

식용 유류의 연소특성

송영호 · 고상삼* · 하동명** · 정국삼***

혜천대학 소방안전관리과 · *충북대학교 산업대학원 ·

세명대학교 보건안전공학과 · *충북대학교 안전공학과

Combustion Characteristics of Edible Oils

Young-Ho Song · Sang-Seom Ko* · Dong-Myeong Ha** · Kook-Sam Chung***

Dept. of Fire Safety Management, Hyecheon University

*Graduate School of Industry, Chungbuk National University

**Dept. of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University

***Dept. of Safety Engineering, Chungbuk National University

요 약

식용유 화재는 일반유류와는 달리 연소형태나 소화작업에 있어 큰 차이를 보이고 있다. 최근 5년간 특수화재 가운데 원인별 화재 통계를 보면 식용유 화재의 발생빈도는 점점 증가하고 있지만, 식용유에 대한 화재 위험성에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 식용유의 연소특성 알아보기 위하여 종류별 인화점, 연소점, 발연점에 대하여 클리블랜드 인화점 시험기를 사용하여 측정하였고, 최소자연발화온도 및 발화 · 비발화 영역 비교를 통한 발화한계 온도 곡선을 도출하였으며, 자연발화온도와 발화지연시간과의 관계를 측정하였다. 이 결과를 통하여 식용유의 화재 위험성 평가에 대한 기초적인 자료로써 제시할 수 있었다.

1. 서 론

최근 경제수준이 향상되고 식생활이 다양화되면서 냉동식품 및 패스트푸드 등 튀김요리가 대중화되었다. 또한 핵가족화 및 노령화 사회로 접어들면서 주방에 출입하는 사람이 점차 주부에서 남성 혹은 노인들로 옮겨지고 있는 실정이다.

2007년 8월 소방방재청에서 조사한 화재장소별 발생 현황을 보면 주택 · 아파트 886건 중에서 음식물 조리 중 부주의로 인한 화재가 268건으로 가장 많았고, 음식점 248건 중에서도 음식물 조리 중 부주의로 인한 화재가 40건으로 나타나는 등 주방에서 발생하는 화재가 점점 증가하고 있는 추세이다.¹⁾ 이러한 주방화재는 대부분이 식용유나 지방에 착화되어 발생한 화재이다.

식용유 화재는 일반 유류화재와는 달리 인화점(flash point), 발화점(autoignition

temperature; AIT)의 온도차가 적으므로 식용유가 인화하여 화재가 발생되면 유온이 상승하여 발화점 이상이 되면 유면상의 화염을 제거하여도 유온이 발화점 이상이므로 재발화하기 쉽다. 이러한 특성 때문에 NFPA에서는 식용유 화재를 K급 화재로 분류하고 있고, ISO와 UL에서는 F급 화재로 분류하고 있으며, 특히 ISO에서는 튀김기름화재(F급)를 별도의 국제 규격 초안(ISO CD 16045)으로 상정, 검토 중에 있다. 국내의 경우 현재까지는 특별한 규정은 없으나 국제적인 추세에 따라 F급화재로 분류에 대한 논의가 추진 중에 있다.²⁾

현재 국내에 시판되고 있는 식용유의 종류 중 주로 많이 사용되고 있는 것은 대두유, 카놀라유, 포도씨유, 현미유, 올리브유 등 5종이다. 이러한 식용유의 종류에 대하여 제조사가 제시하고 있는 화재 특성치를 살펴보면, 튀김용 식용유(유채, 콩, 옥수수 등)의 인화점은 약 300~315°C, 연소점(fire point)은 약 350~365°C, 발화점은 약 390~405°C로 제시되고 있어서 정확한 화재 특성치로서의 신뢰성을 확보하지 못하고 있다.³⁾

따라서 본 연구에서는 지금까지 식용으로 널리 사용되고 있는 콩기름과 최근 건강상의 이유로 주목받아 사용하기 시작하는 카놀라유, 포도씨유, 현미유 및 올리브유 2종 엑스트라 버진(extra virgin)과 퓨어(pure) 등 6종의 식용유를 대상으로 취급시의 화재 위험성 평가의 기초자료로서 제시하고자 인화점, 발연점(smoke point), 연소점, 발화점을 측정하였고, 발화·비발화 영역 비교를 통한 발화한계 온도 곡선을 도출하였으며, 자연발화온도와 발화 지연 시간(ignition delay time)과의 관계를 도출하였다.

2. 이론적 배경

2.1 인화점 및 연소점

인화점은 가연성 액체의 화재 위험성을 평가하는데 중요한 지표로써, 가연성 액체의 액면 가까이서 인화할 때 필요한 증기를 발산하는 액체의 최저온도로 정의한다. 인화점에는 하부인화점과 상부인화점으로 나누고 있으며, 일반적으로 하부인화점을 인화점이라 한다.⁴⁾ 인화점은 밀폐식 인화점 시험기(closed cup flash point tester) 또는 개방식 인화점 시험기(open cup flash point tester)로 측정하며, 장치로는 ASTM에서 승인한 Tag, Cleveland, Pensky Martens, Setaflash 등이 널리 사용되고 있다.⁵⁾

연소점(fire point)은 석유 화학 산업에서 발생될 수 있는 액면 화재(pool fire) 예방을 위한 중요한 자료로서, 가연성 액체 표면에 시험염(pilot flame)을 접촉시켰을 때 5초간 발염 연소를 지속하는 액체의 온도를 말한다.

대부분의 문헌들에서는 연소점이 인화점보다 약간 높으며, 물질에 따라 약간의 차이는 있지만 인화점이 40°C 이하인 물질에서는 연소점이 인화점보다 3~10°C 정도 높다고 보고되고 있다.⁶⁾

2.2 자연발화온도와 발연점

자연발화는 가연성 혼합기체에 열 등의 형태로 에너지가 주어졌을 때 스스로 타기 시작하는 산화현상으로, 주위로부터 충분한 에너지를 받아서 스스로 점화할 수 있는 최저온도

를 최소자연발화온도라고 한다. AIT는 증기의 농도, 증기의 부피, 계의 압력, 실험 개시 온도, 촉매, 발화 지연 시간 등에 영향을 받는다.

이 중에서 발화 지연 시간이란 발화가 일어나는 온도 또는 그 온도 이상에서의 가연성 혼합기의 발화는 그 온도가 되면 곧바로 일어나는 것은 아니다. 발화가 일어나기까지는 유한의 시간 지연이 있다. 즉, 물질의 온도가 상승하여 발화를 시각적으로 확인하기까지의 시간의 지연을 발화 지연 시간이라고 한다.

발연점은 일반적으로 식용유를 가열할 때 식용유의 표면에서 얇고 푸른 연기가 나기 시작하는 온도로서, 그 연기의 주성분은 아크롤레인(acrolein), 알데하이드(aldehyde), 케톤(ketone), 알코올(alcohol) 등이다.

2.3 식용유의 연소특성

식용유를 계속 가열하면 유면으로부터 백연이 발생하기 시작한다. 이때의 유온이 발연점이다. 그러나 이 백연에는 화염을 접근시켜도 착화하지 않는다. 여기에 화염을 접근시킨 채 유온을 상승시키면 백연에 인화하여 유면상에 착화된다. 그러나 연소가 지속되지는 않는다. 이때의 온도가 인화점이다. 더욱 온도를 상승시키면 인화되어 유면상에서 연속적으로 연소하는데 이것이 연소점이다.

연소점 이상으로 온도를 높여 가면 순간적으로 액면에서 발화되어 화재가 되는데 이 온도가 발화점이다. 발화점 이상이 되면 유면 전체를 덮어 가정용 튀김 냄비로는 거의 20cm 가 된다.⁷⁾

3. 실험

3.1 시료

본 실험에서 사용된 식용유는 콩기름(C사 100%), 카놀라유(O사 95.945%), 올리브유(E사 익스트라 버진 압착올리브유 100%), 올리브유(O사 퓨어 정제올리브유 89.99%+압착올리브유10%), 포도씨유(E사 100%), 현미유(H사 100%)의 6종을 선택하여 사용하였다.

3.2 실험장치 및 방법

3.2.1 인화점, 연소점, 발연점 측정

(1) 클리블랜드 개방식 장치

클리블랜드 개방식 장치는 가연성 액체의 인화점 및 연소점 측정이 가능한 장치로서 널리 사용되고 있으며, 그림 1에 나타내었다. 이 장치는 시료컵, 시험 불꽃 노즐, 가열기, 시료용 온도계 등으로 구성되어 있다.

클리블랜드 개방식 장치의 인화점 실험방법은 ASTM D92-90⁸⁾의 규정에 따라 실험하였으며, 그 절차는 다음과 같다.

- 1) 실내 온도, 기압, 시간, 습도를 기록한다.
- 2) 시료를 시료컵의 눈금까지 채취하고 시료면의 기포를 제거한다.

- 3) 시료를 매분 14~17℃의 비율로 가열하여 시료의 예상 인화점보다 56℃ 낮은 온도가 되면 가열을 조절한다. 예상 인화점보다 28℃ 낮은 온도에서 매분 5.5±0.5℃의 비율로 온도가 상승하도록 가열을 조절한다.
- 4) 예상 인화점보다 28℃ 낮은 온도가 되면 온도계의 읽기가 2℃ 상승할 때마다 시험 불꽃을 시료컵의 중심을 통하여 유면 위를 1초 정도 통과시킨다.
- 5) 시료의 표면에 분명한 인화가 확인되면 그 온도를 측정 인화점으로 기록한다. 동일한 실험을 반복하였을 때 인화점 판정에 있어서 재현성을 좋은 결과를 나타냈다.

연소점의 측정은 인화점 측정 후 다시 매분 5.5±0.5℃의 비율로 가열을 계속하여 2℃ 상승할 때마다 인화점 측정과 똑같이 시험 불꽃을 움직여서 시료를 5초 동안 계속 연소했을 때 처음 온도계의 눈금을 측정 연소점으로 기록한다.

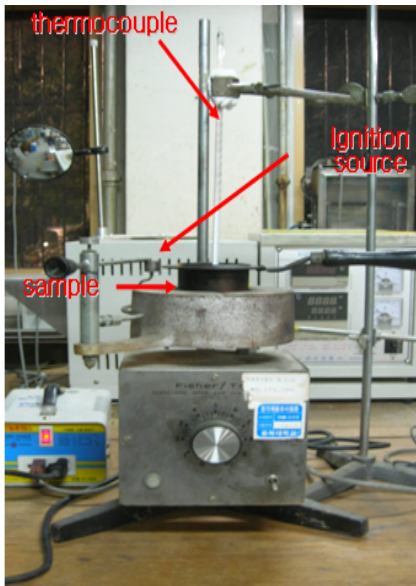


그림. 1. Cleveland 개방식 인화점 시험기

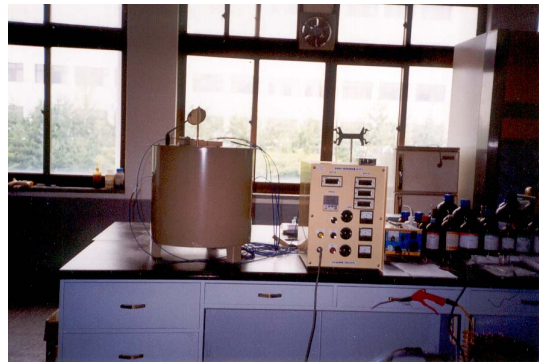


그림. 2. 자연발화온도 시험기

3.2.2 자연발화온도 측정

본 실험에 사용된 장치는 액체 화학물질의 자연발화온도 측정 장치로서 그림 2에 나타내었다. 이 장치는 크게 furnace, temperature controller, thermocouple, test flask, hypodermic syringe, mirror, air gun으로 구성되어 있다.

실험방법은 ASTM E659-78⁹⁾의 규정에 맞추어 실험하였으며, 절차는 다음과 같다.

- 1) 실내 온도, 기압, 시간, 습도를 기록한다.
- 2) 기준 온도를 설정하고, 실험 장치를 가열한다.
- 3) 설정된 온도에 도달하면 플라스크 내부에 피하주사기로 시료를 0.1ml를 넣는다.

- 4) 시료를 넣는 순간 타이머를 작동한다.
- 5) 10분 동안 관찰 후 발화가 일어나지 않으면 비 발화로 간주하고 플라스크를 에어건으로 청소 후 다시 실험을 준비한다.
- 6) 만일 10분 전에 발화가 일어나면 기준 온도 보다 30℃ 낮게 설정하고 3~5℃ 혹은 10℃씩 증가시키면서 측정한다.
- 7) 발화 시간을 2초 미만까지 측정한다.
- 8) 발화가 일어났을 때 시간과 온도를 기록한다.

4. 결과 및 고찰

4.1 인화점 및 연소점

클리블랜드 개방식 인화점 시험기로 측정한 인화점 및 연소점 측정 결과를 그림 3 및 4에 나타내었다. 시료 중 엑스트라 버진 올리브유가 가장 낮은 인화점을 나타내었고, 현미유는 다른 식용유에 비해 연소점이 다소 낮은 측정결과를 나타냈다. 그 이유는 포도씨유, 카놀라유, 퓨어 올리브유, 콩기름 등은 별도의 열처리 과정을 거치거나 혼합용매와 함께 정제된 것에 반해 엑스트라 버진 올리브유와 현미유는 별도의 정제과정 없이 순수 압착하여 추출해 낸 기름이므로 연기발생이 쉽고 연소점이 낮아 화재 위험성이 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

4.2 발연점

식용유의 종류별 발연점 측정 결과를 그림 5에 나타내었다. 분석 결과 엑스트라 버진 올리브유가 일반 정제 식용유에 비해 발연점이 약 200℃로 상당히 낮은 것을 알 수 있었고, 순수 올리브유와 정제유를 혼합하여 사용한 퓨어 올리브유의 경우 발연점은 225℃로써, 콩기름 268℃, 카놀라유 263℃, 포도씨유 247℃, 현미유 252℃에 비해 낮은 온도에서 발연되는 것을 알 수 있었다.

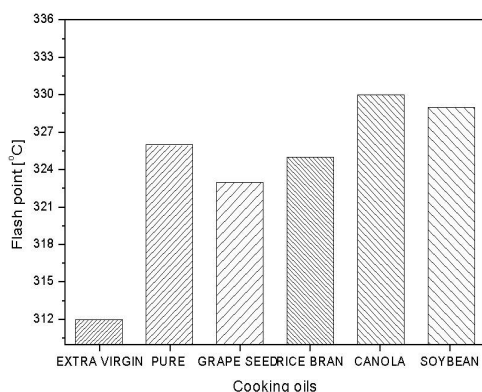


그림 4. 인화점 측정 결과

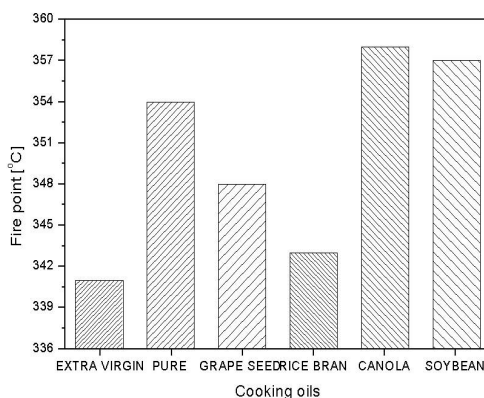


그림 5. 연소점 측정 결과

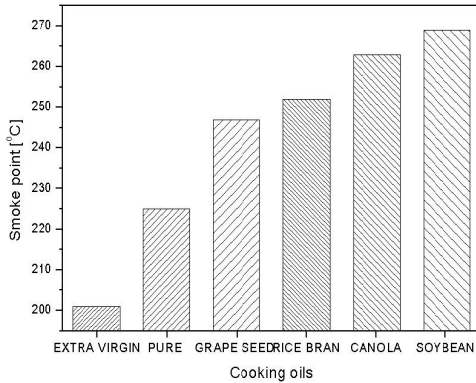


그림 6. 발연점 측정 결과

4.3 자연발화온도

어떤 물질이 자연발화하여 화재가 발생하는 온도를 구하는 것은 대단히 어렵지만, 임의의 온도에서 실험을 행하여 발화의 유무를 확인한 후, 발화가 되면 온도를 낮추고, 발화가 되지 않으면 온도를 상승시켜 발화영역과 비발화 영역을 구분하는 발화한계온도 곡선을 그림 6과 같이 얻을 수 있으며 발화영역 내에서 최저의 한계온도가 그 시료의 최소자연발화온도이다.¹⁰⁾

각각의 식용유별 최소자연발화온도는 엑스트라버진 올리브유 430°C, 퓨어 올리브유 435°C, 포도씨유 460°C, 현미유 420°C, 카놀라유 445°C, 콩기름 450°C로 측정되었다.

또한 발화 지연 시간과 최소자연발화온도와의 관계는 가연성 혼합물을 취급하는 작업이 특정 환경조건에서 안전하게 작업을 행할 수 있는 최대의 시간을 말한다.¹¹⁾ 따라서 본 연구에서는 각각의 식용유별 발화 지연 시간을 측정하였는데 그 결과는 그림 7에 나타났다. 즉, 순수 열매를 압착하여 사용하는 엑스트라 버진 올리브유, 현미유 외에 화학 용매 추출을 통하거나 정제유를 혼합하여 제조된 식용유들은 발화영역이 높은 온도에서 분포되었

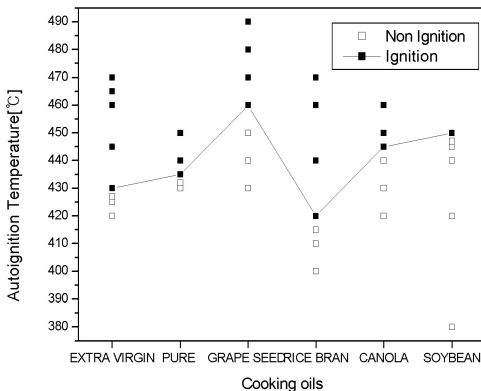


그림 7. 발화 및 비발화영역

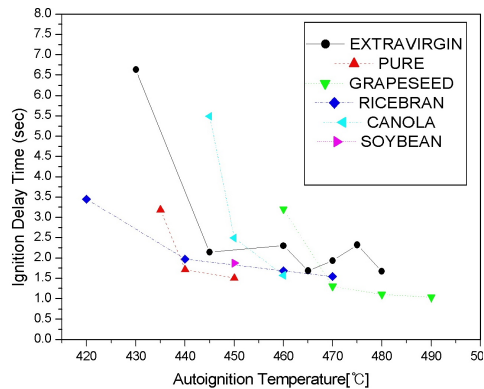


그림 8. 발화 지연 시간과 AIT와의 관계

다. 그러나 현미유의 경우 발연점은 높으나 자연발화온도는 가장 낮게 측정되었으며, 그림 7과 같이 식용유의 자연발화온도가 높을수록 발화 지연 시간은 급격하게 감소되는 경향을 나타냈다.

5. 결 론

본 연구에서는 6종류의 식용유를 대상으로 인화점, 연소점, 발연점 및 자연발화온도의 측정을 통하여 연소 특성에 대한 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 식용유 중 별도의 정제과정을 거치지 않은 엑스트라 버진 올리브유가 발연점 200℃, 인화점 312℃, 연소점 341℃로 가장 낮게 측정되었다.
2. 자연발화온도의 경우 엑스트라 버진 올리브유 430℃, 퓨어 올리브유 435℃, 포도씨유 460℃, 현미유 420℃, 카놀라유 445℃, 콩기름 450℃로 측정되었고, 자연발화온도가 상승함에 따라 발화 지연 시간은 짧아지는 경향을 나타냈다.

참고문헌

- 1) 소방방재협회, 2007년 8월 중 전국 화재발생 현황 분석 결과(2007).
- 2) 박영근, “새로운 화재의 분류 「K급화재」”방재와 보험, 한국화재보험협회, Vol. 92, pp.33-35(2002).
- 3) 한국화재보험협회, “식용유 화재의 소화 및 예방”(2006).
- 4) Meyer, E., Chemistry of Hazardous Materials, 2nd ed., Prentice-Hall Inc. New Jersey, NJ(1990).
- 5) Ha, D.M, Y.C. Choi and S.J. Lee, “Flash Points of Water+n-Propanol System Using Closed-cup Measurement Apparatus”, J. of KIIS, Vol.17, No.4, pp.140-145(2002).
- 6) V. Babrauskas, Ignition Handbook, Fire Science Publishers, SFPE(2003).
- 7) 한국화재보험협회, “식용유 화재대책-식용유 연소특성 및 소화방법에 대한 검토”, pp.50-51(1998).
- 8) ASTM, “Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup”, ASTM D92-90(1990).
- 9) ASTM, “Standard Test Method for Autoignition Temperature of Liquid Chemicals”, ASTM E659-78(1984).
- 10) 최재욱 · 목연수 · 최일곤 · 전세호 · 임우섭 · 민철웅, “Gasoline과 연료첨가제(Cenox)의 자연발화에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, 제20권, 제1호(2006).
- 11) 송영호 (2000). “Limonene-EPS 혼합물의 연소 특성”, 충북대학교 학위논문.