

드럼세탁기의 발열특성 및 화재위험성

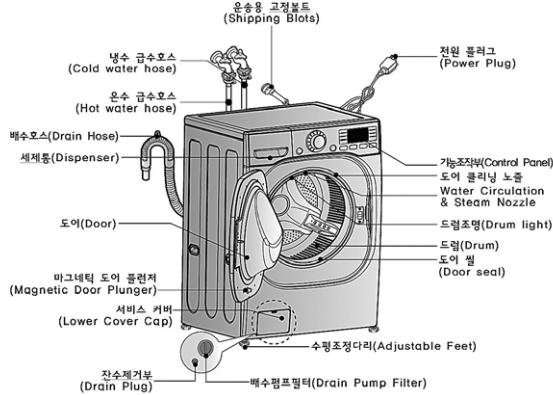
글 이흥수 KFFPA 화재조사센터 과장

1. 머리말

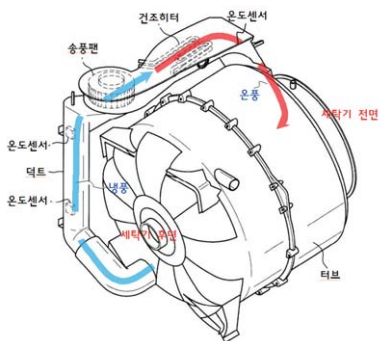
세탁기는 의류나 침구용품, 식탁용품, 가구류 등의 피륙 따위에 묻은 때를 세제와 기계적인 힘을 가하여 물리·화학적 작용을 촉진시켜 제거하는 기계이다. 오늘날에는 세탁물을 빨아 건조시키고, 다림질하고, 드라이클리닝하는 기계까지 통틀어 세탁기라 부른다.

현대에 이르러 경제성장과 더불어 신기술의 발달, 주거공간의 변화, 여성의 사회참여 증가로 인해 세탁기의 보급도 증가하게 되었다. 하지만 세탁기는 전기에너지를 사용하는 기계장치이기 때문에 역설적으로 전기적인 점화원이 기계 내부에 항상 존재하고 있다고 할 수 있으며, 보급률의 증가는 화재발생률의 증가로 연결된다고 볼 수도 있다. 실제로 2013년 국가화재통계에 따르면 전체 생활기기에 의한 화재발생건(390건) 중 세탁기에 의한 화재발생건(184건)이 전체 생활기기 중에서 가장 높은 47%의 비율을 차지하였다.

2. 드럼세탁기의 구조 및 원리



[그림 1] 건조겸용 드럼세탁기의 일반구조



[그림 2] 건조히터의 계통 및 설치위치

여기에서는 오늘날 가정에서 많이 사용되고 있는 건조겸용 드럼세탁기의 구조 및 원리를 알아보 고자 한다. 건조겸용 드럼세탁기는 크게 터브(Tub) 와 드럼(Drum), 건조덕트 등으로 구분되며, 세부 적으로는 [그림 1]과 같이 각 기능에 따라 다양한 파트로 구성되어 있다.

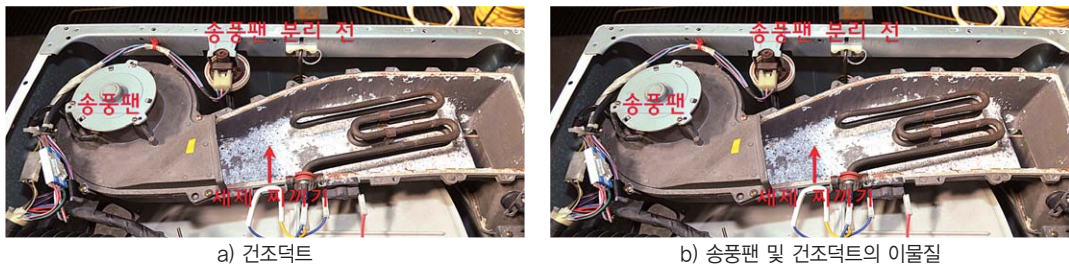
대부분의 건조겸용 드럼세탁기는 세탁수를 저장 할 수 있는 터브가 설치되어 있으며, 터브 내측에 는 세탁물을 담아 회전하는 드럼이 설치되어 있다.

이 드럼에는 다수의 구멍이 천공되어 있어 세탁시 터브 내의 세탁 수가 드럼내로 유입되고, 드럼이 회전할 때 세탁물이 드럼 내의 패들(Paddle) 또는 리프터(lifter)에 걸려 들어올려졌다 떨어지는 충격에 의해 세탁이 된다. 건조겸용 드럼세탁기의 경우에는 [그림 2]와 같이 세탁기 상부에 건조덕트가 설치되어 있으며, 이 덕트 내 부에 건조히터가 설치되어 열풍을 드럼내부로 불어넣어 세탁물을 건조시키게 된다.

3. 화재위험성

가. 건조히터에 의한 과열

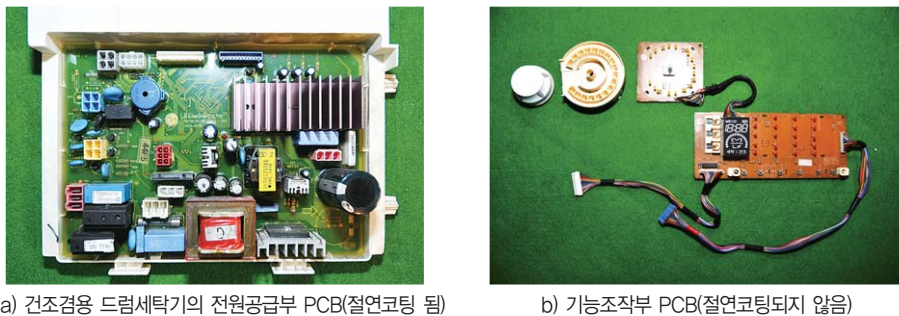
건조겸용 드림세탁기는 [그림 3]과 같이 건조덕트 내부에 건조히터가 장착되어 있으며, 이 건조덕트는 드럼의 전면 및 후면과 연결되어 열풍이 순환되는 구조로 설치되어 있다. 따라서 세탁물에 포함된 이물질이나 불완전 용해된 분말세제 등이 건조덕트로 유입될 수 있고, 다량의 유분이 함유된 세탁물을 장기간 세탁할 경우에는 유증기 등이 건조덕트에 축적되어 화재로 이어질 가능성이 있다. 실제로 정육점 등과 같은 업소에서는 돼지기름이 함유된 장갑 등을 장기간 세탁한 세탁기에서 화재가 발생하였다는 사례가 보고되고 있다.



[그림 3] 건조덕트의 가연물(이물질)

나. 기능조작부 PCB의 절연파괴

건조겸용 드림세탁기는 [그림 4]와 같이 2개 부분에 PCB가 설치되어 있다. 세탁기 하부 전원 공급부에 1세트가 설치되어 있으며, 기능조작부에 나머지 1세트가 설치되어 있다. 세탁기 하부에 설치된 PCB에는 실리콘이나 우레탄 등으로 절연코팅이 되어 있어 수분 등이 침투할 우려가 없지만, 기능조작부에 설치된 PCB에는 절연코팅이 되어 있지 않아 수분 등이 침투할 경우에는 소자 또는 단자간에 절연이 파괴될 수 있는 위험성이 존재한다. 절연파괴로 인해 도전로가 형성되는 경우에는 과열로 인해 PCB가 착화될 수도 있다.

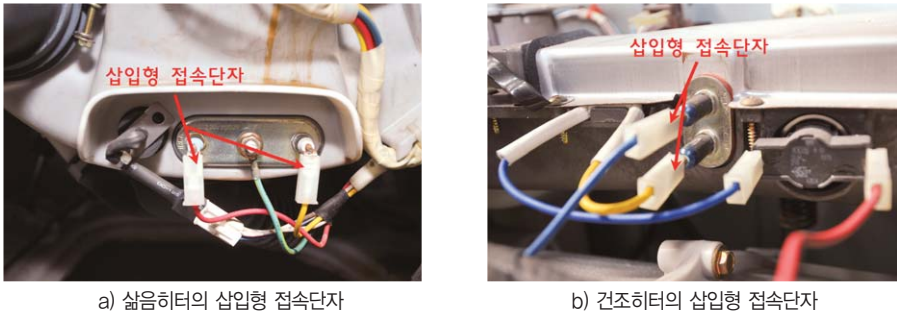


[그림 4] 전원공급부 및 기능조작부의 PCB

다. 삶음히터 또는 건조히터 접속부의 접촉불량

건조겸용 세탁기에서 용량이 가장 큰 부품 중 하나는 히터이다. 이러한 히터는 [그림 5]와 같이 삶음

용과 건조용으로 각각 1개씩 설치되어 있는데, 각 히터에 전원을 접속하는 단자에서 진동 등에 의해 기계적인 접속강도가 저하되는 경우에는 국부적으로 접촉저항이 증가하여 발열할 수 있으며, 지속적으로 발열하거나 과열되는 경우에는 주위 가연물이 착화되어 화재로 이어질 수 있는 위험성이 존재한다.



a) 세탁히터의 삼입형 접속단자

b) 건조히터의 삼입형 접속단자

[그림 5] 각 히터의 접속단자

라. 진동에 의한 전선의 절연파괴 또는 누전

드럼세탁기를 비롯한 모든 세탁기는 그 특성상 진동이 수반되는 전기기계이다. 세탁기에는 세탁행정, 행굼행정, 탈수행정 등을 수행하기 위한 다양한 부품이 설치되어 있으며, 이러한 부품은 모두 전기 에너지에 의해 작동된다. 따라서 세탁기에는 다수의 전선이 내부에 설치되어 있는데, [그림 6]과 같이 세탁기의 캐비닛이나, 금속판 등의 예리한 면에 전선이 접촉되어 있는 상태에서 진동이 장기간 가해지는 경우에는 전선의 절연이 파괴되어 아크열 또는 누전 등에 의해 화재가 발생할 수 있는 위험성이 존재한다.



a) 세탁기 상부(배면방향, ○표지부분은 금속판 등과 접촉되어 있는 부분)

b) 세탁기 상부(전면방향, ○표지부분은 금속판 등과 접촉되어 있는 부분)

[그림 6] 전선의 절연파괴 위험성이 존재하는 부분

4. 실험

본 연구에서는 앞서 기술한 건조겸용 드럼세탁기의 발화위험 중에 가장 위험하다고 판단되는 상황을 <표>와 같이 선정하여 화재재현실험을 실시하였다. 각 상황별로 드럼세탁기의 발열특성을 확인하고, 각 상황에서 나타나는 발열특성을 분석하였다.

<표> 실험상황

구분	실험상황	비고
1	정상운전	발열특성 확인
2	세탁히터 접속단자의 접촉불량	압착부 이완, 발열특성 확인
3	건조모드 내부 히터의 발열로 인한 유증기 착화	돼지기름 사용, 강력건조 발열특성 확인

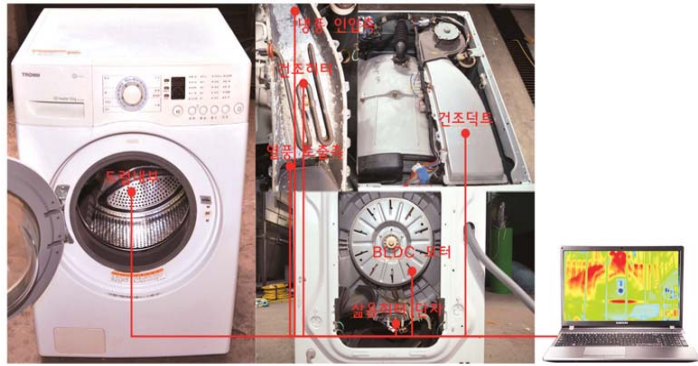
발열특성 및 화재위험성을 확인하기 위한 실험장치들로 온도를 측정하고 기록하는 장비는 직경 0.65 mm의 K-Type 열전대(KS C 1602)와 PC Recorder(MSR128, MSYSTEM, Japan)를 사용하였다. 실험용 건조겸용 드럼세탁기는 10 kg용량의 것(220V, Korea)을 사용하였으며, 모터의 소비전력은 200 W이고, 전열장치의 소비전력은 삶음히터의 경우 2,000 W, 건조히터의 경우 2,100 W이다. 실험실의 온도는 25℃이며, 상대습도는 55±2%의 무풍상태에서 실험하였다.

가. 실험방법 및 결과

(1) 정상운전 시 기본특성

(가) 실험방법

건조겸용 드럼세탁기의 삶음 및 건조세탁 기능으로 각 행정을 수행하게 될 경우에는 모터, 삶음히터, 건조히터 등에서 발열하게 되며, 드럼 내부의 온도가 상승하게 된다. 따라서 이와 같은 발열부위 등의 온도를 측정하기 위하여 K-TYPE 열전대를 [그림 7]과 같이 모터, 드럼 내부, 삶음히터

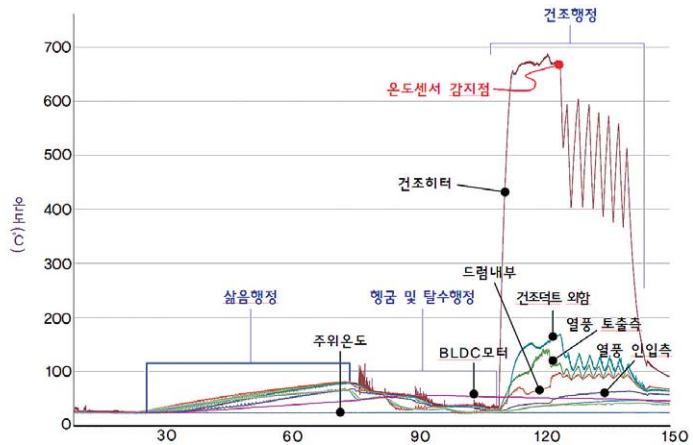


[그림 7] 열전대 설치부위(정상운전)

접속단자, 건조히터, 건조덕트 등에 설치하였으며, 시간에 따른 온도변화를 측정하였다.

(나) 실험결과

건조겸용 드럼세탁기가 정상적으로 작동할 경우의 발열특성을 확인하기 위하여 세탁행정, 삶음행정, 행굼행정, 탈수행정, 건조행정의 약 150분 동안 각 부속장치의 온도변화를 측정하였다. [그림 8]에서 확인할 수 있는 바와 같이 드럼세탁기가 정상 작동하는 경우에는 건조히터의 온도가 가장 높았으며, 최대 672℃까지 온도가 상승하는 것으로 측정되었다.



[그림 8] 정상운전 시 발열특성

다. 이는 건조히터가 작동한 후 약 6분만에 도달한 온도로서, 발열시점부터 히터가 최대출력으로 작동

하였기 때문에 해석된다. 이후부터는 전원이 주기적으로 ON/OFF되며, 그 발열특성도 주기적으로 변하는 것을 알 수 있다. 뒤를 이어 건조덕트의 외함, 열풍의 토출측, 드럼 내부, 열풍의 인입측 순서로 열풍의 이동 경로에 따라 온도가 높음을 확인할 수 있다. 여기서 주의해서 볼 것은 건조히터와 열풍 토출측의 온도변화 값인데, 건조히터의 전체적인 온도는 점차 감소하고 있으며, 열풍의 토출측 온도는 일정하게 유지되고 있는 것으로 보아, 건조히터의 ON/OFF는 열풍 토출측에 설치된 온도센서에 의해 제어되고 있음을 알 수 있다.

(2) 삶음히터 접속단자의 접촉불량

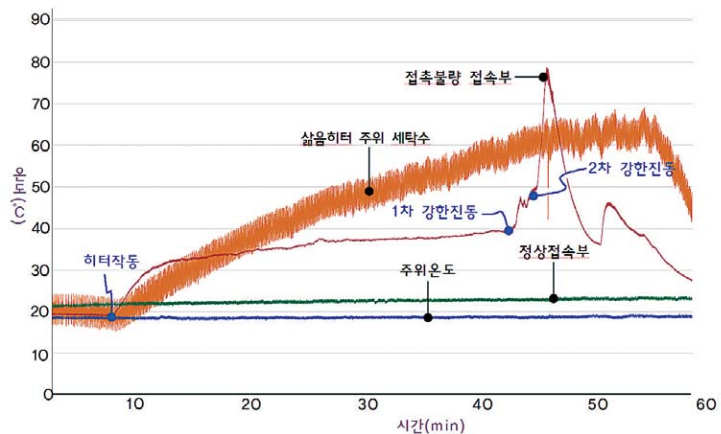
건조겸용 드럼세탁기에는 삶음히터와 건조히터가 설치되어 있으며, 이들 히터를 접속하는 기구로서 삽입형 접속단자를 사용하고 있다. 이러한 접속단자는 금속의 기계적 강도가 크기 때문에 접속력을 오랜기간 유지할 수 있는데, 드럼세탁기와 같이 진동이 상시 장기간 발생하는 장치의 경우에는 그 기계적 강도가 시간이 경과함에 따라 저하될 수 있는 가능성이 있다. 이에 본 연구에서는 삶음히터의 전기 접속부의 기계적 강도가 저하된 상태에서 세탁진동에 의해 나타나는 발열특성을 확인해 보고자 하였다.

(가) 실험방법

삶음히터의 접속부인 접속단자에는 항시 세탁, 행균, 탈수행정 등에 의한 진동이 가해지며, 그 상태에서 반복적이며 주기적으로 높은 전류가 흐르게 된다. 이 실험에서는 수년간 사용된 건조겸용 드럼세탁기에서 진동에 의해 접촉불량 개소가 발생하는 상황을 재현하고자 하였다. 접촉불량 상황을 극대화하기 위하여 접속단자의 삽입부는 인위적으로 그 강도를 최소화 시켰으며, 세탁행정시 발생하는 자체 진동 상황에서 접속단자에서 나타나는 발열특성을 확인하였다.

(나) 실험결과

삶음히터가 작동하는 순간부터 히터의 접촉불량 부분에서는 접촉저항의 증가로 인해 발열하기 시작하였으며, 이후부터는 온도의 변화량이 크지는 않았다. [그림 9]와 같이 약 43분이 경과된 시점에서 세탁기에서 모터에 의한 강한 진동이 가해지자 접촉불량 부위의 온도는 상승하였으며, 약 45분이 경과된 시점에서 또 한번의 강한 진동이 가해지자 온도는 급격히 상승하여 약 80℃ 정도까지 도달하였다. 여기서 주목할 점은 히터 작동 후 약 40℃까지 상승하는데 약 43분



[그림 9] 삶음히터 접속단자의 접촉불량 시 발열특성

정도가 소요된 반면, 1~2차 강한 진동으로 인해 약 40℃에서 80℃까지 상승하는 데에는 불과 3분 정도 였다는 점이다. 이때 정상 접촉부와 접촉불량 부위와의 온도차이는 약 56℃를 나타내었다. 접촉불량 부위에 진동을 장시간 부여할 경우에는 접촉단자를 구성하고 있는 합성수지 가연물이 과열로 인해 착화 될 수도 있다는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

(3) 건조덕트 내부 히터의 발열로 인한 유증기 착화

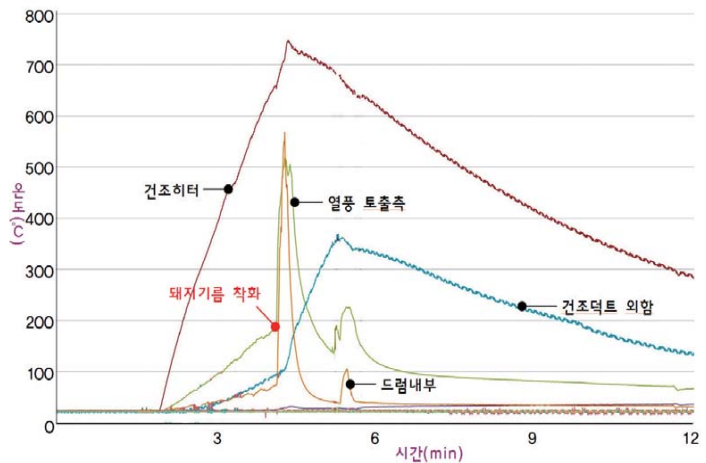
건조겸용 드럼세탁기는 구조상 세탁물에서 나오는 이물질 등이 건조덕트 내부로 유입될 수 있다. 이러한 세탁기가 정육점 또는 인화성액체를 취급하는 장소에서 배출되는 세탁물을 세탁하는 경우에는 건조과정에서 유증기 또는 유분이 건조덕트 또는 드럼 내부에서 착화될 수 있다.

(가) 실험방법

건조겸용 드럼세탁기의 드럼 및 건조덕트에는 사용목적 및 용도에 따라 다양한 이물질이 축적될 수 있다. 이 실험에서는 정육점 등에서 나타날 수 있는 화재발생 가능성을 재현하기 위하여 돈지(豚脂, Lard)를 사용하여 드럼세탁기의 드럼 및 건조덕트에 축적시켰다. 드럼 내부에는 세탁물로 사용될 부직포에 돈지 100 g을 고루 묻혔으며, 건조덕트 내부에는 건조히터 하부에 동일한 용량을 축적하였다. 열풍이 가연성혼합기 형성을 방해하는 원인으로 작용할 가능성이 있기 때문에 송풍팬의 각 날개는 테이프를 접착하여 풍량을 최소화하였다. 송풍팬을 구속시켜 바람의 발생을 억제할 수도 있지만, 요즘 제조되는 드럼세탁기는 송풍팬이 구속되는 경우 제어부에서 이상 상황을 감지하여 드럼세탁기에 'error' 신호를 보내 모든 행정이 정지되는 시스템을 구축하고 있어 송풍팬의 날개를 막는 방법을 채택하였다. 건조정도는 기능조작부에 표시된 '강력건조'를 선택하여 건조행정을 실시하였다.

(나) 실험결과

[그림10]과 같이 건조히터가 작동되고 히터의 온도가 약 650℃ 정도에 도달하자 돈지가 착화되었으며, 착화와 동시 건조덕트의 열풍 토출측 및 드럼 내부의 온도는 500~600℃ 정도까지 급격히 상승하였다. 이후부터는 드럼세탁기의 기능조작부 표시창에 'error' 표시가 점멸하며 그 작동이 정지되었다. 드럼세탁기가 정지되기 전까지 송풍기의 영향으로 건조덕트 내부의 화염이 열풍 토출구를 통해 드럼 내부로 유입되는 것이 보였으며, 드럼 내부에 다



[그림 10] 건조덕트 내 돈지 착화에 의한 발열특성

로 건조덕트 내부의 화염이 열풍 토출구를 통해 드럼 내부로 유입되는 것이 보였으며, 드럼 내부에 다

량의 세탁물이 담겨있는 경우에는 열풍 토출구에 인접한 세탁물의 착화 가능성이 있음을 확인해 볼 수 있었다.



[그림 11] 건조행정 시 든지 착화에 따른 상황

5. 맺음말

다양한 상황조건에서 건조겸용 드럼세탁기를 작동시키고, 여러부위에서 나타나는 발열특성을 분석하였다. 이와 같은 실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

가. 건조겸용 드럼세탁기가 정상적으로 작동할 때 가장 발열량이 큰 부위는 건조히터 부분이다.

나. 소방법상 제4류 위험물이 다량 함유된 세탁물을 주기적으로 세탁하는 경우에는 드럼과 건조덕트 내부로 유증기 등이 유입될 수 있으며, 세탁, 행굼, 탈수, 건조행정 중에 금속 스파크 또는 건조히터의 고온표면에 의해 유증기의 가연성혼합기가 착화될 수도 있다.

다. 건조겸용 드럼세탁기는 그 특성상 진동이 발생하는 전기기계임에도 불구하고 샴음히터와 건조히터의 전기 접속부는 나사 체결방식이 아닌 삽입형 접속단자 체결방식으로 설정되어 해당 부위에서 진동으로 인해 접촉불량이 일어날 가능성이 있다.

라. 샴음히터 또는 건조히터의 전기 접속부에서 접촉불량이 발생하는 경우에는 정상적인 경우에 비하여 해당 부위에서 온도가 급격히 상승하는 특성이 있으며, 접촉불량이 장기화 될 경우에는 과열로 인해 주위 가연성 절연물질이 착화될 수 있다.

마. 기능조작부에 설치된 PCB는 절연코팅이 되어 있지 않기 때문에 수분 등의 이물질이 해당 PCB에 침투하는 경우에는 단자 또는 소자간 절연이 파괴되어 트래킹 현상 등으로 주위 가연물이 착화될 수 있다.

바. 건조겸용 드럼세탁기 내부에는 수많은 부품이 설치되어 있으며, 이러한 부품을 작동시키기 위한 전선들이 예리한 금속면을 지나고 있다. 이와 같은 상황에서 반복적인 진동이 장기간 지속되는 경우에는 전선의 절연피복이 파손되어 아크 또는 줄열에 의해 전선 등이 착화될 수 있다. Ⓜ