한중 콘크리트

1. 서 언

소 양 섭*

우리나라와 같은 동기간이 긴 지역에서 시공된 콘크리트 구조물은 소정의 강도와 내구성을 기대하기가 어렵기 때문에 한중콘크리트의 시공방법에 의한 시공이 불가피하다. 콘크리트는 시멘트와 골재, 물, 혼화재료 등의 결합에 의한 다공성 매트릭스(matrix)를 갖는 복합재료로 공극에 포함되어 있는 수분의 동결에 의한 팽창압이 발생하게 되고 콘크리트가 가지고 있는 팽창계수로서는 이러한 체적팽창을 막을 수 없기 때문에 AE제 등의 혼화제를 사용하고 한중콘크리트 시공방법에 의한 시공을 하지 않으면 콘크리트는 동해를 입게 된다.

콘크리트의 동해를 방지하기 위해서는 먼저 강도나 내구성 등의 요구 성능을 만족시켜야 하며 굳지 않은 상태의 시공성과 경화 시의 수화반응이 충실히 이루어지도록 하지 않으면 안 된다. 특히 콘크리트에 있어서 가장 중요한 것은 시멘트가 초기에 충분한 수화반응을 할 수 있도록 적절한 수화 온도 조건이 유지되어야 한다. 시멘트의 수화는 낮은 온도에서는 그 반응이 지연되거나 정지되어 요구 성능을 얻지 못하게 된다.

한중 콘크리트의 시공이 적극적으로 채택되고 있는 나라는 일본, 캐나다. 북유럽, 러시아 지역이며 이에 관한 연구와 시공기술의 많은 발전이 있었다. 구미나 일본 등에서는 한중콘크리트에 대한 본격적인 연구가 1940년대부터 진행되어 왔고, 그 후 1956년 덴마크에서 개최된 RILEM 심포지움에서 한중콘크리트의 이론과 시공에 대한 내용들이 폭넓게 다루어졌다. 그 내용은 기상조건의 정의와 초기동해 및 콘크리트의 경화에 대한 온도의 영향, 한중시공방법 등이었다.

콘크리트의 동해에 대한 메카니즘에 대해서는 W. A. Corden이 상세하게 설명한바 있고, 초기동해에 대해서는 T. C. Powers 등이 콘크리트의 동해기구와 특성을 구명하였다. 그후 McNeese 등은 콘크리트의 초기양생기간, 배합, 강도증진, 동결지속시간, AE제의 영향 등을 검토하는 등 그 후 이에 대한 많은 연구가 활발하게 진행되어 왔다.

* 전북대학교 공과대학 건축·도시공학부 교수

4계절의 변화가 뚜렷하고 동한기가 긴 우리나라의 경우에는 기온변화가 매우 다양하기 때문에 콘크리트의 제조 및 시공방법이 달라져야 함은 물론 철저한 한중 콘크리트의 시공방법이 채택되어야 하며, 더욱이 최근에는 대규모의 공사로 인한 공사기간이 길어져 연중 시공이 이루어지고 있어 계절에 관계없이 공사가 진행되고 있고 고용증대 효과에 있어서도 한중 콘크리트의 시공의 적용과 기술보급 및 인식의 전환이 절대적으로 필요하다.

2. 콘크리트의 동해기구

콘크리트가 동결융해작용을 받게되면 콘크리트 내부에 포함되어있는 여러 가지 종류의 기포내부에 함유된 수분이 동결함으로서 콘크리트는 팽창하게 되고, 이 팽창압에 의하여 콘크리트는 균열을 발생시키게 되고 결국 파괴에까지 이르게 된다. 콘크리트의 이러한 동해기구에 대한 설명은 다음과 같은 내용이 유력하다.

1) 얼음은 온도가 낮은 표층부터 형성된다.
2) 모세관수의 동결로 인하여 약 9%정도의 체적팽창이 생기며 미동결수는 포수도가 적은 내부로 이동한다.
3) 미동결수는 미세한 세공조직을 통과하기 때문에 조직의 밀도, 이동거리, 이동속도에 비례하며, 이러한 점성저항으로서 수압의 구배를 형성한다.
4) 이러한 수분이동에 대한 저항반력이 콘크리트의 인장강도를 넘으면 콘크리트에는 동해에 의한 열화가 생긴다.
5) 이 수압이 콘크리트의 인장강도를 넘지 않는 범위 이내로 체적팽창을 완화시킬 수 있는 기포가 있으면 콘크리트는 동해를 받지 않을 수 있다.
6) 큰 세공내의 물이 동결하는 동안 일정온도를 가지고 형성된 얼음의 결정과 보다 적은 세공중의 미동결수가 접촉하면 물은 흡인하기 시작하는데 이를 Ice Lens 형성이라 한다.
7) 콘크리트의 강도가 약하면 열화면이 동일 평면상에 형성되어 수분의 보급이 끝나는 단계에서 냉각을 보다 하부로 진행시킨다.

상기의 동해이론에서 알 수 있는 바와 같이 콘크리트의 동해는 콘크리트 내부의 수분이 동결하여 형성된 빙정에

의하여 직접적인 빙정압이 발생하므로서 콘크리트의 체적팽창이 되고 결국 콘크리트가 열화되어 일어난다. 콘크리트 내부에 물이 동결할 때 수분이 포수도가 적은 내부로 이동하게 되고 이러한 수분이동에 대한 저항반력이 콘크리트의 인장강도를 넘으면 동해에 의한 열화가 일어나고 이 때의 수압은 콘크리트의 조직의 투수성이 낮고 동결속도가 빠르며 물의 양이 많은 만큼 크게 된다. 따라서 콘크리트의 사용수량을 가능한 한 줄이고 초기 적산온도를 높이는 것이 필요하며, 혼합수의 동결로 작용되는 수압으로 체적팽창을 일으킬 때 이를 완화시킬 수 있는 적량의 기포, 즉 물의 동결팽창에 대한 완화요소인 AE 공기량의 확보가 콘크리트의 동해요소에 저항하는 지배적인 요인이 된다.

콘크리트의 동결융해작용에 의한 붕괴기구는 골재나 콘크리트중의 수분이 동결함으로서 체적이 팽창하고 이 때의 발생되는 응력에 의하여 콘크리트가 파괴되는 것이다. 얼음의 밀도(0.917g/cc)와 물의 밀도(1.0g/cc)와의 상관관계에서 체적팽창은 9%가 된다. 이 체적팽창의 값은 얼음이나 콘크리트의 온도변화에 의한 팽창계수와 비교할 때 상당히 큰 값이라는 것을 알 수 있다. 얼음의 팽창계수(-20~1℃)는 0.51×10^{-4}, 콘크리트의 팽창계수는 10×10^{-6} 정도이다. 그리고 물의 빙점은 압력에 의하여 변화하는 것이고 그 평형온도와 압력과의 관계는 다음 식에 의하여 구할 수 있다.

$$T=0.0099(1-P/Po)-0.7\times10^{-6}H$$

여기서

P : 압력($mmHg$)

Po : 표준기압(760 $mmHg$)

T : 평형온도(℃)

H : 물과 얼음의 혼합물 표면으로부터의 깊이(mm)

이 식에서 알 수 있는바와 같이 빙점온도가 낮으면 낮을수록 압력은 더욱 크게 작용된다. 최저온도가 -18℃의 경우 두께 10cm의 콘크리트 중앙점에서 압력 P는 1,380kg/cm^{2}를 얻을 수 있고, 이러한 큰 압력을 저지할 수 있는 콘크리트의 초기강도 50kg/cm^{2}정도로는 불가능함을 알 수 있다. 그리고 콘크리트의 팽창계수는 매우 낮고, 이러한 체적팽창에 따르는 탄성계수도 크지 않기 때문에 결국 콘크리트는 내부의 물이 동결함으로서 팽창 파괴에 이를 수 있는 것이다.

3. 한중 콘크리트 시공규준(방법)

3.1 정의

한중 콘크리트에 대한 정의와 그 내용은 각각의 시방서에 따라 약간은 다르게 되어 있음을 알 수 있다.

1) 건축공사 표준시방서

「콘크리트를 부어 넣은 후의 양생기간에 콘크리트가 동결할 염려가 있는 경우에 시공되는 콘크리트, 단, 그 기간은 특기시방에 따른다」[1]라고 규정되어 있어 그 기간이 명확하지 않고, 대부분의 특기시방서에도 이 규정과 내용이 불분명하다.

2) 대한토목학회 및 일본토목학회 콘크리트 표준시방서

「하루의 평균기온이 4℃이하로 예상될 때에는 한중콘크리트로 시공해야 한다」[2]라고 규정되어 있으며, 한중 콘크리트를 시공할 때에는 콘크리트가 동결하지 않도록 하고, 한냉기후 조건하에서도 소요의 품질이 얻어지도록 재료, 배합, 비비기, 운반, 치기, 양생, 거푸집 및 동바리 등에 대하여 적절한 조치를 취해야 한다고 되어 있다.

3) 미국콘크리트학회(ACI)

일평균 기온이 4.5℃(40°F)이하로 예상되는 기간에 적용하는 콘크리트로 정의하고 있으며 한중시공기간은 일반적으로 가을에 시작해서 봄까지 계속되는 것으로 규정[3]하고 있다.

4) 일본콘크리트학회(JCI)

일본 콘크리트학회의 「한중콘크리트 시공지침·동해설」에 따르면 한중 콘크리트의 적용기간은 기상청에 의해서 일별평균기온을 평활평년치로 하여 타설 후 재령 28일까지의 적산온도 M이 370°DD이하(온도로 환산하면 28일 예상평균기온이 3~4℃이하)에서 적용[4]하는 것으로 되어 있다. 이외에도 일별 최저기온이 -2℃이하가 되는 기간에는 초기동해 방지를 위해 적절한 시설을 설치하는 것이 요망된다고 규정되어 있다.

3.2 일반사항

1) 적용범위

일반적으로 한중콘크리트로 시공해야 하는 온도는 하루의 평균기온(최고기온과 최저기온의 평균치)이 4℃ 이하로 예상될 때로 되어 있으며 시공시에는 콘크리트가 동결하지 않도록 하고, 또 한냉하에서도 소요의 품질이 얻어지도록 적절한 조치를 취해야 한다. 기온별 한중 콘크리트 시공 대책의 기준은 표 1에 나타낸 것과 같다.

표 1 기온별 한중콘크리트 시공대책[5]

기온	시공 대책
0~4℃	간단한 주의 또는 보온시공
-3~0℃	물 또는 물·골재가열, 보온시공
-3℃ 이하	물·골재 가열, 보온, 급열 등 반드시 필요

2) 적정온도

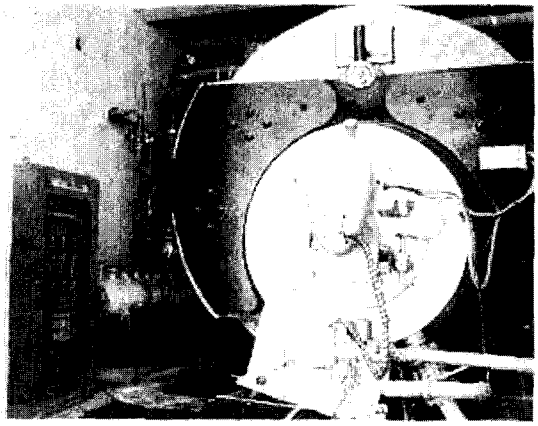
콘크리트의 동결온도는 -5 ~ -2℃이고, 경화전에 콘크리트내부의 물이 동결되면 그 후 적절한 양생을 해도 강도의 회복율이 낮으며, 내구성과 수밀성이 크게 저하되므로 콘크리트의 초기동해에 특별히 주의해야 한다. 또한 4℃~5℃ 이하의 비교적 낮은 온도에서는 시멘트의 수화작용이 지연되어 강도발현이 늦어지게 되므로 콘크리트의 초기온도를 높여 주어야 하며, 콘크리트가 충분한 강도를 갖기 이전에 급격한 온도변화에 의한 열응력을 받지 않도록 주의해야 한다. 한중콘크리트의 시공 시 재료의 투입순서와 시공온도에 따른 재료가열이 필요하게 되며 그 내용은 표 2와 같다. 또 거푸집 및 동바리의 해체는 소요의 콘크리트 강도가 확보되었는지를 확인해야 하며, 조강 포틀랜드 시멘트는 조기강도가 크기 때문에 한중 콘크리트 공사에서 많이 사용될 수 있으나 철저한 품질관리하에 사용해야 한다.

<표 2> 재료투입 및 시공 시 온도설정

재료 투입 순서	시멘트 투입 전 믹서수온	양생기간 및 보온온도	콘크리트 작업중의 기온	가열내용
골재	40℃ 이하	5일간 2℃ 이상 (가능한 5℃ 이상)	5℃ 이하	물
시멘트			0℃ 이하	물 잔골재 공구
물			-10℃ 이하	물 잔골재 굵은골재 공구

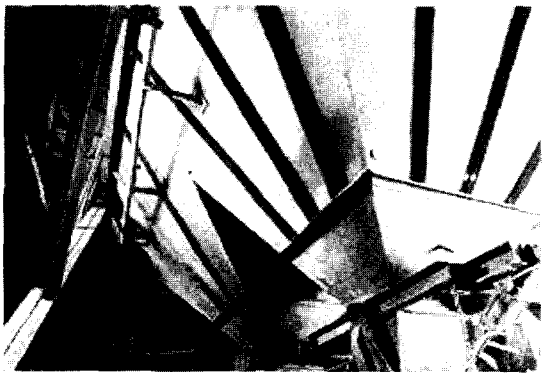
3.3 재료

1) 사용 시멘트는 포틀랜드 시멘트를 사용하는 것을 표준으로 한다.
2) 동결되거나, 빙설이 혼입되어 있는 골재는 그대로 사용해서는 안 된다.
3) 고성능감수제, 고성능AE감수제, 방동·내한제 등의 특수한 혼화제를 사용할 때는 품질이 확인된 것을 사용해야 한다. ACI 규준에서는 저온에서 수화작용을 촉진시키기 위한 $CaCl_2$ 등의 경화촉진제 사용이 명시되어 있으나 이 경우 경화촉진제에 포함된 염화물이 철근을 부식시킬 수 있으므로 프리스트레스트 부재에서의 사용은 엄격히 금지되어 있고 프리스트레스트 부재가 아닌 경우에도 $CaCl_2$의 양은 시멘트량의 중량비 2%를 초과할 수 없도록 하고 있다[7].
4) 재료를 가열할 경우, 물 또는 골재를 가열하며, 시멘트는 어떠한 경우라도 직접 가열해서는 안 된다. 이는 고온의 시멘트가물과 혼합될 경우 이상수화작용을 일으킬 수 있기 때문이다.



<사진 1> 온수보일러 시설

5) 골재의 가열은 온도가 균등하게 골재에 전달되도록 해야하고 또 지나치게 건조되지 않도록 해야 한다. 즉 골재의 가열 시 저장 골재의 표면수량이 변하지 않는 방법으로 가열하는 것이 바람직하다.



<사진 2> 골재가열 시설

6) 콘크리트 표준시방서에서는 콘크리트의 온도를 높이기 위해 물 및 골재를 가열하되 단위수량 및 반죽질기의 관리를 위하여 골재는 65℃ 미만으로 가열하도록 하고 있다.

3.4 배 합

1) 한중콘크리트에는 AE 콘크리트를 사용하는 것을 원칙으로 한다.
2) 단위수량은 초기동해를 적게 하기 위하여 소요의 워커빌리티를 유지할 수 있는 범위 내에서 가능한 한 적게 해야 한다.
3) 표준시방서에서는 배합 시 콘크리트의 온도(T℃)를 다음 식을 이용하여 추정할 수 있도록 하고 있다.

$$T = \frac{C_s(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w}{C_s(W_a + W_c) + W_w}$$

여기서,

W_a, W_c, W_w : 골재, 시멘트, 물의 중량(kg)

T_a, T_c, T_w : 골재, 시멘트, 물의 온도(℃)

C_s : 시멘트 및 골재의 비열이며, 0.2로 가정해도 좋다.[2)]

3.5 시공

1) 콘크리트를 비빈 직후의 온도는 기상조건, 운반시간 등을 고려하여 타설시의 콘크리트가 소요의 온도가 되도록 해야 한다. 콘크리트 치기가 끝났을 때의 콘크리트의 온도는 운반, 치기 도중의 열 손실 때문에 믹서에서 비볐을 때의 온도보다 낮아지게 되는데 일반적으로 운반 및 치기시간 1시간에 대해서 콘크리트 온도와 주위의 기온과의 차이는 15% 정도이다. 즉,

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

여기서,

T_0 : 주위의 기온 (℃)

T_1 : 배합 시 콘크리트 온도 (℃)

T_2 : 타설 종료 시 콘크리트 온도 (℃)

t : 배합 후부터 타설 종료 시까지의 시간 (hr)

2) 가열한 재료를 믹서에 투입하는 순서는 시멘트가 급결하지 않는 방법으로 해야 하며, 가열한 물과 시멘트가 접촉하면 시멘트가 급결 할 우려가 있으므로 먼저 가열한 물과 굵은 골재, 다음에 잔골재를 넣어서 믹서 안의 재료의 온도가 40℃ 이하가 된 후 최후에 시멘트를 투입하는 것이 좋다.

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

3.6 운반 및 타설

1) 콘크리트의 운반 및 타설은 열량의 손실이 적게 되도록 신속하게 실시하여야 하며, 콘크리트 펌프를 사용할 경우 수송관이 너무 냉각되어 있을 경우 관의 내벽에 모르타르가 동결 부착됨으로서 폐색현상 등 예기치 않은 고장이 발생할 수가 있으므로 관로의 보호, 타설 전의 온수에 의한 예열, 타설 종료 시의 청소 등을 철저히 해야 한다.

2) 콘크리트 펌프의 수송관의 냉각을 방지하기 위하여 타설 전, 온수에 의한 예열 및 타설 종료 후 청소를 철저히 한다.

3) 콘크리트 타설 작업은 연속적으로 이어지도록 하고 철근, 거푸집 등에 남아있는 빙설은 꼭 제거하고 동결하지 않도록 방법을 강구해야 한다.

4) 타설 시 콘크리트의 온도는 구조물의 단면, 치수, 기상조건 등을 고려하여 5~20℃의 범위로 하고, 기상조건이 심하게 좋지 않거나 부재의 치수가 얇은 경우에는 콘크리트의 최저온도를 10℃ 정도는 유지되도록 한다. 콘크리트의 단면 최소치수에 따라 배합 시 콘크리트의 온도는 일반적으로 표 3에서 제시한 온도의 최소 값 이상으로 하여야 한다.

<표 3> 한중콘크리트 시공 시 콘크리트의 온도관리 표준값[6)]

조건	기온	단면 최소 치수			
		30cm 이하	30~90cm	90~180cm	180cm 이상
배합 시 콘크리트 최소온도	-1℃ 이상	16℃	13℃	10℃	7℃
	-18~-1℃	18℃	16℃	13℃	10℃
	-18℃ 이하	21℃	18℃	16℃	13℃
타설 시 콘크리트 최소온도	-	13℃	10℃	7℃	5℃

5) 시공 이음부에서 신 콘크리트를 이어 타설할 때 지반이나 구 콘크리트가 동결되어 있는 경우에는 적절한 방법으로 녹인 후 콘크리트를 타설해야 한다.

6) 타설한 콘크리트는 노출면이 특히 저온의 외기에 장시간 방치되지 않도록 한다.

3.7 양 생

1) 양생방법 및 양생기간은 외기 온도, 배합, 구조물의 종류 및 단면의 크기 등을 고려해야 한다.

2) 양생방법에는 보온양생과 급열양생 등이 있으며 책임기술자의 승인과 지도를 받도록 한다.

3) 콘크리트의 초기동해는 그 후 양생을 계속하더라도 강도의 증진율이 높지 않으므로 초기 양생시에 동결하지 않도록 보온 대책을 강구하고 특히 구조물의 모서리와 가장자리 부분의 보온에 유의해야 한다.

4) 콘크리트의 초기양생은 콘크리트의 온도를 5℃ 이상으로 유지해야 하며, 외기온이 그 이하로 낮은 경우 또는 부재의 두께가 얇은 경우에는 10℃정도가 유지되도록 한다.

5) 콘크리트에 가열양생을 할 경우 콘크리트가 급격히 국부적으로 가열되지 않도록 하고, 급열에 의해서 콘크리트가 가열되면 콘크리트로부터 수분의 증발이 갑자기 심해지므로 살수방법 등을 써서 콘크리트의 급격한 건조를 방지해야 한다.

6) 표 4는 콘크리트가 심한 기상작용을 받는 경우 단면의 크기와 노출상태에 따른 소요압축강도를 나타내고 있다. 이것은 콘크리트의 양생종료 후 받을 동결

융해작용에 대하여 저항할 것을 고려하여 정한 것으로 표 4의 강도가 얻어질 때까지 표 5에 나타난 최저 양생일수 이상이 되도록 하여야 하며, 양생기간 동안은 콘크리트의 온도를 5℃ 이상으로 유지하도록 하고 양생종료 후 급냉으로 인한 균열 및 내구성 저하를 막기 위하여 그 후 2일간은 콘크리트 온도를 0℃이상으로 유지한다. 상기 소정의 강도를 얻기 위한 콘크리트의 양생일수는 시멘트의 종류, 배합, 양생온도, 구조물의 단면의 크기 등에 따라 다르므로 시험에 의하여 정하는 것이 원칙이나 시멘트 종류 및 양생온도에 따른 강도증진의 정도는 표 7을 참조할 수 있다. ACI 규준에서는 단면의 크기에 따라 표 3의 타설시 콘크리트의 최하온도를 표 6 및 표 7에 표시된 기간 이상 유지하여야 한다고 규정하고 있다. 또한 콘크리트가 급격한 온도변화를 받지 않도록 양생이 끝난 후 24시간동안의 온도변화량을 제한하고 있다.

7) 보온양생 또는 급열양생을 끝낸 후에는 콘크리트 온도를 갑자기 저하시키지 않도록 해야한다. 콘크리트에 급열 급냉으로 인한 단시간 내에 큰 온도차가 있는 경우 콘크리트의 표면에 균열을 발생시킬 수가 있으므로 주의해야 하며, 이를 위해서 콘크리트의 동결을 막기 위한 보온시설과 양생 후 1일 동안 콘크리트의 온도는 다음 표 8에서 제시한 값 이상 변하지 않도록 한다.

<사진 3> 보양 시설물 설치

3.8 거푸집 및 동바리

1) 거푸집은 보온효과가 큰 것을 사용하도록 하고, 목재 거푸집은 강재 거푸집에 비해 열전도율이 적기 때문에 보온효과가 크고, 강재 거푸집을 사용할 경우는 외기온도의 급격한 변화에 따라 쉽게 영향을 받으므로 보온 조치를 해야 한다.
2) 동바리의 기초는 지반의 동결이 외기 온도의 상승으로 인하여 동결된 지반의 융해로 변위가 발생하지 않도록 지반의 동결을 막거나, 말뚝기초로 시공하는 것이 좋다.
3) 거푸집을 해체할 때에는 콘크리트 온도가 갑자기 저하되지 않도록 조치해야 하며, 콘크리트가 갑자기 냉각되어 콘크리트 내외부의 온도차가 커지면 균열이 발생할 우려가 높다.

3.9 관 리

1) 기대하는 소정의 콘크리트 품질을 확보하기 위해서는 일반적으로 실시하는 관리시험 외에 콘크리트 타설온도와 양생온도 또는 보온된 공간의 온도를 측정하고 이를 관리해야 한다. 한중 콘크리트는 타설이 끝난 콘크리트가 양생계획상의 온도대로 유지되고 있는가를 관리하기 위해서는 콘크리트의 타설온도, 외기온도, 기상조건 등을 기록 유지관리하고 양생중의 콘크리트 온도 또는 보온된 공간의 온도를 계속적으로 측정 관리해야 한다.
2) 양생을 마무리할 시기, 거푸집 및 동바리를 해체할 시기에 대해서는 현장의 콘크리트와 가급적 동일한 상태에서 양생한 공시체의 강도시험에 의하거나 콘크리트의 온도기록에 의한 적산온도로부터 추정한 강도에 의해 정한다. 콘크리트의 강도를 콘크리트 온도와 시간과의 함수로 나타내는 적산온도는 일반적으로 다음 식[1]으로 나타낸다.

$$M = \sum(\theta + A)\,\Delta t$$

여기서,

M : 성숙도 계수(℃ · 일, 또는 ℃ · 시간)
θ : Δt 시간중의 콘크리트온도(℃)
A : 정수로서 일반적으로 10℃가 사용된다.
Δt : 시간(일, 또는 시간)

3) 적산온도 M(℃·D)일 때, 재령 Z(일)에 있어서 배합강도 fcr를 얻기 위한 물-시멘트비 x(%)는 다음 식[1]에 따라 정한다.

$$x(\%) = a \cdot x_{20}$$

여기서

x : 적산온도가 M(℃ · D)일 때 배합강도 fcr을 얻기 위한 물-시멘트비(%)
a : 적산온도 M에 대한 물 시멘트의 보정계수
x_{20} : 콘크리트의 양생온도가 20±2℃일 때 재령 28일에 있어서 배합강도를 얻기 위한 물-시멘트비

<표 4> 심한 기상작용을 받는 콘크리트의 양생종료 시 소요압축강도의 표준[2]

구조물의 노출상태 \ 단 면	얇은 경우 (30cm 이하)	보통의 경우 (30~180cm)	두꺼운 경우 (180cm 이상)
계속해서 또는 자주 물에 포화되는 부분	150kg/cm^2	120kg/cm^2	100kg/cm^2
보통의 노출상태에 있고 위에 속하지 않는 경우	50kg/cm^2	50kg/cm^2	50kg/cm^2

<표 5> 소요의 압축강도를 얻게 되는 양생일수[2]

단면의 종류		보통의 경우		
구조물의 노출상태 \ 시멘트의 종류 \ 외기온도(℃)		보통 포틀랜드 시멘트	조강 포틀랜드 시멘트, 보통 포틀랜드 시멘트+촉진제	혼합시멘트 B종
연속해서 또는 자주 물에 포화되는 부분	5	9일	5일	12일
	10	7일	4일	9일
보통의 노출상태에 있고 위에 속하지 않는 경우	5	4일	3일	5일
	10	3일	2일	4일

표 6 한중기간 중 콘크리트의 최소온도에서 타설된 AE 콘크리트의 최소 급열 보온 양생기간[3]

하중의 범주	보통 포틀랜드 시멘트, 중용열 포틀랜드 시멘트	조강 포틀랜드 시멘트, 보통 포틀랜드 시멘트+촉진제
하중이 없고 노출되지 않은 경우	2일	1일
하중이 없고 노출되어 있는 경우	3일	2일
부분적인 하중과 노출되어 있는 경우	6일	4일
전체적으로 하중을 받는 경우	<표 7> 참조	<표 7> 참조

<표 7> 시멘트 종류 및 양생온도에 따른 강도증진 양상(전응력을 받고 노출된 AE 콘크리트의 경우)[3]

양생온도	10℃			21℃		
시멘트의 종류 \ 압축강도비(주)	1종	2종	3종	1종	2종	3종
50%	6일	9일	3일	4일	6일	3일
65%	11일	14일	5일	8일	10일	4일
85%	21일	28일	16일	16일	18일	12일
95%	29일	35일	26일	23일	24일	20일

(주) 압축강도비는 강도범위 210~350kg/cm^{2}의 시편을 21±1.7℃에서 28일 습윤양생한 강도를 100%로 기준하여 산정한 것임

<표 8> 보온, 급열양생 후 1일간 콘크리트 온도하강 허용값[3]

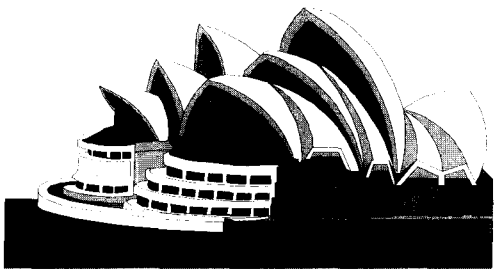
조건	단면 치수			
	30cm 이하	30~90cm	90~180cm	180cm 이상
보온, 급열양생후 1일간 콘크리트 온도하강 허용값	28℃	22℃	17℃	11℃

<표 9> 적산온도 M에 대응하는 물-시멘트비의 보정계수 α의 산정식[2)]

시멘트의 종류	산 정 식
조강포틀랜드시멘트	$\alpha = \frac{\log M + 0.08}{3}$
보통포틀랜드시멘트 고로슬래그시멘트 특급 포틀래드포졸란시멘트 A종 플라이애시시멘트 A종	$\alpha = \frac{\log(M-100)+0.13}{3}$
고로슬래그시멘트 1급 [1)] 포틀랜드포졸란시멘트 B종 플라이애시시멘트 B종	$\alpha = \frac{\log(M-100)-0.37}{2.5}$

4. 결어

한중 콘크리트는 재료의 품질관리부터 타설, 양생 및 양생후의 관리 등 각각의 과정마다 세심한 주의가 요구되는 시공방법인데도 불구하고 현재 진행되고 있는 각종 건설공사에서 현장의 편리성과 공사비의 절감을 이유로 도외시되는 경우가 많다. 그로 인해 콘크리트의 품질저하는 물론 구조물의 안전성 및 내구성의 저하 등 그 기능의 저하를 가져오는 많은 문제점들을 야기시키고 있다. 그리고 현재 우리나라에서 사용되고 있는 한중 콘크리트 규준들의 많은 부분들이 외국의 규준을 근거로 만들어졌고 국내의 각 학회나 시방서에 따라 약간씩 다른 내용으로 되어 있어 정확하고 통일된 규준의 마련이 필요하며, 현장에서 적용이 쉽게 되고 활성화될 수 있는 방안의 수립이 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 대한건축학회, "건설교통부 제정 건축공사 표준시방서", 1999
2. 한국콘크리트학회, "콘크리트 표준시방서", 2000
3. ACI, "Cold Weather Concreting" 1991
4. 日本建築學會, "寒中コングリート施工指針・同解說, 日本建築學會, 1989
5. 日本土木學會, "コングリート標準示方書, 1991
6. 대한토목학회, "콘크리트 표준시방서", 1996
7. Charles K. Nmai, "Cold Weather Concreting Admixtures", Cement and Concrete Composites, 1998
8. 한천구, 한민철, 김무한, "우리나라 건축공사의 한중콘크리트 적용기간 설정에 관한 연구, 대한건축학회 14권 11호, 1998
9. 소양섭 " 동해를 입은 AE콘크리트에 관한 연구" 박사학위논문, 1986