트의 온도를 높이기 위해 불 및 골재의 가열을 하되 단위수량 및 반죽질기의 관리를 위하여 골재는 65°C 미만으로 가열하도록 하고 있다.

미국의 규준에서 물은 80°C 미만으로 가열하도록 권장하고 있는데 이는 아주 고온의 물과 시멘트가 결합하여 급결하는 flash set의 발생을 피하기 위한 것이다. 재료의 가열에 관련하여 다음과 같은 수치가 제시되어 있다.

- (1) 외기온도가 지속적으로 영하 4°C 이하이지 않은 경우 물만을 가열함
- (2) 외기온도가 지속적으로 영하 4°C 이하일 경우 물은 60°C 수준으로, 골재의 온도는 15°C 수준으로

표 3.1 심한 기상작용을 받는 콘크리트의 양생종료시의 소요압축 강도의 표준

단면	얇은 경우	보통의 경우	두꺼운 경우
구조물의 노출			
(1) 계속해서 또는 자주 물로 포화되는 부분	150 kg/cm ²	120 kg/cm ²	100 kg/cm ²
(2) 보통의 노출상태에 있고 (1)에 속하지 않는 부분	50 kg/cm ²	50 kg/cm ²	50 kg/cm ²

표 3.2 Recommended minimum concrete temperatures as mixed (°C)¹³

Air temperature	Section size (min. dimension)			
	< 300 mm	300 - 900 mm	900 - 1,800 mm	> 1,800 mm
> 4°C	16	13	10	7
-18°C to 4°C	18	16	13	10
< -18°C	21	18	16	13

가열함

(3) 굵은 골재가 결빙되어 있지 않고 물을 60°C 수준으로 가열할 경우 잔 골재만을 40°C 미만으로 가열함.

위의 방법을 이용하면 표3.2 및 표3.3에 나타난 콘크리트의 온도를 얻을 수 있는 것으로 나타나 있다. 재료의 가열에 있어서는 보일러 등을 이용한 물의 가열이 가장 경제적인 방법이다. 골재의 가열방법으로는 파이프를 이용, 증기를 순환시키는 것이 일반적이며 이때 증기의 일부를 골재에 직접 분사시키는 방법도 쓰일 수 있다.

3.3.4 혼화제의 사용

표준시방서에 의하면 한중콘크리트에는 AB제를 사용하여 동결융해 저항성을 높이는 것을 원칙으로 한다. 단, 표준시방서는 경화촉진제의 사용에 대하여 언급하고 있지 않은데 이는 염화칼슘(CaCl₂) 등의 염화물을 포함하는 경화촉진제를 사용하는 경우 잔 골재로서 해사를 사용하기도 하는 국내의 실정에 비추어 부식 등의 측면에서 불합리하다고 판단되었기 때문이라고 보여진다.

미국의 규준에는 저온에서 수화작용을 촉진시키기 위한 CaCl₂ 등 경화촉진제의 사용이 명시되어 있다. 단, 경화촉진제에 포함된 염화물이 철근을 부식시킬 수 있으므로 프리스트레스트 부재에서의 사용은 엄격히 금지되어 있으며 프리스트레스트 부재가 아닌 경우에도 CaCl₂의 양은 시멘트량의 중량비 2%를 초과할 수 없도록 하고 있다.

3.3.5 타설

한중에는 타설시 콘크리트의 온도가 배합시의 온도보다 낮아진다. 표준시방서는 운반중의 온도감소를 식3.2를 사용하여 추정할 수 있도록 하고 있다.

$$T_2 = T_1 - 0.15(T_1 - T_0) \cdot t \quad (3.2)$$

식3.2에서 T_0 = 외기온도(°C), T_1 = 배합시 콘크리트 온도(°C), T_2 = 타설시 콘크리트 온도(°C), t = 배합으로부터 타설까지의 소요 시간이다. 표준시방서는 또한 타설시 콘크리트의 온도를 5-20°C의 범위로 할 것을 규정하고 있다.

미국의 규준에서 식3.2와 유사한 식은 다음의 식 3.3 및 식3.4이다.

회전식 드럼믹서를 사용하여 운반하며 운반시간 동안 드럼을 회전시키는 경우

$$T = 0.25(T_r - T_a) \quad (3.3)$$

회전식 드럼믹서를 사용하여 운반하며 운반시간 동안 드럼을 회전시키지 않는 경우

$$T = 0.10(T_r - T_a) \quad (3.4)$$

식3.3 및 식3.4에서 T=타설시 콘크리트의 온도(°C), T_r=소요 콘크리트 온도(°C), T_a=외기온도(°C)이다. 식3.3 및 식3.4은 1시간의 운반시간을 가정한 것이므로 운반시간이 1시간과 다를 경우 시간에 비례하여 값을 증감시킨다. 위의 두 식을 비교하여 보면 드럼을 회전시키지 않는 경우에 온도감소가 적게 일어나므로 운반 중에 드럼의 회전을 최소로 하는 것이 콘크리트 온도 관리에 유리하다는 것을 알 수 있다. 미국의 규준에서 타설시 콘크리트의 최저 온도는 단면의 크기에 따라서 표 3.3과 같고 또한 표 3.3의 최저온도 보다 11°C 이상 클 수 없다고 규정하고

표 3.3 Recommended minimum concrete temperatures as placed (°C)³⁾

Section size (min. dimension)	< 300 mm	300 - 900 mm	900-1,800mm	> 1,800 mm
Concrete temperatures	13	10	7	5

표 3.4 소요의 압축 강도를 얻는 양생일수의 척도¹⁾

구조부의 노출상태	외기온도 (°C)	보통포틀랜드 시멘트	조강포틀랜드 보통포틀랜드 시멘트+축진제	혼합시멘트 B 중
(1) 연속해서 또는 자주 불로 포화되는 부분	5	9일	5일	12일
	10	7일	4일	9일
(2) 보통의 노출 상태에 있고 (1)에 속하지 않는 부분	5	4일	3일	5일
	10	3일	2일	4일

있다.

3.3.6 양 생

표준시방서는 한중콘크리트의 양생에 관련하여 보온양생과 급열양생의 두 가지 방법을 제시하고 있는데 (1) 보온양생은 기온이 아주 낮지 않은 경우에 단열성이 높은 재료로 콘크리트를 덮어 양생시키는 방법이며 (2) 급열양생은 기온이 낮은 경우 급열장치를 사용, 적극적으로 온도 조절을 하는 방법이다. 양생 기간은 표3.4에 나타난 최저 양생일수 이상이 되도록 하여야 하며 양생기간 동안은 콘크리트의 온도를 5°C 이상으로 유지하고 양생이 끝난 후 2일간은 콘크리트 온도를 0°C 이상으로 유지하여야 한다고 규정하고 있다.

미국 규준의 경우는 단면의 크기에 따라 표3.3에 나타난 타설시 콘크리트의 온도를 표3.5 및 표3.6에 나타난 기간 이상 유지하여야 한다고 규정하고 있다. 양생이 끝난 후 콘크리트가 급격한 온도변화를 받지

표 3.5 Length of protection period for concrete placed during cold weather at temperature indicated in Table 3.3, air entrained concrete (days)³⁾

Service category	Type I or II cement	Type III cement, or accelerating admixture
no load, not exposed	2	1
no load, exposed	3	2
partial load, exposed	6	4
full load	see Table 3.6	6see Table 3.6

표 3.6 Recommended duration of concrete temperature for fully stressed, exposed, air entrained concrete, days at 10°C³⁾

Required percentage of design strength, f'c	Type I cement	Type II cement	Type III cement
50	6	9	3
65	11	14	5
85	21	28	16
95	29	35	26

표 3.7 Maximum allowable temperature drop during first 24 hours after end of protection period (°C)³⁾

Section size (min. dimension)	< 300 mm	300 - 900 mm	900-1,800 mm	> 1,800 mm
Temperature drop	28	22	17	11

않도록 단면의 크기에 따라 양생 종료후 24시간 동안의 온도변화량을 제한하고 있다 (표3.7).

급열양생을 하는 대부분의 경우 급열장치는 이산화탄소(CO₂) 및 일산화탄소(CO)를 발생시킨다. 이 중 CO₂는 콘크리트 수화물 중의 수산화칼슘(Ca(OH)₂)과 반응하여 콘크리트 표면에 탄산화(carbonation)를 유발시킨다. 그러므로 CO₂와 접촉한 콘크리트의 표층부는 쉽게 마모되는 등 강도발현이 되지 않는다. 이를 방지하기 위하여 반드시 강제적인 방법 등을 사용하여 공기를 순환시켜 주어야 한다. 이때 탄산화의 변수는 CO₂ 농도, 콘크리트 온도 및 상대습도이다. 이는 현 표준시방서에는 나타나 있지 않으나 한중콘크리트 시공시 반드시 주의하여야 할 사항이므로 추후 표준시방서의 개정시 포함되어야 할 것으로 사료된다.

3.3.7 거푸집 및 동바리

한중콘크리트의 시공에서는 타설로부터 거푸집 및 동바리의 해체 시기까지 콘크리트 온도, 외기온도 등의 기상조건을 측정 및 기록하여야 한다. 특히 양생 중 콘크리트 온도와 보온된 공간의 온도를 계속적으로 측정하여 시방서에 나타난 최저 온도이상으로 유지하는 것이 중요하다. 양생을 끝낼 시기, 거푸집 및 동바리를 해체할 시기는 표준시방서의 표3.1 및 표3.4 또는 미국 기준의 표3.5 및 표3.6을 참조할 수 있다. 단, 시방서 상의 규준은 온도와 양생기간을 제어하여 콘크리트가 일정 기간 안에 소요 강도를 발휘할 수 있도록 통계적으로 규정한 것이므로 현장에서 거푸집 및 동바리의 해체시기에 소요강도가 발현되었

는지 시험을 통하여 확인하는 것이 더욱 바람직하다.

참 고 문 헌

1. 대한토목학회, "콘크리트표준시방서", 건설교통부제정, 1996. pp. 149-165.
2. American Concrete Institute, "Hot Weather Concreting", Report by ACI Committee 305, ACI Manual of Concrete Practice, Vol. 2, 1996.
3. American Concrete Institute, "Cold Weather Concreting", Report by ACI Committee 306, ACI Manual of Concrete Practice, Vol. 2, 1996.
4. Verbeck, G. J. and Helmuth, R. H., "Structure and Physical Properties of Cement Pastes", Proceedings, Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo, V. III, 1968, pp. 1-32.
5. Klieger, P., "Effect of Mixing and Curing Temperature on Concrete Strength", ACI Journal, Proceedings V. 54, No. 12, 1958, pp. 1063-1081.
6. Bloem, D., "Effect of Curing Conditions on Compressive Strengths of Concrete Cylinders.", Publication No. 53, National Ready Mixed Concrete Association, 1954, 15 pp.
7. American Concrete Institute, "Standard Specification for Cold Weather Concreting (306.1-90)", Report by ACI Committee 306, ACI Manual of Concrete Practice, Vol. 2, 1990.
8. Kosmatka, S. H. and Panarese, W. C., "Design and Control of Concrete Mixtures", Portland Cement Association, 13th Edition, 1988. 