

플라스틱 휴지통의 연소 재현 실험을 통한 발화지점 축소 방법

A study on the burned pattern of plastic wastebasket by reconstruction

서울소방방재본부 안 성 일

ABSTRACT

There are many origins of fire which are offered by many path, such as cigarette-butt, light of match, playing with fire, arson, and other, in and around wastebasket. Because of above-mentioned thing and the quality of the plastic, it is very difficult to discriminate the difference of burned pattern between in and around wastebasket, between an accidental fire and arson in order to investigate the point of fire.

In this study, the wastebaskets filled up with 2/3 combustibles, and then, ignite in and around wastebasket using the gas lighter by ignitor, and we observe how the fire spread.

As a result, if wastebaskets are burned inside the limit 50%, we discriminate the difference of burned pattern between in and around wastebasket. But, if wastebaskets are burned more than 50%, it is impossible to discriminate the difference of burned pattern between in and around wastebasket.

플라스틱 쓰레기통 화재 연소형상 실험

□ 연소실험 개요

1. 실험목적

- 화재조사 전문화를 위한 연구분위기 조성 및 기본 마인드 정립
- 직접적인 실험·분석을 통한 화재조사의 과학적 토대 구축
- 실험결과 특이점을 명확히 분석, 현장 감식 자료로 적극 활용

2. 실험시료 및 장비

- 시료 : 플라스틱 쓰레기통 10개
 - 주원료: 폴리프로필렌, 종류: 합성수지

※ 폴리프로필렌 연소특성

연소시 검정색의 그을음과 푸른색 불꽃을 내며, 녹은 액상 자체도 연소하여 불꽃이 나타나며, 녹는 온도는 158~168℃, 발화온도 570℃, 발열량은 11,500kcal/kg임

○ 연소실험 관련 주요장비

- 온도측정 : 적외선열화상 카메라(-20℃~2000℃ 측정)
- 시간측정 : 초시계

- 영상 및 사진 촬영 : 디지털 카메라 및 비디오카메라

3. 실험 방법 및 순서

○ 방법

- 내부착화 : 플라스틱 쓰레기통 내부에 휴지등 가연물을 2/3정도 채워놓은 상태에서 라이터를 이용 내부에서 착화 후 고찰
- 외부착화 : 플라스틱 쓰레기통 내부에 휴지등 가연물을 2/3정도 채워놓은 상태에서 외부에 신문지와 면장갑 등을 비치, 라이터를 이용 외부에서 착화 후 고찰
- 소화방법 : 소화기 및 옥내 소화전을 이용 소화하되 착화물의 원형상태를 최대한 보존하여 소화 실시

○ 순서

- 플라스틱 쓰레기통 1/2만 연소 후 소화
- 플라스틱 쓰레기통 바닥만 남긴 후 소화
- 플라스틱 쓰레기통 완전 연소 후 소화

□ 연소실험 결과 및 고찰

1. 플라스틱쓰레기통 반만 연소시킨 경우

○ 실험 방법

- 플라스틱쓰레기통 내부에 휴지 등을 2/3 정도 채워놓은 상태에서 라이터를 이용 쓰레기통 내부에 착화

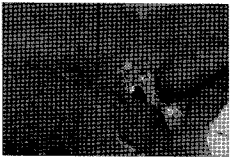
시켜 중간 정도 연소될 때 소화하여 남은 연소형태 관찰

- 플라스틱 쓰레기통 내부에 휴지 등을 2/3 정도 채워 놓은 상태에서 쓰레기통 외부에서 불을 붙여 플라스틱 쓰레기통이 먼저 연소된 후 쓰레기통 내부 내용물에 착화되게 한 후 쓰레기통이 중간 정도 연소될 때 소화하여 남은 연소형태 관찰

○ 연소형태 비교 · 고찰

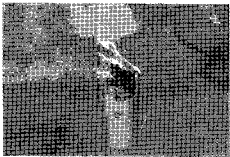
① 플라스틱쓰레기통 내부 연소실험 모습

▼(사진1-1) 쓰레기통 내부에 불을 붙이는 모습



-플라스틱쓰레기통 내부에는 휴지 등 가연물이 채워진 상태임

▼(사진1-2) 쓰레기통 내부 내용물이 연소되는 모습



-플라스틱쓰레기통 내부 내용물이 연소될 때의 온도는 490℃임

▼(사진1-3) 플라스틱쓰레기통이 녹아 내린 모습

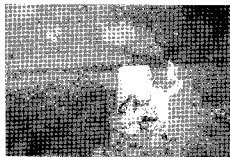


-플라스틱쓰레기통 내부 내용물이 최초 연소되어 플라스틱에 착화되기까지 5분 5초 가량 소요됨
-플라스틱이 착화될 때의 온도는 570℃였음

-쓰레기통 내부에서부터 연소된 경우 플라스틱은 녹아서 밖으로 흘러내리는 모습을 보였으며, 2개 소 이상의 곳에서 녹아 내리거나 구멍이 나는 연소형태를 나타냄

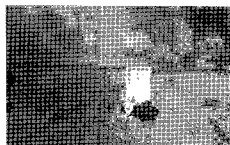
② 플라스틱쓰레기통 외부 연소실험 모습

▼(사진1-4) 플라스틱쓰레기통 외부에서 불을 붙인 모습



-플라스틱쓰레기통 앞에 신문지 및 면장갑을 비치하고 불을 붙여 쓰레기통에 연소되게 함

▼(사진1-5) 플라스틱쓰레기통이 외부에서 연소되어 쓰레기통에 착화된 모습



-플라스틱쓰레기통이 외부 가연물에 의해 쓰레기통 외형의 변형된 시간은 41초

이며, 착화되기까지 소요된 시간은 1분 25초임

- 신문지 및 면장갑이 연소될 때의 온도는 617℃임
- 플라스틱쓰레기통의 착화온도는 570℃로 외부 가연물의 발화온도가 570℃를 상회할 때 착화에 소요되는 시간은 1분이 채 소요되지 않음

▼(사진1-6) 플라스틱쓰레기통 외부에서 연소된 후 중간정도에서 소화한 모습



-플라스틱쓰레기통이 외부 가연물에 의해 녹아내릴 때 밖으로 흘러내렸음. 이는 쓰레기통 내부에서 연소된 경우와 같음

-쓰레기통 외형의 변형된 형태는 외부가연물이 놓여 있었던 방향에서만 변형이 일어나 내부에서 연소된 경우(참조:사진1-3, 2곳 이상이 변형됨)와 다른 모습을 보임.

③ 내 · 외부 연소실험 비교표

- 연소단계별 시간/온도 비교

구분	시간	플라스틱 외형 변형시간/온도	플라스틱 착화시간 /온도
발화지점이 내부인 경우		2분/492℃	5분5초/570℃
발화지점이 외부인 경우		41초/560℃	1분25초/617℃

- 소화 후 외부 변형형태 비교

구 분	변 형 형 태
발화지점이 내부인 경우	2개소 이상의 곳에서 외부형태가 변형됨
발화지점이 외부인 경우	외부 가연물에 근접한 1곳에서만 형태가 변형됨

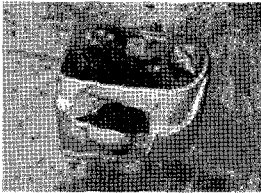
○ 연소실험 결과

① 플라스틱쓰레기통과 관련하여 화재조사시 주요 쟁점사항은 발화지점 판단이다. 플라스틱쓰레기통이 중간 정도 남은 경우 플라스틱쓰레기통 내 · 외부 발화지점 판단은 플라스틱쓰레기통의 외형의 변형형태로 판단할 수 있다.

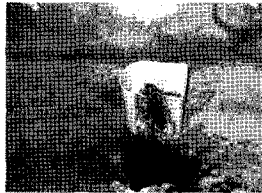
② 플라스틱쓰레기통 내부에서 최초 발화된 경우 플라스틱쓰레기통 외형은 2개소 이상이 변형된 것으로 나타났다

③ 플라스틱쓰레기통 외부에서 발화되어 플라스틱쓰레기통에 착화된 경우 플라스틱쓰레기통 외형은 외부 가연물이 놓인 방향의 플라스틱 외형만 변형됨

④ 플라스틱쓰레기통 내 · 외부 변형형태 비교 사진



▲(사진1-7:내부에서 발화한 경우)



▲(사진1-8:외부에서 발화한 경우)

2. 플라스틱쓰레기통 바닥만 남은 경우

○ 실험 방법

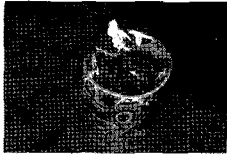
- 플라스틱쓰레기통 내부에 휴지 등을 2/3 정도 채워 놓은 상태에서 라이터를 이용 쓰레기통 내부에 착화시켜 바닥만 남은 때까지 연소진행 시킨 후 소화하여 남은 연소형태 관찰

- 플라스틱 쓰레기통 내부에 휴지 등을 2/3 정도 채워 놓은 상태에서 쓰레기통 외부에서 불을 붙여 플라스틱쓰레기통에 착화시킨 후 플라스틱쓰레기통 바닥만 남은 때까지 연소진행 시킨 후 소화하여 남은 연소형태 관찰

○ 연소형태 비교 · 고찰

① 플라스틱쓰레기통 내부 연소실험 모습

▼(사진2-1) 쓰레기통 내부에 불을 붙인 모습



-플라스틱쓰레기통 내부에는 휴지 등 가연물이 채워진 상태임
-플라스틱쓰레기통 외형은 2곳 이상 변형됨

▼(사진2-2) 쓰레기통이 바닥까지 연소됨



-플라스틱쓰레기통 외부 형태는 남아 있지 않음
-플라스틱쓰레기통 측면이 모두 연소될 때 소요된 시간은 6분 10초임

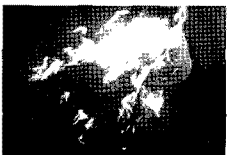
▼(사진2-3) 플라스틱쓰레기통 바닥과 장판 모습



-플라스틱쓰레기통 바닥과 바닥 밑 장판은 연소되지 않음

② 플라스틱쓰레기통 외부 연소실험 모습

▼(사진2-4) 플라스틱쓰레기통 외부에서 불을 붙여 연소가 진행 중인 모습



-플라스틱쓰레기통 앞에 신문지 및 면장갑을 비치하고 불을 붙여 쓰레기통에 연소되게 함

▼(사진2-5) 플라스틱쓰레기통 바닥까지 연소된 모습



-플라스틱쓰레기통 외형이 모두 탈 때 까지 소요된 시간은 7분 30초임

▼(사진2-6) 플라스틱쓰레기통 바닥만 남은 모습



-외부 가연물 반대 방향의 측면 플라스틱이 조금 남아 있음
-내부 발화의 경우에는 측면이 균등하게 녹아 내린 반면, 외부 발화의 경우에는 측면의 녹아내린 시간이 균등하지 않음

▼(사진2-7) 플라스틱쓰레기통 바닥과 장판의 남은 모습



-플라스틱쓰레기통 바닥과 바닥 밑 장판은 연소되지 않음

③ 내 · 외부 연소실험 비교표

- 측면 연소 시간 비교

구분	시간	쓰레기통 측면 연소 소요시간
발화지점이 내부인 경우		6분 10초
발화지점이 외부인 경우		7분 30초

- 측면 연소 형태 비교

구분	변형 형태
발화지점이 내부인 경우	측면이 연소되어 녹아내리는 형태는 거의 균등하게 이루어짐
발화지점이 외부인 경우	외부가연물의 반대편 쓰레기통 측면은 다른 면에 비해 가장 늦게 연소되는 것으로 나타남

○ 연소실험 결과

① 플라스틱쓰레기통이 바닥만 남은 경우 플라스틱쓰레기통 내 · 외부 발화지점 판단은 플라스틱쓰레기통 바닥과 바닥 밑 장판의 남은 형태가 거의 비슷해 관계자 진술과 플라스틱쓰레기통 주변 가연물의 연소형태를 종합해서 판단하여야 하고,

② 플라스틱쓰레기통 측면이 모두 연소될 때 소요되는 시간은 내부에서 발화된 경우 6분 10초, 외부에서 발화된 경우 7분 30초로 화재신고 후 선착대 평균 도착시간

이 서울시의 경우 4분 36초(2001년 기준)인 점을 감안하면 화재진화 후 플라스틱쓰레기통 바닥만 남았다면 선착대 도착 6분 전에 최초 발화가 되었을 것으로 추측할 수 있다.

③ 화재현장에서 발견된 플라스틱쓰레기통의 연소형태는 위 사진(사진2-3, 2-7)과 마찬가지로 쓰레기통 바닥과 바닥 밑 장판은 연소되지 않은 것이 대부분임. 아래 사진은 발화지점이 플라스틱쓰레기통과 관련된 실제 화재현장 사진으로 쓰레기통 주변 환경이 발화지점을 찾는 데 중요한 역할을 함.

▼(사진2-8) 관악구 ○○아파트 화재 사진



쓰레기통위치 -플라스틱쓰레기통은 책상 아래에 위치 하였으며 쓰레기통에 근접한 책상 측면은 쓰레기통이 놓인 곳을 중심으로 주로 연소됨.

- 벽면에서 V형태가 나타남

▼(사진2-9) 송파구 ○○마트 화재 사진



-플라스틱쓰레기통은 계산대 아래에 위치하였으며 쓰레기통에 근접한 책상 측면은 쓰레기통이 놓인 곳을 중심으로 주로 연소됨

-책상 상판 하부가 상부에

비해 먼저 연소가 진행됨

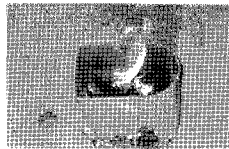
3. 플라스틱쓰레기통 전체가 연소된 경우

○ 실험 방법

- 플라스틱쓰레기통 내부에 휴지 등을 2/3 정도 채워 놓은 상태에서 라이터를 이용 쓰레기통 아랫부분에 착화시켜 플라스틱 쓰레기통이 모두 연소될 때까지 진행시킨 후 소화하여 남은 연소형태 관찰

○ 연소형태 고찰

▼(사진3-1) 쓰레기통 아랫부분에 불을 붙인 모습



-플라스틱쓰레기통 내부엔 휴지 등이 채워진 상태임

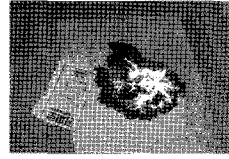
-플라스틱쓰레기통은 아랫부분부터 연소됨

▼(사진3-2) 쓰레기통 상부에서 촬영



-플라스틱쓰레기통 내용물 하단부부터 연소되어 쓰레기통 바닥이 연소됨

▼(사진3-3) 플라스틱쓰레기통 바닥까지 모두 연소된 모습



-플라스틱쓰레기통 바닥까지 모두 연소되기까지 소요된 시간은 24분 35초임

○ 연소실험 결과

① 플라스틱쓰레기통 바닥까지 모두 연소될 때까지 소요된 시간은 24분 35초임

② 플라스틱쓰레기통이 모두 연소되기까지 24분 35초 정도 소요된 것으로 보아 화재현장에서 플라스틱쓰레기통이 형체를 알아볼 수 없을 만큼 연소되었다면, 화재인지가 늦었을 가능성이 크므로 화재인지 경위와 진화시간을 확인해야 한다.

③ 플라스틱쓰레기통 바닥까지 모두 연소된 경우 쓰레기통은 그 형체가 남지 않기 때문에 관계자 진술 등을 통해 쓰레기통의 위치를 확인해야 하며, 주변 가연물 연소형태를 종합해서 발화지점에 관한 판단을 해야 한다.

□ 결론

1. 플라스틱쓰레기통 연소실험 결과

○ 플라스틱쓰레기통의 측면이 연소되지 않고 남은 경우 발화지점 판단은 쓰레기통의 외형을 통해서 판단할 수 있다. 즉 내부에서 발화된 경우 측면의 외형이 2곳 이상 변형된 반면 외부에서 발화되어 쓰레기통에 착화된 경우 외부 가연물에 근접한 면만 변형되어 구별이 뚜렷함

○ 플라스틱쓰레기통 바닥만 남은 경우 바닥과 쓰레기통 밑에 깔린 장판의 형태가 내부에서 발화된 경우와 외부에서 시작된 경우가 서로 비슷하게 나타나 쓰레기통의 남은 형태만으로는 발화지점 판단이 어려우며, 쓰레기통 주변 환경의 연소형태를 고려해서 발화지점을 판단해야 한다

○ 플라스틱쓰레기통이 모두 연소된 경우 24분 이상 소요되므로 화재현장에서 플라스틱쓰레기통이 형체를 알아볼 수 없을 만큼 연소되었다면 장시간 연소된 것으로 추측할 수 있다

○ 학문적인 면에서 보면 플라스틱쓰레기통은 연소시 검정색의 그을음과 파란색의 불꽃을 발생시켜 플라스틱쓰레기통의 주원료인 폴리프로필렌의 연소특성을 확인할 수 있었으며, 플라스틱쓰레기통이 불꽃을 내며 연소되었을 때의 온도가 각각 내부 실험시 570℃, 외부 실험시 617℃로 측정되어 폴리프로필렌의 발화온도가 570℃인 점을 확인할 수 있었음

2. 향후 실험실시에 따른 참고 사항

- 화재현장에서 쓰레기통만 연소되는 것이 아니라 주변 가연물과 함께 연소되기 때문에 쓰레기통만 분리해서 연소실험 하는 것은 완전한 실험이라고 할 수 없기 때문에, 추후 연소실험은 쓰레기통 연소시 벽면의 변색 상태, 쓰레기통 직상부 가연물의 연소형태 등을 관찰할 수 있도록 쓰레기통 주변 환경을 좀 더 세부적으로 설정할 필요가 있음