

ISO 9705 Room-Corner Test와 모델 평가

ISO 9705 Room-Corner Test & Model simulations

김 운 형* · S. E. Dillon** · J. G. Quintiere***

Abstract

New examination of a predictive model for the ISO 9705 room-corner test have been made for materials studied by L S Fire Laboratories, Italy. The ISO 9705 test subjects wall and ceiling mounted materials to a corner ignition source of 100 kW for a duration of 10 minutes; if flashover does not occur this is followed by 300 kW for another 10 minutes. The materials that did not stay in place during combustion because of melting, dripping, or distorting were simulated by an adjustment to the material's total available energy. For materials that remain in place the simulation model appears to do well in its predictions. A large-scale room test results are compared with the model's prediction also.

국문 요약

ISO 9705 room-corner test 기준에 따른 가연성 내장재의 화재위험성 평가를 위해 개발된 Quintiere 모델의 검증을 위해 이태리 L. S. F의 실대 화재 실험 결과와 비교 분석하였다. ISO 9705 시험은 최초 10분간은 100 kW, 이후 10분간은 300 kW의 화원에 노출된 벽, 천장재의 화염확산 성능 평가방법으로 열 방출비율이 1 MW에 이르면 플래쉬오버가 발생한다고 판단한다. 총 13개의 재료 중 실제 화재 시 용융, 박락, 변형 등이 나타나는 경우는 단위 면적 당 발생 열량 수정 값을 적용하였다. 바탕 면에 계속 부착되어 있는 마감재의 예측결과는 실험 결과에 근접하였다. 또한 Large -Scale Test의 실험결과와 모델의 예측성능도 비교 분석하였다.

* 경민대학 소방안전관리과

** Southwest Research Institute, TX, USA

***Department. of Fire Protection Engineering, University of Maryland, USA

1. 서론

A Room-Corner Test는 내장재의 발화 및 확산현상을 실제적으로 예상하기 위해 Full -Scale 화재 시나리오를 기준으로 시행된다. 이와 관련하여 현재 미국의 ASTM, NFPA, UBC 그리고 ISO 에서는 각자의 기준을 정하여 사용하고 있다. 한편, 위의 기준들은 시험장치와 시험과정 등은 서로 유사하지만 아주 작은 차이로 인해 시편의 화재성능이 크게 달라 질 수 있다. 예로서 시편의 부착방법이나 화원의 크기, 위치 및 열 방출 열량 등은 매우 중요한 변수가 될 수 있다.

현재 ISO의 Room-Corner Test(9705)는 국제적인 인지도와 함께 여러 나라에서 이를 기준으로 한 내장재의 시험이 활발하게 진행되고 있다. ISO 9705 시험은 벽, 천장의 마감재가 최초 10분간은 100KW, 이후 10분간은 300KW 화원에 노출된 조건에서 공간내 열 방출량이 대략 1,000KW에 이르면 플래쉬오버가 발생된다고 본다. 본 논문에서는 ISO 9705 Test 시나리오에 따른 가연성 내장재의 화재 위험성을 평가하기 위해 개발된 Quintiere의 모델의 검증에 위해 스웨덴의 실대 화재 실험 결과와 비교 분석하였다. 모델의 입력에 필요한 자료는 이태리의 실험 결과를 분석하여 구하였다. 또한 실제 화재 시 용융, 박락, 변형 등이 나타나는 재료에 대한 모델의 적용 가능성과 더불어 ISO 기준과 다른 Large -Scale Test에 대한 모델의 예측성능도 분석하였다.

2. 실대화재 실험

2.1 시험 재료

현재 유럽에서는 내장재의 화재위험성에 대한 공동 연구가 진행되고 있다. 스웨덴의

국립시험연구소(Swedish National Testing and Research Institute)에서는 ISO 9705 Room-Corner Test 기준을 적용하여 유럽에서 널리 사용되고 있는 총 13개의 내장재료에 대한 실대 화재 시험을 진행하였다.

또한 이태리의 L. S. Fire Laboratories (L.S.F)에서는 스웨덴과 동일한 재료를 사용하여 Cone Calorimeter 와 Roland Apparatus 시험을 완료하였다. 여기서 각 재료는 25, 35, 40, 50 KW/m²의 열 플럭스를 적용하였다. 표1.은 시험재료를 보여주며 재료번호는 L.S.F에서 사용한 번호를 나타낸다.

2.2 모델 입력자료

모델의 입력에 필요한 재료특성 값은 Cone Calorimeter (ASTM E- 1354, ISO 5660)와 Lateral Ignition and Flame Spread Test (LIFT, ASTM E-1321, ISO 5658)시험을 이용하여 결정한다. L.S.F에서는 LIFT 시험 대신 Roland Apparatus를 이용하여 화염 확산(Flame Spread) 자료를 구하였다. 모델의 입력에 필요한 7가지 재료 특성 값은 아래와 같으며 표 2.는 계산결과를 보여준다.

1. 발화점 (Ignition Temperature, T_{ig})
2. 재료의 열 관성 (Thermal inertia, $k\rho c$)
3. 수평 화염확산 변수 (Lateral Flame Spread Parameter, ϕ)
4. 수평 화염확산 최소 온도 (Minimum Temperature for Lateral Spread, $T_{s,min}$)
5. 연소열 (Heat of Combustion, ΔH_c)
6. 기화열 (Effective Heat of Gasfication, L)
7. 단위면적당 발생열량 (Total Energy per Unit Area, Q'')

표 1. 시험 재료

재료 번호	재료 이름	두께 (mm)	밀도 (kg/m ³)	부착 방법
R 4.01	Fire Retarded Chipboard	12	805	경량 콘크리트 벽과 천장에 못으로 고정 부착
R 4.02	Paper Faced Gypsum Wallboard	12.5	720	R 4.01과 동일
R 4.03	Polyurethane Foam Panel with Aluminum Paper Facing	41	38	불연재 패널 위 접착
R 4.04	Polyurethane Foam Panel with Aluminum Paper Facing	40	38	R 4.02와 동일
R 4.05	Fire Retarded, Extruded Polystyrene Board (40mm)	40	33	R 4.03과 동일
R 4.06	Clear Acrylic Glazing	3	1150	경량 콘크리트 위 경량 철제 틀(@40mm)에 고정
R 4.07	Fire Retarded PVC	3	1505	R 4.06과 동일
R 4.08	3-Layered Clear, Fire Retarded Polycarbonate Panel	16	1200	R 4.06과 동일
R 4.09	Varnished Massive Timber Paneling	9	3.4	R 4.01과 동일
R 4.10	Fire Retarded Plywood	15	460	R 4.01과 동일
R 4.11	Normal, Untreated Plywood	15	440	R 4.01과 동일
R 4.20	Fire Retarded, Expanded Polystyrene Board (40mm)	40	30	R 4.03과 동일
R 4.21	Fire Retarded, Expanded Polystyrene Board (80mm)	80	17	R 4.03과 동일

본 모델에 관한 내용 및 재료의 분석과정은 관련 논문에 자세히 설명되어 있다.¹⁾²⁸⁾

화재시나리오는 시험조건과 동일하게 가정하였으며 주요한 입력 자료는 아래와 같다.

- a) 실내 온도 : 20C
- b) 실의크기 : 2.4m x 3.6m x 2.4m(높이)
- c) 개구부 : 벽 중앙에 2.0m x 0.8m (높이)의 문이 설치되어 있음
- d) 화원 : 문 반대편 구석에 바닥에서 30cm 위에 위치한 0.17m 정방형 화원은 propane 연료를 사용하며 처음 10분간은 100 KW, 이후 10분간은 300KW의 열방출을 갖는다.

e) 화염의 열 플럭스: 60KW/m²

f) 내장재의 설치: 문이 설치된 벽을 제외한 3면 벽과 천장에 설치함

위와 같은 ISO 9705 기준에 따라 공간 내 플래쉬오버 도달시간을 기준으로 모델의 예측 성능을 분석하였다. 플래쉬오버는 매우 복잡한 화재현상으로서 일반적으로 화재 시 바닥의 열 플럭스가 20KW/m², 연기층의 온도가 500-600℃에 이르며 문밖으로 화염이 보이는 상태로 볼 수 있다. ISO 9705 Test의 경우 실의 크기를 고려할 때, 공간의 열 방출량이 대략 1,000KW에 이르게 되면 위의 조건을 만족하는 플래쉬오버가 발생된다.

표 2. 모델에 사용된 L.S.F 재료의 열 적 특성 값

재 료	Tig (°C)	Ts,min (°C)	$K\rho C$ [(KW/m ² K) ² S]	ϕ (KW ² /m ³)	ΔHc (KJ/g)	L (KJ/g)	Q" (MJ/m ²)
R 4.01	505	507	4.024	0.0	9.2	10.0	34.2
R 4.02	515	517	0.549	0.0	6.4	4.8	2.2
R 4.03	---	---	---	0.0	16.3	---	32.9
R 4.04	250	77	0.199	8.7	18.9	5.5	30.8
R 4.05	275	77	1.983	1.2	27.8	4.0	38.7
R 4.06	195	195	2.957	---	24.1	1.6	89.5
R 4.07	415	352	1.306	0.2	9.9	10.4	16.1
R 4.08	495	167	1.472	0.0	19.5	3.3	58.1
R 4.09	330	77	0.530	6.9	16.3	17.5	68.2
R 4.10	480	197	0.105	0.7	11.2	9.3	51.8
R 4.11	290	147	0.633	2.2	11.9	7.3	64.6
R 4.20	295	77	1.594	4.2	27.5	7.3	33.9
R 4.21	490	77	0.557	7.1	26.9	12.7	25.5

이 경우, 천장부분의 내장재 설치 여부가 플래쉬오버 발생에 매우 중요한 변수가 된다.

3. 비교 분석

총 13개의 실험 재료 중 아래와 같이 3 개의 내장재를 선정하여 플래쉬오버 도달시간을 기준으로 실대 화재시험과 모델의 예측 결과를 비교 분석하였다. 화재 시 용융, 박락 현상 등을 나타내는 재료에 대한 모델의 적용 결과도 제시하였다.

3.1 FR Plywood

FR Plywood는 난연 처리된 합판으로 ISO 9705 기준에 의해 경량콘크리트 벽 및 천장바탕에 못으로 고정하여 설치하였다. 실대 화재 시험시의 재료의 주요 물성은 아래와 같다.

- a) 두께: 15mm
- b) 밀도: 460 kg/m³
- c) 함수율: 9.8%
- d) 건조온도: 20±5° C

그림 1은 화재시험과 모델의 예측 결과와의 비교를 나타낸다. 최초 10분간은 낮은 열 방출열량을 지속하고 있다. 화원의 크기가 300KW로 증대된 10분 10초 지나 화염이 천장을 가로질러 확산되고 이어 630초에 공간 내 열 방출열량이 1MW를 초과하였다. 635초 경과 시 문밖으로 화염이 분출하는 것이 관찰되었다. 645 초경과 후 화염은 벽 하단으로 확산되었다. 그림에서 보는 바와 같이 모델의 예측 결과는 매우 만족한 수준을 보여주고 있다.

3.2 Normal Plywood

Normal Plywood는 보통 합판으로 ISO 9705 기준에 의해 경량콘크리트 벽 및 천장바탕에 못으로 고정하여 설치하였다.

실대 화재 시험시의 재료의 주요 물성은 아래와 같다.

- a) 두께 : 14mm
- b) 밀도 : 440 kg/m³
- c) 함수율 : 11.3%
- d) 건조온도 : 20±5° C

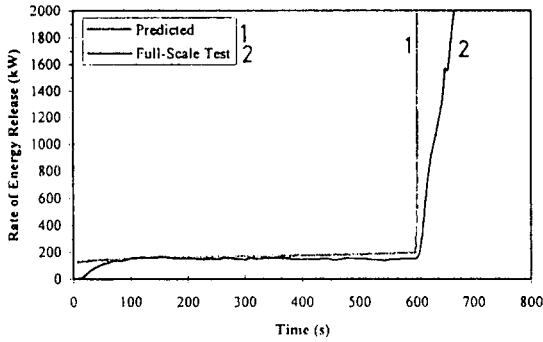


그림1. Fire Retarded Plywood (R 4.10)와 모델링 결과 비교

내장재는 점화 후 45초에 발화되어 90초경과 시 천장의 반 정도가 발화되고 화염이 벽 아래로 확산되며 이동하기 시작하였다. 134초경 문 밖으로 화염이 나오고 138초에 방출열량이 1MW에 도달하였다. 시험 종료 후 관찰 결과, 공간 내부의 대부분이 탄화되었다. 그림 2와 같이 예측 결과는 전체적으로 상당히 정확하였으나 시험에 비교하여 약 30초 정도 먼저 플래쉬오버에 도달하였다. 기화열을 약간 증대시켜 (8.0KJ/g) 모델링 한 결과, 보다 근접된 예측성능을 나타냈다.

3.3 Extruded Polystyrene Board

실제 화재 시 재료에 따라서는 용융, 박락, 변형 등으로 인해 벽이나 천장 표면에서 떨어지는 경우가 발생한다. 시험 재료 중에서 R 4.05 (Extruded Polystyrene Board)가 그 대표적인 예이다.

현재 모델에서는 이러한 특성을 고려할 수 없으므로 재료의 단위 면적 당 발생열량 (Q'') 수정한 값을 입력하였다. 화재 시 벽, 천장의 내장재가 바닥으로 떨어지면 연소시간은 단축된다. 이 후의 바닥연소 과정은 본 연구에서는 제외하였다. 재료는 두께 40mm, 밀도30kg/m³, 불연재 바탕에 접착하였다. 용

융, 박락 등의 현상을 고려하여 측정된 Q'' 값 38.7 MJ/m² 보다 15%를 감소한 값을 입력하였다. 그림 3에서 1,000KW 플래쉬오버에 도달하는 모델의 예측 시간(64초)과 시험 결과(96초)와는 약 30초 차이가 발생하였다.

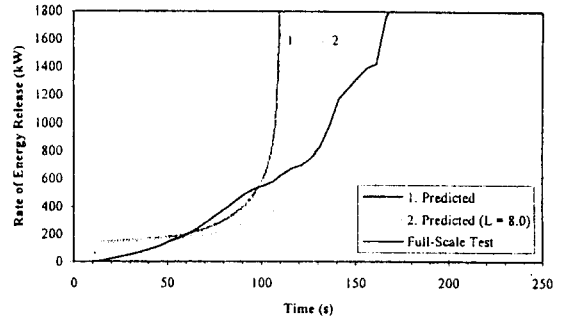


그림 2. Normal Plywood (R 4.11)와 모델링 결과 비교

그러나 산소소비량을 기준으로 열 방출비율을 측정하는 Cone Calorimeter 특성상 시험시간과 측정시간 사이에는 30초 정도의 차이가 있음을 고려해야 한다. 관찰 결과, 용융으로 100초 정도 경과 후 발생 열량은 현저히 낮아지며 85초 경 상당한 용융과 박락 현상이 바닥 쪽으로 발생하였다. 0.15 Q''의 경우, 600초경에 발생한 2번째 플래쉬오버 현상과 유사한 예측을 보여준다. 이러한 예는 수정 Q''값을 이용하여 용융, 박락되는 재료에 대한 모델링의 가능성을 보여주고 있다.

다만 적절한 Q''값을 계산하기 위한 연소시간의 결정과 바닥에 떨어진 재료가 연소되는 상황을 모델에 포함할 필요가 있다고 본다.

3.4 플래쉬오버 도달시간 비교

Room-Corner Test에서 재료의 성능은 플래쉬오버가 발생하거나 또는 열 방출비율이 1,000KW가 되는 도달시간을 기준으로 평가된다. 표 3은 실대 화재 실험과 모델의 적용 결과에 의한 1 MW 도달시간을 나타낸다.

표 3. 실험재 실험과 모델과의 플래쉬오버 도달시간 비교

실험 재료	플래쉬오버 도달시간, Q=1,000KW (s)			
	실험 결과	모델 결과	수정 결과	수정 재료특성
R 4.01 F.R. Chipboard	∞	∞	1113	L = 4.5 KJ/g
R 4.02 Gypsum	∞	666	∞	1.5 L 또는 0.5 Q"
R 4.03 PU /Alum.	40	---	---	---
R 4.04 PU/ Paper	---	9	22	0.3 Q" & 2.0 L
R 4.05 Ext. PS 40mm	96 & 614*	64	99 616	0.22 Q" 0.15 Q"
R 4.06 Acrylic	141	27	50	3.0 L
R 4.07 F.R. PVC	∞	726	730 ∞	0.5 Q" 0.3 Q"
R 4.08 3-Layer PC	∞	230	669 ∞	0.2 Q" 0.1 Q"
R 4.09 Mass Timber	104	612	62 100	L = 6.5 KJ/g L = 9.0 KJ/g
R 4.10 F.R.Plywood	631	601	---	---
R 4.11 Plywood	138	108	131	L = 8.0 KJ/g
R 4.20 Exp. PS 40mm	84	90	118	0.3 Q"
R 4.21 Exp. PS 80mm	107&798*	268	129 636	L = 7.3 KJ/g 0.3 Q"

* 열 방출비율 (Q')이 한번 이상 1,000KW에 도달함

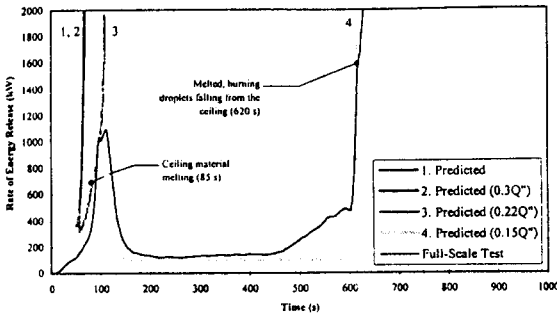


그림 3. Extruded Polystyrene Board (R 4.05)와 모델링 결과 비교

표에서 모델의 예측시간은 모든 재료에 대하여 최대 평균(Peak average) 연소 열과 기화열을 사용한 경우의 결과이다. 또한 수정 시간은 변형된 재료 특성 값을 적용한 결과

이다. 이를 통하여 모델의 성능 검증과 여타 재료에의 적용 가능성 및 재료의 고유 연소 특성 등을 반영할 수 있었다. 다만 수정된 재료 특성이 모든 동일한 재료에 적용하기에는 실험상의 한계가 있으므로 향후 더 많은 실험이 진행되어야 한다고 본다.

한편, 수평화염 확산의 영향을 알아보기 위해 $T_{s,min}$ 을 20°C로 가정하여 모델에 입력하여 보았다. 플래쉬오버 (IMW) 도달 시간의 비교 결과, 실험에서 구한 $T_{s,min}$ 을 사용한 경우와 같거나 ±1초 정도의 차이를 보였다. 따라서 수평화염 확산여부는 ISO 9705 시험을 적용한 L.S.F 재료의 화재성능에 큰 영향이 없음을 알 수 있었다. 이러한 경향은 대부분의 재료에 해당한다고 판단된다. 그러나 모

델의 화재확산 성능 평가요소에서 $T_{s,min}$ 을 제외하기 위하여 앞으로 더 많은 실험과 분석이 필요하다고 본다.

4. A large-scale test

4.1 시험개요

L.S.F 실험에서 실의 용적은 2.4 m x 3.6 m x 2.4 m 의 ISO 표준규격을 적용하였다. Quintiere의 모델이 실의 용적이 변화되는 경우에 어떤 결과를 나타내는지 알고자 대형 공간의 실대 화재 실험결과와 모델 결과와를 비교 분석하였다. 실험은 핀란드의 연구 센터의 Kokkala, Goransson, Soderbom에 의해 진행되었다. 실의 크기는 폭 9.0m x 너비 6.75m x 높이 4.9 m이며 긴 쪽 벽 중앙에 2.0m x 2.0 m 문을 설치하였다. 화원은 ISO 9705 기준에 의한 Propane gas burner (0.17m x 0.17m) 3개를 동시에 사용하였다. 최초 20분간은 ISO 기준과 동일하게 처음 10분간은 100KW, 이후 10분간의 300KW 조건으로 가열하였다. 그러나 20분 경과 후에는 설치된 3개의 화원을 모두 사용하여 총 900KW로 증대시켰다.

시험에 사용된 5가지 재료는 다음과 같다.

- Textile wall covering on gypsum board
- Combustible facing on mineral wool
- Fire retarded particle board, Type B1
- Ordinary birch plywood
- PVC wall covering on gypsum board

마감재료는 화원에서 가장 먼 벽의 하부를 제외한 모든 천장과 벽에 설치하였다. 모델의 입력에 필요한 재료의 열 적 특성 치는 Quintiere, Haynes & Rhodes가 분석하였으며 그 결과는 표 4와 같다.

900KW 화원에서 연속 화염의 높이는 Hasemi & Tokunaga의 제안식을 적용하였으며 버너에서 5.86m위 즉 바닥에서 5.94m 위로 정하였다. 현재 모델에서 화염의 높이는 Quintiere가 제안한 기준인 100KW에서 1.3m, 300KW에서 3.6m을 사용하고 있다. 한편, ISO 9705에서 플레쉬오버 판단 기준으로 1,000KW를 설정한 것은 실의 표준 크기를 고려한 화재 크기이다. 그러므로 본 실험과 같이 표준보다 큰공간이나 화원이 증가된 경우에는 동일한 플레쉬오버 기준을 적용하기에는 한계가 있다.

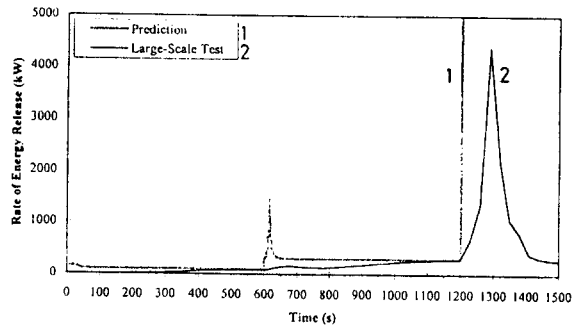


그림 4. Large-Scale Test와 모델과의 비교
(자료 : Combustible Facing on Mineral Wool)

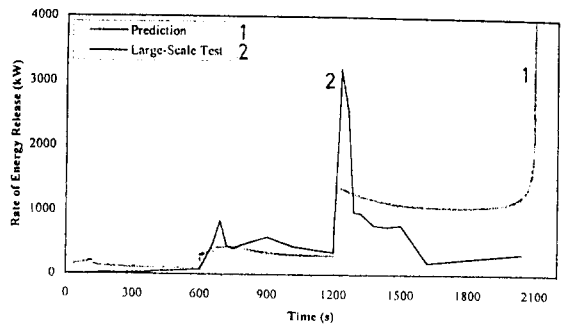


그림 5. Large-Scale Test와 모델과의 비교
(자료 : Textile Wall Covering on Gypsum Board)

표 4. 재료의 열적 특성

재 료	Tig (°C)	Ts,min (°C)	$K\rho C$ [(KW/m ² K) ² S]	Φ (KW ² /m ³)	ΔH_c (KJ/g)	L (KJ/g)	Q'' (MJ/m ²)
TEXT/ GYP BOARD	386	189	0.97	7.7	7.5	3.1	9.5
Comb.Min. Wool	354	263	0.11	0.86	11.0	9.2	1.7
FR Part. Board	482	482	0.29	---	3.9	1.4	5.5
Birch Plywood	392	164	0.99	13	11.9	6.2	75.5
PVC/ Gyp Board	391	367	0.69	8.2	6.5	3.3	11.0

4.2 결과 분석

실대 화재와 모델과의 비교 결과 그림 4와 같이 대부분의 재료에서 상당히 만족한 결과를 나타내었다. 그림 5는 Gypsum board의 결과이다. 전체적으로 일치를 보이고 있으나 최대 열 방출 비율에서 약 15분 정도 차이가 있다. 모델의 경우 20분 경과 후 화원이 900KW로 증가된 이후에 1200KW를 예측하였으나 실험에서는 3MW를 나타내었다. 35분 경과 후 모델은 급속한 화재성장을 보이고 있지만 실험의 경우는 방출열량의 뚜렷한 감소로 더 이상의 진전이 없었다. 이러한 결과는 아마도 thermoplastic 재료의 특성 때문으로 판단된다. 그러나 발포성, 플라스틱 재료의 용융, 변형, 박락 등에 의해 실험 결과가 모델보다 매우 낮았던 이 전의 예와는 다른 모습을 나타내고 있다. 이러한 차이점에 대해서 향후 다양한 방출열량을 갖는 화원에 대한 화염높이 산정 방법에 관한 연구와 열 플럭스 측정을 위한 실험이 필요하다고 보여진다.

5. 결 론

본 논문의 주요 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) ISO 9705 Test의 예측을 위해 개발된

Quintiere의 모델은 실대 화재시험과 비교 분석한 결과, 목재재료의 경우는 매우 만족할 만한 성능을 나타냈으며 Thermoplastic 재료는 수정된 재료 특성 값을 적용한 경우에 예측 결과가 우수하였다.

- 2) 실제 화재 시 나타나는 재료의 용융, 박락, 변형 등 현재 모델이 예상할 수 없는 재료(예로서 폴리스티렌 등)는 적절한 재료 특성 값의 수정을 통해 모델에 반영할 수 있다.
- 3) 수평 화염확산 최소온도(Ts,min)가 플래쉬오버 도달시간에 미치는 영향은 거의 없었다. 따라서 수평화염 확산여부는 ISO 9705 시험을 적용한 L.S.F 재료의 화재성능에 큰 영향이 없음을 알 수 있다.
- 4) Large-Scale Test와 모델의 예측성능 비교 결과는 전반적으로 만족하였다. ISO 9705와 다른 화재 시나리오에 적용하기 위하여 다양한 방출열량을 갖는 화원에 대한 화염높이 산정 방법과 정확한 열 플럭스 측정을 위한 실험이 필요하다고 본다.

감사의 글

본 연구를 위해 많은 자료와 도움을 주신 N.I.S.T/B.F.R.L(미국), L.S.F(이태리), T.R.C(핀란드)연구소와 관련 연구원에게 진심으로 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. Quintiere, J. G., A Simulation Model for Fire Growth on Materials Subject to a Room-Corner Test, Fire Safety Journal, Vol. 18, 1992.
2. Quintiere, J. G., Haynes, G., Rhodes, B. T., Applications of a Model to Predict Flame Spread Over Interior Finish Materials in a Compartment., Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 7, 1995, pp 1 to 13.
3. Thureson, Per, " Fire Tests of Linings According to Room/Corner Test, ISO 9705", Swedish National Testing and Research Institute, Fire Technology, Report 95R22049, 1996
4. Kokkala, Matti, Goransson, Ulf & Soderbom, Johan, "Five Large-Scale Room Fire Experiments: Project 3 of the EUREFIC Fire Research Programme", Technical Research Center of Finland, Espoo, 1992
5. Hasemi, Y & Tokunaga,T., " Some Experimental Aspects of Turbulent Diffusion Flames and Buoyant Plumes from Fire Sources Against a Wall and in a Corner of Walls", Combustion Science and Technology, Volume 40, 1984, pp. 1 to 17.
6. Woon Hyung, Kim., Quintiere, J. G., Application of a Model to Compare a Flame Spread and Heat Release Properties of Interior Finish Materials in a Compartment, International Symposium on Fire Science and Technology, Seoul, Korea, 1997.
7. Woon Hyung Kim., S. E Dillon, Quintiere, J. G., Discussions of a Model and Correlation for the ISO 9705 Room-Corner Test, Annual Conference on Fire Research, National Institute of Standard and Technology, MD, U.S., 1998.
8. S.E Dillon, Woon Hyung Kim., Quintiere, J. G., "Determination of Properties & the Prediction of the Energy Release Rate of Materials in the ISO 9705 Room-Corner Test", Dept. of Fire Protection Engineering, Univ. of Maryland, College Park, U.S.,1998
9. 김운형, Quintiere, J. G., "건물 내장재의 화재위험성 평가방법", 한국화재소방학회지, 12권 2호,1998
10. 김운형, A Room-Corner Fire Model을 적용한 건축내장재의 화재확산 특성평가 (I, II), 방재기술, 한국화재보험협회, 제 24-25호, 1998
11. 김운형, S.E Dillon, Quintiere, J. G., " ISO 9705 Room-Corner Test 모델" 한국화재소방학회 추계학술 발표회, 한국화재소방학회, 1998.11
12. S.E. Dillon, J. G. Quintiere and Woon H. Kim, "Discussion of a Model and Correlation for the ISO 9705 Room-Corner Test" 6th International Symposium on Fire Safety Science, IAFSS, France, July 1.