

비내력 천장구조 내화성능평가에 대한 실험적 연구 An Experimental Study on Fire Resistance Performance Test of Non-loadbearing Ceiling Systems

최동호[†] · 김대회 · 박수영

Dong-Ho Choi[†] · Dae-Hoi Kim · Soo-Young Park

한국화재보험협회부설 방재시험연구원
(2011. 3. 21. 접수/2011. 8. 12. 채택)

요 약

건축물의 바닥 하부에 설치되는 비내력 천장이 일정 시간의 내화성능을 확보할 경우 바닥 및 보에 요구되는 내화성능의 감소가 가능하다. 이에 따라 건물시공시 이들 부재에 시공되는 내화피복 절감 및 충전 구조 시공 완화 등으로 인하여 공간 구획의 활용성이 증가하여 비교적 경량으로 대규모 공간에 대한 시공이 가능하게 되어 건물 시공 · 유지관리의 편의성 확보, 공사기간의 단축 및 비용절감과 같은 경제적인 건축생산이 가능하게 된다. 외국에서는 보·바닥 및 천장재를 하나의 복합 시스템으로 구성하여 내화구조로 시공하거나 천장자체의 내화성능을 확보하는 경우가 있으나 국내에서는 이에 대한 연구가 진행되지 않아 건축물의 고층·경량화에 따른 경제적인 효율성을 확보하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 국내 건축물에 적용 가능한 내화성능을 확보한 표준화된 비내력 내화천장구조의 개발이 필요하며, 이에 본 연구에서는 현재 일반적인 비내력 천장구조의 내화성능을 평가하여 향후 비내력 내화천장구조의 개발을 위한 기초자료를 제시하였다.

ABSTRACT

Fire resistance ceiling system is the structure of which the ceiling installed under the slave of the structure has the fire resistance performance. Because of having the fire resistance performance, fire resistive coatings on steel beams can be reduced and large span structures can be constructed. So, it have advantages of convenience for construction, shorten for construction time and cost reducing. In foreign country, it is general that one system consisting of slave and ceiling is constructed as a fire resistance system. But in Korea, there are no fire resistance ceiling systems thus economical efficiency due to being high-rise and light-weight of structures is not secured. Therefore research and development of nominal fire resistance ceiling systems is necessary. On this study, fire resistances of standard non-loadbearing ceiling systems were assessed and basic informations for developing the fire resistance non-loadbearing ceiling systems were presented.

Key words : Fire Resistance Ceiling System, Fire resistance performance, Fire resistive Coating High-rise and light-weight of structure, Standard ceiling system

1. 서 론

현재 국내의 경우 건축물의 대형화 및 고층화에 따른 철골 건축물이 증가하고 있으며, 이에 적용되는 내화피복재의 시공도 증가하고 있다. 하지만 내화피복재의 경우 원재료 등에 대한 품질관리, 시공수준에 따른

내화성능 확보의 어려움, 시간경과에 따른 내구성 유지관리 등과 같은 문제점이 제시되고 있으며, 공간구획시 설비관통부 등에 대한 내화성능확보가 의무화¹⁾됨에 따라 비구획된 대공간 확보에도 어려움이 있어 이를 보완하거나 대체할 수 있는 새로운 구조 및 공법의 개발이 필요한 실정이다.

건축물의 바닥 하부에 설치되는 천장이 일정 시간의 내화성능을 확보하는 경우 바닥 및 보에 시공되는 내

[†]E-mail: cdh1118@hanmail.net

화피복의 경감이 가능하게 되며 천장공간내 벽체 관통부 등에 대한 내화충전구조가 불필요하게 되어 대규모 공간 시공이 가능하게 된다.

외국에서는 건축물의 층간 수평구획부재의 역할을 하는 보·바닥 및 천장을 복합 시스템으로 구성하여 내화구조로 시공하거나 천장구조에 대한 내화성능을 확보²⁾하고 있으며, 이에 대한 성능평가도 이루어지고 있다. 하지만 현재 국내에서는 천장을 바닥구조의 일부분으로 포함시켜 바닥 및 보와 함께 내화성능을 평가하고 있어 천장 자체의 내화성능이 파악되고 있지 않으며, 이에 따라 기본적인 평가 방법³⁾ 외에는 내화성능을 확보한 표준화된 비내력 천장구조 및 시공기술이 개발되어 있지 않은 실정이다.

위와 같은 필요성에 따라 본 연구에서는 국내에서 일반적으로 시공되는 비내력 천장구조의 내화성능을 평가하여 건축물에 적용 가능한 1~2시간의 내화성능을 지닌 비내력 내화천장구조 개발을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

2. 천장 구조

2.1 국내 현황

KS F 2257-9(건축구조부재의 내화 시험방법-비내력 천장의 성능조건)에서 천장은 ‘수평 구획을 위한 건축물의 비내력 부재’로 정의하고 있으며 별도의 달대 없이 벽에서 벽까지의 스패를 갖는 천장인 ‘자립천장’과 지지구조에 매달린 형식으로 시공되는 ‘달반자 천장’으로 구분하고 있다.

이중 달반자 천장의 경우 구성품인 행거, 천장 설비, 단열재 및 점검구 등을 모두 포함한 것으로 가장 일반적으로 시공되고 있다.

현재 국내에서는 설비류를 포함한 전체 시스템으로 내화성능을 확보한 천장구조의 개발은 진행된 바 없으며, 마감 및 흡음 목적을 지닌 천장재의 생산과 이들 천장재의 연결 등을 통한 달반자 천장의 시공방법 개발에 집중되고 있다.

2.1.1 T-Bar 구조

시공이 용이하며 천장면 어디서나 점검구 역할이 가능하여 보수 점검이 용이하다. 또한 T-Bar의 형태가 다양하여 건물 용도에 따른 선택의 폭이 넓은 장점도 있다.

2.1.2 M-Bar 구조

이중천장 마감 공법으로 M-Bar에 석고보드 등을 부착하고 그 위에 천정재를 타카핀 등으로 고정하는 공

법이다. 가장 견고한 구조로 Cube나 Stripe 가공 등으로 천장을 다양하게 디자인 할 수 있다.

2.1.3 T&H-Bar 구조

T-Bar를 주방향으로 설치하고 H-Bar를 천장재에 끼워 T-Bar와 교차하는 방향으로 T-Bar 위에 얹어 시공하는 구조이다. 소규격 제품을 연결하여 대규모화 할 수 있으며 천장면의 설비기구 등을 집중적으로 간략화하여 시공할 수 있다.

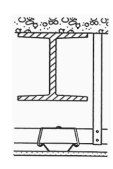
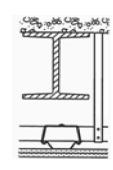
2.2 국외 현황

미국, 캐나다에서는 UL(Underwriters Laboratories)에서 바닥천장구조에 대한 UL 인증을 실시하고 있다. UL 바닥천장구조는 천장은 바닥에 포함한 구조로 천장내 관련 설비류를 포함하여 구조별로 내화성능을 인증하고 있다는 것이 특징이며, 현재 1~3시간의 내화성능으로 미국(UL) 106개, 캐나다(ULC) 35개 구조가 인증되고 있다.

Table 1. Floor-Ceiling System (UL 2010)⁴⁾

구조 단면	구조 사양
	<ul style="list-style-type: none"> · 내화성능: 3시간 · 천장: USG 흡음판(12 × 12, 24 × 3/4 in) · 상부: 데크플레이트위 보통 콘크리트(210), 철골보(W10 × 25) · 설비: 조명기구 2 × 4 ft, 두께 3/4", 흡음판 피복
	<ul style="list-style-type: none"> · 내화성능: 3시간 · 천장: 흡음판(20 × 60 in, 30 × 60 in, 48 × 48 in) · 상부: 데크플레이트위 경량 또는 보통콘크리트(210), 철골보(W8 × 15) · 설비: 덕트(No 24. 아연도강판), 댄퍼(No 22 MSG), 조명기구(2 × 4 ft, 5/8" 흡음판 피복)
	<ul style="list-style-type: none"> · 내화성능: 2시간 · 천장: 흡음판(24 × 24, 36 × 48 in) · 상부: 데크플레이트위 보통 콘크리트(280), 철골보(W8 × 17) · 설비: 덕트(No 22. 아연도강판), 댄퍼(No 14 MSG), 조명기구(2 × 4 ft)

Table 2. Lafarge Suspended Ceiling System (France)

구조 단면	구조 사양	내화성능 (시간)
	· Ceiling - 12.5t Lafarge wall board 또는 12.5t Predeco wall board · Channel 450 간격	-
	· Ceiling - 12.5t Lafarge Firecheck wall board · Channel 450 간격	1.0
	· Ceiling - 12.5t Lafarge wall board 2겹 또는 12.5t Predeco wall board 2겹 · Channel 450 간격	0.5
	· Ceiling - 12.5t Lafarge Firecheck wall board 2겹 · Channel 450 간격	1.5
	· Ceiling - 15t Lafarge Firecheck wall board 2겹 · Channel 450 간격	2.0

영국, 프랑스 등 유럽에서는 천장재 제조 회사에서 자체적으로 천장구조를 개발하여 내화성능을 평가하고 있으며, 이 경우 미국, 캐나다와는 달리 바닥구조 및 내부 설비류는 포함하지 않은 천장구조 자체를 평가대상으로 하고 있다.

3. 천장 내화성능 평가

3.1 개요

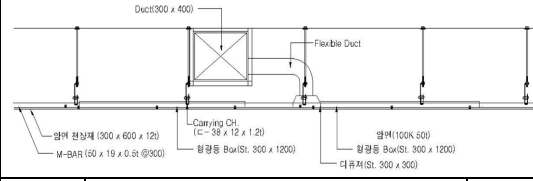
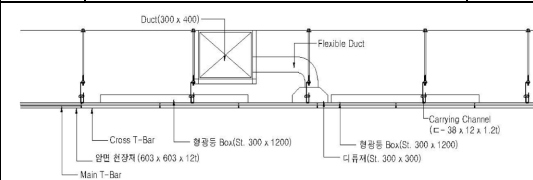
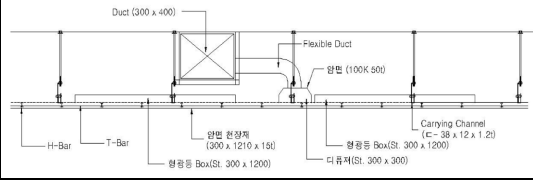
비내력 천장구조의 내화성능을 평가하여 표준화된 비내력 내화천장구조 개발에 필요한 기초자료를 확보하기 위해 국내에서 일반적으로 시공되는 달반자 천장구조를 대상으로 KS F 2257-9에 의한 내화성능 평가를 실시하였다.

시험체는 3m × 4m 크기로 M-Bar, T-Bar 및 T&H-Bar 구조에 국내 압면·석고 천장재와 방화석고보드 및 단열재로 압면을 시공하여 제작하였다.

천장 설비로 천장내 공간(500mm)에 Duct(St. 300 × 400 × 3,000 L), 디퓨저(St. 300 × 300), Flexible duct, 스피커(St. ø 200) 각 1개 및 형광등 Box(300 × 1,200) 2개를 설치하였다.

한국화재소방학회 논문지, 제25권 제4호, 2011년

Table 3. Test Ceiling Structures

시험체	구 성	천장 구조
1	· 압면 천장재, 두께 12 mm	M-Bar
2	· 석고 천장재, 두께 12.5 mm · 설비류 외부 100 K, 두께 50 mm 압면 단열	M-Bar
3	· 압면 천장재, 두께 12 mm + 방화석고보드, 두께 12.5 mm · 설비류 외부 100 K, 두께 50 mm 압면 단열	
4	· 석고 천장재, 두께 12 mm + 방화석고보드, 두께 12.5 mm · 설비류 외부 100 K, 두께 50 mm 압면 단열	
		
5	· 압면 천장재, 두께 12 mm	T-Bar
6	· 압면 천장재, 두께 12 mm + 방화석고보드, 두께 12.5 mm · 설비류 외부 100 K, 두께 50 mm 압면 단열	
		
7	· 압면 천장재, 두께 15 mm	T&H-Bar
8	· 압면 천장재, 두께 12 mm + 압면(100 K), 두께 50 mm · 설비류 외부 100 K, 두께 50 mm 압면 단열	
		

3.2 시험방법

3.2.1 성능판정기준

시험체의 내화성능은 KS F 2257-9의 차염성 및 차열성 기준으로 판정하였다.

Table 4. Fire-resistance Performance Criteria

구분	성능기준
차열성	1) 면패드 적용 시험체 표면에 발생한 개구부, 화염에 30초간 면패드 접촉시 착화되지 않을 것 2) 균열계이지 적용 6 mm 균열계이지가 시험체를 관통 후 150 mm 이동하거나, 25 mm 균열계이지가 시험체를 관통 후 가열로 내부로 삽입되는 개구부가 발생하지 않을 것 3) 이면 화염 발생 시험체 이면에서 10초 이상 지속되는 화염이 발생하지 않을 것
차열성	1) 이면평균상승온도 시험체 이면 5개소의 고정열전대 측정온도가 초기평균온도보다 140 K를 초과하지 않을 것 2) 이면최고상승온도 이동열전대 포함한 모든 이면열전대의 측정온도가 초기평균온도보다 180 K를 초과하지 않을 것

Table 5. Measurement Location of the Temperature Rise of Test Specimens



3.2.2 시험

시험체에 대해 시험중 시험체 이면의 화염·개구부 발생, 천장 붕괴 여부를 관찰하였으며, 아래 부위들의 이면온도를 측정하였다.

- (1) 천장재·천장재간 접합부 이면
- (2) 천장 설비 이면
- (3) 천장재·설비 단열시 단열재(암면) 이면

3.3 시험결과

3.3.1 차열성

시험체의 차열성 측정결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Test Results for Integrity of Test Specimens

시험체	시험시간 (분)	측정 결과
1	60	· 시험후 13분 경과시 형광등 Box 이면 화염 발생 및 디퓨저, 화염 확대
2	15	· 시험후 4분 경과시 디퓨저, 화염 발생 · 시험후 15분 경과시 천장재 탈락 시작
3	60	· 시험후 16분 경과시 디퓨저, 단열부 이면 화염 발생 · 시험후 23분 경과시 형광등 Box 단열부 이면 화염 발생
4	30	· 시험후 19분 경과시 디퓨저, 단열부 이면 화염 발생 및 천장재 탈락 시작
5	60	· 시험후 2분 경과시 디퓨저, 단열부 이면 화염 발생 및 형광등 Box로 화염 확대
6	60	· 시험 종료시까지 이면 화염 및 개구부 미발생, 단 시험종료 후 천장 전체 붕괴
7	60	· 시험후 4분 경과시 디퓨저, 단열부 이면 화염 발생 및 형광등 Box로 화염 확대
8	30	· 시험후 15분 경과시 디퓨저, 단열부 이면 화염 발생

Table 7. Test Specimens During the Test



3.3.2 차열성

시험체의 차열성 측정결과는 Table 8과 같다.

3.3.3 결과 종합

비내력 달반자 천장구조 8개 시험체의 내화성능은

Table 8. Test Results for Insulation of Test Specimens

시험체	시험 시간 (분)	측정 결과(°C)/성능 초과 시간(분)			
		천장재 평균온도	최고온도(°C)		
			천장재	천장재 접합부	천장설비
1	60	320/8	565/8	711/8	740/6 (디퓨저)
2	15	260/12	287/12	555/12	424/2 (형광등 Box)
3	60	291/44	590/40	654/38	327/24 (디퓨저)
4	30	262/25	647/24	720/18	597/11 (스피커)
5	60	379/6	342/6	391/4	654/3 (디퓨저)
6	60	127/-	124/-	744/14	-
7	60	408/8	721/8	531/8	801/3 (디퓨저)
8	30	152	189/27	239/18	-

Table 9. Fire-resistance Performance of Test Specimens

시험체	시험시간 (분)	차염성 (분)	차열성 (분)	내화성능 (분)
1	60	12	5	5
2	15	3	1	1
3	60	15	23	23
4	30	18	10	10
5	60	1	2	2
6	60	60	13	13
7	60	3	2	2
8	30	14	17	17

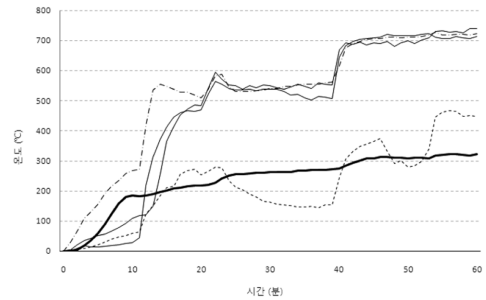
Table 9와 같다.

1) M-Bar 천장 구조

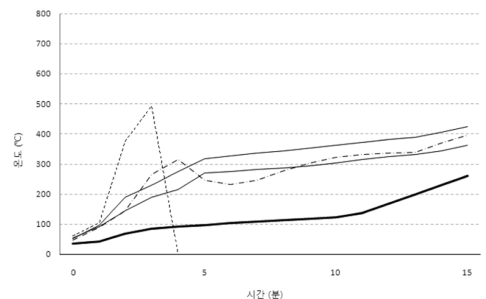
가) 천장재 시공시 내화성능 1~5분, 방화석고보드 보강시 내화성능 10~23분으로 나타나 최소내화성능 30분을 확보하지 못하는 것으로 나타났다.

나) 차염성 및 차열성 모두 형광등 Box, 디퓨저, Flexible Duct 등 설비 시공부에서 성능기준이 초과되었다.

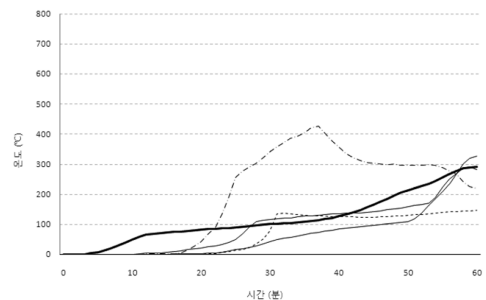
다) M-Bar(암면 천장재 + 방화석고보드) 천장 구조에서 설비류 시공부외에서는 내화성능 37분으로 설비 시공부 보강시 내화성능이 향상될 것으로 판단된다.



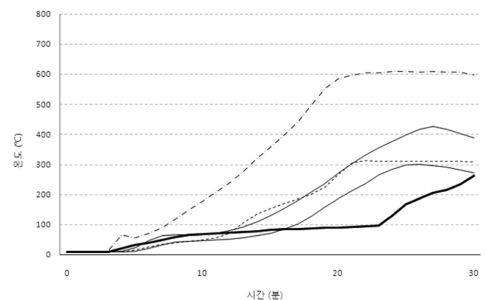
1) 시험체 1(암면 천장재)



2) 시험체 2(석고 천장재)



3) 시험체 3(암면 천장재+방화석고보드)



4) 시험체 4(석고 천장재+방화석고보드)

Figure 1. Temperature rise of the specimens (M-Bar).

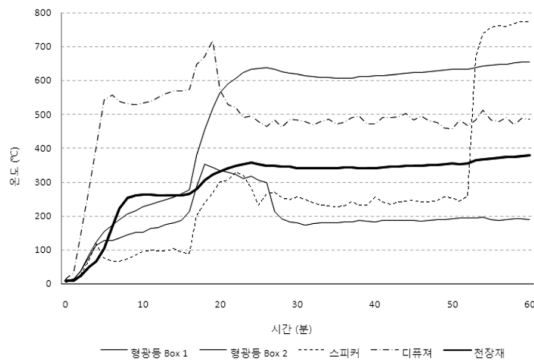


Figure 2. Temperature rise of the specimens (T-Bar).

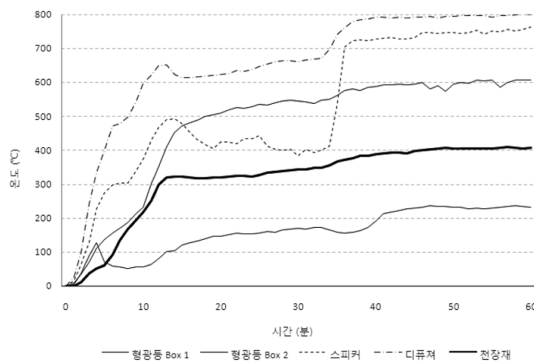


Figure 3. Temperature rise of the specimens (T&H-Bar).

2) T-Bar 천장 구조

가) 천장재 시공시 내화성능 1분, 방화석고보드 보강시 내화성능 12분으로 나타났다.

나) 차열성 및 차열성 모두 형광등 Box, 디퓨저, Flexible Duct 등 설비 시공부에서 발생하였으나 이 부분을 제외한 부분에서는 내화성능이 13분으로 나타나 M-Bar 천장 구조와는 차이가 있는 것으로 나타났다.

3) T&H-Bar 천장 구조

가) 천장재 시공시 내화성능 2분, 압면 보강시 내화

성능 13분으로 나타났다.

나) 차열성 및 차열성 모두 형광등 Box, 디퓨저, Flexible Duct 등 설비 시공부에서 발생하였으나 이 부분을 제외한 부분에서는 내화성능이 14분으로 나타나 M-Bar 천장 구조와는 차이가 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

1) 국내에서 일반적으로 시공되고 있는 비내력 달반자 천장구조에 대한 내화시험을 실시한 결과 평균 내화성능 3분 이하로 30분의 최소 내화성능도 확보하지 못하는 것으로 나타났다. 특히 설비 시공부의 화염 발생 및 탈락이 두드러져 화재시 이 부분에서 우선적으로 붕괴가 나타날 것으로 예상된다.

2) 표준천장구조 개발을 위해서는 M-Bar 천장은 설비 시공부의 단열, 설비 사양의 개선, 방화석고보드의 적용 및 보강 등을 고려할 필요가 있다.

3) T-Bar 및 T&H-Bar 천장은 천장틀에 천장재를 올려놓거나 보조틀에 끼워 넣는 방식으로 시공되어 고온으로 인한 천장틀 변형 및 천장재의 탈락이 용이하므로 추후 표준구조 개발시 천장재와 천장틀의 고정방법 등에 대한 고려가 우선적으로 필요하다.

※ 본 논문은 내화천장구조 표준화에 대한 초기연구로써 향후 천장구조 개발 및 시공방법 제안 등 최종성과물에 대한 연계발표가 예정되어 있음을 알려드립니다.

참고문헌

1. 국토해양부고시 2010-331, 내화구조인정 및 관리기준 (2010. 5).
2. National Fire Protection Association (NFPA), NFPA 5000, Building Construction and Safety Code(2006).
3. KS F 2257-9 : 건축구조부재의 내화시험방법-비내력 천장의 성능조건(2008).
4. UL (Underwriters Laboratories) Directory(2010).