

## 주방내 조리용 기름 화재 발생시 레인지 주변 환경이 감지 시간에 미치는 영향에 대한 수치해석적 연구

### Numerical Study on the Effect of Range Surrounding Environment on Detecting Time for Cooking Oil Fire in Kitchen

이진우 · 고권현 · 유홍선<sup>†</sup> · 장용준\* · 정우성\*

Jin-Woo Lee · Gwon-Hyun Ko · Hong-Sun Ryou<sup>†</sup> · Yong-Jun Jang\* · Woo-Sung Jung\*

중앙대학교 기계공학부, \*한국철도기술연구원  
(2010. 2. 2. 접수/2010. 2. 19. 채택)

#### 요 약

『2008년도 화재통계연보』에 따르면 화재 발생의 약 34%가 호텔, 식당, 주택 등과 같은 실내 화재이고 그 중에서 약 53% 이상이 주방에서 발생하고 있다. 이에 최근에 국내에서는 공동주택내 주방의 화재 소화 설비로써 주로 자동식 소화기를 사용하고 있고 형식 승인은 『자동식 소화기의 형식 승인 및 검정기술기준(KOFEIS 0101-1)』을 따르고 있다. 하지만 자동식 소화기 성능 평가 기준내의 한가지 환경조건만으로는 실제 주방에서 자동 소화기의 성능을 검증하는 것에 한계가 있다. 그러므로 다양한 주방 구조에 따라 화재 감지 특성에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 주방에서 레인지 주변의 형상에 따라 감지 시간에 대한 영향을 수치해석 하였고 그 결과 화재 감지 시간의 차이가 약 100초 가량 차이가 났다. 또한 후드의 작동 여부에 따라 감지 특성이 다르게 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 주방 내에서 조리용 기름의 화재 제어를 위한 성능 평가 기준을 검증하고 개선하는데 활용될 수 있다.

#### ABSTRACT

According to the 『Yearbook of disaster response, fire safety and fire statistics (NEMA: National Emergency Management Agency)』, approximately 34% of all fire is interior fire such as hotel, restaurant and residence and more than 53% of which is occurring in the kitchen. The evaluation of fire extinguishing system in the kitchen is performed in accordance with the 『Korea Fire Equipment Inspection Standard (KOFEIS 0101-1)』 which is using one environmental condition. However, only using one environmental condition is not enough to evaluate the performance of the automatic fire extinguisher in kitchen fire. So the study of fire detecting characteristic about various environmental condition needs. In this study, the numerical analysis is carried out about detecting time characteristic for various range's surrounding environment. As a result, it showed up to 100 s difference in the detection time depending on the position of the range. And detecting time also showed difference for on-off hood operation. From this results, it can be verify and improve the evaluation standard for the fire extinguishing system in kitchen fire.

**Key words :** Cooking oil, Detecting time, Kitchen fire, Automatic fire extinguisher

#### 1. 서 론

『화재통계연보-2008』에서 발표된 화재 장소별 분석 자료를 보면 호텔, 식당, 주택 등에서 발생하는 실내 화재는 전체 화재 발생의 약 34%를 차지하고 있고 그

실내 화재 중에서 약 53% 이상이 주방에서 발생하고 있다고 보고되었다.<sup>1)</sup> 또한 미국의 경우에도 공동 주택 내의 화재 발생 위치 중 주방이 약 40% 차지하는 것을 볼 수 있다.<sup>2,3)</sup> 이러한 주방에서의 높은 화재 발생 빈도와 그에 따른 위험성 때문에 미국에서는 주방화재를 K급 화재로 분류하는데 K등급의 화재는 식물성, 동물성 기름 혹은 조리 기구에 있는 기름에 의해 부엌에

<sup>†</sup>E-mail: cfdmec@cau.ac.kr

서 발생하는 화재를 의미한다.<sup>4)</sup> 주방 화재는 국내외적으로 발생 빈도가 높고 특히 유류 화재 특성상 다량의 연기와 유독가스가 발생할 뿐만 아니라 일반화재에 비해 소화에 큰 어려움이 따르기 때문에 많은 인명피해가 발생하고 피해 규모도 크게 나타난다. 또한 화재 발생시 열 및 연기로 인해 내부 상황 파악이 어렵고 접근이 어려워 소방 활동이 지연되는 어려움이 있다. 주방화재에 관한 연구로써 홍문수<sup>5)</sup>는 소형고층 아파트에서 주방을 포함한 곳에서의 화재 사례를 조사하고 스프링클러 설비를 중심으로 화재안전성능 개선에 관하여 연구하였다. 특히 야간에 화재 발생빈도가 높음을 보였고 스프링클러 설치의 중요성을 강조하여 고층 아파트 내에서 설치기준을 제시하였다. Yen 등<sup>6)</sup>은 상업지구 주방에서 화재를 방지하기 위해 미국 FM 기준을 통과할 수 있는 낮은 압력의 미세 물분무 사용에 관한 연구를 수행하여 정량적인 데이터를 제시하였다. Fang 등<sup>7)</sup>은 주방화재 발생시 분사되는 미세 물분무 간의 관계에 대해 실험 연구하여 그 결과 분사각 및 미세 물분무 분사시 액적 운동량이 주방화재의 효과적인 소화에 중요한 요소가 됨을 보였고 실험적 데이터를 제공하였다.

국내에서는 「자동식 소화기의 형식 승인 및 검정기술기준 (KOFEIS 0101-1)」<sup>8)</sup>에 맞추어 주방 내 소화 설비를 구축하고 있고 이 기준에는 주방에 설치해야 하는 자동식 소화기의 설치 위치 기준과 성능 평가 기준을 제시하고 있다. 현재 주방의 형태는 다양하게 나타나는데 반해 자동식 소화기의 성능 평가 기준에는 한 가지 환경조건만 존재하기 때문에 이를 바탕으로 한 자동식 소화기의 설치와 검증에는 한계가 있을 수 밖에 없다. 주방 화재의 발생 빈도와 위험성은 일반 거주 지역에서의 화재 안전을 크게 위협할 수 있기 때문에 조리용 기름의 화재 특성을 파악하고 주방 화재에 대한 안전대책을 강화하는 것이 필요하다. 따라서 현재 주방용 화재 안전과 관련된 유일한 설비라고 할 수 있는 자동식 소화기의 성능 평가 기준을 검증하고 개선하는 것이 일반 거주 지역의 화재 안전성을 향상시키는데 필수적이다.

## 2. 수치해석

### 2.1 지배방정식

FDS(Fire Dynamics Simulator)<sup>9)</sup>는 화원에서 발생되는 연기와 열의 거동에 중점을 두면서 다음의 질량, 운동량, 에너지 보존 방정식을 푼다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \vec{u} = m_b'' \quad (1)$$

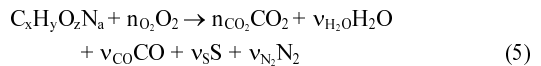
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{u}) + \nabla \cdot \rho \vec{u} \vec{u} + \nabla p = \rho \vec{g} + f_b + \nabla \cdot \tau_{ij} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h \vec{u} = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}'' - \nabla \cdot \dot{q}'' + \varepsilon \quad (3)$$

본 연구에서 사용된 열 감지기는 FDS내의 Heskestad의 정온식 열감지기 모델을 사용하였고 다음과 같은 식을 통해 계산한다.

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{\sqrt{gH}}{RTI} (T_g - T_i) \quad (4)$$

RTI(Respond time index)는 반응시간지수로써 기류 온도에 대한 감열체의 시간 지연을 의미하고 RTI 값은 대개 100을 사용하기 때문에 이 값을 사용하였다. 또한 사용된 연소 모델은 FDS 내에 있는 혼합 분을 모델이다. 주방용 기름은 90% 이상이 트리글리세리드라는 물질로 구성되어 있다.<sup>10)</sup> 따라서 트리글리세리드의 화학식을 고려하여  $x=6, y=5, z=6, v_{O_2}=26, v_{CO_2}=26, v_{H_2O}=26$  값을 혼합 분을 모델에 적용하였다.



### 2.2 수치해석 조건

FDS를 이용하여 주방화재 특성을 해석하기 위해 Figure 1과 같이 계산 영역을 설정하였다. 일반적으로 레인지는 벽과 벽이 만나는 구석진 곳이나 주방의 한쪽 벽면에 위치하기 때문에 레인지 주위의 형상은 Figure

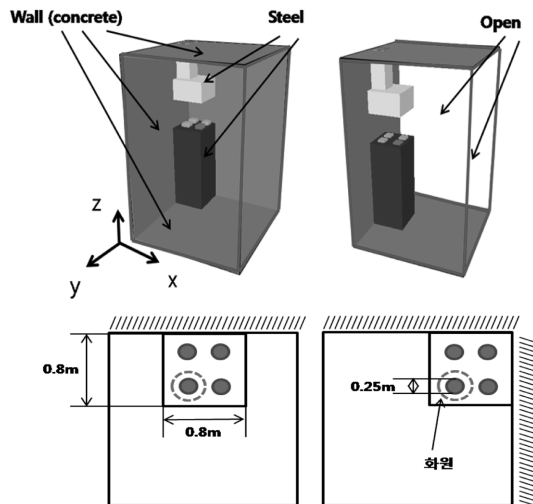


Figure 1. Schematic of numerical simulation.

**Table 1.** Specification of Simulation Cases

Case	1	2	3	4	5
PAN Size [m]	0.25 × 0.25	0.3	0.25 × 0.25	0.25 × 0.25	0.25 × 0.25
Fuel	Corn Oil	Corn Oil	Corn Oil	Corn Oil	Corn Oil
Location of Pan	Center	Corner	Corner	Corner	Corner
Hood	None	None	Off	Off	On
Heat Detector	None	Ceiling	Hood Side	Hood Side	Hood Side

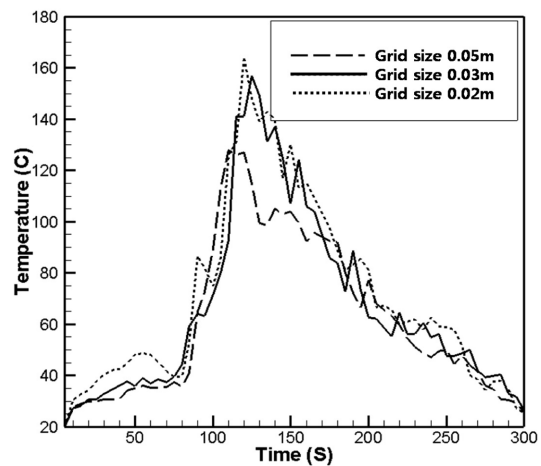
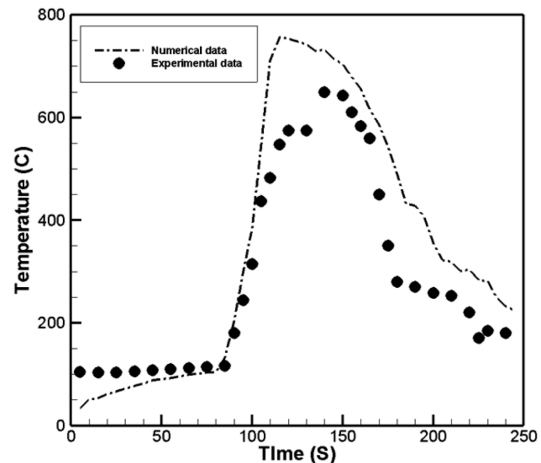
1과 같이 2가지 형태로 하였고 레인지와 후드 모두 철(Steel)로 처리하였으며 열전도가 일어나게 설정하였으며 벽면은 콘크리트로 설정하였다. 또한 레인지 위에 있는 스토브는 4개로 설정하였다. 화원은 스토브 위에서 발생하고 옥수수 유(corn oil)를 사용하였다. 바닥면과 천장, 옆 벽면을 제외한 나머지 경계 조건은 압력 경계(pressure boundary)로 설정하였는데 열린 공간에서는 한쪽 벽면을 제외한 나머지 세 군데의 옆면은 압력 경계(pressure boundary)로 설정하였고 구석진 공간에서는 두 군데의 벽면을 제외한 나머지 두 군데의 옆면을 압력 경계로 설정하였다. 본 연구에서 수행된 수치해석 조건은 Table 1에 나타내었다. 또한 현재 일반적으로 사용되는 후드는 1.2에서 1.5 사이의 배기속도를 가지고 있다. 따라서 후드 내부의 후드가 작동할 시에는 바깥쪽으로 배기속도가 1.2가 되도록 설정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 조리용 기름 연소의 검증

2006년 NIST에서 수행된 조리용 기름의 특징에 관련된 실험 논문<sup>11)</sup>의 결과와 FDS의 해석 결과 비교를 통해 조리용 기름의 화재 구현을 검증하였다. 격자크기에 따라 화원 바로 위쪽 방향의 천장에서의 온도 변화 차이를 비교하였고 Figure 4에 나타내었다. 그 결과 한 격자의 크기가 0.02m일때와 0.03m일때는 온도변화가 거의 차이가 없었지만 0.05m일때는 온도가 전반적으로 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 그러므로 본 연구에서 계산 시간을 줄일 수 있도록 격자크기를 0.03m로 설정하였다. 또한 FDS상에서 화재 구현을 위해 실험논문에서 측정된 온도값과 비교를 하였고 Figure 3에 나타내었다. 수치해석 결과 온도 데이터는 변동이 심하여 5초 간격으로 평균을 내어 실험 결과와 비교하였다. 측정 위치는 화원에서 z축 방향으로 0.15m 떨어

진 곳이고 이 위치에서 측정된 실험 데이터와 비교하였다. 수치해석 결과 화재가 성장하여 약 80초 대에서 급격히 온도가 증가하고 온도가 최고점에 도달했을 때의 시기는 약 20초 가량 차이가 났다. 실험 결과에 비해 100°C 가량 높게 나오는 것을 볼 수 있다. 온도가 최고점 도달 이후 낮아질 때는 실험 결과에 비해 완만하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 실험에서는 연료가 다소 소모되어 온도가 감소되어 온도가 급격히 떨어지나 FDS상에서는 연료가 감소하는 것이 아니고 발열량이 감소하기 때문에 다소 차이가 있는 것으로 판단된다.

**Figure 2.** Temperature variation with time at ceiling for three different grid size.**Figure 3.** Comparison of predicted temperature with experimental data from fire to 0.15 m distance height (Z-direction).

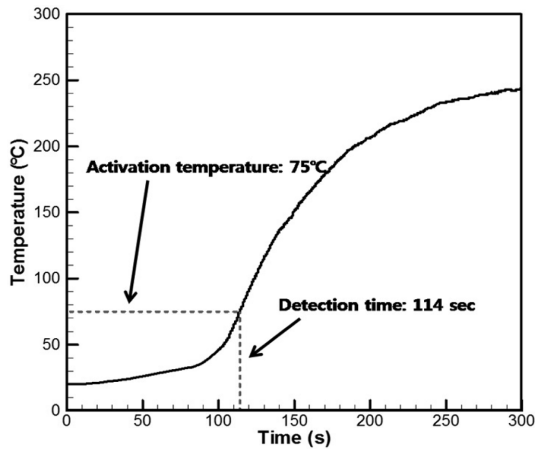


Figure 4. Temperature at the location of heat detector (ceiling) for case 2.

하지만 FDS상에서 액체 연료의 구현이 온도 변화 추이를 볼 때 대체적으로 실험 결과와 비슷한 경향성을 보이고 있다.

### 3.2 FDS상에서의 자동식 소화기 성능 평가 기준 검증

FDS상에서 『자동식 소화기의 형식 승인 및 검정기술기준(KOFEIS 0101-1)』에 있는 성능 평가 기준의 구현 여부를 보고자 하였다. 성능 평가 기준에 따르면 3분 이내에 열 감지기가 작동하여 소화가 이루어져야 한다. Figure 4와 같이 수치해석 결과 약 114초만에 감지가 되어 『자동식 소화기의 형식 승인 및 검정기술기준(KOFEIS 0101-1)』에 있는 3분 이내에 작동해야 되는 감지기 기준에 부합하는 것을 볼 수 있었다. 화재로 인해 발생하는 가스나 연기가 벽면을 타고 상승하여 천장에 달려있는 감지기까지 쉽게 도달하는 것으로 판단된다. 하지만 실제 주방의 형태에서 레인지는 한쪽 벽면이나 벽 구석진 곳에 위치할 수 있어 화재 감지에 영향을 줄 수 있기 때문에 이러한 점도 고려해야 한다.

### 3.3 일반주방형태에서의 후드 내 감지 시간 차이

일반적으로 가정집에 있는 레인지는 벽과 벽이 만나는 구석진 곳이나 주방 가운데에 위치해 있다. 하지만 『자동식 소화기의 형식 승인 및 검정기술기준(KOFEIS 0101-1)』에는 구석진 곳에 해당하는 한 가지의 시나리오만 존재한다. 레인지가 위치하는 한쪽 벽면만 있는 공간과 구석진 공간에서의 후드 내 온도 변화를 살펴 보기 위해 case 3과 case 4을 비교 분석하였다. Figure

5는 레인지가 위치하는 공간 차이에 따라 후드 중앙 부근(Location 2)에 위치하는 열 감지기가 측정하는 온도의 차이를 나타낸 것이다. 구석진 곳에서는 183초 만에 75°C에 도달하여 열 감지기가 작동하였다. 레인지 위치에 따라 열 감지기는 약 100초 가량 차이가 나는 것을 볼 수 있다. Figure 6은 레인지가 위치하는 공간 차이에 따라 후드 중앙 부근(Location 1)에서 온도 변화를 비교한 것이다. 레인지가 구석진 곳(case 4)에 위치할 때 최대 250°C, 평균적으로 230°C 가량 온도가 상승하는 것을 볼 수 있다. 레인지가 한쪽 벽면에 위

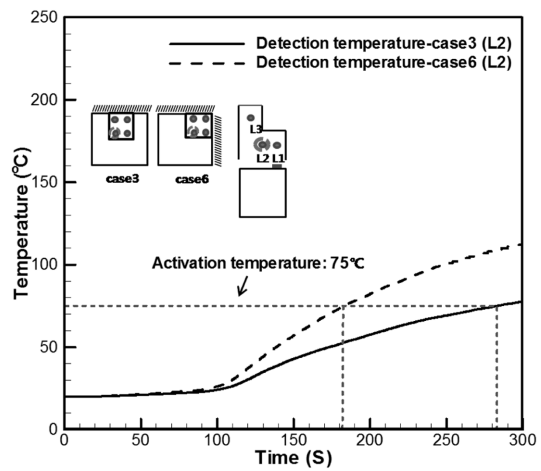


Figure 5. Comparison of detection temperature by range location for case 3 (one side wall) and case 4 (corner wall).

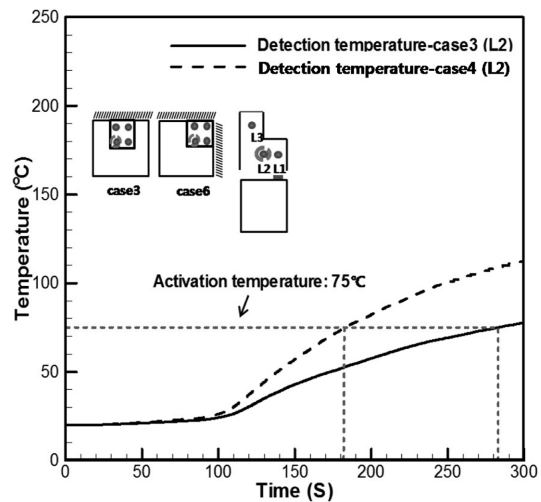


Figure 6. Comparison of temperature at location 1 for case 3 (two side open) and case 4 (one side open).

치할 때(case 3)와의 온도 차이는 평균적으로 50°C 가량 차이가 나는 것을 볼 수 있다.

옆면에서 두면이 막혀 있으면 주변에서 들어오는 유동도 적게 나타나는데 연기나 가스가 벽면을 타고 올라가 후드에 모이는 정도가 상대적으로 큰 것으로 판단된다. Figure 7은 화원 위쪽 방향의 후드 내부(Location 2)에서의 온도변화를 비교한 것이다. 레인지가 구석에 위치해 있을 때 평균적으로 50°C 가량 높게 나타났을 것을 볼 수 있다. 또한 Figure 8은 좁은 통로의 후드 내부(Location 3)의 위치에서의 온도 변화를 비교한 것이

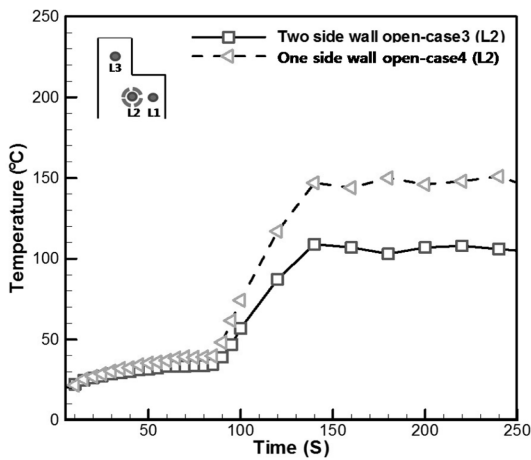


Figure 7. Comparison of temperature at location 2 for case 3 (two side open) and case 7 (one side open).

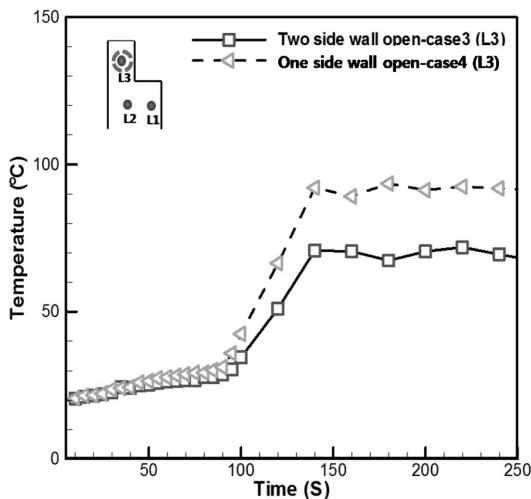


Figure 8. Comparison of temperature at location 3 for case 3 (two side open) and case 4 (one side open).

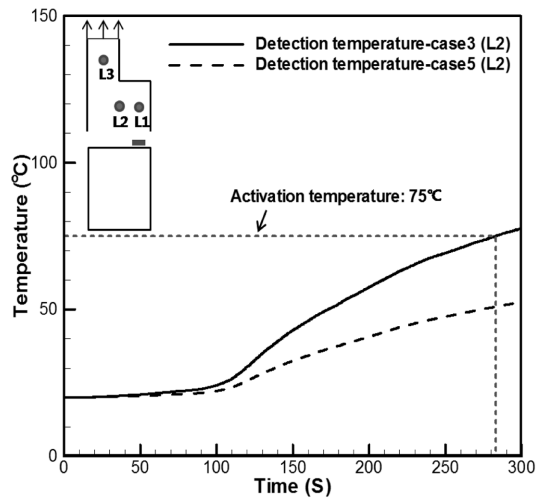


Figure 9. Comparison of detection temperature by hood operation for case 3 (hood fan off) and case 5 (hood fan on).

다. 레인지가 구석에 위치해 있을 때 약 20°C 가량 높게 측정되는 것을 볼 수 있다. 구석진 곳에 레인지가 위치할 경우 화재시 발생하는 연기나 가스등이 근처 벽면에 의해 후드 안쪽으로 더 많이 퍼지게 되어 후드 내 온도가 높아지고 열 감지기의 감지 시간에 영향을 준 것으로 판단된다.

또한 후드 팬 작동시 후드 중앙부(Location 2)에서는 온도 상승이 후드 팬 미 작동시에 비해 작았고 이에 따라 열 감지기는 작동하지 않았으며 Figure 9에 나타내었다. 따라서 현재 시행되고 있는 후드 중앙부근에서의 감지는 후드 작동에 따라 오히려 위험을 초래할 가능성이 있다. 따라서 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 좁은 공간의 후드(Location 3)에서의 온도 분포는 후드 팬 작동 유무에 따라 차이가 거의 없어 이 위치에서의 열 감지기 측정에 관한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 주방의 레인지 주변 환경에 따라 조리용 기름 화재의 감지 특성을 파악하기 위한 수치해석을 수행하였다. 이에 앞서 기존의 실험 결과와의 비교를 통해 조리용 기름 화재에 대한 해석 모델을 검증하였으며 레인지가 위치하는 주변 형상에 따른 화재 감지 특성에 대한 해석을 수행하였다.

(1) 조리용 기름 화재의 해석시 기존의 실험 결과와 비교했을 때 온도 변화의 경향성이 유사하게 나오는

것을 확인할 수 있었다. 또한 FDS상에서 자동식 소화기 성능 평가 기준에 따른 해석 결과 화재 감지 특성이 기준에 부합하였다고 판단된다.

(2) 레인지가 위치하는 주변 형상이 화재감지시간에 영향을 주었다. 수치해석결과 레인지의 위치에 따라 화재 감지 시간이 약 100초 정도 차이가 났다. 이러한 감지 시간 차이는 실제 화재 감지 및 소화에 큰 영향을 미칠 수 있다.

(3) 후드팬을 작동시킨 경우 후드 중앙부근에 위치하는 열 감지기는 작동하지 않았다. 후드 팬이 작동하는 경우 화재 플럼의 유동에 변화를 야기하기 때문으로 판단된다. 현재 자동식 소화기 성능 평가 기준에는 레인지의 주변 환경에 따른 영향을 고려하지 않고 있으며 앞으로 이에 대한 다양한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 철도 종합 안전 기술 개발 사업중 「(초)장대터널 화재 안전설계기술 개발」의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 관계제위에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 소방재난본부, “2008년도 화재통계연보”(2008).
2. V. Apte, A. Edwards, C. Fleischmann, J. Brian, C. Wade, E. Young, and D. Yung, “Design Fires for

- Apartment Buildings-Literature Review”, CSIRO, BRANZ Ltd & University of Canterbury-study report, No.136, Australia(2005).
3. J.C. Voelkert, “The New Class K”, NFPA Journal, Vol.93, No.4, pp.72-75(1999).
4. 소방방재청, “위험물 사고 사례집”(2008).
5. 홍문수, “공동주택의 화재안전성능 개선에 관한 연구 : 소형고층아파트 스프링클러설비를 중심으로”, 경기대 산업정보대학원 석사학위논문(2002).
6. P.L. Yen, Z. Liu, D. Carpenter, and A.K. Kim, “Development of a Low Pressure Water Mist System for Industrial Oil Cooker Protection”, Symposium on Advance in Fire Suppression, Vol.18-19, pp.1-11(2005).
7. Y. Fang, Y. Zhang, L. Lin, G. Liao, X. Huang, and B. Cong, “Experimental Studies on Interaction of Water Mist with Class K Fires”, Chinese Science Bulletin, Vol.51, No.24, pp.3053-3058(2006).
8. 소방방재청, “자동식소화기의 형식 승인 및 검정기술 기준(KOFEIS 0101-1)”(2003).
9. K.B. McGrattan, B.W. Klein, S. Hostikka, and J.E. Floyd, “Fire Dynamics Simulator (Version 5) User’s Guide”, NIST Special Publication 1019-5, NIST, Gaithersburg, MD(2008).
10. Y.H. Hui, Bailey, “Industrial Oil & Fat Products, Edible Oil & Fat Products”, John Wiley&Sons, 5<sup>th</sup> edition, Vol.3(1996).
11. S.C. Kim, A. Hamins, and D. Madrzykowski “Characterization of Stove-Top Fires”, National Institute of Standards and Technology(2006).