

골판지 및 유류등의 담뱃불 발화특성에 관한 실험적 연구

A Study on Characteristics of the Ignition by Cigarette Light on Corrugated Board and Oils

윤인수* · 김병선** · 조원철*** · 이태식****

Yun, Insu · Kim, Byungseon · Cho, Won Cheol · Lee, Tae Shik

Abstract

The purpose of this study was to use case analysis and experimentations to examine the ignition characteristics of the cigarette lights on corrugated board and oils etc.

As a result of the tested. The corrugated board could be ignited by cigarette light, but gasoline and lacquer thinner could seldom be ignited.

Key words : cigarette light, corrugated board, gasoline, lacquer thinner, ignition test,

1. 서 론

우리나라는 년 평균 32,819건의 화재가 발생하고 있으며 그중 담뱃불 취급부주의로 추정된 화재는 3,783건으로 전체화재 건수의 11.5%를 차지하고 있다.

이와 같이 담뱃불 화재가 많은 이유는 잘못된 흡연습관과 더불어 소거법에 의한 화재원인조사의 기술적 한계라 생각된다.

화재원인조사 기법 중 소거법은 「발화지점에 존재하는 화원을 전체적으로 열거한 후 가능성이 낮은 것부터 배제해 나가고 다른 발화원이 없을 경우 그중 가장 발생가능성이 있다고 판단된 화원을 원인으로 추정」하는 방법으로서 신뢰성이 낮다.

2006년도 인천지역에서 발생한 담뱃불 화재사례를 분석한 결과 소거법에 의해 담뱃불로 추정된 화재는 65건(38%)으로서 본 연구에서는 이 중 최초착화물로 판정된 골판지와 가솔린, 신나등에 대해 담뱃불 발화실험을 실시하여 발화위험성을 입증하고자 한다.

2. 화재통계 분석

최근 10년간('97년~'06년) 우리나라에서 발생한 전체 화재건수는 년 평균 32,819건으로 2001년까지 매년 5.27% 증가 추세를 보이다 2002년부터는 2.4%의 감소 추세를 보이고 있다.

전체화재에 대한 담뱃불 화재 점유율은 2001년까지 년 평균 12.2%를 유지하였으나 2002년부터는 10.8%로 감소하고 있다. 그림 2.1의 전체화재와 담뱃불 화재 추세를 보면 2001년까지는 두 추세가 일치하고 있으나 2002년 이후부터는 현저히 이격되고 있어 전체화재 발생건수에 대한 담뱃불 화재 점유율 변화를 알 수 있다.

* 연세대학교 공학대학원 방재안전관리전공 · 석사과정 · E-mail : yis1963@naver.com

** 연세대학교 교수 · 방재안전관리전공 지도교수

*** 정희원 · 연세대학교 교수, 방재안전관리전공 주임교수

**** 정희원 · 연세대학교 겸임교수, 방재안전관리전공 지도교수

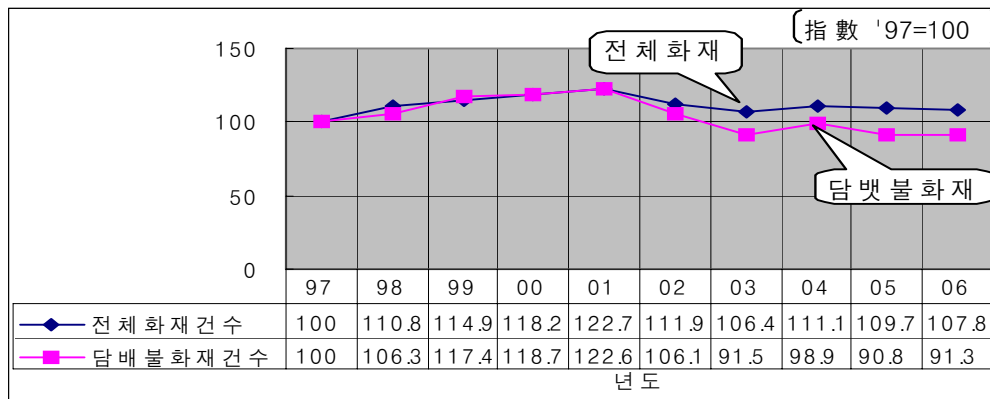


그림 2.1 담배불 화재 발생 추이도

2006년도 인천지역에서 발생한 담배불 화재통계를 분석해보면 전체화재 발생건수1,612건 중 담배불 추정 화재는 171건으로 10.6%를 차지하고 있으며 이는 당해년도 전국평균치(10.4%)보다 0.2% 높았다. 담배불에 의한 최초착화물은 쓰레기나 종이류가 75건으로 가장 많았고 차량 적재물(골판지) 10건, PVC천막재료 11건, 유증기 1건등에서도 발생하여 다양한 발화 형태를 보이고 있다.

화재원인을 담배불 취급 부주의로 추정된 근거는 증거물에 의한 판정 33건, 관계자의 진술과 간접증거물 11건, 평상시 정황이 62건이었으며 다른 원인의 배재로 담배불로 추정된 건수가 65건으로 가장 많았다

3. 이론적 고찰

3.1 훈 소(Smoldering) [1]

훈소란 공기 중에 존재하는 산소와 고체 표면간에 발생하는 상대적으로 느린 연소과정으로 연료의 표면에서 반응이 일어나고 산소는 이 표면으로 확산되어 표면에서는 작열(growing)과 탄화(charring) 현상이 일어나며 열의 축적과 적당한 산소공급이 이루어지면 유염연소 형태로 발전한다.

3.2 담배의 연소성

무풍상태에서의 담배의 연소시간 [4] 은 수평연소 13분~14분, 수직연소 11분~12분이고 연소시 최고온도는 열 분해부분(권지 연소단) : 550℃~650℃, 탄화부분(적열 중심부) : 700℃~800℃, 재 부분(표면온도) : 200℃~300℃, 흡연시 : 840℃~850℃이며 담배불의 열 방출율은 5w [2] 이하, 연소중인 담배로부터 물체내부로의 열 유속은 약 1.56±0.01cal/(s.cm²) [5] 이다.

4. 발화실험

담배불 발화실험은 일반적으로 정형화된 방법이 없어 자체적인 실험조건을 설정하였고 실험의 정확도를 높이기 위해 반복하여 실시하였다.

실험은 온도 25℃, 습도 58%, 풍속은 무풍상태에서 실시하였으며 각 실험에서는 비접촉식 적외선온도계(제조사 및 모델 : Raytek사(USA), 3iLRSL2)와 디지털 풍속계(제조사 : TSI(USA), 측정범위 : 0~30%)를 사용하여 측정하였다.

4.1 담배의 연소성 실험

연소성 실험은 담배의 연소시 표면온도를 측정하기 위해 지름8mm, 길이84mm인 국산“T”담배와 지름5mm, 길이100mm인 “E”담배를 선정하여 연소방향별로 각각 3회씩 실시하였다.

(1) 실험방법

두꺼운 종이판에 담배를 고정시킬 수 있도록 실험대를 제작하였고 담뱃불을 연소방향별로 고정시킨 후 온도를 2분마다 Drysdale이 분류한 열분해 부분과 탄화부분의 최고온도를 측정하였다.

(2) 결과분석

담배의 자연 연소시 탄화 중심부분의 표면온도는 미연소 물질의 열분해 경계면 보다 높게 나타났으며 최고온도는 207℃로 측정되었다. 이 온도는 담배 내부가 작열상태로 연소하고 있지만 표면은 재로 둘러싸여 있는 상태에서 측정한 값으로 비접촉식 적외선 온도계로는 열분해부분과 탄화부분의 내부를 정확히 측정할 수 없는 한계가 있었으며 이 실험에서 측정된 값은 표면온도 값으로 볼 수 있다.

연소 형태별 온도는 연소방향이 아래에서 위로 진행된 수직연소가 수평연소에 비해 최고 54℃이상 높게 나타났고 담배의 종류별 비교에서는 T담배가 E담배 보다 약 30~50℃정도 높아 가연물의 양이 많을수록 온도가 증가한다는 일반적 연소 이론을 충족하였다.

표 4.1 담배 연소시 표면온도

담배종류	연소방향		측정 최고온도(℃)			
			최고온도	1차	2차	3차
T담배	수 평	탄화부분	166	166	152	164
		열분해부분	141	139	130	141
	수 직 (연소면上⇒下)	탄화부분	176	152	152	176
		열분해부분	161	142	135	161
	수 직 (연소면下⇒上)	탄화부분	207	200	190	207
		열분해부분	195	184	173	195
E담배	수 평	탄화부분	131	122	131	130
		열분해부분	118	115	111	118
	수 직 (연소면上⇒下)	탄화부분	127	116	127	115
		열분해부분	122	119	122	117
	수 직 (연소면下⇒上)	탄화부분	156	156	145	150
		열분해부분	141	141	138	132

4.2 재료별 발화실험

4.2.1 골판지(corrugated cardboard)

골판지의 주원료는 셀룰로우스이며 물결 모양으로 골을 만든 골심지에 라이너지(紙)라고 하는 면이 반듯하고 뾰뚱한 판지를 한 면 또는 양면에 접착제로 붙여서 완충도를 높여 제품 포장용으로 많이 사용된다. 실험재료는 국내에서 제품 포장제로 많이 사용되고 있는 두께 6mm 골판지로서 훈소가 가능하며 착화온도는 약 300℃이다.

(1) 실험방법

실험은 담뱃불에 의한 골판지의 훈소 시간과 훈소시 온도변화를 알아보기 위해 T담배에 불을 붙인 후 필터 부분을 투명 테이프로 골판지에 고정시키고 담뱃불을 3가지 연소유형(A형 : 수평연소, B형 : 수직상승연소, C형 : 수직하강연소)별로 각각 3회씩 실시하였다.

(2) 실험결과 및 고찰

A형태에서는 담뱃불을 골판지에 접촉시키자 시간이 경과함에 따라 연기를 발산하며 탄화가 진행되었고 13분후 온도는 최고 228℃까지 상승하였으나 발화되지 않은 채 18분 10초 만에 탄화 종료되었다.

B형태는 담배에 불을 붙인 후 8분~9분 사이에 최고온도가 314℃까지 상승하여 골판지에 발화현상이 부분적으로 관찰되었으며 골판지를 관통하였다. 최종 탄화시간은 12분 30초였다.

C형태는 최종 탄화시간이 15분 25초였으며 탄화시 온도는 담배에 불을 붙인 후 7분 만에 최고 229℃까지 상승하였으나 발화되지 않았다.

실험결과 A형태와 C형태에서는 탄화시 발생한 열이 미연소 물질의 예열에 이용되지 않고 부력에 의해 상승 소비되어 계 내에서 열 발생속도 보다 열 손실속도가 커서 열 착화이론을 충족시킬 수 없었다.

반면, B형태는 탄화시 발생한 열과 연기가 드래프트 현상으로 상부에 미연소부분을 예열하므로써 열손실이 적어 높은 온도를 발생시킬 수 있었다.

각 모델의 탄화형태 및 탄화시 온도분포는 그림 4.1과 같다.

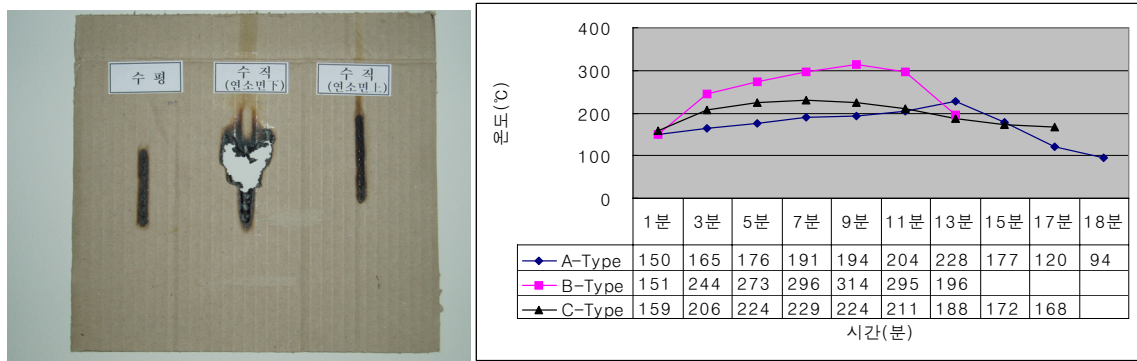


그림 4.1 골판지 탄화형태

4.2.2. 유 류

대기압 상온에서 화재 위험성이 높은 가솔린과 락카 신나에 대하여 담뱃불로 착화시험을 실시하였다. 가솔린의 인화점은 -43℃, 발화점 280~456℃, 연소범위 1.2~7.6이며 락카신나는 인화점 4℃, 발화점 238℃, 연소범위 1.0~7.0이다.

(1) 실험방법

자체 제작한 실험대의 금속제 용기에 실험용 유류 10cc를 넣고 촛불로 액체온도를 90℃까지 높여가면서 액체에 담뱃불을 직접 투입하는 방법과 발생된 증기에 담뱃불을 접촉시키는 방법으로 실험하였다.

(2) 실험결과 및 고찰

가솔린과 락카 신나의 액체 온도를 18℃부터 90℃까지 서서히 높이면서 35℃, 50℃, 75℃, 85℃, 90℃에서 각각 실험용기내에 담뱃불을 투하하였지만 즉시 소화되었으며, 같은 온도에서 발생된 유증기에 담뱃불을 접촉시켜도 증기가 담뱃불의 회(재)부분에 흡착하면서 소화되었다.

5. 결 론

본 연구는 담뱃불의 발화특성에 관한 연구로서 사례연구와 실험적 방법을 통해서 담뱃불 자체의 연소성 실험과 골판지, 가솔린, 락카 신나등에 대해 온도25℃, 습도60%인 무풍상태의 실험조건하에서 담뱃불 착화실험을 실시하고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 담뱃불의 온도는 담배의 종류나 연소방향에 따라 다르며 수평연소 보다 수직연소일 때가 높게 나타났다.

둘째, 골판지는 담뱃불이 수평으로 놓인 상태에서는 발화되지 않았지만, 아래에서 위로 향한 수직상태에서는 훈소 후 발화되었다.

셋째, 가솔린과 락카 신나는 액체의 온도가 35℃~90℃사이에서도 담뱃불에 의해 발화되지 않았다.

이 같은 실험결과는 가솔린, 락카신나가 담뱃불에 의해 발화하지 않는다는 사실을 실험적으로 입증하는 것으로써 그동안 유증기의 화재사례 중 담뱃불 추정화재는 방화나 다른 요인에 의해 발화되었을 가능성이 높다고 판단된다.

참고문헌

1. 오규형 외, 화재공학원론, 동화기연, 2004. pp.51~79.
2. 중앙소방학교, 전문교육 교재 『화재조사(II)』, 국도인쇄사, 2007.
3. 소방방재청, 화재통계년보, 2004~2006.
4. 권현석, “담뱃불 발화에 관한 연구”, 한국화재조사학회지, 2004-2호, 2004.
5. 이성철, 연소중인 발화성물체 내부에서의 열전달, 한국소방안전협회, 소방기술, 2006.