

폴리프로필렌섬유와 메탈라스를 이용한 철근콘크리트 기둥의 폭열 방지 및 내화성능 향상 공법

건설 신기술 454호

1. 기술개발 배경

건축물은 화재시 인명안전, 재산보호의 관점에서 일정 시간동안 내화성능을 확보할 필요가 있다. 따라서, 우리나라 건축법에서는 공공 시설물 및 공동주택 등의 주요 구조부를 내화구조로 시공하도록 규정하고 있는데, 특히 최근과 같이 건축물이 고층화할수록 화재시 안전 대책의 마련은 더욱 중요하다.

그런데, 그동안 콘크리트는 건축구조재료 중 내화성능이 우수한 재료로 알려져 과거 및 현재의 일반적인 콘크리트 구조물에는 대부분 보통강도의 콘크리트가 사용 되어짐에 따라 화재시 폭열 등 내화성에 대한 심각한 우려가 발생하지 않았으나, 최근 및 미래의 건축 구조물인 경우는 고층화·대형화와 함께 장수명화를 꾀하면서 콘크리트도 고유동, 고강도 및 고내구성의 고성능화로 변화면서 화재시 폭열 및 내화성 부족에 대한 안전문제가 중요시되고 있다.

이러한 고강도 콘크리트의 화재에 대한 안전대책으로 일본의 경우는 불에 약한 폴리프로필렌섬유 (이하 PP섬유라 함)를 콘크리트에 혼입시켜 주르로서 폭열방지 대책을 마련하고 있으나 국내의 경우에는 이에 대한 대책마련 등 관련연구가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

특히 일본의 경우는 콘크리트의 주재료인 골재가 내화성이 양호한 안산암으로써 콘크리트 자체에 내화적인 요소를 함유하고 있으나 국내의 경우는 불에 약한 화강암으로써 골재에 대한 내화성의 부족도 더욱 크게 우려되는 실정이다.

2. 국내의 내화성능 향상에 관한 현황

1) 국내건축구조물의내화시간규정

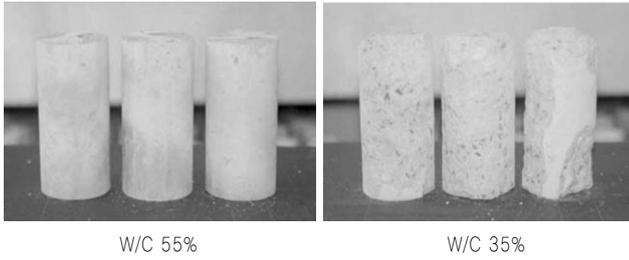
우리나라 건축물의 내화기준에서는 주요 구조부에 요구되어지는 내화성능을 화재시 부재의 역학적 중요성에 의해 일정 시간 이상으로 견디는 성능을 규정하고 있다. 또한 층별높이에 따라서는 최상층에서 2~4층 및 옥상부분은 1시간 내화를 요구하는 층, 최상층에서 5~14층은 2시간 내화를 요구하는 층, 최상층에서 15층 이상은 3시간 내화를 요구하는 층으로 구분하고 있다.

내화구조의 내화성능 평가는 일반적으로 KS F 2257의 건축구조부분의 내화시험 방법에 의해 실시되어지는데, 내화시험방법은 부재가 표층적인 화재 가열을 받았을 때에 정해진 한계에 도달하는 것이 아니라 요구하는 내화시간 이상으로 견디는지 여부를 판정하는 방법이다.

2) 보통강도 및 고강도 콘크리트의 내화시험결과

〈사진1〉은 일반적으로 사용되는 보통강도 영역인 W/C 55%와 고강도 영역인 W/C 35%인 콘크리트 공시체를 1시간 내화 규정으로 '청주대학교 한천구 교수 연구팀'에서 실시한 결과이다.

실험결과 아래 〈사진1〉과 같이 일반강도인 경우는 폭열이 일어나지 않았으나, 고강도 콘크리트인 경우는 콘크리트 표면부의 박리, 탈락 등 폭열을 일으키는 것으로 나타났다.

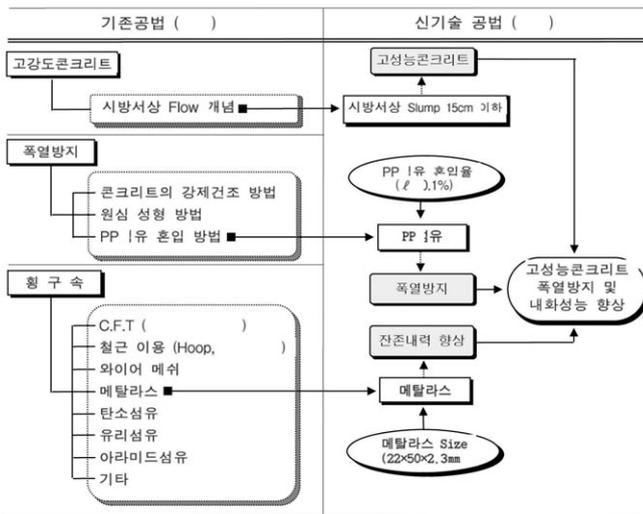


〈사진1〉 1시간 내화시험 후 콘크리트 공시체의 모습

상기의 결과와 같이 고강도콘크리트에서는 폭열현상이 심하게 나타나, 고성능콘크리트 사용 건축물인 경우에는 폭열방지 및 내력향상 등 내화대책이 요구된다.

3. 본 신기술의 공법 개요

현재 국내에서는 폭열방지 및 내화성능 향상에 대한 특별한 대책이 없는 것이 현실이다. 단, 내화구조의 선진국인 일본에서는 PP섬유를 혼입하여 폭열을 방지하고 있는데, 본 신기술에서는 향후 고성능 콘크리트의 내화대책에 대한 대안으로써 PP섬유를 혼입하여 폭열을 방지하고, 메탈라스로 황구속하여 잔존내력을 향상시키는 공법을 아래와 같이 개발하고자 하였다.



4. 본 신기술의 공학적 원리 및 특성

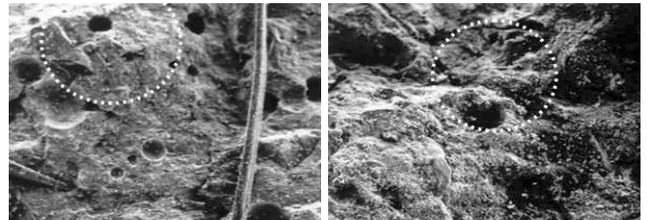
본 신기술은 화재시 폭열방지 및 잔존 압축강도를 향상으로 내화성능을 향상시키기 위한 공법이다. 즉, PP섬유를 혼입하여 타설함으로써 화재시 섬유가 녹은 자리로 내부 수증기압을 방출시켜 폭열을 방지하고, 또한 화

재시 팽창·이완되는 콘크리트 조직을 메탈라스로 황구속하여 잔존 압축 강도를 향상시킴으로서 내화성능을 향상시키는 공법이다.

1) PP섬유 혼입 고성능 콘크리트의 폭열방지

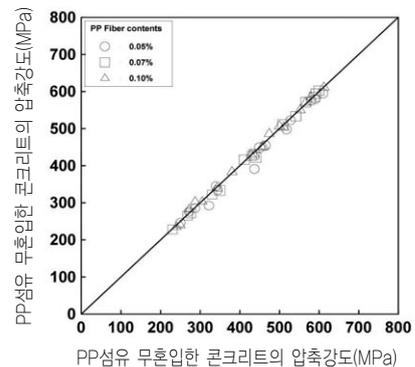
일반 생활에서 주전자에 물을 끓일 때 수증기가 빠져나오는 배출구가 없으면 주전자는 폭발하게 될 것이다. 이를 방지하기 위하여 주전자 뚜껑에 수증기 배출구가 있다는 것은 일반적으로 인지하고 있는 사실이다.

콘크리트의 폭열방지도 이와 같은 원리로서 화재시 갑작스런 고온에 의해 수증기가 높은 밀도에 이르렀으나 외부로 빠져나가지 못해 콘크리트의 인장강도보다 수증기압이 높게 되면 콘크리트 구조체의 표면이 심한 폭음과 함께 박리·탈락하는 현상을 말하는 것으로서, 본 신기술의 원리는 PP섬유가 고온에서 용해 될 때 생기는 공간이 수증기의 배출 통로가 됨으로써 콘크리트의 폭열을 방지하는 것이다. 아래 〈사진2〉는 내화시험 전의 콘크리트속의 PP섬유를 나타낸 사진이고, 〈사진3〉는 내화시험 후의 콘크리트속에 PP섬유가 녹아 생긴 수증기의 통로를 보여주고 있다.



〈사진 2〉 화재시험 전 콘크리트속의 PP섬유 형상 〈사진 3〉 화재시험 후 녹은 PP섬유 자리

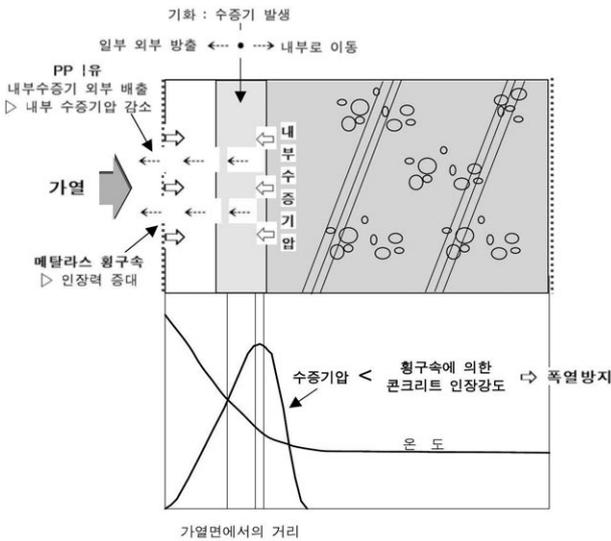
또한, PP섬유 혼입으로 인한 강도저감에 대한 우려가 있으나 〈그림 1〉과 같이 PP섬유를 혼입한 콘크리트의 압축강도와 PP섬유를 혼입하지 않은 콘크리트의 압축강도를 비교하면 결과 압축강도에 미치는 PP섬유의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.



〈그림1〉 압축강도에 미치는 PP섬유의 영향

2) 메탈라스 황구속에 의한 고성능 콘크리트의 내화성능 향상

PP섬유를 혼입한 콘크리트는 내부 수증기가 외부로 배출되어 폭열을 방지한다. 하지만 국내에서 콘크리트의 주요 골재로 사용하고 있는 화강암은 불에 약한 골재로써 화재시 화강암의 주성분인 석영분이 팽창 붕괴되어 잔존강도를 저하시켜 내력이 저하된다. 따라서 본 신기술은 메탈라스로 콘크리트를 황구속하여 구조체의 내력을 향상시키는 공법이다. 아래 <그림2>는 메탈라스 황구속에 의한 내력향상을 공학적 원리로 나타낸 모식도이다.

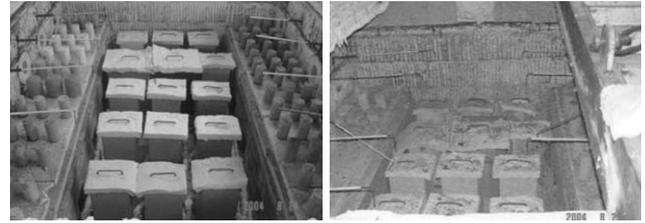


<그림2> PP 섬유 및 메탈라스를 황구속한 콘크리트의 모식도

5. 현장 적용을 위한 Mock-up Test

본 실험에서는 현재 실무에서 적용되고 있는 고성능 RC기둥인 플레인과 가력시험 실험에서 내화성능이 입증된 PP섬유 혼입, PP섬유와 메탈라스의 황구속의 병용 및 마감재로 내화 PC판을 부착한 실제 기둥부재를 대상으로 3시간 재하 가열시험을 실시하여 실제 구조체 조건에서의 화재시 고성능 콘크리트 구조물의 폭열 및 내화성능을 검토하였다.

내화시험은 한국건설기술연구원 방내화 시험동의 기둥 가열로 내에 수직으로 배치하여 놓고, 최대 설계 축하중의 50%인 93.5t를 재하한 후 같이 KS F 2257-1에서 규정하는 표준가열곡선으로 3시간 가열을 실시한 후 RC기둥 부재의 폭열성상을 관찰하였다. 이때, RC기둥부재의 중심부 및 표면에 K타입 열전대를 매설한 후 데이터로거를 이용하여 내부 온도이력을 측정하였다.



<사진4> 고성능 콘크리트의 비가력 Mock-up 실험 모습 (가열전·후 모습)



<사진5> 고성능 콘크리트의 비가력 Mock-up 실험 모습 (모의부재 압축강도 측정 모습)

1) RC기둥의 폭열성상

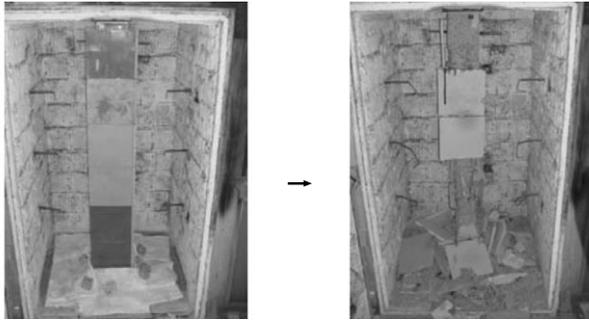
<사진6>은 마감이 없는 플레인과 내화 PC판으로 마감한 실제 기둥부재, PP섬유를 0.1% 혼입한 실기둥부재 및 PP섬유 0.1% 혼입과 메탈라스 황구속을 병용한 실제 기둥부재를 대상으로 재하가열시험을 실시한 후의 폭열모습을 나타낸 것이다.

먼저, 플레인은 심한 파괴폭열로 철근이 노출되었고, 이후 철근이 고온을 받으므로써 구조내력이 저하하여 재하가열시험 2시간만에 <사진4>와 같이 주근이 좌굴되어 붕괴되었으며, 내화 PC판은 플레인과 유사한 경향으로 파괴폭열이 발생하였으나, 재하가열시험 1시간 40분으로 플레인보다 오히려 빠른 시간에 붕괴되었다. 이는 내화 PC판이 재하가열시험 초기 내화 PC판에 의해 고온이 차단되었으나, 지속적인 고온에 의해 고정철물이 기능을 상실하여 내화 PC판이 탈락하므로써 갑작스런 고온이 콘크리트 표면에 접하면서 더욱 심한 파괴폭열과 함께 철근이 노출되어 플레인보다 다소 빠른시간에 붕괴된 것으로 사료된다.

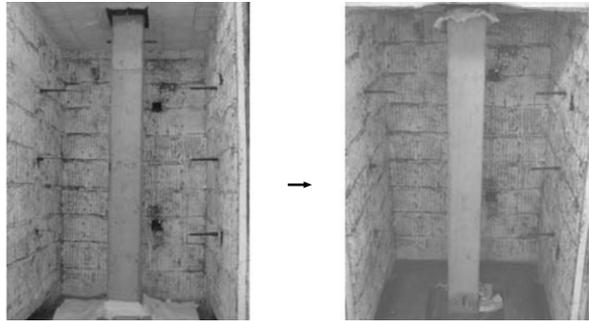
한편, PP섬유를 0.1% 혼입한 RC기둥과 메탈라스 황구속을 병용한 경우는 효과적으로 폭열이 방지되어 기둥부재의 형상을 그대로 유지하고, 재하가열 3시간의 내화성능을 만족하는 것으로 나타났다.



Plain



내화 PC판



PP섬유



PP섬유 + 메탈라스

〈사진 6〉 가력 Mock-up 내화시험 전·후 모습

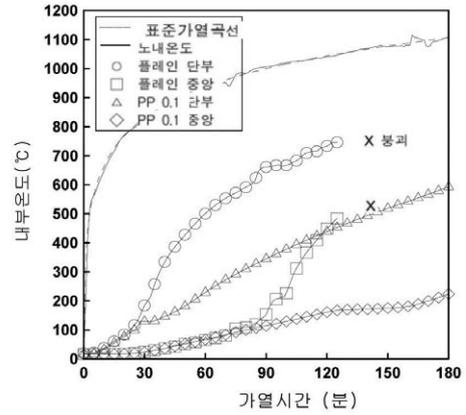
2) RC기둥의 내부온도이력

〈그림3〉은 플레인과 PP섬유를 0.1% 혼합한 재하가열 기둥부재에 대한 내부온도이력을 나타낸 것이다.

먼저, 기둥 가열로 내부온도는 표준가열곡선을 만족하는 온도이력으로 나타났고, 마감이 없는 플레인 기둥의 온도이력은 피복두께 40mm의 피철근 위치에 매설한 단부의 경우 가열시간 30분 이후, 중앙부분은 90분 이후부터 온도가 급격히 상승하였는데, 이는 폭열에 의해 피복 콘크리트가 탈락한 것에 기인하여 단부 및 중앙부의 온도가 급격히 상승한 것으로 판단된다. 또한, 플레인은 지속적인 폭열 발생으로 〈사진6〉같이 철근이 노출되어 가열시간 60분 이후부터 강재의 허용온도인 500℃를 초과하였고, 이후 지속적인 온도상승으로 구조내력이 상실되어 120분 만에 플레인 기둥부재가 붕괴되었다.

한편, PP섬유를 0.1% 혼합한 RC기둥은 PP섬유에 의한 폭열방지

효과로 단부 및 중앙부 모두 가열로내 온도상승에 따라 비례적으로 증가하였고, 단부의 경우 가열시간 150분부터 강재의 허용온도를 초과하였으나, 3시간 내화는 만족하였다. 이때, 3시간 내화시험 후의 단부 최고온도는 590℃, 중앙부 최고온도는 220℃로 나타났다.



〈그림 3〉 플레인 및 PP섬유를 0.1%혼입 RC기둥부재의 재하가열시 내부온도이력



〈사진 7〉 내화시험 후 기둥 주근의 좌굴 모습

8. 맺음말

본 고에서는 향후 초고층 건축물에 주로 사용되어질 고성능콘크리트의 화재시 폭열방지 및 내화성능 향상에 대한 대처방안의 하나로 '폴리프로필렌 섬유와 메탈라스를 이용한 철근콘크리트기둥의 폭열방지 및 내화성능 향상 공법'을 소개하였다.

선진국인 일본의 경우에는 PP섬유 만으로도 폭열을 방지하고 있으나, 이는 콘크리트의 주재료인 골재가 불에 강한 안산암인 경우로, 국내의 불에 약한 화강암이 주재료인 경우에는 폭열방지 뿐 만 아니라 잔존내력을 향상시켜야 한다는 결론을 얻게 되었다. 따라서 본 신기술과 같은 메탈라스로 부재를 황구속 하여야만 잔존내력 향상에 의한 내화성능을 유지 할 수 있을 것으로 판단된다.

현재까지의 연구결과를 토대로 기술개발을 지속시켜 향후 고성능 콘크리트의 내화성능 향상을 위한 효과적인 방법으로 활용되길 기대해 본다.