A-01

건축 내장마감재의 화재 위험성평가

하동명, 허만성*
세명대학교 안전공학과, 우성공업대학 소방안전관리과

Fire Risk Assessment of Building Interior Finish Materials

Dong-Myeong Ha, Man-Sung Hur*
Dept. of Safety Engineering, Semyung Univ., Jecheon 390-711, Korea
**Dept. of Fire Safety Eng., Woosong Technical College, Taejon, Korea*

1. 서 론

최근 다중 이용 업소 비롯한 대구지하철화재사고와 천안초등학교 축구부 합숙소 화재사고를 계기로 내장재의 화재위험성에 대한 관심은 매우 커지고 있으며, 위험성평가는 화재 연구의 어떤 분야보다 과거 수 십 년 동안 연구자들에 의해 많은 관심사가 되고 있다.

화재의 성장기, 감지, 억제의 공정도 화재 시나리오 상에서의 변화의 가능에 생성되는 것에 상관관계가 있다. 즉, 여러 매개변수에 따라 화재 특성에 의해 결과로 인명 피해나 재산 피해를 예측 할 수 있다.

일반적으로 화재 시나리오에 관련되는 매개변수는 수 없이 많지만 대표적으로 화재지연특성, 열방출률, 열량, 연소생성물의 특성, 플래시오버(flashover), 화염전파속도(flame spread rate), 최대화염높이 등을 들 수 있다. 그러나 화재시나리오에서 출화기에 관련된 매개변수(parameter)를 서술하면 방화설비의 특성, 점화원, 연료의 특성 및 조건, 환기조건, 입주자의 특성 및 위치, 구조물과 기타 장비의 조건 등을 들 수 있다. 화재에 관련된 특성을 파악하기 위해서 단일 매개변수에 의해서도 특성 예측이 가능할 경우도 있으나 일반적으로 매개변수간의 상호작용에 의한 영향도 알아야만 포함 정확한 위험성 정량적평가가 이루어 질 수 있다[1,2].

본 연구에서 건축내장재로 널리 이용되고 있는 재료의 열방출률, 최대화염 높이 그리고 열량에 대한 예측 방법을 제시하여 화재 안전을 위한 건축 내장재의 정량적 위험성평가에 도움을 주고, 성능 설계 기준(PBD : performance based design)에 적용에 있어 보다 정확한 성능설계기준에 이용하는데 있다. 또한 재료특성에 따라 건축내장재에 영향을 주는 인자들에 대한 상관관계를 살펴봄으로서 새로운 내장재의 화재 위험성평가에 도움을 주는데 목적이 있다.

2. 내장가구 열방출에 관련된 인자

발화 후 화재성장, 감지, 억제, 공정에서 화재위험성평가를 수행하기 위해서는 변수들을 고려해야하고 뿐만 아니라, 그들의 상호작용도 고려되어야 한다. 이들 변수들은 가구의 물질특성과 발화원이다.

물질의 특성으로 발화 지연성, 열방출 속도, 연소 생성물의 특성 등이 있다. 이 가운데 열방출 속도는 내장가구화제에서 화재위험성평가에 매우 중요하다. 이들 변수들은 실험적으로 결정되어야 하나, 정확하지 않는 경우가 많다. 그 동안 HRR(heat release rate)에 관련된 변수들은 다음과 같다[3,4].

① 밀도(density of fuel)
② 전도도 (conductivity of fuel)
③ 비열(specific heat of fuel)
④ 대기 중에서 산소의 질량 비율
⑤ 연료량론비에서 산소
⑥ 증발율
⑦ 연소열
⑧ 외부 열 흐름

3. 화재 위험성평가 방법론

Fig. 1에서는 화재의 잠재위험성을 평가하기 위해 필요한 여러 인자들에 대해 원인 결과 선도(cause-effect diagram)로 나타낼 수 있으며, 또한 각 위험 특성에 대해 각 입력 파라미터를 선정할 수 있다.

이 선도를 이용하면 화재의 잠재 위험성평가를 위한 각 각의 위험성 고찰뿐만 아니라 각 위험성 인자들의 상호 관계도 용이하게 고찰할 수 있다[5,6].

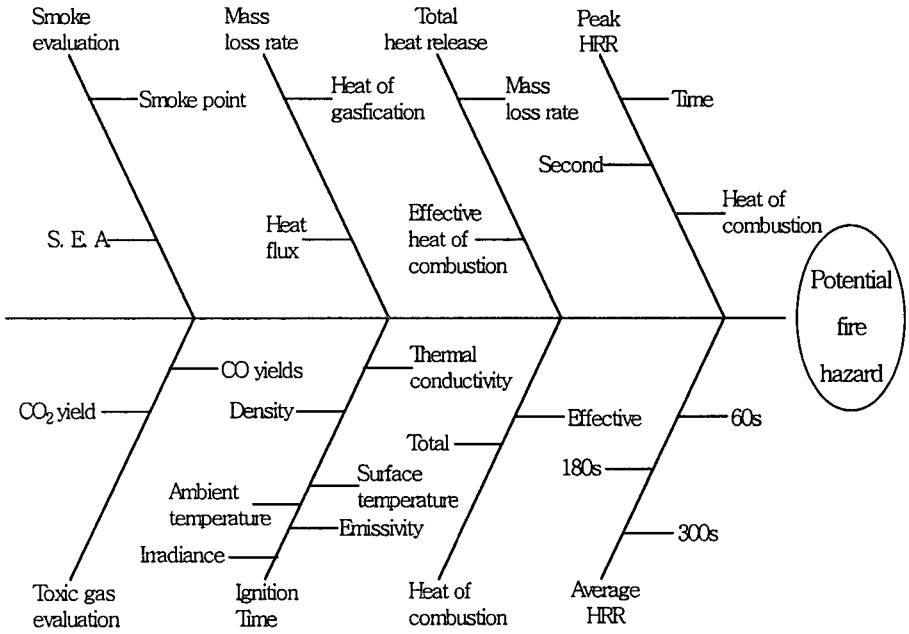

Fig. 1. A cause-effect showing the various parameters affecting. the potential fire hazard.

4. 열방출율(HRR) 및 최대화염 높이 예측

화재에서 초기화재의 특성을 파악하는 것은 화재 예방을 연구하는 데 무엇보다 중요하다. 화재의 잠재위험성인평가하기 위해서는 화염높이, 천정의 화염도달시간, 순수 열방출율(Net HRR) 및 총 열방출율(total HRR) 그리고 열방출율 도달 시간에 대한 실험 및 경험식 연구는 반듯이 필요하다.

본 연구에서는 ISO 9705의 실험방법에 의한 vinyl ester/glass 마감재의 화재 위험 특성을 예측할 수 있는 식을 제시하고자 한다. 이들 문헌자료[7]를 Table 1에 나타내었다.

문헌자료에서 순수 열방출율 예측을 위해 버너의 폭과 버너의 열량을 이용하여 다음과 같은 예측식을 제시하였다.

$$Y = -153.186 + 4.044X_1 + 4.792X_2 - 0.104X_1X_2 \quad (1)$$

여기서 Y는 순수 열방출율, X_1은 버너 폭, X_2는 버너 열량이다.

식 (1)를 이용하여 순수 열방출율을 예측한 결과 예측값과 문헌값의 차이에 있어 AAPE가 21.10, AAD가 5.01초, 표준 편차 7.80 그리고 결정계수(R^2)는 0.966으로서 문헌값과 예측값은 일치함을 보여주고 있다.

총열방출율 예측을 위해 버너의 폭과 버너의 열량을 이용하여 다음과 같은 예측식을 제시하였다.

$$Y = -153.180 + 4.044X_1 + 5.792X_2 - 0.104X_1X_2 \quad (2)$$

여기서 Y는 총열방출율, X_1은 버너 폭, X_2는 버너 열량이다.

식 (2)를 이용하여 총열방출율을 예측한 결과 AAPE가 7.10, AAD가 5.01초, 표준 편차 7.80 그리고 결정계수(R^2)는 0.992으로서 문헌값과 예측값은 거의 일치하고 있다.

또한 최대화염 높이를 버너의 폭과 버너의 열량을 이용하여 예측한 결과 다음과 같은 예측식을 얻었다.

$$Y = -403.752 - 12.855X_1 - 4.000X_2 + 0.305X_1X_2 - 2.519\times10^{-5}X_1^2X_2^2 \quad (3)$$

여기서 Y는 최대화염높이, X_1은 버너 폭, X_2는 버너 열량이다.

식 (3)를 이용하여 총열방출율을 예측한 결과 AAPE가 0.85, AAD가 1.78, 표준 편차 2.38 그리고 결정계수(R^2)는 0.998으로서 문헌값과 예측값은 정확히 일치하고 있다.

Table 1. Summary of corner test result for vinyl ester/glass composites

Burner width [cm]	Burner power [kw]	Maximum spread Hgt[cm]	Time to reach top [s]	Average spread rate [cm/s]	Peak HRR[kw]		Time of HRR peak [s]
					Total	Net	
23	31	187	∞	0	—	—	—
23	31	190	∞	0	45	14	1250
23	63	244	410	0.60	152	89	1100
23	62	244	410	0.60	152	90	1350
38	31	116	∞	0	42	11	1000
38	31	114	∞	0	71	40	1200
38	61	244	1280	0.19	112	51	1100
38	62	244	1390	0.175	ca.116	54	1200
38	145	244	167	1.46	271	126	375
38	148	244	168	1.45	266	118	650
38	148, Non FR, coated	minimal	—	—	162	14	1600
38	147 Non FR	244	120	2.0	576	429	175

5. 방염제가 코팅된 고분자 재료의 온도에 의한 열량 예측

화재를 예방하기 위해 열량 예측은 매우 중요하다. 최근 방호를 목적으로 고분자 물질에 코팅을 하는 경우가 많다. 본 연구에서는 마감재로 널리 이용되고 있는 코팅된 고분자 물질의 열량과 온도의 관계 문헌8)을 이용하여 온도에 의한 열량 예측식을 제시하고자

한다.

예측식은 다음과 같다.

$$Y=21.703-0.113X_1+1.470\times10^{-4}X_1^2 \quad (4)$$

여기서 Y는 열량이고, X_1은 온도이다.

Table 2에 나타내고 있듯이 식 (4)를 이용하여 연소시간에 의한 열량율 예측한 결과 AAPE가 1.74, AAD가 0.807, 표준 편차 1.047 그리고 결정계수(R^2)는 0.998로서 예측값과 문헌값은 일치하고 있다.

Table 2. Comparison between the predicted and the test result of heat flux for polymer with intumescence additives

Ignition sources	Temperatuer[K]	Energy flux $[kw/m^2]_{exp.}$	Energy flux $[kw/m^2]_{pred.}$
1	748	20	19.49
2	839	30	30.45
3	912	40	41.00
4	1024	60	60.23
5	1065	70	68.20
6	1170	90	90.85

6. 결과 및 고찰

표면응답방법론(Response Surface Methodology : RSM)을 이용하여 화재특성에 영향을 주는 인자들과 인자들간의 상호작용을 고려하여 화재 특성인 열방출량(HRR), 열량, 화염높이 등을 정량적으로 예측할 수 있는 방법론을 제시하여 다음과 같은 종합적인 결론을 얻었다.

1) Vinyl ester/glass 마감재의 버너의 폭, 버너의 열량, 이들의 상호작용을 이용 하여 순수 열방출량과 최대 열방출량의 예측이 가능해 졌다.

2) 마감재로 널리 이용되고 있는 코팅된 고분자물질의 열량과 온도의 관계를 규명 하여 온도에 의한 열량 예측식을 제시하였다.

참고문헌

1. NFPA, "SFPE Handbook Fire Protection Engineering", National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts(1995).

2. D. Drysdale, “An Introduction to Fire Dynamics”, 2nd ed., John Wiley & Sons(1998).
3. T.L. Graham, G.M. Makhvilade and J. P. Roberts, "On the Theory Flashover Development" Fire Safety Journal, Vol. 25, pp. 229-259(1995).
4. R.D. Peacock et. al.," Defining flashover for fire hazard calculation", Fire Safety Journal, Vol. 32, pp. 331-345(1999).
5. 하동명, “화재위험분석을 위한 응답표면방법론(RSM: Response Surface Methodology의 적용)”, 제 17소방학술세미나, 행정자치부, 한국소방안전협회, pp. 45-91(2002).
6. M. Brandyberry and G.E. Apostolakis, "Response Surface Approximation of Fire risk Analysis Computer Code", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 29, pp. 1534-184(1990).
7. T. Ohlemiller et al., "Effect of Ignition Condition on Upward Flame Spread on a Composite Material in a Conner Configuration", Fire Safety Journal, Vol. 31, pp.331-344(1998).
8. J. Rychly and L. Rychla, "Modelling Heat Release Rate-Time Curves from Cone Calorimeter for Burning of Polymers wih Intumescence additive", Polymer Degradation and Stability, Vol. 54, pp.249-254(1996).