

건축물에서의 가연물 화재화중 산출을 위한 국외 가연물 연구사례 분석

김남혁 · 신이철 · 권영진
호서대학교 소방방재학과

Analysis of Case Studies on the Combustible Abroad
to Calculate Domestic the Fire Load
Kim, Nam Hyuk · Shin, Yi Chul · Kwon, Young Jin
Fire & Disaster Protection Engineering og Hoseo Univ.

요 약

국내의 가연물 조사 연구 사례를 통한 가연물 정보의 수집 방식에 관한 문제점을 인식하고, 최근 일본건축학회에서 실시된 가연물 연구 사례를 보면서 건축물 내 공간정보와 가연물정보의 효율적인 조사 기법과 기존 가연물 조사 데이터와의 정보 분석을 통하여 국내에 적합한 용도별 가연물 산출을 위한 방법론을 도출하고자 한다.

1. 서 론

최근 건축물의 구조가 초고층화, 지하심층화, 주상복합화 되어가는 추세이며, 이에 발맞추어 성능위주 화재안전설계가 도입되어 있다. 그러나 구체적인 방법론의 부재로 건물의 화재안전성능을 평가하는데 명확한 기준이 없어 기존의 범용소프트웨어를 활용한 평가 결과만을 활용한 경우가 많아 문제가 되고 있다. 이러한 범용소프트웨어는 국내 실정을 고려한 적용성에 대하여 검증되지 않았으며, 해석상 기술적 테크닉은 사용자에게 따라 천차만별이기 때문에 오결과를 도출할 수도 있다. 또한 현재 우리나라의 경우 화재시 가장 기초가되는 화재하중, 즉 가연물의 발열량에 대한 용도별 수치적 데이터가 규정되어 있지 않아 대부분 외국의 규정을 활용하고 있다. 국내와 국외의 생활양식 차이에 따라 가연물의 종류 및 배치, 양이 상이하게 다르기 때문에 이를 시뮬레이션 해석에 적용하는 것은 위험하다고 할 수 있어 국내 용도별 가연물 조사를 통한 화재하중의 수치화가 절실히 필요하다.

따라서 본 연구는 국내의 화재하중 산출을 위한 사전연구로써 1970년대부터 가연물에 대한 연구를 지속적으로 행하고 있는 일본의 가연물 연구의 사례를 분석하여 국내에 적합한 용도별 가연물 산출을 위한 방법론을 도출하고자 한다.

2. 국내외 가연물 연구 분석 사례

가연물 밀도는 화재안전설계에 있어서의 기본적인 하중이며, 미국과 일본에서는 여러 가지의 조사를 진행해 왔다. 국외의 가연물 연구는 표1과 같이 미국은 1960년대 말부터, 일본은 1970년대 초부터 화재하중에 대한 연구가 시작되어 현재까지 지속적으로 이루어지고 있으며, 이러한 화재 기초데이터를 기반으로 한 성능설계를 도입하여 시행중에 있다.

국내의 경우는 미국, 일본과 달리 가연물에 대한 1차적인 데이터도 확보하지 않은 채 성능설계를 도입하여 시행중에 있으며 구체적인 방법이나 기준이 없고 유효가연물량을 산출하기 위한 자료도 부족한 실정이다.

표 1. 국내외 가연물 연구 분석 사례

국가명	연구 년도	연구기관/ 연구자	연구내용
미국	1967년	Bryson	사무실에서 유효면적 적재하중과 화재 하중의 조사와 평가에 대한 기술
	1975년	Culver	사무실에서 화재 하중과 유효 하중의 조사에 대한 프로그램
	1976년		사무실에서 화재 하중과 유효 하중에 대한 조사 결과
	1978년	Lionel	주거시설에서의 화재와 유효 하중 조사의 문헌 관찰
일본	1973년	일본 강구조협회	내화건축물 설계에 있어서의 표준 가연물량의 조사
	1975년	제후지미즈	학교건물의 적재 가연물량에 관한 조사
	1975년	일본건축학회	건축 방화론
	1983년	일본건축센터	건축물의 종합 방화 설계법(4권) -내화 설계법-
한국	1985년	정형화	용도별 건축물의 화재하중 설정에 관한 연구 (국민학교를 대상으로 한 화재하중 설정)
	1987년	조성재	교회 예배실의 화재하중 설정에 관한 연구
	1997년	김운형	사무소 건물의 화재하중 분포
	2000년	한국건설기술 연구원	내화구조기준 개정연구(Ⅱ)
			건축물 화재안전시스템 구축 - 건축물 화재안전규정 개선 연구 -
2001년	한국건설기술 연구원	건축물 화재안전시스템 구축 - 건축물 내화설계 데이터베이스 구축 -	

3. 일본의 가연물 연구 사례 분석

건축물에서의 화재 성상은 발화원으로 부터 발생한 화염이 급격한 성장을 거쳐 플래쉬 오버가 일어나 실(室)전역으로의 연소 확대로 이어지게 되면 환기지배형 및 연료지배형 두 가지 형태로 화재가 진행되게 된다. 위 두 가지 형태의 화재성장예측에 따라 건축 초기 단계에서 공간조건이나 가연물의 조건을 합리적으로 적용하여 설계함으로써 화재시 성장에 대한 조건을 제어하여 화재 위험도를 낮출 수 있다. 그림 1은 기본적인 건축물에서의 화재분류의 형태로 그림의 좌측으로 갈수록 가연물이 적고 개방성이 높기 때문에 비교적 위험이 적은 실이 되고, 우측으로 갈수록 가연물이 많고 폐쇄적인 실에서의 화재 위험이 크다. 그림 2에서는 실 용도에 따른 화재의 관계를 나타낸 것이다.

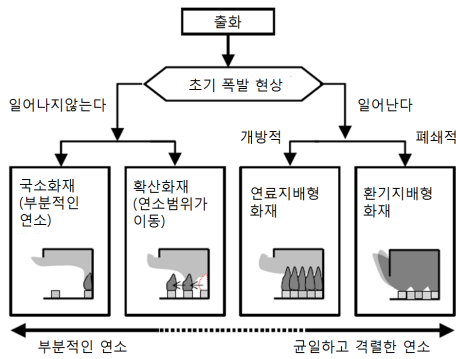


그림 1. 건축물에서의 화재분류

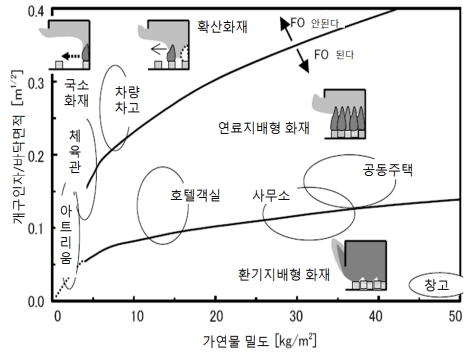


그림 2. 화재의 분류와 실용도와의 관계

건축물의 설계를 행하는데 있어서 화재에 대한 안전성의 검토는 우선 건축 공간 내에서 어떠한 화재가 일어날 수 있는지를 상정하는 것이 중요하다. 설계상 어떠한 화재를 상정 하는가는 공간 조건이나 가연물의 조건 등에 의해 검토하는 것이 기존의 연구 성과 등에 의해 밝혀지고 있다. 즉 화원을 상정하는 경우 가연물의 정보는 불가피한 것이다. 이에 따라 일본에서는 건축물의 화재안전성을 평가하기 위해 필요한 정보를 얻고자 일찍이 가연물에 관한 조사가 실시되어져 왔다.

표 2. 일본의 가연물 조사 예

조사 보고서 명	조사·발행기관	조사/발행연도	비고
학교 건축물의 가연물 실태 조사	일본 건축 센터	1974	용도별 공간 내 적재 가연물의 중량측정
내화건축물 설계에 있어서의 표준 가연물량의 조사 연구	일본강철 구조 협회	1974	
건축물내의 가연물량에 관한 실태 조사	manu도시 건축 연구소	1984	단일 가연물내 플라스틱계열의 비중이 5%정도 밖에 되지 않는 것을 배경으로 플라스틱계열의 중량을 2배로 하여 나무의 성질계 중량으로 변환하여 목재를 기준으로 한 중량지표(가연물밀도)를 채용함
주택의 적재 하중에 관한 조사	일본 여자 대석강연구실	1987	-
신도시형 구체 구조 시스템 보고서	일본 건축 센터	1989	-
고층건축물의 화재 위험도 평가에 관한 연구	동경이과대	1994	-
건축 화재의 초기를 대상으로 한 방화 설계용 화원의 연구	(사)건축 연구 진흥 협회	2003	OA기기 증가등으로 인한 단일 가연물내 플라스틱계열의 비중이 30%정도로 상승하였으나 기존의 목재를 기준으로 한 중량지표(가연물밀도)를 채용함
소방 총 프로 조사	총무성	2004	-

위의 표 2의 기존의 가연물 조사의 예와 같이 70년대 후반부터 근래에 이르기까지 가연물에 관한 조사가 진행되었다. 하지만 OA기기 증가와 복합재료로 구성된 가연물이 증가함으로써 목적을 기준으로 한 중량지표로 다른 재질의 가연물 밀도를 나타내는 것에 의한 화재 안전성 평가에서의 폐해는 무시할 수 없는 상황이 되고 있다. 이에 따라 기존에 조사된 중량측정에 주 목적을 둔 중량지표로서의 조사 방식으로부터 발열량 지표에 적용하기 위해 기존의 가연물 조사 데이터를 충분히 반영시킬 수 있는 공학적 틀을 체계적으로 정리하고 있다. 그리고 가연물 배치에 의한 설계화원의 상정을 위해 가연물간의 이격거리나, 치수 등 설계상의 정보를 수집하고, 양상의 화재형태를 상정하여 이에 대비한 설계상의 보완을 실시하고 있다.

화재의 성질과 상태를 상정하기 위해서 가연물 정보로서 종류, 재질, 치수와 같은 가연물 밀도뿐만 아니라, 공간내 가연물간의 이격거리와 건축 부위(벽, 천정, 기둥등)와의 배치 등과 같이 가연물의 배치현황을 파악하였다. 또한 기존의 가연물 조사 데이터를 충분히 활용할 수 있는 공학적 틀로서의 호환성을 가진 조사형식으로 작성하도록 조사시트를 제작하였다. 그림 3은 일본의 현장조사를 위한 가연물 시트로서 정리조건, 건물조건, 가연물 조건의 3개의 항목으로 나누어 공간 및 가연물에 관련된 상세한 정보를 얻고자 하였으며 또한, 단일 가연물내 복합재료·재질로 구성된 부위를 위해 상세 치수를 기입함으로써 각각의 재질에 따른 양에 따라 발열량을 산출할 수 있도록 하였다.

가연물조사시트				기업자	기업일		H/
조사번호	건물명칭				실명		
건물용도	실용도				상황		
구조	계수	바닥면적		m ²	건축높이	m	
가연물 리스트							
가연물 번호	물품명칭	제품번호	수량	크기(mm) 폭W×길이 D×높이 H		구성 부위	재료의 발열량 발열량
				*	*	*	*
가연물종류	수납상황	수납계수	고정·유동	비고	0.0kg 0.0MJ		
	유(다, 중, 소)·무				0.0kg 0.0MJ		
사진				목재류 노출표면적		* *	
				0 m ²		0.0kg 0.0MJ	
				플라스틱류 노출표면적		* *	
				0 m ²		0.0kg 0.0MJ	
				수납물 노출표면적		* *	
				0.00 m ²		0.0kg 0.0MJ	
				유효노출표면적		목재류 발열량 MJ	
				0.00 m ²		플라스틱류 발열량 MJ	
						유효 발열량(1계당) 0.0MJ	

그림 3. 현장조사를 위한 가연물 조사 시트

표 3. 나무의 성질계 재료 특성

나무의 성질계 재료 특성			
재료명	밀도(kg/m3)	연소열(MJ/kg)	용도
파티클 보드	650	11.6	책상의 천판, 게시판 등
면	1540	18	의류 등
종이	800	16	수납물
양모	1320	20.5	의자의 의욕지, 용단

표 4. 플라스틱계 재료 특성

플라스틱계 재료 특성			
재료명	밀도(kg/m3)	연소열(MJ/kg)	용도
ABS 수지	1100	35.3	OA기기의 외장
폴리에틸렌	925	47.7	일상품 전반
폴리스티렌	20	39.2	스틸렌 보드외
아크릴 수지(PMMA)	1180	25.2	투명판
폴리아미드(나일론)	1140	30.9	의자의 의욕지 등
폴리에스텔	1380	23.5	의자의 의욕지 등
포리프로피린	1051	43.4	일상품
폴리우레탄	47	28.7	의자의 스펀지
고무	1100	45.2	매트

주 : 가전(냉장고는 제외한다), OA기기의 플라스틱 중량은 전 중량의 20%로서 사용

표 3의 나무의 성질계 재료 특성과 표 4의 플라스틱계 재료 특성은 단일 가연물의 재료·재질에 따라 발열량을 산출하기 위한 특성치로 활용하였다. 또한, 단일 가연물 내 복합재료·재질로 구성된 부위의 발열량 산출을 위한 근거로도 활용하였다.

가연물 조사는 그림 4와 같은 순서로 건물 6동(학교1, 사무실5)에 대하여 실시하였다. 가연물에 각각의 일련번호를 할당하였고, 치수를 측정하기 위해서 스틸제 줄자와 레이저 거리측정기를 이용하여 치수 및 공간 형상을 기록하였으며, 중량 측정을 위해 저울(최대 150kg, 감도 0.05kg)을 사용하였다. 여기서 중량 측정이 곤란한 것은 제조사, 제품번호로부터 중량을 산출, 형상이 복잡한 것 및 복합재료로 구성된 가연물에 대해서는 스케치에 의해 치수와 재질을 기록해 두어 조사 종료 후 중량을 추정하거나 단위길이 당 중량 [kg/m]을 측정해 두어 조사 종료 후에 중량을 추정했다. 서류에 대해서는 전형적인 배치 패턴마다 단위길이 당 중량[kg/m]을 측정해 두어, 유사한 것은 길이만을 측정해 중량으로 환산했다.

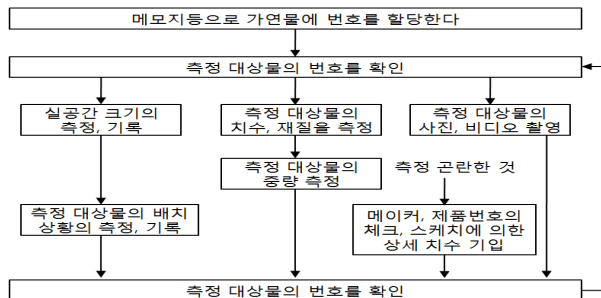


그림 4. 현장조사 순서

화원이 되는 적재 가연물은 실의 용도와 밀접한 관계를 가지고 있어 각각의 용도 공간에 따라 가연물 조사를 실시하여, 상정되는 전체 가연물의 발열 속도를 연소 실험이나 표면적으로부터 파악하여 적재 가연물간의 연소를 예측해 최종적으로는 실 전체의 화재 모델에 성상을 파악해 가야하는 연구가 앞으로 계속 진행되어야 할 방향이라 할 수 있다.

표 5는 건물 6동(학교1, 사무실5)에 대한 가연물 조사결과 데이터로 구역마다의 가연물량 및 노출표면적 등에 대한 데이터가 수집되어있다. 이 결과를 활용하여 각 용도별 실의 바닥면적으로부터 적재 가연물이 차지하는 점유면적의 점유율을 보면 휴게실, 회의실, 복도, 입구(현관)의 경우 각 각 26.0[%], 33.5[%], 3.2[%], 7.5[%]로 휴게실, 회의실에 비하여 복도, 입구(현관)가 가연물의 점유율이 낮은 것으로 나타났다.

표 5. 조사결과 데이터

조사 건물	건물 용도	실 용도	바닥 면적 (㎡)	가연 물수	등가적재 가연물량 (중량) (kg)	유효적재 가연물량 (중량) (kg)	등가적재 가연물량 (발열량) (MJ)	유효적재 가연물량 (발열량) (MJ)	노출 표면적 (㎡)	유효 노출 표면적 (㎡)	가연물 점유율 (%)	그룹
건물 A	학교	입구(현관)	182.3	49	310.6	310.6	5007.8	5007.8	59.45	59.45	7.8	4
		1층 복도	233	87	1089.6	1667.6	16049	23273.4	33.29	104.2	6.1	3
		2층 복도	272	81	184.2	266.6	3678.8	4997.2	31.95	39.69	7.9	3
		3층 복도	272	55	297.7	380.1	4014.6	5351.84	28.35	35.25	4.4	3
		4층 복도	218	58	1749.14	1802.64	22680	23572.3	132.42	150.89	7.8	3
		미디어 코너	75	19	230.4	230.4	2750.9	2750.9	30	30	17.4	1
		학생 홀	113	37	293.1	293.1	4201	4201	66.6	66.6	12.5	1
		워크스태이션	90	127	1271.26	1291.46	17571	17608.7	287.44	313.56	36.4	-
		휴식실	27	25	164.7	266.14	2378.8	2845.8	37.72	41.34	39.3	1
		도서 열람실	66.5	51	588.8	1602.8	7634.1	23915.1	183.35	294.3	33.2	1
자습실	136	74	894.3	894.3	12206	12205.6	184.28	184.28	28.3	1		
건물 B	사무실	입구(현관)	86.4	15	77.4	138.84	1675.2	1949.82	14.42	17.48	2.1	4
		2층 복도	28.8	1	0.8	0.8	7	7	0.79	0.79	0.3	3
		4층 복도	28.8	5	17.8	17.8	350.1	350.1	7.35	7.35	2.2	3
		5층 복도	28.8	5	79.4	79.4	373	373	6.62	6.62	2.5	3
		제1 회의실	167.6	107	985.7	1675.46	9595	39986.7	277.91	286.6	22.7	2
		제8 회의실	51.2	36	532.3	605.5	6621.1	6888.46	109.98	114.54	33.3	2
		제11 회의실	31.7	49	294	1480.57	4015.9	19789	65.27	103.22	44.4	2
		4층 포럼	65.6	64	1130.3	1231.38	16611	17127.9	206.92	227.98	32.6	1
건물 C	사무실	입구(현관)	426.7	54	1511	1511	26626	26626.3	396.12	396.12	5.6	4
		1층 복도	169	20	288.2	288.2	4085.3	4085.3	42.08	42.08	2.4	3
		화이에	68.8	48	272.8	272.8	3786.2	3786.2	75.15	75.15	12.1	1
건물 D	사무실	입구	420.2	210	1445.02	1542.913	20188	20187.8	352.15	352.15	3.2	4
		1층 포럼	106.9	53	970.3	1498.3	13991	16326.4	225.66	243.8	14.5	1
건물 E	사무실	입구(현관)	167.4	46	645.9	645.9	8741.3	8741.29	128.68	128.68	9.7	4
		1층 복도	70.3	5	94.48	94.48	1831.3	1831.3	14.8	14.8	0.2	3
		2층 복도	120.7	10	579.53	579.53	5612.9	5612.9	109.76	109.76	1.3	3
		3층 복도	107	29	545.12	545.12	7628.5	7765.26	117.18	124.2	6.6	3
		4층 복도	79	4	77.3	77.3	1588.2	1588.2	27.51	27.51	0.0	3
		5층 복도	53.2	7	35.2	35.2	535.2	535.2	5.73	5.73	0.6	3
		6층 복도	50.6	8	19.86	19.86	465	465	11.03	11.03	2.8	3
		7층 복도	93.9	24	560.3	560.3	8648.6	8648.6	51.76	51.76	4.2	3
		7층 급탕실	6.72	9	93.6	180.24	1089.6	1665.42	9.58	45.68	26.1	-
		8층 휴게실	85	53	468.72	468.72	5349	5974.96	194.31	198.14	24.3	4

표 5. 조사결과 데이터(계속)

건물 F	사무 실	입구(현관)	114	2	7.9	7.9	95	95	3.28	3.28	0.0	4
		1층 복도	27.2	12	57.6	271.864	1538.1	2511.69	13.56	22.24	7.4	3
		1층외 계단	8.9	38	25.75	161.35	926.6	1255.88	11.17	72.77	25.3	-
		3층 복도	23.8	11	92.62	92.62	2033.8	2033.8	7.52	7.52	3.7	3
		4층 복도	41.4	6	53.16	53.16	1107.1	1107.1	22.65	22.65	1.7	3
		3층 휴식실	13.2	59	493.94	535.256	6355.2	7224.78	73.61	78.31	35.4	1
		4층 휴식실	13.2	90	286.11	445.95	4916.1	5406.56	63.22	76.67	35.1	1
		3층 화장실	10.2	6	9.95	9.95	186.7	186.7	2.57	2.57	0.7	-

*그룹 1 : 휴게실, 2 : 회의실, 3 : 복도, 4 : 입구

4. 결 론

건축물의 가연물에 대한 화재하중 산정을 위한 국외 연구 사례를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 화재 시 화염진파와 확대방지를 위해 건축물의 설계 단계에서부터 화재성상을 예측할 수 있는 시스템이 요구되며, 이러한 예측을 하기 위해서는 건축물의 공간조건과 가연물의 조건에 대한 정확한 자료가 필요하다.

2) 국내에서는 공간조건이나 가연물 조건에 관련된 조사 기법이 명확하지 않으므로 국외 성공적인 연구사례를 활용한 국내로의 적용방안이 필요하다.

이에 따라 향후 국내 용도별 가연물에 따른 화재하중의 수치화를 통하여 신뢰할 수 있는 화재위험성평가 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 한국화재보험협회 (1997). “건축방재계획지침”
2. 김대회 (2003). “건축물의 용도별 화재하중 산정에 관한 연구” 건국대 대학원 박사학위논문
3. 日本建築學會 (2005), “局所火災に對する耐火設計をえる”
4. 신이철 (2008). “국내 주거시설의 가연물 조사 기법에 관한 연구” 한국화재소방학회 추계학술논문발표집