

가구화재시 열적성층의 형성에 관한 실험적연구

An Experimental Study on the Formations of Thermal Stratification in Furniture Fire

허 만 성*
Hur, Man-Sung

Abstract

The objective of this research is to study on the formations of thermal stratification in a room in case of several furniture fires such as trashcan, chair, carpet, sofa, mattress and wardrobe as a fire starter in a residential room by performing the experimental studies. The uniformly distributed fire in case of carpet showed that the ignition and the initial growth period were relatively short while the fully developed period was considerably long. The concentrated fires such as the mattress and wardrobe showed that the ignitions and the initial growth periods were relatively long. When fire spread to only one direction, like the case for the trashcan with a regular shape, there was one peak of temperature profile, and for the irregular shaped furniture such as chair, sofa, mattress and wardrobe, there were two or more peaks. The interface heights for the furniture fires were around 1[m] maintaining constant state. However, at the time of the maximum temperature, the interface height was lowered to 0.25[m]-0.75[m] from the floor.

국문요약

화재시 실내의 열적성층의 형성을 연구하기 위하여 쓰레기통, 의자, 카펫, 소파, 매트리스 및 장농의 화재실험을 실제건물에서 수행하였다. 카펫과 같은 균등분산 가연물화재의 경우는 초기 점화기간과 성장기의 기간이 화재 전기간에 비하여 매우 짧고, 최성기는 매우 길게 나타났다. 반면에 쓰레기통, 매트리스 및 장농과 같은 집중 가연물화재의 경우는 초기점화기간과 성장기가 매우 길게 나타났다. 쓰레기통과 같은 위에서 아래인 한쪽 방향으로만 연소하는 경우는 봉우리가 하나로 나타났고, 의자, 소파, 매트리스 및 장농과 같은 연소방향이 다양한 화재의 경우는 봉우리가 2개이상 나타났다. 어느 화재의 경우나 경계면이 뚜렷이 나타났고, 상부층의 온도는 거의 일정하며 경계면 높이는 가구화재시 모두 1[m] 근처에서 일정한 상태값을 유지하였다. 다만, 최대온도를 나타내는 시간에는 경계면 높이가 바닥에서 0.25[m]내지 0.75[m]까지도 내려왔다.

* 중경공업전문대학 소방안전관리과 교수

1. 서 론

건물내의 화재시 대부분의 가연물은 가구이지만 가구화재에 대한 국내에서의 연구는 거의 찾아 볼 수 없다. 미국, 일본 등에서는 연료의 종류 및 형태에 따른 실내화재에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 1982년 Parker는 여러물질의 산소 소비량에 대한 열방출량을 계산하였고¹⁾, Harland와 Anderson은 화재시 인간의 사망에 영향을 주는 가스를 분석한 결과 사망자 중 50[%] 이상이 일산화탄소에 의한 사망이었음을 밝혔고²⁾, 1983년 Wickström, Sundström와 Holmstedt는 버너 위에 위치한 후드에서 화재의 배기가스를 수집하여 가스의 농도를 측정하였다³⁾. 1985년 Lee는 침실화재시 연기, 일산화탄소의 발생량을 측정하여 플래시오버의 발생시간을 계산하였다⁴⁾. 일본에서는 1988년 동경소방청에서 지하공간에 대한 축소된 실험에서 배연설비 효과와 지하 아트리움내의 연기유동 현상을 파악하였다⁵⁾. 1991년 Lilly는 실제 화재실험을 통하여 ASET프로그램으로 온도와 플래시오버 시간을 계산하였다⁶⁾. 1992년 Gottuk, Roby와 Peatross는 연료로 핵산, 전나무, PMMA, 폴리우레탄폼의 4가지 연료를 2.2[m³] 구획에서 연소시켜 연소가스를 측정하였다⁷⁾. 한편, 국내에서는 1993년 정길순은 목재연료의 실내 모형화재실험에서 연기층의 온도와 안전대피시간을 구하였고⁸⁾, 최금란은 아트리움에 대한 내부 온도분포를 측정하여 수치계산 결과와 비교하였다⁹⁾. 1996년 윤명오는 철근콘크리트 구조 공동주택 실물화재실험에서 온도 및 연기농도 변화값을 측정하고, 인간의 생존가능시간을 파악하였다¹⁰⁾.

따라서 본 연구의 목적은 일반주택에서 쓰레기통, 의자, 카펫, 소파, 매트리스, 장농의 화재시 실내에서의 연기층인 경계면의 높이와 경계면 상부와 하부의 온도분포상태를 실험을 통하여 비교 분석하므로써 화재실의 열적성층의 형상을 구하여 화재모델링의 기초자료는 물론 화재의 예방, 진압 및 방화관리 업무에 도움을

주고자 한다.

2. 실험방법

화재실험은 1층 슬라브건물에서 실시하였다. Fig. 1은 실험한 건물의 정면도이고, Fig. 2는 이 건물에 설치된 실험장치의 개략도이다. 여기서, A, B, C, D, E, F 및 T는 열전대의 측정위치이고, G는 천정에서의 가스측정점이고, P는 벽의 상부쪽 압력측정점이며, V는 비디오 촬영점이다.

실험시 가연물의 제원은 Table 1에 나타냈고, Table 2는 방의 크기, 문과 창문의 크기를 나타낸다. 가연물은 화재실의 중앙 바닥에 두고 점화는 신문지를 사용하였다. 의자, 소파, 매트리스와 장농의 점화원은 신문지 17장이 들어 있는 원형 쓰레기통(20[1])을 사용하여 점화시켰고, 모든 창문과 현관문은 밀폐된 상태로 하였다.



Fig. 1. Plan view of experimental building.

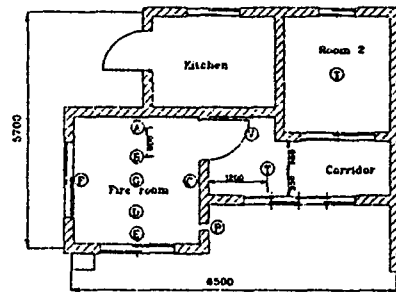


Fig. 2. Sketches of the test configuration with indications of the locations of instrument arrays.

Table 1. Characteristics of various fire sources.

가 연 물	크 기[cm]	재 질
쓰레기통	23×29×49	폴리에틸렌
의 자	36×51×88	폴리에틸렌
카 페 트	190×250	-
소 파	73×73×80	폴리우레탄(틀 : 나무)
매트리스	132×191×17	-
장 농	103×61×190	3mm 베니어판

Table 2. Room and door geometry.

room name	room size (m)	door size (m)	window size (m)
fire room	2.55w×2.55L ×2.90H	0.81w×1.82H	1.52w×1.21H
corridor	1.73w×3.40L ×2.90H	1.52w×1.82H	0.81w×1.82H
room-2	2.26w×2.48L ×2.90H	3.28w×2.10H	1.21w×1.10H

3. 결과 및 고찰

Fig. 3에서 Fig. 8은 화재실 내부 ㉠지점에서의 높이에 따른 각 가연물들의 온도변화를 나타내는 것이다.

Fig. 3은 쓰레기통화재로 바닥, 0.5[m] 높이 및 천정속은 다른 상부측 높이에 비하여 비교적 온도가 낮은 60[°C]미만을 유지하였고, 1[m] 높이에서는 1.5[m] 높이보다 온도가 약간 떨어진 중간상태를 나타내었다. 1.5[m]이상에서는 거의 온도차이가 없이 일정한 온도변화상태를 유지하였다. 화재의 초기 성장기에서 최대온도인 140[°C] 지점까지는 조금 빨리 상승하였다가 최성기(fully developed period)에서부터 쇠퇴기까지는 완전히 온도가 감소하기 시작하였다. 여기서 반자속인 2.9[m] 높이에서는 반자로 열이 차단되고, 또 천정벽으로 열손실이 있는 관계로 0.5[m] 높이와 거의 비슷한 60[°C]이하의 낮은 온도분포를 나타냈다. 또한 ㉢, ㉣, ㉤, ㉥ 및 ㉦지점의 높이에 따른 온도변화도 ㉠지점에서와 대체로 비슷한 경향을 나타내었다.

Fig. 4는 의자화재로 화재의 초기상태에서 성장기까지는 온도가 완전히 증가하였다가 플래시오버(flash over)기간에는 온도가 급상승한 후

최대온도 124[°C]를 기점으로 다시 급격히 온도가 떨어졌다가 완전히 온도가 상승한 후 쇠퇴기에 접어들어 온도가 감소하기 시작하였다. 이것은 의자가 타다가 최대온도에 도달했을 때 의자가 한쪽 다리의 연소로 옆으로 넘어져 발열량이 줄어들어 온도가 떨어졌다가 다시 불이 붙어 타기시작하여 온도가 다시 상승하므로 봉우리가 2개 생겼다. 따라서 의자화재의 경우는 봉우리가 2개인 관계로 성장기, 플래시오버기간 및 최성기의 구분이 불명확하게 나타났다.

Fig. 5는 카페트화재로 방바닥에 넓게 깔려 있는 카페트의 위에 놓인 신문지 한 장의 점화로 카페트 화재가 발생하였을 경우로 화재의 초기점화에서 성장기의 기간이 화재 전기간에 비하여 매우 짧게 나타났고, 플래시오버기간에 온도가 급상승하여 최대온도 80[°C]를 나타낸 후 최성기가 매우 길게 나타났다. 이것은 균등분포 가연물인 카페트가 사방으로 고르게 타들어가는 관계로 최성기 기간이 거의 일정한 온도분포상태를 오래도록 유지하였다.

Fig. 6은 20[l] 원형쓰레기통의 점화로 소파 화재가 발생하였을 경우로 중앙에 가연물이 집중되어 있는 관계로 인하여 화재의 초기점화에서 성장기의 기간은 5분 정도로 화재 전기간에 비하여는 짧게 나타났다. 플래시오버기간은 매우 짧고, 온도는 급상승하여 700[°C]정도까지 나타낸 후 급강하하였다가 다시 급상승하여 최대온도 800[°C]를 나타낸 후 급하락하여 쇠퇴기에 접어들었다. 따라서 플래시오버기간 다음의 최성기 구분이 명확하지 않았다.

Fig. 7은 매트리스화재로 방 한가운데 30[cm] 높이에 놓여 있는 매트리스에 원형 쓰레기통의 점화로 화재가 발생하였을 경우로 화재의 초기점화에서 성장기의 기간은 10분 정도로 화재 전기간에 비하여 매우 길게 나타났다. 플래시오버기간에는 소파와 같은 급격한 온도상승은 나타나지 않고, 작은 봉우리가 2개 생기면서 최대온도 410[°C]를 나타내고, 이 후 온도는 급강하하여 쇠퇴기에 접어들었다가 다시 봉우리가 하나 더 생기고 나서 쇠퇴기를 나타냈다. 따라서 이 경우도 봉우리가 2개이상 생겨서 플래시

오버기간과 최성기사이의 구분이 명확하지 않았다.

Fig. 8은 장농화재로 점화원인 원형쓰레기통에서 장농이 점화되는 시간이 많이 걸린 관계로 성장기의 기간이 매우 길게 나타났고, 소파나 매트리스화재가 쇠퇴기에 접어든 시간에도 성장기를 오래도록 유지하였다. 그러나 플래시오버 기간은 매우 짧고 급격한 온도상승을 가져와서 최대온도 773[°C]를 나타내었을 때 유리창의 파괴로 열의 유출과 공기의 유입으로 온도가 급강하하였다가 또다시 급상승한 후 급강하하여 최성기 및 쇠퇴기에 접어들었다. 이 경우도 소파나 매트리스와 마찬가지로 작은 봉우리가 2개 이상 생겨서 플래시오버 기간과 최성기의 구분이 명확하지 않았다.

Fig. 9는 ㉠, ㉡, ㉢, ㉣, ㉤ 및 ㉥지점의 높이에 따른 10초에서 200초 사이의 화재실 온도변화를 나타내주고, Fig. 10는 9개 높이에 따른 같은 평면에서의 온도변화를 나타내는 것으로 50초일 때 실험으로 얻은 6개 지점의 온도를 화재실 전체의 지점에 Correlation하여 얻은 것으로 방 평면의 온도분포를 잘 나타내주고 있다. 초기상태에서 부터 줄곧 천정속은 거의 온도 변화가 없이 60[°C]미만의 일정한 상태를 유지하였다. 화재초기의 가스흐름이 채움(filling)상태일 때는 2영역(two-zone)의 구분이 분명하게 나타나지 않았지만 40초부터는 2영역이 구분되기 시작하여 1.5[m]에서 0.5[m]사이 온도차이가 매우 큰 관계로 급경사를 나타내 주었다. 따라서 경계면 높이(interface height)는 기울기가 가장 큰 곳의 중간을 정하여 1[m]로 잡았다. 바닥이 0.5[m]보다 온도가 높게 나타난 것은 일부의 가연물이 바닥에 떨어져 타고, 유입공기가 열기둥(plume)을 따라 상승하는 관계로 바닥이 0.5[m]보다 약간 높게 나타났다.

Fig. 11에서 Fig. 16은 Fig. 9, Fig. 10과 같은 방법으로 가장 온도변화가 큰 지점의 증상을 경계면 높이로 정하고 위쪽은 상부층, 아래쪽은 하부층으로 시간에 따른 평균온도의 변화를 나타내는 것이다. 가구별로 상부층과 하부층의 온도구분이 명확히 나타났고 최대온도에 도달할

때는 경계면 높이는 평균치인 1[m]보다 더욱 낮게 내려왔다. 봉우리가 2개 이상 생기는 의자, 소파, 매트리스, 장농화재의 경우는 봉우리가 생길때마다 경계면 높이가 더욱 내려와 바닥에서 0.25[m]내지 0.75[m]까지 내려 왔다가 다시 정상상태인 1[m] 근처를 유지하여 쇠퇴기까지 지속되었다. 하부층의 온도는 상부층의 온도 경향을 완만하게 따라 가지만 큰 온도변화는 거의 없었다.

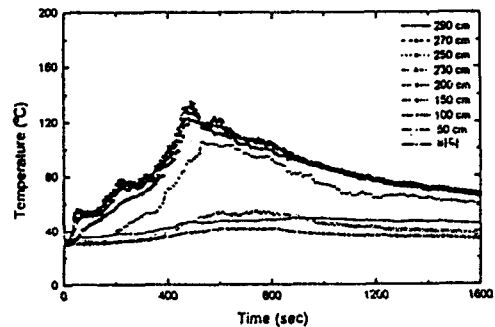


Fig. 3. Temperature profiles on nine elevations of ㉠ position in the fire room for the trashcan fire.

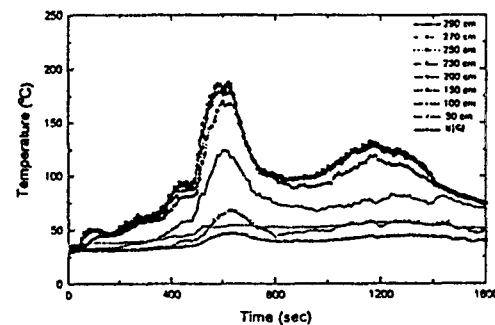


Fig. 4. Temperature profiles on nine elevations of ㉠ position in the fire room for the chair fire.

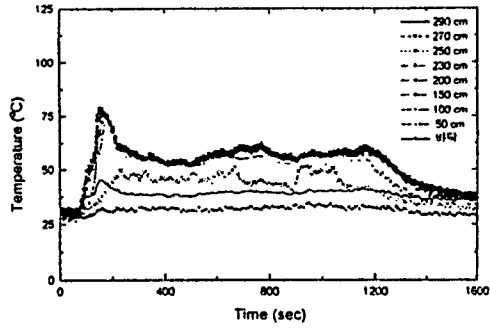


Fig. 5. Temperature profiles on nine elevations of ㉠ position in the fire room for the carpet fire.

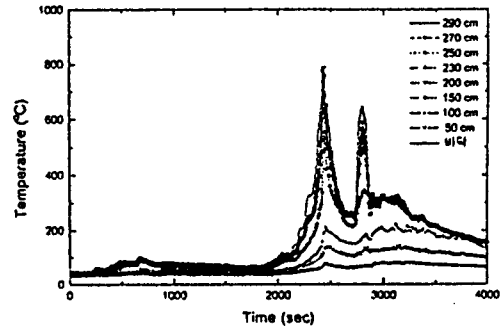


Fig. 8 Temperature profiles on nine elevations of ㉠ position in the fire room for the wardrobe fire.

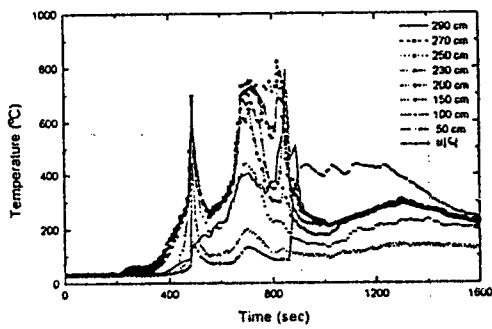


Fig. 6 Temperature profiles on nine elevations of ㉠ position in the fire room for the sofa fire.

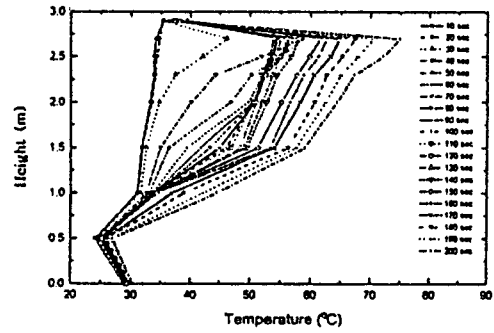


Fig. 9 Average temperature profiles on nine elevations of six positions from 10sec to 200sec for the trashcan fire.

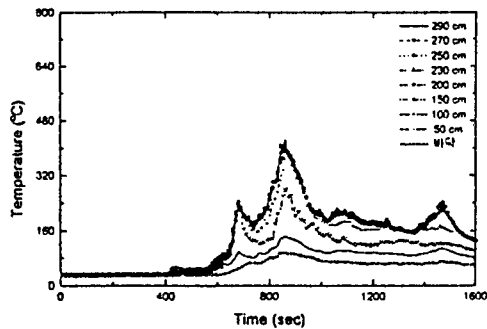


Fig. 7 Temperature profiles on nine elevations of ㉠ position in the fire room for the mattress fire.

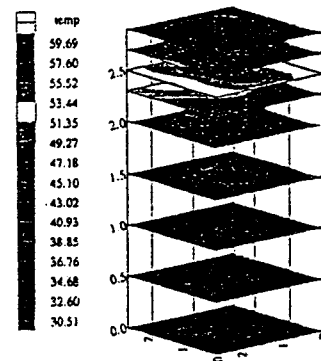


Fig. 10 Temperature distributions on nine elevations at 50sec in the fire room for the trashcan fire.

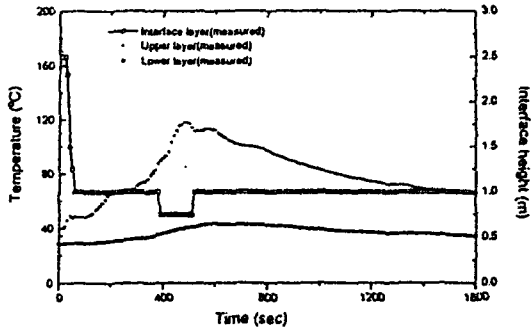


Fig. 11 Average temperature profiles of the upper and lower layer with the change of the interface height for the trashcan fire.

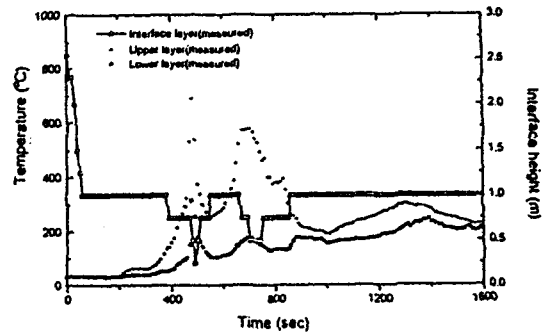


Fig. 14 Average temperature profiles of the upper and lower layer with the change of the interface height for the sofa fire.

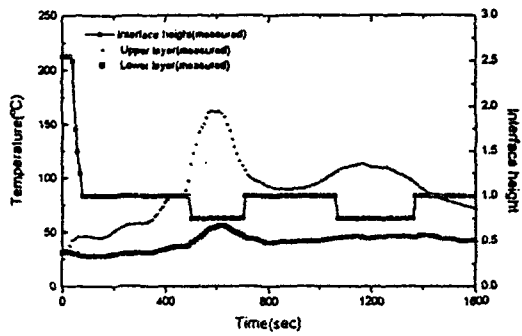


Fig. 12 Average temperature profiles of the upper and lower layer with the change of the interface height for the chair fire.

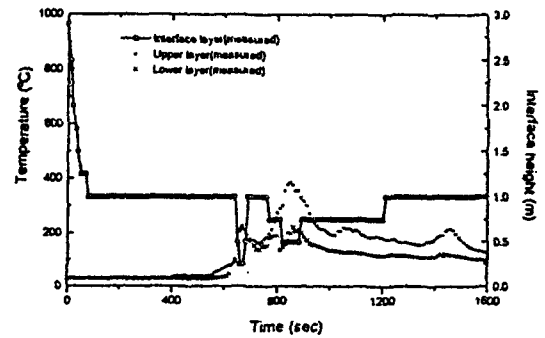


Fig. 15 Average temperature profiles of the upper and lower layer with the change of the interface height for the mattress fire.

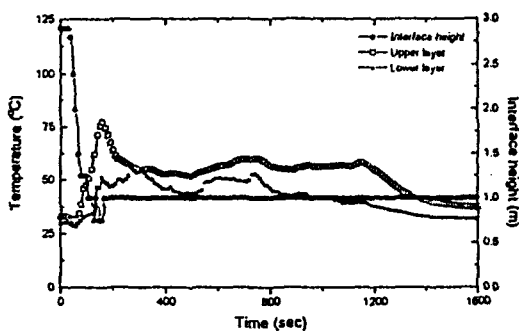


Fig. 13 Average temperature profiles of the upper and lower layer with the change of the interface height for the carpet fire.

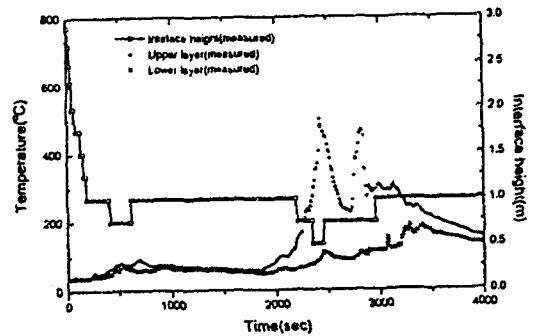


Fig. 16 Average temperature profiles of the upper and lower layer with the change of the interface height for the wardrobe fire.

4. 결 론

주거용 건물내의 가구화재시 실내의 열적 성층의 형성에 관하여 실험을 통하여 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 카페트와 같은 균등분산 가연물화재의 경우는 초기 점화기간과 성장기의 기간이 화재 전기간에 비하여 매우 짧고, 최성기는 매우 길게 나타났다. 반면에 쓰레기통, 매트리스 및 장농과 같은 집중된 가연물화재의 경우는 초기 점화기간과 성장기가 매우 길게 나타났다.

둘째, 쓰레기통과 같은 위에서 아래인 한쪽 방향으로만 연소하는 경우는 봉우리가 하나로 나타났고, 의자, 소파, 매트리스 및 장농과 같은 연소방향이 다양한 화재의 경우는 봉우리가 2개 이상 나타났다.

셋째, 어느 화재의 경우나 경계면이 뚜렷이 나타났고, 상부층의 온도는 거의 일정하며 경계면 높이는 가구화재시 모두 1[m] 근처에서 일정한 상태값을 유지하였다. 다만, 최대온도를 나타내는 시간에는 경계면 높이가 바닥에서 0.25[m]내지 0.75[m]까지도 내려왔다.

본 실험을 통해 얻은 결과를 기초자료로 이론적인 영역 모델링을 수행하므로써 실제화재상황을 보다 정확하게 해석 또는 예측하므로써 화재의 예방과 진압에 기여할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Parker, W. J., "Calculations of the heat release rate by oxygen consumption for various applications", National Bureau of Standards, March, 1982
2. Harland, W. A. and Anderson, R. A., "Causes of Death in Fires", Proceedings Smoke and Toxic Gases from burning plastics, 15/1, 15/19, London, 1982
3. Wickström, U., Sundström, B. and Holmstedt, G., "The Development of a Full-scale room fire test", Fire Safety Journal, 5 (1983) pp.191-197
4. Lee, B. T., "Effect of wall and room surfaces on the rates of heat, smoke and carbon monoxide production in a Park lodging bedroom fire," NBSIR 85-2998, February, 1985
5. 東京消防廳 火災豫防審議會, "都市の 地下空間における 施設の 防火安全對策に係る 調査報告書," 平成 3年 3月
6. Lilly, D. G., "Computerized reconstruction of building fires", ASME international computers in engineering conference, Santa Clara, CA, August 18-22, 1991
7. Gottuk, D. T., Roby, R. J. and Peatross, M. J., "Carbon monoxide production in compartment fires", J. of Fire Prot. Engr., Vol 4(4), 1992, pp. 133-150
8. 정 길 순, "목재연소의 실내화재성상과 안전대피시간", 충북대학교 산업안전공학과, 석사논문, 1993년
9. 최 금 란, "고층건물의 아트리움 공간에 있어서 화재 성상에 관한 연구", 경북대학교 건축공학과, 석사논문, 1993년
10. 윤 명 오, "철근콘크리트 구조 공동주택 실물화재 실험연구-화재성상 파악 및 취약부위 도출을 중심으로.", 한국화재·소방학회지 10권 3호 (통권 23호), 1996, 9
11. 공기조화 냉동공학회, "공기조화·냉동·위생공학편람, 제2권 공기조화", pp. II 19-21, 1991년 9월