기술기사

CSA 팽창재의 콘크리트에 사용

Usage of CSA Expansive Additives for the Concrete

이 선 우* 김 남 호**

1. 서 론

콘크리트는 압축강도에 비해 인장강도가 대단히 낮고, 또한 인장변형도 작기 때문에 콘크리트에 인장력이 작용하면 쉽게 균열이 발생되는 결점을 가지고 있다. 콘크리트는 재료적인 성질에 기인하는 경화, 건조에 의한 수축 또는 수화열에 의한 온도응력에 따라 균열이 발생된다. 철근 콘크리트 구조물로서 이용하는 경우에는 이러한 균열이 직접적으로 구조물을 붕괴하도록 하는 것은 아니지만, 철근을 보호하는 성능을 저하시키거나 빗물등의 침투에 의해 철근을 부식시키기 때문에 구조물의 최대 약점이 되고 있다.

이러한 재료적인 성질에 기인하는 균열은 본질적으로 콘크리트라는 재료의 특성과 관련있기 때문에 이 원인에 의한 균열을 저감시키기 위한 연구는 콘크리트의 역사와 함께 계속되어져 오늘날까지 이어져 오고 있다.

팽창재를 콘크리트에 이용하는 발상은 이러한 콘크리트의 재료적인 성질에 기인하는 균열을 저감하는 것으로 부터 발생된 것으로서 콘크리트가 건조되어 수축하는 것이 시멘트 수화물의 본질적인 구조로서 피할 수 없는 것이라면 반대로 팽창이라는 요소를 콘크리트에 도입한다는 착상으로부터 발생되어진 것이다. 그래서 현재에는 그 목적을 콘크리트의 경화과정에서 팽창하여 콘크리트의 수축을 보상하는 데에만 그치지 않고, 팽창특성을 더 적극적으로 활용하여 콘크리트의 팽창을 강재 등으로 구속하는 것에 의해 콘크리트에 미리 압축응력(케미칼 프리스트레스, Chemical Prestress)을 도입하여 콘크리트 인장강도의 부족을 개선하는 데까지 확장되고 있다.

수축보상 콘크리트는 팽창이 구속되어 발생하는 압축응력이 건조에 따라 발생되는 인장응력을 상쇄할 정도의 팽창력을 부여한 콘크리트로서 수밀성이 요구되는 구조물 등에 이용되고 있다.

* 동양중앙연구소 주임연구원
** 동양중앙연구소 선임연구원

케미칼 프리스트레스 콘크리트는 수축보상 콘크리트보다는 큰 팽창력을 부여하여 건조수축이 발생된 후에도 압축응력이 존재하는 것에 의해 외력에 의해 발생하는 인장응력에 저항하는 것을 목적으로 한 팽창콘크리트이며 콘크리트 이차제품에 주로 이용된다.

본고에서는 CSA팽창재의 개요, CSA팽창재의 수화반응 및 CSA팽창재를 혼합한 콘크리트(이하 CSA팽창콘크리트)의 특성과 적용예에 대해 살펴보고자 한다.

2. CSA 팽창재의 개요

CSA 팽창재는 시멘트 및 물과 혼합하는 경우 수화반응에 의해 주로 에트링자이트 또는 수산화칼슘 등을 생성하여 콘크리트를 팽창시키는 작용을 하는 혼화재로서 정의할 수 있다. 이러한 CSA팽창재는 미국의 ACI 분류에 따르면 K형에 해당하며, 국내에서는 혼화재로서 KS F 2562 「콘크리트용 팽창재」로서 규격화 되어 있다.

CSA팽창재는 석회, 석고, 보오크사이트를 주성분으로 하는 소성화합물(Calcium Sulfo Aluminate)을 적당한 입도가 되도록 분쇄한 것으로 다음의 3가지 주요광물로 이루어져 있으며

- Hauyne $3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot CaSO_4$
- 遊離 石灰 CaO
- 遊離 石膏 $CaSO_4$

이들 광물조성의 수화반응에 의해 생성된 에트링자이트($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)는 수 마이크로미터 정도의 미세한 침상결정으로서 이 결정이 콘크리트중의 미세공극을 충진하고 특히 콘크리트를 팽창시키는 작용을 한다. 이와 같은 팽창은 강도증진에 따라서 생기는 팽창변형으로서 강도발현전에 팽창하는 알루미늄 분말에 의한 가스발생이나 생석회의 수화에 의한 체적증가와는 본질적으로 다른 것이다.

에트링자이트에 의한 팽창기구에 관해서는 결정성장설, 재결정설, 분화설, 팽윤설 등이 보고되고 있으나, 에트링자이트의 결정성장 또는 생성량의 증대가 주요인으로 생각하는 것이 타당하다고 생각된다.

따라서, CSA팽창재를 사용한 콘크리트는 에트링자이트의 생성에 의해 조직을 치밀화하며, 건조수축을 저감하는 동시에 수밀성이 향상되며, 특히 팽창을 구속하는 것에 의해 미리 압축응력을 도입할 수 있는 것이다.

3. CSA팽창재의 수화반응

CSA 팽창재의 수화반응은 아래의 그림 1과 같다.

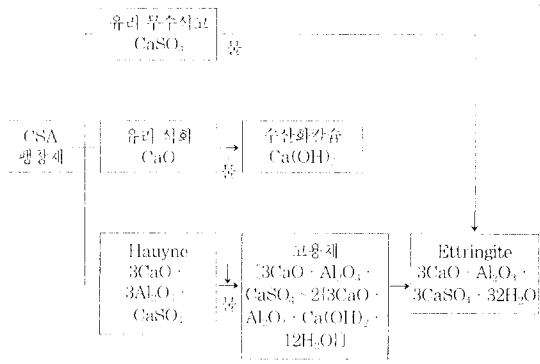

그림 1 CSA 팽창재의 수화반응

그림 1에 따르면 최초에 유리석회의 수화반응에 의해 수산화칼슘 결정이 생성되고 이 결정성장이 팽창에 기여한다. 그러나 이 수산화칼슘은 아우인(Hauyne)과 반응하여 알루민산석회수화물과의 고용체를 형성하며 감소한다. 이어서 유리석고와 반응하여 에트링자이트라는 침상결정을 생성하고, 이것이 팽창의 주체가 된다. 이러한 침상 에트링자이트에 의해 발생되는 팽창력은 콘크리트의 물성개선에 유효하게 작용하며, 이들 콘크리트의 내구성에 손상을 미치지 않도록 작용하기 위해서는 시멘트가 수화하여 경화하는 시기와 팽창하는 시기의 타이밍을 맞추는 것이 무엇보다도 중요하다.

그림 2는 시멘트의 수화속도와 CSA팽창재와의 수화반응시기를 나타낸 것이다. A영역에서 팽창하면 시멘트가 아직 굳지 않은 상태이기 때문에 팽창량은 크지만 팽창력이 흡수되어버려 콘크리트에 팽창에너지(응력)로서 축적되지 않고 콘크리트의 물

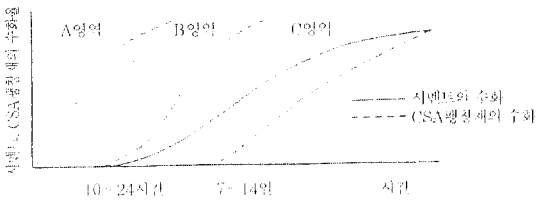

그림 2 시멘트의 수화속도와 CSA 팽창재의 반응시기

그림 3 CSA 팽창재를 혼합한 시멘트페이스트의 전자현미경사진

성은 개선되지 않는다. C영역에서 팽창하는 경우에는 콘크리트가 완전히 경화되었기 때문에 콘크리트의 조직을 파괴할 우려가 있으며, 내구성에 문제를 일으킨다. B영역에서의 팽창은 콘크리트의 강도를 손상시키지 않고 팽창력을 콘크리트 내부에 응력으로 축적시키는 좋은 타이밍이 된다.

CSA팽창재의 수화반응은 온도에 따라 현저하게 다르다. 그림 3은 CSA팽창재를 혼합한 시멘트 페이스트를 각 온도별로 2시간 수화시킨 것의 전자현미경 사진이다.

미세한 침상결정이 에트링자이트, 큰 육각판상결정이 수산화칼슘이다. 20~60℃에서는 수산화칼슘의 결정이 발달되고 있으나, 80℃에서는 확실한 형태를 알아보기 어렵다. 한편 에트링자이트 결정은 수화 2시간에도 고온이 될수록 침상의 결정이 발달하여 있음을 볼 수 있다. 즉 수화온도가 상승하면, 수산화칼슘의 생성은 아우인이 소비됨에 따라 적어지게 되고, 또한 유리 석회(CaO)의 수화는 시멘트의 수화반응과 조화가 이루어지지 않아 시멘트의 수화반응보다 빠르게 수화가 종료된다. 따라서 고온이 될수록 반응이 조기에 진행되어 에트링자이트를 생성하기 때문에 이것은 앞서 서술한 바와 같이 시멘트의 수화속도와 CSA팽창재와의 수화속도를 잘 조화시켜 팽창력이 유효하게 콘크리트 물성 개선에 이바지할 수 있도록 하는 양생방법의 중요성을 나타내고 있다.

또 에트링자이트 결정은 32몰의 결정수를 가지고 있기 때문에 이것이 생성된 후 건조상태에 놓이게 되면 그 결정수가 감소하고 이에 따라 수축한다. 그러나 결정수는 기본골격이 잔류해 있으므로 다시 수분을 공급하면 수분을 흡수하여 팽창하는 가역반응을 되풀이 한다. 이것도 CSA팽창재를 사용한 콘크리트의 양생조건의 중요성을 의미한다.

4. CSA팽창콘크리트의 특성

CSA팽창재는 시멘트, 물, 골재 등과 함께 혼합하여 팽창콘크리트를 만드는 혼화재이다. CSA팽창재가 수화하면 에트링자이트라는 미세한 침상결정을 생성시켜 이것이 콘크리트중의 미세공극을 충진시키고, 특히 콘크리트를 팽창시키는 작용을 한다. 이러한 것에 의해 일반적으로 콘크리트의 건조수축을 저감하고, 팽창을 철근 등으로 구속하는 것에 의해 콘크리트에 압축응력을 도입하여 유인장내력을 증대시킨다.

일반적으로 콘크리트에 혼화재료를 혼합하는 목적은 이 혼화재료에 의한 각각의 특징을 콘크리트에 부여하여 콘크리트의 품질을 그 사용목적에 적합하도록 개선하는 것이다. 그러나 이 때 목적하는 물성을 개선하는 것이 가능하더라도 콘크리트의 다른 물성에 나쁜 영향을 미치는 경우가 있다. CSA팽창재와 같은 혼화재를 혼합하는 경우, 콘크리트의 강도, 내구성 등의 기본적인 물성에 영향을 미치지 않도록 사용하는 것이 중요하다. 즉 적절한 팽창은 콘크리트의 품질을 개선할 수 있으나, 과도한 팽창은 콘크리트의 조직을 파괴하고, 강도를 저하시키며 내구성을 현저히 손상시킨다.

여기서는 CSA팽창콘크리트의 팽창량과 팽창량이 콘크리트의 강도 등과 같은 물성에 미치는 영향에 대해 살펴보기로 한다.

4.1 CSA팽창콘크리트의 팽창량

CSA팽창콘크리트의 팽창율에 영향을 미치는 요인으로는

1) CSA 팽창재 혼합량
2) 시멘트, 골재 등의 콘크리트 재료

3) 콘크리트의 배합

4) 기온, 습도 등의 기상조건

5) 콘크리트의 양생방법

6) 철근등에 의한 구속상태

등 대단히 많이 있다. 그 중에서 특히 영향이 큰 것이 1), 5) 및 6)이다. CSA팽창재 혼합량이 많아질수록 팽창율은 커지게 된다. 그러나 철근등에 의해 구속하는 것이 커질 수록 팽창량은 적어지게 된다. CSA팽창재 혼합량과 철근비가 콘크리트의 팽창율에 미치는 영향을 시험한 결과를 그림 4에 나타내었다. 또 5)의 콘크리트의 양생방법도 팽창율에 미치는 영향이 크다. CSA팽창재의 반응은 수화반응이며, 에트링자이트 결정은 32몰의 결정수를 가지고 있기 때문에 CSA팽창재가 반응하는 5~7일간은 건조하지 않도록 습윤상태에서 양생하는 것이 중요하다.

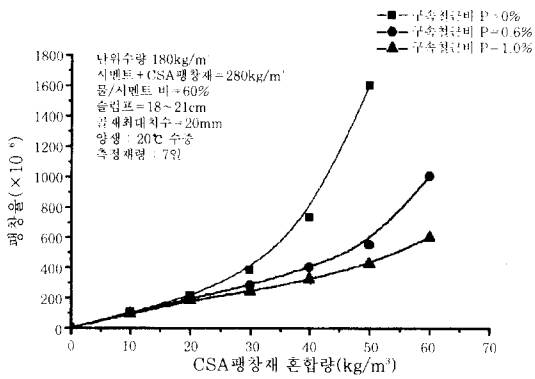

그림 4 CSA 팽창재 혼합량과 팽창율과의 관계

4.2 팽창율과 압축강도의 관계

팽창율과 압축강도와의 관계를 나타낸 것이 그림 5.이다. 팽창율이 $5\sim8\times10^{-4}$ 이하의 경우에는 보통 콘크리트와 거의 동등(강도비가 거의 100%) 또는 그 이상이나 그 이상이 되면 강도저하를 나타낸다.

그림 5는 무구속팽창율 즉 철근에 의해 구속되지 않은 무근콘크리트에서의 실험결과이나 일반적으로 구조물에서 사용되는 철근콘크리트에서는 팽창이 억제되어 강도저하는 일어나기 어렵게 된다. 앞서 나타낸 그림 4에서 보면, CSA팽창재 혼합량과 팽창율은 비례하여 직선적으로 증가하는 어떤 CSA팽창재 혼합량에서 팽창량이 급격히 존재하는 점이 있다.(철근비 P=0%일때는 CSA팽창재 혼합량 30kg/m³ 부근, P=0.6%일때는 CSA팽창재 혼합량 50kg/m³ 부근, P=1.0% 일때는 CSA팽창재 혼합량 60kg/m³ 부근), 그 혼합량 이상으로 CSA팽창재를 혼합하는 경우, 콘크리트의 조직이 파괴되기 시작하기 때문에 팽창율이 급격히 증대하는 것을 나타내고 있다. 그러나 철근비가 커지게 되면 이러한 강도저하는 일어나지 않고, CSA팽창재 혼합량의 한계치도 커지게 된다. 즉 철근이 많이 들어가 있으면, CSA팽창재를 다소 많이 혼합하더라도, 강도저하는 일어나지 않으므로, 이것이 CSA팽창재를 이용하는데 있어 특성이 된다.

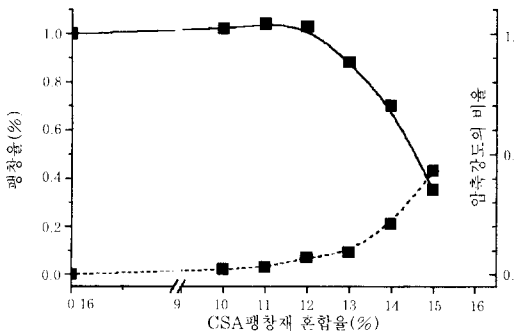

그림 5 팽창율과 압축강도와의 관계

4.3 수밀성

CSA팽창재는 수화하여 시멘트 경화체중의 시멘트겔의 미세한 공극사이로 에트링자이트라는 침상결정이 생성하고, 결국 에트링자이트의 생성은 다량의 수분을 결정수로 고정하기 때문에 콘크리트조직이 치밀화 되고 그 결과 수밀성은 증대된다.

그림 6은 CSA팽창재를 30kg/m³로 혼합한 콘크리트를 재령 28일에서 시험수압 10kgf/cm²으로 투수시험을 행한 결과이다.

물/시멘트 비가 높을 수록 CSA팽창재에 의해 수밀성이 크게 향상되었으며, 무구속상태 보다 구속상태가 더욱 좋은 결과를 나타내었다.

이러한 결과를 볼 때 CSA팽창재를 사용하는 콘크리트의 수밀성은 보통 콘크리트에 비해 매우 우

수한 것을 알 수 있다.

이처럼 CSA팽창재를 사용한 콘크리트의 수밀특성은 균열방지특성과 함께 콘크리트 구조물의 방수공법으로의 활용이 가능함을 보여주고 있다.

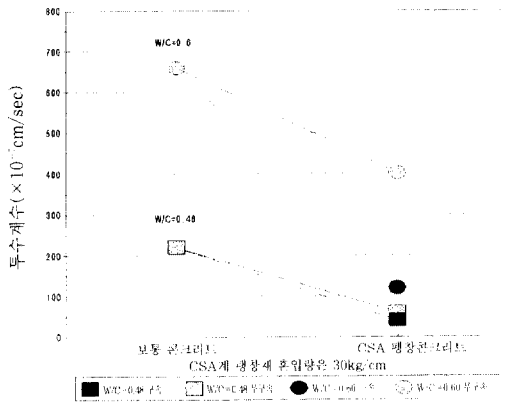

그림 6 CSA 팽창콘크리트의 수밀특성

5. CSA팽창콘크리트의 용도

CSA팽창콘크리트를 그 팽창력의 크기에 의해 용도를 크게 나누면, 수축보상 콘크리트와 케미칼 프리스트레스 콘크리트 나눌 수 있다.

전자의 수축보상 콘크리트는 CSA팽창재량이 비교적 작고, 따라서 팽창력이 적은 콘크리트이며 건조수축에 의한 인장응력을 상쇄 또는 저감할 수 있어 콘크리트의 건조수축균열을 저감하는 목적으로 사용되는데 주로 현장타설용 콘크리트로서 시공이 이루어진다.

한편 후자의 케미칼 프리스트레스 콘크리트는 팽창재를 다량 사용한 콘크리트로서 철근에 의해 팽창을 구속하는 것에 의해 발생하는 케미칼 프리스트레스가 건조수축에 의해 감소되어도 여전히 잔존하여, 이것에 의해 콘크리트의 곡인장내력을 증대시키는 목적으로 사용되며, 주로 흄관을 비롯한 콘크리트 이차제품에 많이 사용되고 있다.

이들 콘크리트의 재령에 따른 팽창 · 수축특성을 보통 콘크리트에 대비하면 그림 7와 같으며 각각의 구체적인 용도는 다음과 같이 정리하였다.

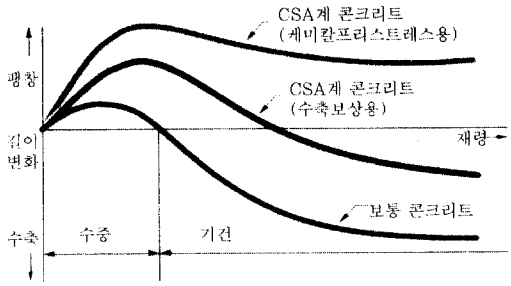

그림 7 CSA 팽창재를 혼합한 콘크리트의 팽창 · 수축특성

5.1 수축보상 콘크리트

수축보상 콘크리트는 대부분 현장타설 콘크리트용으로 이용되며, 레미콘공장에서 CSA팽창재를 투입한다.

CSA팽창재의 혼합량은 보통 30kg/m³ 정도이며, 이때의 팽창율은 150~250×10⁻⁶이다. 콘크리트는 원래 인장강도가 적어 균열이 발생하기 쉬운 재료이다. 따라서 설계상에서는 콘크리트의 인장강도는 0으로 하고 인장응력은 전부 철근이 부담하도록 계산하고 있기 때문에 균열이 발생되어 바로 파괴되는 것은 아니다. 그러나 균열폭이 일정 이상이 되면 염분이나 황화물이 함유된 공기나 물이 침입하여 철근을 부식시켜 콘크리트 내구성에 큰 영향을 미친다. CSA팽창콘크리트는 이러한 팽창에 의해 건조수축을 보상하고, 이와 같은 유해한 균열을 발생시키지 않도록 하는 유효한 수단의 하나로서 이용되고 있다. 이러한 수축보상 콘크리트로서의 CSA팽창재는 빌딩, 창고 등의 벽, 바닥, 하수처리장, 수조, 지하구조물 등의 수밀성이 요구되는 콘크리트 구조물에 이용되고 있다.

이와 같은 용도에 사용되는 CSA팽창재는 25kg지대나 1톤 bag에 포장되어 레미콘 공장에 운반되며, 레미콘을 생산할 때 시멘트, 골재 등의 다른 재료와 함께 믹서에 투입한다. 최근 콘크리트 믹서의 대형화, 고성능화에 따라 단시간에 대량이면서도 정확한 양의 CSA팽창재를 투입할 필요성이 있으며, 상당한 기술을 요하는 작업으로 인식되고 있다.

5.2 케미칼 프리스트레스 콘크리트

케미칼 프리스트레스는 CSA팽창재가 팽창하는 것에 의해 내부에 철근이 긴장되고 이 반력으로서 콘크리트에 도입되는 압축응력이다(그림 8).

$$\sigma_{cp} = \varepsilon_s \times E_s \times A_s/A_c$$

여기서 σ_{cp} : 케미칼 프리스트레스
ε_s : 구속강재의 탄성계수
E_s : 구속강재의 변형
A_s : 구속강재의 단면적
A_c : 콘크리트의 단면적

이처럼 미리 압축응력을 도입시켜 놓으면 하중에 의해 콘크리트에 곡강도나 인장력이 작용할 때 그 균열내력을 현저하게 증대시킨다.

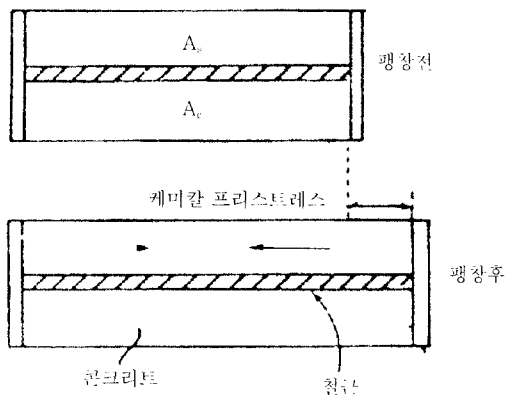

그림 8 CSA 팽창재에 의한 케미칼 프리스트레스 도입 모델

또 균열이 발생되어도 그 균열폭은 보통 콘크리트보다 작은 특성이 있다. 케미칼 프리스트레스 콘크리트는 수축보상용 콘크리트보다 큰 팽창력을 필요로 하며, CSA팽창재의 사용량은 40~65kg/m³이다. 이때의 팽창량은 400~1000×10⁻⁶이다. 케미칼 프리스트레스 콘크리트는 현장에서 사용하는 재료에 따라 팽창량이 다르고, 기상조건등이 변화하게 되면 필요한 팽창량을 관리하는 것이 곤란하기 때문에 현장타설용으로는 거의 사용되지 않고 있다. 그러나 제조관리가 비교적 쉬운 콘크리트 이차제품에서는 사용이 활발하다.

그 용도중에서 가장 많이 사용되고 있는 것은 하수도에 사용되고 있는 원심력철근 콘크리트관이며, 이 콘크리트에 적정량의 CSA팽창재를 혼합하여 제조하면, 외압이 작용할 때의 균열하중은 보통 콘크리트의 최대 2.5배까지도 증대된다.

5.3 수화열 억제용 콘크리트(특수CSA 팽창재 사용)

콘크리트구조물의 원인으로서 온도응력을 무시할 수는 없다. 콘크리트의 균열은 비교적 단면이 얇은 구조물에서는 건조수축에 의한 균열이 많으나, 단면이 두껍게 되면 시멘트나 CSA팽창재가 반응할 때 생성되는 수화열에 의해 콘크리트가 온도상승이 된 후, 하강시에 균열이 발생하는 경우가 많다. 따라서 CSA팽창재에 의한 건조수축에 의한 균열방지와 더불어 수화열에 의한 온도응력을 어떠한 방법으로 억제할 수 있는지가 중요한 문제로 대두되고 있다.

수화열억제용 CSA팽창재는 보통 CSA팽창재에 수화열을 억제할 수 있는 특수한 혼화제 등이 첨가되어 있어 고온이 되면, 이것이 용해되어 시멘트와 CSA팽창재의 반응을 지연하는 작용을 하게 된다. 이러한 작용에 의해 수화열에 의한 콘크리트의 온도상승을 억제하고, 수화열에 의한 균열발생을 억제할 수 있다.

이와 같은 수화열억제용 CSA팽창재는 지하철, 기타 지하구조물의 벽체, 원자력발전소의 차폐콘크리트 등 비교적 부재의 크기가 큰 매스콘크리트에 사용된다.

6. CSA팽창재의 사용예

6.1 수축보상을 목적으로 하는 현장타설 콘크리트

1) 수조, 정수장, 수영장 및 사이로

이와 같은 수밀성을 요구하는 구조물에 CSA팽창재를 적용하면 건조수축에 의한 균열발생을 저감할 수 있으며, 이것에 의해 누수를 방지하는 것이 가능하다. 또한 수밀성을 향상시키는데 상당한 효과가

있다. 한가지 고려해야 할 것은 벽의 두께가 비교적 큰 구조물이나 특히 여름에 시공하는 경우, 시멘트의 수화열에 의한 온도균열이 발생할 가능성이 있기 때문에 이를 방지하기 위해 수화열억제형 CSA 팽창재를 사용하는 것을 검토하여야 한다.

2) 지하구조물

공장등의 설치되는 지하구조물에 CSA팽창재를 사용하여 균열을 방지하는 것에 의해 누수 등을 막을 수 있다. 또한 지하철공사 등에서 측면벽이 먼저 타설된 후에 시공되는 슬라브에 CSA팽창재를 사용하여 수축을 억제하고, 측면벽과 슬라브와의 일체화를 시도해 누수방지를 행하는 경우도 있다.

3) 연속 콘크리트 도로 포장판

콘크리트 포장의 결점중의 하나는 포장판의 팽창 및 수축에 의해 생기는 포장판의 응력을 완화하기 위해 줄눈을 필요로 하는 것이다. 이러한 줄눈은 자동차의 주행감을 떨어뜨리고, 빗물이 줄눈으로 부터 침입하여 노반을 파괴하고 더 나아가서는 포장판 파괴의 원인이 되기도 한다.

이러한 줄눈의 기능에 대해 간단히 설명하면 팽창줄눈은 콘크리트의 온도팽창에 의해 생기는 압축응력을 완화하는 것이며, 수축줄눈은 반대로 콘크리트의 온도강화, 건조수축 등에 의해 생기는 인장응력을 저감하기 위한 것으로 이론적으로 팽창줄눈의 간격을 100m 이상으로 하는 것도 가능하다. 하지만 수축줄눈은 일반적으로 콘크리트의 인장강도가 작기 때문에 줄눈간격을 10m 이상으로 하는 것은 불가능하다고 알려져 왔다.

그러나 콘크리트의 인장강도가 대단히 낮은 타설초기에 수축이 발생하지 않도록 한다면 인장응력에 의한 초기 균열방지는 가능하며, 콘크리트의 경화가 상당히 진행되어 강도가 증대되고 인장강도가 20~30kgf/cm^2 정도가 되면, 줄눈간격을 50~100m 정도로 하여도 수축에 의한 인장응력에 대해서 상당한 내성을 가지게 하는 것이 가능하다. 따라서 콘크리트에 초기 건조수축이 발생되지 않도록 CSA팽창재를 혼합하면, 수축줄눈을 고려하지 않고 팽창줄눈만으로 줄눈간격을 설계하여 연속적인 콘크리트 도로포장판을 시공할 수 있다.

4) 방사선차폐용 콘크리트

원자력발전소에서 방사능차폐용 콘크리트의 균열방지를 목적으로 팽창콘크리트를 사용하는 경우가 있다.

6.2 콘크리트 이차제품

콘크리트 이차제품에 사용되는 CSA팽창재는 일반적으로 단위 CSA팽창재량이 많고 케미칼프리스트레스를 도입하여, 부재의 균열내력을 증대하는 목적으로 사용된다.

1) 흄관(Hume Pipe)

흄관은 원심성형에 의해 제조되는 철근 콘크리트관으로서 주로 하수도용 수로로서 오래전 부터 사용되고 있다. 현재 국내에서도 교통량의 증가, 도로운행 차량의 하중증대 구경의 대형화에 따라 외압강도가 높은 흄관이 시대적으로 요구되고 있으며, 1991년 흄관의 공업규격의 개정에 따라 균열하중이 30~50% 향상되었기 때문에 이를 만족시키기 위해 CSA팽창재 사용하여 고강도 흄관을 제조하려는 시도가 이루어지고 있다.

CSA팽창재를 흄관제조에 사용하면 CSA팽창재에 의한 팽창력이 흄관의 원주방향으로 배치된 철선에 의해 구속되기 때문에 케미칼 프리스트레스를 도입할 수 있으며, 외압에 의한 흄관의 균열하중은 보통관의 최대 2.5배 이상 증대된다. 특히 구경이 비교적 큰 600mm 이상의 중대형 2종 흄관제조에는 CSA팽창재를 사용하여 케미칼 프리스트레스를 도입하는 것이 가장 안정적이며 효율적이라고 판단되며 현재는 생산하지 못하고 있는 1종 흄관의 제조시에는 필수적이라고 생각된다.

호칭지름 1,200mm, 두께 95mm, 길이 2,430mm의 B형 흄관의 제조시 단위시멘트량을 400kg/m^{3}로 고정하고, 단위 CSA팽창재량을 각각 45, 55, 65, 75kg/m^{3}으로 변화시켜 실험하였다. 이때의 주철근비는 0.52%, 부철근비는 0.14%였으며, 증기양생조건은 전치 3시간, 65도 승온 2시간, 65도 유지 4시간 이후 자연냉각 후 탈형하여 1주일간 살수양생을 행하였다.

재령 2주에서의 외압강도실험을 행한 결과를 그림 9에 나타내었다. CSA팽창재를 사용한 흄관의 균열하중은 사용하지 않은 경우에 비해서 1.28~

1.8배의 균열하중을 나타내며, 특히 75kg/m^3 사용하는 경우에는 1종 흄관 규격도 만족시키고 있는 것을 보여주고 있다.

CSA팽창재를 사용하여 흄관을 제조할 때에 가장 중요하게 생각되는 것은 물/시멘트 비와 케미칼 프리스트레스양이라고 할 수 있다. 이 때 케미칼 프리스트레스양은 단위 CSA팽창재량, 물/시멘트 비, 철근비, 증기양생조건, 탈형 후 양생방법에 따라 변화할 수 있다. 따라서 흄관의 제조시 CSA팽창재를 사용하는 콘크리트의 배합은 소요강도, 팽창율, 작업성을 가지는 범위내에서 단위수량을 가능한 한 적게 되도록 검토하는 것이 바람직하다.

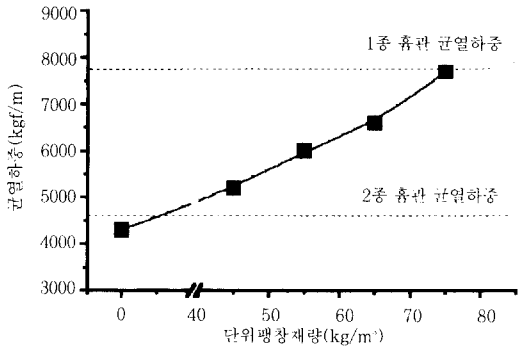

그림 9 CSA 팽창재를 사용한 흄관의 균열강도

2) 박스컬버트(Box Culvert)

박스컬버트에 CSA팽창재를 사용하는 경우에는 케미칼 프리스트레스작용에 의해 단면 두께가 얇으면서 보통 박스컬버트와 동일한 균열내력을 얻을 수 있도록 설계가 가능하며, 이 때문에 제품의 중량은 가볍게 된다. 또한 하중을 제거한 경우에 균열의 복원력이 커지게 된다.

현재 박스컬버트는 현장타설 콘크리트가 대부분 사용되고 있으나, 앞으로 노무자 부족이나 공사 기간을 단축하기 위해 공장제품의 수요가 증가될 것으로 예상되므로 이러한 용도의 CSA팽창재의 사용도 기대된다.

7. 결 론

CSA팽창재는 국내에서는 아직 까지 사용실적이 많지는 않지만 일본의 경우에는 년간 6만톤 정도 생산되어 활발히 사용되고 있으며, 현장타설용 콘크리트를 비롯해서 콘크리트 이차제품분야 까지 폭넓게 사용되고 있다. 국내에서도 콘크리트의 근본적인 문제점인 건조수축에 의한 균열발생이 오래전부터 문제시 되어져 왔고, 이에 대한 뚜렷한 대책을 마련하지 못한채 발생된 균열을 보수하거나 그대로 방치하고 있어 사회적인 문제가 되고 있다.

따라서 국내에서도 이러한 CSA팽창재를사용하여 근본적으로 건조수축에 의한 균열발생을 억제하여, 콘크리트의 품질향상을 추구해야 할 것으로 생각되며, 앞으로 건설업계를 비롯한 학계에서도 이에 대한 관심을 기울여 CSA팽창재에 대한 사용 기술 및 시공기술의 개발을 진행하여야 할 것으로 판단된다.