

고강도 콘크리트의 내구성

- Durability of High Strength Concrete -



정해문*



河野廣隆**

1. 머리말

고강도 콘크리트는 부재의 단면적 감소에 의한 경량화, 우수한 역학적 특성에 의한 고성능화 등이 가능하고 우수한 내구성을 갖고 있는 등 많은 장점을 가지고 있어 실용화를 위한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 특히 최근 들어 콘크리트 구조물의 내구성에 대한 관심이 높아지면서 우수한 내구성을 가지고 있는 고강도 콘크리트의 실용화에 대한 기대가 한층 고조되고 있는 가운데, 많은 연구들로 인해 고강도 콘크리트 배합 기법, 고성능 펌프 등이 개발되어, 실용화를 위한 길은 점점 가까워지고 있다.

지금까지는 신설 콘크리트 구조물을 설계할 때 초기 건설 비용을 절감하기 위하여 노력해왔으나, 최근 들어 유지 관리 비용을 포함한 총 비용인 라이프사이클코스트(Life Cycle Cost, 생애주기비용)의 관점에서 유지 관리 비용을 최소화하려는 Minimum Maintenance에로 전환되어 가고 있다. 이를 위해서는 초기 건설 비용

이 다소 증가하더라도 구조물 공용 기간내의 유지 관리를 위한 비용을 억제하는 것이 바람직하다고 할 수 있겠다. 일본의 경우 염해의 피해를 받은 교량에서 보수 비용이 초기 건설 비용보다 더 많이 드는 예가 적지 않게 보고되고 있는 실정이다. 이러한 라이프사이클코스트를 산정하기 위해서는 콘크리트 구조물의 내구성을 정량적으로 평가하기 위한 기법이 확립되어야 한다. 그러나 낮은 W/C를 갖는 고강도 콘크리트에 대한 정량적인 내구성 평가 결과가 그리 많지 않아 많은 검토와 데이터 축적이 이루어져야 하리라 생각된다.

본고에서는 고강도 콘크리트의 내구성에 대해서 서술하는데, 최근 가장 주목을 받고 있는 염해에 대한 특성과 초기 재령에서의 균열 제어 관점에서 매우 중요한 자기 수축 특성에 대한 것을 중심으로 살펴보기로 하겠다. 여기에서 서술하는 대부분의 내용은 일본에서 최근 진행되고 있는 것으로 일본 국토교통성 토목연구소 콘크리트연구실(현 독립행정법인 토목연구소 구조물메니지먼트팀)에서 검토된 것을 주

로 실었다. 일본 국토교통성 토목연구소 콘크리트연구실에서는 일본 프리스트레스트콘크리트건설협회와 고강도 콘크리트의 실용화를 위한 일련의 연구들로 구조설계기법, 균열 제어, 염해 저항성, 펌프 압송 특성, 인공 경량 골재 및 슬래그 등의 적용 등의 연구를 공동으로 진행해 왔으며, 그 일부를 소개하기로 한다.

2. 고강도 콘크리트의 염해 저항성

콘크리트 구조물을 열화시키는 요인은 다양하나, 최근 가장 주목을 받고 있는 것은 염해이다. 일본에서는 1980년 초에 해양 환경에 건설되는 콘크리트 구조물에 대한 염해대책지침^{1,2)}이 제정되어 그 이후로 건설된 구조물들은 이 지침에 준해서 설계를 실시하여 콘크리트 구조물의 염해에 의한 조기 열화를 어느 정도 방지하는 데 큰 역할을 하였다.³⁾ 여기에서 염해 대책은 콘크리트 피복 두께를 증가시키거나, 표면 도장 혹은 에폭시 도장 철근을 사용하는 것 등으로, 콘크리트 배합은 교량 상부 구조의 경우 W/C 50% 이하, 하부 구조는 55% 이하로 할 것 등을 명시하고 있다. 이와 같은 W/C를 명시하는 방법은 조기

* 한국도로공사 도로연구소 재료연구실 책임연구원

** 일본 토목연구소 구조물메니지먼트팀 실장

열화를 방지할 수 있었으나, 언제까지 내구성을 확보할 수 있는지가 명확하지 않으므로, 공용년수(예상 수명)와 내구성을 명시해 설계대로 그 성능을 확보하고 있는지를 알기 위해서는 염해에 대한 정량적인 평가가 필요하다. 일본에서는 콘크리트 구조물의 내구성을 정량적으로 평가하기 위해, 콘크리트가 보유해야 할 내구 성능을 규정하고 규정대로 성능을 가지고 있는지를 비교 검토하는 방법의 성능 조사(照査)형으로 일본토목학회 콘크리트표준시방서가 1999년 개정되었다. 시방서상에 제시된 성능 조사를 위한 제안들은 아직 개선의 여지가 많이 남아 있기는 하나, 내구성 평가를 위한 모델로서 정착되어 갈 것이라 생각되고 있다.

콘크리트 염해에 관한 내구성 평가 방법은 콘크리트내의 철근 위치에서의 염화물 농도를 Fick의 확산 이론에 따라 추정하고, 이 염화물 농도가 임계철근부식농도에 달했는지의 여부를 확인하는 방법을 제시하고 있다. 이와 같은 방법으로 검토하게 되면, 콘크리트 피복 두께를 콘크리트 품질에 따라 정량적으로 결정할 수 있다. 일본토목학회 콘크리트표준시방서 상에서는 다음과 같은 식으로 W/C와 염화물 확산계수와 관계를 제안하고 있다.

$$\log Dp = [4.5 (W/C)^2 + 0.14(W/C) - 8.47]$$

: 보통 포틀랜드 시멘트를 사용할 경우

$$\log Dp = [19.5 (W/C)^2 - 13.84(W/C) - 5.74]$$

: 고로 슬래그 시멘트를 사용할 경우
 Dp : 콘크리트 확산계수 예측값(cm^2/sec)

이 제안식은 W/C가 35%에서 70%까지의 콘크리트에 대해 비례염분량이 많은 해양 지역에 폭로시켜 얻은 데이터들로부터 회귀시킨 것으로서, 어느 정도의 오차는 보여주고 있다. 콘크리트 품질은 W/C에 따라 크게 좌우되므로 이와 같이 염화물 확산계수를 W/C와의 함수로서 나타내고 있으나, 고강도 콘크리트와 같이 낮은 W/C에 대해서는 데이터가 거의 없는 상태이다. 이는 앞서 서술한 바와 같이 기존의 W/C를 명시해 놓은 규정으로 인해, 이 규정보다 낮은 W/C 영역에 대한 연구 결과가 거의 없기 때문이다.

〈그림 1〉에 낮은 W/C의 고강도 콘크리트에 대한 실험 결과의 예를 나타내었다.^{4,5)} 3% NaCl 용액 침지 시험과 비례염분의 영향을 받는 환경에 옥외 폭로 시험으로부터 구한 염화물 확산계수와 W/C와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 일본토목학회 제안식은 W/C가 35%

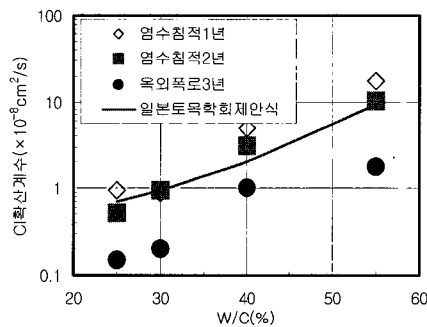


그림 1. W/C에 따른 염화물 확산계수의 변화 (보통 포틀랜드 시멘트 사용)

에서 70%까지의 데이터를 회귀시킨 것을 W/C 25%까지 연장해서 나타낸 것이다. W/C를 낮춤으로 염화물 확산계수를 현저히 낮출 수 있다는 것이 확인되었으나, 고강도 콘크리트 영역에 대한 더 많은 데이터의 축적이 필요하리라 생각된다.

염화물 침투 성상을 보기 위한 폭로 시험으로는 규격화된 것은 거의 없고, 실험자에 따라 적절하게 실내에서 염수에 침적시키거나, 해양 환경에 폭로시키는 경우가 대부분이다. 실제 해양 환경에 폭로시키는 것이 가장 바람직하나, 해양 환경을 정량적으로 평가하기가 매우 힘들므로, 일정한 농도로 염화물의 공급이 가능한 염수 침적에 의한 실험을 많이 행하고 있다. 실제로 일본에서는 비례염분량을 해안선에서의 거리의 함수로 표시하여 해양 환경을 평가하여 보았으나, 오차가 매우 큰 것으로 나타났다.⁶⁾ 〈그림 2〉에 염화물 농도 프로파일의 예를 나타내었다. 염수 침지 1년 및 2년의 결과와 함께, 비례염분 환경 하에 3년간 폭로시킨 결과이다. W/C 25, 30%의 영역에서는 침적 1년까지도 염화물 침투가 표면 부근에만 농축되어 있는 것을 볼 수 있는데, 이렇게 표면 부근에만 염화물이 농축되고 내부로의 침투가 많지 않게 되면, 확산계수를 추정하기 위해 유효한 데이터 수가 적기 때문에 확산 계수 산정 결과의 신뢰성이 떨어지게 된다.⁵⁾ 따라서 낮은 W/C를 갖는 고강도 콘크리트의 경우에는 보다 정확한 염화물 침투 경향과 신뢰성을 갖는 확산계수를 구하기 위해서는 침적 재령을 매우 길게 할 필요가

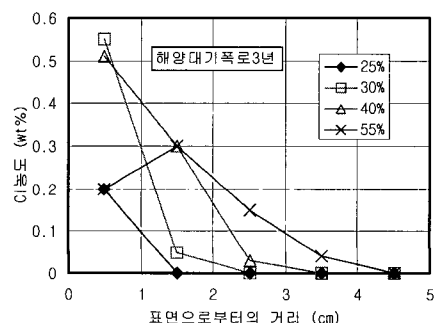
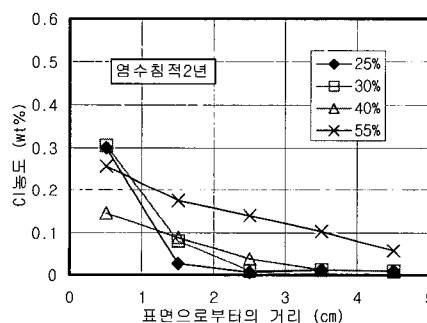
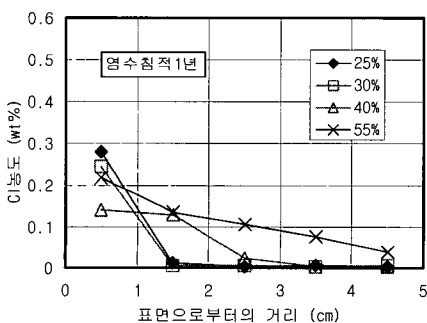


그림 2. W/C에 따른 해양 환경 폭로 시험 결과(보통 포틀랜드 시멘트 사용, Cl 농도는 콘크리트중량%임.)

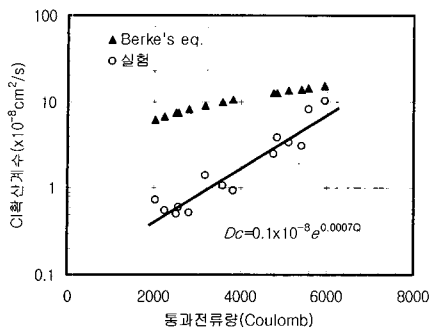


그림 3. 통과 전류량과 확산계수와의 관계

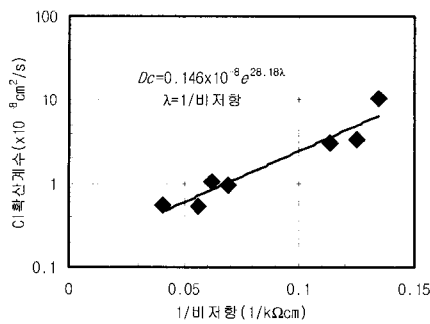


그림 4. 전기비저항과 확산계수와의 관계

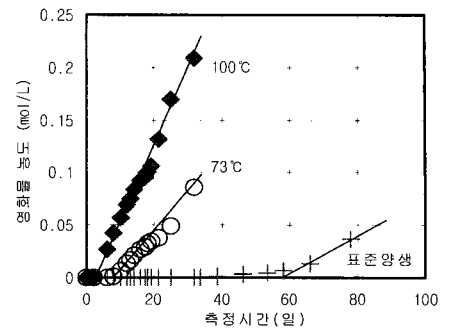


그림 5. 고온 이력에 의한 염화물 침투 특성의 차이(W/C=25% 보통 시멘트 사용)

있다. 특히 염수 침적 조건보다 염화물 공급이 더 작은 해양 대기 조건에 폭로시킬 경우에는 훨씬 장기 재령 폭로시킬 필요가 있다고 보여진다.

앞서 설명한대로 염화물 침투 경향을 살펴보기 위해서는 해양 환경에 직접 폭로시키는 것이 가장 바람직하나, 고강도 콘크리트의 경우에는 매우 장시간을 필요로 하므로, 단시간 내에 촉진 시험에 의해 간편하게 측정할 수 있는 방법이 최근에 세계적으로 널리 이용되고 있다. 그 중 ASTM C 1202로 규격화되어 있는 급속 염화물 침투 시험 방법이 그 간편성 때문에 많이 이용되고 있는데, 이와 같은 전기 부가 촉진 시험 방법은 실제 해양 환경에서의 염화물 침투와 그 메커니즘이 달라 이 시험 방법들로부터 염화물 확산계수를 직접 구하는 것은 아직 이론의 여지를 많이 남겨 두고 있으나, 콘크리트 품질에 의한 염화물 침투 특성의 상대적인 비교로서는 가장 간편한 방법으로 인식되고 있다.⁷⁾ 콘크리트의 W/C로부터 염화물 확산계수를 추정하는 것과 같이, Berke등⁸⁾은 ASTM C 1202 시험법으로부터 구한 통과 전류량과 염수 침적 시험으로부터 구한 확산계수와의 상관성으로부터 확산계수를 추정하는 등, 콘크리트의 품질로부터 염화물 확산계수를 추정하려는 노력이 많이 진행되고 있다. Berke 등은 아래와 같은 상관식을 제안하였고, 구미에서는 많이 적용되고 있는 실정이다.

$$D_c = 0.0103 \times 10^{-8} Q^{0.84}$$

D_c : 염화물 확산계수(cm^2/s),
 Q : 급속 염화물 침투 시험으로부터 구한 통과 전류량(Coulomb)

〈그림 3〉에 고강도 콘크리트 영역을 포함한 콘크리트 공시체에 대한 통과 전류량과 염화물 확산계수와의 관계를 나타내었다.⁴⁾ 통과 전류량이 높은 부분, 즉 W/C가 높은 영역에서는 Berke가 제안한 값과 비슷한 결과를 보이나, 통과 전류량이 작을수록, 즉 W/C가 작을수록 Berke의 제안식과의 차이가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 따라서 고강도 콘크리트의 경우, 통과 전류량으로부터 염화물 확산계수를 구하기 위해서는 새로운 제안식이 필요하리라 생각된다. 그러나 ASTM C 1202상에 통과 전류량 총합으로 염화물 침투성을 판정하는 것은 콘크리트 품질의 대략적인 경향의 파악은 가능하지만, 과도한 인가 전압에 의한 공시체의 열 발생에서 기인한 온도 상승, 측정 재령의 영향, 재료 및 양생 방법의 영향 등 측정 방법상의 문제에 대해서 많은 연구자들이 이견을 제시하고 있어 더 많은 검토가 이루어져야 하리라 보여진다.⁷⁾

이와 같은 급속 염화물 침투 시험의 측정 방법상의 문제에 대한 대안으로 〈그림 4〉와 같이 교류에 의한 전기비저항 측정 결과로부터 염화물 확산계수와의 관계를 추정하는 것이 좀 더 타당하지 않을까 생각된다.⁴⁾ 과도한 전압 인가에 의한 열 발생이 없다는 점으로 인해 콘크리트 자체의 물성값으로서 나타나므로, 보다 안정적이

고 신뢰성 있는 상관관계를 구할 수 있다. 물론 콘크리트의 전기비저항 결과도 콘크리트 함수 상태, 양생 방법, 재료 등에 따라 영향을 받으므로⁹⁾, 더 많은 연구와 데이터 축적이 이루어져야 되리라 생각된다.

결과적으로, 단기간내에 콘크리트의 염분 확산성을 정량적으로 평가할 수 있는 시험 방법은 내구성 조사(照査)의 실용화를 위해서 불가결한 것으로서, 이에 대한 더 많은 연구가 뒷받침되어야 할 것이라고 생각된다.

한편, 고강도 콘크리트는 단위시멘트량이 매우 많은 배합이므로, 시멘트 수화로 기인한 발열로 인해 초기 재령에 고온의 이력을 나타내게 된다. 이러한 초기 재령에 있어 고온 이력은 시멘트 수화 반응에 영향을 미쳐 미세 조직의 변화를 가져오므로, 조직의 치밀한 정도에 영향을 크게 받는 염화물 침투 특성에 영향을 미칠 수 있다. 〈그림 5〉에 재령 초기에 고온의 이력을 받은 W/C가 25%의 콘크리트 공시체에 대한 염화물 침투 특성을 나타내었다. PSC 교량을 상정한 단면이 큰 블록 공시체를 대상으로 한 것으로서, 초기 재령에 블록 중심이 약 100℃, 표면 부위가 약 73℃까지 올라가는 고온 이력을 보였다. 비교를 위해 $\phi 10 \times 20$ cm의 표준공시체도 함께 실험을 하였는데, 약 40℃까지의 온도 이력을 보였다. 그림의 결과는 콘크리트 공시체에 15V의 직류 정전압을 부가해 공시체를 통과한 염화물 이온량으로 측정된 것이다. 염화물 농도 결과는 두께 5cm의 공시체를 투과하여 이동한 염화물

이온량을 나타낸 것으로 이력 온도가 높을 수록 공시체 투과에 걸리는 시간도 빠르고 염화물 이온 투과 속도도 빠른 것을 알 수 있다. 이는 초기 재령에서 고온의 이력을 받게 되면, 공극의 조대화(粗大化), 시멘트 몰탈과 골재의 열팽창계수 차에 의한 몰탈 부분과 골재 사이에 간극 형성, 자기 수축 축진에 의한 미세 균열 발생 등의 요인이 복합적으로 영향을 미치기 때문으로 생각되고 있다.¹⁰⁾

내구성 평가시 통상적으로 고온 이력을 받는 등의 양생 방법을 포함해 시공 요인은 고려하지 않고 있는데, 부재 레벨의 고강도 콘크리트 구조물에서는 수화열에 의한 온도 상승을 보이므로 고온 이력의 영향을 검토하지 않으면 안되리라 생각되며, 이와 같은 시공 요인에 대한 적극적인 검토도 필요하리라 보여진다.

3. 고강도 콘크리트의 자기 수축 (autogenous shrinkage)

고강도 콘크리트는 단위시멘트량이 많아 시멘트 수화 발열로 기인한 온도 균열 발생 가능성을 가지고 있는데, 초기 균열 발생은 내구성에 큰 영향을 미치게 되므로 매우 중요하다. 온도 변화에 의한 변형이 가장 많이 발생하는 초기 재령에서 자기 수축에 의한 변형도 함께 나타나게 되므로, 온도 균열 발생을 검토할 때 반드시 자기 수축의 영향을 함께 검토하지 않으면 안 된다.¹¹⁾

자기 수축 현상이란 미국콘크리트학회(ACI)에서는 외력이나 열적 습도 등과 관계없이 계속적인 시멘트 수화에 의해 생기는 체적 변화 현상, 일본콘크리트공학협회(JCI)에서는 시멘트 수화에 의해 조결 이후에 거시적으로 생기는 체적 감소 현상으로서, 물질의 침입이나 이탈, 온도 변화, 외력, 외부 구속 등에 기인하는 체적 변화는 포함하지 않는 것이라고 정의하고 있다. 이러한 현상은 예전부터 알려져 왔으나, 일반 콘크리트에서는 건조 수축에 비해 한 order 정도 작기 때문에 그다지 중

요한 고려의 대상이 아니었지만, 결합재의 함량이 높고 W/C가 낮은 고강도, 고유동 콘크리트에서는 무시할 수 없을 만큼의 변형이 발생된다는 사실이 보고되면서 1990년대 초부터 활발하게 연구가 진행되어 오고 있다.

시멘트의 수화 반응에 수반해 간극수가 소비되면서 경화체 내부가 실질적으로 건조 상태가 되는 현상을 자기 건조(self desiccation)라고 일컫는데, 이론적으로 필요한 수량보다 훨씬 낮은 W/C를 갖는 고강도 콘크리트의 경우 초기 재령에서부터 경화체 내부는 자기 건조 상태에 있게 된다. 이는 자기 수축에 의한 변형이 일어나는 가장 중요한 구동력으로 알려져 있다. 즉 자기 수축이 일어나는 메커니즘은 건조 수축 모델과 마찬가지로 모세관 장력설로 설명하고 있다. 자기 수축에 영향을 미치는 요인으로는 시멘트, 혼화 재료, 배합, 양생 방법 등 여러 가지가 있는데, 이들 요인 각각의 영향에 대해서는 많은 연구가 진행되어, 재료 측면에서의 자기 수축 저감 방법이 제안될 정도로 현상론적인 연구는 매우 많이 이루어져 왔다. 그러나, 아직 일치된 견해를 보지 못한 점들도 많이 남아있어, 이에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

앞서 설명한 바대로, 온도 균열 발생 가능성 검토시 자기 수축 변형도 함께 검토해야 하는데, 자기 수축 변형이 재령 초기의 고온의 온도 이력에 따라 어떻게 변화할 지에 대해서 아직도 이견이 많다. 자기 수축 변형의 온도 의존성을 정량적으로 평가하기 위해, 기존의 머추리티(maturity)

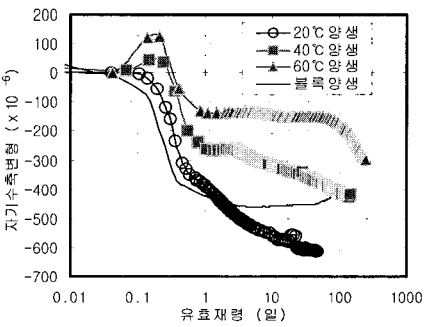


그림 6. 각 양생 온도별 자기 수축 변형의 유효 재령에 의한 표현

함수로서 표현하고자 시도들을 하고 있으나, 머추리티 함수로 표현이 가능한지의 여부도 아직 통일된 견해를 보고 있지 못하다. 최근 들어 가능하지 않다는 실험 보고들이 우세하다. <그림 6>에 자기 수축 변형의 머추리티 적용 예를 나타내었다.¹²⁾ 1종 시멘트를 사용한 W/C 25%의 고강도 콘크리트를 각각 20℃, 40℃, 60℃의 일정한 온도 조건에서 양생시킨 것과, 약 80℃까지 초기에 고온 이력을 보인 블록 공시체에 대한 측정 결과이다. 그림에서 보이듯이 기존의 유효 재령(등가 재령, equivalent age)으로는 적용되지 않는 결과를 보이고 있다. 현재 사용되고 있는 머추리티 함수의 적용이 가능하지 못한 이유는, 재령 초기에서는 시멘트 수화 반응과 함께 경화 작용에 의한 강도나 탄성계수의 발현이 매우 활발하게 진행되므로, 자기 수축 변형의 정확한 출발점(zero point)을 선정하기가 어렵다는 점(일본에서는 통상 응결 시간을 출발점으로 정함), 시멘트 수화반응물 만의 함수로서 연관이 힘들다는 점, 측정된 자기수축변형치가 정확한 값일 것일까 하는 점 등 때문이라고 생각되어지고 있다. 머추리티 함수는 본래 시멘트 수화 반응의 온도 의존성 함수를 압축 강도를 비롯한 콘크리트 물성에 대입한 개념인데, 길이 변화라고 하는 물성은 단순히 시멘트 수화 반응만이 아니라 콘크리트가 지니고 있는 강성과도 관련이 있어 탄성계수의 발현이 활발한 초기 재령에서는 간단히 예측하기 힘들다. 초기 재령에서 콘크리트 균열 발생 예측을 위해서는 자기 수축의 온도 의존성에 대한 정량적인 평가가 반드시 파악되어야 하므로, 더 깊고 많은 검토가 이루어져야 하리라 생각된다.

한편, 자기수축변형치가 정확한 값일 것 일까에 대해서도 아직도 더 많은 검토를 해야 하는 부분이다. 실험실적으로 자기 수축 변형의 측정은 외부로부터 물질 침입이나 이탈 등의 영향을 받지 않게 하기 위하여 공시체를 잘 밀봉하고, 외부 구속을 최소화하기 위하여 테프론 슈트 등을 이용해 공시체를 제작한 다음, 길이 변화를 측

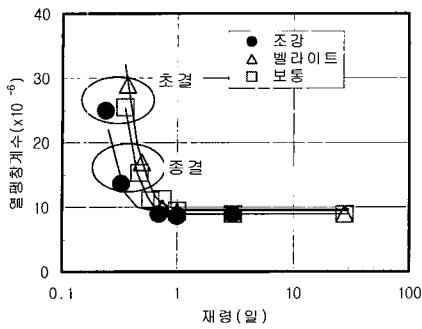


그림 7. 고강도 콘크리트(W/C=25%)의 열팽창계수

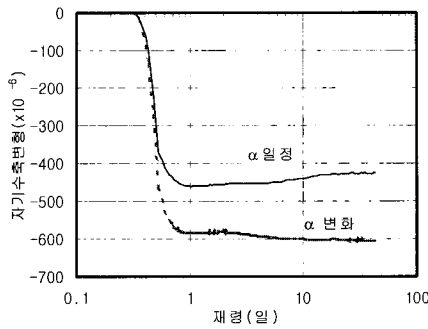


그림 8. 열팽창계수의 변화에 따른 자기 수축 변형 산정 결과

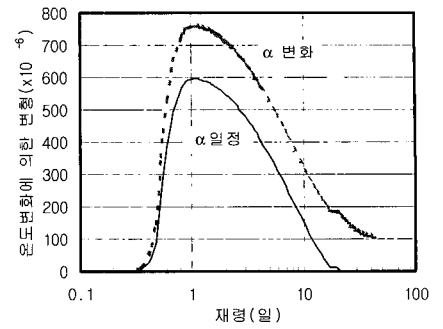


그림 9. 열팽창계수 변화에 따른 온도 변화에 의한 변형 산정 결과

정한다. 이렇게 측정된 길이 변화는 온도 변화 이외에는 외부로부터 아무런 영향을 받지 않았다고 가정되므로, 이 측정값으로부터 온도에 의한 길이 변화를 뺀 값을 자기 수축으로 정한다. 여기에서 온도에 의한 길이 변화가 문제인데, 이는 발생한 온도 변화에 열팽창계수를 곱해서 산정하게 된다. 일반적으로 열팽창계수를 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 가정하던가, 실험에 사용한 동일 조건의 경화 콘크리트 공시체로서 직접 실험을 통해 구한 값을 사용하기도 한다. 그런데, 열팽창계수는 극초기 재령에서 큰 값을 갖고, 시간이 지남에 따라 일정하게 된다고 알려져 있는데, 부재 사이즈의 레벨에서 시멘트 수화열에 의한 발열을 보일 경우, 발열하는 과정 중에 열팽창계수도 변하므로, 온도 변화에 의한 변형은 열팽창계수를 일정하게 가정한 경우와 시간에 따라 변하는 경우와는 큰 차이를 보이게 된다. 따라서 고강도 콘크리트에 있어서 재령에 따른 열팽창계수의 산정은 매우 중요하다. 그러나 고강도 콘크리트의 경우에는 극초기 재령에서 자기 수축 변형이 매우 많이 발생하므로 열팽창계수를 정확히 측정하는 것은 매우 어렵다. 이처럼 열팽창계수의 가정치에 따라 자기 수축 변형 산정에 매우 큰 영향을 미치므로 최근 이에 대한 관심이 매우 고조되어 가고 있다. 몇몇 연구 그룹에서 극초기 재령에서의 열팽창계수를 측정할 바 있는데,¹³⁻¹⁵⁾ <그림 7>에 W/C 25%의 고강도 콘크리트의 열팽창계수 결과의 한 예를 나타내었다.¹³⁾ 대체로 콘크리트 종결 이후에 급속하게 작

아져 일정하게 되는데, 그 패턴은 지수함수적으로 감소하는 것으로 보인다. <그림 8>에 열팽창계수를 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 가정한 경우와 <그림 7>의 재령에 따라 변화하는 경우에 대해서 자기 수축 변형을 산정한 결과이다. W/C 25%의 고강도 콘크리트로서 재령 1일에 80℃까지 고온 이력을 받은 블록 공시체에 대한 산정 결과 예이다. 초기에 고온 이력을 보일 경우 그림과 같이 그 산정 결과가 크게 차이를 나타내므로 주의를 기울일 필요가 있겠다. 이는 <그림 9>와 같은 온도 변화에 의한 변형값이 차이를 보이기 때문이다. 이와 같이 고강도 콘크리트에 있어서 자기 수축 변형은 무시하지 못할 만큼 매우 크며, 내구성 측면에서 매우 중요한 초기 균열 제어라는 관점에서 더욱 많은 검토가 이루어져야 하리라 생각된다.

4. 맺음말

고강도 콘크리트의 내구성에 대하여 염화물 침투 특성과 자기 수축 특성을 중심으로 일본에서 검토되고 있는 내용을 소개하였다.

고강도 콘크리트가 가지고 있는 우수한 특성들과 함께 콘크리트 구조물의 내구성에 대한 사회적인 관심이 매우 고조되어 그 실용화는 매우 기대된다고 볼 수 있으나, 아직도 검토해야 될 많은 과제들이 남아 있다.

우수한 혼화제의 개발로 인해 실험실적으로 고강도 콘크리트를 배합하는 것은 큰

어려움이 없으나, 현장 타설 콘크리트에 대해서는 예상한 만큼의 품질을 얻는 게 쉽지 않다는 점을 비롯하여, 시공상으로도 아직 어려운 점이 많이 남아 있다는 점, 내구성에 대한 정량적인 데이터가 매우 부족하다는 점 등이 있어, 실용화를 위한 산, 학, 연의 보다 적극적인 관심과 공동 연구가 활발히 진행되어야 하리라 생각된다. □

참고문헌

1. 海洋콘크리트構造物の防食指針(案), 日本콘크리트工学協會, 1983.
2. 道路橋の塩害対策指針(案), 日本道路協會, 1984.
3. 콘크리트橋のライフサイクルコストに関する調査研究, 日本土木研究所資料, 2000.
4. 河野広隆 外, 高強度콘크리트の塩分浸透性と電気比抵抗特性に関する研究, 第55回セメント技術大会講演要旨, pp.166~167, 2001.
5. 田中良樹 外, 高強度콘크리트の塩分浸透抵抗性, 第23回콘크리트年次大会, Vol.23, No.2, 2001, pp.517~522.
6. 콘크리트의耐久性向上技術의開發, 建設省綜合技術開發プロジェクト報告書, 1988.
7. 鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現況と今後の動向(その2), 콘크리트技術シリーズ, No.40, 日本土木学会, 2000.
8. N.S.Berke and M.C.Hicks, Predicting Chloride Profiles in Concrete, Corrosion Engineering, Vol.50, pp.233~239, 1994.

- | | | |
|--|--|---|
| <p>9. 콘크리트의 전기비저항による耐久性 평가의基礎的研究, 日本土木研究所資料, 2000.</p> <p>10. 丁海文 外, 高強度콘크리트의 塩分浸透抵に関する研究, セメント콘크리트論文集, Vol.54, pp.348~353, 2000.</p> <p>11. 自己収縮委員会報告書, 日本콘크리트工学協会, 1996.</p> | <p>12. 丁海文 外, 水和熱による温度履歴が高強度콘크리트の自己収縮に及ぼす影響, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol.22, No.2, pp.1117~1122, 1999.</p> <p>13. 丁海文 外, 高強度콘크리트의 線膨脹係數に関する研究, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol.23, No.2, pp.955~960, 2000.</p> | <p>14. 楊 楊 外, 硬化過程にある高強度콘크리트의 線膨脹係數測定方法の一提案, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol.23, No.2, pp.961~966, 2000.</p> <p>15. 宮沢伸吾 外, 若材齡におけるセメントペースト의 熱膨脹係數, セメント콘크리트論文集, Vol.54, pp.215~220, 2000.</p> |
|--|--|---|