論文 12-1-11

건물화재시 연기층의 형성에 관한 실험적연구

An Experimental Study on the Formation of Smoke Layer of Compartment Fire

허 만 성*
Man-Sung Hur
(1996년 12월 5일 접수, 1997년 3월 28일 채택)

ABSTRACT

The objective of this research is to study the formations of smoke layer in case of several furniture fires such as trashcan, carpet, 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 trashcan, mattress and wardrobe showed that the ignitions and the initial growth periods were relatively long. The descending speed of the interface height was proportioned to the inflammability of the furniture and the spread of the fire. The time required to come down around 1m was within 1-3 minutes. The interface heights for the furniture fires were around 1m as the steady state. However, at the time of the maximum temperature, the interface height was lowered to 0.25m-0.75m from the floor. The carbon dioxide concentration reached the highest while the oxygen concentration was minimum.

1. 서 론

최근 발생한 락카페 화재를 비롯한 잇단 화재의 발생은 많은 재산과 인명의 손실을 가져오므로 근본적인 대책의 수립을 전제로 건물화재에 대한 연구가 요구되고 있다. 건물화재는 가연물이 대부분 가구이지만 가구화재에 대한 국내에서의 연구는 거의 찾아볼 수 없다. 미국, 일본 등에서는 연료의 종류 및 형태에 따른 실내화재에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 1982년 Parker는 여러물질의 산소 소비량에 대한 열방출량을 계산하였고[1], Harland와 Anderson은 화재시 인간의 사망에 영향을 주는 가스를 분석한 결과 사망자 중 50%이상이 일산화탄소에 의한 사망이었음을 밝혔고[2], 1985년

*중경공업전문대학 소방안전관리과

Lee는 침실화재시 일산화탄소의 발생량을 측정하고 플래시오버의 발생시간을 계산하였다[3]. 일본에서는 1988년 동경소방청에서 지하공간에 대한 축소된 실험에서 배연설비 효과와 지하 아트리움내의 연기유동 현상을 파악하였다[4]. 1992년 Gottuk, Roby와 Peatross는 연료로 헥산, 전나무, PMMA, 폴리우레탄폼의 4가지 연료를 2.2m^3 구획에서 연소시켜 연소가스를 측정하였다[5]. 한편, 국내에서는 1993년 정길순은 목재연료의 실내 모형화재실험에서 연기층의 온도와 안전대피시간을 구하였고[6], 최금란은 아트리움에 대한 내부온도분포를 측정하여 수치계산 결과와 비교하였다[7].

1996년 윤명오는 철근콘크리트구조 공동주택 실물화재실험에서 온도 및 연기농도 변화량을 측정하고, 인간의 생존가능시간을 파악하였다[8].

본 연구의 목적은 일반주택에서 쓰레기통, 카페트, 매트리스, 장농의 화재시 실내에서 상부의 연기층의 경계면 높이와 경계면 상부와 하부의 온도분포상태를 실험을 통하여 비교 분석하므로써 화재실의 열적성층의 형상과 산소, 이산화탄소 및 일산화탄소 농도를 측정하여 화재모델링의 기초자료는 물론 화재의 예방, 진압 및 방화관리 업무에 도움을 주고자 한다.

2. 실험방법

화재실험은 1층 슬라브건물에서 실시하였다. Fig. 1은 이 건물에 설치된 실험장치의 개략도이다. 여기서, Ⓐ, Ⓑ, Ⓒ, Ⓓ, Ⓔ, Ⓕ 및 Ⓣ는 열전대의 측정위치이고, Ⓒ는 천정에서의 가스측정점이다.

실험시 가연물의 제원은 Table 1에 나타냈고, Table 2는 방의 크기, 문과 창문의 크기를 나타낸다. 가연물은 화재실의 중앙 바닥에 두고 점화는 신문지를 사용하였다. 매트리스와 장농의 점화원은 신문지 17장이 들어 있는 원형 쓰레기통(20 ℓ)을 사용하여 점화시켰고, 모든 창문과 현관문은 밀폐된 상태로 실험을 하였다. 다만 화재실에서 복도로 통하는 문은 완전히 열린상태로 실험을 하였다.

온도측정은 0.6mm K-type(chromel-alumel) 열전대로 화재가 발생한 방의 온도분포를 측정하였다. Fig. 1에서 화재실의 온도 측정 지점은 6개(Ⓐ, Ⓑ, Ⓒ, Ⓓ, Ⓔ, Ⓕ)를 선정하고 각 지점의 측정위치는 방바닥에서 0m, 0.5m, 1m, 1.5m, 2m, 2.3m, 2.5m, 2.7m, 2.9m의 9개 지점에 열전대를 각각 설치하여 총 54개를 설치하였다. 여러 측정점에서의 온도값들은 프로세스 링크(KAYE instruments. DIGISTRIP-4, 128 channel)를 사용하여 개인용 컴퓨터(PC-486)에 10초 간격으로 저장하였다.

화재시 발생되는 연기의 농도측정은 실내에서는 측정하기가 곤란하므로 화재실의 천정에 구멍을 뚫고 60mm 파이프를 연결하여 옥상에 가스분석기를 설치하여 산소, 이산화탄소 및 일산화탄소의 농도변화량을 측정하였다.

Table 1 Characteristics of various fire sources

name	size(cm)	material
trashcan	23×29×49	polyethylene
carpet	190×250	–
mattress	132×191×17	–
wardrobe	103×61×190	3mm veneer

Table 2 Room and door geometry

room name	room size(cm)	door size(m)	window size(m)
fire room	$2.55w \times 2.55_L \times 2.90_H$	$0.81w \times 1.82_H$	$1.52w \times 1.21_H$
corridor	$1.73w \times 3.40_L \times 2.90_H$	$1.52w \times 1.82_H$	$0.81w \times 1.82_H$
room-2	$2.26w \times 2.48_L \times 2.90_H$	$3.28w \times 2.10_H$	$1.21w \times 1.10_H$

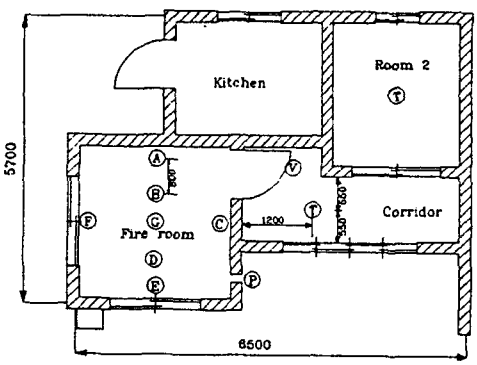

Fig. 1 Sketches of the test configuration with indications of the locations of instrument arrays

3. 결과 및 고찰

Fig. 2은 방 한가운데에 놓인 원형 쓰레기통의

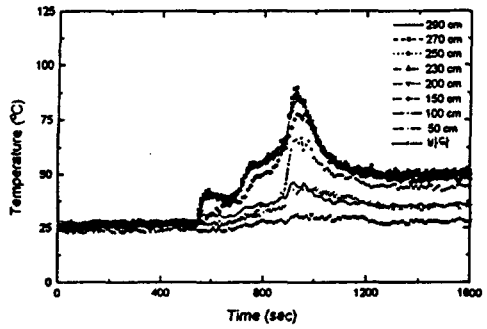

Fig. 2 Temperature profiles of Ⓐ position in the trashcan fire

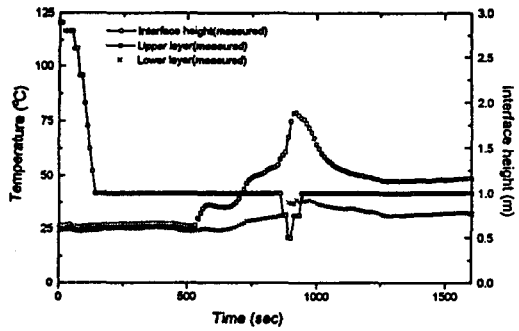

Fig. 3 Average temperature profiles of the upper and lower layer in the trashcan fire

화재가 발생하였을 때 화재실 내부 지점에서의 높이에 따른 온도변화를 나타내는 것으로 바닥, 0.5m 및 2.9m 높이에서의 온도는 다른 높이에 비하여 비교적 온도가 낮은 상태를 유지하였고, 1m 높이에서는 화재초기에서 성장기까지는 천정과 같은 온도범위를 따르다가 플래시오버 기간부터 급상승하여 다른 위쪽 높이의 온도와 비슷한 상태의 온도를 유지하였다. 천정인 2.9m에서는 천정벽과 옆쪽 벽으로의 열손실이 있는 관계로 온도가 매우 낮게 나타났다. 또한 Ⓑ, Ⓒ, Ⓓ, Ⓔ 및 Ⓕ지점의 높이에 따른 온도변화도 Ⓐ지점에서와 대체로 비슷한 경향을 나타내었다.

Fig. 3는 화재실의 상부층과 하부층의 온도변화와 경계면 높이를 나타낸다. 화재모델링에서 영역모델(zone model)의 가장 기본적인 가정이 화재가 발생하였을 때 더운 연기와 열이 상부인 천정에서 수평으로 내려온다는 것이다. 따라서 더운 연기층이 수평으로 내려오는 면을 경계면이라 하며 이것을 구하는 것은 화재 모델링과 실험에서 아주 중요한 과정이다. 본 실험에서는 경계면 높이를 온도변화가 가장 큰 지점을 찾아 이곳을 경계면의 높이로 정하고, 이 경계면의 위쪽을 더운 상부 연기층, 아래쪽을 위쪽보다는 찬 하부층으로 정하여 각층의 온도를 평균하여 얻은 그림이다. 이때 상부층의 온도변화는 Fig. 2에서 1.5m이상의 온도와 거의 일치하고 있다. 경계면의 높이는 초기점화에서 성장기의 기간이 10분정도로 매우 길게 나타나고 경계면 높이가 정상상태인 1m근처로 내려오는데 3분 정도가 걸렸다. 최대온도에 다달을 때는 경계면 높이가 바닥으로 더욱 내려왔다가 다시 정상상태를 유지하여 쇠퇴기까지 일정한 상태를 지속하였다. 하부층의 온도는 매우 완만하게 상부층의

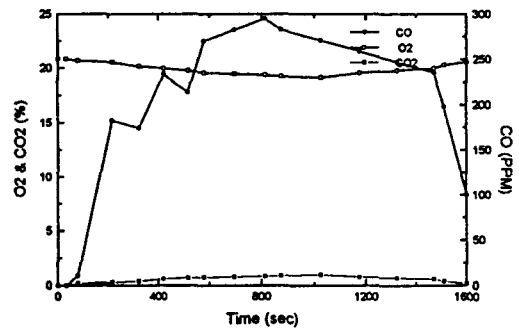

Fig. 4 Gas concentrations in the upper region of fire room for the trashcan fire

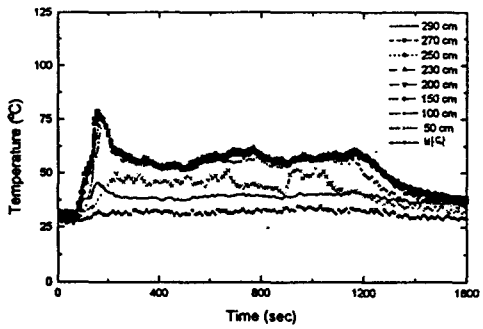

Fig. 5 Temperature profiles of Ⓐ position in the carpet fire

온도경향을 따라 가지만, 온도변화는 상부층이 최대온도일 때 약간 상승하였다가 완만히 감소하였다.

Fig. 4는 쓰레기통화재시 산소, 이산화탄소 및 일산화탄소의 농도변화량을 나타내는 것으로 산소는 최저 19.2%를 나타내고, 이산화탄소는 최대 1%까지 증가하였으며 일산화탄소는 300PPM까지

도달한 후에 감소하였다.

Fig. 5은 방바닥에 깔려 있는 카페트 위에 놓인 신문지 한 장의 점화로 카페트화재가 발생하였을 경우로 화재의 초기점화에서 성장기의 기간이 화재 전기간에 비하여 매우 짧게 나타났고, 플래시오버 기간에 온도가 급상승하여 최대온도 80℃를 나타낸 후 최성기가 매우 길게 나타났다. 카페트는 방바닥 전체에 고르게 같은 두께로 깔려 있는 관계로 균등분산화재라고 할수 있다. 따라서 불길의 번짐도 사방으로 고르게 타들어가는 관계로 최성기 기간이 거의 일정한 온도분포상태를 오래도록 유지하였다. 방바닥은 매우 낮게 나타나고, 바닥에서 0.5m 높이의 온도는 천정인 2.9m높이에서보다도 높게 나타났다. 1m높이에서 2.7m높이까지는 거의 온도차이가 없이 일정한 변화상태를 유지하였다. 여기서 천정인 2.9m 높이에서는 천정과 옆쪽 벽으로의 열전도에 의한 손실이 있는 관계로 온도가 매우 낮게 나타났다.

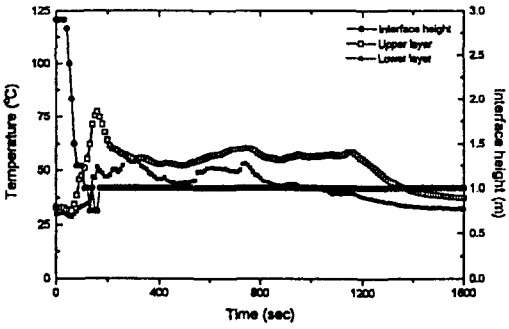

Fig. 6 Average temperature profiles of the upper and lower layer in the carpet fire

Fig. 6는 카페트 화재의 상부층과 하부층의 온도와 경계면 높이를 나타내주고 있다. 이때 상부층의 온도변화는 Fig. 5에서 1.5m이상의 온도와 거의 일치하였고 경계면의 높이는 플래시오버 기간인 최대온도시에 최저높이까지 내려 오는데 2분정도 걸렸다. 이후 경계면 높이는 1m근처의 정상상태를 유지하여 쇠퇴기까지 지속되었다. 하부층의 온도는 다른 화재에 비하여 매우 높게 나타나서 5분-6분사이는 거의 상부층의 온도까지 상승하였다. 이것은 가연물인 카페트가 바닥에 깔려 있는 관계로 높게 나타난 현상이다.

Fig. 7은 카페트화재시 산소, 이산화탄소 및 일산화탄소의 농도변화량을 나타내는 것으로 산소는

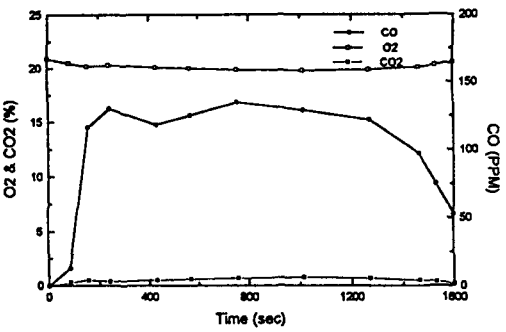

Fig. 7 Gas concentrations in the upper region of fire room for the carpet fire

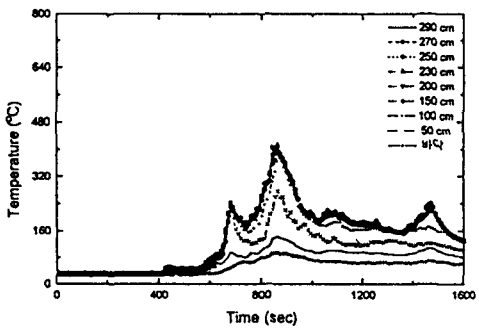

Fig. 8 Temperature profiles of Ⓐ position in the mattress fire

최저 19.8%를 나타내고, 이산화탄소는 최대 0.8%까지 증가하였으며 일산화탄소는 130PPM까지 도달한 후에 감소하였다.

Fig. 8은 매트리스화재로 방 한가운데 30cm 높이에 놓여 있는 매트리스에 원형 쓰레기통의 점화로 화재가 발생하였을 경우로 화재의 초기점화에서 성장기의 기간은 10분정도로 화재 전기간에 비하여 매우 길게 나타났다. 플래시오버기간에는 작은 봉우리가 2개 생기면서 최대온도 410℃를 나타내고, 이 후 온도는 급강하하여 쇠퇴기에 접어들었다가 다시 봉우리가 하나 더 생기고 나서 쇠퇴기를 나타냈다.

Fig. 9는 화재실의 상부층과 하부층의 온도변화와 경계면 높이를 나타낸다. 상부층의 온도변화는 Fig. 8의 그림에서 1.5m이상의 온도와 거의 일치하고 있다. 경계면의 높이는 상부층의 봉우리가 여러개인 관계로 급격한 온도변화가 있을 때에는 경계면의 높이가 0.25m까지 내려왔다가 상승한 후 또 다시 0.5m까지 내려왔다가 상승하여 정상상태

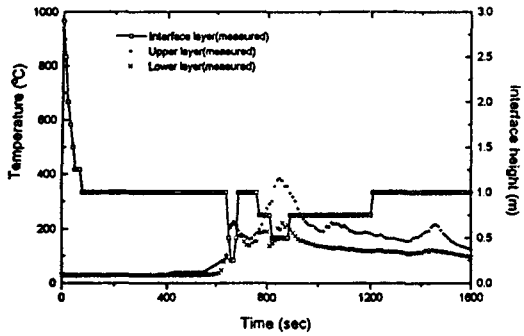

Fig. 9 Average temperature profiles of the upper and lower layer in the mattress fire

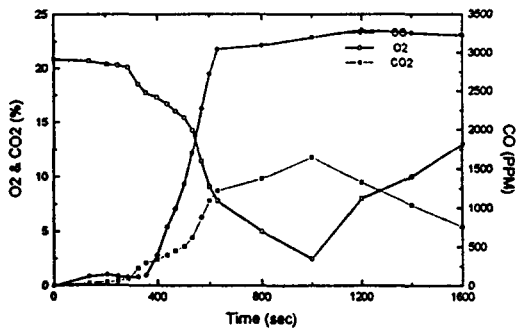

Fig. 10 Gas concentrations in the upper region of fire room for the mattress fire

인 1m근처를 유지하여 쇠퇴기까지 일정한 상태를 지속하였다. 경계면 높이가 1m 근처로 내려오는 데는 1분정도 걸렸다. 하부층의 온도도 다른 화재에 비하여 매우 높게 나타나서 거의 상부층 온도에 가깝게 나타났다.

Fig. 10는 매트리스화재시 산소, 이산화탄소 및 일산화탄소의 농도변화량을 나타내는 것으로 산소는 최저 2.5%를 나타내었다가 전면 유리의 파손으로 공기의 유입이 많은 관계로 갑자기 증가하였고, 이산화탄소는 산소의 감소와는 역으로 급상승하여 최대 11.8%까지 증가하였으며 일산화탄소는 3000PPM 이상까지 도달한 후에 감소하였다.

Fig. 11은 장농화재로 점화원인 원형쓰레기통에서 장농이 점화되는 시간이 많이 걸린 관계로 성장기의 기간이 매우 길게 나타났고, 매트리스화재가 쇠퇴기에 접어든 시간에도 성장기를 오래도록 유지하였다. 그러나 플래시오버기간은 매우 짧고 급격한 온도상승을 가져와서 최대온도 773℃를 나타내었을 때 유리창의 파괴로 열의 유출과 공기의 유입으로 온도가 급강하하였다가 또다시 급상승한 후 급강하하여 최성기 및 쇠퇴기에 접어들었다.

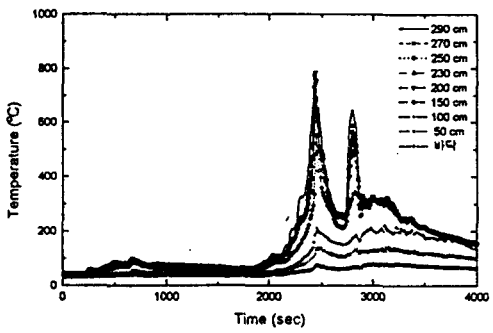

Fig. 11 Temperature profiles of Ⓐ position in the wardrobe fire

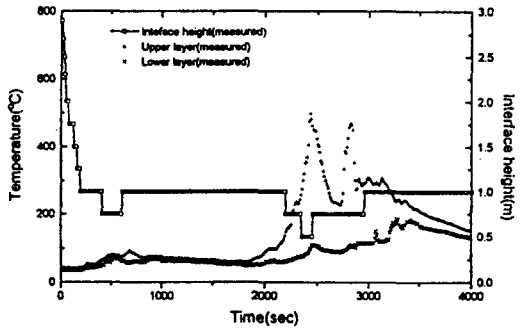

Fig. 12 Average temperature profiles of the upper and lower layer in the wardrobe fire

Fig. 12는 화재실의 상부층과 하부층의 온도변화와 경계면 높이를 나타낸다. 상부층의 온도변화는 Fig. 11에서 1.5m이상의 온도와 거의 일치하고 있다. 경계면의 높이는 초기점화에서 성장기의 기간이 10분정도로 매우 길게 나타나서 경계면 높이가 정상상태인 1m근처로 내려오는데 2분 정도 걸렸다. 최대온도에 다달을 때는 경계면 높이가 바닥으로 더욱 내려왔다가 다시 정상상태를 유지하여 쇠퇴기까지 지속되었다. 하부층의 온도는 매우 완만하게 상부층의 온도경향을 따라 가지만, 온도변화는 상부층이 최대온도일 때 약간 상승하였다가 완만히 감소하였다.

Fig. 13는 장농화재시 산소, 이산화탄소 및 일산화탄소의 농도변화량을 나타내는 것으로 산소는 최저 0.3%까지 줄어든 다음 창문의 유리파손으로 공기의 유입이 발생하여 갑자기 산소량이 증가하

였다. 이산화탄소는 산소농도의 감소에 반비례하여 급상승하고 최대 17.1%까지 증가하였으며 일산화탄소는 4500PPM 이상까지 도달한 후에 감소하였다.

Fig. 14는 4가지 화재에 대한 경계면의 하강속도를 비교한 것으로 타기 쉽고 연소속도가 빠른 매트리스화재는 1분이내에 경계면이 1m로 내려오고, 카페트는 가연성은 좋은 편이었으나 얇고 넓게 깔려 있었던 관계로 2분정도가 지나서 1m로 내려왔다. 쓰레기통은 둥글고 길쭉한 관계로 입구의 면적이 좁기때문에 위에서 아래로 한쪽방향으로만 타들어가는 관계로 연소속도가 지연되어 2분이 지나서야 경계면이 1m로 내려왔다. 장농은 쉽게 불이 붙지 않은 관계로 3분 정도 걸려서야 경계면이 1m로 내려왔다.

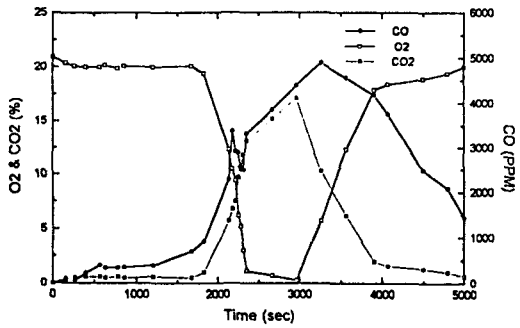

Fig. 13 Gas concentrations in the upper region of fire room for the wardrobe fire

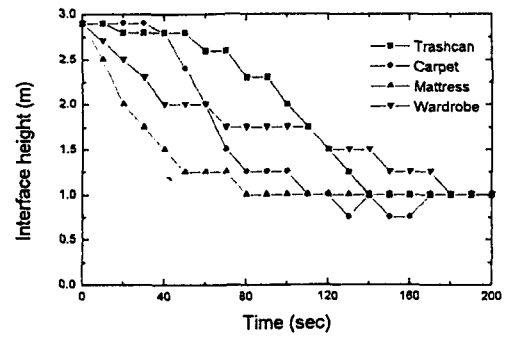

Fig. 14 Comparison of the measured interface heights

4. 결 론

주거용 건물내의 가구화재시 화재실의 높이에 따른 연기층의 온도변화와 산소, 이산화탄소 및 일산화탄소 농도변화를 측정하여 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 카페트와 같은 균등분산화재의 경우는 초기 점화시간과 성장기 및 쇠퇴기는 매우 짧고, 최성기는 매우 길게 나타났다. 반면에 쓰레기통, 매트리스, 장농과 같은 집중된 가연물 화재의 경우는 초기 점화기간과 성장기가 매우 길게 나타났다.
2) 화재초기에 상부의 연기층이 내려오는 속도는 가구의 가연성과 연소속도에 따라 경계면 높이가 1m 근처까지 내려오는데 소요되는 시간은 1분~3분 이내로 나타났다. 따라서 3분이내에 화재실을 벗어나는 것이 안전하다고 사료된다.
3) 경계면 높이는 가구화재시 모두 1m 근처에서 정상상태값을 유지하였다. 다만, 최대온도를 나타내는 시간에는 경계면 높이가 바닥에서 0.25m 내지 0.75m까지도 내려왔다.
4) 산소농도가 최소치로 급격히 저하하면 이산화탄소 농도는 같은 시간에 역으로 급상승하여 최대농도를 나타내는 경향을 보여준다.

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, Vol. 15, London, 1982.
3) 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.
4) 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", March, 1991.
5) Gottuk, D.T., Roby, R.J. and Peatross, M.J., "Carbon monoxide production in compartment fires", J. of Fire Prot. Engr., Vol. 4, pp. 133~150, 1992.

6) 정길순, "목재연소의 실내화재성상과 안전대피시간", 충북대학교 산업안전공학과, 석사논문, 1993.
7) 최금란, "고층건물의 아트리움 공간에 있어서 화재성상에 관한 연구", 경북대학교 건축공학과, 석사논문, 1993.
8) 윤명오, "철근콘크리트 구조 공동주택 실물화재 실험연구-화재성상 파악 및 취약부위 도출을 중심으로-", 한국화재·소방학회지, Vol. 10, September, 1996.