

# 주거용 컨테이너 화재 특성에 관한 실험적 고찰

이정윤 · 김정훈 · 김연희 · 정기창\* · 김홍\*\*

호서대학교 대학원 안전공학과 · \*호서대학교 안전시스템공학과

\*\*호서대학교 벤처전문대학원

## 1. 서론

최근 들어 거주자의 숙소 또는 위락시설 용도로 다수 신축되고 있는 주거용 컨테이너에서 화재 사고가 빈번히 발생되고 있다. 주거용을 포함한 간이 조립식 컨테이너들은 폴리우레탄폼, 발포 폴리스티렌 등을 벽체의 주재료로 사용한 샌드위치 패널 형태로서 화재시 연소 특성이 매우 취약한 것이 특징이다. 또한 컨테이너 내장재, 가구 및 집기 등을 구성하고 있는 고분자 물질은 부분적으로 난연 처리가 되어 있어, 화재 발생시 정상 연소에서는 발생되지 않는 유해·독성가스 생성을 상대적으로 증가시킴으로써 인체 유해성에 대한 영향은 가중된다고 할 수 있다.<sup>1-3)</sup>

일반 건축물은 내장재 연소시 열방출율, 벽체 표면 온도, 탄화층 두께, 연소가스 종류 및 온도, 방출되는 복사열량 측정 등을 통한 다양한 화재 성상 연구가 수행되고 있으며, 화재구역과 대피구역 간 격리용 방화문이나 셔터, 독성가스의 대피구역내 유입 방지를 목적으로 한 제연 방화설비 및 소화설비 등이 실제적으로 이용되고 있다.<sup>4-5)</sup> 그러나 이와 달리 주거용 컨테이너는 단일 화재구역으로 구성된 소공간 건조물로서 화재 발생에 대비한 제연 방화 설비 및 소화 설비 등이 구비되어 있지 않은 것이 일반적이어서 거주자의 대피 활동에 상당한 제약을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 주거용 컨테이너의 화재 특성을 고찰하기 위한 기초 연구로서 실대 화재 실험을 통한 화재 양상 분석, 방출되는 독성가스 분석 등을 통해 이와 유사한 화재시의 위험성 예측과 안전성 확보를 위한 실험적 연구를 수행하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 컨테이너의 구조와 화재 하중

본 연구에 사용된 컨테이너는 Fig. 1과 같이 현재 국내에서 널리 사용되고 있는 일반적인 구조 크기 6m(W)×3m(D)×2.3m(H)로써, 내부에 주거 필수품인 텔레비전, 오디오, 컴퓨터 등 가전 제품과 소파, 옷장, 책상, 의자, 신발장 등 가구류를 Fig. 1과 같이 배치하였다.

컨테이너의 화재 하중은 내부 가연물을 포함, 벽지, 바닥 및 천장 합판, 장판, 스티로폼 등 벽체의 중량을 측정 후 등가목재중량으로 환산한 값을 산정한 결과 34.4kg/m<sup>2</sup>이었으며, 가연물의 종류에 따른 중량 및 화재 하중을 Table 1에 나타내었다.

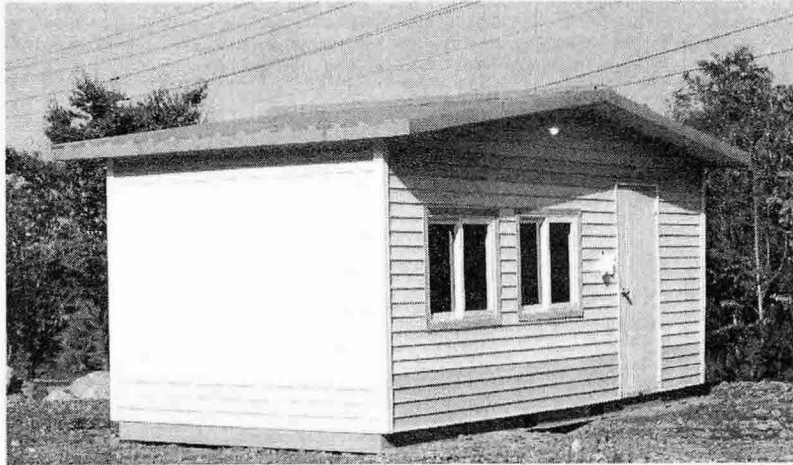


Fig. 1 The picture of a residential container

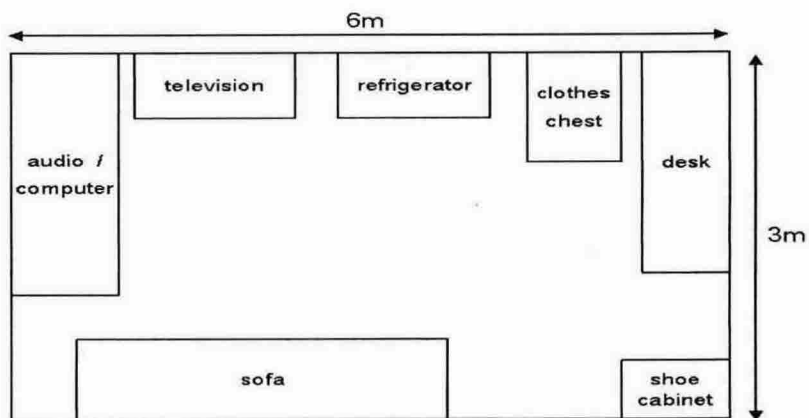


Fig. 2 Arrangement of upholstered furniture in a residential container

Table. 1 Description of the combustibles used in this experiment

	Weight(kg)	Amount of combustibles(kg)	Amount of heat (kcal)	Fire load(kg/m <sup>2</sup> )
Electronic products	50.1	50	225,000	2.78
Furnitures	203.3	274.5	891,850	14.6
Other fixtures	232.52	225.92	999,440	17.02
Total	485.92	550.42	2,116,290	34.4

## 2.2 컨테이너 내부 온도와 복사열 유속의 측정

컨테이너 내부 중앙에 폭 1.3m, 높이 50cm 간격으로 전체 12개의 K-type thermocouple를 설치하였으며, 화재온도 측정장치(Multiscan/1200™)와 전용 컴퓨터 프로그램을 통하여 내부 온도를 측정하였다. 복사열 측정은 Metherm사의 Heat Flux Indicator/Amplifier(meter) 및 Radiation Transducer(sensor)를 사용하여 40초 간격으로 측정하였으며, 센서의 위치는 컨테이너 전면부 외벽으로부터 3m, 3.5m, 4m, 4.5m의 거리에 설치하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 컨테이너 내부 온도 측정을 위한 열전대와 복사열 센서의 위치를 나타내고 있다. 컨테이너의 좌측 전면부(ch3부근)에서 점화를 시작으로 화재 실험을 실시하였다.

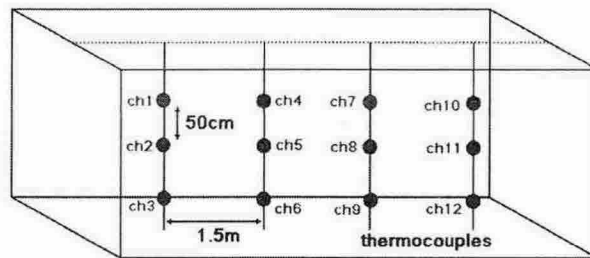


Fig. 3 The location of K-type thermocouples to measure internal temperatures during the container fire

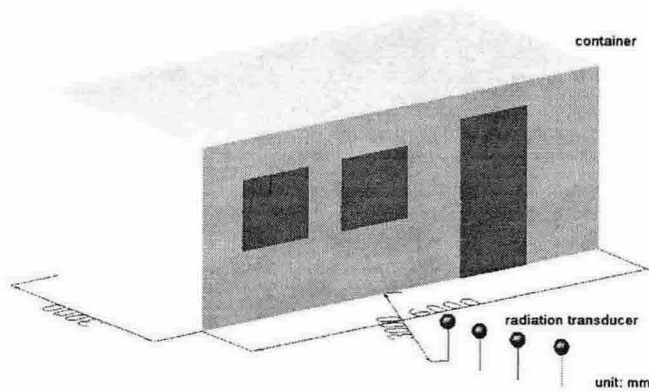


Fig. 4 Schematic of the experimental set-up to measure radiation flux

### 3. 실험 결과 및 분석



Fig. 5 The fire scenes of the residential container after ignition

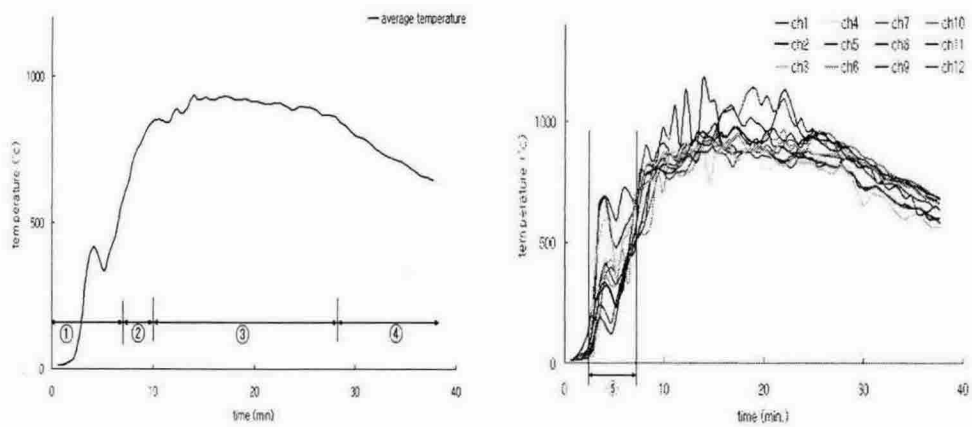


Fig. 6 The variation of the average room temperature and the total curves of internal temperatures during the residential container fire

Fig. 6과 Fig. 7은 시간 경과에 따른 컨테이너 내부 화염의 평균 온도 및 센서별 온도 분포를 나타낸 것으로, 점화 후 15분 경과시 최고 온도 935.5°C를 기록하였다. 또한 점화 후 4분에서 6분까지 온도가 강하하는 것은 컨테이너 내부 산소 소모로 인해 일시적으로 화염이 소염 상태를 나타낸 것으로 사료된다. 이 지점 이후 개구부인 유리창이 파괴되었으며, 8분경 플래시 오버 단계로 진입하였다. 화재시 내부 온도 변화는 성장기(구간 ①), 플래시 오버(구간 ②), 쇠성기(구간 ③) 및 쇠퇴기(구간 ④)로 구분되어, 일반 건축물 화재시 구획실 온도 변화와 유사한 양상을 보였다.

그리고 ⑤번 구간을 분석한 결과를 토대로 화재의 성장 모습을 도출하였다. 각 센서에서 측정된 최고온도를 분석한 결과, ch1→ch2→ch3→ch4→ch10→ch7→ch6→ch11→ch8→ch12→ch9의 순서로 온도 분포가 형성되는 것을 알 수 있다. 동일 높이에서의 온도 변화는 점화원 위치에 의해 좌에서 우로 전이되지만 대류에 의해 점화원으로부터 떨어진 가장 우측 센서부(ch10~ch12)가 ch7~ch9 센서부보다 온도가 근소하지만 빠르게 감응하는 것으로 나타났다. 컨테이너 상부에서 하부로의 온도 분포는 높이별로 ch1→ch2→ch3의 순서로 전파되었으며, 이는 화재 전용 프로그램을 사용한 모델링에서 화염 및 연기의 확산 순서와 동일한 양상이었다. 구간 ⑤번 이후로 각 센서에서의 온도는 거의 동일하였으며, 이는 플래시 오버 이후 컨테이너 전체에 화염이 확산되는 것으로 사료된다.

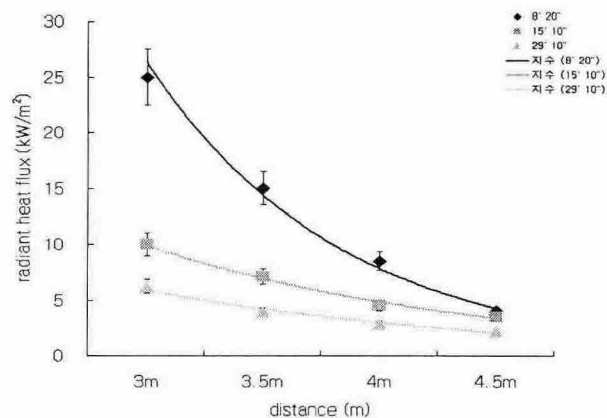


Fig. 7 The variations of radiation flux during the residential container fire

화재시 외부에서 화염으로부터 방출되는 복사열 유속을 Fig. 7과 같이 측정하였다. 점화 후 8분 20초에 3m 거리에서 최고 24.99kW/m<sup>2</sup>의 복사열량을 기록하였고, 이 값은 목재를 발화시키는데 필요한 최소 에너지로서 시간상으로 플래시 오버가 발생한 시점과 거의 일치하였다. 이후 복사열량은 점차 감소하여 15분 10초에 9.99kW/m<sup>2</sup>, 29분 10초에 6.24kW/m<sup>2</sup>을 기록하였으며, 이 값은 플래시 오버 발생시의 복사열량보다 현저히

적은 값으로 플래시 오버 발생시의 위험성을 단적으로 보여주고 있다.

#### 4. 결 론

주거용 컨테이너의 화재 특성을 실험적으로 고찰하기 위하여 화재시의 화염 온도, 화염으로부터 방출되는 복사열 유속을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 화재시 컨테이너 내부에 형성되는 화염의 최고 온도는 935.5℃로 나타났으며, 플래시 오버는 점화 후 약 8분경에 시작되어 복사열량 최고값인 24.99kW/m<sup>2</sup>를 기록하였다.
2. 주거용 컨테이너의 화재 성상은 ISO 9705(Room/Corner Test)에 의한 일반 건축물 화재 실험에 의한 플래시 오버가 약 10분경인 점을 감안하면 플래시 오버 시간이 약 2분 정도 단축되었다.
3. 주거용 컨테이너는 상대적으로 협소한 공간에 화재하중이 집중되어 있는 구조로 되어 있어 제연 설비 및 소화 설비와의 연동이 어려운 점을 감안할 때 화재 위험성은 매우 높은 것으로 판단된다.
4. 컨테이너 내부에서의 화염 전파 및 연기 유동은 일반 구획실 화재의 선행 데이터 베이스를 이용하여, 컴퓨터로 모델링할 경우 별도 프로그램 코딩없이도 거동 해석이 가능할 것으로 예측된다.

#### 참고문헌

1. R. Kozlowski, 2 others, "Combustibility and toxicity of board materials used for interior fittings and decorations", Polymer degradation and stability, Vol. 64, pp. 595-600, 1999.
2. O. Hutzinger, 3 others, "Analysis and toxicity testing of combustion gases 2. Characterisation of combustion products from halogen-free flame-retardant dutoplastic polymers for elecyrionics", Journal of analytical and applied pyrolysis, Vol. 31, pp. 141-156, 1995.
3. G.E. Hartzell, "Engineering analysis of hazards to life safety in fires: the fire effluent toxicity component", safety science, Vol. 38, pp. 147-155, 2001.
4. Z. Yan, "CFD and experimental studies of room fire growth on wall lining materials", Fire safety journal, Vol. 27, pp. 201-238, 1996.
5. Y. Xin, "Characterization of room environments in growing enclosure fires", Fire safety journal, Vol. 39, pp. 239-253, 2004.