

## 대두유의 물리적 특성에 따른 화재감식 Fire Identification based on Physical Properties of Bean Oil

진복권<sup>†</sup> · 정수일\*

Bog-Kwon Jin<sup>†</sup> · Soo-il Jung\*

<sup>†</sup>인천계양소방서 예방안전과, \*인하대학교 산업공학과  
(2007. 10. 30. 접수/2008. 9. 11. 채택)

### 요 약

일반적으로 유류화재의 경우 상온 상압 하에서 그 물리적 성질과 에너지 특성이 유사한 양상을 나타내나 식용유에 의한 화재발생은 그 특성이 매우 특이하여 취급자의 무지로 인한 화재가 자주 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 식용유에 대한 에너지 특성과 그 물적 성질을 고찰한 연후 실제 연소실험을 통하여 식용유에 대한 물리적 성질을 검증하였다. 뿐만 아니라 실제 화재사태를 통하여 식용유에 의한 화재원인을 감식하였고 식용유화재 방지를 위한 대응방안을 고찰 하여 제시 하였다.

### ABSTRACT

Oil Fire easily generates fire in the pressure of the atmosphere and below the normal temperature. Because these discharge flammable gas and ignite within the combustibles limit in conditioning to be assisted air and an invariable density. But Kitchen Fire shows very specific properties of matter and energy qualification in most cases even though the same oil fires occurred. In this paper, around these specific character that Kitchen Fire have properties of matter or energy qualification studied on the genetic mechanism and counter measure scheme.

**Keywords :** Bean oil fire, Fire identification

### 1. 서 론

최근 소득수준의 향상으로 식용유 사용이 급속히 증가 하면서 이로 인한 화재사고가 많이 발생하는 추이에 있다. 이는 식용유의 물리적 조성조건과 그 에너지 특성이 일반 유류와는 다른 특이한 성질을 지니고 있기 때문이다. 일반적으로 가연물질이 연소하기 위해서는 그 가연물의 물리적 조성조건인 연소범위와 에너지 조건인 발화온도나 최소 착화에너지가 계 내에서 교차하여야 가능하다. 그러므로 화재의 발생은 가연성 혼합기가 연소범위 내에서 점화원에 의해 착화되는 최저온도 즉 인화점(Flash Point)에 이르면 점화가 시작되어 서서히 연소현상을 나타내나 식용유의 경우 일정온도에 이르면 점화원 없이 스스로 연소하는 발화점(Auto Ignition Point) 과 인화점의 온도차가 매우 작아 소화를 하였어도<sup>1)</sup>유면의 온도가 순식간에 발화온도에 이르러

재 연소하기 때문에 식용유 화재로 인한 피해 사례가 많은 것으로 나타나고 있다.

이러한 사례는 최근 인천지역에서 발생한 아래 Table 1의 화재발생 현황에서 잘 나타나고 있다. 2007년도 인천시 부평구의 경우 전체화재 246건 중 전기로 인한 화재가 75건(30.4%), 방화 53건(21.5%), 담뱃불 33건(13.4%), 식용유 11건(4.5%)이 발생 하였고 최근 5년간의 화재발생 현황을 살펴보면 식용유 화재의 경우 연평균 3.2배의 높은 증가수치를 나타내고 있다. 이러한 통계는 식용유로 인한 화재가 물적 피해는 물론 그에 따른 인명손실도 계속 증가 하는 것으로 분석되며 이

**Table 1.** The number of Kitchen Fire occurrence in Incheon regional

연도별	2003	2004	2005	2006	2007
발생건수	330	227	226	248	246
식용유화재	2	2	8	9	11
%	0.6	0.9	3.5	3.6	4.5

<sup>†</sup>E-mail: firenfpa@hanmail.net

에 대한 대처가 시급히 요구된다 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 일반 유류화재와는 다른 특이한 물적 성질과 에너지 조성조건을 지닌 식용유의 연소특성을 이론적으로 살펴본 연후 실험을 통하여 그 가연조건을 증명해 보고자 하였으며 식용유에 의한 화재현장을 탐방하여 그 원인을 감식하였다. 뿐만 아니라 이러한 특이한 물적 조성과 에너지 특성을 지닌 식용유 화재에 대한 대처방안도 결론으로 제시하고자 하였다.

## 2. 가연물의 물적 조건과 에너지 특성

### 2.1 가연물질의 물적 조건

가연물질이 연소하기 위해서는 연소를 위한 일정농도의 가연성 기체를 필요로 하게 된다. 이러한 물적 조성조건을 농도를 연소범위라 하는데 이 연소범위를 자격으로 화염을 전파하는 공간이라고도 한다. 연소범위는 범위를 나타내기 때문에 그 상한과 하한이 있으며 연소를 일으킬 수 있는 최저농도를 연소하한계라고 하며 그 최고농도를 연소상한계라고 한다. Figure 1은 가연물의 물적 조건을 도해한 것이다.<sup>3)</sup>

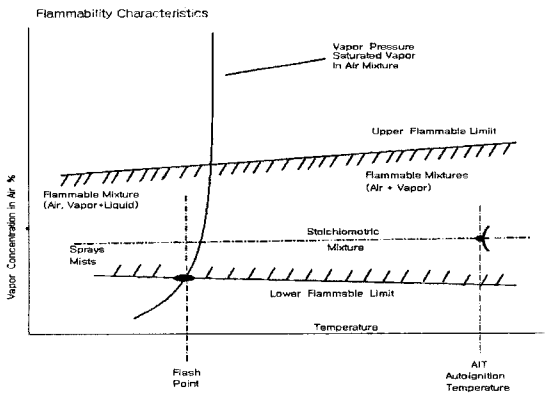


Figure 1. Physical properties of flammable materials.

Table 2. Physical properties of flammable materials

물 질 명	가연범위(vol%)		인화점 [°C]	발화점 [°C]	최소착화에너지 [mJ]
	하한계	상한계			
헥산	1.2	7.4	-26	225	0.095
톨루엔	1.4	6.7	4.5	552	0.24
등유	1.1	6	40~70	220	-
메틸알콜	7.3	36	11	464	0.14
에틸알콜	3.3	19	13	423	-
아세트알데히드	4.1	60	38	185	0.36
부틸벤젠	0.82	5.8	-	410	0.076

### 2.2 에너지 특성

가연물질이 연소하기 위해서는 물적 조건 이외에 또 하나의 조성조건인 에너지 특성을 만족 시켜야 하는데 이 에너지 특성을 발화온도 또는 최소 착화에너지라 한다. 최소 착화에너지란 가연성의 증기를 발화 시키는데 필요한 최소 에너지로 전기스파크에 의한 인화 발생 가능성을 나타낸다. 최소 발화에너지는 가연물질의 종류에 따라 다르게 나타나는 특성을 보이나 혼합기의 조성 온도 압력에 따라 변화한다. 아래 Table 2는 가연물질의 물적 조건과 에너지 특성을 나타내고 있다.

## 3. 식용유의 일반적 고찰

### 3.1 개요

식용유란 식물에 내포되어 있는 유지성분을 먹을 수 있도록 정제한 것으로 그 종류로는 올리브유 채종유 옥수수기름 면실유 대두유 등 그 종류가 다양하다. 위험물 안전관리법에서는 식물의 종자나 과육으로부터 추출한 것으로 1기압에서 인화점이 섭씨 250도 미만인 것으로 정의하고 있다. 결국 식용유 또한 유류의 일종으로 주위의 점화원에 의하여 인화될 수 있는 위험성을 지니고 있으며 일정온도에서는 스스로 발화할 수 있는 위험성이 있어 위험물 안전관리법에서 규제하고 있는 것이다. 그러나 식용유의 경우 일반유류와는 달리 그 연소특성이 매우 특이하여 화재가 많이 발생하고 있으며 소화시에도 큰 차이를 보이고 있다. 식용유 화재는 가연물과 반응하여 비누화현상을 일으키는 제 1종 소화약제가 효과가 있다. 이러한 식용유의 특이한 연소형태로 인하여 소화방법이 일반유류화재와는 다르기 때문에 NFPA(미국방화협회)에서는 식용유화재를 K 급화재로 분류하여 관리하고 있으며 UL(미국보험협회 안전 시험소)의 경우 F급화재로 분류 하고 있다.<sup>5)</sup>

3.2 식용유의 연소 특성

요즈음 시판 되고 있는 식용유의 대부분은 대두유 채종유 미강유 또는 이들의 중합유로 되어있다. 이들 식용유의 에너지 특성을 살펴보면 일반적으로 STP(1기압, 20°C)상태 하에서 그 발연점은 230~245°C, 인화점은 300°C 내외, 연소점은 340~360°C, 그리고 발화점은 400°C 내외이다. 식용유를 가열하면 백연이 발생하는데 이 백연에는 화염을 접근 시켜도 착화 하지 않는다.

이때의 유온이 발연점이다. 여기에 화염을 접근시킨 채 유온을 상승시키면 백연에 인화하여 불이 났다. 그러나 연소는 지속하지 않는다. 이때의 온도가 인화점이다. 더욱 온도를 상승시키면 인화되어 유면상에서 지속적으로 연소를 하는데 이것이 연소점이다. 이와 같이 화염이 유면 가까이 에 있는 경우 유온이 연소점으로 되면 화재가 된다. 연소점 보다 조금 높은 온도에서는 전면연소는 되지 않고 불꽃의 높이는 5~10cm 정도이다. 화염이 유면 가까이 없어도 연소점 이상으로 온도를 높여가면 순간적으로 이면에서 발화가 되어 유면 전체를 화염으로 덮는다. 이것이 발화점이다. 발화점 이상의 온도에서 불꽃의 높이는 거의 20cm가 된다. 식용유를 가열하면 10~15분 이내에 인화점에 달하며 그 후 10분 전후로 연소점에 이른다. 그러나 이 시간내에 가열을 멈추면 더 이상 화재는 진행하지 않는다.

4. 식용유의 화재실험

4.1 실험 조건

Figure 2는 실험실 설치장면과 실험준비 상태를 촬영한 것이다. 실험실의 조건은 아래와 같다.

- (1) 사용유류와 열원 : 대두유 650 ml를 프라이팬에 담아 LP 가스로 가열한 후 그 상태를 관찰 하였다.
- (2) 실험실의 기압 : 1 기압
- (3) 실험실의 온도 : 20°C
- (4) 실험실의 습도 : 70%
- (5) 점화원 : 가스불꽃

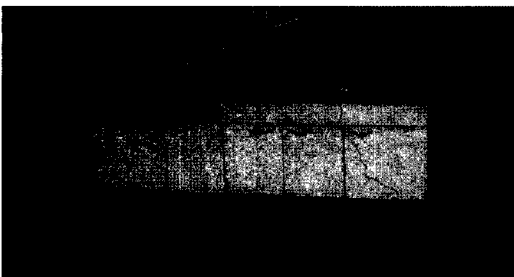


Figure 2. Combustion experiment situation of Cooking oil.

- (6) 준비물 : 온도측정센서, 디지털 온도계 등

4.2 결과 및 고찰

4.2.1 물리적 조형

식용유 연소실험 결과를 Figure 2와 같이 프라이팬에 온도측정 센서와 디지털 온도계를 접속하여 시간변화에 따른 온도변화와 가연성 가스의 조성농도를 아래 Figure 3에 도해하였다.

점화후 10분 : 유증기가 발생하고 연소범위 내의 농도에 이름

4.2.2 에너지 특성

식용유의 에너지 특성을 실험 한 것으로 점화원 없이 유면에 착화하는 현상을 아래 Figure 4에 나타내었으며 시간대별 실험결과는 아래와 같다.

- (1) 점화후 11분 : 불꽃을 대자 순식간에 인화한다. 계속적인 연소현상은 보이지 않음  
\* 유면온도 : 305°C (인화점)
- (2) 점화후 12분 : 점화원을 접촉하자 계속하여 불꽃을 내며 연소한다.  
\* 유면온도 : 330°C (연소점)
- (3) 점화후 15분 : 점화원 없이 유면에서 화염이 생성되면서 착화한다.  
\* 유면온도 : 390°C (발화점)
- (4) 착화후 1분 : 유면상의 화염이 60cm 까지 치솟는다.

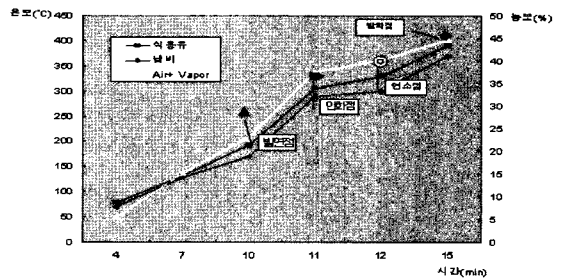


Figure 3. Heating time of cooking oil and temperature alteration.



Figure 4. Ignition experiment situation of Cooking oil.

4.2.3 기타 특이현상

연소중 유중에 물을 부으면 물은 곧 바로 100°C 이상으로 되어 비등 증발한다. 이때 기름도 착화한채 주변으로 비산하기 때문에 화재발생시 주수소화는 절대로 하여서는 아니된다. 아래 Figure 5는 연소중인 식용유에 소화를 위한 물을 투입시 나타나는 현상을 촬영한 것이다. 경우에 따라서는 1l의 기름으로도 직경 20~60 cm 높이 또는 수 미터의 화염을 생성하므로 연소중의 식용유에 물을 부어서는 아니됨을 증명하고 있다.

Figure 6은 연소중인 식용유에 물을 투입한 직후 폭발과 함께 그 때의 온도를 나타내는 것으로 922°C를 표시하고 있다. 또한 식용유는 요리중의 온도가 200°C 이하이고 연소중의 온도가 350°C 이상이기 때문에 식용유의 이러한 에너지 특성을 고려하여 적정온도에 이르면 연소기의 연료를 차단하거나 경보를 발하는 시스템을 갖추는 것이 필요하다.

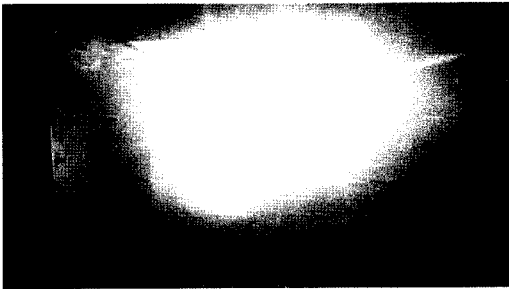


Figure 5. Combustion experiment situation of Cooking oil as throwing water.

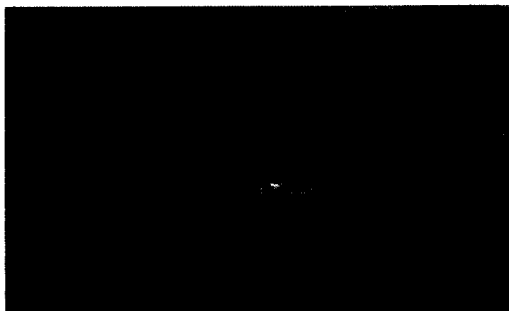


Figure 6. Flammable temperature of Cooking oil as throwing water.

5. 식용유 화재감식

5.1 감식방법과 주요 착안사항

5.1.1 감식 방법

과학적인 화재감식을 위해서는 화재조사의 과정과 내

용이 합리적이면서 과학적이고 그리고 공학적인 절차에 기반을 둔 조사를 말한다. 과학적인 화재감식을 위해서 미국방화협회 화재안전기준(National Fire Protection Association : NFPA 921) 에서는 다음과 같은 방법을 표준으로 제시 하고 있다.<sup>4)</sup>

첫째 화재는 있었는가? 화재조사의 필요가 있는지를 판단하고

둘째 어떠한 방법으로 화재조사에 임할 것인지를 결정한다.

셋째 화재감식에 필요한 자료를 수집 분석하며

넷째 화재원인에 대한 가설을 설정하여 그 가설을 시험하고 연역적인 추론을 하면서

다섯째 선택한 가설중 가능성 있는 가설이 과학적으로 시험되어 지면 이때 최종 가설을 선택하여 원인을 확정한다. 본 연구에서도 이와같은 방법을 준용하여 식용유 화재감식에 접근 하였다.

5.1.2 주요 착안사항

목재화재등 일반적인 화재감식 방법과는 달리 식용유화재의 경우는 그 물성과 에너지 특성이 특이하여 원인 규명을 위한 주요 착안사항으로는 최초 출화주변의 탄화흔적을 중심으로 접근하면서 식용유에 의한 연소흔적의 유무를 식별하고 화재발생 당시 튀김기기의 사용여부를 확인한다. 그리고 튀김기기의 자동온도 조절장치가 부착 되었는지 부착 되었으면 작동에는 이상이 없었는가를 확인 한다. 튀김기 자체의 기계적인 식별이 종료되면 가열기내의 배선용 차단기의 작동유무등 전기적 요인을 감식하여 간다. 그리고 관계자의 취급 부주의에 의한 화재가 많은 만큼 관계인의 진술을 확보하여 둔다. 발화원인을 최종적으로 결정할 경우 이와같은 내용을 종합적으로 고려하여 판단한다.<sup>7)</sup>

5.2 화재 감식 사례

5.2.1 화재 발생개요

- (1) 일 시 : 2005. 12. 12 19:00 분경
- (2) 장 소 : 부평구 부평5동 201-117번지  
바론 호프 음식점
- (3) 건물구조 : 양식 철콘조 스타라브츄 7/1층 1동8호 844.8
- (4) 원 인 : 식용유 취급부주의
- (5) 재산피해 : 2,806천원

Figure 7은 발화건물 전면 출입구에서 내부를 촬영한 것으로 소손정도가 심한 화살표(↓) 부분에는 전기 튀김 가열기가 위치하고 탄화의 정도가 가장 심하게 보이는 것으로 보아 출화의 중심부로 감별 된다.

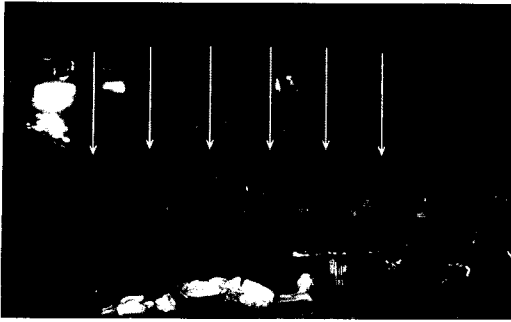


Figure 7. Inside complete view of Barron Hof.

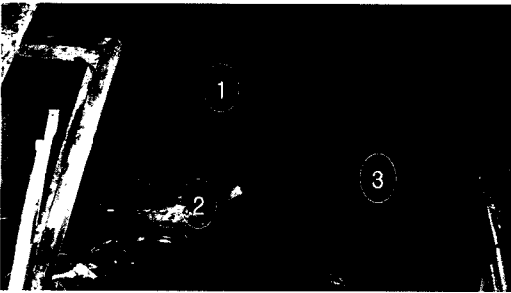


Figure 8. Fried food machine estimated to ignition point.

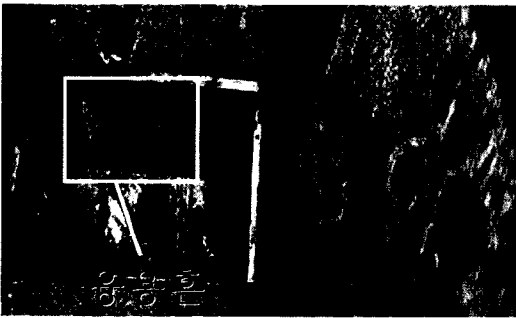


Figure 9. Inside of Fried food machine control box and molten marks.

Figure 8은 V 패턴이 식별되는 출화점이며 ①지점은 장시간 가열로 인한 백화현상이 식별되고 ②지점 용기는 화재당시 비가열상태의 프라이팬으로 추정되며 ③번 물품은 튀김용가열기기 전기 콘트롤박스를 촬영한 것이다.

Figure 9 좌측사진은 Figure 8의 ③ 부분의 튀김용 전기 콘트롤 박스 내부를 촬영한 것으로 전기로 인한 단락흔이 식별은 되나 그 형상이 구형이 아니고 광택이 없으며 전선에 피복이 용융되어 탄소가 많이 검출되는 것으로 보아 구리의 초기결정 이외의 요인이 금속결정으로 변형된 것으로 식별 된다. 결국 2차흔으로 결론 지을 수 있다. 우측화면은 콘트롤박스 내부의 용

흔을 전자현미경으로 100배 확대한 사진이다. 금속면 표면에 보이드가 많은 것으로 보아 이 튀김용 전기 콘트롤 박스의 연소는 전기적 요인 이외의 화원에 의하여 화재가 발생 한 것으로 판단 할 수 있다.<sup>2)</sup>

### 5.2.2 발화지점 추론

점포내부에 있는 주방에서 V 패턴이 식별되고 소손 정도가 가장 심한 것으로 보아 식용유 전기튀김기가 위치해 있는 장소로 추정된다.

### 5.2.3 발화원인 추론

당시 점포주가 내부청소와 영업준비 중 식용유가 과열 식용유에 발화됨과 동시에 주변가연물에 착화 즉 벽면과 컨트롤 박스 환풍기 등에 연소되면서 점포내부로 연소 확대된 것으로 식별된다.

## 6. 결 론

### 6.1 주요 화재발생 요인

본 연구에서 실험한 식용유의 물적조성과 에너지특성을 고려한 화재발생 요인을 요약하면 인화점과 발화점의 온도차가 작아 일단 유온이 상승하면 곧바로 발화점 이상의 온도에 이르러 화재위험이 많은점과 재사용 식용유의 경우 튀김가루 등 불순물로 인하여 부분적으로 열을 축적하여 고온부가 생성 착화되며 기타 튀김기내에 설치된 자동 온도제어장치의 고장으로 유온이 발화점 이상으로 가열될 경우 등을 직접적 원인으로 식별할 수 있으며 또한 착화 지점으로 추정되는 장소에 식용유에 의한 연소흔적이 식별되는지의 여부와 가열기 내부의 전기적 제어장치는 정상으로 작동하였는지 그리고 식용유의 이러한 특성에 대한 사용자들의 무지로 인하여 많은 화재가 발생하고 있으므로 관계자들의 취급부주의 등을 간접 요인으로 제시 할 수 있다.

### 6.2 취급시 주의사항과 소화방법

식용유의 경우 연소를 지속하기 위한 물적조건과 에너지 특성이 특이할뿐 만 아니라 그 조리온도가 200°C 내외이며 인화온도가 300°C, 발화온도가 400°C 정도로 이러한 식용유의 성질을 고려하여 온도제어장치를 설치, 발화온도 이상 가열시는 연소기의 작동을 자동차단시키는 방안 등이 바람직하다. 또한 유온이 발화점 이상 가열시는 화재의 억제 또는 질식만으로는 소화할 수 없고 충분히 냉각하여 소화하여야 할 것이다. 특히 연소중인 식용유에 소화수로 진화할 경우 곧 바로 100°C 이상으로 되어 비등 증발하면서 착화한 식용유도 함께

비산하기 때문에 소화작업시 세심한 주의를 요한다.<sup>6)</sup>

### 참고문헌

1. 김영수, “화재원론”, 동화기연, pp.126-127(2002).
2. 인천광역시 소방방재본부, “화재원인 조사기법”, 반도 인쇄, pp.278-279(2003).
3. 하동명, “연소공학”, 도서출판 의제, pp.73-88(2001).
4. NFPA, “NFPA 921 Guide for Fire and Investigations”, (2004).
5. NFPA, “Users Manual for NFPA 921, Second Edition”, pp.22-28(2004).
6. Quintiere, James G., “Principles of Fire Behavior”, Pre-Publication copy courtesy of Delmar Perblishers, (1999).
7. Smith, Roderick A., “Engineering for Crowed Safety”, London UK.(1993).