

A-05

건축물 지하층의 내화구조에 관한 연구

권인규, 김홍열*

강원대학교 소방방재학부

한국건설기술연구원 화재 및 설비연구센터*

Study on the Fire Resistance of Building Basement

In-Kyu Kwon, Heug-Youl Kim*

School of Fire & Disaster Protection, Kangwon National University

Fire & Engineering Services Research Dept. KICT*

1. 서론

건축물 지하층의 주요 구조부는 구조 특성상 상부 층의 모든 하중을 지반으로 전달하는 역할을 하고 있다. 지하층의 기둥부재는 상부의 하중을 수직 방향으로 지지, 전달해야 하므로 단면이 커질 수 밖에 없으므로 구조적인 해결방안으로써 고강도콘크리트, 고강도강재의 적용이 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 특성을 지닌 지하층 구조부재 고온에서의 구조적 붕괴방지를 위한 내화구조에 관한 실태조사는 매우 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 지하층에 대한 내화구조 관련 법규정, 구조형식, 구조재료 그리고 피복두께 실태의 조사와 분석을 수행하여 향후 지하 구조물의 내화구조설계 시의 기반자료 제공을 목적으로 한다.

2. 지하공간 내화법규정 분석

가연물의 연소 열에 의한 구조물의 붕괴방지와 재실자 및 소방 구호자의 인명보호를 목적으로 각 국가별로 일정 규모 이상의 건축물은 화재안전확보를 의무화하고 있다. 국내의 건축물 화재안전 분야는 건축법규의 내화성능확보와 연기제어, 피난과 같은 인명의 안전에 직접 연계된 규정은 소방기준법 등에서 정의되고 있다. 이는 화재안전 전략의 이원화 현상으로 미국, 유럽의 화재안전규정과는 다소 다른 형태를 지니고 있다.

본 절에서는 건축물에 수반되는 지하공간에 대한 화재 시의 구조적 안전성 확보를 주 목적으로 하는 내화성능에 관하여 우리나라, 미국 및 영국 등의 사례를 중심으로 분석하여 향후 지하생활공간의 구조적 안전성 확보를 위한 기초 자료를 제공한다.

2.1 한국

국내의 지하공간에 대한 내화성능 규정은 미국 등과 같이 지상층의 내화성능기준을 동일하게 적용하고 있으며, 지하층에 대한 내화성능 법규정은 건축법, 건축법 시행령, 건축물 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 및 건교부 고시에 규정되어 있고, 각각의 주요 내용은 표 1과 같다.

법규 종류	주요 내용	비고
건축법(제40조)	내화구조 대상 용도를 규정함	2005.5.26
건축법 시행령(56조)	내화구조 대상 용도의 면적과 층수 등을 규정함	2005.7.18
건축물 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙	내화구조의 종류 규정	2005.7.25
건교부 고시	내화구조의 인정방법 규정	제2005-122호

2.2 미국

건축물에 부속된 지하공간은 건축물의 유지관리에 필요한 용도로 주로 사용되는 곳으로서 재실자의 거실로서의 공간활용은 극히 배제되고 있는 실정이다. 따라서 인명피해 최소화를 위한 특별 조치공간으로써 내화성능확보를 위한 별도의 규정은 없으며, 피난 등의 조치에 관한 규정 등은 다소 언급되고 있다. 즉 건축물에 수반된 지하층의 내화성능기준은 지상층의 내화성능 규정에 따라 전 지하층에 동일하게 적용되고 있다.

미국 건축물의 화재에 관한 규정은 크게 두 가지로 대별될 수 있는데 한 가지는 통합 빌딩코드로서 채택된 I.B.C(International Building Code)이며, 다른 한 가지는 NPFA(National Fire Protection Association) 5000이다. 각각에 제시된 지하공간의 화재안전에 관련된 규정은 다음과 같다.

1) I.B.C

지하층에 대한 규정은 405절의 지하 건축물(underground buildings)에 일률적으로 제시되고 있으며, 적용대상은 가장 낮은 옥외 피난구가 있는 층보다 30피트(9,144mm) 이상에 거실의 용도가 있는 공간으로 설정되어 있다. 주요 구조부의 내화성능에 대한 특별한 언급사항은 없으며, 화재안전의 확보를 위한 전략적 사항으로 화재 발생 시의 재실자 대피를 위한 경보설비, 소화설비, 피난에 관한 규정을 언급하고 있고, 주요 내용은 다음과 같다.

가) 시공 요구사항

건축물의 지하층은 타입 I시공(비가연재료)으로 구성되어야 한다.

나) 자동 스프링클러 시스템

건축물 지하층에 합당한 피난층과 모든 지하층은 자동 스프링클러를 설치해야 한다.

다) 방화구획

옥외 피난구가 있는 가장 낮은 층보다 60피트(18,288mm)이상 에 위치되는 바닥은 크기가 거의 동등한 적어도 2개의 방화구획으로 분리되어야 한다.

2) N.F.P.A

가장 낮은 옥외 피난구 아래로 한 층 이상 또는 30피트(9,000mm)이상인 지하층의

모든 부재는 타입 I과 타입 II시공으로 이루어져야 한다.

2.3. 영국

영국의 내화구조는 승인문서 B의 화재안전(Approved document B, Fire safety, 2000)에 규정되어 있으며, 지하층의 내화성능 기준이 별도로 규정되어 있는 것이 다소 특이하다. 우리나라, 미국 등의 대부분 국가들은 지하층에 대해서 별도의 규정을 마련하지 않고, 지상층의 내화성능기준을 준용하고 있는 반면에 영국의 경우는 지하층 깊이 10미터를 기준으로 용도에 따라 내화성능을 규정하고 있다. 지하층의 경우는 지상층 높이 30m이하의 건축물과 동등한 수준의 내화성능을 요구함으로써 지하층의 내화성능을 비교적 강하게 규정함을 알 수 있다.

3. 지하공간 내화구조 실태조사

건축물은 해당 용도와 층수, 높이 등에 따라 일정 이상의 내화성능을 확보하여야 한다. 따라서 지하층의 주요 구조부를 형성하는 기둥, 보 및 슬래브 등도 지상층의 구조부재와 같은 내화성능을 확보하여야만 한다. 일반적으로 고층 건축물의 지상층은 시공성 및 대공간 확보능력이 우수한 강구조와 철골과 콘크리트의 합성에 의한 철골철근콘크리트조 또한 많이 적용되고 있다. 그러나 건축물의 시공은 지하층 완성 이후에 지상층을 시공하는 것이 일반적이었으나, 지하층과 지상층을 동시에 시공해가는 탑다운 방식 또한 활발하게 이루어지므로 지하공간을 형성하는 구조형식 또한 다양하게 발전되고 있다. 따라서 본 지하공간 내화구조 실태조사는 건축물의 다양한 용도와 시공법에 따른 구조형식의 파악을 부 목적으로 하고, 구조형식에 따른 내화피복의 두께와 시공 방법에 대한 실태를 조사함으로써 향후 지하공간에서의 적절한 내화피복의 정량화를 위한 기반자료 도출을 주 목적으로 한다.

3.1 대상 건축물 선정방법

대상은 다양한 용도와 최소 두개 층 이상의 지하층이 있는 건축물로 설정하였다. 건축물의 조사는 설정된 조건과 유사한 대형 건축물 구조설계 경험이 많다고 판단되는 구조설계사무소에 협조를 받아 진행하였다.

주상복합건축물은 서울 아크로 비스타(지하 5층, 지상 37층), 마포 주상복합건물(지하 6층, 지상 43층)외 14개 건축물을 조사대상으로 하였으며, 공동주택은 분당의 아파트(지하 2층, 지상 34층)외 11개 건축물 그리고 업무시설로서는 광주은행 건물(지하 5층, 지상 20층), 판매 및 영업시설 9개소 및 운동 시설 1개소 등을 대상으로 조사하였다. 본 조사의 대상 건축물 용도 및 개체 수는 표 2에 제시하였다.

표 2. 건축물 용도별 조사 개체현황

용도	대상건물 개체수	비고(점유율)
주상복합	15	30
공동주택	12	25
업무시설	12	25
판매 및 영업시설	9	18
운동시설	1	2
계	49	100

3.2 조사 항목

일반적으로 건축물의 지상층에 대한 재료, 구조 및 마감에 대한 정보는 체계적으로 관리되고 있으나, 지하층에 대한 재료 및 구조 등에 대한 정보는 미비한 실정이다. 또한 내화구조의 성능기준은 지상층을 기준으로 지하층도 동일한 기준하에 실시하는 것으로서 지하층의 재료, 구조 등에 대한 자료 또한 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지하층에서의 구조형식, 내화피복두께, 재료의 강도 등을 체계화할 수 있는 조사계획을 수립하여 다양한 건축물의 용도에 현실적인 자료를 확보할 수 있도록 계획하였다.

3.3 구조형식 분석

지하층의 골조형식은 지상층과 달리 대부분이 철근콘크리트조와 철골조 및 이의 복합형식 순으로 되어있었다. 특히 지상층과 지하층이 동시에 시공되는 탑다운 시공방식에서는 철골조 그리고 철골조와 철근콘크리트조의 합성구조가 많았다.

조사된 건축물 용도별 구조형식의 결과는 표 3과 같다. 건축물의 용도별 지하층의 기둥과 보부재의 구조형식 분석결과, 주상복합과 공동주택의 경우는 대부분이 철근콘크리트조로 형성되었고, 업무시설과 판매시설은 철근콘크리트와 철골조 또는 철근콘크리트조와 철골조의 혼합형식으로 이루어지고 있었다. 슬래브부재의 경우는 철골조가 적용되지 못함에 따라 철근콘크리트 슬래브가 주종을 이루고 있었다.

표 3. 건축물 용도별 지하층 구조형식

용도	기둥			보				슬래브	
	RC	SRC	RC+SRC	RC	SRC	S	RC+S	RC	DECK
공동주택	8	2	2	11	1	-		12	-
업무시설	4	6	2	10		1	1	8	4
판매 및 영업시설	5	3	1	8	-	1	-	8	1
운동시설	-	-	1	1	-	-	-	1	-
주상복합	12	1	2	14	-	-	1	14	1
계	29	12	8	44	1	2	2	43	6

3.4 철근콘크리트조 내화피복두께 현황

조사된 각 건축물 지하층의 구조형식은 철근콘크리트조가 가장 많이 적용되고 있었다. 철근콘크리트조가 고열환경에서 구조적 안전성을 확보하기 위한 방법으로는 단면의 최외부에 위치되는 철근을 보호할 수 있는 피복두께를 확보하는 것이다. 본 조사에서는 지하층의 기둥, 보 및 슬래브 부재의 철근 피복두께를 조사, 분석하여 철근콘크리트 시방서에서 규정하고 있는 치수와의 관계를 확인하는 것이 주 목적이다. 조사 결과는 표 4에 제시하였다.

표 4. 용도별 철근콘크리트조 내화피복두께 현황

용도	기둥			보			슬래브		
	40mm	50mm	소계	40mm	50mm	소계	20mm	40mm	소계
공동주택	8	3	11	10	-	10	9	2	11
업무시설	8	4	12	9	1	10	10	-	10
판매 및 영업시설	8	1	9	9	-	9	9	-	9
운동시설	1	-	1	1	-	1	1	-	1
주상복합	14	1	15	14	-	14	14	-	14
계	39	9	48	43	1	44	43	2	45

각 건축물의 기둥 및 보부재의 피복두께는 대부분이 40mm, 슬래브부재는 20mm의 피복두께를 보이고 있다. 이는 철근 콘크리트 시방서에 규정된 바와 같이 현장치기 콘크리트의 경우, 옥외의 공기나 흠에 직접 접하지 않는 콘크리트의 최소 규정을 준수한 것으로 판단된다.

3.5 콘크리트 강도 현황

콘크리트는 압축력에 강한 저항력을 가지나 인장력에 약한 특성을 가진 재료이므로 주로 기둥부재에 압축력을 저항하도록 설계에 반영되고 있다. 최근에는 고강도의 콘크리트가 개발되어 기둥부재를 위시한 보부재에도 적용, 시공하고 있는 추세이다. 이는 고강도화됨으로써 부재의 단면적을 줄여 내부 공간의 활용성을 극대화할 수 있는 장점이 크기 때문이며, 고강도 콘크리트의 제조 및 설계기술도 크게 발전하기 때문으로 판단된다. 본 조사에서는 콘크리트 표준시방서의 규정에 따라 40MPa이상을 고강도콘크리트로 정의하고, 이 보다 높은 강도와 낮은 강도로 분류하여 각 용도 건축물의 지하층 주요구조부의 고강도 콘크리트 적용 추세를 파악하고자 하였다. 일반적으로 건축물의 경우는 하부로 진행될수록 많은 하중을 받고 있으므로 지하층에 철근콘크리트조가 사용된다면 고강도콘크리트 또는 고강도 철근의 사용량이 증대할 가능성은 높다고 판단된다. 용도별 콘크리트 강도 조사 결과는 표 5에 나타내었다.

표 5. 용도별 콘크리트 강도 현황

용도	기둥			보			슬래브		
	40MPa 이하	40MPa 이상	소계	40MPa 이하	40MPa 이상	소계	40MPa 이하	40MPa 이상	소계
공동주택	8	3	11	9	1	10	12	0	12
업무시설	9	2	11	11	0	11	11	0	11
판매 및 영업시설	5	4	9	7	0	7	8	0	8
운동시설	1	0	1	1	0	1	1	0	1
주상복합	11	3	14	14	0	14	13	1	14
계	34	12	46	42	1	43	45	1	46
비율	54	46	100	72	28	100	74	26	100

지하층의 주요 구조부재에 적용된 콘크리트 강도별 분류 결과, 기둥부재가 타 부재에 비해서 다소 높은 고강도 콘크리트 적용 예를 보였고, 보부재와 슬래브 부재에서는 극히 일부만 적용되었음을 알 수 있었다. 가장 높은 콘크리트 강도는 주상복합용도에 적용된 80MPa였다.

4. 결 론

건축물에 수반된 지하공간의 내화구조에 관한 본 연구 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 우리나라와 미국에서 적용되는 지하층의 내화성능 기준은 지상층 기준을 사용하고 있으나, 영국의 경우는 지하 10미터를 기준으로 별도의 성능기준을 마련하는 등 지하층의 화재 안전성을 별도로 고려하고 있다. 따라서 지하층에 적합한 내화성능기준 마련을 위한 추가적 연구가 필요하다고 판단되었다.

2) 기 시공된 건축물의 지하층에 대한 내화구조 실태조사 결과, 모든 용도의 지하층 구조형식은 철근콘크리트조가 가장 많았으며, 점차 고강도화되어 가는 추세로 분석되었다.

3) 40MPa를 초과하는 고강도콘크리트를 기둥과 보에 적용할 경우 피복두께 10mm를 경감할 수 있는 규정이 있어 지하구조물에서의 구조적 안전성 확보에 의문점이 발생될 수 있다. 따라서 향후 고강도 콘크리트의 하중비에 따른 내화특성의 종합적인 분석 및 해결방안의 제시가 요구된다.

참고문헌

- 1) 국회법령자료 홈페이지, "건축법, 건축법시행령, 건축물의 피난/방화구조 등의 기준에 관한 규칙", 2005
- 2) 국회법령자료 홈페이지, "소방기준법, 소방기준법 시행령 소방기준법 시행규칙, 소방시설유지 및 안전관리에 관한 법률, 동 법률 시행령, 동 법률 시행규칙", 2005
- 3) 건설교통부 고시 제2005-122호, 내화구조의 인정 및 관리기준, 2005.5
- 4) 함홍돈, 윤동원, "지하공간의 환경적 특성 및 국내 지하환경의 측정사례", 설비저널, 제30권, 제11호, 2001년, 11월
- 5) NFPA, "Building Construction and Safety Code NFPA 5000", 2003

감사의 글

본 논문은 건설교통부 산학연 공동연구개발사업인 "지하공간 환경조성 및 방재기술개발"의 지원으로 수행된 연구의 일부입니다. 지원에 관계되는 모든 분께 감사드립니다.