유지류의 물적 변화와 재발화 특성에 관한 연구

엄재복, 김재혁, 황현석†, 박소라
강원도소방본부 홍천소방서(광역,일근,초동 화재조사)

A Study on the Change of Physical Properties and Reignition Characteristics of Fat and oils

Jae-bok Eom, Jae-hyok Kim, Hyeon-seok Hwang†, So-ra Park
Gangwon Fire Headquarters Hongcheon fire station(wide area, daily service, primary fire investigation)

요약

부주의에 의하여 발생하는 화재의 원인 중 튀김유 등의 유지류가 음식물 조리 과정에서 과열되어 최초 착화물로 작용하는 경우는 매우 흔한 경우임에 반하여, 관계자의 진술 이외에 발화과정에 대한 입증자료는 매우 부족한 것이 현실이다. 이에 따라 튀김유 등이 과열로 인해 착화하는 경우 발화점이 급격히 낮아지는 점에 착안하여 유지류의 물리적, 화학적 특성 변화를 토대로 화재의 원인을 추론함으로써 화재 원인판정에 있어 결정적인 이론적 배경을 제공하고자 하였다.

본 연구 결과에 따르면 과열로 인해 발화가 일어난 유지류는 산가(AV)[1]가 급격히 증가함으로써 발화점이 현저히 낮아지고 재발화의 위험성이 급격히 증가함으로써 위험도 또한 높아지는 것으로 나타났으며, K급 화재에 대한 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 제11조의 소급적용은 동법 시행령에 구체적으로 소급 범위가 명시되어 있지 않아 과거 허가를 받은 건물에 대하여 「소화기구 및 자동소화장치의 화재안전기준(NFCS101)」의 적용에 문제가 있는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

The cause of fire caused by carelessness is the case that operation the fat and oils is overheated during the cooking process in common cases, whereas it is fact that the evidence(data) to prove the ignition process is very insufficient except for statement of the person concerned.

According to the case of oil to be ignited due to overheating was to provide a decisive theoretical background in determining the cause of fire based on changes in the physical and chemical characteristics of the oil, based on the rapid reduction of ignition point due to overheating.

According to the results of this study, the rapid increase in the number of fat and oils AV ignited by overheating reserves significantly reduces the ignition point and increases the risk of reoccurrence, which also increases the risk.

Retrospective application of Article 11 of Act on 「Fire Prevention, installation, Management of Firefighting Facilities」 is not specifically specified in the Enforcement Decree of the same Act, so it is not possible to apply 「Fire safety standards for fire extinguishers and automatic fire extinguishers(NFCS 101)」 for previously licensed buildings.

†E-mail : hwang0619@korea.kr

1) 유지 1g에 함유된 유리 지방산을 중화하는데 필요한 수산화칼륨의 mg수로 지방산에 존재하는 유리지방의 양을 측정함과 동시에 품질의 척도가 된다.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

화재는 다양한 원인으로 인해 발생하고 있지만 그중에서도 부주의에 의한 화재는 화재발생 원인 중에서 가장 높은 비율을 차지하는 원인 중의 하나이다. 기존에 화재의 발화지점을 추정하는 방법에 있어 높은 신뢰도를 보였던 것은 화재의 직·간접적 원인으로 발생하는 전기적 특이점을 식별하는 것에 의한 발화부의 추정 및 발화지점의 축소, 발화지점에서 발견되는 발화열원에 대한 감식 및 감정의 방법으로 구체적인 물적 증거를 제시하는 방법이었던 것에 반하여 부주의에 의한 화재는 관계자의 초기 진술을 토대로 하여 발화열원 및 발화지점을 추정하는 방법을 취하여 온 것이 사실이다. 특히 음식물 조리 중 튀김유 과열에 의하여 발생한 화재는 가스레인지의 중간밸브 및 스위치의 개방여부를 확인하고, 관계자의 진술이 이의 상황과 일치하는 경우 화재 원인으로 판정하여 화재조사 보고서에 기술하는 방법으로 완결지어 왔다.

이에 더하여, 본 연구에서는 화재원인 판정 과정에 대한 이론적 배경을 제공하고자 튀김유 등의 유지류가 과열에 의해 발화하는 과정의 대한 메카니즘을 분석, 이에 따른 물리·화학적 변화의 특성을 살펴보았으며, 향후 현장 활동 시 수집된 화재감식 정보를 바탕으로 튀김유 등 유지류 화재의 연소 확대 순간에 대한 상관관계를 종합적으로 고려하여 원인을 판정함으로써 부주의에 의한 화재 발생 시 좀 더 논리적이고 명확한 화재 원인을 도출하는 데 도움이 되고자 본 연구를 수행하게 되었다. 또한 그 결과에 따라 2017년 6월 12일부터 시행되고 있는 「소화기구 및 자동소화장치의 화재안전기준(NFSC 101)」에 의한 K급 소화기의 의무 설치기준이 주방 화재예방을 위해 개정된 이래 제도적으로 보완이 필요한 사항에 대한 개선 방안을 제안 하고자 하였다.

한편, 최근 5년간 전국에서 발생한 화재는 216,499건으로 51.5%에 해당하는 111,424건이 부주의에 의하여 발생하고, 그 중 음식물 조리 중 발생한 화재는 19,505건으로 부주의에 의한 화재발생 대비 17.5%를 차지한다. 그리고 이로 인한 인명피해는 부주의에 의해 발생하는 인명피해 4,212명 중 770명(18.3%)이 음식물 조리 중 발생하여 그 피해가 적지 않다. 또한 2017년을 제외하고 부주의에 의한 인명피해 발생 비율에 큰 변동은 없으며, 음식물 조리 중 발생하는 인명피해 발생 비율 또한 2016년을 제외하고 매년 일정 수준을 유지하고 있다.
2014년 1월부터 2018년 말까지 식품을 매개로 하여 발생한 화재는 전체 화재의 약 8%에 이르는 17,247건으로 그 중 튀김유가 열매체로 부터 최초 착화물로 작용한 화재는 총 3,132건으로 식품을 매개로하여 발생하는 화재의 18.2%에 이른다.

Table 1. 전국에서 부주의에 의해 발생한 화재 및 인명피해 현황

년도	총화재(건)	인명피해 (사망/부상)	부주의(건)	인명피해 (사망/부상)	음식물 조리중(건)	인명피해 (사망/부상)
2018	42,338	369/2,225	20,352	70/798	3,647	10/149
2017	44,178	345/1,852	23,429	109/855	3,658	13/142
2016	43,413	306/1,718	22,629	65/757	4,116	2/159
2015	44,435	253/1,840	23,525	63/784	4,515	12/132
2014	42,135	325/1,856	21,489	70/641	3,572	20/131
계	216,499	1,598/9,491	111,424	377/3,835	19,508	57/713

1.2 화재사례

1.2.1 춘천시 「GS칼텍스 대영주유소 휴게실 식용유 재발화 화재」

○ 일　시 : 2015. 10. 11.(일요일) 19:01~19:56(완진 19:14)

○ 장　소 : 춘천시 영서로 3XXX(신동 8XX-X) GS칼텍스 XX주유소 3층

○ 내　용 : GS칼텍스 XX주유소 건축물 3층에 위치하고 있는 직원 휴게실에서 직원 이XX(남/65년생)가 저녁때 먹다 남은 치킨을 야식으로 먹기 위해 다시 조리하는 과정에서 후라이팬에 식용유를 넣고 가열한 후 가스레인지의 불을 끈 상태에서 뚜껑을 덮어 놓고 잠깐 동안 컴퓨터를 보다가 다시 뚜껑을 열자 후라이팬에서 화염이 올라와 휴게실 내부로 연소 확대된 화재 사고로 주유소 직원 이XX(남/65년생)가 자체진화 하던 중 후라이팬을 엎질러 발등에 3도의 화상을 입어 병원으로 이송.

Fig 1. GS칼텍스 대영주유소 화재발생 현장 및 조리기구

1.2.2 홍천군 「하모니빌라 식용유 발화 화재」

○ 일　시 : 2018. 10. 28.(일요일) 17:17~19:25(완진 17:50)

○ 장　소 : 홍천군 홍천읍 석화로 X(희망리 3XX-X) 하모니빌라 X동 4XX호

○ 내　용 : 하모니빌라 4XX호에 거주하고 있는 정XX(여/88년생)이 아이들에게 고구마 튀김을 해주기 위해 가스레인지 위에 튀김유를 올려놓고 가열하던 중 튀김가루가 떨어져 인근 편의점으로 튀김가루를 사러 잠깐 나갔다 오는 사이 가스레인지 위에 올려 있던 튀김유가 발화하여 하모니빌라 4XX호 내부가 전소한 화재사고로 안방에서 잠을 자고 있던 아들이 화재신고를 받고 출동한 소방대에 의해 구조된 후 원주 기독교 병원으로 이송되었음.

Fig 2. 대영빌라 화재발생 현장 및 조리기구

1.3 이론적 배경

1.3.1 튀김유의 물리·화학적 특성

1.3.1.1 유지의 정의

유지란 1개의글리세린에 3개의 지방산이 결합한 물질(트리글리세라이드)로 결합하고 있는 지방산의 종류 및 그 위치에 따라 유지의 종류는 다양해 진다. 글리세린 1개에 2개 또는 1개만이 지방산이 결합한 경우가 있는데, 전자를 디글리세라이드(diglyceride), 후자를 모노글리세라이드(monoglyceride)라고 부르고 이것들은 보통 유화제로 이용된다. Fig3과 Fig4는 지방산과 트리글리세라이드(불포화지방산)의 기본구조를 나타낸다.

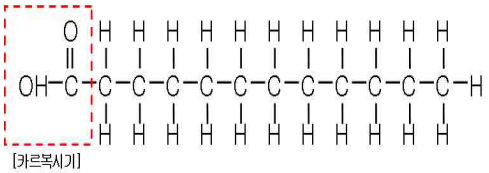


Fig 3. 지방산의 기본구조

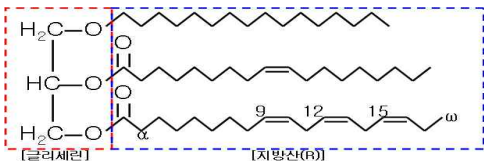


Fig 4. 트리글리세라이드

가. 지방산(fatty acid)

유지의 90% 이상을 차지하고 있는 지방산은 탄소사슬에 카르복실기(-C00H-)가 결합되어 있는 구조로 되어 있다. 그리고 그 골격을 이루는 탄소수와 이중결합수에 따라 명칭이 결정된다.

Table 2. 주요 유지류의 구조 및 종류와 명칭

탄소수	이중결합수	명 칭	유지의 종류
탄소수 12개(C12)		라우린산(lauric acid)	야자유, 팜유
탄소수 16개(C16)		팔미틴산(palmitic acid)	우지, 돈지
탄소수 18개(C18)		스테아린산(stearic acid)	동물계 유지
탄소수 18개(C18:1)	이중결합 1개	올레인산(oleic acid)	까놀라유,올리브유
탄소수 18개(C18:2)	이중결합 2개	리놀레인산(linoleic acid)	대두유, 면실유
탄소수 18개(C18:3)	이중결합 3개	리놀레닉산(linolrenic acid)	아마씨유
탄소수 20개(C18:4)	이중결합 4개	아라키도닉산(arachidonic acid)	주로 육류에 포함

나. 글리세린(glycerin)

글리세린은 유지의 성분으로 인지질의 주요 구성 성분으로 인산기의 위치에 따라 α형과 β형이 있다. 정도가 있는 단맛의 액체로, 유지, 화장품, 유화제 제조 등 많은 용도로 이용되며, 유지의 가수분해를 통하여 얻을 수 있고 그 외에도 화학적인 합성에 의하여 제조가 가능하다.

다. 포화지방산과 불포화지방산

지방산의 종류는 다양하지만 식물성의 액체 식용유를 구성하는 지방산의 종류는 그렇게 많지 않다. 그것의 지방산은 초산 등과 같은 종류의 산이지만 분자량이 크기 때문에 산성이 약하게 된다. 포화지방산은 다른 물질과 결합하고 반응할 수 있는 특수한 구조인 이중결합을 가지고 있지 않기 때문에 대단히 안정하고 상온에서 대부분 굳어져 있다. 불포화지방산은 이중결합을 가진 지방산으로 보통 액상이며, 이중결합의 많고 적음에 따라 불포화도의

대소가 결정된다. 불포화도가 많은 것은 고도불포화지방산이라 부르며, 불포화도가 높으면 따라서 이중결합의 수가 많아 불안정하다.

라. 포화지방산

포화지방산은 우지, 돈지, 야자유, 팜유 등 고형지의 주성분으로써 그 함량이 많다면 유지의 성질은 안정하며, 상온에서 굳어 있다. 포화지방산은 대두유나 면실유 등 일반 식용식물유에는 약간 함유되어 있다.

마. 불포화지방산

상온에서 액체상태의 기름으로 단가 불포화지방산과 다가 불포화지방산으로 구분한다. 다가 불포화지방산은 ω-3계[2] 지방산과 ω-6계[3] 지방산으로 구분되며, 다가 불포화지방산 중 ω-3계 지방산은 참치, 고등어 등 생선기름, 들깨기름, 콩류에 많고, ω-6계 지방산은 옥수수기름, 면실유, 콩기름, 해바라기씨 기름 등에 다량 포함되어 있다.

자연계에 나타나는 대부분의 지방산은 가지가 달리지 않은 미분지사슬(unbranched chain)을 형성하는 짝수의 탄소를 갖고 있다. 또한 대부분의 지방산의 이중결합은 cis형이다.

cis형 구조 trans형 구조

Fig 5. 자연계에 존재하는 불포화지방산의 이중결합 구조

불포화지방산은 더 낮은 융점(녹는점)을 가지며 실온에서 액체상태 이다. cis형 구조는 꺽임구조를 만들기 때문에 불포화지방산은 포화지방산처럼 밀집되지 못한다. 예를 들면, 탄소수 16개의 포화지방산인 팔미트산(C16)에 녹는점은 63℃인 반면 불포화지방산인 팔미톨레산(C16:1)의 녹는점은 0℃이다.

1.3.1.2 유지의 가열산화

유지의 가열산화는 공기의 존재하에서 유지를 고온으로 가열 할 때 일어나는 산화과정이다. 식용유지의 가열산화는 140~200℃에서 튀김과정이 가장 중요하다고 볼 수 있다. 고온에서 유지를 가열하였을 때는 수많은 반응과 복잡한 변화가 일어나는데, 이러한 반응과 변화는 식용유지의 향미, 외관, 영양가 및 독성의 관점에서 볼 때 매우 중요하다.

일반적으로 튀김을 하는 경우처럼 장시간 고온으로 가열하면 저장 중의 산패와 같은 현상이 단시간에 일어나는 것으로 생각된다. 또 고온에 의한 중합, 열분해 등 여러 가지 반응이 일어난다. 고온으로 가열하는 시간이 길면 산가, 과산화물가, 점도 및 굴절률이 높아지며, 요

---

2) *N*-3 지방산은 대중적으로 ω-3 지방산, 오메가-3 지방산으로 알려져 있으며, 오메가-3 지방산, ω-3 지방산 또는 *N*-3 지방산은 탄소 사슬의 끝에서 세번째 탄소에서부터 이중 결합(C=C)이 시작되는 필수 불포화지방산이다. 탄소 사슬의 양 끝은 카르복시기(COOH)와 메틸(CH_3)기이며, 첫 번째 이중 결합의 위치는 메틸기에서부터 세며, 이를 오메가(omega end) 또는 *n*이라고 부른다.

3) 불포화지방산을 분류하는 방법에는 오메가(ω, omega) 분류법이 있다. 지방산의 한쪽 끝은 카복실기(-COOH)이고 다른 쪽 끝은 메틸기(-CH_3)인데, 메틸기가 붙어 있는 탄소(ω탄소)로부터 몇 번째 탄소에 이중결합이 있는가에 따라 ω-3 또는 ω-6 지방산으로 나눌 수 있다. ω-6 지방산은 ω탄소로부터 6번째 탄소에 이중결합이 있는 불포화지방산을 말하며, 리놀레산과 아라키돈이 있다.

오드가가 낮아지고 있어 중합반응이 일어나며, 불포화도가 적어진다. 한편 분해 형성된 유리지방산의 존재로 튀김유의 경우 그 기름의 발연점을 급격하게 저하시킴으로써 튀김식품의 품질 저하를 가져오게 된다.

지방은 고온에서 산화가 더욱 촉진 될 뿐 아니라 고온에서 장시간 가열하면 산화 이외에 중합, 가수분해 등의 반응이 일어난다. 이러한 튀김유의 가열산화 반응에서 일어나는 물리·화학적 변화 중 산소 존재 시 200℃ 내·외로 유지를 가열할 때 일어나는 변화는 다음과 같다.

(1) 가속된 자동산화(accelerated autoxidation)

(2) 가열 중합반응(thermal polymerization) ⇒ 점도의 증가

(3) C-C bond의 분해(fragmentation)에 따른 carbonyl화합물의 생성

(4) Ester bond의 분해에 의한 유리지방산(free fatty acid)의 생성 ⇒ 산가(acid value)의 증가

이에 따라 지방은 고온에서 산화가 더욱 촉진되어 유지의 산패와 같은 현상이 단시간에 일어나고 고온으로 가열하는 시간이 길면 산가가 급격히 변화하며, 분해 형성된 유리지방산의 존재로 기름의 발연점은 급격히 저하되므로 화재가 진화된 이후라도 발연점이 낮아진 유지류는 고온 축열에 의하여 재발화 될 위험성이 높아진다고 할 수 있다.

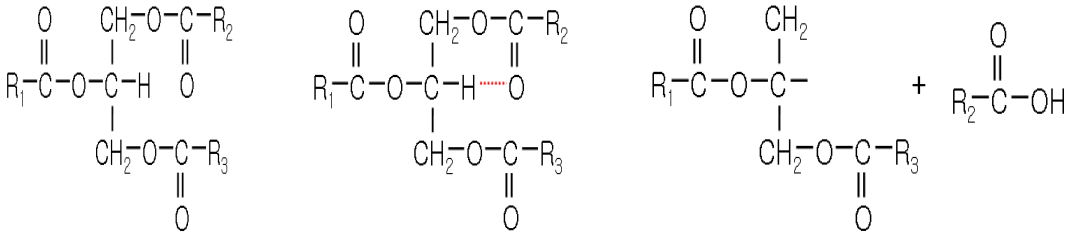


Fig 6. 산소 존재 시 200℃ 내·외로 유지를 가열할 때 유리지방산이 생성되는 과정

1.3.2 가열산화에 의한 튀김유의 물리·화학적 특성 변화

1.3.2.1 발연점, 발화점, 연소점

튀김유를 점점 강하게 가열하면 유지표면에서 엷은 푸른 연기가 발생하는데, 이때의 온도를 발연점이라고 하고, 발생한 연기가 공기와 섞여서 순간적으로 발화하는 온도를 발화점이라고 하며, 유지가 연속적인 연소를 지속하는 온도를 연소점이라고 한다.

튀김유의 발연점, 발화점, 연소점은 여러 가지 요인에 의해서 영향을 받는데, 가장 큰 요인 중 하나는 유리지방산 함량으로 유리지방산 함량이 많을수록 발연점은 낮아진다. 유지는 정제정도에 따라 다르며, 정제가 잘 되지 않는 유지일수록 유리지방산 함량과 불순물 때문에 발연점이 낮아진다.

또한, 사용하는 튀김유의 용기 표면적이 넓을수록 낮아지고 튀김유에 혼입된 미세입자가 많으면 이 입자 때문에 거품이 쉽게 일어나고 발연점이 낮아지며, 사용횟수가 많으면 열분해로 인한 유리지방산 함량이 많아지고 미세입자가 혼입되는 효과가 있으므로 발연점, 발화점, 연소점이 낮아진다.

1.3.2.2 산가(Acid value, AV)

유지는 가공, 저장, 이용 중에 공기, 빛, 열, 효소 등의 작용을 받아 맛, 냄새, 색 등이 나빠지고 인체에 해로운 물질도 생성된다. 이와 같은 유지의 품질 저하현상을 산패라고 하는데, 유지가 산패되면 식용이 불가능하다. 유지의 산패는 비록 유지의 함량이 낮더라도 일정한 조건이 갖추어지면 대부분의 식품에서 발생한다.

식용유지의 산패 정도를 측정하는 방법에는 산가, 과산화물가, TBA가 carbonyl가 등이 있는데, 산가를 측정하는 것이 일반적이다. 산가는 유지 1g 중에 존재하는 유리지방산을 중화하는데 필요한 KOH의 mg수로 나타낸다. 즉 산가는 실제적으로는 유지 중에 존재하는 유리지방산의 양을 나타낸 것이지만, 이를 KOH의 mg수로 간접적으로 표현한 것이다. 왜냐하면 동일한 유지라 하여도 유지를 구성하는 지방산이 여러 종류이기 때문에 이 방법에 의해서는 유지 중의 유리지방산의 양을 표현하는 것이 불가능하기 때문이다. 식품공전에서는 각종 유리지방산의 함량을 규제하고 있으며, 이번 실험에 사용될 유지류의 산가와 식품규격상의 산가는 다음과 같다.

Table 3. 각종 유지의 정제전 산가 및 식품 규격상의 산가

유지의 종류	산 가	식품규격 산가
돈지	0.5~0.8	0.3이하
대두유	0.2~1.8	0.2이하
팜유	9~11	0.2이하
까놀라유(유채유)	0.4~1.0	0.2이하

1.4 연구범위 및 실험기자재

1.4.1 연구범위

본 연구의 실험시료는 시중에서 시판되면서 가정 및 식당에서 주로 사용되는 돈지, 대두유, 팜유, 까놀라유를 대상으로 하였으며, 발연점 및 최초 착화 온도와 시간, 최초 착화가 일어나기 직전 일정 온도에서의 산가를 측정하였고, 이의 대조군으로 착화가 일어난 이후 화재가 소멸된 상태에서 최초 착화가 일어나기 직전과 동일한 온도의 산가를 측정하여 튀김유의 최초 착화 이전과 이후의 물리·화학적 변화를 관찰하였다.

또한 이들 중 까놀라유는 최초 착화가 일어나 발화가 시작된 후 화기를 제거한 상태에서 뚜껑을 덮어 질식소화 하였으며, 1분간 뚜껑을 덮은 상태로 유지하여 발연점 및 발화점이 낮아진 까놀라유에 재발화가 일어나는지 상황을 재연하였다.

마지막으로 기존의 화재분류체계에서 B급 화재로 분류되던 유지류 등 튀김유의 화재가 2017년 6월 12일부터 K급 화재로 분류됨에 따라 「소화기구 및 자동소화장치의 화재안전기준(NFSC 101)」에 의하여 K급 소화기를 의무적으로 설치하도록 구제되고 있는바, 현재 시행되고 있는 K급 소화기의 설치기준 및 관계 법령사항을 검토하여 화재안전 기준이 개정된 이래 보완이 필요한 사항에 대한 제도개선 방안을 제시하여 유지류 등 튀김유에 의한 화재를 예방에 도움이 되고자 하였다.

1.4.2 실험장비

· 실험준비 : 시료(돈지, 대두유, 팜유, 까놀라유), 온도기록장치, 영상기록장치, 발화점측정

기(PT-9001), 산가측정용지, 내열장갑, 보안경 등

Fig 7. 시료 열전대, 온도기록 장치 및 발화측정기(PT-9001) 설치

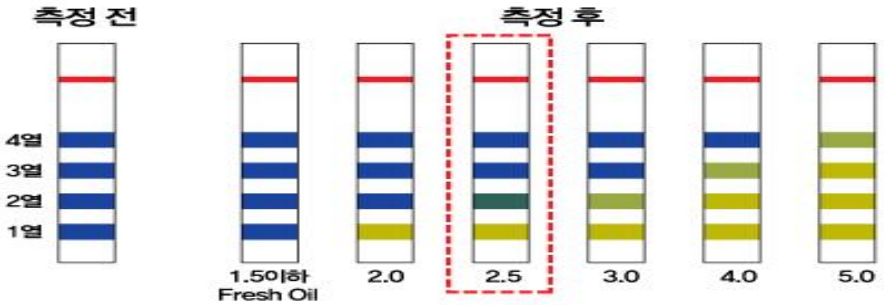


Fig 8. 산가측정용지 색상 변화표

산가측정지 청색밴드 중 1열이 연노랑, 2열이 쑥색을 띠며 산가는 2.5로 식별

2. 본론

2.1 화재재현실험

2.1.1 튀김유 발화점 및 최초착화 이전 AV측정

2.1.1.1 실험방법

· 궁중팬 4개에 열전대와 온도기록장치를 설치하고, 실험시료를 ①대두유 ②까놀라유 ③팜유 ④돈지의 순서로 각각 200ml씩 담아 휴대용가스버너에 올려놓고 점화 한다.

· 시간 변화에 따른 각 시료의 온도 변화와 발연점을 기록하고 각각의 튀김유가 발연점에 이른 후 발화되기 직전 산가측정용지를 이용하여 AV를 측정한다.

Fig 9. 실험 중 발연점에 이른 튀김유와 온도기록장치

2.1.1.2 실험결과

· 실험결과 각각의 튀김유는 가열이 시작 후 10~17분이 지나서 유증기가 육안으로 관찰되기 시작하였는데, 이때의 온도 최고치는 183~240℃ 내·외이다. 또한 유증기가 관찰된 후 약 1시간이 지날 때 까지 궁중팬의 뚜껑이 개방된 상태에서는 튀김유에서 발생한 유증기가 증발하면서 유면이 낮아질 뿐 [Fig 10]에서 보는 바와 같이 착화는 일어나지 않았다.

[Table 4]는 튀김유의 발연점과 온도 관계를 신뢰성 있는 다른 실험에서 클리블랜드 개방식 인화점 측정기로 측정한 결과[4]를 대조군으로 비교하여 정리한 것이다.

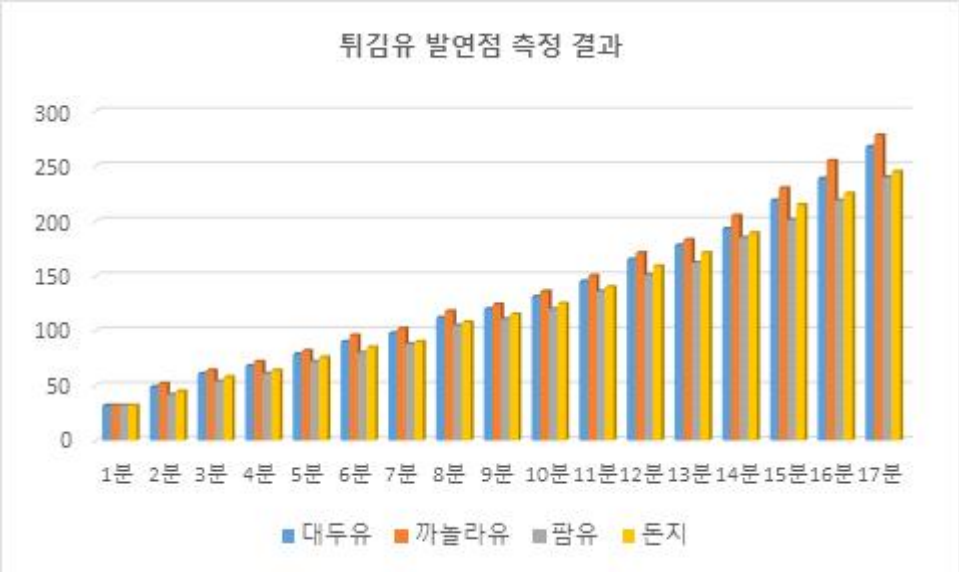


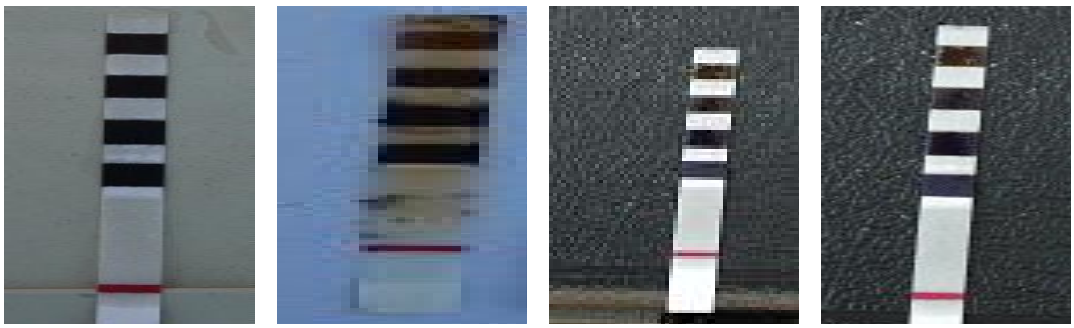
Fig 10. 튀김유 가열 후 발연점에 오르기 까지의 온도-시간 그래프

Table 4. 튀김유의 발연점 실험결과 및 대조군

구 분	실험결과	대조군
대두유	198	232℃
까놀라유	183	238℃
팜유	240	×
돈지	225	×

또한, 튀김유에서 발연이 시작된 후 최초 착화가 일어나기 전까지 약 200~230℃ 사이의 온도에서 산가측정용지를 이용하여 간이측정 방식으로 각 튀김유의 AV를 측정한 결과 2열 쑥색 이하인 0~2.5의 값을 보였다. [Fig 11]은 튀김유가 최초 착화하기 이전 산가측정용지를 튀김유에 담가 AV를 측정한 결과이다.

4) 고상섬(2008. 12.), 식용유의 발화 특성에 관한 연구 p34, 충북대학교 산업업대학원 안전공학 석사학위 논문.



대두유 까놀라유 팜유 돈지

Fig 11. 튀김유 최초 착화 이전 발연점 이상의 온도에서 AV를 측정한 결과

2.1.2 튀김유 발화 및 재발화

2.1.2.1 실험방법

· 2.1.1.1.에 연속된 실험으로 발연점에 이른 후 산가측정용지를 이용하여 AV를 측정한 궁중팬 4개의 각 실험시료(①대두유 ②까놀라유 ③팜유 ④돈지) 200ml를 연속하여 가열한 후 발화시킨다.

· 실험시료가 발화하면 연소점에 이를 때까지 가열을 계속하고 화염이 안정화되면 화원을 제거한 후 궁중팬의 뚜껑을 덮어 질식 소화한다.

· 궁중팬 내의 화염이 질식 소화된 것이 확인되면 뚜껑을 열어 궁중팬 내에서 재발화가 일어나는지 확인한다.

2.1.2.2 실험결과

· 실험이 시작된지 1시간, 실험시료가 발연점에 이른 후 약 30분 이상 가열을 계속할 때까지 각 실험시료에 발화는 일어나지 않았으며, 각 시료별로 220~240℃의 온도가 유지된 상태로, 계속되는 유증기 증발에 의해 튀김유 유면이 낮아지는 현상이 관찰됨.

· 이는 화원이 약한 상태에서 실험장소의 여건상 환기조건이 양호하여 튀김유 자체에 축열과 방열이 평형을 이루어 발생하는 현상으로 ②번 시료인 까놀라유의 화원을 화력이 더 큰 주물레인지로 바꾸어 튀김유에 축열이 더 잘 일어나도록 하고, 발화점을 낮추기 위하여 튀김가루를 다량 넣어 휘발성 유증기의 발생이 더 많아지도록 하였으며, 열전대를 제거한 후 뚜껑을 덮어어 궁중팬 내부의 온도를 높이는 방법으로 튀김유의 발화를 유도함.

· ②번 시료인 까놀라유가 담긴 궁중팬 안에 휘발성 유증기가 충만하고, 까놀라유 자체의 온도가 충분히 상승한 상태에서 궁중팬을 덮어 놓았던 뚜껑을 열었을 때 발화가 일어났으며, 발화가 일어난 까놀라유를 휴대용가스버너로 이동하여 연소상태를 유지한 후 다시 뚜껑을 덮어 질식 소화함.

· 질식 소화한 ②번 까놀라유의 궁중팬을 바닥으로 옮겨 화원을 제거한 후 1분간 뚜껑을 덮은 상태로 유지하였다가 다시 뚜껑을 열었을 때 까놀라유에서 재발화 됨.

최초발화 질식소화 화원제거 재발화

Fig 12. ②번 시료인 까놀라유의 발화 및 재발화

2.1.3 최초 발화한 튀김유의 AV측정 및 재발화 온도 측정

2.1.3.1 실험방법

· 2.1.2.에 연속된 실험으로 2.1.2.2.와 동일한 방법으로 각 실험시료(①대두유 ②까놀라유 ③팜유 ④돈지)를 발화시킨 후 질식소화 한다.

· 질식 소화한 실험시료의 온도가 내려가기 전 183~240℃의 발연점 온도 내·외에서 산가측정용지를 이용하여 각 실험시료의 AV를 간이 측정한다.

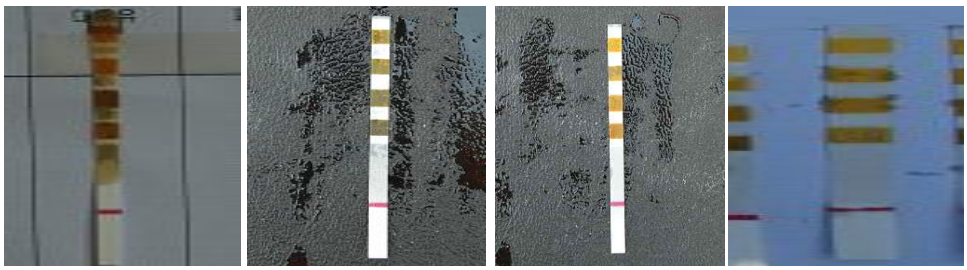
· 산가측정용지를 이용하여 AV를 측정한 실험시료 대상으로 발화점 측정기를 이용하여 재발화 온도를 측정한다.

대두유 까놀라유 팜유 돈지

Fig 13. 최초 발화가 일어난 튀김유를 질식 소화한 후 채취한 샘플

2.1.3.2 실험결과

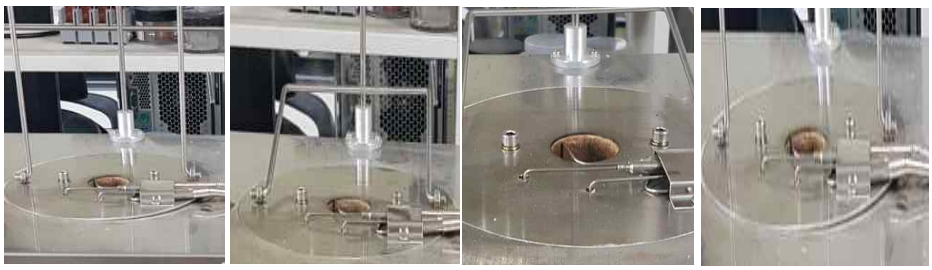
·산가측정용지를 이용하여 최초 발화가 일어난 튀김유를 대상으로 AV를 측정한 결과 실험시료(①대두유 ②까놀라유 ③팜유 ④돈지) 모두 최초 발화가 일어난 순간 AV가 급격히 상승하여 [Fig 14]에서 보는 바와 같이 5.0 이상 나오는 것으로 측정되었다. 이는 튀김유에 최초 착화가 일어나기 직전 발연점에서 측정한 AV가 0~2.5의 값과 확연히 구분되는 것으로 튀김유에서 최초 발화가 일어나게 되면 유리지방산의 함량이 급격히 증가하게 되고 미세입자가 혼입되는 효과가 있어 AV의 급격한 증가와 함께 발연점, 발화점, 연소점이 낮아지는 효과가 있다는 것을 알 수 있다.



대두유 까놀라유 팜유 돈지

Fig 14. 질식소화 후 발연점 온도에서 AV를 측정한 결과

· 또한 최초 발화가 일어난 후 질식 소화한 튀김유 샘플을 채취하여 정확한 온도 측정을 위해 발화점 측정기로 재발화 온도를 측정한 결과 [Table 5]에서 보는 바와 같이 실험시료 (①대두유 ②까놀라유 ③팜유 ④돈지) 모두 발화점이 낮아진 것을 확인할 수 있었다.



대두유 까놀라유 팜유 돈지

Fig 15. 질식소화 후 재발화 온도 측정(강원소방본부 감정·분석실)

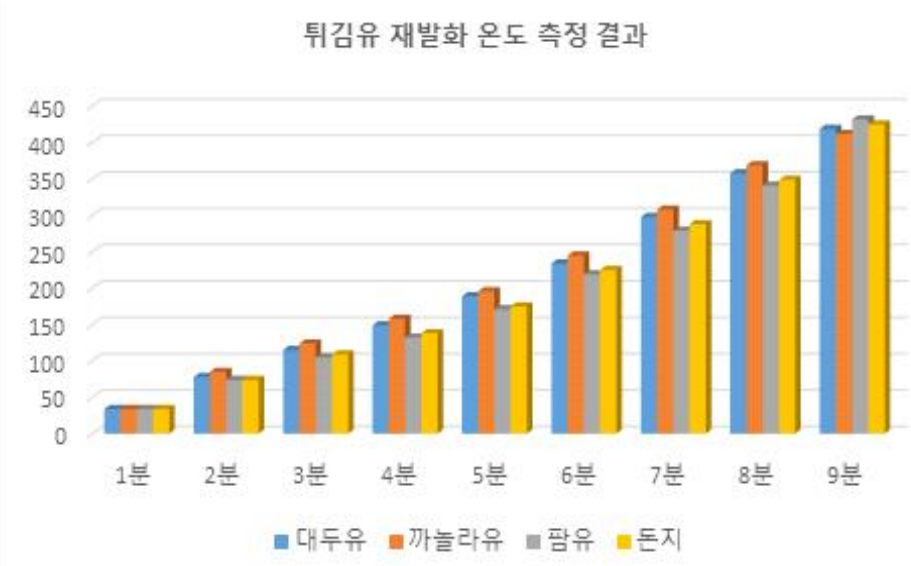


Fig 16. 발화점 측정기로 측정한 튀김유의 재발화 온도-시간 그래프

[Table 5]는 최초 착화가 일어난 후 질식 소화한 튀김유 샘플의 재발화 온도를 강원소방본부 감정·분석실에 있는 발화점 측정기로 측정(10A설정)하고, 발화가 일어나지 않은 순수한 튀김유의 발화온도를 신뢰성 있는 다른 실험에서 클리블랜드 개방식 인화점 측정기로 측정

한 결과[5]와 비교한 것이다.

Table 5. 튀김유의 재발화 온도 측정결과와 대조군(최초 발화온도)

구 분	실험결과	대조군
대두유	419	450℃
까놀라유	412	445℃
팜유	432	×
돈지	425	×

2.2 실험결과 분석

・튀김유는 최초 발화가 일어날 때 까지 화학적 변화로 AV가 서서히 증가하다가 최초 발화가 일어나는 순간부터 AV값은 5이상으로 급격히 올라가고, 변화된 AV값은 유지류의 온도가 내려간 이후에도 변하지 않으며, 이것은 외부화염에 의하여 단순 과열된 유지류와 실제로 착화가 일어난 적이 있는 유지류를 분별하는 구분점이 된다. 따라서 튀김기계 등 발화열원으로 작용한 작동기기에 다른 요인에 의한 특이점이 없고 관계자의 부주의에 의한 경우 튀김유 등 유지류에 대하여 최초 착화물로 작용했을 때와 그렇지 않았을 때의 화학적 변화를 바탕으로 최초 착화물로의 작용하였을 가능성에 대한 논리적 근거가 되므로 증거물로 확보하여 감정기관에 제출함으로써 화재의 직접적인 원인을 밝히는 물적 증거가 될 수 있다.

・ 또한, 최초 발화가 일어난 유지류는 유지류 자체의 급격한 화학적 변화에 의하여 발화점이 낮아지거나 또는 재발화에 이르는 시간이 짧아지는 등의 재발화 위험성이 높다는 것이 일관된 결과 이므로 화재예방의 관점에서 연소 확대의 우려가 높고, 화재가 완전히 진화된 이후에도 언제나 잠재적인 위험성이 있는 것으로 간주하여야 한다.

2.3 관계법령 검토

・ 주방화재 진화에 적합한 소화기로 동・식물유(식용유 등)로 인해 발생한 화재 시 기름막을 형해 온도를 낮추고 산소공급을 차단해 화재를 진압하는 효과가 있는 K급 소화기의 설치에 대하여 2017년 6월 12일부터 시행되고 있는 「소화기구 및 자동소화장치의 화재안전기준(NFSC 101)」에서 의무화 하고 있으며, 이와 관련한 관계법령 조항을 살펴보면 [Table 6]으로 정리된다.

5) 고상섬(2008. 12.), 식용유의 발화 특성에 관한 연구 p40, 충북대학교 산업업대학원 안전공학 석사학위 논문.

Table 6. K급 소화기 의무설치기준 관계 법령

화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률	· 제11조 ①항. 소방본부장이나 소방서장은 제9조제1항 전단에 따른 대통령령 또는 화재안전기준이 변경되어 그 기준이 강화되는 경우 기존의 특정소방대상물(건축물의 신축·개축·재축·이전 및 대수선 중인 특정소방대상물을 포함한다)의 소방시설에 대하여는 변경 전의 대통령령 또는 화재안전기준을 적용한다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 소방시설의 경우에는 대통령령 또는 화재안전기준의 변경으로 강화된 기준을 적용한다. 가.소화기구
화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령	· 제15조의4. ① 법제9조의5제1항 후단에 따라 내용연수를 설정하여야 하는 소방용품은 분말형태의 소화약제를 사용하는 소화기로 한다. ② 제1항에 따른 소방용품(분말형태의 소화약제를 사용하는 소화기)의 내용연수는 10년으로 한다.
소화기구 및 자동소화장치의 화재안전기준(NFSC 101) 제3조의 10	· “주방화재(K급 화재)”란 주방에서 동식물유를 취급하는 조리기구에서 일어나는 화재를 말한다. 주방화재에 대한 소화기의 적응 화재별 표시는 ‘K’로 한다.
소화기구 및 자동소화장치의 화재안전기준(NFSC 101) 제7조	· 소방청장은 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 이 고시에 대하여 2017년 7월1일 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 6월30일까지를 말한다) 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

· 이에 따르면 K급 설치 의무 대상은 음식점, 다중이용업소, 호텔, 기숙사, 노유자시설, 의료시설, 업무시설, 공장, 장례식장, 교육연구시설, 교정·군사시설의 주방으로, 면적 25㎡미만에는 K급 소화기 1대를 설치하고 면적 25㎡이상 주방에는 K급 소화기 1대와 초과하는 25㎡마다 분말소화기를 추가로 설치해야 된다. 그러나 화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 제11조 ①항의 경우 이를 세부적으로 정한 대통령령의 부재로 적용이 불가하여 K급 소화기 설치규정이 생겼다고 해서 바로 소급되어 적용되지 않고 증축, 용도변경 등 별도의 건축행위가 있는 경우에 적용되는 한계가 있고, 소화기구의 경우 내용연수는 10년으로 현재 설치된 모든 소화기에 적용되는 규정만 있을 뿐 내용연수가 지난 기존의 소화기에 대하여 K급 소화기로 교체하여야 한다는 의무조항은 부재한 형편이다.

결론

본 연구는 부주의에 의하여 발생하는 화재의 원인을 밝히는데 있어 관계자의 초기 진술에 의존하는 경향이 높은 튀김유 과열로 화재가 발생하는 경우, 화재원인 및 연소 확대요인을 판정하는데 대한 이론적 배경을 제공하고, 튀김유 등이 과열에 의해 발화하는 과정에 대한 메카니즘을 분석하여 물리·화학적 변화의 특성으로 인한 잠재적 재발화 위험성 및 주방에서 일어나는 화재에 대한 개선대책을 제시하는데 소기의 성과가 있었다. 실험 및 이에 관련된 법령 검토 결과는 다음과 같다.

1. 튀김유는 최초 발화가 일어날 때 까지 화학적 변화로 AV값이 서서히 증가하다가 최초 발화가 일어나는 순간부터 AV값은 상승하게 되고, 변화된 AV값은 튀김유의 온도가 내려간 이후에도 변하지 않는다. 이것은 외부화염에 의하여 단순 과열된 튀김유와 실제로 착화가 일어난 적이 있는 튀김유를 분별하는 구분점 되고, 이러한 화학적 변화를 근거로 하여 튀김유가 증거물로 확보되는 경우 감정기관의 감정 및 분석을 통해 화재의 직·간접적인 원인 또는 연소 확대의 원인을 추론하는데 논리적 근거가 된다.

2. 튀김유가 과열되어 발화가 일어나는 과정에 튀김유 내부에서 일어나는 물리·화학적 변화는 튀김유 자체의 발화온도를 낮추므로 연소 확대 및 잠재적 재발화의 위험성을 현저히 높인다. 이는 뚜껑을 덮는 등 질식에 의한 소화방법을 효과적이지 않게 하므로 화재예방 홍보에 있어 가정에서 일어나는 튀김유에 의한 화재 소화방법으로 지양되어야 한다. 또한, 기존에 주방에서 튀깁유 화재를 대비하기 위해 설치된 ‘K급 소화기’ 이외의 소화기는 적응성이 현저하게 낮아 효과적인 초기진압에 한계가 있는 실정으로 2017년 6월부터 화재안전기준이 개정되면서 음식점, 다중이용업소, 호텔, 기숙사, 노유자시설, 의료시설, 업무시설, 공장, 장례식장, 교육연구시설, 교정·군사시설 등 주방에 적응성이 우수한 K급 소화기 설치가 의무화 되었다.

3. 하지만, 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 제11조제1항의 경우 이를 세부적으로 정한 대통령령의 부재로 인해 기존의 건축물에 대한 K급 소화기의 설치규정이 소급적용 되지 않고, 별도의 건축행위가 있는 경우에 적용되며, 소화기의 내용연수(10년) 규정에 따르더라도 기존의 소화기를 K급 소화기의 교체하는데 10년이 소요되거나, 내용연수가 지난 소화기의 경우 K급 소화기로 교체하여야 하는 규정에 대한 의무조항이 없다. 따라서 이에 대한 소급적용 규정 및「소화기구 및 자동소화장치의 화재안전기준(NFSC 101)」 제7조에 의거 2017년 7월1일 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 6월30일까지를 말한다)에 그 타당성을 검토하여 개선하는 등의 조치가 시급하다.

참고문헌

[1] 국가화재정보시스템 (www.nfds.go.kr)
[2] 법제처 대표홈페이지(www.moleg.go.kr)
[3] 광주소방안전본부, '튀김유의 발화위험성 및 감식기법 연구', 제1회 전국 화재감식 심포지엄 연구 논문집, p41~p63, (2010)
[4] 김상경 저, '최신 식품화학', 수학사, p88~p90, p99~p118
[5] 윤석권·오훈일·이형주·문태화·노봉수 공저, '식품화학'. p138~p140, p177~p178
[6] 이근보·양종범·고명수 공저, '식품분석', p127, p177~p280
[7] Official and Tentive Methods of the American Oil Chemists' Society, 10th edn., MethodCd 1-25, Am. Oil Chem. Soc., Chicago(1990)
[8] Chong, C.L., Ultraviolet-visible light spetroscope-in-strumentalparameters, scope of application and experimental precautions in the analysis of vegetable oils. PORIM Bulletin, No.5, p18(1987)
[9] 장영상·이영수·조경련·이철원, '분광기를 이용한 가열산화 유지의 품질측정', 농심기술개발연구소, 한양여자전문대학 식품영양학과, 국립보건원, (1993)
[10] 고상섬, '식용유의 발화 특성에 관한 연구', 충북대학교 산업대학원 안전공학 석사학위논문, p34, p40, (2008)