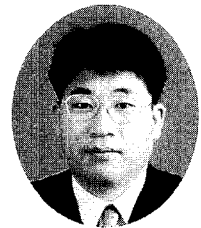


동결융해에 대한 설계 및 대책 방안

- Design and Preventive Measures for Frost Resistance of Concrete -



고경택*

1. 서론

일반적으로 콘크리트 구조물은 비, 바람, 눈, 일조 등과 같은 여러 종류의 기상작용의 영향을 받고 있으며, 이로 인하여 동결 융해 작용, 온도변화, 건조와 수분의 반복 침투 작용 등에 의한 수축팽창이 발생한다. 이 중에서 동결융해 작용은 매년 겨울이 되면 반복이 되기 때문에 장기간에 걸쳐 콘크리트의 내구성능을 저하시킨다. 콘크리트의 동결융해 작용에 의한 내구성능 저하는 콘크리트 내부의 수분이 동결융해 작용을 반복적으로 받아 균열이 발생하거나 표층부가 박리함으로써 표면부분부터 점차적으로 저하되어 콘크리트 구조물의 내구성능이 저하되는 현상을 말한다.

우리나라는 겨울철에 전국 대부분의 기온이 영하로 떨어지는 횡수가 많기 때문에 콘크리트 구조물은 매년 동결융해의 반복 작용을 받는다고 말할 수 있다. 또한 최근 동절기에 차량의 안전 주행을 위해 도로 및 교량에 염화칼슘, 염화나트륨 등 제설제의 산포량이 현격히 증가하고 있으며 이로 인해 내륙 콘크리트에서도 해안 콘크리트와 마찬가지로 동결융해와 염해의 복합작용에 의해 콘크리트의 내구성능이 저하되는 것으로 알려져 있다.

이상과 같이 우리나라에서도 기본적으로 콘크리트 구조물에 대한 동결융해의 대책이 필요하고 더욱이 해안 콘크리트 및 제설제

가 사용되는 콘크리트 구조물에서 동결융해와 염해의 복합열화에 대한 대책이 필요하다. 따라서 본 고에서는 먼저 동결융해에 관련된 국내 기상조건, 동결융해 작용에 의한 열화 형태, 손상 메커니즘 및 동해에 영향을 주는 요인, 내동결융해의 설계·대책방안에 대해 기술하고자 한다.

2. 국내 기상조건

동결융해 작용에 미치는 온도요인으로는 동결 최저온도, 동결속도, 융해온도 및 동결 최저온도의 지속시간이 있으나 이 중에서 동결 최저온도가 동결융해 작용에 의한 콘크리트의 내구성능 저하에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그리고 동결속도, 융해온도 및 동결 최저온도의 지속시간은 일반적인 자연환경 하의 온도범위에서 동결융해 저항성에 별다른 영향을 주지 않는다고 알려져 있다.

〈표 1〉은 국내 동결융해에 관한 기상 데이터이고 〈그림 1〉은 년도별로 조사한 춘천지역의 기상데이터이다. 기상청에서 1986년부터 1999년까지 14년 동안 제공되는 기상데이터로부터 0℃에서 동결·융해가 발생한다고 가정하여 년 평균 동결최저온도와 년 평균 동결융해 사이클수를 산출한 결과이다. 춘천은 년 평균 동결 최저온도가 -6.5℃이고 년 평균 동결융해 사이클수가 127회 정도로 조사 지역 중에서 동결융해 작용을 가장 많이 받고 있다. 서울은 년 평균 90사이클 정도의 동결융해작용을 받고 있으며 년 평균 동결 최저온도는 -5.1℃ 정도이다. 그리고 대구, 광

* 정회원, 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원

주, 울진은 년 평균 동결융해 사이클수가 75회 정도, 년 평균 동결 최저온도가 -3.5°C 정도로 거의 동등한 동결융해 작용을 받는 것으로 조사되었다. 부산은 년 평균 동결융해 사이클 수가 40회 정도이고 년 평균 동결융해 최저온도도 -3.1°C 로 조사한 지역 중에서 동결융해 작용을 가장 적게 받는 것으로 나타났다. 이상과 같이 우리나라는 다소 정도의 차이는 있지만, 전국적으로 콘크리트 구조물이 동결융해 작용을 받을 우려가 있으므로 동결융해 저항성을 고려한 내구성 설계가 필요하다고 판단된다.

표 1. 국내의 동결융해에 관한 기상 데이터

지역	년 평균 동결 최저온도($^{\circ}\text{C}$)	년 평균 동결융해 사이클수
춘천	-6.5	127
서울	-5.1	90
대전	-4.8	98
대구	-3.7	80
울진	-3.5	75
광주	-3.5	78
부산	-3.1	40

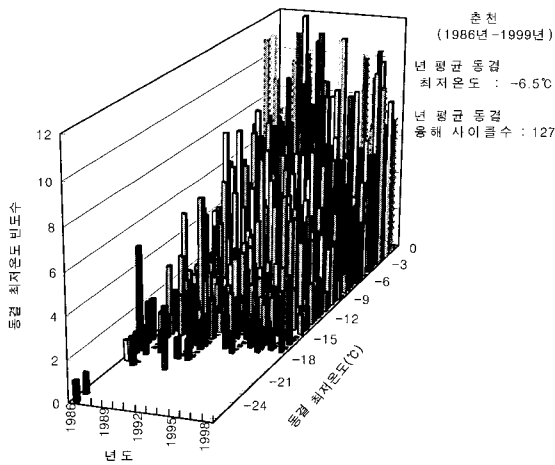


그림 1. 춘천지역의 동결융해에 관한 기상 데이터

3. 동결융해 작용에 의한 콘크리트 열화 형태

동결융해 작용을 받은 콘크리트의 열화 형태는 주로 균열, 스케링(scaling) 및 pop out 등으로 분류할 수 있으며 이러한 열화는 구조물의 미관을 해치고 부재의 내력을 저하시켜 최종적으로 구조물의 수명을 단축시킨다.

균열은 콘크리트가 동결융해 작용을 받았을 때 초기 징후로서 발생하며 콘크리트 표면에 나타나는 지도 모양의 문상 균열(pattern cracking)과 구조물 이음부 및 구조물 균열을 따라 나타나는 D 균열(D-line cracking) 등이 있다. 그리고 콘크리트의 스케링은 동결융해 작용에 의한 열화 형태 중에서 가장 일반적

으로 발생하며, 시멘트 페이스트 (paste)부분이 얇게 박리되는 단계부터 굵은 골재가 보이는 단계까지 여러 형태가 있으며, <사진 1>~<사진 3>은 스케링 단계별 열화 형태이다.

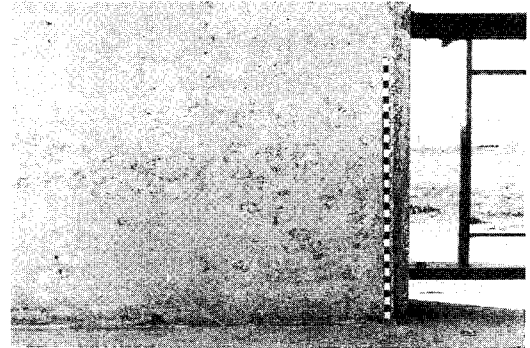


사진 1. 경미한 스케링

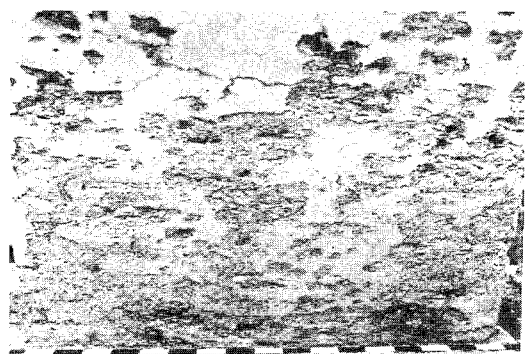


사진 2. 중간 스케링

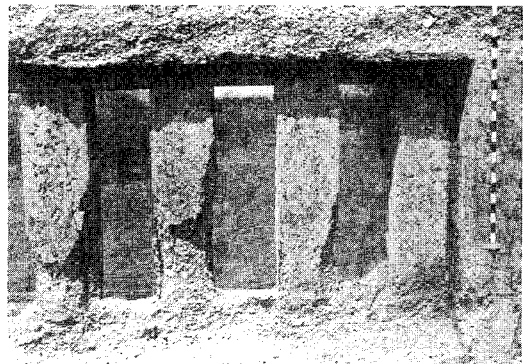


사진 3. 심한 스케링

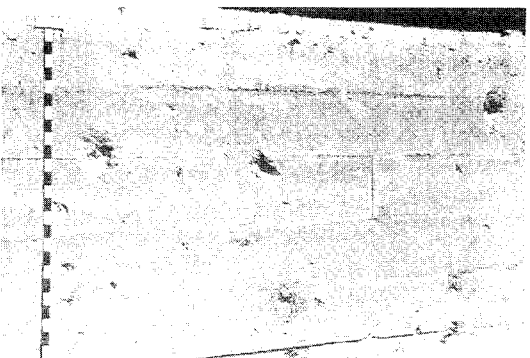


사진 4. pop out

pop out는 콘크리트 표면 근처에서 강도가 작은 골재가 동결 팽창하여 외층의 모르터 부분을 박리시켜 구멍이 생기는 형태이다(사진 4).

4. 동결융해 작용에 의한 콘크리트 열화 메커니즘

동결융해 작용에 의한 콘크리트 열화 메커니즘은 많은 연구자에 의해 제안되어 왔지만, 아직 확실히 해명되지 않는 실정이다. 지금까지 해명된 동결융해 작용에 의한 열화 메커니즘을 정리하면 다음과 같다.

4.1 수압설

물은 동결할 때에 최대 9%의 체적팽창이 발생하며, 시멘트 페이스트 내부에서는 공극의 벽으로 팽창이 이동된다. 이 체적팽창률을 완화하는데 필요한 자유공극(공기로 가득찬 공극)이 존재하지 않을 경우 큰 압력이 발생하고, 이것이 열화의 원인이 된다. 온도가 떨어지면 우선 큰 공극 중의 물이 동결하며, 이어서 작은 공극 중의 물이 동결된다. 작은 공극 중의 물이 동결하는 과정에서는 큰 공극 중에 생긴 얼음 결정에 의해 팽창이 구속된다. 이 팽창을 완화하는 만큼의 자유 공극이 존재하지 않는 경우에는 큰 정수압이 공극의 벽에 작용하여 이것이 인장강도에 도달했을 때에 균열이 발생한다. 이러한 팽창압의 반복 작용으로 결국에는 콘크리트 표면이 파괴, 또는 박락에 이르게 된다. 이 공극에 작용하는 정수압은 콘크리트가 냉각되는 속도, 함수량 및 콘크리트 중의 기포와 기포의 간격에 따라 다르다.

4.2 정수압에 의한 것

콘크리트가 냉각하는 과정에서 표면부분이 앞에서 동결하는 온도에 도달하고, 동결 층은 점차적으로 내부로 진행된다. 이 때 콘크리트 내부에서는 다음과 같은 현상이 일어난다.

- ① 처음에는 콘크리트의 표면에 접하는 물이 동결하여, 표면이 얼음으로 감싼 상태가 된다.
- ② 표면에 가까운 모세관 공극 중의 물이 동결하여 물에서 얼음으로 변화함에 따라 체적 팽창분에 상당하는 미동결의 물이 포화되지 않고 아직 동결하지 않은 내부의 공극으로 이동한다.
- ③ 이 미동결수의 이동은 미세한 공극 내에서 발생하므로 점성저항에 의한 정수압(이동압)을 발생한다.
- ④ 이 정수압이 콘크리트(인장) 파괴강도 이하로 작으면 균열(동해)은 발생하지 않는다. 그러나, 보통의 냉각속도 범위 내에서 미동결수의 이동은 시멘트 경화체 조직의 파괴를 일으키는 데에 충분한 압력으로 작용한다. 이러한 수압은 콘크리트 내부조직이 투수성이 낮은 경우(물이 이동하기 어려운 경우), 냉각속도가 빠른 경우 및 동결하는 물의 양이 많을 경우에 더욱 커지게 된다.

이 메커니즘에 의한 열화를 막기 위해서는 공기로 가득찬 공극이 필요로 된다. 공기는 정수압이 가해졌을 때 쉽게 체적이 축소되어 팽창압이 완화되기 때문이다.

물의 동결로 발생하는 팽창량 이상의 공기로 가득찬 공간이 있고 기포와 기포의 간격이 작으면 미동결수의 이동에 따른 압력이 발생하기 어려우므로 콘크리트를 동결에 의한 피해로부터 보호하게 된다. 반대로 큰 기포가 떨어져 존재하는 경우에는 이동수가 기포에 도달하기 전에 압력이 콘크리트의 균열을 발생시킬 정도로 높아지게 되는데, 이러한 이유로 AE제 등에 의한 연행공기(entrained air)는 닫힌공기(entrapped air)에 비해서 동결융해의 방지에 유효한 효과를 발휘할 수 있는 것이다.

콘크리트는 다공질이기 때문에 내부에는 크기가 다른 여러 공극이 존재하여 강도, 내구성 등에 큰 영향을 미친다. 콘크리트 중의 공극은 일반적으로 갇힌공기, 연행공기 이외에 모세관 공극(capillary pore), 겔 공극(gel pore)으로 분류한다(그림 2). 이 중에서 모세관 공극은 일반적인 기상조건에서 동결 가능한 수분이 포함되어 있고 겔 공극은 매우 미세하기 때문에 동결하지 않는다. <그림 3>은 콘크리트 모세관 공극중 물의 동결온도를 나타낸 것이다. 온도가 저하하는 경우에 0°C부근의 온도에서 모세관중의 물이 동결하여, 이것보다 작은 1000Å 사이의 세공내의 수분은 온도에 저하에 따라 큰 세공지름에서 점차적으로 동결해 간다. 이때 시멘트 경화체중에는 세공지름의 크기에 따라 과냉각

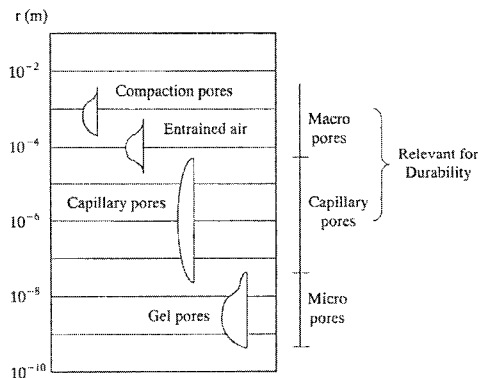


그림 2 콘크리트 중의 세공분류

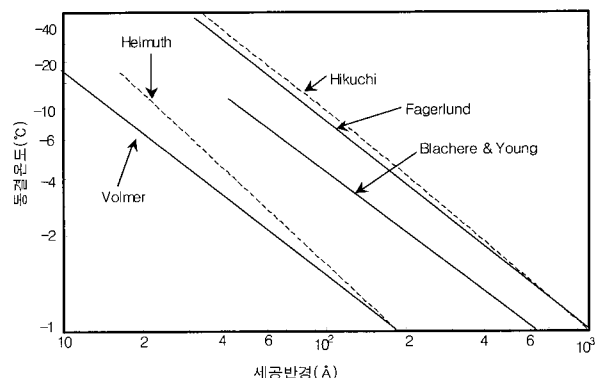


그림 3 세공 크기와 동결온도와의 관계

상태를 포함하여, 동결한 부분과 미동결의 부분이 존재하게 된다. 보통 콘크리트의 경우, 수백~수천 Å의 지름을 가진 세공이 많으므로 동결시의 최저 온도의 차이에 따라 동결융해 작용에 의한 성능 저하의 정도가 크게 다르게 나타나게 된다.

따라서, 동해를 방지하기 위해서는 세공구조를 치밀하게 하는 것이 중요하며, 물-시멘트비를 작게 하여 내구성을 증진시킴으로써 내부의 물이 동결하기 어려운 콘크리트를 만드는 것이 좋다.

4.3 침투압에 의한 것

침투압은 얼음과 공극 중의 미동결수와의 사이에서 발생한다. 이것은 모세관 공극 중에 얼음결정이 형성된 후에 이 얼음결정이 보다 작은 세공에서 미동결수를 흡수함으로써 발생한다. 이러한 침투압에 의한 현상은 한계포화에 가까운 영역에 물을 이동시키는 원인이 되어 조적을 파괴하게 된다. 이것이 물-시멘트비가 작은 콘크리트에 있어서 주요한 동결융해의 메커니즘이다. 침투압은 염류의 작용을 동반한 경우에 더욱 커진다. 해수에 접촉된 AE 콘크리트에서는 표면 층의 스케링(scaling)이 상당히 진행된 단계에서도 팽창 열화를 볼 수 없는데 이것이 침투압의 작용에 의한 것이라고 할 수 있다.

4.4 골재의 팽창

골재도 시멘트 페이스트와 마찬가지로 공극 중의 수분이 동결 팽창하여 발생한 수압이 골재 강도보다 크게 되면 파괴된다. 콘크리트 표층부에 있는 골재가 동결하여 팽창하면 팽창에 대한 저항성이 작은 외측을 향하여 골재가 파괴된다. 이 팽창압에 의해 골재 외측에 있는 모르타가 밀려나가 pop out가 발생하는 것이다. 팽창압은 모르타의 인장강도, 콘크리트 표면부터 골재 윗면까지의 거리에 비례하고 골재 크기에 반비례한다.

5. 동해를 발생시키는 요인

5.1 기온

온도가 낮을수록 작은 모세관 공극 중의 수분이 동결하므로 기온은 동결융해 작용에 의한 콘크리트의 열화에 영향을 주는 주요한 요인이다. <그림 4>는 시멘트 페이스트에 의한 실험결과이지만, 동결온도 -10℃에서 동결융해 사이클수가 증가하더라도 길이 변화율은 별로 변화하지 않고 있다. 그러나 동결온도 -20℃, -30℃에서는 동결융해 사이클수 증가함에 따라 길이 변화율도 증가하고 있다. <그림 5>는 동결온도에 따라 동결융해 사이클수와 내구성 지수와의 관계이다. 동결온도 -2℃에서 콘크리트의 내구성 저하가 거의 보이지 않지만, 동결온도 -5℃에서 -30℃까지

온도가 낮을수록 내구성 지수도 저하됨을 알 수 있다. 그리고 동결최저 온도의 지속시간 및 동결속도는 일반 기상조건에서 동결융해 저항성에 미치는 영향은 크지 않다(그림 6, 그림 7). 또한 일반적으로 기온의 저하와 함께 바람이 추가로 작용하면 콘크리트

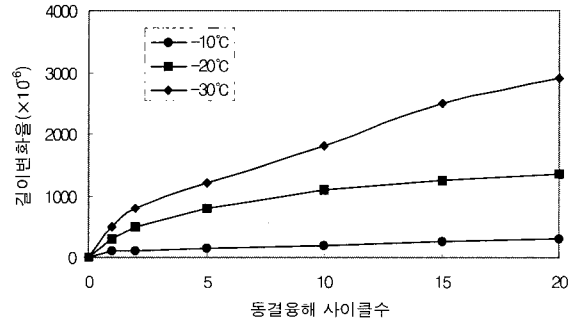


그림 4. 동결온도가 동결융해 저항성에 미치는 영향

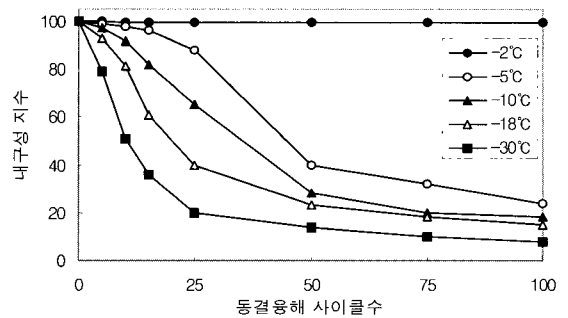


그림 5. 동결온도가 내구성 지수에 미치는 영향

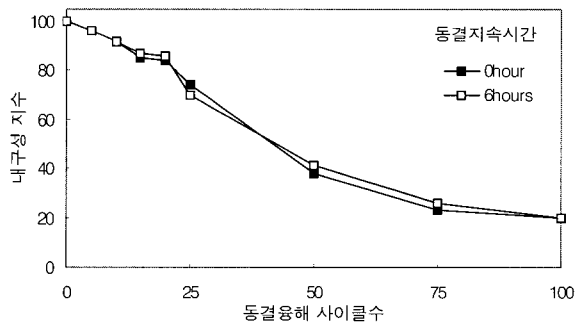


그림 6. 동결최저온도 지속시간이 내구성 지수에 미치는 영향

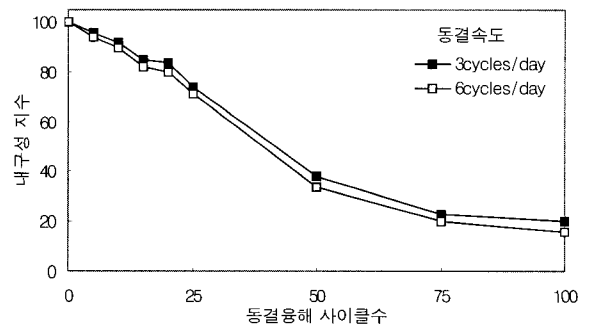


그림 7. 동결속도가 내구성 지수에 미치는 영향

트 온도가 더욱 저하되기 때문에 풍속이 큰 해안 지역에서는 바람에도 주의할 필요가 있다.

5.2 일조 및 눈

일조의 유무에 따라 콘크리트 온도는 변한다. 기온이 0℃이하라도 햇빛이 비치는 남향의 콘크리트 표면에서는 온도가 +10℃ 이상까지 상승하여 야간에 동결해 있던 콘크리트 내부의 수분이 융해되고 이런 동결융해 반복 작용에 의해 열화가 진행된다. 그 결과 동절기에 햇빛이 잘 비치는 남쪽에 위치한 콘크리트 구조물이 동결을 받기 쉽다.

콘크리트에 눈이 덮여 있는 경우에는 눈이 단열작용을 하여 0℃이하의 기온이라도 콘크리트 온도는 거의 0℃로 일정하고 동결융해 반복 작용을 거의 받지 않는다. 눈이 콘크리트의 동결융해 저항성에 악 영향을 미치는 것은 눈이 녹아 그 물이 콘크리트에 공급되는 경우이다. 따라서 추운 지방에서는 한겨울보다 초겨울 및 초봄에 동결융해 피해를 받기 쉽다.

5.3 수분

콘크리트 중의 함유 수분이 어느 한계이상이면 동해를 받지 않는다. 얼음의 밀도가 0.917g/cm³이므로 콘크리트 중 수분의 동결에 의한 팽창압력은 이론적으로 포수도가 91.7% 이상일 때 발생한다. 그러나 포수도와 수분의 동결점은 공극의 크기에 따라 다르고 또한 공극의 내부와 외부에서는 수분이 이동하기 때문 콘크리트의 포수도와 동결융해 저항성과의 관계는 복잡하다. <그림 8>은 콘크리트의 포수도와 동결융해 저항성과의 관계이다. 콘크리트의 포수도가 85% 이하에서는 동결융해 작용에 의한 내구성능 저하가 거의 발생하지 않고 있다.

수공 구조물과 같이 항상 수분이 공급되는 경우에는 콘크리트의 포수도가 높으므로 동결융해 작용에 의한 피해를 받기 쉽다. 가장 가혹한 조건이 되는 것은 비말대와 수위가 변동하는 위치에 있는 콘크리트 구조물이고 이 부분에서는 침입한 수분이 동결되기 쉽고 많은 동결융해 반복 작용을 받는다. 또한 균열 및 방수설계상의 결함 등이 있는 경우도 콘크리트 중의 수분이 공급되는 원인이 되고 동결융해 작용에 의한 피해 발생 원인이 된다.

5.4 해수

해안 및 항만 구조물은 내륙에 위치한 구조물에 비해 동결융해 작용에 의한 피해를 받기 쉽다. <그림 9>는 W/C=0.52, 공기량 4.5%인 콘크리트에 대해 담수와 해수 중에서 동결융해 시험을 실시한 결과이다. 해수 중에서 동결융해 시험을 실시한 콘크리트는 담수 중에서 동결융해 시험을 실시한 콘크리트에 비해 동결융

해 저항성이 상당히 저하되고 있으며 특히 질량감소율이 내구성 지수 및 길이변화율 보다 저하 정도가 더욱 크다. 즉 해수와 동결융해의 복합작용을 받은 콘크리트는 내부조직은 비교적 건전하더라도 스케링이 발생하기 쉽다.

5.5 제설제

최근 국내에서도 동절기에 차량의 안전 주행을 위해 도로 및

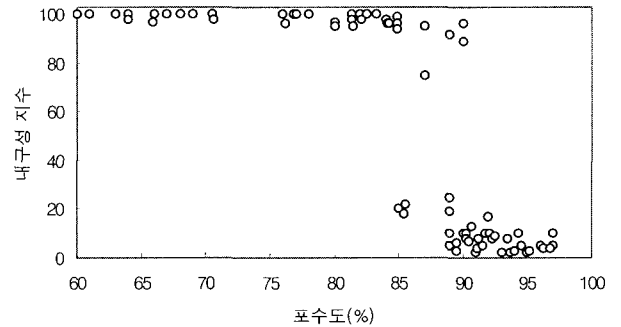


그림 8. 콘크리트의 포수도가 동결융해 저항성에 미치는 영향

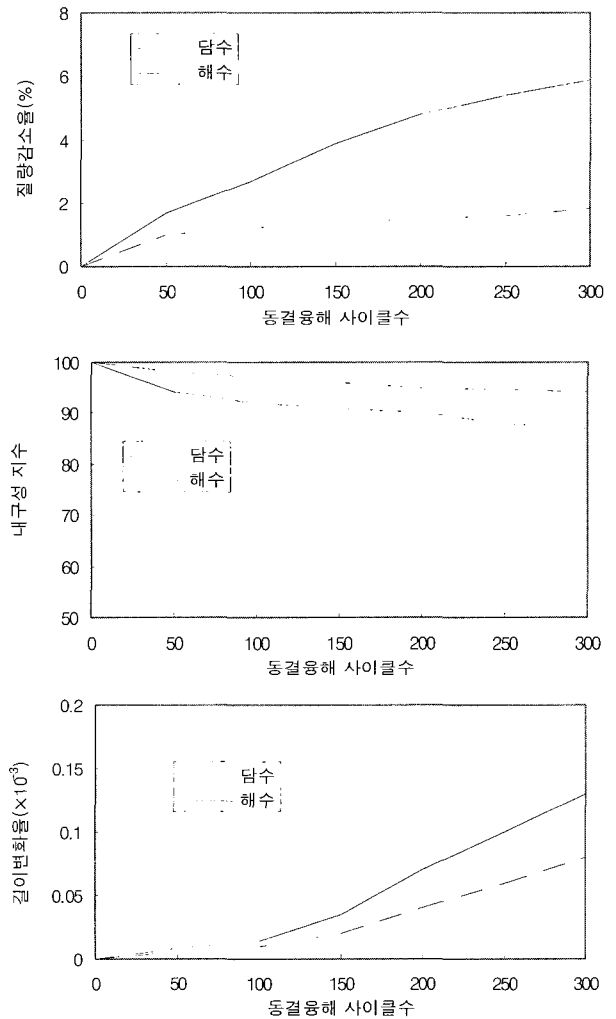


그림 9. 담수와 해수 중의 동결융해시험 결과

교량에 염화칼슘, 염화나트륨 등 제설제의 산포량이 현격히 증가하고 있으며 이로 인해 내륙 콘크리트에서도 해안 콘크리트와 마찬가지로 동결융해와 염해의 복합작용에 의해 콘크리트의 내구성능이 저하되는 것으로 알려져 있다. <그림 10>은 ASTM C 672 시험 방법에 준하여 제설제 사용이 콘크리트의 스케링에 미치는 영향을 검토한 결과이며, 제설제로 사용되는 염화나트륨은 수돗물보다 스케링이 많이 발생하고 있음을 알 수 있다.

미국, 유럽 및 일본에서는 고속도로와 주차장 콘크리트 구조물 등에서 제설제 사용으로 인한 동결융해 작용에 의한 피해 사례가 보고되어 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 1971년 ASTM C 672로서 시험방법이 규정되어 있으며 RILEM TC 117 위원회에서 제설제 용액을 모관 흡수시키는 CDF시험 (capillary suction of deicing chemicals and freeze thaw test) 방법을 제시하였다. 또한 일본에서도 콘크리트학회 내에 위원회를 설치하여 제설제가 철근콘크리트의 열화에 미치는 영향에 대해 다양한 검토를 하고 있다. 그러나 국내에서는 동결융해와 염해의 복합 열화에 대한 연구가 거의 이루어지지 않은 실정이다.

6. 내동결융해 설계 및 대책방안

5절에서 살펴 본 것처럼 동결융해 작용에 미치는 영향은 복잡하며, 이런 동해를 방지하기 위한 대책도 상당히 복잡하나 주요 대책을 정리하면 다음과 같다.

- 적절한 콘크리트 배합 및 재료 사용
 - 적절한 시공 및 동결융해 작용을 받기 전까지 충분한 양생
 - 수분 노출을 최소화할 수 있는 구조 설계
- 본 고에서는 주로 콘크리트에 관련된 사항에 대해서 살펴보기로 한다.

6.1 콘크리트 배합

6.1.1 물-시멘트비

동해를 방지하기 위해서는 모세관 공극을 줄이고 그 공극 중에 포함되는 수분을 가능한 줄이는 것이 중요하다. 모세관 공극량은 물-시멘트비에 의해 지배되므로 물-시멘트비를 되도록 작게 하는 것이 바람직하다. <그림 11>은 콘크리트 물-시멘트비가 동결융해 저항성에 미치는 영향이다. 여기서 내구성 지수는 콘크리트 공시체가 파괴할 때까지의 동결융해 사이클수를 100으로 뺀 값이고 일반적으로 이용되는 내구성 지수와는 다르지만, 물-시멘트비가 낮을수록 콘크리트의 동결융해 저항성이 우수함을 알 수 있다.

6.1.2 공기량

<그림 12>는 공기량과 내구성 지수의 관계이고, 공기량 2~4%에서 동결융해 저항성이 크게 변하고 있으며, 공기량 4% 이상이면 우수한 동결융해 저항성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, <그림 13>와 같이 공기량을 너무 많이 연행하면 오히려 동결융해 저항성이 저하될 뿐만 아니라 압축강도도 저하된다.

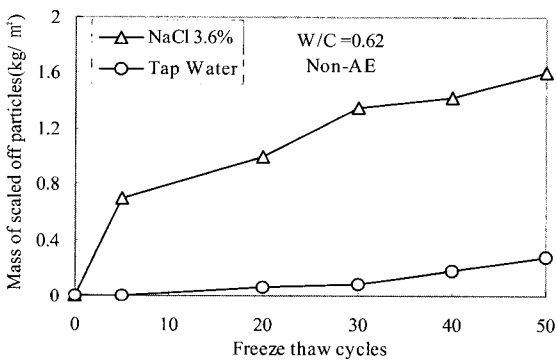


그림 10. 염화나트륨 사용이 스케링에 미치는 영향

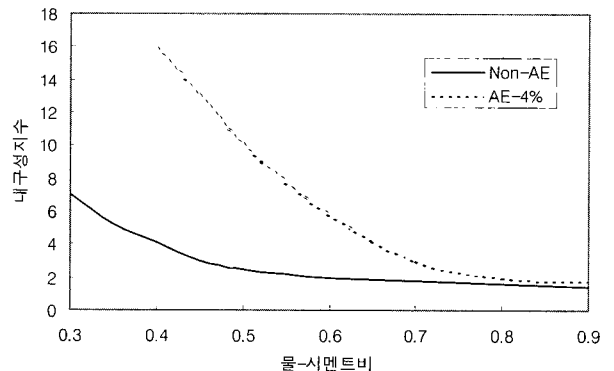


그림 11. 물-시멘트비가 동결융해 저항성에 미치는 영향

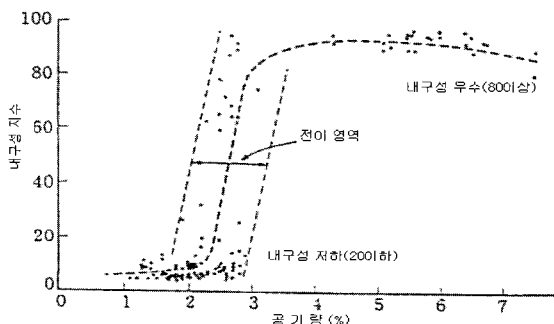


그림 12. 공기량이 동결융해 저항성에 미치는 영향

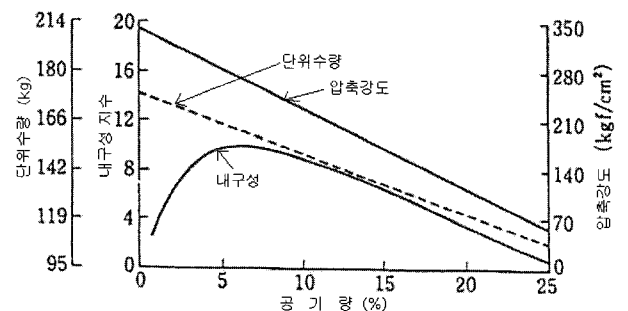


그림 13. 공기량과 압축강도, 동결융해 저항성과의 관계

표 2. 굵은골재 최대치수와 공기량

굵은골재 최대치수 (mm)	공기량		
	ACI 201		BS 8110
	보통조건	가혹한 조건	제설제 사용
9.5	6	7.5	7
12.5	5.5	7	-
14	-	-	6
19	5	6	5
25	5	6	-
37.5	4.5	5.5	4
75	3.5	4.5	-
150	3	4	4

따라서 동결융해에 대한 저항성을 높이기 위해서는 콘크리트 배합설계 시 적절한 공기량을 선정할 필요가 있으며, <표 2>는 굵은 골재 최대치수에 따른 콘크리트 공기량을 나타내었다.

<그림 14>은 기포간극과 내구성 지수와의 관계, <그림 15>는 기포간극계수와 동결융해 1사이클 당 팽창량의 관계이고, 이런 결과로부터 동결융해 저항성을 확보하기 위해 필요한 기포간극계수는 200~250 μ m 이하 정도임을 알 수 있다.

6.2 사용재료

6.2.1 시멘트

한중콘크리트에서는 초기동해 대책으로 수화반응이 빠른 조강 시멘트가 유리하다. 경화된 콘크리트의 동결융해 저항성에 대해서는 규격에 만족하는 시멘트이라면 통상 문제가 발생하지 않지만, 혼합시멘트를 사용한 경우는 보통포틀랜드 시멘트를 이용한 경우보다 내구성능이 저하될 우려가 있다. 이것은 강도가 충분히 발휘되기 전 동결융해 작용을 받기 때문으로 추정된다. 그리고 혼합 시멘트를 사용한 콘크리트라도 표준양생 재령 28일의 압축 강도가 280kgf/cm² 이상이면 동결융해에 대한 저항성을 확보할 수 있는 것으로 보고되고 있다.

6.2.2 골재

콘크리트 용적에 약 70%를 차지하는 골재의 품질은 콘크리트의 동결융해 저항성에 큰 영향을 주고, 특히 굵은 골재는 pop out이 원인이 되기 때문에 흡수율이 낮은 것을 사용해야 한다. 그리고 모르타르와의 열팽창계수의 차이가 $5.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 를 초과하는 골재는 사용하지 않도록 하는 것이 좋다.

향후 골재자원의 고갈 및 폐콘크리트의 골재로 재사용 등으로 저품질 골재가 콘크리트의 동결융해 저항성에 대한 검토가 필요하다고 생각된다.

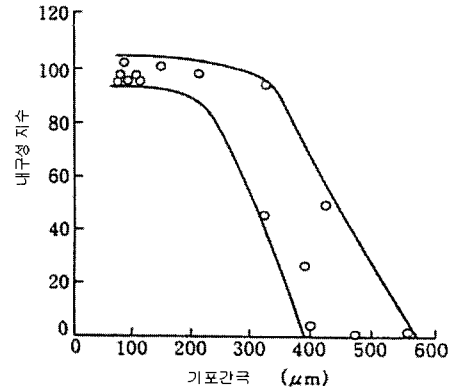


그림 14. 기포간극과 내구성 지수와의 관계

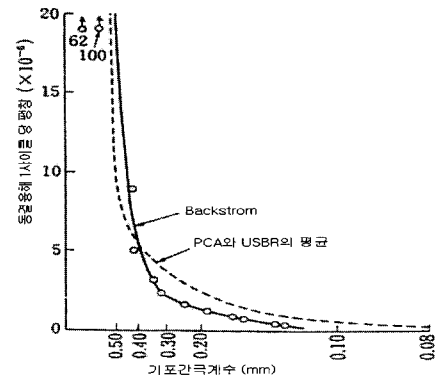


그림 15. 기포간극계수와 동결융해 저항성과의 관계

6.2.3 혼화제

콘크리트의 동결융해 저항성을 확보하기 위해서는 양질의 기포 조직을 형성할 수 있는 AE제 사용이 무엇보다 중요하다. 그리고 감수제·고성능감수제는 콘크리트의 기포조직을 불안정하게 형성되어 동결융해 저항성이 저하되는 경우가 있으므로 사용하기 전에 품질을 확인할 필요가 있다. 수중 불분리성 콘크리트 및 고유동 콘크리트에 사용되는 증점제는 동결융해 저항성을 저하시킬 수 있으므로 주의할 필요가 있고, 대책방안으로 분말도가 높은 고로슬래그 미분말을 사용하는 방법 등이 있다.

6.2.4 혼화제

플라이 애쉬에 포함된 미연탄소는 AE제를 흡착하는 성질을 갖고 있기 때문 소정의 공기량을 확보하기 위해서는 AE제 사용량을 증가시킬 필요가 있는 등 공기량 관리가 어렵다. 그러나 이러한 점을 유의하여 소정의 기포조직을 가진다면 플라이 애쉬를 사용한 콘크리트이라도 양호한 동결융해 저항성을 확보할 수 있다. 고로슬래그 미분말의 사용에 의해 콘크리트의 동결융해 저항성에 미치는 영향은 거의 없다. 단, 플라이 애쉬 및 고로슬래그 미분말을 한중콘크리트에 사용하는 경우에는 강도 레벨을 약간 높게 배합설계를 하는 것이 동결융해 저항성 확보에 유리하다. 실리카 흡도 플라이 애쉬와 마찬가지로 AE제를 흡착하는 성질이 있기 때문 주의 할 필요가 있다.

6.3 시공

부적절한 다짐으로 재료분리가 발생하면 구조적인 결함뿐만 아니라 수밀성이 저하되어 동결융해 저항성에 악영향을 미칠 수 있다. 그리고 부적절한 콜드 조인트(cold joint)가 있으면 구조물의 외관, 강도, 수밀성은 물론 동결융해 저항성도 저하되기 때문에 상하 양층이 일체가 되도록 시공에 유의해야 한다.

모세관 공극량은 시멘트의 수화도에 지배되기 때문에 충분히 양생되어 모세관 공극의 적은 콘크리트는 동결융해 저항성이 우수하다. <그림 16>는 습윤양생 기간을 변화시켜 재령 28일부터 동결융해 시험을 결과이고, 양생이 중요함을 알 수 있다. 특히 수화반응이 늦은 혼화재를 다량으로 사용하는 경우에는 소정의 강도가 발현될 때까지 충분히 양생을 실시할 필요가 있다.

<그림 17>는 한중콘크리트에서 초기동해를 받은 경우를 상정하여 초기에 동결을 받은 후 각종 양생조건이 동결융해 저항성에 미치는 영향이다.

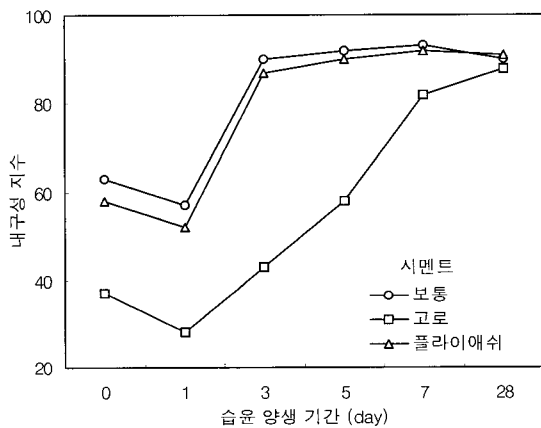


그림 16. 습윤양생 기간이 동결융해 저항성에 미치는 영향

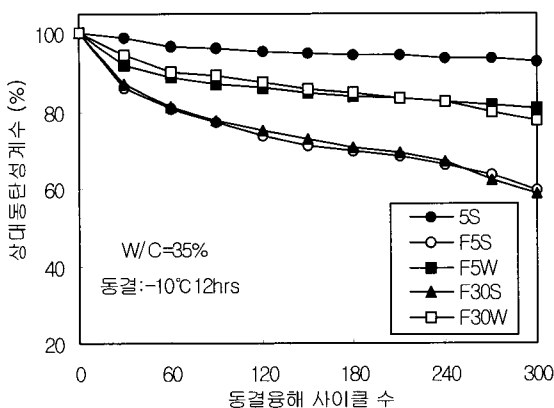


그림 17. 초기동해가 동결융해 저항성에 미치는 영향

초기동해를 받은 후 양생을 충분히 하더라도 콘크리트의 동결융해 저항성은 상당히 저하되므로 동결기에 콘크리트를 타설한 경우에는 초기동해를 받지 않도록 조치를 취하는 것이 중요하다.

5. 맺음말

본 고에서는 동결융해 작용에 의한 콘크리트의 내구성 저하의 일반적인 사항과 대책방안 등에 간단히 기술하였다. 오늘날 AE제를 일반적으로 사용하기 때문에 콘크리트의 동결융해 저항성은 비교적 간단히 확보하게 되었음에도 불구하고 아직도 콘크리트의 동결융해 작용에 대한 내구성 저하에 대한 문제는 해결되지 않았다. 이것은 동결융해는 상당히 복잡하게 작용하기 때문이고, 본 고에서 기술한 대책 외에도 고려할 사항이 많음을 의미하며 향후 이런 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 필요하다.

또한 내동결융해의 설계를 하기 위해서는 콘크리트의 동결융해저항성을 정확하게 평가할 수 있는 동결융해 시험방법의 재정립 및 정확한 수명을 예측할 수 있는 방법에 대한 연구도 필요하다. □

참고문헌

- Neville, A. M., "Properties of Concrete", Forth and Final Edition, Longman, 1995.
- ACI Committee 201, "Guide to Durable Concrete", Manual of Concrete Practice, 1999.
- 고경택, 김도겸, 조명석, 송영철, "동결융해 작용을 받는 콘크리트 구조물의 내구성 저하 예측 방법에 관한 연구", 한국구조물진단학회, 제5권 1호, pp.131~140, 2001. 1.
- 고경택, 김도겸, 김성욱, 조명석, 송영철, "동결융해와 염해의 복합 작용을 받는 콘크리트의 내구성 저하 평가", 한국콘크리트학회 논문집, 제13권 4호, pp.397~405, 2001. 8.
- 윤우현, "동해와 그 대책", 한국콘크리트학회지, 제4권 1호, pp.25~33, 1992. 3.
- 高京澤, 岩城一良, 三浦尙, "初期凍害を受けた高爐スラグ微粉末混和高流動コンクリートの品質低下とその対策", 日本土木學會論文集, No. 641/V-46, pp.1~13, 2000. 2.
- 長谷川壽夫, 藤原忠司, "コンクリート構造物の耐久性シリーズ, 凍害", 技報堂出版, 1988.
- Powers, T. C., "Prevention of frost damage to green concrete", RILEM Bulletin, No.14, pp.120~124, 1962.
- 三浦尙, "融雪劑による鐵筋コンクリート構造物の劣化", 콘크리트工學, Vol.38, No.6, pp.3~8, 2000.