

[Research Paper]

## 과열에 의해 발화된 동물성 식품의 화염 및 탄화 패턴에 관한 연구

이정훈 · 최충석<sup>\*†</sup>

전주대학교 소방안전공학과 박사과정, \*전주대학교 소방안전공학과 교수

# Flame and Carbonization Patterns of Animal-Origin Foods Ignited by Overheating

Jeong-Hun Lee · Chung-Seog Choi<sup>\*†</sup>

Graduate Student., Dept. of Fire Safety Engineering, Jeonju University,  
<sup>\*</sup>Professor, Dept. of Fire Safety Engineering, Jeonju University

(Received November 6, 2019; Revised November 27, 2019; Accepted November 28, 2019)

### 요 약

과열방지장치가 없는 가스레인지를 이용하여 동물성 식품의 실물 화재 실험을 실시하였다. 동물성 식품의 연소 초기에는 흰색의 연기와 수증기가 다량 발생했으나 물기가 없어지고 동물성 식품의 탄화가 시작되면 검정색 연기가 발생하였다. 가스레인지의 과열 시간이 5,400 s가 경과되어도 고등어, 명태 및 닭고기 등은 착화되지 못했다. 그러나 돼지고기는 2,643 s, 쇠고기는 2,819 s, 참치는 6,492 s에서 발화되는 것을 확인하였다. 동물성 식품의 화염 패턴은 층류와 난류가 혼합된 형태이며, 달무리 패턴(Halo Pattern)이 발생하는 것을 알 수 있었다. 주방 후드가 작동할 때의 화염은 모래시계 패턴을 형성하였고, 주방 후드가 작동하지 않을 때는 삼각형 패턴을 나타냈다. 냄비에 담긴 참치가 과열되면 6,492 s에 자연발화 되었고, 주방 후드의 표면 온도는 464.5 °C로 급격히 상승하였다. 그리고 냄비 상부의 바깥 표면으로부터 6 cm 이격된 냄비 후면의 온도는 6,660 s에 복사열로 인해 869 °C로 측정되었다. 화염에 의해 소손된 주방 벽면에는 모래시계 패턴이 형성되었으며, 주방 후드가 작동하지 않거나 천장 높이보다 화염이 작게 성장할 때는 삼각형 패턴을 나타내는 것이 확인되었다.

### ABSTRACT

Real-scale fire tests were performed on animal-origin foods using a gas stove with no overheating prevention device. When the animal-origin foods were ignited, a large quantity of white smoke and steam was generated from them; however, when they became dry and began to carbonize, a dark smoke was generated. Even after the gas stove was overheated for more than 5400 s, mackerel, pollack, chicken, etc., did not ignite. However, pork, beef, and tuna caught fire after 2643 s, 2819 s, and 6492 s of heating, respectively. The flame patterns of animal-origin foods were in the forms of a mixed laminar flow and a turbulent flow, and a halo pattern was produced. A sand glass form of the flame pattern was generated when a kitchen hood was operated, but a triangular flame pattern was produced when the kitchen hood was not operated. When the tuna in the pot was overheated, it spontaneously ignited after 6492 s, with the surface temperature of the kitchen hood rapidly rising to 464.5 °C. Moreover, the temperature at the back of the pot, which was 6 cm away from the outer surface of the upper part of the pot, was 869 °C after 6660 s because of the radiant heat. The flame formed a sand glass pattern on the kitchen wall. When the kitchen hood was not operated, or when the flame grew lower than the height of the ceiling, a triangular pattern was formed.

**Keywords** : Carbonization patterns, Halo pattern, Sand glass form of flame pattern, Triangular flame pattern

## 1. 서 론

2017년 소방청 화재 통계 자료에 의하면 주방기에서

발생한 화재는 3,502건이고, 가스레인지와 관련된 화재는 1,876건으로 조사되었다. 주방기기와 관련된 화재의 53.6%를 점유하고 있으며, 대부분 음식물 조리중 부주의에 의해

<sup>†</sup>Corresponding Author, E-Mail: enetek@naver.com. TEL: +82-63-220-3119, FAX: +82-63-220-2056

© 2019 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

발생한 것으로 분석되었다<sup>(1)</sup>.

2013년 한국산업규격 KS B 8114와 한국가스안전코드 KGS AB331의 개정시에는 가스레인지의 가장 큰 화구에 과열방지장치를 설치하였으나 가스사고의 발생 증가 및 피해의 심각성이 나날이 인식됨에 따라 2014년부터는 가스레인지의 모든 화구에 과열방지장치를 설치할 것을 요구하고 있다. 과열방지장치는 냄비 바닥의 온도를 감지하여 온도가 300 °C에 도달하기 전에 가스공급을 자동으로 차단함으로써 냄비 과열에 의한 화재를 예방하는 안전장치이다<sup>(2,3)</sup>. 그러나 아직도 일부의 가스레인은 과열방지장치가 없는 것이 사용되고 있는 것으로 조사되고 있다. 일부의 사용자들은 직화냄비를 사용하기 위해 과열방지기능을 일부러 차단하거나 분리시켜 사용하는 사례도 보고되고 있다. 그리고 고령화 시대가 급속하게 진행됨에 따라 독거노인 가구와 노인성 치매 환자의 증가로 대형 화재의 가능성은 상대적으로 높아지고 있는 것이 현실이다<sup>(4,5)</sup>.

그리고 식생활의 다양성 등에 따라 식용유를 사용한 요리 및 육류의 섭취가 증가하고 있어서 기존의 과열 화재 패턴과 다른 양상을 나타내는 것으로 분석된다. 기존의 연구는 대부분 인화성 액체의 발화 패턴과 발화 가능성에 대한 내용이다. 그런데 동물성 식품의 종류, 조리 용기의 재질 및 후드의 작동 상태 등에 따른 발화 특성에 대한 연구는 미진한 상태이다<sup>(6-11)</sup>.

따라서 본 연구에서는 구획된 공간에 주방을 설치하고 과열방지장치가 없는 가스레인을 이용하였다. 가스레인지가 과열되어 발생한 열에 의해 탄화되는 동물성 식품의 연소 시간 및 화염 거동을 실시간 측정하였다. 또한, 연소가 완료된 동물성 식품의 탄화 특성과 출화된 화염에 의해 발생된 벽면의 탄화 패턴을 객관적으로 제시하는데 있다.

## 2. 실험 방법

Figure 1에 나타낸 것은 실물 실험을 실시하기 위해 구획된 공간에 제작한 주방을 나타낸 실체사진이다. 실물 화재 실험이 진행된 실험실은 가로 270 cm, 세로 270 cm, 높이 180 cm 등으로 제작하였다. 실험이 진행될 때 발생된 연기를 자연 배출하기 위해 실험실의 상부 벽면에 배출구를 설치하였다. 그리고 싱크대 위에 가스레인을 놓고, 천장에는 주방용 후드를 설치하였다. 냄비 주위의 실시간 온도 측정은 크로멜-알루멜 열전대(Chromel-alumel thermocouple)를 10 cm 간격으로 설치하였다. 온도 센서는 냄비의 상부에 7개 설치하였고, 후면과 측면에 각각 3 cm 간격으로 5개씩 설치하여 실시간으로 온도를 측정하였다. 실험이 진행될 때 실내의 온도는 27 ± 5 °C이며, 습도는 50 ± 5%를 유지시켰다. 화염의 성장 패턴 및 거동은 가스레인지의 전면에 설치된 비디오카메라(Video camera, Sony co., Japan)와 디지털카메라를 이용하여 동시에 촬영하였다. 음식물의 계량은 전자저울(Electronic kitchen scale, SF-400, China)을 사용하

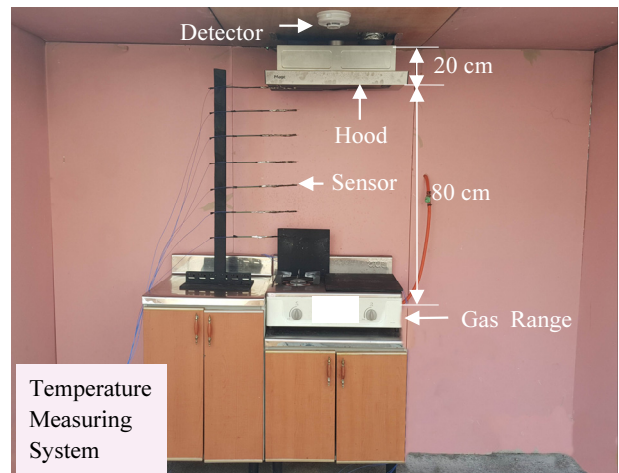


Figure 1. Photo of the real scale fire test room in which animal fat ignition characteristics test was performed.

였다. 또한, 모든 실험은 각각의 냄비에 동물성 지방과 물 500 mL를 함께 넣고, 뚜껑은 닫지 않은 상태에서 가열하였다. 가스레인을 점화시킨 후 가스의 공급량을 일정하게 유지시켜 실험의 오차를 최소화 하였다. 대회 실험이 완료되면 충분한 환기를 실시하였으며, 동일한 조건의 실험실 표준작업절차(SOP)를 준수하였다.

실물 재현 실험에 사용된 열원의 공급 장치인 가스레인은 린나이 RTR-C202S 이다. 크기는 W 590 × D 381 × H 162이며, 가스 소비량은 3.78 kW로 약 3,200 kcal/h 이다. 그리고 과열방지장치가 없는 압전 방식이며, 실물 재현 실험에 사용된 용기는 일반 가정에서 보편적으로 사용되는 양은(알루미늄)냄비, 경질 냄비, 스테인리스 냄비 등이다. 그리고 용기의 용량은 동일한 것이며, 구조 역시 동일한 구조를 갖는 제품을 사용하였다. Table 1은 실물 화재 실험에 사용된 냄비의 재질 및 규격 등을 제시한 것이다.

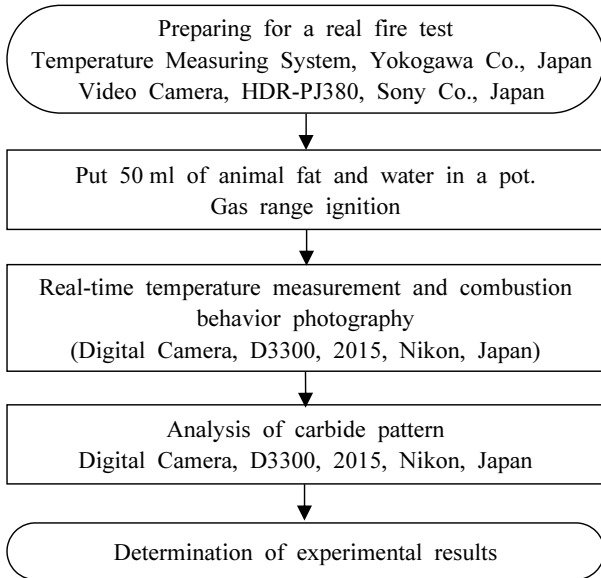
Figure 2는 동물성 지방이 함유된 음식물의 발화 가능성을 확인하기 위한 실험 과정을 나타낸 것이다. 실물 화재 실험의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위해 실험실 표준작업절차(SOP)를 준수하였고, 실험이 완료된 단계마다 초기 조건과 동일한 형태 및 환경에서 실물 재현 실험을 반복 진행하였다. 실험에 사용된 동물성 식품은 고등어, 명태, 참치, 돼지고기, 소고기 등이다. 그리고 수돗물 500 mL를 동일하게 주입하여 실물 화재 실험의 일관성을 유지시켰다. 또한, 화염은 과열방지장치가 없는 가스레인을 이용하여 공급했으며, 실물 화재 실험이 진행될 때 연소 거동 및 화염의 방향은 비디오카메라로 촬영하였다. 연소 실험이 완료된 후에 탄화 패턴을 해석하였고, 주변의 종합적인 상황을 판단하여 연소 패턴을 해석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Figure 3은 실물 실험에 적용된 동물성 식품과 수돗물

**Table 1.** Specification of the Pot used for a Real Scale Fire Test

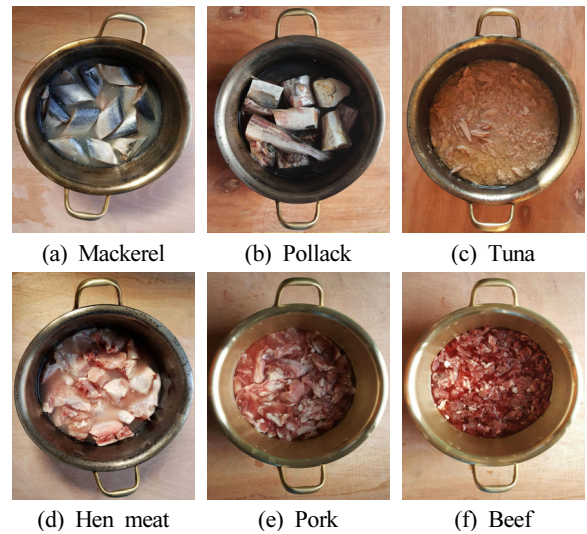
Material	Appellation [cm]	Diameter [cm]	Height [cm]
Aluminum pot	26	22	12.5
Anodized aluminum pot	26	20	10.5
Stainless steel pot	26	24	13.5



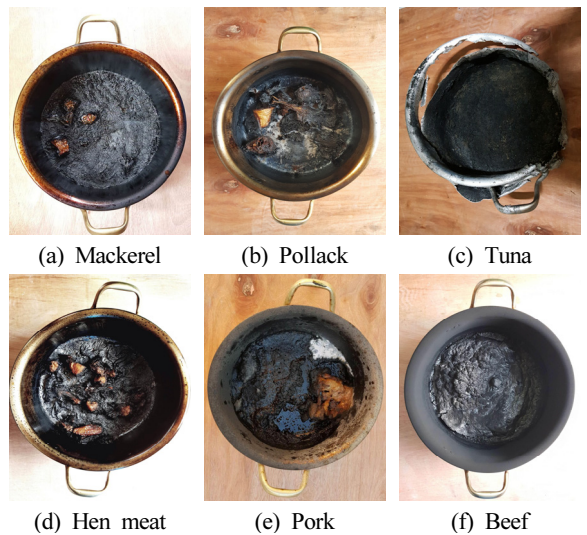
**Figure 2.** Test process for animal fat ignition due to the pot overheating during food cooking.

500 mL를 양은냄비에 각각 넣은 실제 사진을 나타낸 것이다. Figure 3(a)는 토막 낸 고등어 1,000 g이고, Figure 3(b)는 명태 1,000 g 이다. 그리고 Figure 3(c)는 시중에서 판매되는 캔 용기의 가공된 참치로서 다랑어 고기가 74.5%이고, 그 외 식용유 등이 함유되어 있는 제품으로 중량은 1,880 g이다. Figure 3(d)는 닭 한 마리를 토막 낸 것으로 중량은 970 g이다. Figure 3(e)는 돼지고기 앞다리살 600 g이고, Figure 3(f)는 소고기 양지머리 600 g이다. 모든 실험은 냄비의 뚜껑을 개방한 상태에서 진행되었다. 가스레인지에 점화시킨 후 화력 조절레버를 최대의 위치로 일정하게 유지시켰으며, 음식물에서 발화되거나 냄비의 음식물이 완전히 탄화될 때까지 진행하였다. 실험이 진행된 구획된 공간의 실내 온도는  $27 \pm 5^\circ\text{C}$ , 습도는  $50 \pm 5\%$ 를 유지하였다. 그리고 실험이 진행될 때 일정한 조건을 유지하기 위해 출입구는 차폐한 상태이며, 연소 가스, 수증기 및 연기 등이 자연 방출될 수 있도록 실험실의 상부에 배기구를 설치하였다<sup>(10,11)</sup>.

Figure 4는 냄비의 과열에 의해 동물성 식품이 탄화된 패턴을 해석하기 위해 나타낸 실제 사진이다. 실험이 종료된 후 강제로 화원을 제거한 상태의 것으로 모든 동물성 식품은 검정색의 고형화된 특징을 나타냈으며, 냄비의 표면



**Figure 3.** Photo of animal origin food placed in the aluminum pot.



**Figure 4.** Photo of carbonized animal origin food after completion of the test.

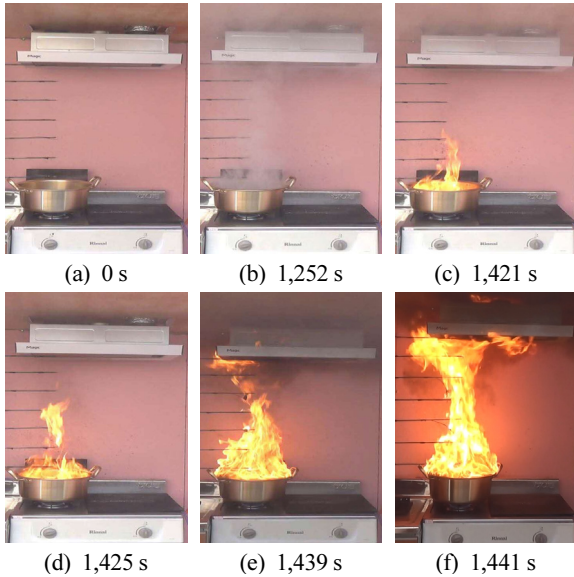
에 부착된 것을 알 수 있다. 또한, 연소의 초기에는 흰색의 연기와 수증기가 다량 발생했으나 물기가 없어지고 동물성 식품의 탄화가 진행될 때는 검정색 연기가 다량 발생하였다. 즉, 물기가 없어지고 동물성 식품이 과열될 때는 지속적으로 검정색 연기가 발생하였고, 정도의 차이는 있으나 연소 패턴은 증류와 난류가 혼합된 특징을 나타냈다<sup>(10,11)</sup>.

Table 2는 가스레인지의 과열에 의해 생성된 열에 의해 동물성 식품의 발화 유무와 착화된 시간을 나타낸 것이다. 가스레인지의 과열 시간이 5,400 s가 경과되어도 고등어, 명태 및 닭고기는 착화되지 않는 것으로 분석되었다. 그러나 돼지고기는 2,643 초, 쇠고기는 2,819 s에 발화가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 참치는 6,492 s에 발화되



**Table 2.** Result of the Ignition Test of Animal Origin Foods

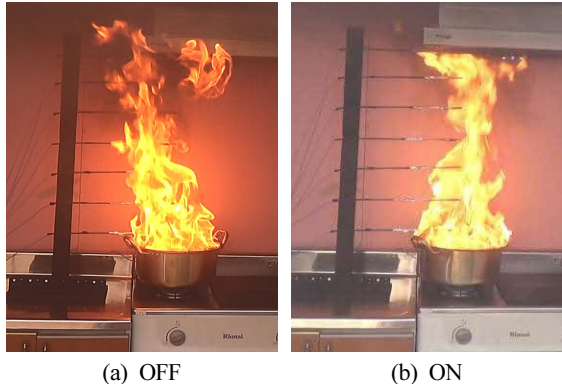
Time	Foods					
	Mackerel	Pollack	Tuna	Hen meat	Pork	Beef
Ignition time [s]	NO	NO	6,492	NO	2,643	2,819
End of experiment [s]	5,400	5,400	6,970	5,400	2,668	2,915



**Figure 5.** Ignition process of the pork fat placed in the aluminum pot.

었고, 6,970 s에 강제로 실험을 중단하였다. 특히, 참치는 식용유가 포함된 가공식품으로 대두유가 포함되어 있어서 발화의 지연 및 연소의 지속성에 영향을 미친 것으로 판단되었다<sup>(10,11)</sup>.

Figure 5는 동일한 조건에서 실험 화재 실험이 진행된 실제 사진으로 돼지고기의 발화 과정 및 연소 거동을 나타낸 것이다. Figure 5(a)는 양은냄비에 돼지고기 100 g과 물 500 mL를 동시에 넣고, 냄비의 뚜껑은 닫지 않은 상태에서 가스레인지에 점화한 직후의 실제 사진이다. 냄비가 가열되면서 냄비의 물이 증발하는 초기에는 흰색 수증기가 점점 증가하는 패턴을 나타냈다. Figure 5(b)는 물기가 없어지는 단계의 연소 거동으로 다량의 회색 연기가 발생하는 실제 사진이다. 연기의 패턴은 층류와 난류가 혼합된 거동으로 일반 목재의 연소 거동과 유사한 것을 알 수 있었다. Figure 5(c)는 음식물에서 발화된 직후의 실제 사진으로 연기량이 급격히 줄었고, 발생한 연기의 색은 검은색으로 바뀌는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 일반 바닥 연소의 형상과 유사한 달무리 패턴(Halo pattern)을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. Figure 5(d) 및 Figure 5(e)는 화염이 지속적으로 성장한 단계를 나타낸 실제 사진이다. 인화성 액체의 연소 거동인 지속적으로 화염이 일어나는 영역(Continuously flaming



**Figure 6.** Characteristics of the flame according to the operation of the kitchen hood.

region), 간헐적으로 화염이 일어나는 영역(Intermittently flaming region), 플룸 영역(Plume region) 등이 생성되는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 시간이 경과하면서 연기량도 급격히 증가하며, 화염의 높이 역시 급속하게 성장하는 것을 알 수 있었다. Figure 5(f)는 최고 화염에 도달한 실제 사진으로 화염의 하부와 상부가 완벽하게 연결되었고, 복사열 역시 매우 큰 상태로 성장된 것을 알 수 있었다. 주방 후드에 부딪힌 화염은 모래시계(Hourglass) 형태로 성장되어 천장기류를 타고 사방으로 확산되었으며, 인접 건축물로 화염이 확산되는 위험을 제거하기 위해 소화기를 이용하여 1,450 s에 강제 소화하였다<sup>(10,11)</sup>.

Figure 6은 주방 후드가 작동할 때와 작동하지 않을 때의 연소 거동을 확인하기 위해 나타난 실제 사진이다. 실험 재현 실험은 양은냄비에 돼지고기 50 g과 물 500 mL를 넣고, 냄비 뚜껑은 닫지 않은 상태에서 가스레인지에 점화시킨 후 음식물에서 발화된 상태의 화염이다. Figure 6(a)는 주방 후드가 작동되지 않은 상태에서 화염이 최성기에 도달했을 때를 나타낸 것이다. 화염에서 층류와 난류가 형성되는 것을 알 수 있고, 불완전 연소에 따른 검정색 연기가 상대적으로 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 또한, 천장에 부딪힌 화염은 쉽게 불꽃이 분산되어 사방으로 흔들리는 연소 거동을 나타내며, 중심화염은 삼각형 형태를 나타냈다. Figure 6(b)는 동일한 연소 조건에서 주방 후드를 작동시킨 상태의 실제 사진이다. 연소의 패턴은 유사한 특징을 나타냈으나 간헐적으로 화염이 일어나는 영역이 줄어들고 지속적으로 화염이 일어나는 영역이 증가하는 것을 알 수 있다. 화염의 하부에서 상부로 더욱 급속하게 확산되므로 주변에 가연성 물질이 있다면 화염의 확산은 급속하게 진행될 것으로 예측할 수 있다. 즉, 주방 후드가 작동한 상태에서 냄비의 뚜껑이 없이 동물성 식품이 착화되어 화재가 진행된다면 화염의 공격을 크게 받을 수 있다는 것을 의미한다<sup>(10,11)</sup>.

Figure 7은 양은냄비에 담긴 음식물이 과열에 의해 자연 발화되어 화재로 이어질 때 냄비 주위의 온도 변화를 측정하기 위한 온도 센서의 설치 위치를 나타낸 실제 사진이다.



Figure 7. Device to measure ambient temperature change due to the pot overheating.

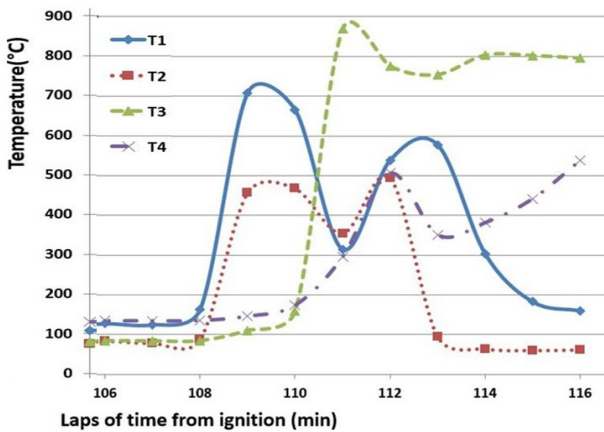


Figure 8. Characteristics of ambient temperature change due to the pot overheating.

양은냄비에 참치 1,880 g과 물 500 mL를 동시에 넣었고, 가스레인지를 점화시킨 후 음식물이 자연 발화되어 화재로 이어질 때 열전대를 사용하여 온도를 실시간 측정하였다. 냄비의 과열 실험이 진행될 때 센서의 위치와 가스레인지 상판으로부터의 이격거리는 다음과 같다.

- ① T1 : 가스레인지 상판으로부터 20 cm 이격된 냄비 중앙의 수직 상부
- ② T2 : 가스레인지 상판으로부터 80 cm 이격된 주방후드의 하부
- ③ T3 : 냄비 상부의 바깥 표면으로부터 6 cm 이격된 냄비의 뒷면
- ④ T4 : 냄비 하부의 바깥 표면으로부터 5 cm 이격된 냄비의 측면

Figure 8은 양은냄비에 담긴 참치가 과열로 발화되어 화재로 이어질 때 주위의 온도 변화를 나타낸 것이다. 가스레인지를 점화한 후 6,480 s까지 냄비 주위의 온도는 조금씩 상승하여 냄비 상부는 84.3 °C를 나타냈고, 6,492 s에 음식물에서 자연 발화되었다. 이후 화염은 급격히 성장하여 주

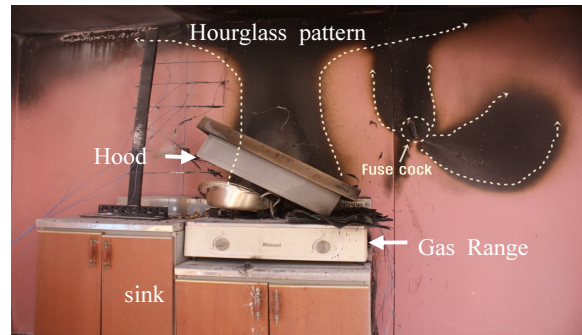


Figure 9. Carbonization patterns of the foods remaining after a fire due to the pot overheating.

방후드에 부딪히기 시작하였고, 6,540 s에 주방후드 표면의 온도 T2는 464.5 °C까지 상승하였다. 냄비 상부의 바깥 표면으로부터 6 cm 이격된 냄비 후면의 온도는 6,660 s에 복사열로 인해 869 °C까지 측정되었다. 또한, 냄비 하단의 바깥 표면으로부터 5 cm 이격된 지점의 온도는 6,720 s에 506 °C까지 온도가 상승하는 것으로 측정되었다. 즉, 동물성 식품에 착화되기 전까지 축열에 의해 온도가 완만하게 상승하는 패턴을 보이다가 착화된 이후 직접적인 화염과 복사열로 인해 주위의 온도가 급격하게 상승하는 패턴을 보였다<sup>(10,11)</sup>.

Figure 9는 냄비 과열에 의해 참치에서 발화되어 천장으로 연소가 확대된 상태에서 분말소화기로 강제소화 한 후에 탄화 패턴을 나타낸 실체 사진이다. 화염에 의해 소손된 주방 후드는 가스레인지 아래로 떨어졌으며, 벽면은 모래시계 패턴이 확인되었다. 동물성 식품에 과열로 착화되면 화염은 급속하게 성장된다는 것이 입증되었고, 화염을 조기에 진압하지 못하면 재해의 범위는 크게 확산될 것으로 판단된다. 그리고 후드가 작동하지 않거나 천장 높이보다 화염이 작게 성장할 때는 삼각형 패턴을 나타내는 것으로 해석되었다. 경질냄비, 스테인리스냄비는 양은냄비에 비해 열전달이 적어 화염이 높이 성장하지 못하고 삼각형 형태를 나타냈으며, 지방의 양이 적을 때도 삼각형 형태의 화염이 발생하였다. 즉, 화재현장에는 가스레인지 벽면에 모래시계 패턴과 삼각형 패턴이 모두 존재할 수 있다는 것을 인식하고 조사에 임해야 한다는 것을 제언한다. 화염의 더욱 진전되어 가스레인지와 연결된 염화비닐호스가 소실되면 가스 누출에 따른 연소는 더욱 확대되고, 중간밸브(Fuse cock)에 연결된 염화비닐호스와 고정밴드는 모두 이탈하게 된다는 것을 알 수 있었다<sup>(10,11)</sup>.

#### 4. 결 론

구획된 공간에 주방을 설치하고, 과열방지장치가 없는 가스레인지를 이용하여 동물성 식품의 연소 시간 및 화염 거동 등을 실시간 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 냄비의 과열에 의해 발생된 동물성 식품의 연소 초기에는 흰색의 연기와 수증기가 다량 발생했으나 물기가 없어지고 동물성 식품의 탄화가 시작되면 검정색 연기가 발생하였다.

2) 가스레인지의 과열 시간이 5,400 s가 경과되어도 고등어, 명태 및 닭고기는 착화되지 못하는 것으로 분석되었다. 그러나 돼지고기는 2,643 s, 쇠고기는 2,819 s, 참치는 6,492 s에서 발화되는 것을 확인할 수 있었다.

3) 양은냄비에 돼지지방 100 g과 물 500 mL를 동시에 넣고, 발화된 연기의 패턴은 층류와 난류가 혼합된 거동으로 일반 목재의 연소 거동과 유사한 것을 알 수 있었다. 또한, 음식물에서 발화되어 화염이 진행될 때 달무리 패턴을 나타냈고, 인화성 액체의 연소 거동과 유사한 것을 확인하였다.

4) 주방 후드가 작동할 때의 화염은 모래시계 패턴을 나타냈고, 층류와 난류가 크게 형성되는 것을 알 수 있었다. 그러나 주방 후드가 작동하지 않을 때의 화염은 삼각형 패턴을 나타냈고, 층류와 난류는 작아지는 것으로 해석되었다.

5) 양은냄비에 담긴 참치가 냄비에 담긴 참치가 과열되면 6,492 s에 자연발화 되었고 주방 후드의 표면 온도는 464.5 °C로 급격히 상승하였다. 그리고 냄비 상부의 바깥 표면으로부터 6 cm 이격된 냄비 후면의 온도는 6,660 s에 복사열로 인해 869 °C로 측정되었다.

6) 화염에 의해 소손된 주방 후드는 가스레인지 아래로 떨어졌으며, 벽면은 모래시계 패턴이 형성되었다. 후드가 작동하지 않거나 천장 높이보다 화염이 작게 성장할 때는 삼각형 패턴을 나타냈다.

이상의 결과에서 알 수 있듯이 동일한 조건의 실물 화재라 하더라도 동물성 식품의 종류, 착화 유무, 연소 거동, 화염의 성장 및 탄화 패턴 등의 차이가 있음이 입증되었다.

## References

1. Statistics of Fire Status of Kitchen Equipment, "Fire Statistics", National Fire Data System (2017).
2. KS B 8114, "Gas Range", Korea Standard Association (2017).
3. KGS AB331, "Facility / Technical / Inspection Coed for Manufacture of Gas range", Korea Gas Safety Code (2017).
4. National Statistical Office, "Total Population Survey, Current Status of Households for People Aged 65 and Older" (2017).
5. Central Dementia Center, "2016 Korea Dementia Status" (2016).
6. H. S. Joe, "A Study on the Flame Propagation Speed of Flammable Liquids and Patterns of Damage by Fire", Master's Thesis, Jeonju University, pp. 25-36 (2013).
7. H. S. Joe and C. S. Choi, "Analysis of Fire Patterns of Flammable Liquids for Oil Flow Tests of Compartment Fires with Reduced Simulation", Fire Science and Engineering, Vol. 28, No. 3, pp. 43-48 (2014).
8. H. S. Joe and C. S. Choi, "A Study on Combustion Patterns of Flammable Liquids by Contained Oil Test", Fire Science and Engineering, Vol. 28, No. 4, pp. 14-20 (2014).
9. H. S. Joe, J. O. Lee and C. S. Choi, "Propagation Speed and Characteristics Analysis of Flame by Compartment Fires of Flammable Liquids", Fire Science and Engineering, Vol. 29, No. 3, pp. 31-36 (2015).
10. J. H. Lee and C. S. Choi, "A Study on the Operating Distance of the Single Alarm Detector in Kitchen", Proceedings of 2018 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 135-136 (2018).
11. J. H. Lee and C. S. Choi, "A Study on the Analysis of Carbonation Patterns of Kitchen Fire by Food Overheating", Proceedings of 2019 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 5-6 (2019).