



iTECH 합성보의 내화성능에 대한 실험연구

Choi, S. (2006). iTECH 합성보의 내화성능에 대한 실험연구. *Journal of Korean Society of Steel Construction*, 18(5), 643-653.

[Link to publication record in Ulster University Research Portal](#)

Published in:
Journal of Korean Society of Steel Construction

Publication Status:
Published (in print/issue): 01/10/2006

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

General rights
The copyright and moral rights to the output are retained by the output author(s), unless otherwise stated by the document licence.

Unless otherwise stated, users are permitted to download a copy of the output for personal study or non-commercial research and are permitted to freely distribute the URL of the output. They are not permitted to alter, reproduce, distribute or make any commercial use of the output without obtaining the permission of the author(s).

If the document is licenced under Creative Commons, the rights of users of the documents can be found at <https://creativecommons.org/share-your-work/licenses/>.

Take down policy
The Research Portal is Ulster University's institutional repository that provides access to Ulster's research outputs. Every effort has been made to ensure that content in the Research Portal does not infringe any person's rights, or applicable UK laws. If you discover content in the Research Portal that you believe breaches copyright or violates any law, please contact pure-support@ulster.ac.uk

iTECH 합성보의 내화성능에 대한 실험연구

Experimental Study on the Fire Resistance of the iTECH Composite Beam

이 승 재¹⁾ · 강 성 덕²⁾ · 최 승 관³⁾ · 김 명 한⁴⁾ · 김 상 대⁵⁾

Lee, Sueng Jea Kang, Seong Deok Choi, Seng Kwan Kim, Myeong Han Kim, Sang Dae

요약 : 본 연구에서는 iTECH 합성보 실험체에 대한 온도와 변형에 대한 내화성능을 ISO834 표준화재와 BS476-20 및 KSF2257 기준에 근거하여 평가하였다. 국내외적으로 복합구조의 내화성능을 규명하기 위한 연구는 지극히 미흡한 실정이며, 따라서 본 연구에서는 iTECH 합성보의 내화성능을 평가하기 위해 1.5m의 슬래브를 포함한 4.7m의 스패ん길이에 대하여 실험을 수행하였다. 변수는 실험체의 단면크기, 피복재 보강방법과 보강두께, 그리고 하중비로 하여 내화실험을 수행하였다.

ABSTRACT : This paper presents the results of an experimental investigation into the fire performances of simply supported iTECH composite beams using an ISO834 standard fire. There are very few independent studies on the fire resistance of composite steel and concrete structures of various designs. The iTECH composite beam system has been used in construction, but nothing is known about its influence in a fire. To evaluate the fire resistance performance of the iTECH beam, a test was conducted for 4.7m-span-length iTECH beams under given conditions in a laboratory. The fire resistance performance of unprotected coatings of the iTECH beam has been examined, and a longer period of fire resistance was achieved by increasing the beam coating's section size and decreasing its load ratio. Coatings for the fire protection of iTECH beams reduce the rate of temperature rise of the beam in case of fire, and the required thickness of spray-on fire protection coatings can be determined by means of tests.

핵심어 : iTECH 합성보, 내화성능, 하중비, ISO 표준화재곡선, 내화피복

KEYWORDS : iTECH Composite Beam, Fire Resistance, Load ratio, ISO Standard Fire Curve, Fire Protection

1. 서론

건축물이 고층화됨에 따라 대지의 효율성을 증대시키고, 층고를 줄일 수 있는 안전하고 경제적인 구조부재 개발에 힘을 기울인 결과 iTECH(Innovative Technical Economical & Convenient Hybrid) System을 개발하게 되었다. iTECH 합성보는 여타의 실험과 해석을 통하여 구조적 성능은 충분히 입증된 반면에, 실험부족과 이론의 비정립으로 인하여 실제 화재시의 내화성능을 정확히 평가하지 못하고 있는 단계이다. 합성보에서 슬림 플로어는 경제성과 구조적 성능이 다른 합성보에 비해 우수한 점으로 부각되었다. 그러나 슬림 플로어는 장스팬으로 설계되어지기에는 한계를 가지고 있다. 그런데 iTECH

합성보는 이 슬림 플로어의 단점과 비교해 볼 때, 장스팬이 가능하고, 스티드 볼트를 사용하지 않아도 된다는 시공상의 큰 장점이 있지만, iTECH 합성보의 내화성능은 확실하게 규명된 바가 없다.

따라서 본 실험에서는 실제 단면크기의 iTECH 합성보에 대한 세부적이고, 부재간의 상호작용을 고려한 실험평가방법을 적용하였다. 이에 대해 실험체의 용도는 주거시설로 가정하여 실제 단면크기로 제작을 하였다. 또한 실험체의 단면크기에 대한 강재의 온도값을 분석하였고, 하중비에 대한 변형량, 변형속도의 결과 값을 비교 분석하여 iTECH 합성보의 내화성능에 대해 평가하였다.

최근 들어 층고절감을 위한 새로운 floor 시스템의 개발이 활발

1) 정희원, 고려대학교 대학원 건축공학과 석사과정(nklsj38@empal.com)

2) 학생회원, 고려대학교 대학원 건축공학과 박사과정(arp96sdk@hotmail.com)

3) 정희원, 한국건설기술연구원 선임연구원, 공학박사(sengkwanchoi@kict.re.kr)

4) 정희원, 대전대학교 건축공학과 전임강사, 공학박사(mhk314@dreamwiz.com)

5) 교신저자, 정희원, 고려대학교 건축공학과 교수, 공학박사

(Tel. 02-3290-3334, Fax. 02-921-2438, Email: sdk@korea.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2007년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

발해지고 있다. 유럽에서는 Slimfloor System과 같은 기존의 연구를 바탕으로 층고 절감형 합성보인 iTECH System을 개발하게 되었다. iTECH합성보 System은 그림 1과 같이 일반 H형강을 허니콤보 절단법으로 절단하여 제작하여 가변성을 높일 수 있으며 철골물량도 줄일 수 있고 인접 슬래브 사이의 연속성을 강화시키고 결과적으로 층고를 줄이는 효과를 가져온다. 또한 하부플랜지를 제외한 철골이 콘크리트에 둘러싸여져 있으므로, 화재와 같은 유사시에 철골부분의 열이 콘크리트 쪽으로 상당량이 전도되어질 것으로 예상되므로 부재의 전체적인 내화성능이 향상되어질 것으로 예상된다.

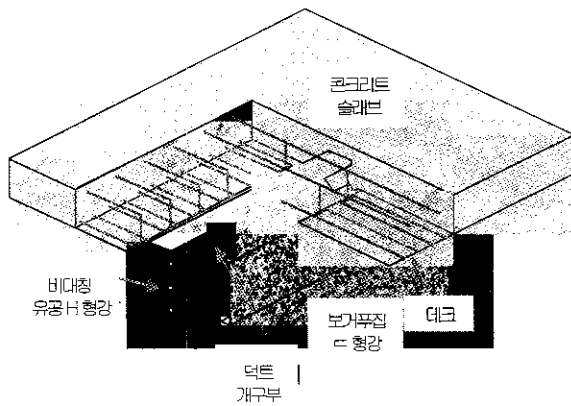


그림 1. iTECH합성보 System 개요도

2. 내화실험 계획

2.1 내화실험 개요

본 실험에서는, ISO834 표준화재와 BS476 : Part 20 및 KSF2257: Part1, 5, 6,의 기준을 근거로 하여 iTECH합성보에 대한 내화성능을 평가하였다. iTECH보의 내화성능의 평가를 위한 실험기준으로서 국내의 KS 코드인 F 2257-1(건축구조 부재의 내화시험 방법 - 일반사항), F 2257-5(건축구조 부재의 내화시험 방법 - 수평 내력 구획 부재의 성능조건), F 2257-6(건축구조 부재의 내화시험 방법 - 보의 성능조건)의 주 내용은 실험체의 경우, 내화성능평가는 크게 변형량과 변형속도가 규정된 값을 초과할 때의 시간을 측정하여 내화성능을 평가한다. 첫째, 재하 실험체일 때 허용 변형량과 허용변형속도를 모두 초과 시 구조적 붕괴로 판정하며, 변형속도의 성능기준은 변형량이 L/30을 초과하지 않는 것으로 한다. 허용 변형량과 변형속도의 성능기준은 각각 다음 식 (1), (2)와 같다.

$$D = \frac{L^2}{400d} \quad (1)$$

$$\frac{dD}{dt} = \frac{L^2}{9000d} \quad (2)$$

L=실험체 길이

d=실험체 최대압축력을 받는 부분에서 최대 인장력을 받는 부분까지의 거리

둘째, 비재하일 경우에는 변형에 관계없이 KS F 2257-1(1999)의 “강재의 평균온도가 538℃, 최대온도 649℃를 넘지 않도록 한다.” 라는 규정이 있다. 하지만 이번 실험은 재하실험으로서, 온도는 실질적인 내화성능시간에는 포함되지 않지만, 내화성능 가능의 척도로서 사용된다.

2.2 실험체 계획 및 제작

실험체의 스패ん 길이는 4.7m로 제작하였으며, 층 35cm, 40cm, 50cm에 대하여 내화실험을 수행하였다. 또한 본 실험에서의 변수(단면크기와 피복유무 그리고 하중비)는 세 가지 항목으로 설정하였으며, 단면크기당 2개씩의 실험체를 계획하여 총 6개의 실험체를 제작하였다. 또한 여기서 하중비란 각 실험체의 최대내력(설계 모멘트 강도)에 도달하는 하중에 대한 기력하중의 비이며 식(3)과 같다. 그 일람표는 표 1과 같다.

$$\text{하중비} = \frac{P_{\text{real}}}{P_{\text{max}}} \quad (3)$$

표 1. 실험체 일람표

실험체명	iTECH 합성보	피복두께	하중비
iF-35-00	iT307x299x9x14(79)x14	None	100 %
iF-35-44	iT307x299x9x14(79)x14	44mm	
iF-40-00	iT350x300x11x18(90)x18	None	70 %
iF-40-44	iT350x300x11x18(90)x18	44mm	
iF-50-00	iT450x300x11x20(138)x20	None	40 %
iF-50-44	iT450x300x11x20(138)x20	44mm	

그림 2는 실험체의 내화피복을 도식화한 그림이다. 피복재는 S사의 N 피복재를 선택하였으며, 이 피복재는 44mm일때 3시간내화성능을 인정받았다. 주거공간에서 건설교통부 고시 제 2000-93호에 따르면 보 부재는 소요내화 성능을 3시간으로 규정하고 있다. 따라서 3시간 소요 내화성능을 발휘 할 수 있는 44mm를 선택하였다. 표 2는 피복재료에 대한 사양이다.

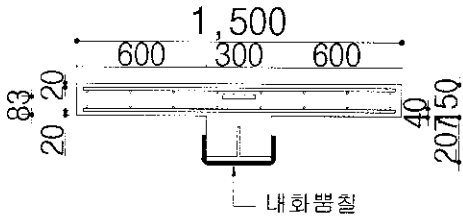


그림 2. 실험체의 내화피복된 단면

표 2. 피복 재료에 대한 사양

항목	물성 값
분진도	0.27g/m ² 이하
부착강도	3,700kg/m ² 이상
시공 밀도	370kg/m ³ 이상

또한 실험체 제작은 iTECH System의 기본 틀인 일반 H형 강을 허니컴보 절단법으로 절단하고 그 위에 철관을 용접하였다. 그림 3은 iTECH보의 강재부분을 허니컴보 방식으로 절단하기 위한 제작 도면이다. 그리고 슬래브의 두께는 150mm, 폭은 1500mm로 하였으며, 실험체의 입면과 단면을 나타낸 도면으로서 보의 층은 가변적이며, 대표적인 실험체로서 iF-35 -00을 그 예로 보여준다.

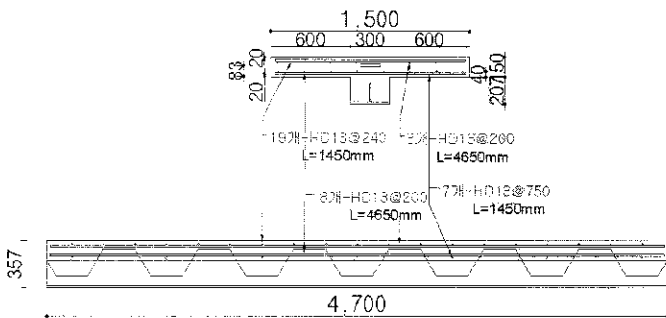
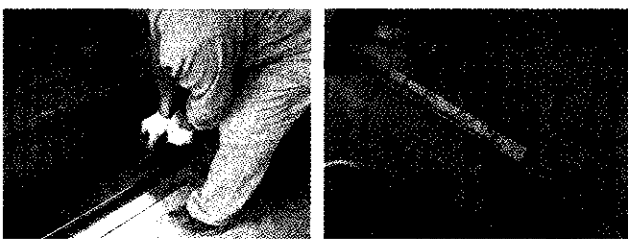


그림 3. iF-35-00실험체의 입면과 단면

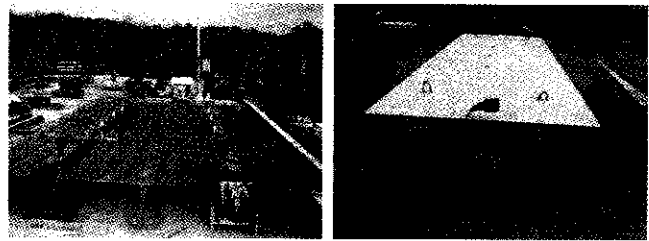


(a) 게이지 구멍 뚫기 (b) 콘크리트 게이지
그림 4. 게이지 설치 작업

또한 열전대는 기준에서 제시한 대로 강재부분에 미세한 구멍을 뚫고 박아 넣는 방법으로 하였다. 콘크리트의 열을 측정

하기 위한 콘크리트 부분의 열전대 측정은 콘크리트 막대를 사전에 제작하여 콘크리트 막대에 열전대를 설치하여 그 막대를 콘크리트 타설 전에 철근에 고정시켰고, 그림 4에서 보여준다.

실험체의 제작은 여주의 PC 제작업체에서 제작하였으며 그림 5는 실험체의 철근 배근 및 거푸집 설치사진과 실험체의 콘크리트 타설이 완료된 사진이다. 또한 모든 실험체들의 양생은 동일한 조건(대기중 양생(23°C ±2°C))으로 수행하였으며, 양생기간도 모두 동일하게 4주로 하였다. 동일한 양생온도로 조정하기 위해 외부에 가 구조물을 세운 뒤, 그 안에서 양생하였으며 이는 그림 6과 같다.



(a) 철근 배근 및 거푸집 사진 (b) 타설 완료된 실험체
그림 5. 실험체 제작 사진



(a) 실험체 양생1 (b) 실험체 양생2
그림 6. 실험체 양생사진

2.3 가열 및 가력 계획

실험체의 가열은 아래 그림 7과 같이 ISO834 표준화재 곡선과 일치되게 가열로의 온도를 설정하여 실험을 실시하였으며, KS 코드인 F 2257-1(건축구조 부재의 내화시험 방법 - 일반사항)에서정한 가열곡선은 아래의 식 (4)로써, ISO834 표준화재 곡선의 가열식을 인용한 것이다. 또한 실험체의 가력은 그림 8과 같이 유압실린더를 이용하여 4점 가력 하였고, 실험체의 경계조건은 단순보로 가정하여, 양단에 지지판과 롤러를 설치하여 힌지로 거동이 이루어지게 하였다.

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + T_0 \quad (4)$$

T=노내 평균온도

t=시간

또한 변형측정은 그림 8과 같이 정 중앙에서 변형과 변형속도를 측정하고, 실험체에 하중을 먼저 재하한 뒤 열을 가하는 방식을 택하였다. 이는 화재가 건축물이 지어진 후 사용되어지는 중에 발생하는 것으로 생각되기 때문이다.

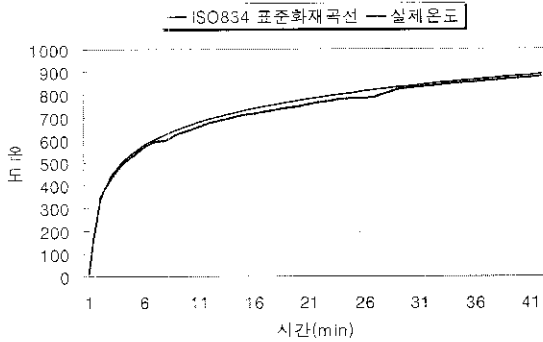


그림 7. ISO 834 표준화재 곡선과 실제온도 곡선

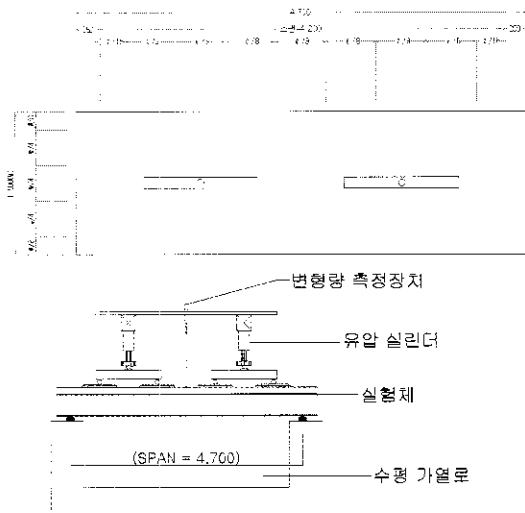


그림 8. 실험체의 가력 위치와 중앙의 변형 측정

2.4 온도 및 변형 측정 계획

온도측정에서 강재부분의 측정위치는 KS 코드인 F 2257-1(건축구조 부재의 내화시험 방법 - 일반사항)에 의거 그림 10과 같이 각 단면에 대한 측정계획을 세웠다. 또한 span 길이방향의 열전대 측정장소 위치는 모든 실험체에 대하여 3곳에서 설치하여 그림 9와 같이 계획하였다. 이 위치 또한 기준에서 제시한 방법에 의한다. 그리고 변형측정은 그림 8과 같이 변형이 가장 많이 발생될 곳으로 예상되어지는 정 가운데 부분에 LVDT(변형량 측정장치)를 설치하여 변형량과 변형속도를 측정하였다.

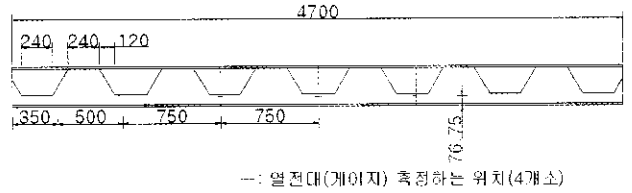


그림 9. 열전대 측정 장소 위치

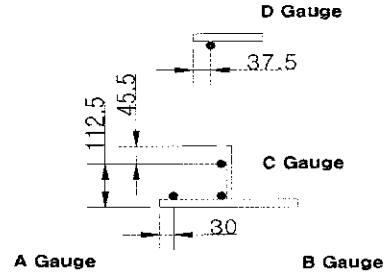


그림 10. 단면에 대한 열전대 설치위치

3. 내화 실험결과

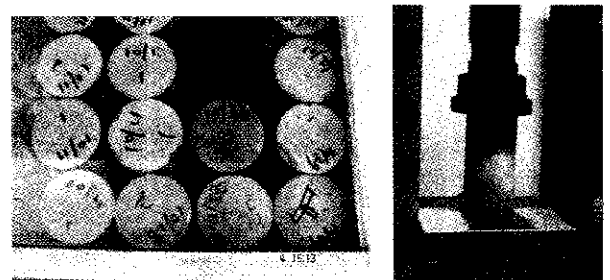
3.1 소재 실험

실험체에 사용된 철근과 H형강(SS400)은 KS B 0801(금속재료 인장 시험편 규정)에 따라 제작하였고, 결과는 표 3과 같다.

표 3. 강재의 인장강도 시험결과

시험편		항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
H형강	H 386x299x9x14	301	403	26.79
	H 440x300x11x18	312	447	28.93
	H 588x300x12x20	325	468	34.28
철근	HD 13	449	597.2	24.74
	HD 10	410.9	573.3	24.66

또한 콘크리트 공시체는 수중양생을 실시하였으며 다음 그림 11은 콘크리트 공시체의 양생사진과 공시체의 압축강도 측정 사진이다.



(a) 공시체의 양생 (b) 공시체의 강도 측정
그림 11. 공시체 사진

콘크리트 압축강도 시험용 공시체는 KS F 2404에 따라 직경 100mm, 높이 200mm의 실린더형 몰드를 사용하여 제작하였으며, 공시체는 표준양생 조건인 수중 양생(23°C ±2°C)으로 하였으며, 28일 압축강도와 실험시작과 동시에 압축강도를 측정하여, 레미콘 차당 3개씩의 공시체의 평균값으로 하였으며, 그 결과는 다음의 표 4와 같다.

표 4. 콘크리트 배합비 및 압축강도 시험결과

설계강도 (MPa)	압축강도 (MPa)	물시멘트비	S/A	단위 골재량(kg/m ³)			
				W	C	S	G
21	24.3	51.4	46.4	170	331	838	987
21	23.8	51.4	46.4	170	331	838	987

3.2 온도 및 변형

각 실험체에 대해 그림 10에서와 같이 열전대를 부착한 온도 변화는 그림 12에서 17과 같다. 피복을 하지 않은 실험체의 결과값은 아래 그림 15에서 17까지로 보여준다.

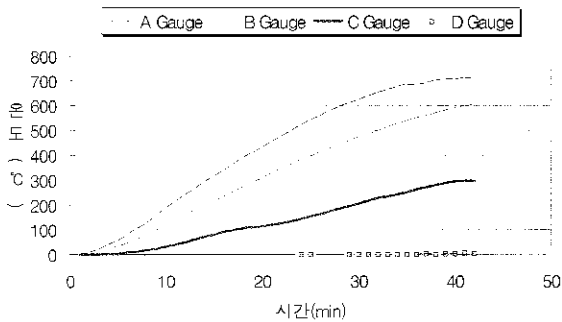


그림 12. iF-35-00실험체의 시간에 따른 온도변화

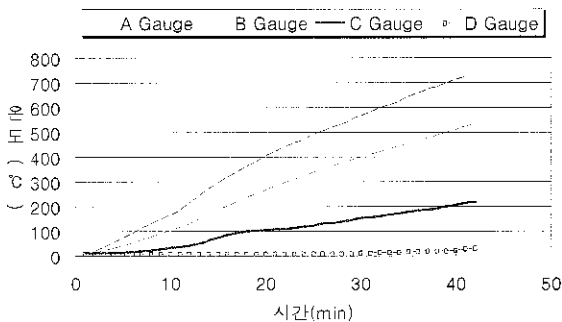


그림 13. iF-40-00실험체의 시간에 따른 온도변화

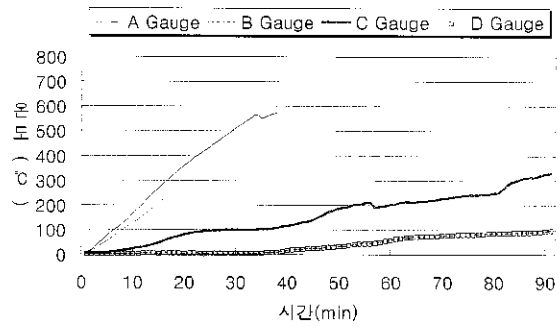


그림 14. iF-50-00실험체의 시간에 따른 온도변화

열전대 데이터는 게이지선자체의 전류의 저항을 탐지하여 온도를 측정하는데, 실험 중 유실되는 경우가 있다. 고온의 열에 의해 파괴가 되는 경우와 열전대 게이지선이 끊어지는 경우로서, 전자의 경우에는 측정된 온도 값이 큰 파장을 그리며 고온가 저온사이를 반복하고, 후자의 경우에는 온도가 0이 된다. 위의 그림 14에서 AGauge와 B Gauge의 그래프 선이 중간에 끊긴 것은 지속하중과 더불어 계속된 열에 의한 열전대 데이터 값이 A게이지는 37분 이후에 B게이지는 15분 이후에 비정상적으로(급강하와 급상승을 반복) 변화를 보였으므로 더 이상 신뢰할 수 없는 수치로 생각되어 데이터를 반영하지 않았다.

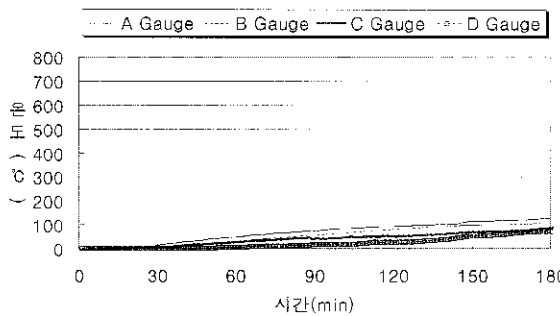


그림 15. iF-35-44실험체의 시간에 따른 온도변화

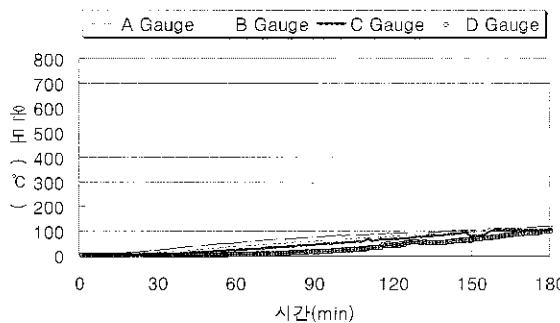


그림 16. iF-40-44실험체의 시간에 따른 온도변화

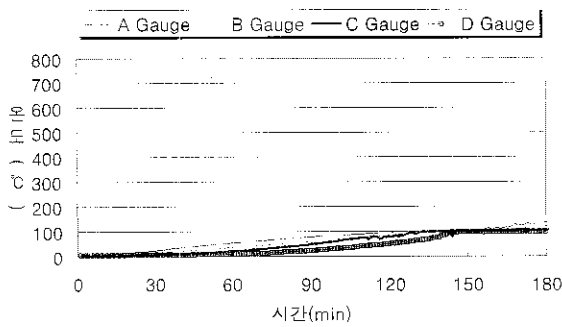


그림 17. iF-50-44실험체의 시간에 따른 온도변화

그러나 피복이 되어있는 실험체의 온도변화는 그림 15에서 17과같이 시간에 따른 온도 측정 위치마다 온도계이지의 데이터 값은 거의 차이가 없이 하나의 게이지에서 측정한 듯이 측정되었다. 이는 내화 피복재로 인하여 하부플랜지인 A, B게이지 쪽으로 전달되는 열에 대한 차단효과 때문으로 생각되어진다.

실험체의 피복 유무에 대한 변형 측정은 변형량과 변형속도 측정으로 이루어진다. 그림 18은 무피복 실험체의 하중비에 따른 변형량을 측정한 그래프로서 iF-50-00를 제외한 iF-35-00실험체와 iF-40-00실험체 예서는 특정시간을 중심으로 변형량의 급격한 증대가 측정되었고, 그림 20은 피복된 실험체에 대한 변형량을 측정한 그래프로서 세 개의 실험체가 모두 거의 동일한 변형량이 측정되었다. 그림 19는 무피복 실험체의 하중비에 대한 변형속도를 측정한 그래프로서 변형량을 측정한 결과와 같이 iF-50-00실험체를 제외한 iF-35-00실험체와 iF-40-00실험체는 특정시간을 중심으로 변형속도의 급격한 증대를 보였고, 그림 21은 피복된 실험체의 그래프로서 세 개의 실험체가 하나의 실험체를 측정한 듯이 변형속도가 변동하지 않고 측정되었다.

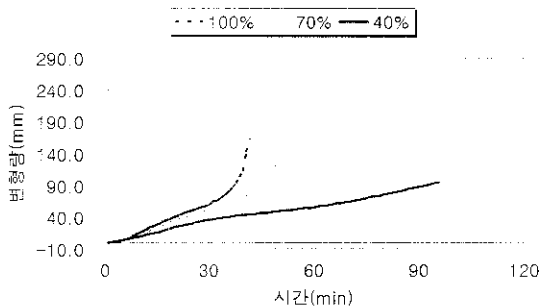


그림 18. 하중비에 따른 무피복 실험체의 시간에 대한 변형량

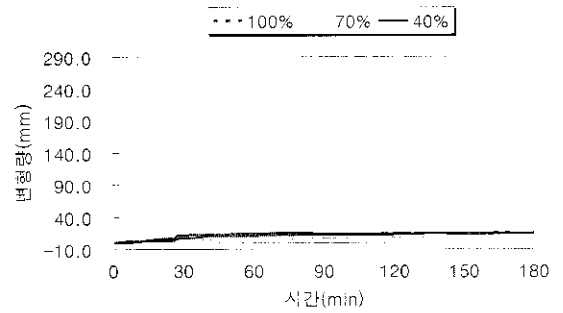


그림 19. 하중비에 따른 피복한 실험체의 시간에 대한 변형량

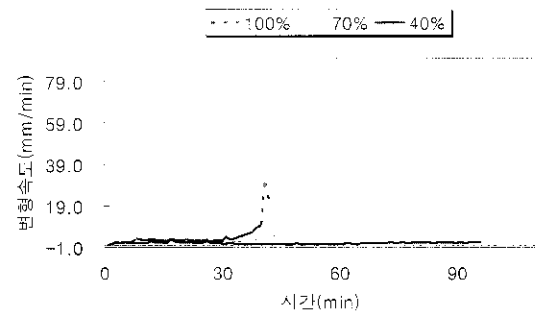


그림 20. 하중비에 따른 무피복 실험체의 시간에 대한 변형속도

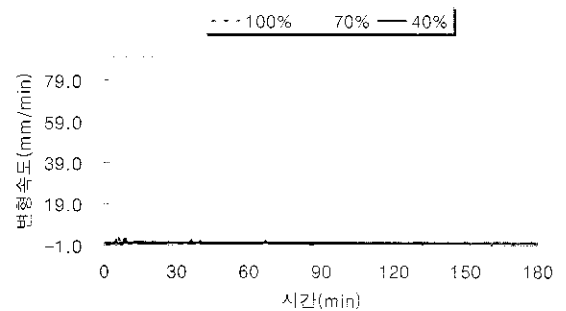


그림 21. 하중비에 따른 피복한 실험체의 시간에 대한 변형속도

3.3 파괴 양상

무피복 실험체는 처짐이 많이 발생하였고, iF-35-00 실험체의 경우 슬래브 가운데 부분에서 파괴가 일어났다. 이는 그림 22의 파괴모습에서 보여준다. 그리고 피복하지 않은 실험체와 피복한 실험체 모두 실험 시작 15분경부터 수증기가 발생했다. 이 수증기는 콘크리트 양생과정에서 양생 되고 남은 잉여수의 증발로 생각된다. 그리고 무피복 실험체는 수증기가 증발하는 모습만 관찰되었으며, 피복된 실험체는 실험시작 이후 수증기의 증발과 더불어 슬래브 표면에서 잉여수의 누출이 관찰된 것

이 그림 22의 (a)이다. 피복한 실험체의 실험 종료시에는 슬래브 표면에 누출된 잉여수가 모두 증발하는 것이 그림 23로 관찰되었고, 그림 23의 변형량 차이는 표 5의 변형량 차이값으로 보충 설명된다.

표 5. 각 실험체의 변형량 차이

실험체	최종 변형량(mm)	최종 변형 속도(mm/min)
iF-35-00	163.2(41분)	20.6(41분)
iF-40-00	229(52분)	80.3(52분)
iF-50-00	95.3(91분)	1.4(91분)
iF-35-44	14.8(180분)	0.1(180분)
iF-40-44	10.9(180분)	0.1(180분)
iF-50-44	14.5(180분)	0.1(180분)

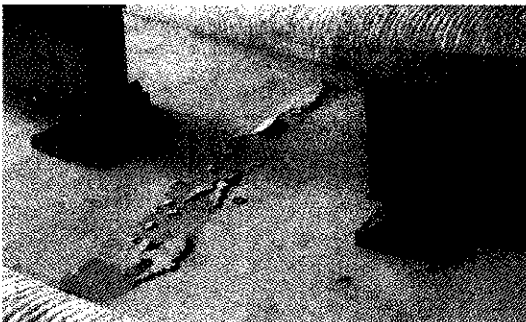


그림 22. 피복하지 않은 실험체의 파괴 모습



그림 23. 피복유무에 따른 실험체의 변형량 차이

비교적 가열시간이 짧았던 무피복 실험체는 수증기의 증발만 관찰되고, 가열시간이 3시간에 달한 피복한 실험체는 슬래브 표면의 곳곳에서 잉여수 누출이 관찰되어진 점으로 볼때, 내화 피복이 되어있는 실험체는 무피복 실험체에 비해 잉여수의 증발로 인한 콘크리트 온도에 영향을 미칠 것으로 생각된다.



(a) 잉여수 누출 (b) 보 단면에서의 균열
그림 24. 피복한 실험체

3.4 내화 성능

우리나라의 내화성능평가는 온도와 변형에 대한 기준에 의한 내화성능시간으로 이루어진다. 자세한 내용은 본문의 3.1절에서 자세히 설명하였다. 온도부문에서는 비 재하일 경우 다음의 하나의 기준(“강재의 평균온도가 538℃, 최대온도 649℃를 넘지 않도록 한다.”)에 의한다. 그러나 변형부문에서는 변형량과 변형속도 이 두 가지 기준이 존재한다. KS F 2257-1에서는 다음과 같이 정하고 있다. “하중 지지력은 다음 2가지 기준(변형, 변형률)을 모두 초과하였을 때 부적합한 것으로 간주한다.” 따라서 변형부문에서는 허용변형량과 허용변형속도가 모두 규정을 넘을 때의 시간을 내화성능시간으로 규정한다.

4. 내화 성능 평가 및 분석

내화 성능을 결정짓는 것은 온도부문의 최대온도 및 평균온도와 변형부문의 변형량 및 변형 속도 등을 단면크기, 하중비, 피복유무를 변수로 하여 분석하였다. 첫번째 각 실험체의 강재에서 측정된 최대온도를 그림 25에서 보여준다. 이 그림에서 35cm와 40cm는 큰 변화가 없지만, 50cm로 커질 경우에 규정된 최대온도(649℃)에 도달하는 시간이 증대되는 것으로 관측되었다. 이것은 내화성능에 단면크기가 어느 일정크기 이상으로 될 때 영향을 미친다고 생각 할 수 있다. 이는 그림 26의 평균온도에 대한 그래프에서도 50cm의 단면크기를 가진 실험체의 평균온도 상승률이 더 적은 것을 볼 수있다. 또한, 하중비를 살펴보면, iF-35-00은 100%, iF-40-00은 70%이고, iF-50-00은 40%이다.

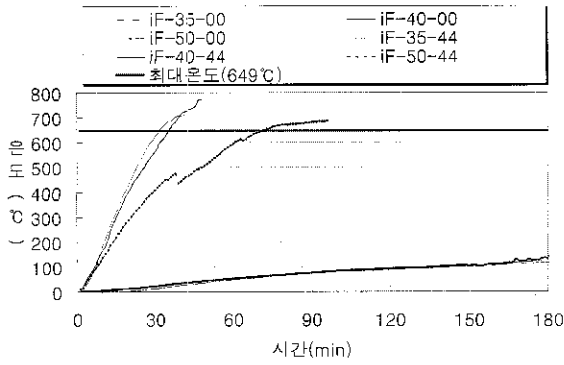


그림 25. 각 실험체의 최대온도에 대한 내화성능

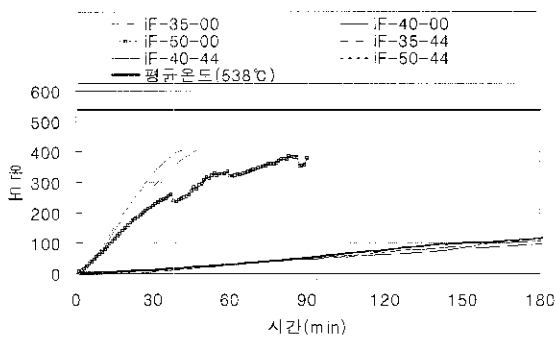


그림 26. 각 실험체의 평균온도에 대한 내화성능

본 실험은 재하 실험으로서, 강재의 온도가 실험체의 내화성능에시간에 영향을 미칠 수는 없지만 위의 온도결과를 볼때, 단면크기가 내화성능에 영향을 미친다고 생각할 수 있다. 실험체의 평균온도는 규정된 평균온도에 도달하지 못하였으므로, 실험체의 최대온도가 규정된 최대온도에 도달한 시간만을 측정하여 표 6에 기술하였다.

표 6. 각 실험체의 최대온도(649°C)에 도달하는 시간

피복 안한 실험체		피복한 실험체	
실험체	최대온도에 도달하는 시간	실험체	최대온도에 도달하는 시간
iF-35-00	31 분	iF-35-44	180 분이상
iF-40-00	34 분	iF-40-44	180 분이상
iF-50-00	65 분	iF-50-44	180 분이상

내화성능을 결정짓는 두 번째는 변형이다. 변형은 실험체 중앙에서의 처짐정도를 측정하는 변형량과 실험시간에 대한 변형량을 계산한 변형률(변형속도)을 측정한다. 변형량은 시간에 대하여 분당 측정 및 기록하였으며 실험체당 허용 변형량과 허용 변형속도는 KS F 2257 -1(건축구조 부재의 내화시험 방법 - 일반사항)의 기준에 의한 식에서 산출하였고 표 7에서 보

여준다.

표 7. 각 실험체의 허용 변형량 과 허용 변형속도

실험체	허용 변형량 (mm)	허용 변형속도 (mm/min)
iF-35-00	126	5.5
iF-35-44		
iF-40-00	110.3	4.9
iF-40-44		
iF-50-00	88.2	3.9
iF-50-44		

하중비에 따른 실험체별로 변형량을 측정하여, 허용변형량에 대한 초과여부를 검토하고, 이것은 그림 27-29로 나타났다. 이 그래프들에서도 변형량은 단면크기가 35cm 인것과 40cm 인 것은 특정시간에 변형량이 급격한 증대를 보이지만, 50cm 인 것은 서서히 증가한다. 이것은 iF-50-00실험체가 다른 실험체에 비해 다른 것이 아니라, 실험실 가열로 상의 기계적 결함으로 인한 실험중단으로 적정한 내화성능을 평가하지 못한 것으로 생각된다. 그림 27과 그림 28을 볼때, 그림 29도 실험시간이 좀더 경과 되었으면 다른 실험체와 비슷한 기울기를 보였을 것으로 생각된다. 그러나 피복한 실험체들은 이러한 변수가 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되어진다.

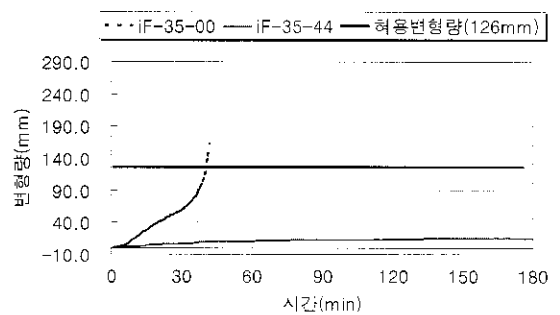


그림 27. iF-35실험체의 변형량 비교

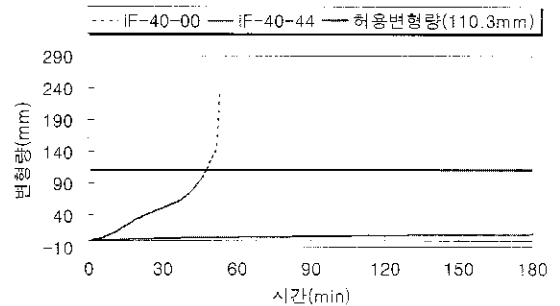


그림 28. iF-40 실험체의 변형량 비교

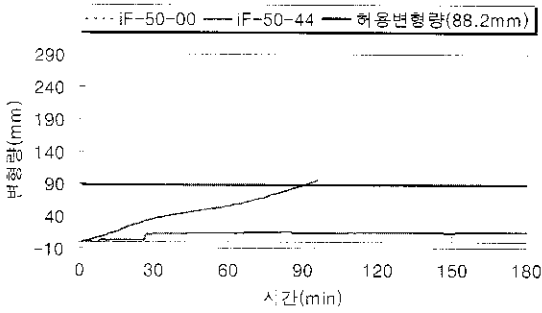


그림 29. iF-50 실험체의 변형량 비교

두 번째는 변형속도이다. 하중비에 따른 실험체 별로 변형속도를 측정하여 허용변형속도의 초과여부를 알아보기 위해 그림 30에서 그림 32까지 그래프로 나타냈다. 이 그림에서도 변형속도는 단면크기 35cm, 40cm인 것은 특정시간에 허용변형속도를 초과하면서 급격하게 증대하였고, 단면크기가 50cm인 실험체는 허용변형속도조차 초과하지 못하였다. 이것은 하중비에 의한 내화성능이 비약적으로 향상되었다고 생각할 수 있다. 그러나 변형속도에서도 피복된 실험체들은 큰 변화없이 고정적인 내화성능을 보이는 것으로 판단되어졌다.

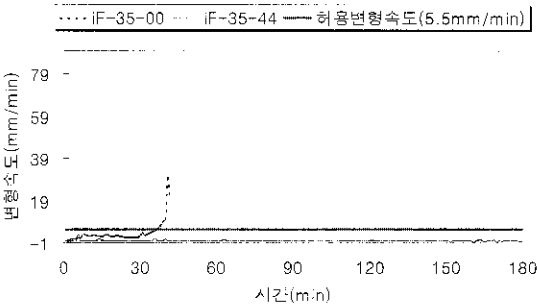


그림 30. iF-35 실험체의 변형속도 비교

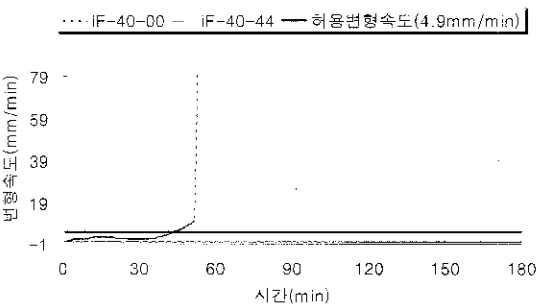


그림 31. iF-40 실험체의 변형속도 비교

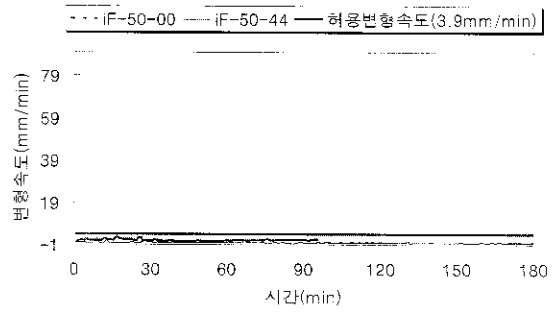


그림 32. iF-50 실험체의 변형속도 비교

위의 그래프들을 정리하여 각 실험체들에 대해 영향을 미치는 최대온도 및 평균온도와 변형량 및 변형 속도 등을 단면크기, 하중비, 피복유무를 변수로 두고 내화성능시간을 유추해보면 표 8과 같다. 무피복 실험체 중 하중비별로 실험체를 살펴보면, iF-35-00은 하중비가 100%, iF-40-00실험체는 70%, iF-50-00실험체는 40%이다. 하중비가 100%에서 70%로 줄어들면 내화성능시간이 13분가량 증가하고, 하중비가 40%로 줄어들면 34분이상의 시간으로 증가한다. , 하중비가 70%~40%사이에 내화성능의 향상에 좀더 많은 영향을 미치는 하중비가 존재할 것으로 생각되어진다. 무피복 실험체들의 내화성능시간이 각각 39분, 46분, 90분 이상이고, 피복한 실험체들은 변수에 영향을 거의 받지 않고 내화성능시간은 180분으로 판단된다.

표 8. 각 실험체의 온도와 변형과 변형속도에 따른 내화성능

피복 안한 실험체			피복한 실험체				
실험체 (하중비%)	내화 성능(분)		내화 시간 (분)	실험체 (하중비%)	내화 성능(분)		내화시간 (분)
	변형량	변형 속도			변형량	변형 속도	
iF-35-00 (100%)	39	35	39	iF-35-44 (100%)	180	180	180분 이상
iF-40-00 (70%)	46	43	46	iF-40-44 (70%)	180	180	180분 이상
iF-50-00 (40%)	89	*	90분 이상	iF-50-44 (40%)	180	180	180분 이상

* : 실험체의 변형속도가 규정된 변형속도에 도달하는 시간을 가열로의 기계적 문제로 인하여 측정하지 못함

4.1 유럽의 슬림 플로어 시스템에 대한 연구 결과

Zhongcheng Ma, Pentti Makelainen,의 [Behavior of Composite Slim Floor Structures In Fire]20)은 비대칭

슬림 플로어 구조에 대하여 화재상태에서 세가지 하중비(0.69, 0.53, 0.37)에 따른 수직변위와 온도를 측정해서, 60분 화재에 대한 내화성능을 평가한 논문이다. 그 결과 어떠한 추가적인 내화재 없이, 하중비가 0.5보다 적다면, 단순 지지된 비대칭 slim floor beam은 60분 화재를 견딜 수 있다고 결론을 얻었다. 초기 화재에서는 보의 수직변형이 수평변형보다 크게 발생하지만, 그 뒤의 화재에서는 좀더 안정적인 거동을 보인다. 즉, 화재의 노출이 증가하면서 주위에 제한요소와 큰 변형은 인장거동을 효과적으로 만든다. 최종적으로 Slim Floor System은 90분 화재에 노출되었을 때, 완화된 하중비 0.54에서 안정적으로 유지되었다고 결론을 얻었다.

5. 결론

본 연구에서는 iTECH 합성보의 내화성능을 ISO834 표준 화재 곡선에 의한 온도값으로 가열노내의 온도를 설정한 뒤, 변수 실험을 통해 평가하였다. 내화성능 평가인자인 온도, 변형량, 변형속도에 영향을 미칠 것으로 판단한 변수인 단면크기, 피복유무, 그리고 하중비를 비교 분석하여 평가하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 무피복 실험체에서 iF-35-00은 최대온도 도달시간이 31분이고, iF-40-00은 34분이며, iF-50-00은 65분이다. 단면크기가 35cm에서 40cm로 5cm가 증가했을 때 강재의 규정된 최대온도에 도달하는 시간은 거의 증가하지 않는다. 그러나 40cm에서 50cm로 증가하면 최대온도에 도달하는 시간은 비약적으로 상승한다. 이번 실험은 재하실험으로서, 강재의 온도로서는 내화성능시간을 유추할 수 없지만, 실험체의 단면크기가 50cm이상이면 내화성능이 증대된다고 생각된다.
- (2) 무피복 실험체서 iF-35-00은 규정된 변형량과 변형속도 도달시간이 39분과 35분이고, iF-40-00은 46분과 43분이며, iF-50-00은 89분과 90분 이상이다. 하중비가 100%에서 70%로 줄어들면 내화성능시간은 조금 증가하며, 하중비가 40%로 줄어들면 내화성능시간은 90분 이상으로 비약적으로 증가한다. 즉, 하중비가 70% ~ 40%이하 사이에 존재하게 되면 내화성능을 비약적으로 향상시킨다고 생각된다.
- (3) 무피복 실험체의 재하실험은 변형만으로 평가된다. KS 코드 F 2257-1 (건축구조부재의 내화시험방법)에서 처럼 강재의 온도는 내화성능의 평가대상에서 제외된다. 하지만 강재의 온도값을 분석하면 일정한 단면크기이상이면 내화성능이 향상되는 것을 생각할 수 있다. 하

중비는 70%이하 일때, 특히 40%정도로 감소되어지면, 많은 내화성능이 향상되어질 수 있다고 생각된다. 이에 대해 본 실험에서 각 실험체에 대한 내화성능시간으로는 iF-35-00(하중비 100%)의 내화성능 시간은 39분, iF-40-00(70%)은 46분, iF-50-00(40%)은 90분이상이다. 또한 본 실험은 유효폭을 포함한 결과이며, 이를 제외한 경우에는 다른 결과가 예상된다.

감사의 글

본 연구는 2005 한국과학재단 특정기초연구(R01-2005-00-11202-0)지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

건축구조부재의 내화시험방법 - 일반 요구사항 KS F 2257-1
 건축구조부재의 내화시험방법 - 수평 내력 구획 부재의 성능조건 KS F 2257-5
 건축구조부재의 내화시험방법 - 보의 성능 조건 KS F 2257-6
 김도현, 주영규, 천성철, 김대영, 정광량, 김상대, iTECH System 전단강도에 대한 실험적 평가, 대한건축학회 춘계 학술발표대회 논문집(구조계), 22권 n.1 pp. 127~130, 2002-04.
 권인규, 지남용, 이세현, 철골 기둥 및 보부재의 허용온도에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 18권 10호, pp. 45~52, 2002. 11.
 김홍렬, 이세현, 강구조의 내화특성 평가를 위한 강재 허용온도기준 및 구조형태의 개선방안 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 18권 3호, pp. 11~20, 2002. 03.
 대우건설, 김상대, 동양구조안전기술, 해성기공, 층고절감형 iTECH 합성보 / 기념세미나6 : 건설업체 신기술 발표회 대한건축학회 학술발표대회(창립60주년 기념) 논문집, 25권 n.1, pp. 25~51, 2005-10
 민정기, 강석원, 김명한, 김상대, i-TECH보의 내화성능에 대한 해석적 평가, 대한건축학회 논문집 구조계, 18권 10호, pp. 37~46, 2005. 07.
 정재오, 김도현, 주영규, 이재홍, 김상대, 유한요소해석을 통한 iTECH의 전단 성능에 관한 해석적 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계), 23권 n.2, pp. 159~162, 2003-10.
 주영규, 김도현, 정광량, 김상대, iTECH 시스템의 전단성능에 대한 실험적 연구 / An Experimental Study on Shear Capacity of iTECH System, 대한건축학회 논문집, 19권 n.5, pp. 27~34, 2003-05.
 천성철, 주영규, 정광량, 김상대, 비대칭 유공 합성보 iTECH beam의 휨성능평가, 대한건축학회 논문집, 18권 n.4, pp.

- 67~74, 2002-04
- 최승관, 김성배, 이창남, 김상섭, 김홍열, 신현준 (2005) TSC 보 내화성능에 관한 수치해석적 연구, 대한건축학회 학술발표대회(창립60주년 기념) 논문집, 대한건축학회, 제 25권, 제 1호, pp. 551-554
- 한상훈, 이상호, 고온을 받는 철근 콘크리트 보 및 기둥 부재의 강도저하에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 18권 10호, pp. 3~12, 2004. 07.
- 한상훈, 이상호, 열응력을 고려한 철근콘크리트 부재의 고온시 휨 강도에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 20권 11호, pp. 59~66, 2004. 11.
- A.M. Allam, I.W. Burgess, R.J. Plank, PERFORMANCE - BASED SIMPLIFIED MODEL FOR A STEEL BEAM AT LARGE DEFLECTION IN FIRE, Proc. 4th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, Melbourne, Australia, (2002).
- A. Abbasi and P.J. Hogg, Fire Testing of Concrete Beams With Fibre Reinforced Plastic Rebar, Queen Mary, University of London, Department of Materials, London E1 4NS
- Andrew H. Buchanan, Structure Design for Fire Safety, John Wiley & Son . LTD, 2001. 05.
- ISO 834-1 (1999) Fire resistance tests - Elements of building construction and materials
- Ju, Young-Kyu Kim, Do-Hyun; Kim, Sang-Dae, Experimental assessment of the shear strength of an asymmetric steel composite beam with web openings, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Volume 32, Number 2, 1 April 2005, pp. 314- 328(15).
- Zhongcheng Ma, Pentti Ma'kela'inen, Behavior of Composite Slim Floor Structures In Fire, *Journal of Structure Engineering*, Volume 126, Issue 7, pp. 830-837 July 2000
- BS476 : Part20 Fire tests on building materials and structures, BSI
(접수일자 : 2006. 6. 15 / 심사일 2006. 7. 3 / 심사완료일 2006. 9. 26)