

A Experimental Study on the Fire Hazards in Drum-Type Electric Washing Machine

洪 聖 昊†
(Sung-Ho Hong)

Abstract - This study presents on the analysis fire hazards of drum type electric washing machine. In order to analyze fire hazards fire experiment is conducted. The fire experiment is conducted to simulate under the normal condition and abnormal condition. The experiment under the abnormal condition is simulated in safety device failure, situation of accumulated dust and tracking phenomenon caused by humidity. The results show that fire hazard is high at the abnormal condition. In this paper, we suggest to use the safety device of low operating temperature in electric washing machine for reducing fire hazard.

Key Words: Electric Fire, Electric Washing Machine, Fire Hazard, Experimental Study, Safety Device

1. 서 론

최근 국내에는 건조일체형 드럼세탁기가 널리 보급되어 세탁에서 건조까지 완전히 자동화되었다. 드럼식 세탁기는 세탁물이 엉키지 않아 세탁이 균일하고, 낙차에 의한 세탁방식으로 세탁물의 손상이 적다. 드럼세탁기는 대부분이 가열장치를 가지고 있기 때문에 온수를 사용할 때에는 효소세제의 활성을 높이고, 빨래를 삶을 수 있으며 적은 액량비에서도 좋은 세탁효과를 기대할 수 있는 장점이 있다^{[1]-[2]}. 이와 같이 드럼세탁기는 생활의 편리를 추구하면서 세탁에서 건조까지 한번에 이용할 수 있지만 건조기능을 위하여 장착된 히터는 화재위험성이 매우 높은 기기이고, 실제로 히터에 의해 화재사고가 종종 발생하는 제품이다^[3].

본 연구에서는 건조일체형 드럼세탁기에서의 화재위험성을 분석하기 위하여 정상작동실험과 이상상태에서의 화재실험 및 난연성 실험을 수행하였다. 정상조건실험은 드럼세탁기 고유의 발열특성을 분석하기 위한 실험이고, 이상조건 화재실험은 이상조건을 부여하여 드럼세탁기의 화재위험성을 분석하는 실험이다. 난연성 실험은 드럼세탁기 외함의 난연성능을 평가하는 실험이다. 본 연구에서는 드럼세탁기에서 화재가 발생할 수 있는 다양한 상황을 고려하여 실험방법을 정립하여 실험을 수행하고 결과를 분석하여 건조일체형 드럼세탁기의 화재위험성을 분석하였다.

2. 실험방법

2.1 정상조건

제조사 사양에 따라 드럼세탁기를 정상상태로 전원을 인가하

고 세탁, 건조까지 순차적으로 작동시킨 다음 온도 등을 측정하였다. 온도측정을 위한 센서는 K-type 열전대이고, 온도측정부위는 다음과 같다.

- 건조히터 내부 ○ 건조히터 옆 전선
- 드럼 상부 ○ 송풍관

온도측정부위 중에서 드럼 상부는 건조히터 직하부 드럼위를 나타내는 것이고, 송풍관은 세탁통안으로 삽입되는 송풍관을 나타내는 것이고, 건조히터 옆 전선은 건조히터와 인접한 전선을 나타낸다.

그림 1은 온도 및 소비전류 측정에 대한 개략도를 나타낸다. 그림에서 보듯이 K-type 열전대로부터 입력되는 신호를 A/D 컨버터에 받아들여 온도를 측정하고, 변류기를 이용하여 소비전류를 측정하였다.

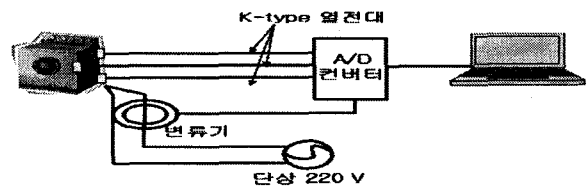


그림 1 온도와 소비전류 측정 개략도

Fig. 1 Schematic of temperature and current measurement

2.2 이상조건

2.2.1 안전장치 제거

드럼세탁기에는 건조를 위한 히터가 내장되어 있다. 본 연구에서는 드럼세탁기의 건조히터에 의한 화재위험성을 평가하기 위하여 건조히터의 안전장치를 순차적으로 제거한 상태에서 발열특성 및 화재발생가능성을 평가하였다. 일반적으로 드럼세탁기에는 안전장치로서 바이메탈과 온도 Fuse가 부착되어 있었다. 따라서 이러한 안전장치가 경년열화 등으로 인하여 고장이 발생한 경우를 모델링하기 위하여 안전장치를 제거하고 정격전압

† 교신저자, 正會員 : 防災試驗研究院 硏究員 · 工博

E-mail: hsho@kfpa.or.kr

接受日字 : 2008年 5月 14日

最終完了 : 2008年 6月 29日

을 인가하여 발열특성을 분석하였다. 화재위험성을 분석하기 위하여 부착한 온도센서 측정부위는 정상조건 실험과 동일하다.

2.2.2 먼지에 의한 화재위험성

드럼세탁기를 장기간 사용하게 되면 내부에 먼지 등이 쌓이게 되어 발열량이 높은 건조히터에 의하여 발화하여 화재가 발생할 가능성이 높다. 본 연구에서는 이와 같은 건조히터 주위에 먼지 또는 미세한 옷 및 천 등으로 인한 화재발생가능성을 평가하기 위하여 건조히터 주위에 먼지가 상당히 쌓여 있는 상황을 모델링하였다. 이를 위해 건조히터 주위에 의류로 사용되는 폴리에스테르 60 %, 면 40 %의 와이셔츠를 절단하여 쌓아 놓은 다음 전원을 인가하여 온도 측정 및 화염발생여부 등을 확인하였다. 또한 안전장치를 제거한 상태에서 먼지 등이 쌓인 경우 온도 측정 및 화염발생여부 등을 확인하였다.

2.2.3 누수에 의한 화재위험성

드럼세탁기는 항상 물을 사용하는 제품이기 때문에 습기침투에 의한 트래킹이 발생할 가능성이 매우 높은 제품이다. 따라서 이와 같은 습기에 의한 트래킹 현상을 모델링 하기 위하여 드럼세탁기 PCB 접속단자에 1 %의 염화암모늄 수용액을 적수한 상태에서 전원을 인가하여 화염발생여부 등을 측정하였다.

드럼 세탁기의 호스는 특히 큰 진동과 건조시의 축열 등으로 고무호스가 열화되어 누수가 발생할 위험이 있다. 누수된 물은 드럼 세탁기의 상판에 부딪치거나 내부배선을 타고 아래로 흐르게 되어 누수에 의한 영향을 받을 수 있다. 즉 PCB와 급수밸브 등에 물 또는 수분으로 트래킹에 의한 화재를 유발시킬 수 있다. 이와 같은 급수밸브 접속단자는 누수에 의해 트래킹이 발생할 가능성이 있는 부위이다. 따라서 급수밸브에 트래킹으로 인한 화재위험성을 분석하는 트래킹 발화 실험을 수행하였다.

2.3 난연성 실험

드럼세탁기 외함의 난연성능을 평가하기 위하여 UL 94의 난연성시험(20 mm 수직연소시험)방법에 따라 실험을 수행하였다.

UL 94는 내경 (9.5 ± 0.3) mm, 길이 (100 ± 10) mm의 버너를 사용하고, 시험체는 Sheet형태로 길이 (125 ± 5) mm, 폭 (13 ± 0.3) mm, 두께는 최소두께로 재료를 잘라서 5개의 시료를 가지고 시험하도록 규정하고 있다^[4].

표 1 재료의 난연등급(UL 94)

Table 1 Materials classifications(UL 94)

Criteria conditions	V-0	V-1	V-2
Afterflame time for each individual specimen	≤10S	≤30S	≤30S
Total afterflame time for any condition set(for the 5 specimens)	≤50S	≤250S	≤250S
After flame plus after glow time for each individual specimen after the second flame application	≤30S	≤60S	≤60S
Afterflame or afterglow of any specimen up to the holding clamp	No	No	No
Cotton indicator ignited by flaming particles or drops	No	No	Yes

표 1은 UL 94에서 규정하고 있는 재료의 난연성 등급을 나타낸 것으로 표에서 보듯이 UL 94에서는 재료의 난연성 등급을 3단계로 나누고 있으며, 가장 낮은 V-2 등급의 경우 1차 접염 후 잔염시간이 30초 이내로 규정하고 있으며, 5개 시료의 잔염 시간 합계가 250초 이내로 규정하고 있다. 그림 2는 UL 94 난연성 시험장치에 대한 개략도를 나타낸 것이고, 그림 3은 난연성 실험장면을 나타낸 것이다.

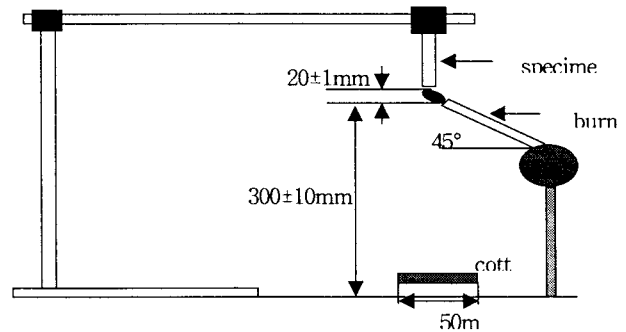


그림 2 UL 94 난연성 시험장치

Fig. 2 Experimental setup for vertical burning test(UL94)

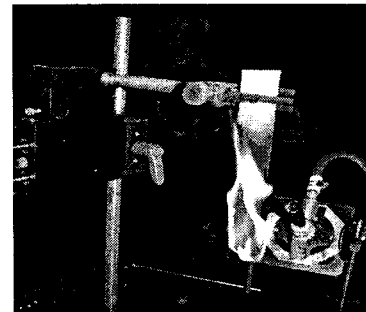


그림 3 난연성 시험 장면

Fig. 3 Vertical burning test

3. 실험결과 및 분석

3.1 정상조건

그림 4는 드럼세탁기가 정상 작동하는 경우 시간에 따른 온도분포를 나타낸 것이고, 그림 5는 정상 작동하는 경우 전압 및 전류분포를 나타낸 것이다. 전원이 인가되는 시점에 따라 온도분포가 상승과 하강이 반복되는 것을 볼 수 있다.

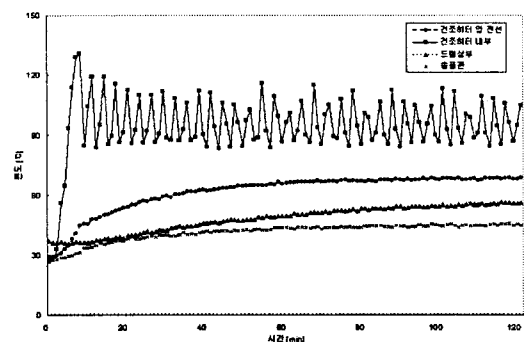


그림 4 정상작동시 온도분포

Fig. 4 Temperature distribution for normal condition

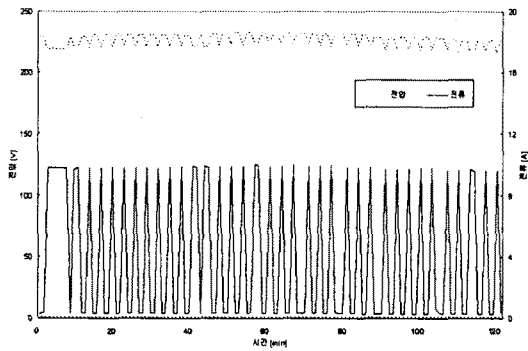


그림 5 정상작동시 전압 및 전류분포
Fig. 5 Voltage and current for normal condition

드럼세탁기가 정상 작동하는 경우 그림 4에서 보듯이 최고 상승온도는 약 135 °C로 나타나 다른 가전제품보다 높은 사용온도분포를 나타내는 것을 알 수 있지만, 정상 사용상태에서는 건조히터의 온도조절센서 등으로 인하여 화재발생가능성이 비교적 낮은 것으로 나타났다.

3.2 이상조건

3.2.1 안전장치 제거

그림 6은 건조히터에 220 V를 직결한 경우 건조히터 자체 고유의 발열특성을 나타내는 것으로 그림에서 보는 바와 같이 최고 800 °C까지 온도가 상승하여 건조히터 고유의 발열온도를 고려한다면 화재위험성이 매우 높은 제품인 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 건조히터 전면에 설치된 온도조절센서를 제거한 상태에서 드럼세탁기를 구동시켰을 때 나타나는 시간에 따른 온도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 온도조절센서를 제거한 경우 바이메탈의 동작에 따라 전원투입과 차단이 반복되는 것을 알 수 있다. 이 때 온도도 전원투입과 차단에 따라 상승과 하강이 반복되는 것을 알 수 있다. 그림 7에서 보듯이 바이메탈의 작동온도는 약 230 °C로 나타나 바이메탈의 작동온도가 상당히 높은 것을 알 수 있다. 온도조절센서가 경년열화 등으로 인하여 고장이 나는 경우 이와 같은 높은 바이메탈의 온도로 인하여 화재위험성이 매우 높은 것을 알 수 있다. 따라서 온도조절센서 고장으로 인한 화재위험성을 감소시키기 위해서는 작동온도가 비교적 낮은 바이메탈을 사용해야 할 것으로 사료된다.

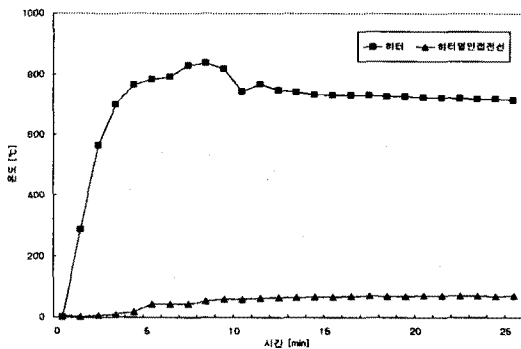


그림 6 건조히터 온도특성
Fig. 6 Temperature of dry heater

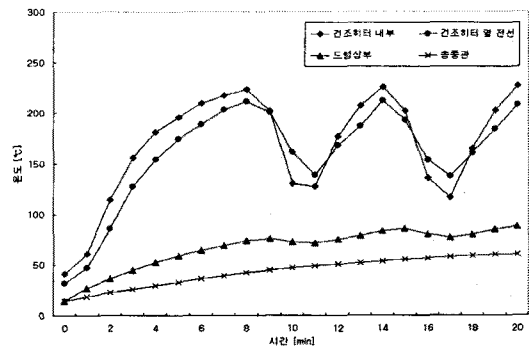


그림 7 온도조절용 센서 제거시 온도분포
Fig. 7 Temperature distribution in case of removing temperature controller

그림 8은 온도조절센서와 바이메탈을 제거한 경우 시간에 따른 온도분포를 나타낸 것이다. 전원이 인가됨에 따라 건조히터 부위의 온도가 급격하게 상승하는 것을 알 수 있다. 그림 7에서 보듯이 안전장치인 바이메탈이 작동하지 않기 때문에 온도는 267 °C까지 상승하는 것으로 나타나 화재위험성이 매우 높은 것을 알 수 있다. 이 때 온도 Fuse는 적절한 온도에서 작동하지 않았으며, 2차 안전장치인 온도 Fuse가 설치되어 있어도 실제로 화재위험성을 감소시키지 못하는 것으로 나타났다.

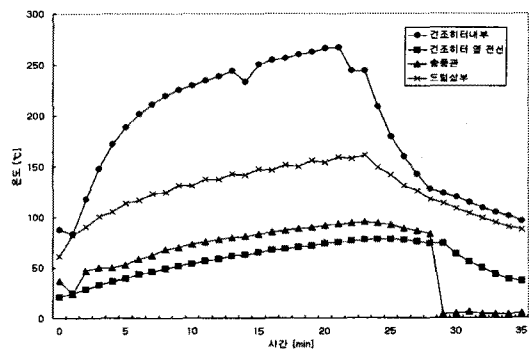


그림 8 온도조절용 센서와 바이메탈 제거시 온도분포
Fig. 8 Temperature distribution in case of removing temperature controller and bimetal

이와 같은 실험결과로부터 온도조절센서가 정상 작동하지 않은 경우 안전장치가 정상적으로 화재위험성을 방지해야 하지만 현재 드럼세탁기에 설치되어 있는 바이메탈이나 온도 Fuse의 작동온도는 상당히 높기 때문에 작동온도가 200 °C이하의 바이메탈과 온도 Fuse를 사용해야 할 것으로 사료된다.

3.2.2 먼지에 의한 화재위험성

그림 9는 건조히터에 먼지가 쌓인 것을 가정하여 건조히터에 먼지를 삽입하고 동시에 바이메탈 등의 안전장치를 제거한 상태에서 전원을 인가하였을 때 나타나는 연소진행과정을 나타낸 것으로 약 360 °C가 되자 그림 9와 같은 화염이 발생하면서 연소하였다. 따라서 그림 9에서 보듯이 건조히터 주위에 다량의 먼지가 쌓이게 되면 화재위험성이 매우 높다는 것을 확인할 수 있다. 특히 드럼세탁기는 옷이나 천 등을 세탁하기 때문에 옷이나 천 조각과 같은 얇고 작은 미세 먼지가 쌓이기 쉬운 제품이기 때문에 그림 9와 같은 실제 화재가 발생할 가능성이 매우 높다.

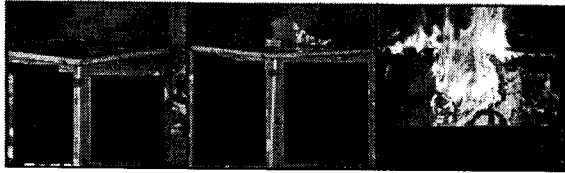


그림 9 연소진행과정
Fig. 9 Combustion process

3.2.3 누수에 의한 화재위험성

그림 10은 PCB에 삽입되어 있는 접속단자의 트래킹에 의한 화염발생과정을 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 PCB 접속단자에서 작은 스파크가 발생하면서 전체적으로 화염이 확산되는 것을 볼 수 있다.

따라서 이와 같이 PCB 접속단자는 누수에 의한 화재발생 가능성이 항상 존재하기 때문에 누수에 대한 화재발생 예방을 해야 한다. 누수에 의한 화재위험성을 감소시키기 위해서는 접속단자를 방수형 커넥터로 해야하며 수평으로 연결되는 접속단자를 다소 경사지게 설치하여 수분이 고이지 않는 구조로 해야 트래킹이 발생하지 않을 것으로 판단된다.



그림 10 접속단자 트래킹에 의한 화염발생과정
Fig. 10 Flame occurrence process by tracking of terminal

3.3 난연성 실험

표 2는 난연성실험 결과를 나타낸 것으로 모든 시험체가 Clamp 지지부분까지 연소하였으며, 잔염시간은 모든 시험체가 화염에 의하여 전소하였기 때문에 UL 94에서 규정하는 난연등급의 기준에 적합하지 않은 것으로 나타났다.

표 2 난연성 시험결과

Table 2 Results of vertical burning test

No. of Specimen	Afterflame or afterglow of any specimen up to the holding clamp	After flame time(sec)
1	Yes	Total destruction by fire after the first flame application
2	Yes	Total destruction by fire after the first flame application
3	Yes	Total destruction by fire after the first flame application
4	Yes	Total destruction by fire after the first flame application
5	Yes	Total destruction by fire after the first flame application

이와 같이 드럼세탁기 외함이 난연성능이 없는 것은 드럼세탁기 외함 자체가 가연물로 작용하여 화염을 확산시킬 수 있는 것을 의미한다. 따라서 드럼세탁기에 의한 화재위험성을 감소시

키기 위해서는 외함을 난연성능이 있는 재질로 제조하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 드럼세탁기에서 발생가능한 화재위험성을 실험적으로 분석한 연구로 정격전압이 인가되는 정상조건 실험과 장시간 사용에 따른 경년열화 등에 의하여 화재가 발생할 가능성이 높아지는 이상조건에 따른 실험 및 난연성 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 건조히터가 내장된 드럼세탁기는 먼지 등이 쌓이게 되면 히터 자체의 높은 발열특성으로 인하여 화재위험성이 높은 것으로 나타났으며, 물을 사용하는 제품이기 때문에 누수에 의해 접속단자의 트래킹으로 인한 화재위험성도 높은 것으로 나타났다.
- 2) 현재 유통되고 있는 대부분의 드럼세탁기에는 건조히터의 과열을 방지하기 위한 안전장치로서 바이메탈과 온도 Fuse를 설치하고 있다. 그러나 이 안전장치의 작동온도가 상당히 높게 설정되어 있어 화재위험성이 높은 것을 알 수 있었다. 따라서 현재 설치되는 안전장치의 작동온도를 200 ℃이하의 낮은 온도로 설정해야 화재위험성을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 드럼세탁기 외함의 난연성능을 평가한 결과 난연성능이 없어 드럼세탁기 외함 자체가 가연물로 작용하여 화재를 확산시킬 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 화재확산을 방지하기 위하여 드럼세탁기 외함의 난연성능을 강화해야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 정승은, 박정희, 윤창상, “건조일체형 드럼세탁기의 건조조건에 따른 정전기 특성”, 한국의류학회지, Vol.30, No.5, p.753~761, 2006
- [2] 정정길외 5인, “드럼세탁기용 유도전동기의 효율운전에 관한 연구”, 한국조명전기설비학회 춘계학술발표회논문집, 2005
- [3] 최충석외 5인, 전기화재공학, 동화기술, 2000
- [4] UL 94, Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances, 2000

저 자 소 개



홍 성 호 (洪 聖 昊)

1971년 12월 19일생. 1995년 충북대학교 안전공학과 졸업. 1999년 동 대학원 안전공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 안전공학과 졸업(박사). 현재 방재시험연구원 연구원.

Tel : 031-887-6672

E-mail : hsho@kfpa.or.kr