

건축물 보·바닥 법정 내화구조 분류체계 개선 방안 연구

A Study on the Improvement Plan of Classification System for Beam and Slab of Fire Resistance Construction in Building's Law

안재홍* · 조규환** · 여인환***

An, Jaehong*, Cho, Gyuhan**, and Yeo, Inhwan***

Abstract

To guarantee evacuation time and prevent the spread of fire and the collapse of a building on fire, the main structure is designed based on the fire resistance construction, depending on the number of stories, the purpose, and the scale of the building. Further, the fire resistance construction plan is designed using prescriptive or performance methods. Domestic laws prescribe materials and recommend certain thickness of fire resistance constructions, without considering the fire-resistant performance time. Issues such as over-design or under-design and lack of consideration of the recent technological advancements in construction materials and techniques persist, as considerable time would have elapsed since the enactment of the law. Therefore, the purpose of this study is to make improved modifications to the Building Code for Fire resistance Construction prescribed in Article 3 of the current "Rules for the Standards of Escapes/ Fire-Proof Construction of Buildings and Others."

Key words : Fire Resistance Construction, Fire Resistance Performance, Classification System

요 지

건축물 화재시 인명 대피시간의 확보와 화재확산 방지 및 건물붕괴 방지를 위하여 건축물의 용도와 규모, 층수에 따라 주요구조부를 내화구조로 설계하고 있으며, 내화구조는 사양적 혹은 성능적 방법에 의해 설계하고 있다. 국내의 경우 건축법령에 의해 사양적 내화구조를 명시하고 있는데 현행 법정 내화구조의 경우 부재에 요구되는 내화성능 시간에 상관없이 사용 재료와 두께 등에 대해서만 규정하고 있어 과다설계 혹은 과소설계의 문제를 안고 있으며, 특별한 변화 없이 수십 년간 경과되어 최근의 건축재료 및 공법의 기술발전과 시대적 요구를 적절히 수용하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 현행 『건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙』 제 3조에 규정되어 있는 건축물 법정내화구조종 보와 바닥구조에 대하여 구조형식별, 성능요건별로 세분화하여 새로운 법정 내화구조 분류체계를 제시하고자 한다.

핵심용어 : 내화구조, 내화성능, 분류체계

1. 서 론

건축물 화재 발생시 인명과 재산피해를 최소화하기 위해 서는, 건축물 주요 구조부(기둥, 보, 벽, 바닥 등)가 화재에

안전하게 견딜 수 있어야 되기 때문에 일정한 기준을 충족하 는 내화성능을 확보한 내화구조로 이루어져야 한다. 국내의 내화 구조기준은 "건축법"에 내화구조의 시행 근거를 두고 "건축물 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙" 제3조에

*정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 수석연구원(E-mail: rehong@kict.re.kr)

Member, Senior Researcher, Fire Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**한국건설기술연구원 화재안전연구소 수석연구원

Senior Researcher, Fire Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

***교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 연구위원(Tel: +82-31-369-0508, Fax: +82-31-369-0670, E-mail: yeo@kict.re.kr)

Corresponding Author, Member, Research Fellow, Fire Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

따라 특정구조에 대하여 내화성능을 확인하여 인정함으로써 불필요한 시험 및 확인절차를 생략하여 현장에 손쉽게 적용할 수 있는 법정 내화구조를 규정하고 있다. 그리고 국토교통부 고시 제2018-772호 “내화구조의 인정 및 관리기준”에서는 규칙 제3조의 법정 내화구조 이외의 기타 내화구조 인정에 관한 규정을 정하고 있다.

미국, 캐나다 및 일본 등 선진각국에서는 화재시 건축물의 용도와 부위, 층수에 따라 내화구조 대상 제외 및 30분~4시간까지의 성능기준을 적용하여 구조형식별 성능시간을 세분화하여 성능에 기반을 둔 건축물 내화구조 제도를 운영하고 있다(Harmathy, 1993).

국내의 법정 내화구조의 경우, 내화성능시간에 상관없이 부위별로 사용재료와 두께 등에 대해서만 규정하고 이를 건축물에 획일적으로 적용하고 있으며, 규정이 마련되어 운용된 지 이미 상당한 시일이 경과되었음에도 일부 개정작업도 없이 현재까지 적용되고 있어 최근의 건축재료 및 공법의 기술발전을 적절히 수용하지 어려운 상황이다.

이에 국외 제도운영 사례를 검토하고 법정 내화구조에 대한 내화성능 평가 결과를 바탕으로 경제적, 효율적 법정내화구조에 대한 개선 방향을 제시해보고자 한다.

2. 연구의 배경 및 목적

건축물 화재시 재실자의 피난안전 확보, 소방 활동의 안전 확보 및 건축물 붕괴 방지에 따른 재산 보호와 건축물 주요 구조부재의 화재안전성을 위하여 다양한 건축물의 조건에 맞는 합리적이고 과학적인 내화설계기술의 개발과 보급이 필요하다.

하지만 국내의 사양적 법정 내화구조 기준은 건축물의 형태 및 특성에 관계없이 획일적인 기준을 적용하고 있으므로, 대형화 복잡화 되는 최근의 건축시장의 변화에 부응하고 건축물 조건에 따른 합리적인 내화설계가 이루어지지 못하는 기술적·제도적 한계를 극복하기 위하여, 건축물 조건을 합리적으로 수용할 수 있는 안전하고 경제적인 내화구조의 적용이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구는 사양적 법정 내화구조의 획일화된 기준을 내화성능에 따라 세분화된 기준으로 개선하기 위한 기초 자료를 제공하고 이를 통한 법정 내화구조의 세부성능 기준을 제안하는데 목적이 있다. 건축물 법정내화구조 분류체계 개선을 위하여 국내·외 법정내화구조 규정을 조사·분석 하였다. 그리고 법정내화구조로 적용 가능한 구조 상세를 완성하기 위하여 구조부위별로 구성형식에 따라 내화성능 시험을 수행하였다.

내화성능 평가 결과를 바탕으로 바닥 및 보 구조의 법정내화구조를 부재별·시간별 내화성능시간을 설정하였으며 이를 분류하여, 최종적으로 현 실정에 적합하고 세분화된 보 및 바닥구조의 건축물 법정 내화구조를 제안하고자 한다.

3. 국내외 법정내화구조 조사 및 분석

우리나라를 비롯한 일본, 미국, 독일 등 외국에서는 건축 관련 법률 또는 기준에 건축현장에서 일반적으로 사용하고 있는 부재로서 별도의 내화성능시간 확인이 필요하지 않은 일반화된 법정 내화구조를 제시하고 있다.

3.1 우리나라

우리나라는 건축법 시행령에서 내화구조를 「내화구조라 함은 화재에 견딜 수 있는 성능을 가진 구조로서 국토해양부령이 정하는 기준에 적합한 구조」라고 정의하고 있으며, 일정 용도 및 규모에 따라 건축물의 주요 구조부(벽, 기둥, 보, 바닥, 지붕틀, 계단)는 내화구조로 시공하도록 하고 있다.

건축법 50조에서는 그 주요 구조부를 내화구조로 하여야 하는 법적 근거를 명시하고 있고, 건축법 시행령 제56조에서는 내화구조로 하여야 하는 내화구조 대상건축물을 규정하고 있다. 또한, ‘건축물 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙’ 제3조에서는 주요 구조부에 대한 내화성능을 법으로 규정한 사양기준의 법정 내화구조를 제시하고 있다.

3.2 일본

일본은 내화구조에 대하여 건축기준법 제2조 7호에서 「철근콘크리트조, 벽돌조 등의 구조로서 정령(건축법시행령 제10조)으로 정한 내화성능을 가진 것」으로 정의하고 있으며(Lee et al., 2004), 부재별 내화구조의 시방기준은 「내화구조의 구조방법을 정하는 요건」 건설성고시 제1399호(2000. 5. 30.)에서 규정하고 있다. 국내에서는 내화성능을 구조부재의 구조 방법에 상관없이 요구되는 모든 부위에 사용할 수 있도록 규정한테 반하여, 일본에서는 구조부재의 구조방법에 따라 30분, 1시간, 2시간, 3시간 등 내화성능시간으로 세분화 하여 규정하고 있다.

3.3 미국

미국의 내화구조 규정은 미국 내 각 주정부에서 해당 주의 환경 및 여건에 적합한 규정을 채택하여 적용하고 있기 때문에 동일한 규정을 가지고 있는 주정부는 거의 없는 상태이다. 그 중 최근 제정된 IBC (ICC, 2012a, 2012b)는 기존의 NFPA 등에서 제시하는 사양적 내화구조 기준과 더불어 성능적 내화구조 기준을 Code에 명시함으로써 성능적 설계기준도 제시하고 있는 상황이다(Powell-Smith and Billington, 1999).

IBC의 Chapter 7. Fire-Resistance-Rated Construction의 Section 719 PRESCRIPTIVE FIRE RESISTANCE 에서는 철골조를 포함한 주요구조부재의 구조방법에 따른 내화성능시간을 30분~4시간까지 규정하고 있다. IBC에서 정하고 있는 법정 내화구조의 대상 부재는 불연재의 피복 재료를 사용한 강재 기둥·보·트러스, 콘크리트 기둥·보 및 바닥, 칸막이벽, 천장 등에 대해서 규정하고 있다.

3.4 캐나다

캐나다에서의 내화구조 대상 건축물 및 성능기준은 National Building Code Part 3 및 National Fire Code Part 2에서 규정하고 있으며(Powell-Smith and Billington, 1999), 건축 구조부재의 구조형태에 따른 법정내화구조는 Appendix D Fire-Performance Ratings에서 자세하게 기술하고 있다. Appendix D Fire-Performance Ratings에서는 법정내화구조에 사용되는 재료로서 콘크리트, 석고보드, 플라스터 등에 대한 재료의 기준을 먼저 제시하고 있으며, 이러한 재료들이 내화피복 재료로서 사용될 경우의 구조형태별 법정내화구조의 성능기준을 제시하고 있다. 또한 Appendix A Explanatory Material for the National Building Code of Canada 1995의 A.9.10.3.1 Fire and Sound Resistance of Building Assemblies에서는 벽의 구조형태에 대한 내화성능에 대하여 자세하게 언급하고 있다.

3.5 독일

독일에서의 내화관련 법규는 각각의 주정부가 별도의 건축법으로 규정하고 있으며, 대표적인 관련 법규로서는 베를린의 Bauordnung가 있다. 이러한 독일 건축법에서는 내화구조 대상 건축물 및 건축구성요소의 포괄적인 내화구조 성능기준을 제시하고 있다. 또한 건축구성요소에 사용되는 재료에 대한 내화성능은 독일표준규격인 DIN (Deutsches Institut für Normung)에서 규정하고 있으며, DIN 4102 part 1에서는 건축구성요소에 사용되는 재료를 Class A와 B로 분류하여 규정하고 있다.

DIN 4102 part2에서는 내화구조 대상건축물에 대한 DIN Part 1의 재료를 사용할 경우의 내화성능 분류기준을 제시하고 있으며, 법정내화구조에 관한 기준은 DIN Part 4 Fire

behaviour of building materials and elements - Overview and design of classified building materials, elements and components에서 규정하고 있다.

4. 법정내화구조 내화성능 고찰

본 연구에서는 국내 콘크리트구조설계기준 및 강구조설계기준 등에 근거하여 국내 실정에 적합한 각 구조체의 종류 및 재료별 피복 두께를 산정하고 피복 깊이에 따른 온도상승을 측정, 정량적 데이터의 확보 및 피복두께와 구조물의 내화성능과의 관계를 파악하고자 하였다.

또한 이를 근거로 보와 바닥의 현재 법정 내화구조의 분류체계를 적용부위, 부재별, 시간별로 내화성능 설정에 따라 보다 세분화되고 합리적인 내화구조 기준을 제안하는 근거로 활용하고자 하였다. 내화성능평가는 현재 건설현장에서 일반적으로 사용하고 있는 구조를 선정하여 시험체를 제작하였으며, 내화성능 평가용 시험체는 구조형식별로 피복두께 및 부재크기 등을 변수로 하여 선정하였다. 내화시험은 ISO 834-1 Fire-resistance tests와 부합한 KS F 2257-1,5,6의 기준에 의거하여 재하 내화 시험(Load bearing fire test)을 수행하였다. Table 1은 시험체 세부내용을 정리한 것이다.

그리고 Fig. 1은 내화성능 시험을 수행한 바닥, 보 부재의 내화시험 후 모습이다.

4.1 보 구조의 내화성능 고찰

철근콘크리트조 보 부재인 B-RC-40은 피복두께 40 mm로 제작하여 내화시험을 하였으며, 내화시험결과 166분까지 휨 변형이 발생되었으며, 167분에 전단력에 따른 취성파괴가 발생하여 허용 변형량을 초과한 것으로 나타났다.

Table 1. Plan of Fire-resistant Performance Specimen and Fire Test Result

Part	Specimen	Type	Size (W×D/t×L/H) (mm)	Factor of specimen				Fire resistant performance (test result) (min)
				Concrete strength (MPa)	Cover thickness (mm)	Load Ratio	Load (kN)	
Beam	B-RC-40	RC	260×480×5000	24.0	40	0.8	412	166
	B-SRC-20	SRC	220×440×5000	24.0	20	0.8	140	180
	B-SRC-40	SRC	260×480×5000	24.0	40	0.6	122	180
	B-SWM-50	SWM	299×496×5000	24.0	50	0.6	89	180
	B-SC-30	SC	260×456×5000	24.0	30	0.8	358	96
Slab	S-RC-30	RC	3000×120×5000	24.0	30	0.8	75	151
	S-RC-40	RC	3000×150×5000	24.0	40	0.6	49	180
	S-SRC-20	SRC	3000×160×5000	24.0	20	0.8	141	180
	S-SRC-40	SRC	3000×200×5000	24.0	40	0.6	107	180
	S-SWM-40	SWM	3000×180×5000	24.0	40	0.6	67	180
	S-SWM-50	SWM	3000×200×5000	24.0	50	0.6	77	180

※ RC : Reinforced Concrete, SRC : Steel Framed Reinforced Concrete,

SC : Steel frame covered with concrete, SWM : Steel frame covered with wire mesh-mortar



(a) S-RC-30



(b) B-SRC-20

Fig. 1. Fire Resistance Test of Slab and Beam

철골철근콘크리트조인 B-SRC-20은 피복두께 20 mm를 적용하여 시험하였으며, 가열시작 180분 경과시 최대변형량 52.8 mm, 변형속도 0.4 mm/min로 내화성능 기준인 최대변형량 110.5 mm, 변형속도 4.9mm/min과 비교하여 최대변형량은 약 50%, 변형속도는 약 10% 수준으로 180분의 내화성능을 안전하게 확보하였다.

B-SRC-40 시험체도 가열시작 약 10분 경과시 보 모서리 부위에서 폭렬이 발생하여, 하부 철근이 일부 노출되었으나, 가열시간 180분에 최대변형량은 54.1 mm, 변형속도 1.1 mm/min으로 180분의 내화성능을 충분히 확보한 것으로 관찰되었다.

B-SWM-50 시험체는 철골을 철망모르타르로 피복한 구조이다. 내화시간 8분경에 보 모서리 부위에서 폭렬을 발생하여 하부 철망이 일부 노출되었으나, 시험이 진행되는 동안에 꾸준한 휨변형이 발생하여 가열시간 180분에 최대변형량은 21.9 mm가 관찰되었다. 변형량 기준인 98.9 mm의 약 22% 정도 수준으로 180분의 내화성능을 안전하게 확보하였다.

B-SC-30은 철골을 콘크리트로 피복한 구조로서 H형강 강재에 콘크리트를 타설하였다. 철골철근콘크리트와는 구별되도록 내부에 철근을 배근하지 않은 구조이며, 피복두께는 30 mm로 제작하였다. 내화시험결과 가열시작 약 90분 경과되어 부재 하부의 콘크리트 피복 전체가 탈락하면서 변형량과 변형속도가 급속히 증가하였다. 내화시간 97분에 변형량과 변형속도 기준을 초과하여 96분의 내화성능을 확인하였다.

4.2 바닥 구조의 내화성능 고찰

철근콘크리트조로 피복두께 30 mm인 S-RC-30 시험체는 가열시간 152분에 변형량 393 mm 까지 발생하였으며, 재가열에 따른 수평부재의 일반적인 휨 변형 현상이 발생한 것으로 사료된다.

S-RC-40은 가열시작 약 8분 경과 후 바닥 표면에서 폭렬이

발생하였으며, 폭렬은 약 30분간 지속되었으며, 폭렬로 인해 하부 철근이 노출되었다.

180분에 181.7 mm의 변형량이 관측되어 변형량 기준인 420.0 mm의 약 43%로 180분 내화성능을 충분히 만족하는 것으로 관찰되었다.

철근콘크리트 바닥구조의 경우 피복두께 30 mm인 구조가 2시간의 내화성능을 피복두께 40 mm인 구조는 3시간의 내화성능을 가지는 것으로 판단된다.

피복두께 20 mm의 S-SRC-20 시험체는 내화시험 결과 가열시간 180분에 최종 변형량 247.9 mm, 변형속도 2.1 mm/min로 최종 내화성능은 180분 이상으로 나타났다. 피복두께 20 mm로 3시간의 내화성능을 확보한 철골철근콘크리트 바닥의 경우 피복두께 외에 바닥 두께에 따른 변화를 분석하기 위하여 바닥두께 200 mm의 S-SRC-40에 대하여 내화시험을 수행하였으며, 180분에 136.7 mm의 변형량이 관측되어 S-SRC-20과 마찬가지로 180분의 내화성능을 만족하는 것으로 나타났다.

철골에 철망모르타르를 피복한 S-SWM-40 시험체는 내화시험 결과 가열시작 약 7분 경과 후 바닥 표면에서 폭렬을 발생하였으며, 이로 인해 하부 철망이 노출되었으나, 180분에 변형량이 78.2 mm로 관측되어 변형량 기준인 315.0 mm의 약 25%로 180분 내화성능을 충분히 만족하는 것으로 나타났다.

바닥 두께를 200 mm로 증가한 S-SWM-50은 180분에 101.0 mm로 기준인 294.0 mm의 약 34%로 나타나 내화성능은 바닥두께보다 피복두께에 따른 영향이 상대적으로 큰 것으로 사료된다.

5. 법정내화구조 분류체계 세분화 제안

건축물의 보 및 바닥구조에 대한 국외 법정내화구조 성능 기준을 분석하고 국내 건설시장에서 일반적으로 사용되는

보 및 바닥구조에 대하여 구조형식별로 내화성능을 고찰한 결과를 바탕으로 국내 실정에 적합한 법정내화구조 분류체계 세분화를 위한 방안을 제시해보고자 한다.

5.1 보 법정내화구조 분류체계 제안

5.1.1 철근콘크리트(RC)

IBC에서는 규산질 골재를 사용하는 철근콘크리트의 경우 피복두께 38.1 mm 이상이면 180분의 내화성능을 확보하는 것으로 규정하고 있으며, NBC의 경우 내화성능 180분, 120분, 60분의 경우 피복두께가 각각 39 mm, 25 mm, 20 mm로 제시하고 있다.

그리고 Eurocode의 경우 Tabulated data에서 최소피복과 보폭을 변수로 내화성능을 제시하고 있는데 이중 연속보의 경우 내화성능 180분, 120분, 60분의 경우 피복두께는 각각 80 mm, 65 mm, 40 mm를 제시하고 있다(단, Eurocode의 경우 피복두께 개념은 주근의 중심에서 콘크리트 표면까지의 거리를 의미하므로 국내규정의 피복두께와는 차이가 있다.).

따라서 IBC, NBC, Eurocode의 경우 건축구조기준 및 건축공사표준시방서에서 제시하는 최소피복두께 40 mm를 유지할 경우 철근콘크리트는 180분의 내화성능을 확보할 수 있으며, 이를 세분화된 법정내화구조로 제안하기 위해 NBC 및 Eurocode를 참고하여 최소피복두께보다 작은 30 mm, 20 mm를 각각 120분, 60분으로 세분화 하는 방안을 제시해보고자 한다.

그리고 내화성능 평가시험 고찰 결과가 급격한 취성과파괴로 인하여 정확한 판단을 하기 곤란하지만 피복두께 40 mm에서 166분까지 휨 변형이 거의 발생하지 않고 내화성능을 확보하였으므로 시험결과를 참고하여, 철근콘크리트 보의 경우 40 mm의 최소피복두께만을 확보한다면 180분의 내화성능을 확보할 수 있으며, 120분, 60분은 각각 피복두께 30 mm, 20 mm 이상으로 세분화하여 제시해보고자 한다.

5.1.2 철골철근콘크리트(SRC)

철골철근콘크리트조는 일본 규정에서만 찾을 수 있는 구조이며 국내에서는 철근콘크리트와 같이 일반적으로 180분의 내화성능을 가지는 것으로 간주하고 있다.

Table 2. Proposal of a Classification System for the Fire-Resistance Construction Code (Beam)

Current Building's Law		Proposal on Improvements	
Construction	Fire-Resistant Performance (min.)	Construction	Fire-Resistant Performance (min.)
Reinforced Concrete	180	Reinforced concrete with steel-reinforcement covered with concrete of over 4 cm in thickness	180
		Reinforced concrete with steel-reinforcement covered with concrete of over 3 cm in thickness	120
		Reinforced concrete with steel-reinforcement covered with concrete of over 2 cm in thickness	60
Steel Framed Reinforced Concrete	180	Steel framed reinforced concrete with steel frame covered with concrete of over 4 cm in thickness	180
		Steel framed reinforced concrete with steel frame covered with concrete of over 3 cm in thickness	120
		Steel framed reinforced concrete with steel frame covered with concrete of over 2 cm in thickness	60
Steel frame covered with concrete of over 5 cm in thickness	180	Steel frame covered with concrete of over 5 cm in thickness	180
		Steel frame covered with concrete of over 4 cm in thickness	120
		Steel frame covered with concrete of over 3 cm in thickness	60
Steel frame covered with wire mesh-mortar of over 6 cm in thickness	180	Steel frame covered with wire mesh-mortar of over 5 cm in thickness	180
		Steel frame covered with lightweight aggregate wire mesh-mortar of over 4 cm in thickness	
Steel frame covered with lightweight aggregate wire mesh-mortar of over 5 cm in thickness		Steel frame covered with wire mesh-mortar of over 4 cm in thickness	120
		Steel frame covered with lightweight aggregate wire mesh-mortar of over 3 cm in thickness	
		Steel frame covered with wire mesh-mortar of over 3 cm in thickness	60
		Steel frame covered with lightweight aggregate wire mesh-mortar of over 2 cm in thickness	

Eurocode의 경우 합성부재는(Composite Structure)에서 180분, 120분, 60분의 내화성능은 피복두께는 각각 50 mm, 40 mm, 25 mm이나, 이는 철근을 무시하고 강제표면에서의 피복두께이므로 이를 감안해야 한다. 내화시험 결과 20 mm 피복두께에서도 180분의 내화성능을 확보하였으나, Eurocode와 비교하여 강제 외측에 철근이 위치하는 경우 등 다양한 가능성에 대하여도 일반적인 안전범위 내화구조를 제시하는 관점에서 일본규정과 같이 철근콘크리트조와 동일시하면 Eurocode와 유사한 수준의 기준을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

5.1.3 철골콘크리트(SC)

IBC는 규산골재를 사용하는 콘크리트를 강재에 피복할 경우 내화성능 180분, 120분, 60분에 각각 피복두께 50.8 mm, 38.1 mm, 25.4 mm이며, NBC의 경우 내화성능 180분, 120분, 60분은 각각 피복두께가 50 mm, 32 mm, 25 mm로 규정하고 있다.

또한, 30 mm 피복두께 시험체가 96분의 내화성능을 확보하는 것으로 시험결과 확인되었으므로, IBC와 NBC 기준을 고려하면 피복두께 40 mm, 50 mm가 각각 120분과 180분의 내화성능을 가진 것으로 간주하는 것으로 제안하고자 한다.

5.1.4 철골철망콘크리트(SWM)

IBC에서는 철골강재에 메탈라스(Metal lath)를 두르고 시멘트 페이스트로 피복하는 경우 피복두께가 22.2 mm만 확보된다면 60분의 내화성능을 확보하는 것으로 명시하고 있다.

NBC의 경우 60분, 45분, 30분을 규정하고 있고 피복두께

는 23 mm로 거의 동일하다.

일본에서는 경량골재를 사용하는 경우 철망모르타르 피복두께에서 10 mm씩 경감하고 있다.

피복두께 50 mm의 내화시험체가 180분의 내화성능을 확보하고 있는 것으로 나타나, 본 연구에서 철골에 철망 혹은 메탈라스와 같이 피복재를 잡아주는 역할의 재료와 함께 시멘트 모르타르로 피복하는 경우 IBC와 NBC 규정과 비슷한 수준에서 30 mm 이상을 피복할 경우 60분의 내화성능으로 간주하고, 피복두께를 40 mm 이상으로 피복한 경우에는 내화성능 120분으로 세분화하여 제안하고자 한다. 또한, 경량골재를 사용하는 경우 일본과 같이 10 mm의 피복두께를 경감하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

5.2 바닥 법정내화구조 분류체계 제안

국내 법정내화구조 바닥은 60분과 120분의 내화성능만을 요구하고 있다. 본 연구에서는 180분까지 내화성능을 확인하였으나, 바닥 법정내화구조 분류체계 세부화는 60분과 120분의 내화성능에 대하여 제안하고자 하며 바닥의 경우에는 바닥의 두께와 피복두께를 동시에 고려하고자 한다.

5.2.1 철근콘크리트(RC)

IBC에서는 규산골재를 사용하는 콘크리트의 경우 내화성능 120분, 60분을 확보하기 위한 피복두께는 각각 25.4 mm, 19 mm이며, 부재두께의 경우 각각 127 mm, 88.9 mm 이다. NBC의 경우 내화성능 120분, 60분의 경우 피복두께는 각각 25 mm, 20 mm, 부재두께는 각각 130 mm, 90 mm로 IBC와 유사한 것으로 조사되었다.

Table 3. Proposal of a Classification System for the Fire-Resistance Construction Code (Slab)

Current Building's Law		Proposal on Improvements	
Construction	Fire-Resistant Performance (min.)	Construction	Fire-Resistant Performance (min.)
reinforced concrete with a thickness of over 10 cm	120	reinforced concrete with a member thickness of over 12 cm and sheath thickness of over 3 cm	120
		reinforced concrete with a member thickness of over 10 cm and sheath thickness of over 2 cm	60
Steel framed reinforced concrete with a thickness of over 10 cm	120	Steel framed reinforced concrete with a thickness of over 3 cm	120
		Steel framed reinforced concrete with a thickness of over 2 cm	60
Steel-reinforced slab covered with concrete block, brick or stone of over 5 cm in thickness	120	Review Deletion	
Steel framed covered concrete or with wire mesh mortar over 5 cm	120	Steel framed covered concrete or with wire mesh mortar over 5 cm	120
		Steel framed covered concrete or with wire mesh mortar over 4 cm	60

Eurocode의 경우 내화성능 120분, 60분의 경우 피복두께는 각각 40 mm, 20 mm, 부재두께는 120 mm, 80 mm로 정하고 있으며, 일본에서는 철근콘크리트조인 경우 60분, 부재두께 100 mm 이상을 유지하는 경우 120분의 내화성능을 인정하고 있다.

바닥 내화성능평가에서 피복두께 30 mm, 부재두께 120 mm의 경우 151분의 내화성능을 확보한 것으로 확인됨에 따라, 부재두께는 120 mm 이상, 피복 두께 약 30 mm 이상을 확보하는 경우 120분의 내화성능을 안전하게 확보하는 것으로 간주할 수 있으므로 일반적으로 사용가능한 최소 부재두께인 100 mm와 최소피복두께인 20 mm를 60분의 내화성능 기준으로 제안하고자 한다.

5.2.2 철골철근콘크리트(SRC)

IBC, NBC, Eurocode 에서는 철골 강재와 보강 철근에 콘크리트를 피복하는 형태의 바닥구조에 대한 내용은 없으나, 일본에서는 철골철근콘크리트조인 경우 부재두께 100 mm 이상은 120분의 내화성능을, 철골철근콘크리트 바닥인 경우 부재크기와 상관없이 60분 내화성능을 인정하고 있다.

따라서 본 연구에서 철골철근콘크리트 바닥의 경우 일본을 제외한 다른 국가에서는 비슷한 형태의 구조가 없고, 일본의 경우 부재두께만으로 내화성능을 구분하고 있는 점을 고려하여 국내에 생산되는 구조용 철골의 두께와 폭 최소크기가 100 mm × 100 mm이며, 여기에 상하부 보강 철근을 넣고 피복 두께를 확보하는 경우 부재크기는 최소 160 mm 이상이 되어야 하므로, 부재두께에 대한 기준을 일본과 같이 설정하는 것은 무의미하다고 판단되어 부재두께를 제외한 철근콘크리트조 바닥의 피복두께 규정과 동일하게 제안하고자 한다.

5.2.3 철재로 보강된 콘크리트블록, 벽돌, 석조

일본을 제외한 IBC, NBC, Eurocode 에서는 철재로 보강된 조적조(콘크리트블럭, 벽돌 등)바닥구조는 존재하지 않으며, 일본에서도 문서상 존재하나 실제로 시공된 사례는 거의 찾아볼 수가 없고, 실제 시공이 거의 불가능한 것으로 사료되어 기준에서 삭제하는 것이 합리적이라고 판단된다.

5.2.4 철골철망모르타르(SWM)

일본을 제외한 국가에서는 철재를 철망모르타르또는 콘크리트로 덮은 바닥구조는 존재하지 않으며, 일본에서는 철망모르타르 피복두께가 50 mm 이상인 경우 120분의 내화성능을, 40 mm 이상인 경우 내화성능을 인정하고 있다.

또한, 피복두께 40 mm의 철망모르타르를 피복한 바닥이 180분의 내화성능을 확보한 것으로 확인되었으므로, 철골을 포함한 철재는 재료가 가지는 다양성과 시공상 안전율을 고려하여 부재두께에 대한 기준을 별도로 제안하지 않고 국외 기준에서 유일한 참고대상인 일본 규정을 고려하여

피복두께 50 mm 이상은 120분, 40 mm 이상은 60분의 내화성능을 가지는 것으로 제안하고자 한다.

6. 결론

국내 건축법령에서는 건축물 주요구조부의 내화성능을 용도 및 규모에 따라 60분~180분으로 세분화하여 건축물에 적용하고 있으나, 법정 내화구조는 성능시간에 대한 구분 없이 사양 기준만 제시하고 있어 설계시 필요 이상의 과대 설계나 또는 일부 과소 설계가 발생할 가능성이 있다.

이 경우 과대 설계는 경제성 문제와 과소 설계는 화재안전상 위험이 발생할 수 있으므로, 법정 내화구조중 수평부재인 보와 바닥 구조에 대하여 내화성능을 중심으로 현행 법정 내화구조 구분에 따라 60분~180분까지 세분화하여 사양 기준을 제안 하였다. 본 연구에서 제안한 내용은 법정내화구조를 성능적 관점에서 세분화하여 건축물에 적용하기 위한 향후 관련 연구에 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 콘크리트 피복두께를 중심으로 법정 내화구조를 세분화하였으나 피복두께는 내화성능 뿐만 아니라 건축물의 내구성에서 철근에 대한 부식방지 등의 목적도 갖고 있으므로 이를 고려하여야 할 것으로 사료된다.

- (1) 보의 경우 현재 4개 구조로 획일화되어 있는 법정 내화구조를 구조형태, 피복두께 및 내화성능을 기준으로 총 12개 구조로 세분화하여 제안하였다.
- (2) 바닥의 경우 4개의 법정내화구조 중 현실적으로 적용 가능성이 없는 철재로 보강된 블럭, 벽돌 등의 구조에 대하여는 삭제하는 것을 제안하고, 구조형태에 따라 피복두께, 부재두께 및 내화성능을 기준으로 총 6개 구조로 세분화하여 제안하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 2014년 건설기술연구사업의 ‘대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발(14SCIP-B088624-01)’ 연구단을 통해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

- American Iron and Steel Institute (AISI). (1981). *Fire protection through modern building codes* (Fifth ed.), pp. 131-149.
- Association of Specialist Fire Protection Contractors and Manufacturers (ASFPCM). (1992). *Fire protection for structural steel in buildings* (2nd ed.-Rev.). UK: ASFPCM.

- BS 5950-8. (1990). *Structural use of steelwork in building: Code of practice for fire resistant design*. UK: British Standards Institution (BSI).
- BS 7974. (2001). *Application of fire safety engineering principles to the design of building: Code of practice*. UK: British Standards Institution (BSI).
- Building Industry Authority (BIA). (2004). *Approved document for New Zealand building code fire safety clauses*.
- Department of the Environment, Transport and the Regions (2000). *The building regulations- Approved document B (Fire Safety)*. London, UK: Dept. ETR.
- Dinunno, P.J., et al. (1995). *SFPE handbook of fire protection engineering*, Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association and Society of Fire Protection Engineers.
- Eurocode 2. (2004). *Design of concrete structures Part 1-2: General rules - Structural fire design*. European Committee for Standardisation (CEN), Brussels, Belgium.
- Eurocode 3. (1995). *Design of steel structures Part 1-2: General rules - Structural fire design*. European Committee for Standardisation (CEN), Brussels, Belgium, pp. 15-21.
- Eurocode 3. (2005). *Design of steel structures Part 1-2: General rules - Structural fire design*. European Committee for Standardisation (CEN), Brussels, Belgium.
- Eurocode 4. (2005). *Design of composite steel and concrete structures Part 1-2: General rules - Structural fire design*. European Committee for Standardisation (CEN), Brussels, Belgium.
- European Commission for Constructional Steelwork (ECCS). (1985). *Design manual on the European recommendations for the fire safety of steel structures* (pp. 64-99). Brussels, Belgium: ECCS.
- European Commission for Constructional Steelwork (ECCS). (2001). *Model code on fire engineering*. pp. 10-146.
- Harmathy, T.Z. (1993). *Fire safety design and concrete*. Essex, UK: Longman Scientific & Technical.
- International Code Council (ICC). (2012a). *International Building Code*.
- International Code Council (ICC). (2012b). *International Fire Code*.
- International Iron and Steel Institute (IISI). (1992). *International fire engineering design for steel structures: State of the art*. Brussels, Belgium: IISI.
- Lee, S.H., Kim, G.H., Min, B.Y., Lee, M.S., Kim, H.Y., Kim, H.D., et al. (2004). *Development of fire resistance design method in building*. Korea Institute of Construction Technology.
- Powell-Smith, V., and Billington, M.J. (1999). *The building regulations*. Blackwell Science Ltd.
- Randy, A., Inha, T., and Myllymäki, J. (2000). *Structural steel fire design*. SBI Publication 134, Helsinki, Finland: Finnish Constructional Steelwork Association. pp. 11-29

Received	October 10, 2019
Revised	October 15, 2019
Accepted	October 17, 2019