

세탁건조기내 유기용제와 정전기 세탁물과 화재연관성 연구

장 준 영

중랑소방서 현장대응단 지휘2팀 재난감식

A Study on the Relation between Organic Solvent and Electrostatic Laundry and Fire in a Laundry

Jang Joon Young

Commanding the field response team of the Jungnang Fire Team

Abstract

Fires are caused by four conditions (oxygen, combustible, ignition source, and chain reaction), but fires can occur, even if not in these perfect conditions. Recently, fire in washing dryer was caused by combustible steam of organic solvent in washing dryer and static electricity of laundry. It is an example of the risk that organic solvents and laundry, which are commonly used around us, may cause fire. Of course, organic solvents used in laundry use organic solvents that are at risk of fire for the detergents we commonly use and other powerful cleaning power. But we should not think about the organic solvents we use in our homes. So, through the experiment as follows, we will study the relation between organic solvents commonly used in our surroundings and static electricity generated in the laundry in the dryer.

Key Words : Possible electrostatic charge of laundry organic solvents and laundry

1. 서론

최근 중랑구 신내동 세탁소의 회수건조기에서 화재가 발생하였다. 세탁소에서 사용하는 회수건조기는 회수기와 건조기를 줄여 부르는 말로써 세탁소 드라이클리닝 과정에서 세탁물에 잔존하는 세탁용제를 증발시켜 제거하는 건조기와 증발된 세탁용제의 유증기를 냉각기를 통과시켜 응축시킨 후 이를 회수하여 재활용하는 회수기로 구성되어 있다.

실험을 통해 회수건조기 화재와 관련하여 세탁소에서 일반적으로 사용하는 유기용제에서 발생하는 유증기와 고온에서 건조시 정전기 발생가능성이 높은 세탁물과의 화재발생 연관성을 실험을 통해 연구하여 우리가 안전하다고 생각하는 건조기 등의 제품에서 화재발생 위험을 배제할 수 없다는 것을 확인하고 싶었다. 물론 건조기에서의 화재발생 가능성은 희박하지만 실험을 통해 그 희박한 가능성에 대해 연구하여 건조기 사용시 안전에 대한 경각심을 고취하고자 한다.

the author of the book E-mail: stand29@seoul.go.kr

2. 본론

2.1. 선행연구

진주소방서에서 근무하는 현역 소방관인 박은주는 2011년 세탁소 회수건조기 발화가능성 연구에서 세탁용제 자체의 위험성, 접촉 불량, 방전, 합선, 트래킹, 과부하·과전류와 같은 전기적인 위험성 등 잠재적인 위험요인을 제시하였다. 한국화재보험협회 부설 방재시험연구원 최정민 외 2명은 세탁소 유기용제 회수

건조기의 폭발 위험성에 관한 실험적 연구를 통해 실제 유기용제 회수건조기가 운전되는 온도 영역에서 점화원 에너지에 의한 폭발이 발생한다는 점을 실험적으로 규명하였다. 또한 2008년부터 2010년까지의 회수건조기 화재발생 사례를 분석하였고 또 다른 현역 소방관인 김정현은 회수건조기가 아닌 일반 가정용 건조기 화재사례 연구를 통해 건조기에서 발생하는 화재의 원인을 분석하고자 하였다. 다른 관점에서 최정민외 4명은 2012년에 세탁소 드라이클리닝용 석유계용제의 화재위험성 실험을 통해 유기용제 회수성 건조기의 화재발생가능성에 대해 연구하였다.

2.2. 시료 및 방법

유기용제(솔벤트)는 일반 세탁소에서 회수건조기 내의 온도가 올라감에 따라 의류에 묻어 있던 세탁용제가 증발하여 일정 농도의 유증기를 형성한다. 이러한 유증기는 직접적으로 폭발의 위험성을 가지고 있다. 세탁소에서는 유기용제(솔벤트)의 제품중에서 대체로 유크린, 키크솔, 엑솔디를 사용하고 있으며 제조사가 제시한 세탁용제의 인화점 및 폭발한계농도의 측정수치는 아래와 같다.

세탁용제		대기업 제품			임의수거 제품		
		유크린	키크솔	엑솔디	A	B	C
인화점(°C)		44.0	40.5	46.0	39.5	43.5	42.5
폭발한계농도	상한(%)	8.0	5.0	5.6	-	-	-
	하한(%)	0.9	0.9	0.8	-	-	-

Table 1. flash point and explosion limits of solvents

온도(°C)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
세탁용제										
유크린	0.25	0.47	0.83	1.41	2.42	3.95	6.00	9.39	13.20	18.99
키크솔	0.26	0.51	0.93	1.66	2.66	4.28	6.52	9.27	12.49	16.16

Table 2. vapor concentration(%) of solvents

유크린, 키크솔 등 유기용제 사용시 온도가 상승함에 따라 유증기 농도가 상승하는 위험특성곡선을 얻을 수 있다고 발표한 논문에서 보면 상기 표에서 보여주는 바와 같이 45°C에서의 유증기 농도가 유크린과 키크솔 모두 1% 이상으로 예상되므로 이는 폭발한계농도 0.9%를 상회하여 폭발위험범위에 들어간다고 판단할 수 있다. 실제 세탁소 회수건조기는 세탁물의 종류와 양에 따라 가변적이기는 하지만 일반적으로 40°C ~ 60°C범위에서 작동되고 있음을 고려할 때 가연물 측면에서는 항상 폭발의 위험성이 존재한다고 볼 수 있다. 정전기에 의한 화재는 가연성물질에 정전기가 점화원으로 작용하는 것을 말한다.

물체를 구성하는 원자핵의 주변에 전자들이 돌고 있는데, 이 전자들은 마찰을 통해 다른 물체로 이동하고 마찰이 일어날 때마다 전자를 주고받게 되는데 이 과정에서 전기가 조금씩 저장되고 적정 한도 이상 전기가 쌓이면 적절한 유전체에 닿았을 때 순식간에 불꽃을 튀며 이동하게 된다. 이때 발생하는 불꽃을 정전불꽃이라고 한다. 이와 같은 원리로 합성섬유와 같은 유기절연체 간 마찰이나 박리에서 정전기가 발생하고 부도체인 유류의 이송과정에서도 자체 마찰에 의해 정전기가 발생한다. 우리는 합성섬유와 같은 유기절연체 간 마찰이나 박리에서 발생하는 정전기를 이용하여 화재를 발생시키는 실험을 하고자 한다.

2.3. 화재사례

1. 화재일시 : 2019. 02. 27.(수) 14:47
2. 화재장소 : 중랑구 용마산로 669(신내동 317번지)
3. 화재대상 : 신내데시앙아파트상가 105호(데시앙 크린세탁소)

4. 건물구조 : 양식 철근조 슬라브가 2/0층, 1동, 22호, 연면적 1,004㎡
5. 인명피해 : 해당없음
 - ※ 인명구조 1명 (여 · 59세 · 거주자), 단순연기흡입
6. 재산피해 : 412천원(동산 : 412천원)
 - 부동산 : 피해없음
 - 동 산 : 세탁물 건조기, 의류 일부 소실 및 그을림
7. 동원자원
 - 인 원 : 55명(소방 51, 경찰 4)
 - 장 비 : 14대(펌프 4, 탱크 4, 굴절 1, 구조 2, 구급 2, 기타 1)
8. 조사일시 : 2019. 02. 27.(수) 14:51 ~ 15:30
9. 발화지점 : 데시앙 크린세탁소 영업실
10. 화재원인 : 화학적 요인(화학적 발화(유증기폭발))
11. 화재개요 : 세탁소 내부 건조기에서 의류 건조 중 고열을 발생시키는 건조기 특성상 세탁물에 남아 있던 솔벤트 잔존물에서 유증기가 발생하여 폴리에스테르 재질의 의류에서 발생한 정전기가 점화원으로 작용하면서 유증기 폭발로 화재가 발생한 것으로 추정됨.
12. 화재현장 사진



Fig. 1 laundry dryer carbide
(Fire limited to the inside of the laundry dryer of the initial ignition unit)



Fig. 2 laundry dryer inside
(Only the clothes, etc. have soot on the laundry dryer)

2.4. 실험준비물과 실험방법

2.4.1. 실험준비물 : 세탁용유기용제, 건조기, 전기전압 측정장치, 디지털카메라, 카메라 영상장치, 세탁물, 전기발생장치, 화점탐지기등



Fig. 3 The Preparation Process of Reappearance Experiment and the Participation of Employees in the Chief's Experiment and Reappearance Experiment

2.4.2. 실험방법

1. 1차 실험방법 : 유기용제와 세탁물을 섞어 건조기 내에서 일정시간 건조시켜 화재발생여부를 살펴본다.
 - 1-1. 유기용제와 세탁물 건조 중 건조기내 유기용제의 유증기 발생여부를 확인한다.
 - 1-2. 건조기내 세탁물의 정전기 발생여부를 측정하여 시간대별 정전기 변화를 살펴본다.
2. 2차 실험방법 : 유기용제와 세탁물을 신나와 섞어 건조기 내에서 일정시간 건조시켜 화재발생여부를 살펴본다.
3. 3차 실험방법 : 유기용제와 세탁물을 신나와 섞어 건조 중 건조기 내부에 인위적으로 전기스파크를 발생시켜주어 화재발생여부를 살펴본다.



Fig. 4. Check the preparations (laundry, organic solvent, cinnamon) and the drier operation and electricity generation required for the experiment

2.5. 재현실험결과

2.5.1. 1차 재현실험

1. 세탁물을 유기용제(솔벤트)에 적셔 건조기에 넣고 건조기를 작동시킨지 수 분만에 유증기가 건조기 외부로 분출되는 것을 육안으로 확인할 수 있었다.
2. 유증기가 발생하였으나 건조기 내 세탁물에서 화재를 일으킬 만한 정전기가 발생하지는 않았다.
3. 건조기 내부 온도는 초기에 급속도로 상승하다가 일정시간 후 약 110℃까지 올라간 후 더 이상 상승하지 않고 온도의 큰 변화가 없었다.



Fig. 5. The scene where the vapor occurs in the dry laundry by using the organic solvent within drier

시간(분) 장소(°C)	0	5	8	15	20	25	30	40	50	60	90	120	150
건조기 내부	27	70	75	100	100	102	105	107	108	111	108	106	110
건조기 측면	25	27	30	31	31	31	32	32	33	33	34	34	35
건조기 후면	25	27	30	31	32	32	33	33	34	35	36	36	36
건조기 상단	25	27	30	31	33	34	34	35	36	36	37	37	40

Table 3. Temperature Changes of Time Zones by Location of Organic Solvents in First Laundry and Added to Dryer

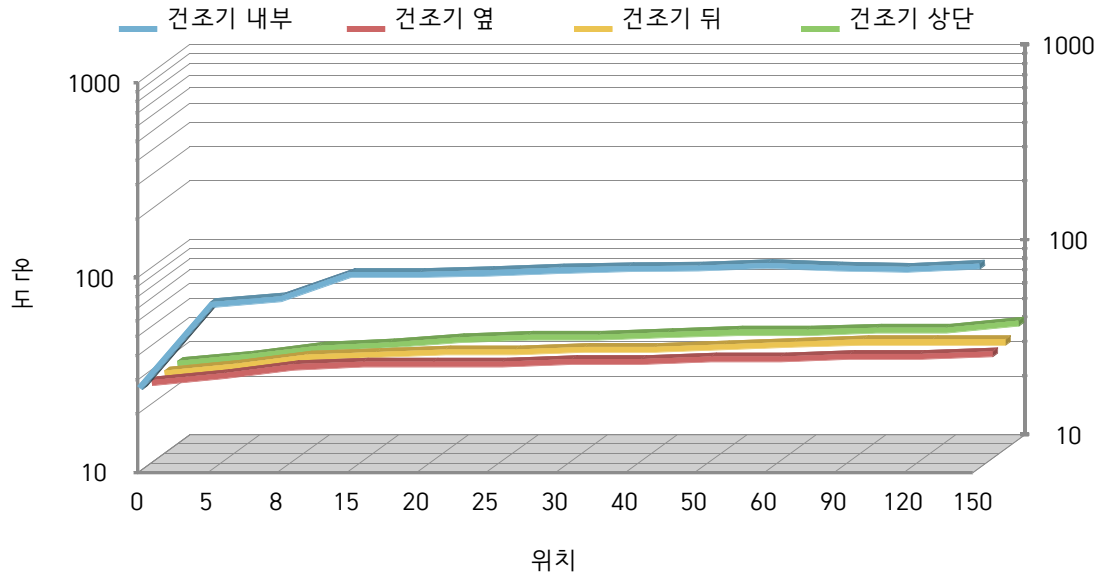


Fig. 6. The Graph of Temperature Changes According to Temperature and Dryer Positions in the First Test

2.5.2. 작동되고 있는 건조기내 세탁물에서 정전기 발생여부 확인

1. 여름이고 습기가 많은 상태에서 건조기 내 세탁물에서 정전기가 잘 발생하지 않아 유증기의 발화가능성이 적었다. 다만, 건조기 내·외부로 유증기가 발생하였다.
2. 정전기 발생가능성이 높은 의류를 유기용제와 섞어 다시 한번 건조기 내에서 일정시간 건조 후 정전기 발생여부를 확인하였으나 실험 당일 비가 많이 와서 정전기가 발생하기 위한 ‘건조한 날씨’의 조건이 부합되지 않아 정전기 발생률이 낮았다.(정전기 측정값 0.8~1.2kv)
3. 충주대학교의 폴리에스터 레이온 합성 부직포 정전기 대전 특성에 관한 연구에 따르면 같은 온도에서 정전기 대전전압은 중량이 큰 부직포가 중량이 작은 부직포에 비해 상대적으로 정전기가 많이 발생하고 습도가 70% 이하일 경우에는 정전기의 감소가 완만하나 습도가 70% 이상인 경우에는 정전기 발생이 급격히 감소한다고 한다. 즉, 온도 및 습도가 증가할 경우 정전기 발생이 감소한다는 연구결과이다.
4. 습도가 높았던 실험당일 날씨는 정전기를 발생시킬 수 있는 실험여건에 부합되지 않았다고 볼 수 있다.

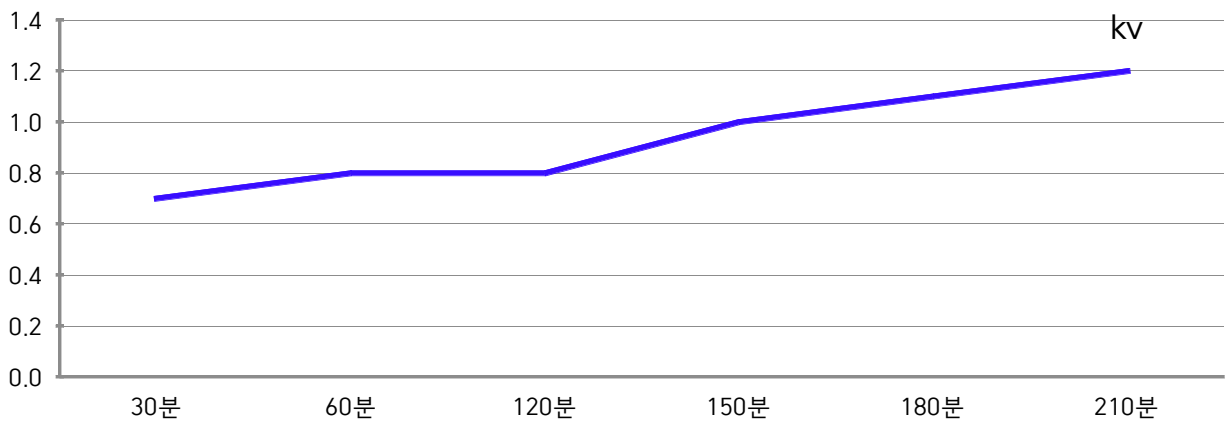


Fig. 7. The degree of static electricity generation according to the time when washing water mixed with the first experiment organic solvent is put into the dryer and it dries

2.5.3. 2차 실험결과

- 1차 실험에서의 조건을 변경하여 세탁물과 유기용제 외에 신나를 일정량 섞어 건조기에 넣고 건조시키면서 건조기 내·외부의 변화를 지켜보았을 때 특이사항은 없었고 건조기 작동이 멈추는 현상이 발생했는데 이는 건조기 내부 온도 상승에 따른 것이라 추정된다.
- 건조기 작동 정지 후 건조기를 재 작동 시켰으나 장시간 사용에 따른 과열로 계속해서 멈추는 현상이 발생하였다.



Fig. 8. The scene where the vapor occurs in the dry laundry by using the organic solvent within drier
 4 | 1192 지휘대119!

시간(분) 장소(°C)	0	5	8	10	20	25	30	40	50	60	90	120	150
건조기 내부	35	84	85	87	92	102	105	107	108	111	108	106	110
건조기 측면	34	34	35	35	36	31	32	32	33	33	34	34	35
건조기 후면	35	35	36	36	37	32	33	33	34	35	36	36	36
건조기 상단	35	35	36	37	37	34	34	35	36	36	37	37	40

Table 4. Temperature Changes with Location and Time According to Secondary Experiment Conditions

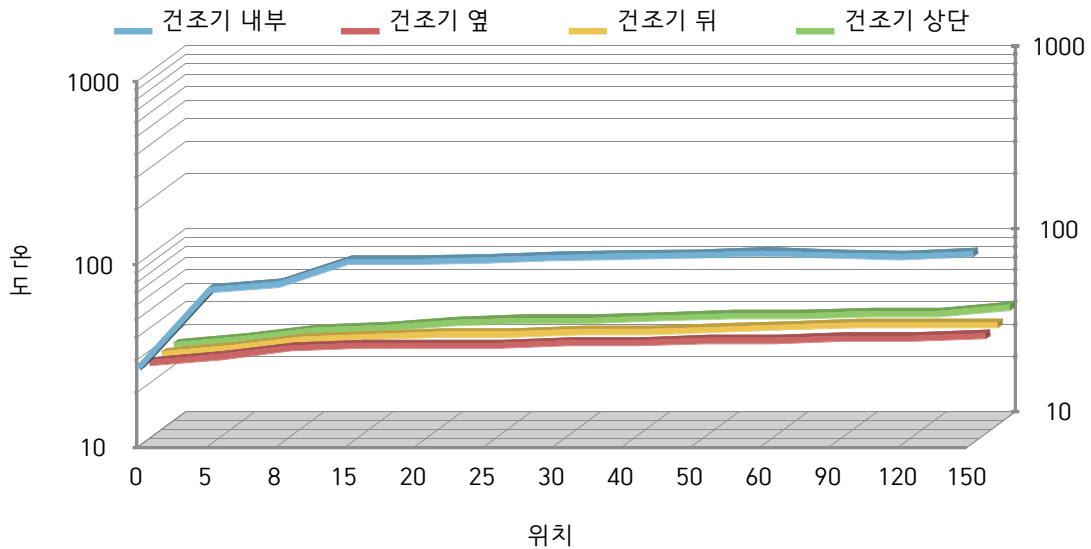


Fig. 9. The Graph of Temperature Changes According to Temperature and Dryer Positions in Secondary Experiment

2.5.4. 3차 실험결과

1. 3차 실험에서는 건조기 내부에서 정전불꽃이 발생한다는 가정하에 2차 실험조건에 추가로 인위적인 전기스파크(점화원)를 발생시켜 화재발생가능성을 높이는 방법을 사용하였다.
2. 유기용제와 신나를 섞은 세탁물이 건조기 내에서 건조되며 유증기가 발생하여 폭발한계에 도달했을 때 인위적으로 전기스파크를 발생시키자(정전불꽃 발생을 대신함) 아래 Fig.10 과 같이 건조기 내부에서 '핑' 하는 소리와 함께 착화 발화하였다.



Fig. 10. The scene where the vapor occurs in the dry laundry by using the organic solvent within drier

시간(분) 장소(°C)	0	5	8	15	20	25	30	40	50	60	90	120	150
건조기 내부	27	70	75	100	100	103	104	107	108	111	108	106	112
건조기 측면	25	27	30	31	31	32	32	32	33	33	34	34	35
건조기 후면	25	27	30	31	32	33	33	33	34	35	36	36	36
건조기 상단	25	27	30	31	33	34	34	35	36	36	37	37	40

Table 5. Temperature Changes in Time and Place in the Third Experiment Condition

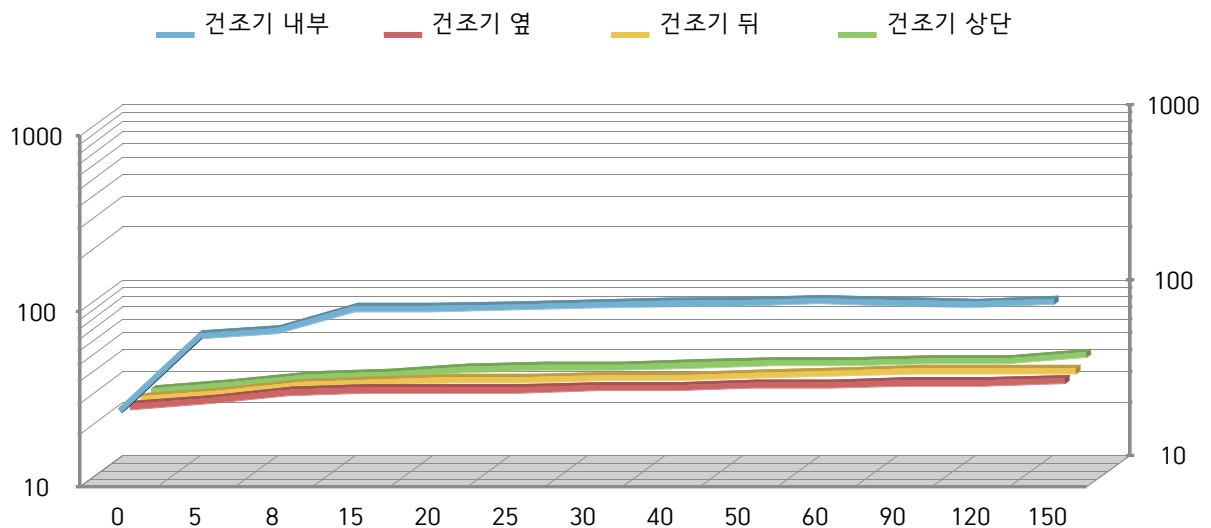


Fig. 11. The scene where the vapor occurs in the dry laundry by using the organic solvent within drier

4. 결론

실험은 1 · 2 · 3 차로 세 번에 걸쳐서 실시하였고 1차 실험에서는 유기용제(솔벤트)와 일반섬유질의 세탁물을 일정시간 건조기 내에서 작동시켰으나 일정시간 경과 후 온도가 약 100℃까지 상승한 후 더 이상 상승하지 않고 유기용제 훈증만 발생하였다.

2차 실험은 1차 실험조건에 신나를 추가로 섞어 일정 시간 건조시켰으나 이 또한 특이 사항이 없었다. 습도가 높은 여름이고 실험당일 우천의 날씨가 건조기 내부 세탁물의 정전기 발생여부에 영향을 주었을 가능성을 배제할 수 없을 것이다.

3차 실험은 2차 실험조건에서 정전기가 발생한다는 가정 하에 건조기 작동 중 인위적으로 전기스파크를 발생시켰고 그 결과 폭발음과 함께 화재가 발생하였다. 건조기 작동에 따라 일정시간이 경과하자 건조기 내부에서는 유증기가 발생하였고 내부 온도가 상승한 상태에서 인위적인 전기스파크로 화재발생의 조건을 충족시키자 유증기 폭발과 함께 화재가 발생한 것이다.

세탁소 건조기에서 사용하는 유기용제 유증기와 세탁물 정전위 마찰로 발생하는 정전기가 연관되어 화재가 발생하나 그 가능성은 희박하다고 볼 수 있다. 다만, 화재는 수많은 변수에 의해서 발생하기 때문에 화재가 전혀 발생하지 않을 수는 없다.

우리는 이번 실험에서 화재가 발생하기 위한 조건인 정전기(점화원)대신 전기스파크를 인위적으로 일으켜 결국에는 폭발과 함께 화재가 발생하도록 했다. 그러나 현재 가정용 세탁기에는 솔벤트와 같이 다량의 휘발성분이 함유된 세제를 사용하지 않기 때문에 세탁물을 세탁 후 건조기에서 건조시에 유증기 발생에 따른 화재발생가능성이 높지 않다. 다만, 상업용으로 사용되는 건조기는 다양한 섬유질의 재질, 휘발성분이 다량 함유된 세제, 세탁물의 양 등 다양성이 존재하므로 화재발생 가능성이 없다고 단정지을 수 없다. 흔하지는 않지만 전국적으로 현 시기에 건조기 화재가 발생하고 있는 것이 현실이다.

우리는 이번 실험을 통해 세탁용 유기용제의 가연성 유증기와 건조기 내 세탁물의 마찰에 의해 발생하는 정전기가 만나 화재가 발생할 수 있다는 것을 확인하고 싶었을 뿐이다.

정전기가 발생하지 않아 인위적으로 전기스파크를 발생시켜 화재가 발생하였으나, 건조기내 유증기와 정전기에서 화재가 발생할 수 있다는 것을 실험을 통해 알아보았다.

건조기 사용량이 증가한 현대 생활에서 건조기 사용시 화재발생 가능성을 염두에 두고 정전기발생가능성이 높은 재질의 세탁물 등을 건조시 각별히 유의해서 건조기를 사용해야 할 것이다.

감사의 글

세탁소에서 실제로 사용하는 회수건조기를 재현실험에 사용할 수 있는 여건은 되지 못하였으나 건조기를 사용할 수 있도록 지원해주신 LG전자 폐기물유통센터 김팀장님과 건조기 작동시에 발생할 수 있는 다양한 위험에 대해서 조언해주신 세탁소사장님, 실험준비를 위하여 물심양면으로 지대한 관심과 편의를 제공하여 주신 서장님 이하 실험준비를 도와주신 중량소방서 전 직원에게 감사의 말씀을 전합니다.

참고문헌

1. 박은주(전북소방안전본부-전주완산소방서), "세탁소 회수건조기 발화가능성에 대한 연구", 한국화재조사학회 학술대회 Vol.2011 No.1[pp. 144-168,2011],
2. 최정민,손봉세,김동석, "세탁소 유기용제 회수건조기의 폭발 위험성에 관한 실험적 연구, J. Kor. Inst. Fire Sci. Eng., Vol. 27, pp. 39-45, 2013.
3. 김정현, "건조기 화재사례연구," 한국화재감식학회 학회지, 제4권, 제2호, pp. 31-45, 2013.
4. 최정민,이두형,김동석.곽지현,노호성, "세탁소 드라이클리닝용 석유계용제의 화재위험성 실험적 연구," 한국화재소방학회 학술대회 논문집, pp. 585-588, 2012. 11.