

고층아파트 화재시 발코니 확장에 따른 화재 위험성에 관한 실험 연구

김우석 · 김화중 · 이광원 · 이지희[†]

경북대학교 건축토목공학부

(2012. 1. 11. 접수 / 2012. 3. 20. 채택)

An Experimental Study of Fire Risk Characteristic by Extended Balcony of High-Rise Apartments in Fire

Woo-Suk Kim · Wha-Jung Kim · Gwang-Won Lee · Ji-Hee Lee[†]

School of Architecture and Civil Engineering, Kyungpook National University

(Received January 11, 2012 / Accepted March 20, 2012)

Abstract : Changes in the styles of communities are leading of increases in the number of high-rise apartments and commercial-apartment structures. Tall high-rise structures, while presenting unique economies of scale and cost effectiveness, tend to be highly engineered and complex structures. In the event of a fire, this complexity in design also results in a complexity in the behavior of fire propagation and control. High-rise structures are among the most potentially dangerous due to the high population density in the building, and the inherent limitations on evacuation and on fire control services. One of the most critical points of fire propagation is the movement of fire through the outer wall structures. Controlling such propagation is essential in controlling the spread of the fire throughout the building itself, as well as controlling the potential for its spread to adjacent buildings.

In this study, we will be examining the potential for fire control design and effects mitigation using a 1/4.5 scale model. The primary focus of the study will be the effects of extended balconies into the structure of high-rise apartments. The authors will also consider the effectiveness of reduced-scale model tests.

Key Words : fire risk characteristic, ventilation factor, reduced-scale model, extended balcony, high-rise apartment

1. 서론

건축법상 주거의 유형 중 고층아파트가 점유하는 비중이 2005년도에 이미 50%를 넘어 섰다¹⁾. 이는 토지이용의 극대화를 위해 생겨난 필연적인 결과이며, 단독주택 중심에서 공동주택으로 변화되는 과정에서 단독주택의 장독대 문화가 공동주택에서 발코니 문화를 가져오게 되었다고 할 수 있다. 한정된 아파트 내에서 넓은 주거공간에 대한 요구는 필연적이며, 이러한 요구가 발코니를 거실 또는 방으로 개조하는 음성적 사례가 일반화 되어 왔다. 따라서 국가차원에서 발코니 개조를 허용하게 되었으나 발코니 개조에 따른 문제점과 안전성에 대한 연구 및 검토의 미흡으로 인해 특히 화재안전측면에서 치명적인 문제를 내포하고 있으며, 이 제도의 시행에 있어 수많은 혼란을 야기하고 있는 실정이다. 발코니 확장시 화재

확산의 주요현상중 하나인 창문에서 상층으로의 수직연소의 위험성이 대폭 증가한다. 이러한 화재의 상층연소(延燒)를 막기 위한 방안으로 제시된 것이 발코니와 스패드럴이다. 보통 아파트 발코니의 기능이 건축물의 외부와 내부를 연결하는 완충공간으로써 전망과 휴식을 위한 목적이외에도 수직으로 전파되는 화재확대를 막아주는 기능이 있다. 만일 발코니를 확장하여 거실로 사용하면 화재시 개조된 창문에서 분출된 화염은 바로 직상부 창문 근처로도 달하게 된다. 이어 화염은 상부 창문의 유리를 파괴하고 대류와 복사열로 가연물을 발화시키고 내부로 유독성 연기를 침투시켜 화재확산과 인명피해를 발생시키게 된다.

창문에서 창문으로의 상층연소(上層延燒)는 수직관통부 확산과 더불어 이에 대한 관련 연구가 국내·외에서 많은 연구가 진행되어 왔다. 과거 국외의 사례들을 살펴보면 Yokoi²⁾와 Seigel³⁾은 1960~1970년대에 실험을 통하여 데이터를 확보하는 것

[†] To whom correspondence should be addressed.
jihhee@knu.ac.kr

으로 연구를 수행하였으며, Thomas⁴⁾와 Law⁵⁾는 1970년대 초 예측 수식을 정리한바가 있으며 현재 관련된 규정들은 이 연구의 결과에 기초를 두고 있다. 또한 Oleszkiewicz⁶⁾는 창문 크기에 따른 건물 정면의 화재노출에 대한 영향을 분석하기 위한 기법으로, 한번 1.13 m 크기의 정사각형 실을 대상으로 각각 수평·수직부재를 설치하여 연소(延燒)에 따른 열흐름의 감소율을 측정하였다. 국내에서는 최인창 등⁷⁾은 실물모델로 현장실험을 행하여 상층부에 미치는 영향을 연구 하였으며, 김경률 등⁸⁾은 건축물의 발코니개조에 따른 건물의 성능변화에 대하여 연구하였다. 또한 김회천 등^{9,10)}은 아파트 화재시 발코니 유무에 따른 연소성 평가에 관한 연구와 발코니 길이 변화에 의한 화염분출성상의 실험적 고찰에 관한 연구를 진행하였다. 발코니를 확장하여 거주 공간으로 사용하면 대규모 연소에 확대하는 매체로 되는 가연물, 구체적으로는 건축공간에 수납되는 가구 등 생활용품이 증가하고 있지만, 현재 발코니 확장유무와 화재하중을 고려한 실험적 연구가 아직까지 미비하고 추가적인 연구가 요구되는 실정이다. 이에 따라서 본 연구에서는 고층아파트 화재시 발코니 구조변경에 따른 화재위험성을 파악하고자 하며, 고층건물 화재 안전을 위한 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험조건 및 방법

본 연구는 화재성상을 파악하기 위하여 축소모형 실험을 하였다. 재료는 두께 12 mm의 내화1급 석고 보드를 사용하였으며 연료는 헵탄(C₇H₁₆)으로 상사 법칙에 의거하여 각각 4MW, 9MW로 실험을 행하였다(Table 1). 축소모형의 내부에는 연소대를 설치하며, 연료를 시료로 하여 출화하는 것으로 하였다. 전면의 개구부 상부에 발코니의 형상을 갖는 수평부재를 설치하고 그 길이를 다양하게 변화시켜 상부층으로 연소(延燒)되는 화재성상을 파악하였다. 축소 모형

의 크기는 고층아파트 실물모델의 1/4.5로써 실험 여건상 3층으로 축조하였고, 1개층의 높이는 0.59 m로 하였다. 화재실의 크기는 원치수 3 m × 4 m × 2.5 m를 축소한 0.667 m × 0.889 m × 0.55 m (W × L × H)의 크기로 하였다. 온도센서는 화재 실내부에 12개소, 외부벽체 29개소, 외부벽체에서 26.7 cm 즉 실물에서는 120 cm정도 이격시킨 곳에 18개소 등 총 59개소에 센서를 설치하여 시간대별 온도를 비교하였다. 데이터 저장은 ALMEMO 5596과 NI장비를 사용하였으며, 각각 4초와 0.2초 간격으로 측정을 하여 4초 간격으로 취합하였으며, 사용되어진 열전대는 K-type 0.65 mm센서를 사용하여 온도를 측정하였으며, 적외선카메라(TH-5100)와 디지털카메라를 사용하여 온도분포 및 화재성상을 측정하였다. 실험은 발코니의 유무에 따라서 각각 4MW, 9MW로 총 4번의 실험을 행하였다. Fig. 1은 축소모델실험실의 정면도와 측정점을 나타낸 것이다. 본 실험은 연소대의 크기 변화 즉 에너지 방출속도를 변화시키면서 발코니(1.2m)의 유무에 따른 화재실 상부층의 온도성상에 대하여 고찰하였다. 헵탄(C₇H₁₆)을 시료로 한 화재의 성장속도는 NFPA (National Fire Protection Association)¹¹⁾에서 규정하는 t² 화재범위에서 매우 빠름(ultrafast)의 범주에 속하는 것으로

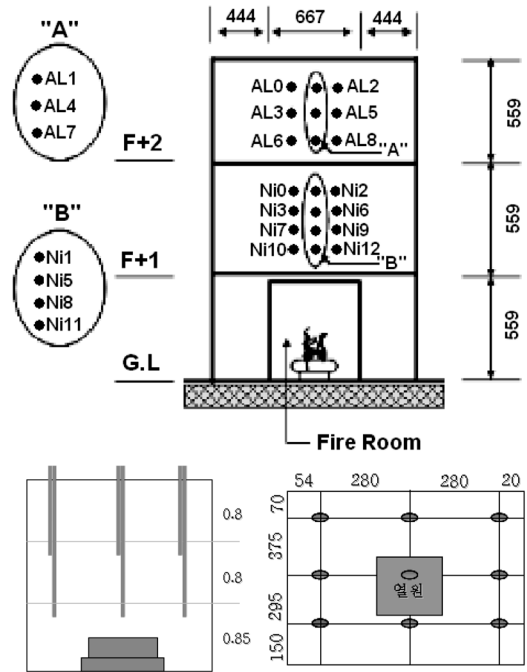


Fig. 1. Front view and measuring points of reduced scale model.

Table 1. Similitude law

Classification	Full-Scale	Reduced-Scale	
		L'=(1/4.5) × L	0.222L
Geometric similarities	L	L'=(1/4.5) × L	0.222L
Heat release rate	Q	Q'=(L'/L) ^{5/2} × Q	0.0233Q
Airflow velocity	V	V'=(L'/L) ^{1/2} × V	0.4712V
Airflow temperature	θ	θ' = θ	θ
Elapsed time	t	t'=(L'/L) ^{1/2} × t	0.4712t

간주하고, 에너지 방출량은 환기 지배형 화재를 가정한 실험조건을 만들기 위해 화재하중을 달리하여 그 변수로 정하였다. 에너지 방출량은 4 MW(화재하중밀도 500 MJ/m²에 해당)와 9 MW(화재하중밀도 1125 MJ/m²에 해당)로 상정하였고 연소대의 크기는 각각 0.174 m × 0.174 m, 0.26 m × 0.26 m로 하였다. 또한 연료의 양은 0.155 L와 0.448 L로 하여 실험을 진행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 화원실 전면 및 상층부 외부의 화재성상

Fig. 2는 화원실 전면 및 상층부 외부의 화재성상(4 MW, 중앙부분)에서 발코니의 유·무에 따른 최성기시점에서의 사진이다. 본 그림에서 보여지는 것과 같이 최성기의 모습임에도 불구하고 화염이 방출되지는 않았으며, 이에 따라 온도도 두 실험에서 큰 차이를 보이지 않았다.

Fig. 3은 화원실 전면 및 상층부 외부의 화재성상(4 MW, 중앙부분)에서 발코니 유·무에 따른 화재실 전면과 상부의 온도분포를 나타낸 것이다. 본 그래프에서 나타난 화재성상은 화재실의 전면부분에서보다 상부층에서의 온도가 더 높은 형상으로 나타나고 있다. 이러한 이유는 화재실내부에서 온도가 상승한 내부공기가 개구부를 빠져나오며 상승함에

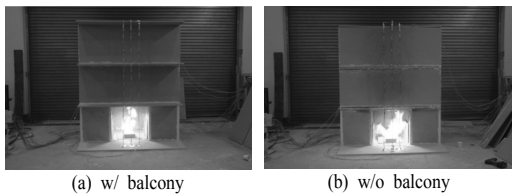


Fig. 2. Front views of flames in reduced scale model (4 MW).

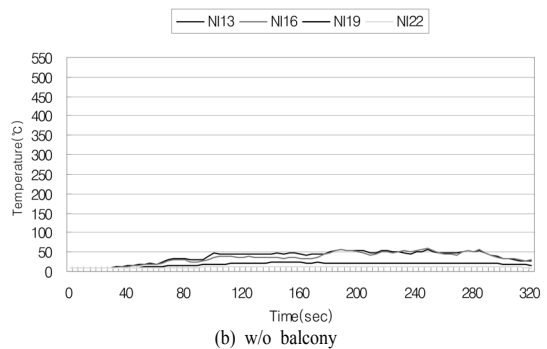
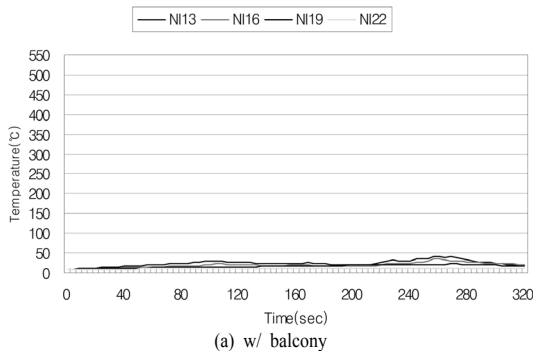


Fig. 3. Exterior temperature of the front and upper layer in reduced scale model experiment (4 MW & central part).

따라 개구부의 아래쪽부분의 온도보다 상부로 올라갈수록 높은 온도를 나타내는 열상승기류에 따른 효과로써 화원실에서 가까운 전면부위보다 상부층 부분이 더 높은 온도를 받는 것으로 나타났다. 또한 4MW에서는 에너지가 매우 느리게 소진되며 또한 에너지의 방출량도 이에 비례하여 매우 적다. 이러한 이유로 인하여 발코니의 유·무에 따른 온도변화는 10~20°C정도의 차이를 보이고 있다.

Fig. 4는 Fig. 3의 결과를 Surfer프로그램과 적외선카메라로 온도분포도를 나타내었는데 열상승기류로 인하여 화재실에서 가장 가까운 화재실 전면보다는 상층부분의 온도가 더 높은 것으로 나타났다. Fig. 5는 화원실 전면 및 상층부 외부의 화재성상

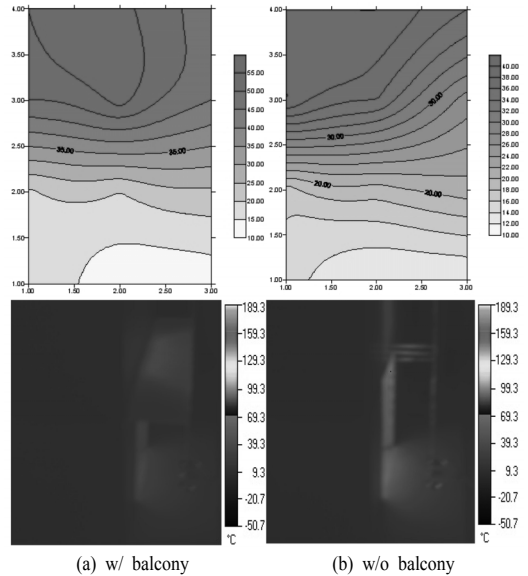


Fig. 4. Temperature distribution of the front and upper layer in reduced scale model experiment (4 MW & central part).

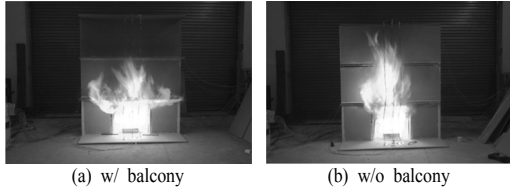


Fig. 5. Front views of flames in reduced scale model (9 MW).

(9 MW, 중앙부분)에서 발코니 유·무에 따른 최성기의 화염성상을 나타낸 사진이다. 발코니가 있는 경우에는 발코니의 영향에 의하여 화염이 발코니를 타고 양옆으로 퍼지는 형상을 보이고 있다. 이에 반해 발코니가 없는 경우에는 화염이 상층부로 바로 전파되기 때문에 화염의 상승높이가 축소모델에서 3층으로 설정한 부분까지 눈에 띄게 높아진 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 화원실 전면 및 상층부 외부의 화재성상(9 MW, 중앙부분)에서 상부층 외부의 온도그래프를 나타낸 것이다. 본 그래프에서는 4 MW와 비교하였을 경우 4 MW에서의 실험은 최하단 측정점에 서부터 위로 올라갈수록 온도가 점점 높아지는 경향을 보이는데 비해 9 MW의 경우에는 발코니가 없는 경우에는 이와 유사하지만 발코니가 있는 경우에는 화원실전면의 상단부분에서 가장 높은 온도를 나타낸다. 이것은 4 MW에서는 발열량이 적어 화염의 분출 또한 없었으며 9 MW에서는 분출되는 화염이 발코니가 없는 경우에는 분출되는 화염이 아무런 저항 없이 상층부로 바로 올라가지만 발코니가 있을시에는 발코니의 저항에 의하여 화염이 발코니를 타고 양옆쪽과 전면부분으로 분출되어 발코니부분의 바로아래의 측정점에서 온도가 가장 높게 나타난 것으로 보인다. 9 MW의 실험에서는 발코니의 유·무에 따라 300°C까지의 온도차이를

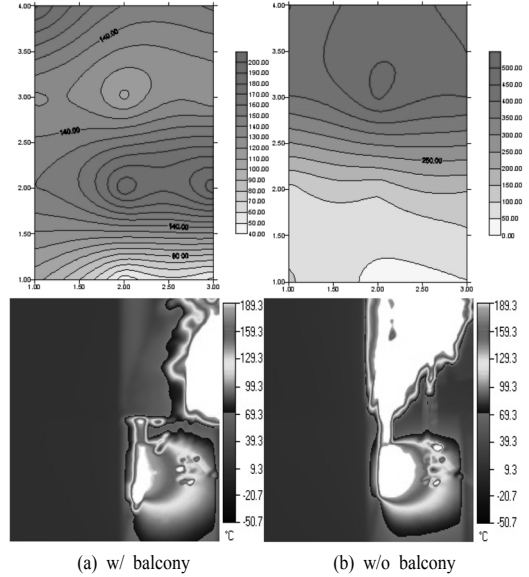
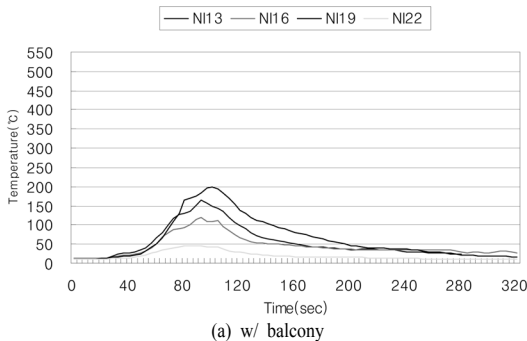


Fig. 7. Temperature distribution of the front and upper layer in reduced scale model experiment (4 MW & central part).

보이고 있으며 실제 건물에 적용하였을 경우 발코니의 확장 유·무에 따라서 화재에 따른 피해도 상당할 것으로 예상된다.

Fig. 7은 Fig. 6의 결과를 Surfer프로그램과 적외선카메라로 온도분포도를 나타냈다. 화재실의 상층부에서는 발코니가 화재실에서 출화되는 화염에 대하여 효과적으로 기인한다는 것을 알 수 있다.

3.2. 화원실 상층부 벽면의 화재성상

Fig. 8(a)는 화원실 상층부 벽면의 화재성상(4 MW, 상층부)에서 발코니가 있는 경우 화원실 상층부 벽면의 온도분포를 나타낸 것이다. 발코니 유·무에 따라서 상층부의 벽면에서는 40°C가량의 온도

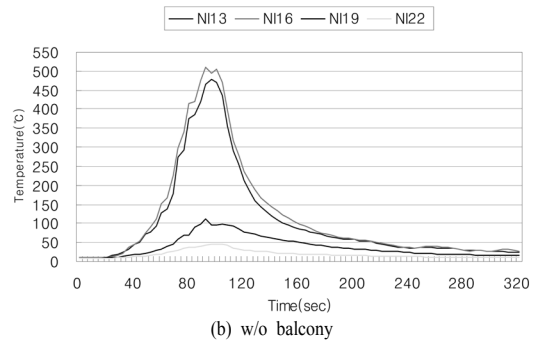


Fig. 6. Outer temperature of the front and upper layer in reduced scale model experiment (9 MW & central part).

차이를 보이고 있으며 Fig. 3의 차이보다 더욱 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 화재실 상층부 벽면에서는 최고온도일 경우 40°C정도를 나타내고 있다. 4 MW 일 경우 화재실에서 분출화염이 없었으므로 발코니가 있는 경우에 화재실 상층의 벽면 온도는 화염의 직접적인 영향보다는 고온으로 올라간 열상승 기류에 의한 온도라고 볼 수 있다. Fig. 8(b)는 화원실 상층부 벽면의 화재성상(4 MW, 상층부)에서 발코니가 없는 경우 화재실의 상층벽면의 온도를 나타낸 그래프이다. Fig. 8(a)는 Fig. 8(b)와 비교했을 경우 평균 온도에서 2배에 가까운 온도차이를 보이고 있다. 이러한 현상은 동일한 4 MW에서 실험을 행하였지만 고온으로 상승한 공기가 발코니가 차단하지 못하여 고온의 공기에 직접적인 노출로 인한 현상이라고 할 수 있다.

Fig. 9(a)는 화원실 상층부 벽면의 화재성상(9 MW, 상층부)에서 발코니가 있는 경우 화원실 상층부의 벽면의 온도를 나타내고 있다. 발코니가 있을 경우에는 최고점이 200°C가량으로 나타나고 있다. ni00번, ni01번, ni02번의 순으로 평균적으로 상부에

위치한 곳이 고온에 노출되었으며 하부부분에 낮은 평균온도를 보이고 있다. Fig. 9(b)는 화원실 상층부 벽면의 화재성상(4 MW, 상층부)에서 발코니가 없는 경우 화재실 상층 벽면의 온도곡선을 나타낸 그래프이다. 이 경우에는 분출화염을 막아주는 발코니가 없으므로 평균 200°C를 넘고 있으며 최고점은 350°C 가까이 도달하고 있어 유리창 파괴온도와 시간에 적용해볼 경우 이중유리 하더라도 2~3분 이내에 유리창은 파괴될 것으로 사료된다.

3.3. 화원실의 화재성상

Fig. 10은 화원실의 화재성상(4 MW, 화원실 내부)에서 각각 발코니를 부착하였을 경우와 부착하지 않았을 경우이다. 발코니를 부착하였을 경우에는 화원실의 최고온도가 543°C이고 발코니를 부착하지 않았을 경우에는 최고온도가 618°C로 발코니를 부착하지 않았을 경우가 조금 낮은 온도를 보이고 있다. 이것은 연소속도가 매우 느린 점과 그에 따라 아직 고온으로 상승하지 못한 화원실의 온도분포가 화원실의 미연소 가스를 충분히 가열하지 못한 결과

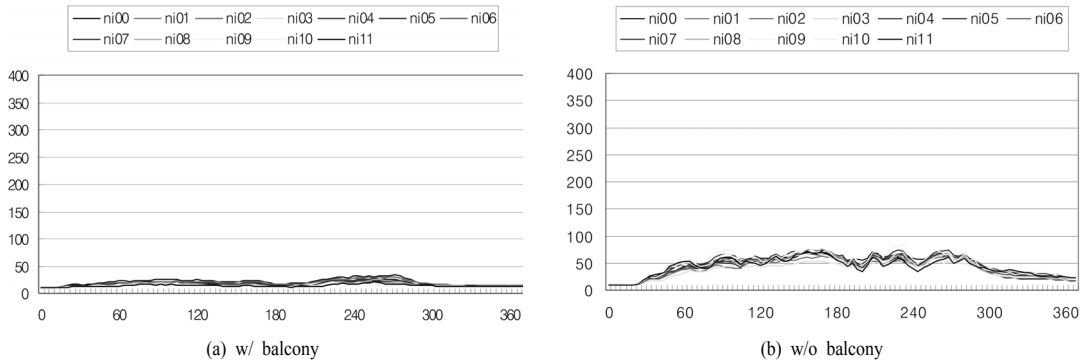


Fig. 8. Temperature of the surface of the wall upper layer in fire room (4 MW).

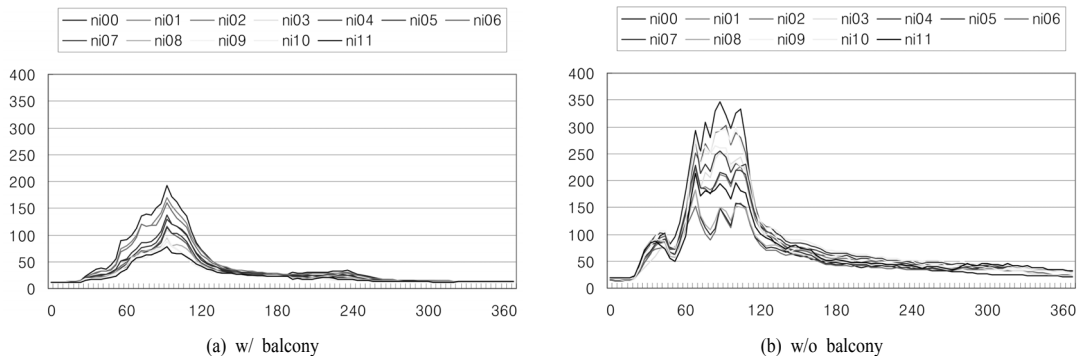


Fig. 9. Temperature of the surface of the wall upper layer in fire room (9 MW).

라고 사료된다. 다만 발코니가 없을 경우의 온도가 약간 높은 이유는 화재실 상부에 정체되어 있는 미연소 가스의 양이 거의 없어 측정점에 연소대의 화염이 그대로 노출된 결과이고, 발코니가 있을 경우에는 미연소 가스가 상부에 체류하고 있어 그 온도는 낮게 분포되었다.

Fig. 11은 화원실의 화재성상(9 MW, 화원실 내부)에서 각각 발코니를 부착하였을 경우와 부착하지 않았을 경우의 화원실 내부의 온도곡선이다.

발열량이 9 MW일 경우 발코니가 있는 경우에는 화원실의 내부에 최고온도가 910°C정도로 나타났으며, 발코니가 없는 경우에는 890°C정도가 최고온도로 나타났다. 이것은 9 MW의 경우에는 연료가 충분하며 또한 이에 따라서 연소속도가 빠르다. 또한 고온의 미연소가스가 정체되어있는 경우에는 화염이 더욱 격렬한 반응을 보이게 된다. 이러한 판단은 Fig. 11(a)와 11(b)에서 발코니가 있는 경우에는 온도가 더 높은 대신에 급격한 하강곡선을 보였으며 발코니가 없는 경우에는 상대적으로 온도가 낮은 대신에 Fig. 11(a)에서 보다 완만한 하강곡선을 보이고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 고층아파트화재시 발코니 구조변형에 따른 화재성상을 파악하기 위하여 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 화원실 전면과 상층부의 외부를 살펴볼때 4 MW의 발열량에서는 출화되는 화염도 없었으며 고온의 상승공기로 인한 온도상승만 존재하였으며, 9 MW의 발열량에서는 출화되는 화염이 발코니의 유무에 따라서 화염의 높이가 눈에 띄게 틀려짐을 알 수 있었으며 온도차이 또한 300°C가량의 큰 차이를 보였다.

2) 화재실 상층부 벽면을 살펴보면 발열량 4 MW 일때, 발코니가 있는 경우에는 대부분이 50°C 미만을 나타내었으나 발코니가 없을 경우에는 70°C가량의 온도를 나타내었다. 또한 발열량 9 MW 일때 발코니가 있는 경우 200°C의 최고온도를 보였으나 발코니가 없는 경우에는 350°C의 최고온도를 보이고 있어 발코니가 화재실에서 상층으로의 연소확대를 저지하는 수단으로 큰 기능을 한다고 판단 할 수 있다.

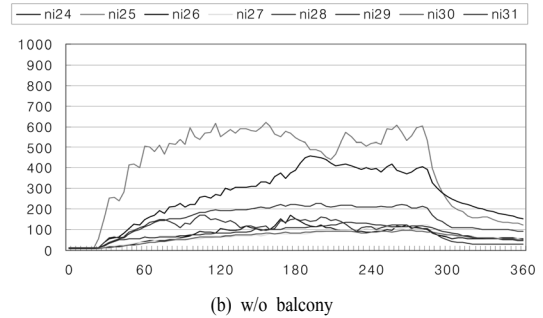
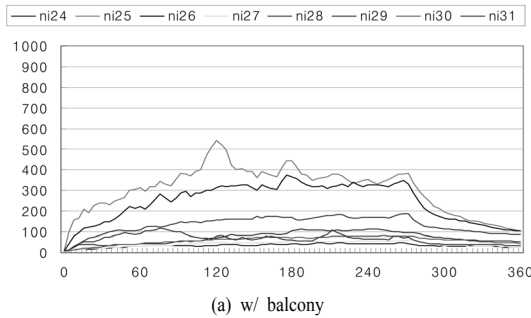


Fig. 10. Temperature curve in fire room (4 MW).

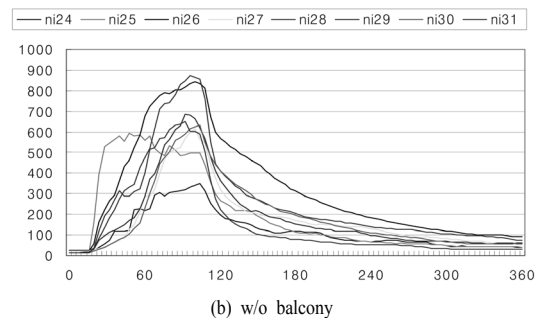
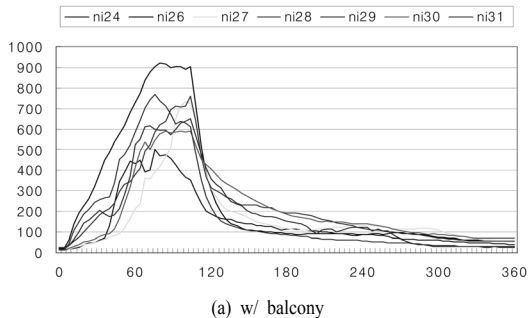


Fig. 11. Temperature curve in fire room (9 MW).

3) 화재실의 경우 4 MW일때, 발코니를 부착한 경우의 내부최고온도가 543°C이며 발코니를 부착하지 않은 경우 내부최고온도가 618°C로 나타났다. 이것은 연소속도와 화재실내부의 미연소가스의 영향으로 판단할 수 있다. 9 MW일때 발코니를 부착한 경우의 내부최고온도가 910°C로 측정되었으며 발코니를 부착하지 않은 경우의 최고온도는 890°C로 측정이 되었다.

종합적으로 판단해본 결과 발코니의 확장은 화원실에서 출화한 화염이 상층으로의 연소확대(延燒擴大)를 일으킬 수 있다. 이러한 이유로 인하여 고층아파트의 발코니를 확장하는 경우에는 스펀드럴의 구조 및 크기에 대한 실험이나 방화판의 크기 및 설치여부에 따른 실험이 추후에 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 발코니에 적재되어 있는 가연물량(화재하중)을 적게 하여 화재발생시 그로 인한 화재위험성을 낮추는 것을 권장하는 한편 추후 연구를 통해 발코니 확장을 위한 화재안전 가이드라인을 구축하여 국내의 PBD (Performance Based Design)기반 내화설계 기준안에 반영하고자 한다.

감사의 글 : 본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2011년도 첨단도시개발사업(11CHUD-B059195-000000)과 2011년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2011-0016557).

참고문헌

- 1) 화재통계연보, 소방방재청, 2005.
- 2) S. Yokoi, "Study on the Prevention of Fire-Spread Caused by Hot Upward Current", 건설성건축연구소, 1960.
- 3) L.G. Seigel, "Effect of Furnace Design on Fire Endurance Test Results", Fire Test Performance, ASTM STP 464, American Society for Testing and Materials, 1970, pp. 57-67.
- 4) P.H. Thomas, "The Fire Resistance Required to Survive a Burn Out", Fire Research Note #901, Fire Research Station, Borehamwood, England, 1970.
- 5) M. Law, "A Relationship between Fire Grading and Building Design and Contents", Fire Research Note No. 877, Fire and Materials, Vol. 23, 1971, pp. 209-216.
- 6) I. Oleszkiewicz, "Heat Transfer from a Window Fire Plume to a Building Facade", Collected Papers in Heat Transfer-1989, HTD-Vol. 123, pp. 163-170, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY.
- 7) 최인창, 김희서, "건축물 외부로의 분출화염성상에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집, 제19권 2호. pp. 203~210, 2003.
- 8) 김경률, 박소희, 유호천, "공동주택의 발코니 개조에 따른 건물 성능 변화에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표대회논문집, pp. 733~736, 2006.
- 9) 김희천, 손장열, 박형주, "아파트 화재시 발코니 유무에 따른 연소성 평가", 한국생활환경학회지, 제13권 4호. pp. 327~335, 2006.
- 10) 김희천, 손장열, 박형주, "발코니 길이변화에 의한 화염분출성상의 실험적 고찰", 설비공학논문집, 제19권 3호. pp. 235~244, 2007.
- 11) NFPA, 2006. National Fire Codes.