

합성구조의 내화구조인정

– TSC 합성보 내화구조인정 사례를 중심으로 –

(Fire Resistance Construction Certificate of Composite Structure)

김 성 배 (Kim, Sung-Bae), (주)센구조연구소, 공학박사, 소장, withksb@hanmail.net

이 창 남 (Lee, Chang-Nam), (주)센구조연구소, 구조기술사, 대표이사

이 준 석 (Lee, Jun-Suk), (주)성현케미칼, 대표이사

1. 서론

2년 전 모 회사에서 한국건설기술연구원(이하 건기연)에 TSC 합성보의 내화성능 및 내화구조인정 여부에 대한 질의·회신이 있는 후 TSC 합성보의 내화성능 오해로 경제적인 기회손실이 발생하였다. 엔지니어 판단으로 당연히 되었던 내화 피복재에 의한 내화성능확보는 관련기관의 유권해석 혼선으로 어려움이 야기되었고, 마침내 2009년 9월 28일 TSC 합성보의 3시간, 2시간 내화구조인정을 획득하였다. 그 동안 내화구조인정을 통해 터득한 단편적인 지식들과 TSC 합성보의 내화성능을 설명하고, 앞으로 있을 합성구조의 내화구조인정 절차에 관한 제언을 하고자 한다.

2. 내화구조란?

국내 내화구조에 관한 건축법과 시행령, 규칙 등을 보면, 내화구조는 건축법(2009. 4. 1 개정) 제50조①항에 ‘문화 및 집회시설, 의료시설, 공동주택 등 대통령령으로 정하는 건축물은 국토해양부령으로 정하는 기준에 따라 주요구조부를 내화구조로 하여야 한다’고 되어 있다. 또한 건축법 시행령(2009. 10. 1 시행) 제2조 7항에 ‘내화구조란 화재에 견딜 수 있는 성능을 가진 구조로서 국토해양부령이 정하는 기준에 적합한 구조를 말한다’. 건축법 시행령에서 말한 ‘국토해양부령이 정하는 기준에 적합한 구조’는 국토해양부령 제147호 ‘건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙(2009. 7. 1 시행) 제3조 1항~7항에 설명되어 있다. 간단히 정리하면 표 1과 같이 벽, 기

둥, 바닥, 보, 지붕, 계단 등의 주요 구조부에 대해 철근콘크리트조와 철골 철근콘크리트조 등으로 구분하여 각 해당사항을 열거하고 있으며, 이를 법정 내화구조라 한다.

그 외 국토해양부령이 정하는 기준에 적합하지 않은 주요 구조부는 국토해양부령 제147호 제3조 8항에 의해 ‘한국건설기술연구원의 장이 국토해양부장관이 정하여 고시하는 시험방법에 따라 품질시험을 한 결과 국토해양부장관이 정하여 고시하는 내화구조의 성능기준에 적합하다고 인정된 것’을 내화구조로 정의할 수 있으며, 이를 인정 내화구조라 한다. 예를 들면 뿔철재나 페인트, 석고보드 등을 강재 표면에 피복하여 내화성능을 확보하는 일련의 방법과 제품 등이 이에 해당된다. 인정 내화구조의 내화성능 검증은 국토해양부 고시 제2009-864호 ‘내화구조의 인정 및 관리기준(2009. 9. 4 개정)’과 ‘내화구조의 인정 및 관리업무 세부운영지침(2008. 7. 15 개정, 이하 세부운영지침)’에 따라 내화성능시험을 한다. 상기 세부운영지침에 구체적인 내화구조의 인정절차와 시험체 제작, 품질시험방법 등이 상세하게 정리되어 있다. 이 시험방법에 준해 시험한 결과 내화성능이 확인되면 한국건설기술연구원장에 의해 내화구조 인정서를 발부받게 된다. 발부된 내화구조인정서는 건기연의 홈페이지를 통해 확인할 수 있으며, 인정기간은 3년이다.

마지막으로 상기 법정 내화구조 및 인정 내화구조 이외에 KS 내화구조를 들 수 있다⁽¹⁾. KS 내화구조는 한국산업규격에 등재되어 인정된 내화구조를 말하며, 적법한 시험을 통해 내화성능을 확인한 경우, 내화성능표준으로 제시하여 추가적인 시험 없이 내화성능을 인정하는 방법이다. 한국산업규격에 등재

표 1. 법정 내화구조(국토해양부령 제147호)

부위	구조
벽	내력벽 가. 절근콘크리트조 또는 절골 절근콘크리트조로서 두께가 10센티미터 이상인 것 나. 골구를 절골조로 하고 그 양면을 두께 4센티미터 이상의 절망모르타르(그 바깥바탕을 물연재료로 한 것에 한한다. 이하 이 조에서 같다) 또는 두께 5센티미터 이상의 콘크리트 물록·벽돌 또는 석재로 덮은 것 다. 절재로 보강된 콘크리트 물록조·벽돌조 또는 석조로서 절재에 덮은 콘크리트물록 등의 두께가 5센티미터 이상인 것 라. 벽돌조로서 두께가 19센티미터 이상인 것 마. 고온·고압의 증기로 양생된 경량기포 콘크리트패널 또는 경량기포 콘크리트물록조로서 두께가 10센티미터 이상인 것
	비내력벽 가. 절근콘크리트조 또는 절골 절근콘크리트조로서 두께가 7센티미터 이상인 것 나. 골구를 절골조로 하고 그 양면을 두께 3센티미터 이상의 절망모르타르 또는 두께 4센티미터 이상의 콘크리트 물록·벽돌 또는 석재로 덮은 것 다. 절재로 보강된 콘크리트 물록조·벽돌조 또는 석조로서 절재에 덮은 콘크리트물록 등의 두께가 4센티미터 이상인 것 라. 무근콘크리트조·콘크리트 물록조·벽돌조 또는 석조로서 그 두께가 7센티미터 이상인 것
기둥	가. 절근콘크리트조 또는 절골 절근콘크리트조 나. 절골을 두께 8센티미터(경량골재를 사용하는 경우에는 5센티미터)이상의 절망모르타르 또는 두께 7센티미터 이상의 콘크리트 물록·벽돌 또는 석재로 덮은 것 다. 절골을 두께 5센티미터 이상의 콘크리트로 덮은 것
바닥	가. 절근콘크리트조 또는 절골절근콘크리트조로서 두께가 10센티미터 이상인 것 나. 절재로 보강된 콘크리트 물록조·벽돌조 또는 석조로서 절재에 덮은 콘크리트물록 등의 두께가 5센티미터 이상인 것 다. 절재의 양면을 두께 5센티미터 이상의 절망모르타르 또는 콘크리트로 덮은 것
보	가. 절근콘크리트조 또는 절골 절근콘크리트조 나. 절골을 두께 8센티미터(경량골재를 사용하는 경우에는 5센티미터)이상의 절망모르타르 또는 두께 5센티미터 이상의 콘크리트로 덮은 것 다. 절골조의 지붕(바닥으로부터 그 아랫부분까지의 높이가 4미터 이상인 것에 한한다)로서 바로 아래에 반자가 없거나 물연재료로 된 반자가 있는 것
지붕	가. 절근콘크리트조 또는 절골 절근콘크리트조 나. 절재로 보강된 콘크리트 물록조·벽돌조 또는 석조 다. 절재로 보강된 유리물록 또는 양입유리로 된 것
계단	가. 절근콘크리트조 또는 절골 절근콘크리트조 나. 무근콘크리트조·콘크리트 물록조·벽돌조 또는 석조 다. 절골조 또는 석조 라. 절골조

국토해양부장관이 정하여 고시하는 시험방법에 따라 품질시험을 한 결과 국토해양부장관이 정하여 고시하는 내화구조의 성능기준에 적합하다고 인정한 것.

된 내화구조는 'KS F 1611 건축구조부재의 내화성능표준'으로 정리되어 있으며, KS F 1611-1~5까지 순차적으로 표준을 제정하며 확장하고 있다.

3. 내화구조 인정을 받으려면

법정 내화구조가 아닌 경우 내화구조 인정을 받으려면, '내화구조의 인정 및 관리기준'과 '내화구조의 인정 및 관리업무 세부운영지침'에 따라 내화성능 시험과 인정절차를 따라야 한다. 시험방법은 ISO 기준(ISO 834)을 근간으로 한국산업규격에 시험방법(KS F 2257-1)이 설명되어 있다. 한국산업규격의 시험방법은 재하를 원칙으로 하고 있으나, KS F 2257-6 부속서 2(내화 피복된 보의 성능 조건)의 적용범위에 '내화피복재가 설계상 하중을 필요로 하지 않는 강재 보의 내화성능 평가에 적용한다' 라는 근거를 기준으로 국내 시험여건 등을 고려하여 비재하가열시험을 준용하고 있다. 물론 건축물의 주요 구조부는 항시 하중을 받고 있는 것을 고려하면 다소간 이해하기 어려운 점이 있으나, 일본(JIS A 1304)과 미국(ASTM E119) 등에서도 비재하가열시험을 적용하고 있다²⁾.

품질시험에 사용한 시험체 형상은 세부운영지침에 H형강으로 제시되어 있으며, 시험체 크기는 보의 경우 400×200×8×13(L=4,700mm), 기둥은 300×300×10×15(L=3,000mm)이다. 그

르므로 KS F 2257-6 부속서 2의 강제 보는 H형강으로 한정되며, 그 외의 형상은 언급되어 있지 않다. 한국산업규격의 시험방법은 표준시험-가열온도곡선($T=345\log(8t+1)+20$)에 의해 가열로에서 온도를 증가시켜 시험체 성능을 확인한다.

내화성능 판정기준은 재하가열시험과 비재하가열시험으로 구분되며, 재하가열시험은 하중지지력과 차열성, 차열성 등으로 평가하고, 비재하가열시험은 차열성에 대해 평균온도와 최고온도로 성능을 평가한다. 한국산업규격과 달리 세부운영지침은 비재하가열시험을 근간으로 하므로 평균온도(538℃)와 최고온도(649℃)를 시험체에 부착한 12개의 열전대로 확인한다. 또한 시험체 수량은 한국산업규격의 경우 한 개 이상이나, 세부운영지침은 2회 이상 실시하여 모두 적합하여야 한다. 한국산업규격과 세부운영지침은 일부 상이한 점이 있으나, 세부운영지침의 '내화구조 품질시험방법(안)'의 적용범위에는 한국산업규격에 우선하여 적용한다고 제시되어 있어 세부운영지침에 따라 시험을 수행하며 내화구조인정을 받는다.

4. TSC 합성보의 내화성능평가 및 내화구조인정

4.1 내화성능평가

TSC 합성보의 내화성능평가는 표 2와 같이 2005년 4월 자체시험을 시작으로 총 6회에 걸쳐 38개의 시험체를 제작하여

시험을 수행하였다. 1차 시험은 국내 합성보에 대한 자료가 전무한 상황에서 콘크리트와 강재의 합성에 의한 내화성능을 확인하기 위해 진행하였다. 일부 자료 및 준비부족 등으로 만족할 만한 결과를 도출하지는 못했으나, 내화피복이 탈락하지 않으면, TSC 합성보의 내화성능이 우수함을 확인하였다. 2차 시험은 건기연에 연구용역을 위탁하여 수행되었으며, 연구범위 및 방법 등은 제한되지 않았으나 무피복 TSC 합성보의 내화성능 검증에 주안점을 두었다. 내화뿔질을 실시한 1개 시험체의 내화성능이 탁월하게 나왔으나, 1차 시험에서도 일부 확인한 내화뿔질 시 우수한 내화성능을 입증한 결과로 추정되었다. 3차 시험은 우수한 내화성능을 확인·검증하여 인정받기 위해 시도되었으며, 이를 위해 대한건축학회에 내화피복 제조회사와 함께 공동연구를 의뢰하였다. 본 시험결과 기존 건기연의 3시간 인정기준으로 40mm가 20mm 까지 과격적으로 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 이러한 수차례에 걸친 내화성능평가에도 불구하고, 일부 업체의 내화구조인정서 요구에 부득불 내화구조인정신청을 진행하였다.

4.2 시험방법 선정

2007년 말 모회사에서 건기연에 TSC 합성보의 내화구조인정 질의·답변소식을 듣고 당혹스러움에서 벗어날 수 없었다. 지금까지 TSC 합성보는 내화구조로 인정받은 뿔질재료를 H

형강과 동등한 두께로 뿔칠하면 내화성능이 확보되는 것으로 믿고 있었고, 단 한 번도 의문을 가져 본적이 없었기 때문이다. 일부 내화시험을 통해 내화성능의 탁월함을 확인한 뒤라 별로 중요치 않게 생각된 문제였으며, 또한 내화는 구조전문가와 다소 거리가 있는 부분으로 크게 관심을 갖고 있지 않았다. 그러나 지금까지 관행적으로 적용된 방법이라 하여도 문제가 제기되면 이를 정리해줄 정부기관의 부재와 절대적인 시간 및 비용 등이 문제가 되었다.

복잡한 절차를 거쳐 건기연에 내화구조인정을 신청하였다. 인정신청 시 가장 먼저 거론된 문제는 시험 및 평가방법이다. 세부운영지침에 제시된 시험 및 평가방법은 비재하 내화시험으로 평균온도와 최고온도를 확인하는 것이다. 반면 TSC 합성보는 기존 H형강과 형상이 다르므로 동일한 시험 및 평가방법을 준용할 수 없다는 것이 문제로 거론되었다. 이에 수차례의 내부회의와 자문회의 등을 거쳐 재하시험으로 성능을 평가한 후, 현재의 세부운영지침에 준하는 시험방법 및 평가방법을 적용하기로 결정되었다. 그렇다면 재하시험을 할 경우 재하량과 적용설계법은 무엇이어야 하는가도 상당한 시간이 소요되었다.

그림 1은 재하 내화시험의 한 예이고, 그림 2는 재하와 비재하가열시험 시 최고온도와 평균온도를 비교한 그래프이다. 시험결과 재하와 비재하가열시험에 의한 영향은 크지 않은 것으로 확인되었으나, 시험 전 이러한 결과를 예측할 수 없는 상황

표 2. TSC 합성보의 내화성능평가 시험

구분	일 시	주관/ 책임연구자	시험체 수	시험장소	시험목적 및 시험결과	비 고
1차	2005. 04	자체시험	6 개	KICT	최초 자체평가 시험 재하시 변형 영향 및 시험과 해석 상관성 평가	한국강구조학회논문집 논문게재, 2006년 2월
2차	2006. 12	KICT / 최승관 박사	5 개	KICT	무피복 내화성능 검증 재하와 하중비의 영향 평가 뿔칠시 탁월한 성능 확인	KICT 보고서, 2007-003 대한건축학회논문집 논문게재, 2008년 1월
3차	2007. 10	AIK / 한양대 지남용교수	9 개 (내화페인트 1개 포함)	FILK	최적 뿔칠 두께 검토 KS 규격화 진행을 위한 시험	대한건축학회 보고서, AIK- RC-08-01
4차	2008. 07	자체시험	6 개	KICT	재하와 비재하시험 비교 평가 H형강에 비해 내화성능 우수	화재소방학회논문집 논문게재, 2009년 4월
5차	2009. 03	건기연 인정시험 (1차)	6 개	KICT	2·3시간 내화구조인정 신청 재하 성능확인 후 비재하시험 재하시 내화성능 저감 없음	3시간 탈락, 2시간 내화구조인정 진행
6차	2009. 07	건기연 인정시험 (2차)	6 개	KICT	3시간 내화구조인정 2차 신청	2·3시간 내화구조인정 획득

※ KICT ; 한국건설기술연구원, AIK ; 대한건축학회, FILK ; 방재시험연구원

이어서 첫걸음을 내딛기가 쉬운 것은 아니었다. 그 외 시험체 형상과 열전대 부착위치, 내화뿔칠 범위, 두께측정 위치 등을 놓고도 상당한 진통이 있었으나, 다행히 그림 3과 같이 내화구조 인정을 받게 되었다. 상기 내화피복재의 두께는 일반 H형 강 보의 경우 3시간 38mm로 인정을 받은 것이나, TSC 합성보의 경우 21mm로 인정을 받았다.



그림 1. TSC 합성보의 내화시험

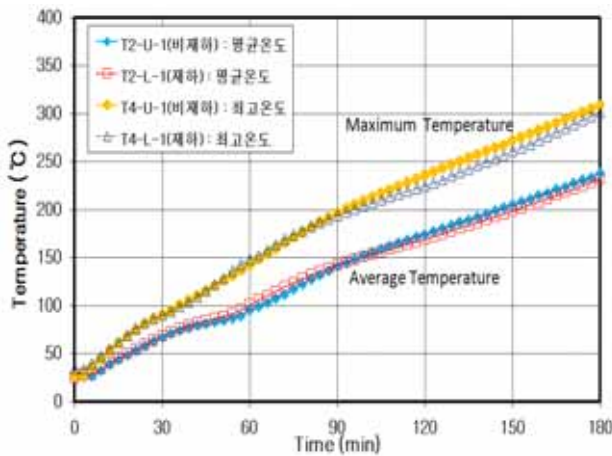


그림 2. 재하와 비재하가열시험의 온도 비교

5. 합성구조의 내화구조인정에 대한 제언

TSC 합성보의 내화구조인정 과정을 통해 합성구조의 내화구조인정 시 다음 사항에 대해 검토가 필요할 것으로 판단된다.

5.1 다양한 형상의 인정

세부운영지침은 건기연에서 국토해양부로부터 승인받은 권



그림 3. TSC 합성보 내화구조인정서

한에 기초한 시행방법이다. 세부운영지침에 나와 있는 강제 보 및 기둥은 H형강으로 한정되어 있으나, 최근 다양한 합성구조가 쏟아져 나오고 있다. 그러므로 이를 적절하게 수용할 수 있도록 시행규칙을 다소간 개정할 필요가 있다. 아울러 새로운 형상이라는 이유로 배타적으로 대처하여 불법적용이 되지 않도록 해야 한다.

5.2 시험 및 평가방법의 설정

새로운 형상에 대해 내화구조인정을 받으려면, 기존과 동일한 시험 및 평가방법을 준행하지 않고, 새로운 평가방법을 제시하게 된다. 그러나 현행 시험방법이 비재하를 기초로 온도에 의해 평가를 한다면 동일한 시험방법과 평가방법을 준용하는 것이 적합하다고 판단된다. 설령 새로운 형상에 대해 하중재하시 온도에 의한 거동에 의문이 발생된다면 일회성 재하여부 등은 가능하겠지만, 매번 재하시험을 기초자료로 요구하는 것은 형평에 어긋나는 것이 된다.

재하를 할 경우 한국산업규격에 제시된 재하하중(KS F 2257-1)은 '구조규준에 규정된 설계방법'으로 불명확하고 과다 계상된 것으로 판단된다. 시험에 기초한 CFT 합성구조의 내화성능은 1시간에서 2시간의 내화성능을 나타내고 있으나, 이 때 재하하중은 한국산업규격에 제시된 하중과 상이하다⁽³⁾. 또한 내화설계 시 설계하중은 상온 시 구조규준에 의한 설계하중과 큰 차이를 보이고 있으며⁽⁴⁾, 건축물을 구성하는 주요 구

조부재의 하중비(설계내력에 대한 상온시 공칭강도 비)는 0.5 이하를 나타낸다⁽⁴⁾. 그러므로 기존 내화성능평가는 비재하로 온도측정을 실시하면서, 신규 합성구조에 대한 내화성능은 실제 작용하고 있는 하중 보다 큰 하중으로 시험을 요구한다는 것은 부적합한 것이 된다.

5.3 내화구조인정 신청자 확대 필요

내화구조인정 신청자격은 세부운영지침에 ‘제조업자’와 ‘시공자’로 한정되어 있다. 이는 시험대상의 H형강은 새로 개발된 것이 아니므로 누구나 용이하게 시험할 수 있다. 실제로 H형강은 내화피복재의 바탕재로 이해하는 것이 타당하다. 반면 새로 개발된 각종 합성구조의 개발자는 상기 자격에 포함되지 못한다. 물론 내화구조인정을 받은 후 사후관리 등을 위해서는 시공자와 제조업자로 한정하는 것이 충분히 이해가 되나, 개발자가 포함될 수 있도록 되어야 한다. 예를 들면 개발자가 제조업자와 공동으로 신청하는 것을 포함하는 방법도 그 일예가 될 수 있다.

5.4 시험가능 규모의 다양성 인정

‘고강도 콘크리트 기둥·보의 내화성능 관리기준(국토해양부 고시 제2008-334호)’에 의하면 고강도 콘크리트의 내화성능평가는 비재하에 의해 주철근 온도를 평균온도와 최고온도로 평가한다. 이는 고강도콘크리트를 시험할 수 있는 수직로의 재하한계를 넘기 때문에 발생된 교육지책일 수도 있으나, 비재하로도 충분히 내화성능을 평가하는 것이 가능하다고 인정하기 때문이다⁽⁵⁾. 반면 층이 깊은 데크플레이트는 수평로의 내폭이 4m(정확히는 4,050mm)로 제한되므로 인정을 받을 수 없으며, 합성기둥은 아직 그 방법이 규정되어 있지 않다. 이는 어느 것은 가능하나 또 다른 것은 불가능하다는 것으로 논리적으로 납득할 수 없는 상태로, 합성구조의 다양성을 인정하여 폭 넓게 적용할 수 있도록 해야 한다.

5.5 합성구조의 표준화 방안

건기연에서 내화구조인정을 받은 것은 구조시스템이 아니라 내화피복재이다. 그러므로 현행 3년 마다 재시험을 하여 성능을 확인하고 있으며, 간간히 품질확인을 위한 시료채취가 필요하다. 반면 합성구조의 내화성능은 시험을 통해 확인할 수 있으며, 이러한 내화성능은 시간이 지남에 따라 변화되는 것이 아니다. 그러므로 향후 성능설계가 도입되어 사용되기 까지 한 시적이라도 내화성능을 확인한 합성구조를 표준화하는 방안이

필요하다. 이를 준법정구조 또는 표준구조 등 어떤 명칭으로 부르던 표준화하여 재시험이 필요 없는 방안이 요구된다. 부득불 표준구조 보다 월등히 향상된 내화성능을 인정받았다면 이때 내화구조인정을 신청하면 될 것이다.

5.6 다양한 사례의 공개

건기연의 방재시험동에서 진행되고 있는 내화구조인정은 이미 십여 년이 지나 오랜 역사와 경험, 노하우를 갖고 있다. 반면 그 동안 축적된 사례는 외부에 공개되어 있지 않다. 그러한 사례가 공개되지 않으므로 인해 매번 해당사항에 대해 질의를 해야 하고, 마치 피고가 판사의 판결을 기다리는 것 같은 긴장 속에 있어야 한다. 그러나 법도 대법원의 판결이 있으면 그 판결이 하나의 법으로 인정받는 것과 같이 다양한 사례가 공개되면 굳이 질의를 하지 않아도 그 답변을 확인·예측할 수 있어 민원인과 해당업무 당사자 모두 어느 정도 자유로울 수 있으므로 내화구조인정과 관련된 다양한 사례의 공개가 필요하다.

6. 결론

최근 고강도콘크리트의 내화성능이 사회이슈가 되면서 일반인들도 내화성능에 대해 관심을 갖게 되었다. 그러나 내화구조 또는 내화는 대부분의 건축기술자들이 크게 관심을 끌 만한 사항이 되지 못한다. 이번 TSC 합성보의 내화구조인정을 통해 센구조연구소는 전 직원이 내화구조에 대해 큰 관심을 갖게 되었고, 나름대로 축적된 노하우도 얻게 되었다. 반면 다시는 진행하고 싶지 않은 참으로 길고 험난한 시간들이었다. 이제 TSC 합성보의 내화구조인정 사례를 통해 합성구조의 내화성능평가에 대해 전반적인 정리가 되어 우리와 같이 곤란을 당하는 사례가 없었으면 한다.▲

참고문헌

- 1) 권인규, ‘건축방재학’, 동화기술, 2007. 9
- 2) 한국콘크리트학회, ‘철근콘크리트 구조물의 내화특성’, 기문당, 2005. 3
- 3) (사)대한건축학회, ‘콘크리트충전 강관구조’, 2004
- 4) Michael Spearpoint, ‘Fire Engineering Design Guide, third edition’, 2008
- 5) (사)대한건축학회, ‘고강도콘크리트 구조내화설계’, 기문당, 2008. 2