

벽체 법정내화 구조 분류를 위한 실험 연구

[An Experimental study on Setup of Classification System of Fire Resistance Wall Structure]

최동호 / 공학박사·방내화팀 팀장

1. 서 론

화재시 인명과 재산피해를 최소화하기 위해서는 건축물 주요 구조부(기둥, 보, 벽, 바닥 등) 등이 화재에 안전하게 견딜 수 있는 일정 기준의 내화구조로 이루어져야 한다. 이에 현재 국내 건축법 “건축물 피난·방화구조 기준에 관한 규칙 제3조”에 건축물 주요 구조부에 대하여 내화성을 정부에서 확인하여 인정한 것으로 현장에 손쉽게 적용할 수 있는 법정 내화구조를 규정하고 있으며, 국토해양부 고시 제2010-331호 “내화구조의 인정 및 관리기준”에서는 규칙 제3조의 “기타 내화구조의 성능지정”에 근거한 내화구조의 확인 성능기준을 규정하고 있다.

미국, 캐나다 및 일본 등 외국에서는 화재시 건축물의 용도와 부위, 층수에 따라 내화구조 대상에서 제외하거나 내화성능을 30분~4시간까지 분류하는 방법으로 법정 내화구조제도를 운영하고 있다. 미국에서는 2000년 제정된 International Building Code(IBC)를 통해 화재에 의한 구조부재의 붕괴 위험성이 현저히 적은 옥외 노출 철골조에 대해서는 내화구조 대상에서 제외하고 있으며, 내화피복재의 종류, 사용 두께에 따라 1~4시간의 내화성능시간을 설정하여 건축물의 용도 및 부위에 적합한 내화구조를 적용할 수 있도록 하고 있다. 캐나다의 경우 National Building Code of Canada에서 적용 부위에 따른 내화구조 대상 제외 및 45분~3시

간의 법정 내화구조 성능기준을 규정하고 있으며, 일본에서는 기존의 1~3시간으로 세분화된 법정 내화구조기준 보다 내화성능 시간대별로 세분화된 철골조 부재의 법정 내화구조기준을 규정하고 있다. 그러나 국내의 법정 내화구조의 경우, 구조부위에 상관없이 부위별로 사용재료와 두께 등에 대해서 일률적으로 최대 3시간의 내화성능을 규정하고 있으며, 이 경우도 규정된 후 상당한 시일이 경과되어 최근의 건축재료 및 공법의 기술발전을 적절히 수용하지 못하고 있는 실정이다.

현재 건축물의 대형화, 고층화 추세에 따라 화재로 인한 피해는 대형 참사로 이어지므로 건축물 세부구조, 부위별로 내화성능을 세분화하여 규정할 필요가 있으며, 이를 위해 내화구조의 성능평가 자료를 바탕으로 한 제도개선이 요구된다.

위와 같은 필요성에 따라 국내의 법정내화구조로 규정된 벽체 구조를 대상으로 내화성능평가를 실시하여 각 구조별로 세분화된 기초적인 법정내화구조 분류안을 제시하고자 한다.

2. 법정내화구조

2.1 국내 현황

국내 건축법 시행령에서 내화구조를 “화재에 견딜 수 있는 성능을 가진 구조로서 국토해양부령이 정하는 기준에 적합한 구조”라고 정의하고 있으며, 일정 용도 및 규모에 따라 건축물의 주

요구조부(벽, 기둥, 보, 바닥, 지붕틀, 계단)는 내화구조로 시공하도록 하고 있다.

건축법 50조 제①항에서는 그 주요구조부를 내화구조로 하여야 하는 법적 근거를 명시하고 있고, “건축물 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙” 제3조에서는 내화구조를 법으로서 규정하는 시방규정 위주로 규정되어 있다.

현행 규칙에 따르면 벽체에 대한 국내 법정내화구조는 아래의 시방기준을 만족하면 최대 3시간의 내화성능을 갖는 것으로 규정하고 있다.

[표 1] 국내 벽체 법정 내화구조

구조부	시 방 기 준
외벽중 비내력벽	① 철근콘크리트조 또는 철골철근콘크리트조로서 두께가 7cm 이상인 것 ② 골구를 철골조로 하고 그 양면을 두께 3cm 이상의 철망모르터 또는 두께 4cm 이상의 콘크리트블록·벽돌 또는 석재로 덮을 것 ③ 철재로 보강된 콘크리트블록조·벽돌조 또는 석조로서 철재에 덮은 콘크리트블록 등의 두께가 4cm 이상인 것 ④ 무근콘크리트조·콘크리트블록조·벽돌조 또는 석조로서 그 두께가 7cm 이상인 것
기타	① 철근콘크리트조 또는 철골철근콘크리트조로서 두께가 10cm 이상인 것 ② 골구를 철골조로 하고 그 양면을 두께 4cm 이상의 철망모르터(그 바름바탕을 불연재료로 하지 아니한 것을 제외한다. 이하 이 조에서 같다) 또는 두께 5cm 이상의 콘크리트블록·벽돌 또는 석재로 덮을 것 ③ 철재로 보강된 콘크리트블록조·벽돌조 또는 석재로서 철재에 덮은 콘크리트블록의 두께가 5cm 이상인 것 ④ 벽돌조에서 두께가 19cm 이상인 것 ⑤ 고온·고압의 증기로 양생된 경량기포콘크리트 패널 또는 경량기포 콘크리트 블록조로서 두께가 10cm 이상인 것

2.2 국외 현황

일본에서는 내화구조에 대하여 건축기준법 제2조 7호에서 「철근콘크리트조, 벽돌조 등의 구조로서 정령(건축법시행령 제10조)으로 정한 내화성능을 가진 것」으로 정의하고 있으며, 부재별 내화구조의 시방기준은 「내화구조의 구조방법을 정하는 요건」건설성고시 제1399호(2000. 5. 30)에서 규정하고 있다.

국내에서는 내화성능을 구조부재의 종류 등

에 상관없이 요구되는 모든 부위에 사용할 수 있도록 규정하는데 반하여 일본에서는 구조부재의 종류 등에 따라 30분, 1시간, 2시간, 3시간 등 내화성능으로 분류하여 규정하고 있다.

[표 2] 일본 벽체 법정내화구조(JIS, 건설성고시 제1399호)¹⁾

시간	부 위	구 조
2시간 이상	내력벽인 간막이벽 · 내력벽인 외벽	① 철근콘크리트조, 철골철근콘크리트조 또는 철골콘크리트조로 두께가 10cm 이상의 것(철골에 대한 콘크리트의 피복두께가 3cm 미만의 것을 제외), ② 골구를 철골조로 하여, 그 양면을 바름두께 4cm 이상의 철망 모르터로서 피복이 된 것(그 바름바탕이 불연재료로 만들어져 있지 않은 것을 제외), ③ 골구를 철골조로 하여, 그 양면을 두께가 5cm 이상의 콘크리트 블록, 벽돌 또는 돌로 쌓 것, ④ 철재에 의해 보강된 콘크리트블록조, 벽돌조 또는 석조로 쌓 두께 및 마감재료의 두께의 합이 8cm 이상이며, 또한 철재에 대하여 콘크리트블록, 벽돌 또는 돌의 피복두께가 5cm 이상의 것.
1시간 이상	내력벽인 간막이벽 · 내력벽인 외벽	⑤ 골구를 철골조로 하여, 그 양면을 바름두께 3.5cm 이상의 철망 퍼라이트모르터로 쌓 것(그 바름바탕이 불연재료로 만들어 지지 않은 것을 제외), ⑥ 목편 시멘트판의 양면에 두께 1cm 이상 모르터를 바른 것으로 그 두께의 합계가 8cm 이상 것, ⑦ 고온·고압 증기 양생된 경량기포콘크리트 패널로 두께가 7.5cm 이상의 것, ⑧ 중공 철근콘크리트제 패널중 중공부분에 퍼라이트 또는 기포콘크리트를 충전한 것으로 두께가 12cm 이상이며, 또한 살두께가 5cm 이상의 것.
1시간 이상	내력벽인 간막이벽 · 비내력벽인 외벽	① 철근콘크리트조, 철골철근콘크리트조 또는 철골콘크리트조로 두께가 7cm 이상의 것, ② 골구를 철골조로 하여, 그 양면을 바름두께 3cm 이상의 철망 모르터로 피복한 것(그 바름바탕이 불연재료로 만들어져 있지않은 것을 제외).
1시간 이상	내력벽인 간막이벽 · 비내력벽인 외벽	③ 골구를 철골조로 하여 두께가 4cm 이상의 콘크리트블록, 벽돌 또는 돌로 쌓 것. ④ 철재에 의해 보강된 콘크리트블록조, 벽돌조 또는 석조로, 살두께가 5cm 이상이며, 또한 철재에 대하여 콘크리트블록, 벽돌 또는 돌의 피복두께가 4cm 이상의 것. ⑤ 콘크리트블록조, 무근콘크리트조, 벽돌조 또는 석조로 살두께 및 마감재료의 두께의 합이 7cm 이상의 것.
	내력벽인 외벽	① 2시간의 내력벽인 외벽 구조로 한 것. ② 1시간의 내력벽인 간막이벽의 구조로 한 것.
1시간 이상	비내력벽인 외벽의 연소유리가 있는 부분 및 연소유리가 없는부분	① 불연성 양면 보온판, 광재면 보온판 또는 목편 시멘트판의 양면에 석면슬레이트 또는 석면퍼어라이드판을 붙인 것으로 그 두께의 합계가 4cm 이상의 것. ② 기포콘크리트, 석면퍼어라이드판, 규조토 또는 석면을 주재료로 한 단열재의 양면에 석면슬레이트, 석면퍼어라이드판 또는 석면 규산칼슘판을 붙인 것으로 그 두께의 합이 3.5cm 이상의 것. ③ 골구를 철골조로 하여, 그 양면을 바름두께 1.2cm 이상의 석면 퍼어라이드판을 붙인 것.

미국의 내화구조 규정은 미국내 각 주정부에서 해당 주의 환경 및 여건에 적합한 규정을 채택하여 적용하기 때문에 동일한 규정을 가지고 있는 주정부는 거의 없는 상태이다. 그 중 IBC Chapter 7, Fire-Resistance-Rated Construction Section 719 Prescriptive Fire Resistance에서는 불연재의 피복재료를 사용한 강재 기둥·보·트러스, 콘크리트 기둥·보 및 바닥, 간막이벽, 천장 등의 구조에 따른 내화성능 시간을 30분~4시간까지 규정하고 있다.

캐나다에서의 내화구조 대상건축물 및 성능 기준은 National Building Code Part 3 및 National Fire Code Part 2에서 규정하고 있으며, 건축구조부재의 구조형태에 따른 법정 내화구조는 Appendix D Fire-Performance Ratings에서 규정하고 있다.

Appendix D Fire-Performance Ratings에서는 법정 내화구조에 사용되는 재료로서 콘크리트, 석고보드, 플라스터 등에 대한 기준을 먼저 제시하고 있으며, 이러한 재료들이 내화피복재료로서 사용될 경우의 구조형태별 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 규정하고 있다.

독일에서의 내화관련 법규는 각각의 주정부가 별도의 건축법으로 내화구조 대상 건축물 및 건축구성요소의 포괄적인 내화구조 성능기준을 제시하고 있다. 독일의 법정 내화구조에 관한 기준은 DIN(Deutsches Institut für Normung) Part 4 Fire behaviour of building materials and elements - Overview and design of classified building materials, elements and components에서 규정하고 있으며 벽체 구조에 대하여는 Section 4. Classified wall과

Section 5. Classified timber building elements other than wall에서 각각 규정하고 있다.

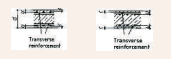
[표 3] 미국·캐나다·독일 벽체 법정내화구조 (IBC, NBC, DIN)

부재	구조	최소마감두께(inch)			
		4시간	3시간	2시간	1시간
점토질 또는 혈암벽돌	점토질 또는 혈암벽돌(Solid)	6	4.9	3.8	2.7
콘크리트조h)	규산질 골재 콘크리트	7.0	6.2	5.0	3.5


■ IBC - 벽의 구조별 내화성능시간 ²⁾ (단위 : mm)

벽의 형식	내화성능						
	30분	45분	1시간	1.5시간	2시간	3시간	4시간
점토벽돌 (점토80% 이상)두께	63	76	90	108	128	152	178
S 또는 N 콘크리트	44	59	73	95	113	142	167

■ NBC - 내력·비내력벽에 사용되는 콘크리트 및 조적조의 법정 내화구조 ³⁾

	내화성능				
	F30 -A	F60 -A	F90 -A	F120 -A	F180 -A
비내력 벽의 최소 벽체 두께 d(mm)	80	90	100	120	150
비내력 벽의 최소 중심깊이 u(mm) (세로보강사)	10	10	10	10	35

■ DIN - 부분적으로 노출된 구조로서 비내력, 구획, 콘크리트 또는 보강 콘크리트 벽 ⁴⁾

	내화성능				
	F30 -A	F60 -A	F90 -A	F120 -A	F180 -A
DIN 18148 경량 콘크리트 중공 벽체 유닛	-	-	-	-	-
DIN 18151 경량 콘크리트 중공 블럭	-	-	-	-	-
DIN 18152 경량 콘크리트 벽돌 블럭	50 (50)	70 (50)	95 (70)	115 (95)	140 (115)
DIN 18153 콘크리트 조적 유닛	-	-	-	-	-
DIN 18162 경량 콘크리트 벽체 유닛	-	-	-	-	-

■ () 값은 조적조 양면에 모르타르 바름이 되어 있는 경우.
 ■ DIN-조적조 또는 벽체 유닛으로 구성된 비내력, 구획벽체의 최소 두께 (한면 노출) ⁴⁾

3. 벽체 내화성능 평가

3.1 개요

본 연구에서는 건축물의 피난 및 방화에 관한 규칙의 제3조에 명시된 법정내화구조 중 벽체 구조의

내화성능을 평가하고, 이를 국내외 규정과 비교한 후 세분화 된 분류체계로 제시하고자 하였다. 이를 위하여 국내외 법정내화구조기준과 기존 연구자료(5)를 참조하여 7개의 벽체 구조(총 시험체 8개)를 제작한 후 KS F 2257-8의 시험방법을 적용한 비재하 내화성능시험을 실시하였다.

[표 4] 벽체 시험 구조

구조		크기
단일	무근콘크리트조 (25 Mpa)	3000 X 3000 X 100
재료구조	경량기포 콘크리트 패널조	3000 X 3000 X 100
복합	철재 보강 블록조 (콘크리트블록)	3000 X 3000 X 100 3000 X 3000 X 150
	철재보강 벽돌조 (시멘트벽돌)	3000 X 3000 X 90
	철재 보강 벽돌조 (시멘트벽돌, 양면미장)	3000 X 3000 X 100
	철골조 골구, 양면 철망 모르타르 40	3000 X 3000 X 180
	철골조 골구, 양면 철망 모르타르 30	3000 X 3000 X 160

3.2 시험방법

시험체에 대해 KS F 2257-8의 차염성 기준을 적용하여 시험중 시험체 이면의 화염·개구부 발생, 벽체 붕괴 여부를 관찰하였으며, 차열성 기준을 적용하여 시험체의 이면상승온도를 측정하였다.

[표 5] 내화성능기준(KS F 2257-8)

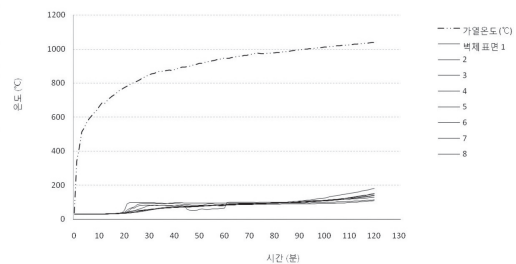
구분	성능 기준
차염성	① 면패드 적용 시험체 표면에 발생한 개구부, 화염에 30초간 면패드 접촉 시 착화되지 않을 것.
	② 균열계이지 사용 6mm 균열계이지가 시험체를 관통 후 150mm 이동하거나, 25mm 균열계이지가 시험체를 관통 후 가열로 내부로 삽입 되는 개구부가 발생하지 않을 것.이면 화염 발생시험체 이면에서 10초 이상 지속되는 화염이 발생하지 않을 것.
	③ 이면 하염 발생 시험체 이면에서 10초 이상 지속되는 화염이 발생하지 않을 것.
차열성	① 이면평균상승온도 시험체 이면 5개소의 고정열전대 측정온도가 초기 평균온도 보다 140K를 초과하지 않을 것.
	② 이면최고상승온도 이동열전대 포함한 모든 이면열전대의 측정온도가 초기평균 온도보다 180K를 초과하지 않을 것.

3.3 시험결과

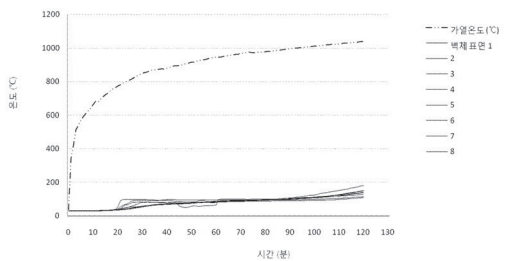
시험체의 내화성능평가 결과는 다음과 같다.

[표 6] 내화성능평가 결과

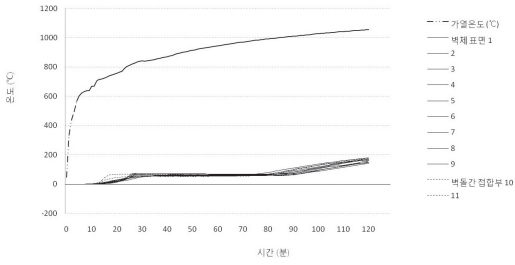
시험체	측정 시간 (분)	차염성	차열성		내화 성능 (분)
			평균온도(°C)	최고온도(°C)	
무근콘크리트조(25 mpa) - 두께 100mm	120	120	142	152	120
철재보강 시멘트 벽돌벽 - 두께 90mm	120	120	166	180	108
철재보강 시멘트 벽돌벽 - 두께 100mm	150	150	129	172	150
철재보강 콘크리트 블록벽 - 두께 100mm	120	100	217	246	90
철재보강 콘크리트 블록벽 - 두께 150mm	150	150	122	216	121
경량기포 콘크리트 패널벽 - 두께 100mm	180	180	73	335	112
철골조 골구 양면 철망 모르타르 40 벽 - 두께 180mm	125	125	111	183	124
철골조 골구 양면 철망 모르타르 30 벽 - 두께 160mm	90	90	92	266	63



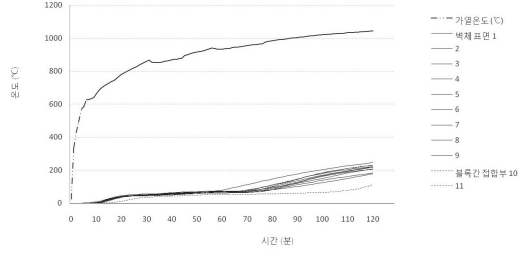
1) 무근콘크리트 - 두께 100 mm



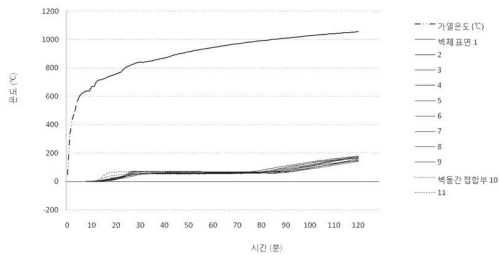
2) 철재보강 시멘트 벽돌벽
- 두께 90mm



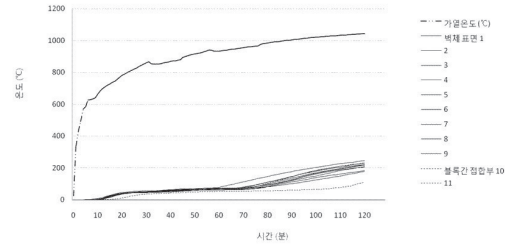
3) 철재보강 시멘트 벽돌벽
- 두께 100mm



7) 철골조 골구 양면 철망 모르터 40 벽
- 두께 180mm



4) 철재보강 콘크리트 블록벽
- 두께 100mm

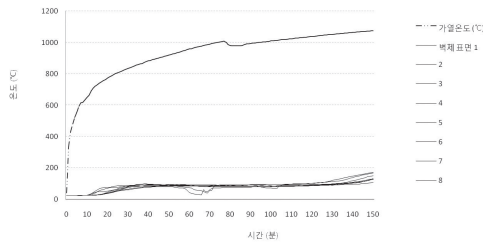


8) 철골조 골구 양면 철망 모르터 30 벽
- 두께 160mm

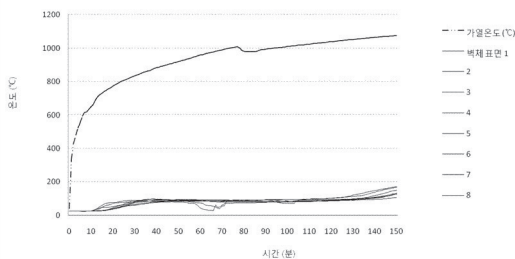
【그림 1】 시험체 이면상승온도 곡선

국내 법정내화구조의 구조별 내화성능 세분화를 위하여 실시한 내화시험 결과를 일본 등 외국의 유사한 법정내화구조의 내화성능과 비교한 결과는 다음과 같다.

【표 7】 벽체 구조 내화성능 비교



5) 철재보강 콘크리트 블록벽
- 두께 150mm



6) 경량기포 콘크리트 패널벽
- 두께 100mm

시험체	측정 시간 (분)	내화 성능 (분)	국외기준 비교			
			JIS (분)	IBC (분)	NBC (분)	DIN (분)
무근콘크리트조(25 mpa) - 두께 100mm	120	120	60	-	95	-
철재보강 시멘트 벽돌벽 - 두께 90mm	120	108	120	120	-	90
철재보강 시멘트 벽돌벽 - 두께 100mm	150	150	120	120	-	90
철재보강 콘크리트 블록벽 - 두께 100mm	120	90	120	-	-	90
철재보강 콘크리트 블록벽 - 두께 150mm	150	121	120	-	-	180
경량기포 콘크리트 패널벽 - 두께 100mm	180	112	120	-	-	90
철골조 골구 양면 철망 모르터 40 벽 - 두께 180mm	125	124	120	-	-	-
철골조 골구 양면 철망 모르터 30 벽 - 두께 160mm	90	63	60	-	-	-

벽체구조의 내화성능평가 후 결과를 비교하였을 때 무근콘크리트구조, 철재보강 시멘트 벽돌벽(두께 100mm)을 제외한 기타 구조의 경우 각각 90분 및 112분의 내화성능을 나타내 국내 법정내화구조에서 규정하는 2~3시간 내화성능을 만족하기에는 미흡한 것으로 나타났다. 특히 철재보강 콘크리트블록벽(두께 100 mm)과 경량기포콘크리트패널벽(두께 100 mm)의 경우는 국내 구조와 유사한 일본의 법정내화구조에서 규정하는 2시간 내화성능도 확보하지 못하는 것으로 나타났으며, 일부 조적벽 구조의 경우도 내화성능이 미흡한 것으로 나타나 국내 법정내화구조의 내화성능등급을 조정할 필요가 있는 것으로 판단된다.

4. 벽체 법정내화구조 세분화

현재 국내 법정내화구조에서는 철재로 보강된 조적조 및 일반 조적조 벽체구조에 대하여 벽체의 전체 두께에 따라 내화성능의 세분화 없이 내화구조로 규정하고 있다. 그러나 미국의 경우 벽돌, 콘크리트 조적조, 콘크리트조 등 벽체를 구성하는 재료에 따라 그 두께별로 내화성능을 1~4시간까지 제시하는 등 외국에서는 벽체 구조 및 재료에 따라 그 내화성능을 시간별로 구분하여 법정내화구조의 분류기준을 제시하고 있다.

고온·고압의 증기로 양생된 경량기포콘크리트 패널조 및 철골조 골구에 철망모르터를 시공한 구조의 경우도 일률적인 내화성능을 규정하고 있는 국내와는 달리 일본의 경우 1~2시간 구조에 대한 내화성능에 따른 분류기준을 제시하는 등 내화구조를 세분화하여 규정하고 있다.

이에 이러한 외국의 벽체 구조에 대한 내화성능 기준과 본 연구에서 실시한 시험결과를 바탕으로 다음과 같이 철근콘크리트구조를 제외한 벽체구조에 대한 기본적인 법정내화구조 분류안을 제시하고자 한다.

[표 8] 벽체 법정내화구조 분류(안)

현행		제시(안)	
구 조	내화성능(분)	구 조	내화성능(분)
철재로 보강된 콘크리트블록조·벽돌조 또는 석재로서 철재에 덮은 콘크리트 블록의 두께가 5cm 이상인 것	180	철재로 보강된 콘크리트블록조 · 벽돌조 또는 석조로서 살두께 및 마감재로 두께의 합이 10cm 이상이며, 철재에 덮은 콘크리트 블록 등의 두께가 7cm 이상인 것	120
		철재로 보강된 콘크리트블록조 · 벽돌조 또는 석조로서 살두께 및 마감재로 두께의 합이 5cm 이상이며, 철재에 덮은 콘크리트 블록 등의 두께가 5cm 이상인 것	60
무근콘크리트, 콘크리트블록, 벽돌, 석조로서 두께가 7cm 이상인 것	120	무근콘크리트조, 벽돌조, 석조로서 두께가 10cm 이상인 것, 콘크리트 블록조로서 두께가 15cm 이상인 것	120
		무근콘크리트조, 벽돌조, 석조로서 두께가 7cm 이상인 것	60
고온·고압의 증기로 양생된 경량기포 콘크리트패널 또는 경량기포 콘크리트 블록조로서 두께가 10cm 이상인 것	120	고온·고압의 증기로 양생된 경량기포 콘크리트패널 또는 경량기포 콘크리트 블록조로서 두께가 10cm 이상인 것	90
골구를 철골조로 하고 그 양면을 두께 4cm 이상의 철망 모르터로 덮을 것	120	골구를 철골조로 하고 그 양면을 두께 4cm 이상의 철망 모르터로 덮은 것	120
		골구를 철골조로 하고 그 양면을 두께 3cm 이상의 철망 모르터로 덮은 것	60

5. 결론

5.1 국내의 법정 내화구조의 경우, 각 구조 및 사용재료 등에 상관없이 최대 3시간까지 일률적인 내화성능을 규정하고 있어 구조 및 재료별로 세분화된 내화성능을 규정하는 외국의 법정내화구조와 비교할 때 보다 세분화된 분류가 필요하다.

5.2 국내 법정내화구조로 규정된 벽체 구조의 내화성능을 확인하기 위하여 7개 벽체구조에 대한 내화성능평가를 실시한 결과 철재보강 콘크리트블록벽(두께 100 mm) 등

몇몇 구조에서 내화성능이 확보되지 못한 것으로 나타나 내화성능에 대한 재분류가 필요한 것으로 나타났다.

- 5.3 국외 벽체 법정내화구조의 규정사항과 평가결과를 바탕으로 일부 법정내화구조에 대하여 1~2시간으로 내화성능을 세분화한 법정내화구조 분류안을 제시하였다.

참 고 문 헌

1. 建築法令研究會, 建築關係法令集(平成15年度版), 井上書院, 2002. 12.
2. International Code Council, International Building Code, 2000.
3. Canadian Commission on Building and Fire Codes·National Research Council of Canada, National Building Code of Canada, 1995.
4. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 4102 part 4 Fire behaviour of building materials and elements – Overview and design of classified building materials, elements and components, 1994. 3.
5. 건설기술연구원, 건축물 내화설계기술 개발, 2004. 8, 건설교통부.