

미소화중 중 담뱃불 발화에 관한 연구

[A study for the outbreak of a fire by cigarette]

연구자 : 경기도소방재난본부 권현석, 윤혁중, 이재동
삼성전자 이상호, 김용수



▶ 서론	
1. 과제연구의 필요성	56
2. 화제통계 및 분석	56
▶ 이론적 고찰	
1. 미소화원의 의의와 종류	61
2. 무염연소와 유염연소	61
3. 미소화원에 의한 일반적인 출화의 증명	62
4. 담배에 대한 이해	63
5. 담뱃불에 대한 연소 메카니즘	65
▶ 담뱃불 발화실험	
1. 일반적인 실험조건	67
2. 실험내용 및 방법	68
▶ 실험결과의 분석 및 응용에 대한 고찰	
1. 실험결과에 대한 분석	68
▶ 종합의견	85

1. 과제연구의 필요성

불은 산업발전의 원동력으로써 순기능과 엄청난 희생과 고통이 따르는 재해로써 악기능을 지닌 양면성을 가지고 있다. 사회가 발전하고 생활 수준이 높아짐에 따라 삶은 윤택해지고 있으나 건물의 대형화, 고층화, 밀집화, 지하 심층화 현상과 다양한 에너지 사용 등으로 화재의 발생건수가 꾸준히 증가하고 있는 추세이다.

2001년도 전국화재 발생 건수 총 36,169건 중 1위 전기화재에 이어 2위는 담뱃불 화재 4,445건(12.3%)이 차지하고 최근 5년 간 담뱃불에 의한 화재발생은 매년 평균 5.3%증가율을, '97년 기준 대비 22.6% 증가율을 보이고 있으며, 전기기구나 다른 연소기구와 달리 화재가 발생하였을 때 발화원인 담배 자체가 탄화되기 때문에 화재 감식현장에서 발화원으로 증거 발굴이 매우 어려운 실정이다.

본 연구 과제에서는 담뱃불에 대한 이론적 고찰, 실험, 감식요령 및 사례 등을 살펴봄으로써 현장 화재조사시 담뱃불 화재원인 감식에 도움을 주고자 한다.

2. 화재통계 및 분석

(1) 총괄, 원인별, 장소별 현황

1) 총괄 현황

구 분	건 수	사 망	부 상	재산피해 (백만원)	소실면적 (m ²)	소실동수	이 재 가구수	이재민수
연평균 증감율(%)	5.3	△2	3.4	9.6	3.6	3.1	1.2	0.6
계	167,005	2,661	8,948	769,581	6,657,029	92,864	8,957	23,980
2001	36,169	516	18,600	169,750	1,484,627	18,155	1,896	4,897
2000	34,844	531	1,853	151,972	1,373,108	19,109	1,816	4,794
1999	33,856	545	1,825	166,426	1,277,287	17,300	1,824	5,161
1998	32,664	505	1,779	159,721	1,224,365	21,318	1,555	4,103
1997	29,472	564	1,631	121,712	1,297,642	16,982	1,866	5,025

▶ 화재발생 추이

- '97년도 29,472건 화재가 발생, 2001년에는 36,169건으로 5년간 평균 5.3% 증가
- 장소별 ①주택·아파트 ②차량 ③공장·작업장 순으로 건축물, 차량, 에너지 소비량 등의 증가가 화재발생 증가에 상당한 요인으로 작용

▶ 사망의 원인과 추이

- '97년도 564명 사망자 발생. 2001년에는 516명으로 5년 간 평균 2% 감소
- 원인별로는 ①방화 ②전기 ③담뱃불 순으로 화재에 대한 경각심과 안전의식이 부족

▶ 부상의 원인과 추이

- '97년도 1,631명의 부상자가 발생, 2001년에는 1,860명으로 5년간 평균 3.4% 증가
- 장소별로는 ①아파트·주택 ②공장·작업장 ③음식점, 원인별로는 ①전기 ②방화, ③가스

▶ 재산피해의 실태

- '97년도 1,217억원 피해가 발생, 2001년도에는 1,697억원으로 5년간 평균 9.6% 증가
- 장소별 ①공장·작업장 ②주택·아파트 ③차량 순

2) 원인별 화재현황

구분	계	전기	담뱃불	방화	불장난	불티	가스	유류	난로	아궁이	성냥양초	화공약품	기타
연평균 증감율 (%)	5.3	5.2	5.3	1.4	△0.6	9.1	25.6	△6.3	2.2	20.3	26.3	△5.4	*
계	167,005	56,271	20,486	13,413	8,406	9,978	7,508	2,141	2,323	2,821	1,274	47	42,336
2001	36,169	12,300	4,445	2,709	1,371	2,464	1,479	397	425	668	292	13	9,606
2000	34,844	11,796	4,303	2,559	1,696	2,179	1,590	368	498	677	288	8	8,891
1999	33,856	11,204	4,256	2,434	1,835	1,910	1,765	371	579	673	243	6	8,580
1998	32,664	10,897	3,856	3,056	1,938	1,668	1,827	475	391	464	222	9	7,861
1997	29,472	10,075	3,626	2,655	1,566	1,757	847	530	439	339	229	11	7,398

▶ 전기화재원인과 추이

- '01년 전체화재 중 전기에 의한 화재 점유율은 34.0%로 1위, 5년간 평균 5.2 % 증가

▶ 담뱃불화재 원인과 추이

- 01년 전체화재 중 담뱃불 화재점유율은 12.3%로 2위, 5년간 평균 5.3 % 증가
- 담뱃불 화재의 원인은 흡연자의 부주의가 대부분이며, 흡연 인구비율이 높고 주의력이 부족한 여성 및 청소년 흡연 인구가 늘어나는 추세로 담뱃불 화재는 계속 증가할 것으로 예상

▶ 방화의 원인과 추이

- '01년 전체화재 중 방화 점유율은 7.3%로 3위, 5년간 평균 1.4 % 증가
- 원인별로 보면 ①가정불화 ②불만해소 ③정신이상 순임.

3) 장소별 화재 현황

구분	계	주택 아파트	차량	공장	음식점	점포	사업장	창고	호텔 여관	학교	선박	시장	기타
연평균 감소율 (%)	5.3	6.1	1.7	1.9	7.2	△1.4	△1.5	1	△7.3	11	△10.2	△6.4	*
계	167,005	47,556	28,314	18,610	9,993	8,662	2,832	4,232	1,805	11.0	△10.2	6.4	42,992
2001	36,169	10,011	5,793	3,913	2,212	1,662	591	822	325	260	117	49	10,234
2000	34,844	9,734	5,871	3,973	1,990	1,741	421	957	315	234	127	65	9,316
1999	33,856	9,936	5,487	3,657	2,067	1,734	546	865	351	220	115	83	8,795
1998	32,664	9,854	5,377	3,404	2,023	1,769	530	779	279	221	118	58	8,252
1997	29,472	8,021	5,606	3,663	1,701	1,756	644	809	535	174	123	45	6,395

▶ 주택·아파트 화재 발생추이

- 주거용 시설은 전기에 의한 화재가 가장 많고 전기시설, 가전제품이 많이 설치된 방과 거실에서 주로 발생

▶ 차량화재 발생 추이

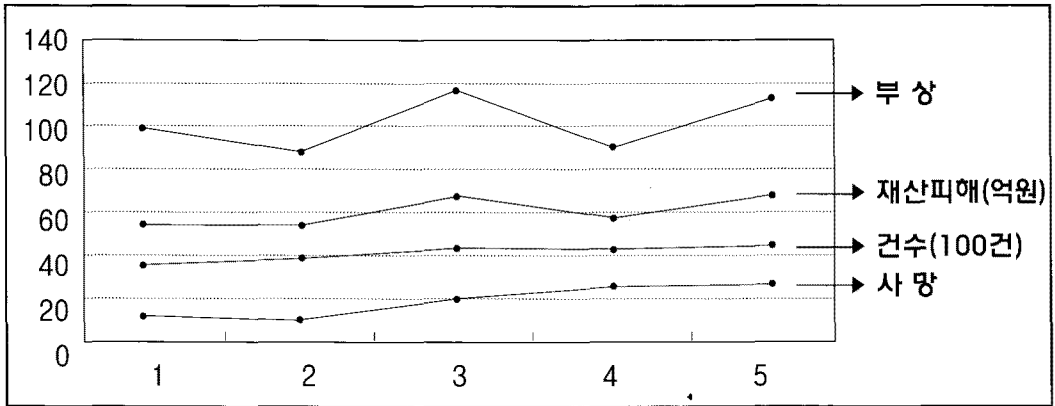
- 엔진룸에서 전기배선에 의한 화재가 가장 많고 다음은 담뱃불에 의한 화재로 실내 시트부분

▶ 공장화재발생 추이

- 공장은 전기에 의한 화재가 가장 많고 장소는 전기실, 모터실, 전기기 보유공간 등이며, 두번째가 불티 비화에 의한 화재로 용접을 많이 하는 작업장내부, 금속연마실임.

(2) 담뱃불 화재 통계 및 분석

1) 담뱃불화재 통계 현황('97~'01)



구분	'97	'98	'99	'2000	'2001	증가율(%)
건수	3,626	3,856	4,256	4,303	4,445	5.3
사망	11	10	20	25	26	30.0
부상	99	90	118	92	114	6.0
재산피해(백만원)	5,463	5,384	6,695	3,862	6,764	6.5

▶ 최근 5년간 담뱃불화재 분석

* 화재발생 추세

- 5년간 화재추세 : 매년 평균 5.3% 증가
- 2000년 대비 화재추세 : 3.3% 증가
- 97년 대비 화재추세 : 22.6% 증가

* 인명피해

- 5년간 추세 : 매년 평균 사망자 30.0% 증가, 부상자 6.0% 증가
- 2000년 대비 인명피해 : 사망자 4.0% 증가, 부상자 23.9% 증가
- '97년 대비 인명피해 : 사망자 136.4% 증가, 부상자 15.2% 증가

* 재산피해

- 5년간 추세 : 매년 평균 6.5% 증가
- 2000년 대비 재산피해 : 15.4% 증가
- '97년 대비 재산피해 : 23.8% 증가

2) 장소별 발생 건수(2001년도)

구 분	총화재건수(A)	담뱃불화재건수(B)	점유율(%) (B/A X 100)
계	36,169(100%)	4,445(100%)	12.3
주택·아파트	10,011(27.7)	901(20.3)	9.0
차 량	5,973(16.5)	546(12.3)	9.1
공장·작업장	3,913(10.8)	359(8.1)	9.2
음 식 점	2,212(6.1)	131(2.9)	5.9
점 포	1,662(4.6)	221(5.0)	13.3
창 고	822(2.3)	128(2.9)	15.6
사 업 장	591(1.6)	104(2.3)	17.6
호 텔 · 여 관	325(0.9)	60(1.3)	18.5
학 교	260(0.7)	47(1.1)	18.1
선 박	117(0.3)	10(0.2)	8.5
시 장	49(0.1)	4(0.1)	8.2

※ 일본 2000년 전체화재 62,418건 중 담뱃불 화재는 6,846건으로 11.0% 차지(2위)

※ 미국 2000년 전체화재 1,708,000건 발생, 사망 4,045명, 부상 22,350명, 11,207백만달러 손실, 소방관 102명 순직

▶ 장소별 분석

- 2001년도 4,445건으로 전체화재의 12.3% 점유(2위)
- ①주택·아파트 901건(20.3%), ②차량546건(12.3%), ③공장·작업장 359건(9.2%) 순

3) 담뱃불로 인한 연도별 대형화재 현황

연도	발생일시	발 생 장 소	인명피해		재산피해 (만원)
			사망	부상	
'69	08:16~01:15	경남 마산시 양덕동 한일합섬	-	-	36,484
'75	11:20~21:35	대구시 중구 대신동 서문시장	-	-	257,177

연도	발생일시	발생장소	인명피해		재산피해 (만원)
			사망	부상	
'76	09:27~22:35	부산시 동구 대창동 대한통운 야적장	-	-	255,699
'81	07:11~12:46	경기도 부천시 오정동 한비산업	-	-	40,021
'86	05:21~02:31	서울, 중구 신당동 이태리봉제공장	8	2	1,800
'87	06:23~16:54	부산, 소하구 구평동 강남조선소	9	2	20
'88	04:21~03:10	서울, 성동구 마장동 성동기업사	6	1	928
'92	04:04	서울, 송파구 오금동 레스토랑 백야	5	-	120
'93	04:19~02:07	충남 논산군, 읍 부창리 서울신경외과	34	2	70
'94	04:27~17:18	전남 나주군 금동리 신진냉동공공장	5	2	25,950
'95	11:22~14:58	부산, 중구 남포동 자이언트노래방	8	2	8,500
'01	05:16~22:30	경기 광주시 송정동 예지학원 ※화종미상의 불씨	10	23	400

2 이론적 고찰

1. 미소화원의 의의와 종류

(1) 무염화원(無焰火源)

담뱃불과 같은 불꽃 없이 연기만 내고 중심에서 암적색의 불씨만을 갖고 재로 둘러싸인 향불, 모기향불, 왕겨불, 톱밥불 등과 책, 의류 짚더미, 가구 등의 가연물 속으로 깊숙이 파고 들어간 불씨를 말하며 이를 심부화재(深部火災 : Deep-seated Fire), 훈소화원(燻燒火源)이라고도 한다.

(2) 유염화원(有焰火源)

불꽃이 있는 성냥불, 촛불,ライター불, 화덕불 등과 같이 화재위험성이 있는 불씨로서 공기(깁내 가스) 중이나 가연성 혼합 가스 등에 연소를 일으킬 수 있는 불꽃을 말하며 이를 나화(裸火: Naked Light)이라고도 한다.

2. 무염연소와 유염연소

(1) 무염연소

무염연소의 과정은 가연물이 열을 받아 분해되며, 발생된 가스가 증발하여 탄소만 남은 상태에서 탄소가 공기 중의 산소와 결합하는 표면연소 현상이 일어나는 것이다. 이때 발생된 가스는 공기부족으로 연소범위를 벗어나 연소되지 않은 상태로 방출되는 과정에서 발생한 가스는 급격히 착화온도이하로 냉각되어 기체연소형태인 확산 또는 예혼합기 연소가 일어나지 않는 것이다.

무염연소의 지속은 자체 구조상 내포하고 있는 공기가 충분하고 표면 연소에 의해 발생된 열이 인접한 가연물을 열분해시켜 탄소로 만들고 탄소가 표면에서 이탈할 수 있을 만큼 착화점 이상으로 높일 수 있을 때 혼소는 지속된다. 이때 가연물이 연소되어 발생된 열량이 인접한 가연물과 주변의 공기를 발화점 이상으로 올리는데 충분하지 못하면 소화된다.

(2) 유염연소

가연물이 연소하는 것은 실제로 가연물이 기체로 분해되면서 발생된 가스가 공기 중 산소와 결합하는 것으로 확산 또는 예혼합기 연소형태이며, 화염부분으로 지속적인 가연가스가 공급되면 연소는 지속되고 가연가스의 상태가 연소하기 위한 충분한 조건을 갖추지 못할 때는 소화된다.

(3) 무염연소에서 유염연소로 전이

탄소가 된 가연물이 표면연소를 지속하지만 유염연소가 일어나지 않는 것은 발생된 가스의 농도가 공기부족으로 연소범위를 벗어난 상한값 이상의 농도로 방출하여 공기와 확산되는 과정에서 급냉되어 발생가스의 착화온도이하로 떨어져 기체연소인 확산 연소가 일어나지 않는 것이므로 급냉조건을 완화하거나 적당한 공기 공급으로 표면 연소 부분에서 예혼합기가 만들어지면 기체가 착화되어 유염연소로 발전하게 된다.

3. 미소화원에 의한 일반적인 출화의 증명

(1) 정확한 출화개소의 판단

미소화원은 화재진압 후 물적 증거를 남기지 않는 경우가 대부분이므로 정확한 발화개소를 찾는 것이 가장 중요하다.

(2) 가연물 종류의 확인

발화개소의 잔해물로부터 가연물의 종류를 확인하여 화원이 존재할 경우 연소

확대 가능성을 검토한다.

(3) 기타 발화원에 의한 출화 가능성을 배제

발화부위에서 발화와 관련 지을만한 전기설비, 전기기계, 연소기구, 고온물체, 자연발화성 물질의 존재를 부정하고 촛불, 모기향 등이 설치된 불씨에 의한 출화 가능성을, 담뱃불씨에 대한 존재가능성을 검토한다.

(4) 혼소의 지속과 발염

혼소의 지속 또는 중지여부는 상황에 따라 매우 다르게 나타난다. 혼소의 지속은 가연물의 밀도에 가장 영향을 많이 받으며 발염되는가, 혼소만이 지속되는가하는 것은 열의 축적조건과 통기에 의해 좌우된다. 통기는 열의 발산을 촉진하므로 강제보다는 자체에서 발생하는 드래프트 작용에 의해서 용이하게 발염된다. 발염 후에는 유염화재에 의한 연소형상을 나타나게 된다.

(5) 유염화원과의 구분

라이터 불, 성냥불씨, 촛불 등 유염화원인 경우에는 급속하게 화재로 발전(개방된 상태인 경우 5분 이내에 초기 진화불가 상태로 발전)하나 담뱃불씨, 용접 불씨, 모기향 등 무염화원은 가연물에 접촉되어 비교적 장시간의 혼소단계를 거쳐 착염되며 이때까지의 경과시간은 수 십분에서 수 시간이 되기도 한다. 따라서 발생장소에서 마지막 인적행위를 조사하여야 한다.

4. 담배에 대한 이해

(1) 담배의 역사

담배는 미대륙 인디언들이 종교의식으로 또는 질병의 치료를 위하여 사용하였으며, 1492년 스페인의 콜롬부스가 미 대륙을 탐험하고 원주민으로부터 담배를 선물로 받아 귀국한 후 담배를 만병통치약으로 소개한 것을 계기로 담배가 유럽전역에 주로 상류층을 대상으로 널리 퍼졌다.

우리나라는 100년 후인 1592년 경 임진왜란때 담배가 처음 소개되었으며 1602년경 광해군 초에 담배씨를 일본에서 도입, 초기 양반상류 사회로부터 전파되었다. 세계적으로 1900년대 초에 유럽과 미국에서 흡연률이 급격하게 증가하여 1940~1950년대에 이르러 흡연률이 최고조에 달하였는데 이는 켈련을 마는 기술이 발명되어 대량생산이 가능해졌기 때문이다.

우리나라는 1980년대 성인남자 흡연률이 79.3%로 최고조에 달하고 1990년대 중반까지 70% 정도로 세계 최고의 흡연률을 기록하였으며 2000년에는 66%정도로 흡연률이 떨어 졌지만 여전히 세계 최고의 수준이다. 특히 1980년대 이후 여성흡연에 대한 사회적 금기가 무너지면서 여성과 '90년대부터 청소년의 흡연률이 급증하였으며 청소년의 흡연률은 선진국의 2배 정도에 이르고 있는 실정이다.

(2) 제조담배의 종류

1945. 9월 광복기념 “승리”가 우리 기술진에 의해 최초로 제조, 발매된 이후 최근에 발매한 루멘까지 현재 약 80여종에 이르고 있다.

(3) 담배제조 공정

1) 원료가공 공정

연초를 투입하여 가습, 가향, 조화 등 제품특성에 맞게 가공하고 사이로(silo)에 저장

2) 켈런제조 공정

켈런제조기에서 켈런지(셀룰로스)로 말아 막켈런(필터 없는 담배)를 만들고 필터와 막켈런을 티페이퍼로 말아 필터(포리에틸렌)담배 제조

3) 포장 공정

은박지, 갑포장지로 20개비씩 갑담배를 만들고 셀로판 포장기에서 OPP필름포장

(4) 흡연에 의한 손실

1) 경제적 손실

흡연에 의한 경제적 손실의 총액은 조기 사망으로 인한 생산 감소액, 질병 발생에 따른 치료비, 교통비, 생산 감소액 및 화재로 인한 비용 등을 감안해 산출한 것으로 '91년 경제적 손실 2조 1,600억원('99년 기준 환산액 4조 4,556억원)에 이르고 간접흡연으로 인한 손실까지 포함하면 약 6조 2,344억원으로 의료재정보험 재정의 67%에 이른다.

2) 담뱃불화재로 인한 인명손실

캘리포니아 의과대학 교수 레이스티코 박사는 “담배 피는 습관을 버린다면 화재로 인한 대형참사, 부상, 금전적 손실을 크게 줄일 수 있다”고 지적했다. 미국에서 '98년 약 70억 달러의 비용이 흡연으로 인한 화재로 소요되었으며, 전 세계 화재관련 사망의 10%를 흡연으로 인한 담뱃불 화재로 파

악하고 있다.

(5) 흡연인구

1980년 1천만명에서 1990년 이르러 1,190만명으로 증가, 1999년 기준 1,240만명으로 추산되며, 최근 15~19세의 여성 흡연자의 증가이다. 즉 '99년 15만명은 '80년에 비해 약 6배, '90년에 비해 약 3배가 증가한 셈이다.

(6) 흡연률

1) 성인의 흡연률

미국성인 남자 흡연율이 75%에 달한 시기가 1950년대 전후, 일본은 1960년경, 우리나라는 1975년에 79%에 이르렀으나 2000년대 들어 66%로 감소하고 있으나 여전히 세계적으로 높은 흡연률을 보이고 있다.

2) 세계각국과의 흡연률 비교

흡연인구를 15세 이상 기준으로 할 경우에 우리나라의 흡연률은 심각한 실정으로 세계 각국의 흡연률 통계(1997년 WTO 발표자료)에 의하면 우리나라 15세 이상의 남자 흡연률은 68.2%로 미국(27.7%), 영국(28%), 독일(36%) 등 선진국에 비해 약 2배정도 높은 세계 최고 수준이며 15세 이상 여성 흡연률은 6.7%로 미국(23.5%), 독일(21.5%), 일본(14.8%)에 낮았다. 흡연률의 변화와 경제적인 발전에 따른 다른 나라의 예를 볼 때 남성의 흡연률은 서서히 감소하고 여성 흡연, 청소년의 흡연은 빠른 속도로 증가하고 있는 추세임을 알 수 있다.

5. 담뱃불에 대한 연소 메카니즘

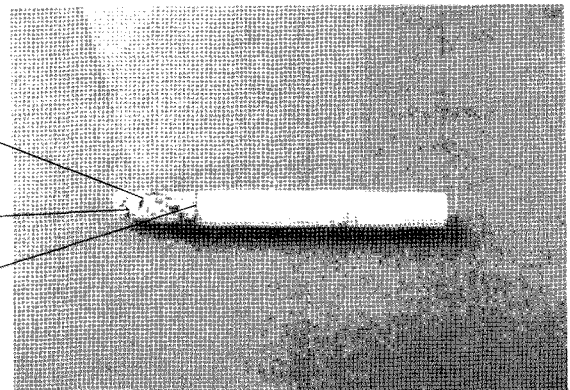
(1) 발화 가능성

1) 담뱃불 온도

- 중심부 온도 : 700~800°C
- 흡연시 온도 : 840~850°C
- 표면온도 : 200~300°C
- 권지의 연소선단 : 550~600°C

2) 연소성

- 풍속 1.5m/sec(최적조건),



3m/sec 이상시 꺼지기 쉬우며, 산소농도 16%이하에서는 연소하지 않음

3) 연소시간

• 레귤러 사이즈(84mm) 1개피 : 수평 : 13~14분 소요, 수직 : 11~12분 소요

4) 점화원으로서 특징

- 대표적인 무염화원
- 이동이 가능한 점화원
- 필터(합성섬유, 펄프)와 몸체(종이, 연초)로 구성 : 가연성이 존재
- 흡연자는 화인을 제공할 수 있는 개연성이 존재(인적행위)

(1) 착화 가능성

1) 가솔린

가솔린에 대한 착화점은 280~300°C이므로 이론상 착화가 가능하지만 담뱃불의 표면은 탄화된 재와 공기 또는 탄산가스가 많은 공기로 둘러 쌓여 있어 열을 흡수하고 불이 붙어 있는 부분이 시시각각으로 이동하며, 또한 발생 열량은 타지 않은 부분을 연소시키기 위하여 대부분의 열량을 소비하게 되므로 가솔린 증기가 접해 있는 부분을 착화점이상으로 가열시키지 못한다. 따라서 담뱃불은 가솔린 증기에 착화하지 않는다.

2) 도시가스

도시가스는 탄화수소의 혼합물로 구성되어 있고 주성분인 수소의 착화점은 585°C, 일산화탄소 651°C, 메탄은 537°C로 표면 온도가 300°C 전후인 담뱃불로서는 도시가스 온도를 착화점이상으로 가열시키기 어려워 착화되지 않는다.

3) 면제품(방석, 이불, 의류 등)

무염착화 후 무염연소를 계속하며 신문지 등의 가연물이나 조연재, 공기 유입 등 연소조건이 갖추어지면 불꽃을 일으키며 유염연소한다.

4) 화학섬유, 혼합섬유

담뱃불이 접촉한 부분만 용융 또는 탄화한 후 소화된다.

5) 종이류

접은 신문지 위에서는 접촉 부분만 탄화하지만 휴지통속이나 축열조건이 좋은 부분에 구겨 넣거나 다른 가연물과 섞여 있는 경우에는 무염착화한 후 일정시간이 경과하면 발염착화 한다.

6) 카펫트(모, 나이론계, 아크릴계 섬유)

담뱃불이 접촉된 부분만 탄화 또는 용융된다.

7) 우레탄 폼 방식

접촉부위만 약간 탄화되고 착화되지 않는다.

8) 발포스티로폼

접촉부위만 용융되고 착화되지 않는다.

9) 부스러기류(톱밥, 고무, 스폰지, 가죽)

톱밥부스러기는 무염→발염연소에 이르나 기타 부스러기류는 무염 연소만 한다. 톱밥의 경우 0.5m/sec 전후 미풍에서는 발화가 잘 일어나나 무풍하에서는 발염연소가 잘 일어나지 않는다.

고무부스러기의 경우 부스러기 표면에 담뱃불을 접촉했을 때 10분 정도 경과 후 독립무염 연소를 하고 연소범위가 확대되며 연기의 발생량이 많아진다. 이때 어떤 가연물이 접촉되어 있다면 연소확대될 수 있다. 담뱃불을 고무 부스러기 속에 넣었을 때는 무염연소나 발염도 없이 꺼진다.

가죽의 경우에는 표면에 놓았을 경우와 부스러기 속에 넣었을 경우 모두 10~12분 경과 후 발염과 무염연소가 확대된다. 이때 가연물이 접촉되어 있으면 발염착화 될 수 있다.

3 담뱃불 발화 실험

1. 일반적인 실험조건

- (1) 일 시 - 2002. 9. 13(금) 13:00 ~ 17:00 (4시간)
- (2) 장 소 - 경기도소방학교 연소(옥내)실험장 (용인시 남사면 소재)
- (3) 기 상 - 맑음
 - 1) 온도 : 21.3°C
 - 2) 습도 : 72 %
 - 3) 풍향 : 남동풍 1.0 m/sec

2. 실험 내용 및 방법

(1) 제 1실험

재떨이(세라믹수지, 유리, 플라스틱)내부 담뱃불 접촉

(2) 제 2실험

비닐장판 위에 휴지통 (철제, 프라스틱)내부에 담뱃불 접촉

(3) 제 3실험

부탄가스통(토치램프) 가스 누출 후 담뱃불에 접촉

(4) 제 4실험

데시게이터용기안에서 가솔린 유증에 담뱃불 접촉

(5) 제 5실험

면제품류인 방석, 의류, 가죽, 침대메트리스 등 가연물 위에 담뱃불 접촉

(6) 제 6실험

발포스티로폼, 톱밥 위에 담뱃불 접촉

4 실험 결과의 분석 및 응용에 대한 고찰

1. 실험결과에 대한 분석

(1)-1. 제1실험(재떨이)에 대하여

1) 현상적 고찰 (재떨이1)



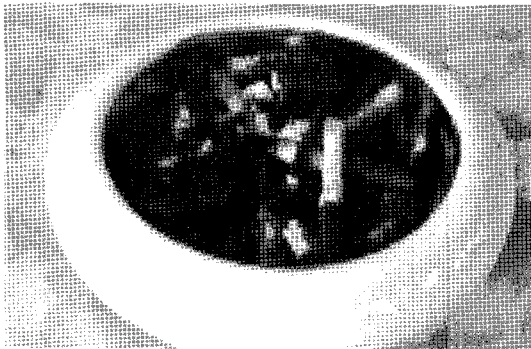
◀ 실험대상 재떨이 용기별 담뱃불 접촉.

- 전면 : 세라믹수지
- 중 : 유리
- 후면 : 플라스틱

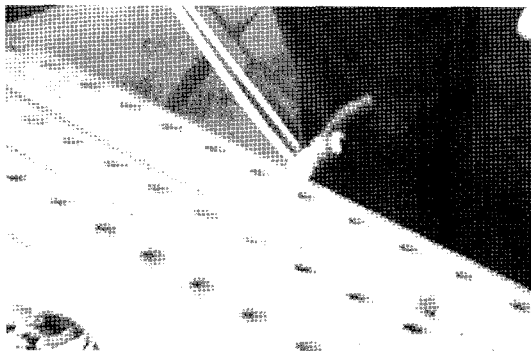


- ◀ 세라믹 수지 재떨이 담뱃불 투입 10분 후 용기 균열발생

2) 현상적 고찰 (세라믹수지 재떨이)

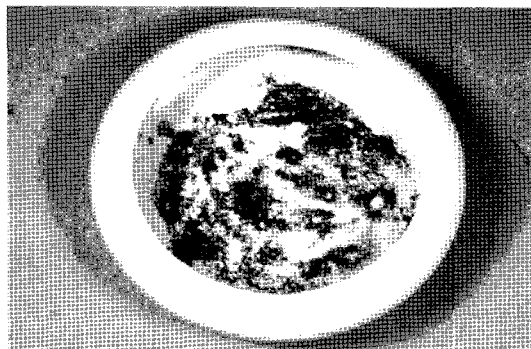


- ◀ 담뱃불 점화 약 15분 후 담배꽂초가 탄화된 모습

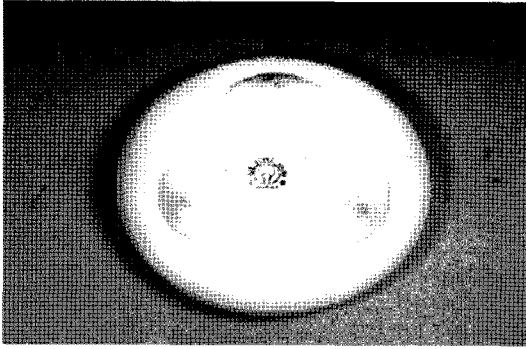


- ◀ 점화원으로 사용한 담배꽂초 식별 (적색 테이핑)

3) 현상적 고찰 (세라믹수지 재떨이)



- ◀ 탄화점 꽂초 제거후 용기 내부

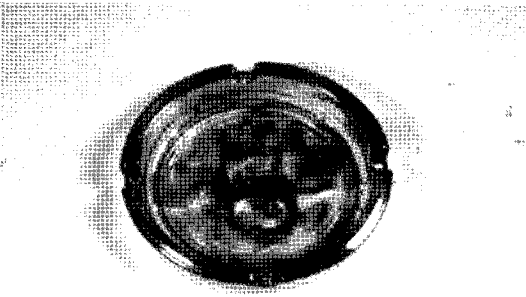


◀ 상기 재떨이 바닥면

4) 현상적 고찰 (유리재떨이)



◀ 유리재떨이 담배 꽂초 탄화



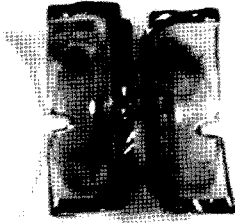
◀ 꽂초 제거후 재떨이 용기 내부

5) 현상적 고찰 (유리재떨이)



◀ 유리재떨이 밑면

◀ 유리재떨이 파열면

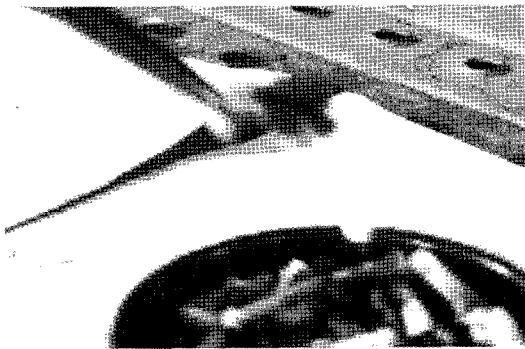


6) 현상적 고찰 (플라스틱 재떨이)

◀ 플라스틱 재떨이 공초
탄화

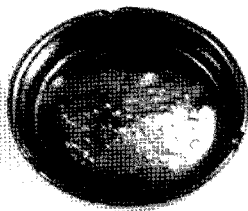


◀ 점화원으로 사용한 담
배공초 식별



7) 현상적 고찰 (플라스틱 재떨이)

◀ 플라스틱 재떨이 내부



◀ 플라스틱 재떨이 바닥면



(1)-2. 제1실험 결과에 대한 이론적 고찰

1) 세라믹 재떨이

ceramics이란 일반적으로 규산 염광물질을 열처리에 의해 만들어진 제품을 말하며 요업제품이나 도자기 등을 일컫는 것으로 최근 활용범위와 중요성이 높아지고 있는 물질이다. 활용범위는 보온, 단열재, 방음재, 보도타일, 내외장용 타일, 벽돌류, 세라믹 시멘트, 모래 등 토목, 건축용 자재, 연마자료 등이다. 세라믹의 일반적인 특성은 불에 연소하지 않고 부패되지 않으며, 녹이 슬지 않고 내마모성, 방음성, 내열성, 전기불량도체, 방온, 방습, 변질되지 않는 성질을 가지고 있다.

2) 유리재떨이

유리 재떨이는 연소열에 의해 가열된 부분(내부)이 고온으로 되어 팽창하려고 하는 응력이 생기며 화염에 직접 접하지 않은 부분(외부)은 응력이 거의 없어 내부 응력이 유리 강도 이상으로 커지면 열적 파괴가 일어난다. 즉 유리제품내의 축열상태가 열적 파괴를 일으키기에 충분해야 한다. 또한 열적 파괴를 일으키는 내부와 외부의 온도차는 유리의 종류에 따라 다르지만 일반적으로 내부온도가 230~245°C로 상승하고 외부온도가 120~180°C로 온도차가 110~137°C가 될 때 열적파괴를 일으켜 파열된다. 일반적으로 유리는 약250°C에서 균열이 생겨 떨어지며 약 600~650°C에서 끝이 둥글어지므로 파손된 유리조각이 깨끗하고 불규칙할 때는 약 10분이내 강렬한 열을 받은 것이며, 매연이 낀 유리조각은 화재초기나 혼소화재와 같이 발열이 심하고 열을 서서히 받았음을 수 있다.

3) 플라스틱(멜라민 수지) 재떨이

Melamine Resin은 멜라민과 포름알데히드(포르말린)의 축 중합(축합

반응의 반복에 의한 중합체 생성 반응) 반응에 의해 얻어 지는 것으로 무색 투명하며 기계적 성질이 우수하여 소화재료와 도료로 이용되고 성형 후의 팽창이나 수축도 적다. 내수성, 내열성, 내약품성, 염색성, 내아크성, 내트레킹, 전기 절연성이 좋아 전기부품, 식기, 일용품 등 성형품을 만드는데 사용된다. 멜라민수지의 연소생성물은 일산화탄소, 이산화탄소, 저급 지방산, 에틸알콜, 아세트알데히드, 아세틸렌, 에탄, 프로필렌 등이며 멜라민 수지는 약 400°C에서 연화 또는 용융, 450°C~700°C에서 발화한다.

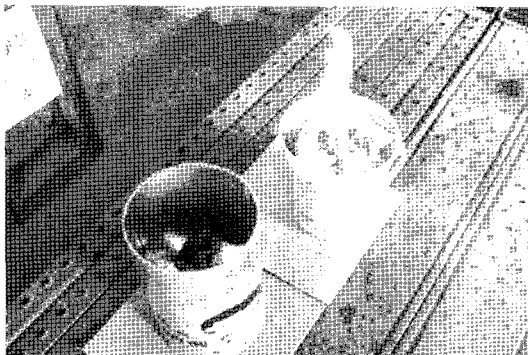
※ 플라스틱 재료의 연소형태는 열을 받았을 때 화학변화를 수반하지 않고 용융되고 냉각되면 굳어 버리는 열가소성과 열을 받으면 화학변화를 일으키며 용융되지 않고 연소되는 열경화성이 있다. 열가소성으로는 폴리에틸렌, 폴리에스테르, 메타크릴수지 등으로 연소하기 쉽고 자기연소성이 있으며 열경화성 수지는 멜라닌계, 염화비닐, 테프론 등 난연성이 많다.

(2)-1. 제2실험(휴지통)에 대하여

1) 현상적 고찰 (휴지통1)



◀ 휴지통 담뱃불 발화실험

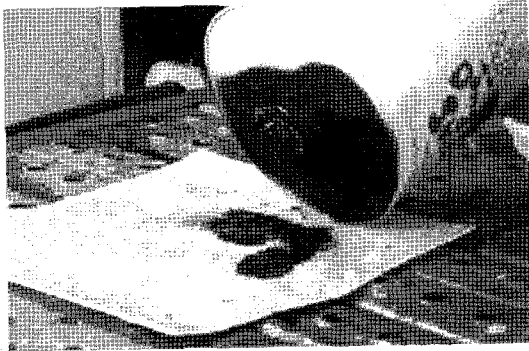


◀ 휴지통 내부 발화장면

2) 현상적 고찰 (휴지통2)

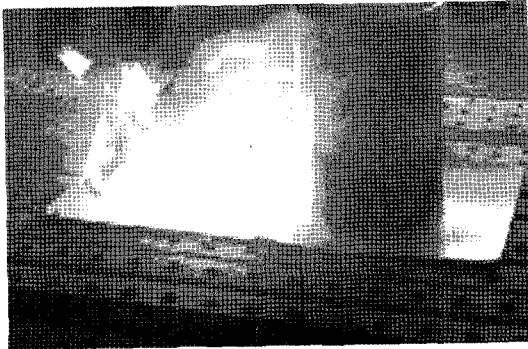


◀ 휴지통 용기면 소훼현상 비교



◀ 철제휴지통 바닥면과 장판 식별

3) 현상적 고찰(휴지통 3)



◀ 플라스틱휴지통 바닥 창판에 착화

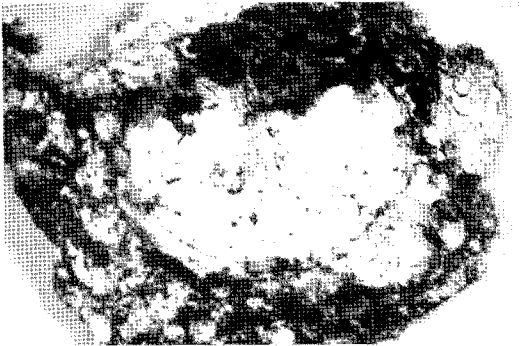


◀ 플라스틱 휴지통내부 연소 잔류물

4) 현상적 고찰(휴지통 4)

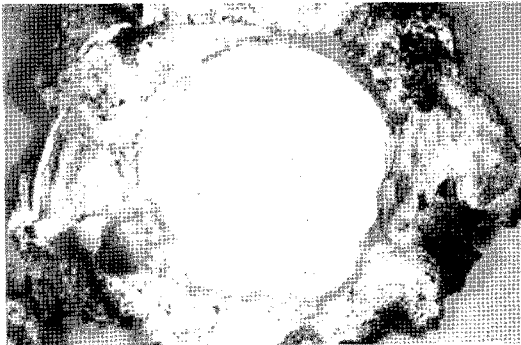


◀ 철재 휴지통 밀면 비닐장판 소훼흔



◀ 플라스틱 휴지통 내부 밀면 소훼

5) 현상적 고찰(휴지통 5)



◀ 플라스틱 휴지통 바닥면



◀ 플라스틱 휴지통 장판 후면

(2)-1. 제2실험 결과에 대한 이론적 고찰

동질의 가연물에 담뱃불이 접촉되어도 모든 경우에 동일하게 발화되는 것은 아니다. 무염착화가 되는 가연물은 축열 조건에 따라 발화여부가 결정된다. 휴지통 등과 같이 열이 축적되기 좋은 조건에서는 일정시간 무염 연소 후 발염 착화가 된다. 이 밖에도 공기의 공급이 양호한 용기안이나 상자속 등은 발화에 충분한 축열 조건이 된다. 철제 쓰레기통 금속의 변색흔을 식별하고 내부에 남아 있는 담배꽂초와 가연물의 탄화물(재)을 확인한다.

1) 철제 휴지통 감식요령

- ① 쓰레기를 넣어 둔 채로 바로 위에서 사진촬영
- ② 쓰레기를 합판 등에 쏟아 놓고 쓰레기통과 같이 사진 촬영
- ③ 쓰레기속에서 종이, 천, 성냥개비, 꽂초 등을 찾아내어 가지런히 놓고 촬영
- ④ 불씨가 된 발화원, 가연물의 증거 수집 및 철제 변색흔 등을 식별
- ⑤ 쓰레기통을 제거 후 바닥재 소훼흔 등을 관찰
- ⑥ 휴지통의 금속면에 초기에는 그을림이 부착되고 양이 증가하다가 열을 지속적으로 받으면 그을림이 소실되며 수열에 의해 붉은색→청색으로 변화되는 과정은 온도차이를 나타내며 연소가 강할수록 회백색이 되므로 발화전 철재색깔을 파악한다.

※ 플라스틱제 쓰레기통의 경우에는 열에 의해 용기가 탄화되거나 용융상태에서 굳어 버리기 때문에 현장에서 이들 물증을 확인하여야 한다. 용융된 플라스틱통 속에는 연소되지 않은 담배꽂초 등의 가연물이나 탄화된 물질 등이 섞여 있게 되므로 이들을 확인해야 한다.

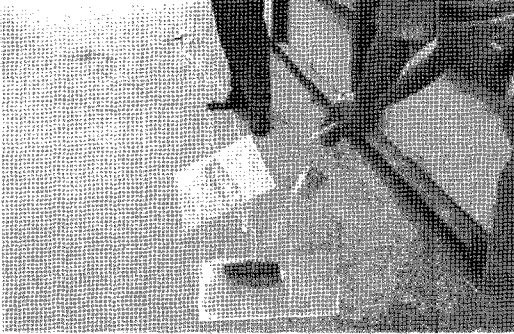
화재현장에서 발견한 플라스틱의 연소상태를 플라스틱의 물성과 연소특성에 따라서 정확하게 이해하여야만 정확한 연소경로를 확인할 수 있고 발화지점 및 착화원인을 규명하는데 결정적인 판단을 내릴 수 있게 된다.

2) 플라스틱 휴지통 감식요령

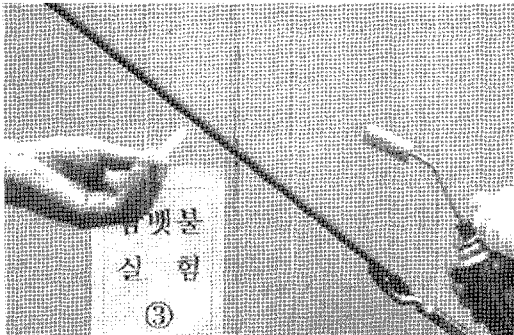
- ① 플라스틱 용기는 열에 녹아서 없어질 경우도 있으나 바닥부분이 남아있는 경우가 많다.
- ② 형체가 없어졌다고 삼 등으로 파헤치지 않도록 주의(물로 씻어 내면 관찰가능)
- ③ 사진촬영은 뒤집어서 하고 바닥 장판재를 살펴 연소방향 등을 관찰
- ④ 휴지통과 내용물 등을 가지런히 놓고 사진촬영한다.

(3)-1. 제3실험 (부탄가스와 담뱃불 접촉)에 대하여

1) 현상적 고찰 (부탄가스 1)

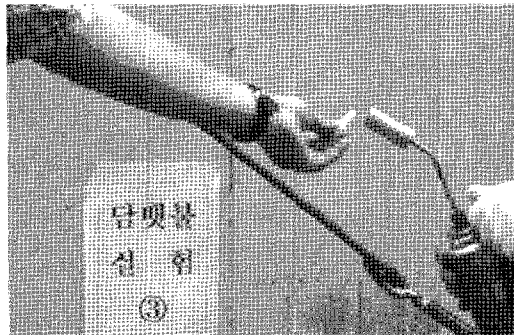


◀ 실험용기에 부탄가스 주입



◀ 담뱃불 점화 후 10여 cm 거리에서 부탄가스 누출시킴

2) 현상적 고찰 (부탄가스 2)



◀ 담뱃불 점화후 1cm 거리에서 부탄가스 누출시킴



◀ 부탄가스 주입후 전기 스파크로 점화

(3)-2. 제3실험 결과에 대한 이론적 고찰

Butane, Pentane은 이성질체가 2, 3개이므로 n, iso, neo의 접두어를 사용하면 표현은 가능하나 이 이상의 고급알칸은 명명이 불가능하기 때문에 표준화된 방법(IUPAC ; International Union of Pure and Applied Chemistry) 방법에 준해야 한다.

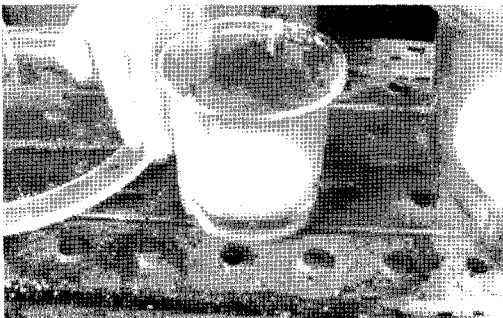
부탄은 사슬모양의 탄화수소 중의 하나로 화학식은 C_4H_{10} , 분자량은 58.1이며 4개의 탄소원자가 연속하여 사슬모양으로 결합하고 있는 n-부탄과 1개의 탄소원자에 다른 3개의 탄소원자가 결합한 이소부탄의 두 종류가 있다. 공기에 비해 약 2.08배가 무겁고 무게는 부피의 물 무게의 0.58배이다.

부탄같은 C_4 탄화수소는 ① 천연가스 및 석유정제시에 부생되는 가스(즉 상압 증류 가스, 접촉분해 가스, 접촉재질가스)와 ② 나프탈렌 분해할 때 부생되는 C_4 유분이 얻어지며 이중에는 약 30%의 부타디엔이 포함되어 있다.

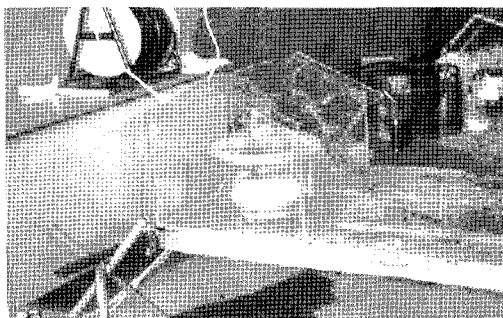
C_4 유분은 n - Butane, Isobutane 등 여섯가지의 화합물을 포함하는 복잡한 혼합물이다. n - Butane은 액화석유가스(LPG) 등의 연료로 사용되며 화학공업면에서는 탈 수소하여 부타디엔을, 산화시켜 초산, 무수초산, 메틸에틸케톤 등을 제조하는 원료가 된다.

(4)-1. 제4실험 가솔린과 담뱃불 접촉에 대하여

1) 현상적 고찰(가솔린 1)



◀ 용기내 가솔린 주입후 담뱃불 투입 (인화되지 않음)



◀ 데시게이터 용기내 가솔린 유증에 담뱃불 투입 (인화되지 않음)

(4)-2. 제4실험 결과에 대한 이론적 고찰

♣. 가솔린 $C_5H_{12} \sim C_9H_{20}$

- 1) 용도 : 자동차 및 항공기 등의 연료, 공업용 용제, 희석제, 추출제
- 2) 제법 : 원유정제시 얻어지며 제조법에 따라 직류가솔린, 분해가솔린, 개질가솔린, 중합 가솔린, 합성가솔린 등 여러 종류가 있다.
- 3) 성상
 - 주성분은 $C_5H_{12} \sim C_9H_{20}$ 의 알칸 또는 알켄이다.
 - 비점=30~250℃, 비중=0.65~0.76, 증기비중=3~4, 발열량=12,000kcal/kg, 인화점=-20~-43℃, 발화점= 300℃ 연소범위=1.4~7.6%
 - 무색 투명한 액상 유분으로 휘발유 특유의 냄새가 난다.
 - 물에 녹지 않고 유지 등을 잘 녹이며 유기용제와 잘 혼합한다.
 - 비전도성으로 정전기의 발생 축적시키므로 대전을 일으키기 쉽다.
- 4) 위험성
 - 점화원 또는 정전기 스파크에 의해서 인화가 용이하다.
 - 증기는 공기보다 무겁기 때문에 낮은 곳에 흘러 체류하기 쉬우며 먼 곳에서도 인화하기 쉽다.
 - 연소범위의 하한이 낮아 조금의 증기량만 있어도 연소할 가능성이 있다 연소범위 하한 1.4vol%는 1드럼통의 공간에 휘발유 약 9g이 존재하면 형성된다. 따라서 빈용기에 증기가 잔류하지 않도록 한다.
 - 비전도성으로 정전기의 발생, 축적시키므로 대전을 일으키기 쉽다.
 - 제1류위험물과 같은 강산화제와 혼합하거나 또는 강산류가 혼합하면 혼촉 발화한다.
- 5) 저장 및 취급
 - 화기엄금, 불꽃, 불티, 접촉방지, 가열금지, 직사광선을 차단한다.
 - 증기의 누설 및 액체의 누출을 방지하고, 용기는 차고 건조하며 통풍 환기가 잘되는 곳에 저장한다.
 - 강산화제, 강산류와의 접촉을 피한다.
 - 저장취급 중 정전기의 발생 및 축적을 방지하며 취급소내 전기설비에 대해서는 방폭조치.
- 6) 유독성

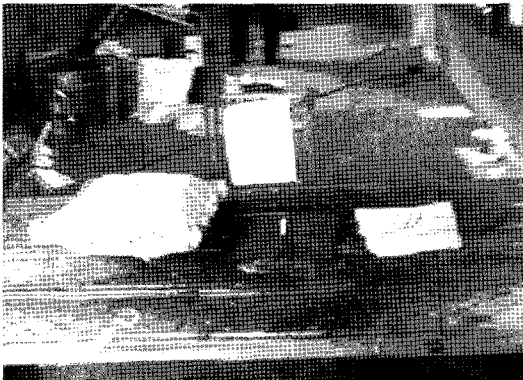
- 탄화수소류의 독성은 있으나 강하지 않은 편이며 자동차 연료용은 안티녹킹제(사에틸 연)를 혼합하고 있어 독성은 강하다.
- 연소생성물은 불순물에 의해 아황산가스가 발생하고 엔진내의 고온에 의해 질소 산화물이 생겨 유독하다.

그러므로 가솔린 증기가 폭발한계 내에 있는 부분에 담뱃불을 가지고 있어도 또는 담뱃불을 흡연해도 가솔린 증기에 착화되지 않는다.

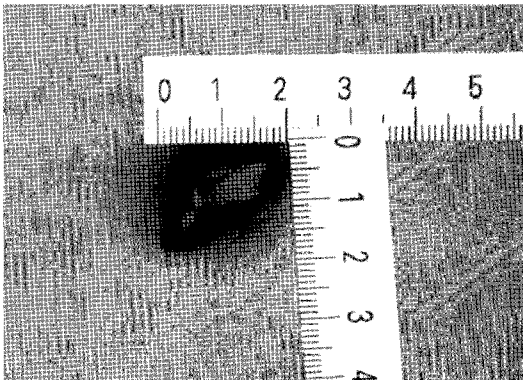
담배의 무염착화 상태에서는 중심부의 온도가 700~800°C로 되어 있지만 표면은 공기 또는 탄산가스가 많은 공기로 둘러 쌓여 있어 열을 빼앗아 상승하고 또 불이 붙어 있는 점은 시시각각 이동하므로 불이 극히 가깝더라도 가솔린의 발화점인 280~300°C에 달할 수 없기 때문이다. 따라서 담뱃불은 점화원으로서 열원부족으로 가솔린의 발화점까지 혼합기체를 실제적으로 가열할 수 없으므로 인화될 가능성은 없다고 할 수 있다.

(5)-1. 제5실험 (면제품류과 담뱃불 접촉)에 대하여

1) 현상적 고찰 1(방석, 의류)

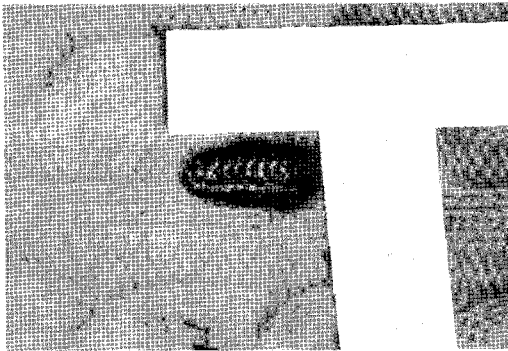


◀ 10여분 동안 담뱃불과 접촉시킴.

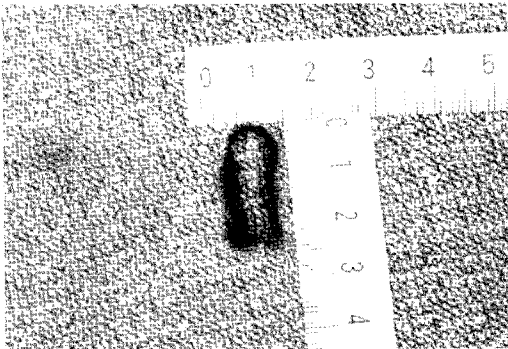


◀ 방석 : 2 × 2 cm 탄화면적

2) 현상적 고찰 2 (의류)

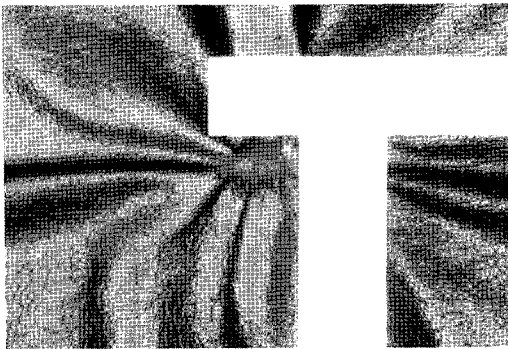


◀ 털스웨터 : 1.8 × 1.1
cm 탄화면적

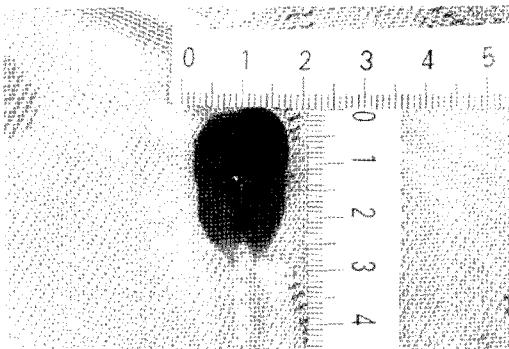


◀ 혼방바지 : 1.4 × 2.5
cm 탄화면적

3) 현상적 고찰 3 (가족, 침대매트리스)



◀ 가족의류 : 1 × 1 cm
탄화면적



◀ 침대 매트리스 : 1.4 × 2.8 cm
탄화면적

(5)-2. 제 5실험에 대한 이론적 고찰

1) 목면제 방석

방석커버면은 담뱃불을 접촉시킨 후 10분경 후 약 2x2cm에 무염연소가 진행되었으며, 목면에는 11~12mm/min속도(이론상) 무염연소가 진행되었으며, 이때 신문지 등 얇아 놓으면 발염에 이르러 조연재와 공기 유입요건이 충족시에는 발염하여 연소확대될 가능성이 있음.

2) 화학섬유류

화학섬유의 대표적인 폴리에틸렌류의 섬유는 연화, 수축이 되는 내열성을 가지며 연소시 녹아 흐르면서 타면 화염과 접촉시 용융이 되면 지속적으로 연소이며 단단한 회갈색의 잔사형태를 남긴다. 실험대상 의류에서는 표면에 담뱃불을 접촉 10분 경과시 (1.4x2.5cm 정도 탄화 됨)담뱃불이 접촉된 부분만 용융되고 독립적인 연소에 이르지 않았으며, 모직류(스웨터)는 같은 조건에서 1.8x1.1cm 정도, 담뱃불 접촉부분에 용융, 탄화됨.

3) 가죽

가죽표면에 담뱃불을 놓았을 경우에 약 10분 경과시 (1x1cm 정도 탄화 됨) 발염과 무염연소가 확대된다. 이때 주변에 가연물이 접촉되어 있으면 발염착화가 될 가능성이 있다.

4) 침대매트리스

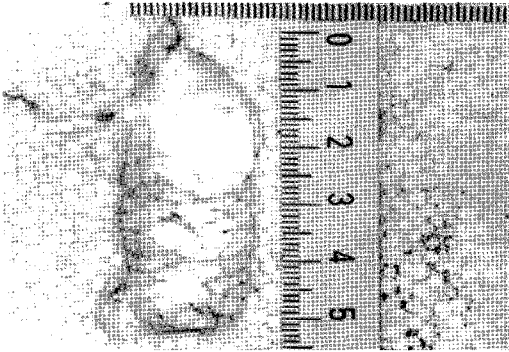
침대매트리스에 담뱃불을 놓았을 경우에 약 10분 경과시 (1.4x2.8cm 정도)용융, 탄화되므로 연소조건 충족시 발염착화에 이르며 침구류에 대한 감식요령은,

- ① 매트리스위 이불의 종별과 퍼 놓은 즉 발화전 상태를 파악한다.
- ② 이불의 경계(갈림부분)를 따서 타 들어간 상태를 명확히 알아 본다.
- ③ 이불이 탄 상태와 불길의 방향성을 알아내어 이불의 범위를 확정한다
(필요시 물로 세척)
- ④ 불탄 이불의 종류를 조사하고 순차적으로 타들어간 정도를 측정한다.
- ⑤ 이불의 연소형태가 한쪽으로부터 타서 진행된 흔적이 있을 때는 1차 현상으로 판단한다.
- ⑥ 담뱃불외 화재 열에 의한 것을 즉 겹친 것이 타거나 여러개의 탄 흔적이 발견시 2차 현상으로 판단
- ⑦ 침대의 경우 스프링이 많이 찌그러진 부분을 1차 현상이라고 판단

- ⑧ 침대위에 여러장의 이불이 있을시 깊게 타서 들어간 흔적(V 형상)을 관찰한다.

(6)-1. 제 6실험 발포스티로폼, 톱밥과 담뱃불 접촉에 대하여

1) 현상적 고찰(발포 스티로폼)



◀ 발포 스티로폼
- 2.3 × 5.3 cm 탄화면적



◀ 톱밥
- 지름 6cm정도의 탄화면적

(6)-2. 제 6실험 결과에 대한 이론적 고찰

발포 스티로폼은 담뱃불이 닿은 부분만 용융하고 착화발염하지 않으며, 톱밥은 무염연소 후 일정시간이 경과되면 발염연소에 이르고 0.5m/sec 전후의 미풍하에서는 발화가 잘 일어나며 무풍하에서는 발염 연소가 잘 이루어지지 않는다. 톱밥화재시 담뱃불이 침투하여 타들어가면서 생긴 단층부분의 물결상태(파도형상)을 관찰한다.

※ 무염흔

초기발화 단계의 연소흔으로 열원과 접한 가연물의 접촉부나 미소화원에 의한 초기 연소흔으로 물질이 착화되어 불꽃없이 연기만 내면서 나타내는 흔적으로 국부적으로 패인형상이고 깊게 소실되거나 뚜렷한 연소경계면이 일정범위로 형성되는 것이 일반적이며, 발염으로 급격히 연소가 확장되어 연소범위가 넓

어진 경우에도 구별되는 특징(훈소흔)이 있다.

2. 실험결과와 응용에 대한 고찰

(1) 담뱃불 발화원 판정

1) 담뱃불 발화원 규명

담뱃불씨 등 작은 불씨는 감식현장에서 화재진압작전에 따른 주수활동으로 대부분 현장에서 존재하지 않는 경우가 많으므로 착화된 가연물을 조사하여 미세한 발화원에서 가연물에 착화될 수 있는 환경조건, 시간적인 관계 등을 입증함과 동시에 깃연이나 인적 행위에 대한 조사를 선행하여야 한다.

2) 발화원과 가연물과의 관련성

담뱃불 화재원인은 상황증거에 의한 것이므로 담뱃불이 발화원으로 작용된 사항을 입증하기 위하여 주위에 존재하는 가연물과 상호관계를 증명하는 것이 필요하다. 이를 위해서는

첫째, 발화원이 가연물을 착화시킬 수 있는 상황에 있었으며, 열에너지가 충분히 착화시킬 수 있는가를 분명히 한다.

둘째, 담뱃불의 발화원으로부터 타오른 상황이 주변의 가연물의 연소형태 중에서 나타남을 입증한다.

셋째, 출화개소에 있었던 가연물의 연소상황으로부터 화재상황으로 연소가 확대된 경로가 존재하는 것을 입증하여야 한다.

3) 다른 발화원의 부정

담뱃불 발화 원인의 판정에 있어서 발화원이 복수로 나타나는 경우, 담뱃불외의 발화원에 대한 발화 가능성이 없다는 것을 반증사실에 의하여 확실하게 입증되어야 한다. 이는 발화원인 조사가 조사자의 선입관에 의존한 조사가 아니라는 것을 보여 주기 위한 것이다.

담뱃불 화재현장에서 물증을 감식함에 있어서 발화장소, 원인, 화염경로, 피해 확대요인 등을 확인해야 하며, 대부분 현장은 소훼, 진화활동으로 인해 발생전의 상태와 동일한 경우가 드물기 때문에 이들을 종합하여 결론을 얻을 수 있는 총체적인 안목이 필요하다.

(2) 담뱃불 화재에 대한 감식 요령

담뱃불은 전기기구나 연소기구와 달리 화재가 발생하였을 때에는 그 자체가 대부분 탄화되기 때문에 감식현장에서 발화원으로 남아 있지 않은 경우가 많으므로 화재원인 입증에 위해서는 발화지점의 소손상황, 관계자의 진술, 환경 조건 등 상황증거를 근거하여 종합적으로 검토하여야 한다.

담뱃불화재현장의 주요 감식사항은,

- 1) 담뱃불에 의해 착화될 수 있는 가연물을 밝혀 둔다.
- 2) 흡연행위가 있었다는 것을 증명한다.
- 3) 흡연행위와 착화발염까지 경과시간이 착화물과의 관계(가연성, 위치, 상태)와의 타당성을 입증한다.
- 4) 초기 연소의 특징이 착화에서 발염까지 일정시간이 소요되므로 발화 지점에 깊게 타 들어간 흔적을 관찰한다.
- 5) 무염착화가 가능한 가연물은 축열조건에 따라 발화여부가 결정되므로 주변 용기, 휴지 등 가연물, 공기의 공급, 풍향 등 발화에 충분한 축열 조건을 입증한다.

5 종합 의견

1. 종합 의견

- (1) 담뱃불에 의한 열면 발화는 열원의 면적이 증대되면 발화에 필요한 온도가 저하되어 무염→발염→유염단계로 이어지는 시간이 길어진다.
- (2) 무염혼은 초기 불꽃없이 연기만 내면서 나타나는 흔적으로 국부적으로 패인형상이며, 깊게 소실되거나 연소경계면이 일정 범위로 발염으로 연소가 급격히 확장되어 넓어진 후에도 구별되는 특징이 있다.
- (3) 흡연행위에 대한 인적조사가 이루어져야 하며 축열조건, 연소조건, 화재패턴을 관찰하여 발화 가능성을 입증하고 현장보존에 유의하여야 한다.

□ 참고문헌

- 행정자치부, 2001화재통계연보, 범아인쇄, 2002.
- 중앙소방학교, 화재조사(Ⅲ), 정인사, 2001.
- 김윤희, 화재패턴, 국과수 화재연구실 홈페이지, 2001
- 최돈묵외, 소방약제화학, 형설출판사, 2000.
- 김만건, 전기안전용어 사전, 성안당, 2000
- 경기도소방학교, 화재조사 교재, 현대인쇄사, 2002
- 최돈묵외, 화재조사론, 경원전문대학, 2001
- 문용수 화재조사기초이론, 한국화재조사학회지, 2002-1