

전선 단선과 운동부 구속 그리고 양자간 발화 상관성 연구

- 반단선 · 전단선 · 반구속 -

A study on the fire relations of among the these, partial or total disconnection of an electrical conductor, and nearly locked condition of switching mechanism by the movement body

화재과학연구소 김만우

Fire Investigator, Institute of Fire Science(IFS)

Kim, Man Woo

목 적(Object)

본 연구는 전류가 흐르고 있는 「전선의 단선(斷線=開放) 조건」 또는 「기계식 개폐 기구류의 점점 철회의 가동력(稼動力) 부여 조건」에 따라서 결과적으로 나타내는 해당부의 출화(出火) 관계를 다루고 있으며,

이것은 그런 과정과 결과에 대한 조건들을 깊이 있게 인식해 봄으로써 다음과 같은 유효성을 부가시키거나 향상시키는데 그 목적을 두었다.

- ① 화재 감식과 감정시 발화 요인 및 조건의 개념 정립
- ② 화재 조서(火災調書) 작성시의 표현력 개선
- ③ 용어의 세분화 및 정의(定義)의 통일화

This study deal with interrelation of between "an outbreak of fire" and "disconnection of wire conductor" or "various movable condition for contact part of mechanical switching devices" which send an elect

ric current", and

The purpose of this study is to supplement and elevation for each effect as follows.

- ① The thesis of conception for factor and condition that catch fire while identify and judge on the fire accident
- ② An improvement of expressive for drawing up a fire investigation record
- ③ A subdivision of terminology and a standardization of definition

I. 서 문(Introduction)

화재 조사 부문에서 사용하거나 인용하는 용어중 대표적인 단어에는 전선의 단선과 운동부(또는 운동부)의 구속이 있다.

우리는 지금까지 흔히 발화의 원인과 관련해서 단선에는 반단선(半斷線)을 구속에는 운동부

의 완전한 정지 상태 등 단순적 조건만을 머리에 떠올린다. 그러나 완전한 단선과 구속까지의 진행 과정을 전기 및 기계적으로 면밀하게 들여다보면 발열 및 발화와 관련된 진행적 요소와 형태가 엄연히 다르고, 도체의 전기 저항과 통과 전류에 대한 크기 변화가 수반되기 때문에 사고(思考)의 다각화와 함께 사용되어질 용어의 세분화가 필요하다.

반단선의 단어 태생은 일본이며, 이것의 뜻은 국내 전기 부문에서 “전선 도체의 심선(心線)이 끊어진 후 불시에 접속되는 상태의 장애 현상”이라고 정의하고 있다. 반면 반구속은 단선에서의 반단선과 같이 별개 용어를 사용해서 별도 조건을 설정한 것은 없으며, 이와 유사한 용어로서 굳이 지칭하면 기계적인 용어로 슬립과 마찰(Slip, Friction)을 들 수 있겠다.

그러나 슬립이나 마찰은 기계적인 것에 국한되는 것이어서 전기적인 영향에 대한 것은 포함되지 않는다.

이에 본 연구에서는 전선의 단선 및 운동부 구속에 의한 연동(聯動) 접점의 영향에 따른 각각의 발화성을 논하고자 한다.

이상 여기에서 논거(論據)하는 이유와 조건적인 것들은 본문에서 언급하기로 하며, 본 연구 결과로서 의도하여 세분화시키는 용어에 대해 감식, 감정의 임무를 수행하는 화재조사관들은 해당 용어에 대한 개념을 충분히 이해, 재정립하고 또한 각 용어와 관련한 발화 요소의 제반적인 조건과 미시적인 현상들을 모두 파악해 둘 필요가 있다고 본다.

이와 같은 것은 결국 화재조사관 자신이 화재 조사를 효과적으로 실시하는데 도움이 될 것이

며, 또한 화재조서를 작성하는데 있어서는 제3자에 대한 기술적인 이해를 충족시킬 수 있는 하나의 자료가 될 수 있다고 판단한다.

II. 본 문(Text)

1. 전선

1.1 실험 대상

본 연구를 위해서 이용된 실험 대상품은 상면 부하(세탁물) 투입 방식의 10kg급 1조식 세탁기이며, 외함의 내면으로부터 세탁조의 밀면으로 가공(架空) 배선되어 기기 자체에서 발생하고 있는 고유 진동(固有振動)에 완전히 노출되는 배선이 본 연구의 대상이다.

1.2 전선의 운동

연구 대상의 해당 전선, 세탁(탈수) 모터의 최대 회전수, 그리고 전선의 진동형태를 관찰한 결과는 다음과 같다.

(1) 전선

- ① 소선(素線) 직경 0.18mm, 30가닥(이상 0.75mm)의 심선, PVC 피복
- ② 평상 통전 전류 4~5A(세탁기의 탈수 중 최대 기동 전류) 미만

(2) 탈수시 모터 회전수

약 700rpm(분당 700회전) 미만

(3) 전선 운동의 관찰 결과

- ① 운동 관찰 계기
스트로보스코프(Stroboscope)
- ② 기기의 탈수중 전선의 운동 형태는 전

선의 지지부를 기점으로 하는 원뿔형의 회전 진동을 한다. 이는 세탁조의 운동이 X, Y, Z축의 복합적 원진동을 하기 때문이며, 이 또한 관찰이 가능하다.

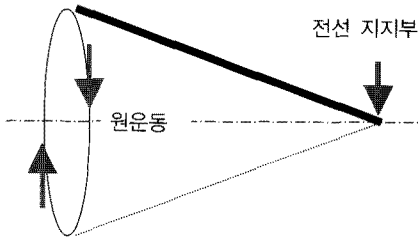


Fig 1. 전선의 원진동

- ③ 전선의 회전수는 모터의 회전수와 같은 회수로 원운동을 한다.
- ④ 세탁중, 탈수의 개시·운전·정지시, 그리고 세탁조의 불균형적인 운동중 전선의 축을 따라 굴절과 장력(張力) 이동시에 또는 교대로 작용하는 롤링(Rolling)이 발생한다.

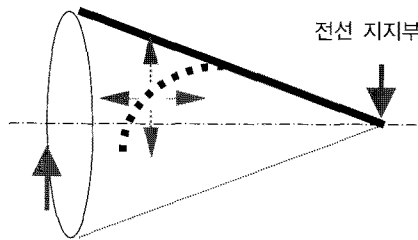


Fig 2. 전선의 입체적 진동

1.3 전선의 열적 분포

전선이 전류의 통과와 함께 기계적인 고속 운동에 동시에 처하게 되므로서 일어나는 온도 변화와 분포를 측정, 진동 전선 전장(全長)에서의 최대 응력점을 확인하고자 했다.

(1) 열적 스트레스 관측 계기

① 열화상 촬상식 온도계

전선 전체의 온도 분포를 색상으로 관측, 발열의 응집부(凝集部)를 파악하므로써 기계적 응력의 최대점을 확인하기 위해 사용

② 열전 타점식 온도계

전선의 길이에 대해 축을 따라 피복의 표면층에 1cm 간격으로 10개 지점에 타점을 부착시켜 미세 온도 분포도를 확인하기 위해 사용, 타점은 피복의 중간층에 삽입후 접착제로 고착(固着)

(2) 온도 분포의 관찰 결과

- ① 발열의 최대 영역은 전선을 잡고 있는 지지점의 인출부에 집중된다.
- ② 피복에서 관측되는 최대 온도 상승치는 대기 온도의 약 +2~+3℃ 수준이다.
- ③ 배선의 진동이 커지고 과도해지면 열적 상승과 분포 범위가 다소 확대된다.

1.4 전선의 단선 실험

전선 도체의 단선 현상과 형태를 파악하기 위해 피복내 도체가 완전히 끊어질 때까지 또는 중도까지 다음과 같은 조건과 방법으로 재현을 실시했다.

(1) 강제 단선 조건

- ① 직각의 양방(90°-90°) 굴곡
- ② 1지점 고정, 반대 대응축 360°의 연속 회전

(2) 자기 단선 조건

세탁기를 탈수 모드로 가혹 에이징(Aging

* 老化/장기간 연속 운전)

1.4.1 전선의 단선 형태

상기 조건으로 기계적인 열화(劣化) 작용이 가해진 전선들은 피복의 총 두께와 층수가 약간의 영향을 미치는 것을 제외하면 절연의 종류 또는 층수에 거의 관계없이 도체의 굴절각, 회전각, 장력, 심선 비틀림의 크기에 따라 다음과 같이 총 4가지의 단선 형태를 나타낸다.

(1) 반단선(半斷線)

Fig 3과 같이 수 가닥의 소선중 일부를 제외한 소선의 부분 절단이 일어난다.



Fig 3. Partial disconnect

(2) 전단선(全斷線)

Fig 4와 같이 수 가닥 소선의 전체 절단이 일어난다.



Fig 4. Total disconnect

(3) 단지점 단선(單地點斷線)

Fig 5와 같이 거의 일직선상으로 소선의 토막 현상이 없는 직진성 절단이 일어난다.



Fig 5. Single point disconnect

(4) 복지점 단선(複地點斷線)

Fig 6과 같이 소선이 수 개로 토막나는 현상의

산발성 절단이 일어난다.



Fig 6. Plural point disconnect

이상에서 단지점 단선과 복지점 단선은 앞에서 말한 도체의 기계적인 스트레스가 가해지는 여러 가지의 조건에 따라서 반단선과 전단선 모두에 발생한다.

1.4.2 도체의 단선점

도체의 단선 발생은 당연히 기계적으로 압박을 받는 곳이다. 그러나 그러한 힘이 전달된다고 해서 모두 끊어지는 것이 아니라 Fig 7의 원형 점선내와 같이 힘이 모아지고 응력(應力)이 집중되는 부위에서 모두 발생하며, 정확히 말하면 전선을 잡고 있는 고정부로부터 운동력이 작용하는 방향으로 전선 직경의 대략 1/2~1배에 상당하는 인출점 영역에서 도체의 절단이 집중된다.

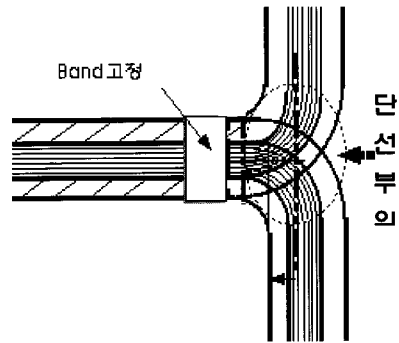


Fig 7. Cutting point & boundary

1.4.3 절단 요소

단선 형태에 따라 영향을 미치는 요소는 다음과 같은 것들이 있음이 확인된다.

① 반단선

같은 힘의 조건에서 상대적으로 도체의

소선 굵기가 가늘수록 나타나기 쉽다.

- ② 전단선
같은 힘의 조건에서 상대적으로 도체의 굵기가 굵을수록 나타나기 쉽다.
- ③ 단지점 단선
도체의 굴곡각이 예각(銳角)일수록 단지점 단선의 가능성은 증대된다.
· 즉 1방향 이상의 예리한 각운동일 때 주로 나타난다.
- ④ 복지점 단선
도체의 굴곡각이 대체적으로 완만하나 비틀림, 회전, 롤링(Rolling) 등 물리적인 작용이 복합적으로 일어나면 복지점 단선의 가능성이 증대된다.
· 즉 2방향 이상의 수직, 수평, 대각에 대한 복합 운동일 때 주로 나타난다.
- ⑤ 장력
단선의 각종 요소에 잡아당기는 힘이 동시에 작용하는 조건이 더해지면 단선까지의 시간이 현격히 줄어든다.
- ⑥ 탄력
장력을 일으키는 전선의 운동은 대부분 이완과의 복합적인 운동이 일어나는 경우가 대부분이며, 이때는 전선의 축을 따라서 반발성 탄력(튀겨지는 힘의 현상)이 작용하게 되므로 잡아 당겨지는 장력의 상승 요인으로 작용한다.
- ⑦ 운동 속도
전선이 움직이는 각종의 운동 속도가 빨라질수록 소선-소선, 심선-피복간의 마찰, 기계적인 피로 열화(疲勞劣化) 작용 등이 상승 효과를 일으켜 단선의 생성(生成) 시간을 단축시킨다.

1.4.4 전선 피복의 영향

전선에 물리적인 힘이 가해지는 경우 집중적으로 꺾이고, 비틀리고, 당겨지는 등에 처해지는 부위(결국 도체가 단선이 되는 점)의 피복 두께는 다소 얇아지게 되며 그 상태의 조건이 오랜 시간반복 또는 지속될수록 질과 구성 조직의 모양이 다소 변해가는 현상 등의 열화가 일어난다.

또한 피복의 두께가 두꺼울 경우 얇은 것보다 피복속 도체에 대해 완만한 꺾임각을 형성시켜 주기 때문에 도체 절단에 대한 완충 작용에서는 유리하나 이것은 단지 시간상의 연장 효과일 뿐 나타나는 결과는 거의 같다.

1.5 도체의 발열 실험

기기에 사용된 도체 소선 1가닥의 통전전류에 대한 발열 현상을 파악하기 위해 다음과 같은 시험과 실험을 실시했다.

1.5.1 정상 전류의 측정

10kg급의 용량을 가진 세탁기의 경우 탈수 및 세탁 기동시 최대 4~5A 미만, 운전중 최대 2~3A 수준으로서 이것이 세탁기의 각 운전 행정에 대한 최대 입력 전류에 해당된다.

1.5.2 도체의 통전 실험

(1) 소선 용단 실험

연선의 소선 1가닥에 대하여 용단 전류의 수준과 피복 절연의 열변(熱變)을 포함, 고온 발열의 현상을 확인하기 위하여 다음과 같은 실험을 실시했다.

① 적용 조건

피복이 제거된 10cm 길이의 나소선 도체(裸素線導體) 및 105℃ 내열 피복속에

넣은 나소선을 각기 허공에 걸어 놓고 가변 직류 전류 발생기를 이용, 전류를 서서히 증가시켰다. 이것은 0.18mm의 소선 30가닥중 최악의 조건일 수 있는 1가닥만이 끊기지 않고 남았을 때 그 소선이 고열 또는 적열(赤熱)을 거쳐 용단에 이르거나 발화의 위험성을 내포하는 수준 및 용단전류(溶斷電流)의 크기를 알아보기 위함이다.

② 결과

나체 상태인 나소선은 약 4A 수준에서 적열(赤熱)에 이르고, 약 6A 미만에서 단선되었다. 이것은 구리선에 대한 용단전류 환산 공식에 따라 계산된 이론치와 거의 일치하는 값이다.

이와 달리 피복을 입힌 소선은 약 5A 수준에서 연기가 발생하면서 피복이 매우 천천히 녹기 시작했으며, 약간의 시간 지연이 있는 후 약 8A에서 도체가 단선되는데, 2가지 실험 모두 중앙부에 해당하는 부위에서 녹아 끊어진다.

이처럼 피복을 입힌 도체의 절단시까지 통전 전류와 시간의 차가 생기는 이유는 도선과 접촉하고 있는 피복이 있는가 없는가의 차이에서 오며, 피복이 있는 것은 도체의 열을 빼앗는 작용(흡열효과) 때문인 것으로 확인되고, 도체의 중앙부가 끊어지는 일률적인 현상은 도선 양단에 전류를 인가하기 위해 물려 놓은 금속 단자를 통한 전도 방열(傳導放熱) 효과 때문이다.

(2) 반단선 실험

상기 (1)의 실험을 토대로 세탁기의 단선된 전

선에서 소선의 일부가 남는 반단선 조건이 실제로 발화에 이를 수 있는가의 여부를 확인하기 위해 다음과 같은 조건으로 실험했다.

① 적용 조건

피복이 그대로 있는 연선(燃線)의 전선 도체중 소선 1가닥만을 남기고 나머지 29가닥의 소선을 절단한 조건의 전선을 세탁기 입력측에 직렬로 연결시킨 후, 정격 입력 전압의 115%, 최대 세탁 부하(건조 세탁물의 무게량 기준)로 3회 이상 연속적으로 반복 운전(세탁 및 탈수에 대해 각각)했다.

② 온도 측정

열상 촬영기와 열전대법을 동시에 적용해서 관측했다.

③ 결과

전선 피복의 표면은 별다른 발열 증상이 나타나지 않는다.

이유는 탈수 기동시 4~5A의 통전(通電)은 매우 짧은 시간(수 초)에 끝난 후 바로 운전(통전 전류 2~3A 지속) 행정으로 들어가며 안정화되고, 세탁시에는 약 4A(기동)~2A(운전)의 기동 및 운전 전류가 단속(斷續)되며 주기적으로 흐르기때문에 0.18mm 1가닥 소선의 온도 상승은 순시적으로 약간 변화하는 정도이지 과도한 발열로 피복을 녹이거나 태우는 등의 상태까지는 도달하지 못한다.

(3) 전단선 실험

① 적용 조건

피복이 그대로 있는 전선 내부의 도체 소선을 모두 끊어 놓은 상태에서 도선

의 끊긴 점을 연결시키고 끊는 작용을 연쇄적으로 적용시키는 실험이다.

단 그러한 단선점에서의 개폐 작용이 세탁기에서 자기적(自己的)으로 일어나도록 만들어주는 조건이 적용되었다.

② 관측

실험품이 있는 공간을 어둡게 하여 피복을 통한 시각적 인지에서 초기의 미세 방전 시점을 포착하고 발화까지 관찰했다.

③ 결과

단선점에서의 개폐 작용은 세탁조가 움직일 때마다 일어나고, 탈수중에는 매우 빠르게 발생되며, 이에 따라 접점의 개폐시마다 발생하는 스파크는 아크화한 후 순간적으로 불꽃을 일으킨다.

단선점에서 연속 아크를 일으키는 개폐 회수는 초당 약 11~12회 정도로서, 이것은 전선의 진동수(분당 700회전)와 같거나 그에 상당한 것으로 판단된다.

또한 세탁기 운전 행정, 즉 세탁, 탈수(탈수+배수) 등의 대표적인 행정에서도 연속 아크의 발생은 통전 전류가 상대적으로 크고 연속적인 진동이 일어나는 탈수 행정일 때이며, 반면 세탁 행정중에는 간헐적인 스파크만이 발생된다.



Fig 8. 단선선에 의한 발화/세탁조 인화

1.5.3 단락과 방전의 경과

(1) 단선점의 단락 성공

주변의 전선 모두가 단선된 전선과 격리되어 인근 전선에 파괴적인 영향을 주지 못하는 경우에는 단선점에서 방전을 일으키며 피복을 부분적으로 녹이는 상태가 되더라도 절단면에서의 방전점은 서로 어긋나며 이탈되기 쉬워 더 이상의 진전없이 중단되는, 즉 세탁기는 안전하게 고장 상태에 머물게 되는 이른바 **완단선(完斷線)** 상태가 된다.

그러나 여러 가닥이 다발의 한 묶음으로 묶여서 서로 붙어 있을 경우에는 단선점이 이탈되지 못해 서로 접하고 있는 전선의 피복을 소손시키고 이어서 전류 누설과 함께 선간 단락으로 이어진다.

(2) 단락 전류의 통전

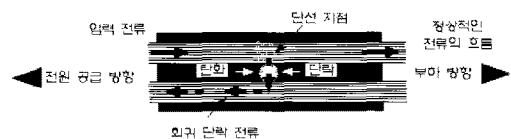


Fig 9. 단락 전류의 회귀

2개 이상의 전선 도체 사이의 저항이 극한의 수효으로 감소되는 단락 조건이 발생하면 Fig 9와 같이 부하를 향하던 대부분의 입력(入力) 전류는 세탁 모터의 전기 부하에 도달하기 전에 피복 절연이 파괴된 지점을 통해서 도중에 거꾸로 회귀(回歸)하는, 즉 전원측으로 되돌아가는 현상이 발생하며, 이때의 순간 통과 전류는 세탁기 최대 부하 전류의 수 배 또는 수 십배에 달한다. 이는 전원측의 전력공급 능력에 따라 큰 전류(大電流)가 흐르게 되는데, 바로 이 전류가 단선점이자 단락점에서 발화를 일으키는 근원적 요소가 된다.

1.6 고찰

본 실험의 결과는 다음과 같이 발생 조건과 과정을 주요소와 작용별로 나누어 정의된다.

1.6.1 단선

출화와 관련된 단선은 반단선과 전단선으로 엄격히 구분할 수 있다.

① 반단선

반단선은 전류 통전에 따라 단선(單線)의 심선 단면적(횡축)에 대해서는 국부적, 그리고 연선(撚線)의 잔여 소선에 대한 길이(종축)에 대해서는 전반적인 고온 발열이나 적열을 일으키는 조건이다. 이것은 다시 말해서 전선 도체에 대한 과부하(과전류 통전) 조건에 상당한 위험 상황이다.

② 전단선

반단선과 달리 전단선은 단선점에서의 고속적이고 반복적인 방전으로 인해 도선 단면적에 대한 국부적인 발열, 방전 발염(發焰)을 일으키는 이른바 국지적인 섬락(閃絡 * Flashover) 현상이다.

이것은 다시 말해서 스위치 접점의 고속 스위칭 현상인 체터링(Chattering *2. 구동 접점 참조) 장애에 상당한 위험 조건이다.

1.6.2 굴곡각

반단선과 전단선에는 도체의 단지점 및 복지점 절단 현상으로 재차 구분된다.

단지점 단선은 꺾임각이 예각이면서 단방향의 꺾임이 발생할 때, 그리고 복지점 단선은 꺾임각이 그다지 예각이 아니면서 다각적 꺾임과 기타 물리력이 함께 일어나는 운동에서 나타나기 쉽다.

1.6.3 전선 운동과 물리력

전선의 운동으로 인한 도체의 단선은 해당 도체에 가해지는 꺾임각, 회전력, 장력, 반발 탄력, 롤링 그리고 그것들에 수반되는 변형과 반복의 속도 및 힘의 크기(이상 복합적으로 말해서 진동과 충격적 강도)가 도체 단선에 이르는 시간, 형태를 크게 좌우한다.

다만 시간적인 약간의 연장 측면에서 볼 때 피복의 두께, 층수, 전선 도체의 굵기가 다소 상관성이 있다.

1.6.4 통전 전류와 전압

당연한 말이지만 단선된 도체(당해 도체에 연결된 기기의 회로 또는 부품)에 흐르는 전류의 양이 많거나, 전압의 크기가 높을수록 피복의 용융과 함께 인접하고 있는 이극 도체와의 단락으로 발화에 이르는 시간이 대폭 단축된다.

1.6.5 전류량과 지속시간

전기적인 발열은 줄열에 의한다. 따라서 일단 도체의 단선시 통전 전류의 크기가 커야 하고, 스위칭의 연속적인 지속 시간 또는 감소되버린 단면적에 대한 통전 지속 시간이 길어야 하는

전제조건이 조성되어야 한다.

이 양 쪽중 한 가지만 만족될 경우 화재로 발전하기 이전인 단순 소손이나 국부적인 소훼로 중지되버릴 가능성이 극히 높다.

1.6.6 진동과 방전

전선 도체가 절단된 지점에서 기계의 진동으로 인해 일어나는 절단면간의 개폐(Switching) 현상은 스위치 접점의 고속 개폐와 같은 일종의 채터링 작용이며, 이러한 고속 스위칭은 스파크가 연속으로 이어지는 아크를 일으킨다.

진동에 의한 전선 도체의 고속 스위칭은 기계적인 움직임에서 발생하기 때문에 그것의 개폐회수는 진동수와 같거나 그것에 상응한다.

1.6.7 발화 가능한 제조물의 유형

전기 제조물에서 전선의 단선으로 인한 발화 가능성은 다음과 같이 구분해서 예측할 수 있다.

(1) 전단선 - 자기적 운동에 의한 발화

기계나 설비가 동작할 때 스스로 배선단선에 이르러 발화에 도달할 수 있는 것으로는 다음과 같은 것의 예를 들 수 있다.

- ① 세탁기에서 외함-세탁조간 가공 배선
- ② 선풍기 또는 머리 회전식 히터의 경부(頸部) 통과 회전부
- ③ 로봇의 관절부
- ④ 중장비의 굴절 회전부
- ⑤ 자동차 외실 전장(電裝) 배선부

(2) 반단선 - 인위적 접촉·충격에 의한 발화

사람의 취급으로 인해서 배선이 발화할 수 있는 것에는 다음과 같은 것의 예를 들 수 있다.

- ① 헤어드라이어, 다리미, 청소기 코드의 본체 인출부
- ② 전기 밥솥의 본체와 뚜껑 경유 배선부

- ③ 모든 전기기기 플러그의 내부 및 플러그측 인입 코드부

(3) 반단선 - 자기적·인위적 요소의 발화

흐르고 있는 전류에 대한 전선 도체의 감소 단면적이 전류 허용의 한계를 초과하는 경우 발화에 이를 수 있으므로 모든 기기가 해당될 수 있다.

2. 구동 접점

2.1 실험 대상품

본 연구를 위해 이용된 제품은 세탁기이며, 실험 대상품은 세탁기의 배수 밸브 개폐를 구동을 위해 장착되어 있는 교류 입력 직류 제어식 솔레노이드(直流環形捲線式電磁石 * Direct current solenoid)이다.

2.2 메커니즘

솔레노이드는 환상(環狀) 권선에 전기를 공급하고 끊기 위한 스위칭 기구가 있으며, 스위치 접점편(接點片)을 움직이는 장치인 플런저(Plunger)가 배수관의 밸브를 열고 닫는 기구물과 맞물려 함께 움직이는 연동(聯動) 구조이다.

2.3 연구 대상

솔레노이드의 연동 계통에 있는 기구물이 기계적인 운동을 방해받을 때 스위치 접점부에서 발생하는 현상과 기계적인 장애간의 관계를 연구 대상으로 하며, 솔레노이드가 어떤 원인으로 동작을 방해받는 구속 상황에서 스위치 접점이 발화, 소손에 이르는가와 그것의 경과를 다루고 있다.

2.4 실험

본 실험에서 구동 장애 상정의 배경은 배수

밸브와 배관간 기구적인 조립의 불량, 가공 마무리의 불량, 동절기 배수배관내 잔류수에 의한 동결 등으로 인해서 구동계에 기계적인 장애가 생길수 있는 것에 초점을 두고 있다.

2.4.1 실험 조건

접점의 연동 기구물인 솔레노이드 플런저에 작용하는 최대 전자기력(電磁力)의 한계점과 거의 일치하는 힘으로 그것의 움직임을 저지시키기 위해 스프링을 달거나 그것에 준하도록 선을 이용한 힘 조절 고정 방법을 적용한 후, 정격 입력 전압의 하한율로 책정된 -15%의 전압(187V)을 연속적으로 인가했다.

2.4.2 실험 결과

실험 조건에 따른 결과는 다음과 같이 분류된다.

(1) 완구속(完拘束)

회전 또는 왕복 운동의 작용을 하는 기구들이 그것의 운동을 방해받아 완전하게 움직이지 못하는 것, 즉 보통 말하는 구속을 의미한다.

이것은 단시간 운전 정격의 기기에 대해서 연속적인 운전을 하도록 하는 이유에서 때에 따라 관련 부하 회로의 발화 등 위험성을 초래할 수 있는 조건은 되지만 스위치 접점에는 일부의 특수한 상황을 제외하면 직접적으로 영향을 주지 않는 고장 모드(異狀條件 * Abnormal mode)이며, 당해 실험에서도 접점에 이상 방전 등 발화와 관련된 문제는 전혀 발생되지 않았다.

(2) 반구속(半拘束)

접점을 움직이는 연동(聯動) 기구의 동작에 슬립(Slip)과 같은 기계적인 간섭의 장애가 생겨날 때 해당 기구부가 진행력과 복귀력의 임계점에서 극복과 항복을 반복적으로 일으키는 상태로, 순간 함께 움직이는 접점 사이에는 국부적인

방전과 고온 발열을 일으키는 조건이 되며, 이와 같은 반복적인 개폐가 고속으로 일어나는 채터링의 현상이 발생된다.

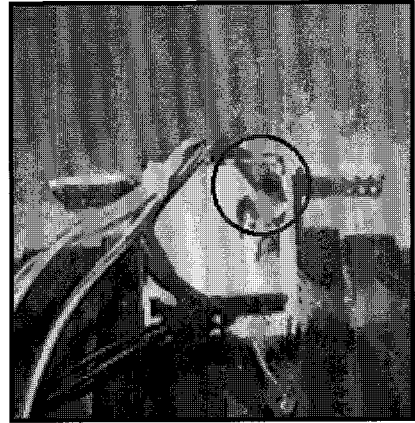


Fig 10. 솔레노이드 스위치 접점의 채터링 발화

접점의 개폐 회수는 가해지는 전원 주파수의 1주기에 따라 on-off를 일으키고, 이 때문에 60Hz의 경우 on이 60회, off가 60회, 즉 1초에 최대 총 120회(개폐 왕복 60회)의 접점간 회수적(回數的)이고 과도적인 접촉과 분리가 가능해지면서 연쇄적인 아크가 발생한다.

이 아크는 접점을 심하게 녹이거나 용착을 일으키고, 또는 어느 순간 큰 불꽃을 발생시키므로 인해서 접점을 둘러싸고 있는 각종 구조재(솔레노이드를 포함한 세탁조의 합성 수지재)에 인화되며 연소가 확대된다.

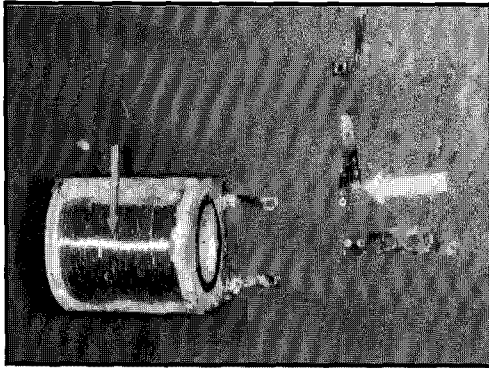


Fig 11. 솔레노이드 스위치 접점의 소손

2.5 고찰

이와 같은 실험의 결과는 비단 솔레노이드만에 해당되는 것이 아니며, 환상 권선을 이용한 자기력으로 기구물을 움직이는 유사 스위칭 부품이나 장치에 해당하는 개폐기류(開閉器 * Switch), 계전기류(繼電器 * Relay), 전자석류(電磁石 * Magnetic/솔레노이드, 부저, 벨따위) 등에서도 발생이 가능하다.

III. 결론(Conclusion)

전선 도체의 단선 및 접점 구동의 방해의 조건과 발생 현상들은 결국 출화와 관련해서 볼 때 전기적인 영향과 기계적인 영향의 차이일 뿐 특정 한계점에 도달된 전선 또는 접점의 국부적인 부위에 전기적인 에너지가 집중되므로서 발화의 근원이 된다는 점이 같다.

1. 전선 도체

1.1 도체의 단선 유형 구분

전류가 흐르고 있는 전선의 내부 도체가 끊어

지는 상태, 즉 단선의 형태적인 유형에는 반단선과 전단선으로 구분할 수 있고, 조건적인 유형으로는 반단선, 전단선, 완단선으로 구분할 수 있다.

반단선인 경우 잔여 소선 또는 잔여 단면적의 과열과 적열, 전단선인 경우 단선점간의 과도한 교호 방전(交互放電)현상이 전선 자체에 대한 출화의 조건이 되나, 완단선은 발화와 과열의 조건이 되지 못한다.

1.2 단선과 스위칭 방전, 고온 발열의 관계

(1) 전단선

완전히 단선된 절단면과 면사이의 개폐작용은 기기의 고유 진동 또는 인위적인 취급에 영향을 받아 일어나며, 이와같은 전단선의 스위칭은 스위치 접점이 개폐되는 상황과 같은 조건이다.

여기서 간헐 진동이나 취급 충격에 의한 저속의 단발성 개폐는 스위칭이고, 그 때의 방전 현상은 스파크이다. 반면 고속 진동에 의한 고속적 연속성 반복 개폐는 채터링이고, 그 때의 방전 현상은 아크이다.

(2) 반단선

전선 도체의 단면적이 줄어드는 반단선은 도체가 원래 흐르고 있는 전류량에 대한 수용 용량이 점차 줄어드는(전기저항의 상승) 조건이다. 따라서 그러한 상태는 전선의 전형적인과전류 통전(과부하) 조건으로 작용하며, 부분적인 단선 후의 잔여 소선 또는 심선의 감축 단면부가 부분적이거나 국부적으로 고온 발열 또는 적열 현상을 일으키는 가열 소자화(加熱素子化 * Heating element)의 상태가 된다.

① 단선

단선(單線)의 반단선은 하나의 면적을 가지는 1개 도체(心線=素線) 단면적의

부분적인 개방과 함께 개방된 그 지점에서 국부적인 전기 저항의 상승으로 인해 해당되는 부위가 도체의 단면적에 대한 횡축(橫軸) 선상에서 발열한다.

② 방전

연선(燃線)의 반단선은 여러 개의 면적을 가지는 수 개의 도체(素線)가 하나의 단면적(心線)을 이루고 있는 가운데 소선의 일부가 개방되므로써 채 끊어지지 않고 남아 있는 소선의 전체 길이에서 고온 발열하거나, 히터의 선처럼 적열(赤熱 * 이상 전기저항의 상승)이 일어나는 등 도체의 길이를 따른 종축(縱軸) 선상에서 발열한다.

2. 스위치 접점

기계적으로 개폐 작동을 하는 스위치의 접점은 그 접점의 개폐를 연동(連動)시키는 장치 기구(또는 접점부 자체)의 물리적인 간섭 장애에 따라서 접점의 과방전을 통한 과열을 일으키는 조건이 되는 동시에 회로의 구성 조건에 따라서는 관련 접점과 직렬 접속되어 있는 부품류 혹은 회로가 과열, 발화하는 결과를 초래할 수도 있다.

2.1 구동 장애와 채터링의 관계

전자장(電磁場)에 의해서 구동(驅動)되는 전기 접점에 기구적으로 연결되어 있는 장치가 기계적인 간섭을 받게 되면 접점의 움직임에 장애 요소로 작용한다. 이 때 접점 기구체의 전기적인 작용력과 기계적인 방해력이 서로간의 임계선상에 머물면 접점의 가동편이 이동(극복)과 복귀(항복)를 반복하므로써 접점의 접촉과 분리(on-off)가 연쇄적으로 이어진다.

2.2 채터링과 방전

접점의 구동 장애로 인한 반복적 개폐회수는 전원 주파수의 주기(Cycle) 회수와 거의 일치하는 고속 스위칭(채터링)이 발생하고, 그 때의 접점 간 방전은 연쇄성 아크가 된다.

이것은 교류 전기에너지의 특성인 양음(陽陰)의 순환성(Cycle)에 따라 on-off를 반복하는 것에 따르기 때문이며, 국내 상용 주파수인 60Hz의 경우 초당 60회의 왕복 개폐를 하며 연속적인 아크를 일으킨다.

IV. Key words

(기재 용어 및 구문에 대한 도움말)

반단선(半斷線 * Partial disconnection) 1

일본 및 국내의 전기부문에서 사용하는 용어로서, 전선 도체의 심선(心線)이 끊어진 후 불시에 접속되는 상태의 장해 현상이라고 정의하고 있는 용어

반단선(半斷線 * Partial disconnection) 2

본 논문에서 새롭게 정의하고자 하는 용어로서, 반단선이란 전선 도체 심선(心線)의 단면적이 줄어들거나 또는 소선(素線)의 일부가 끊어진 상태처럼 줄어든 단면적 또는 끊기지 않고 남아 있는 상황일때, 단선(單線)의 경우 총 단면적의 일부가 통과 전류의 양을 수용하지 못해 면적이 줄어든 단선점에서 국부적으로 과열을 일으키거나 또는 연선(燃線)의 경우 끊기지 않고 남아 있는 잔여 소선이 통과 전류의 양을 수용하지 못해 잔여 소선 전체 길이에서 적열이나 과열을 일으키는 장해 현상을 가리키는 용어

전단선(全斷線 * Total disconnection)

위의 반단선 1과 반단선 2 형태의 전기적인 작용을 엄격히 구별지을 때 반단선 1을 지칭하는 용어로서, 본 논문에서 새롭게 구분해서 정의하는 단어

접점 철편의 가동력(接點鐵片稼動力)

접점 철편이란 스위치와 같은 장치에서 2개 이상의 접점이 부착된 금속편이나 판 또는 단자를 서로 움직이도록 하거나 또는 한쪽을 이동시켜 접점의 접촉(閉 * on)과 분리(開 * off)를 가능하게 하는 기구물을 말하는 것이고, 가동력은 이와 같은 철편의 움직임을 가능하도록 하는 힘

심선(心線 * Core * Conductor) 및 소선(素線 * Strand)

전선의 피복속 도체가 1가닥인 단선(單線)의 경우 그것이 심선이자 소선이고, 피복속 도체가 여러 가닥이 있는 연선(撚線)의 경우 그 도체 전체를 심선, 개개의 가닥을 소선이라 한다.

슬립(Slip)

움직이는 물체가 접촉성 마찰의 영향을 받거나 또는 잡거나 당기는 힘과 같은 물리적인 영향을 받아 목적하는 작동성이 원활하지 못하고 방해를 받는 상태

가공(架空 * Overhead)

전선이나 선 등을 공중을 가로질러 매달거나 걸어 놓는 것

스트로보스코프(Stroboscope)

고속으로 회전하거나 진동하는 물체를 매우 밝은 빛의 점멸 속도를 조절하므로써 정지 또는

느린 속도의 상태로 포착해서 관찰하고 회전수 등을 측정할 수 있는 빛 점멸 장치

장력(張力 * Tension)

길이의 축을 따라 잡아당기거나 끄는 힘

롤링(Rolling)

롤링이란 구른다는 뜻으로, 전선이 그것의 길이 축을 따라 180°의 각도로 구르듯이 굽고 퍼지는 형세를 의미하며, 예를 들면 탱크나 건설 중장비의 바퀴를 감싸고 도는 윤전띠(輪轉帶 * Rotation belt)의 회전과 같은 운동 상황을 의미하는 것

응력(應力 * Stress)

변형력(變形力)을 말하는 것으로, 물체가 외부 힘의 작용에 저항해서 원형을 지키려는 힘

피로 열화(疲勞劣化 * Weariness deterioration)

각종 재료에 외부의 힘이 반복적으로 가해져 점 차 손상이 생기며 재료의 강도가 떨어지는 현상

열변(熱變 * Heat deformation)

열로 인해 성질이 변하는 물리적인 변화 현상

용단 전류(溶斷電流 * Fusing current)

전기가 흐르는 도체는 일정 한도 이상의 과대 한 전류가 흐르면 도체의 저항 성분으로 인해 줄 열(Joule 熱)이 발생하고, 이 열로 인해 도체가 녹게 되면서 결국 빨갛게 달아오르다가 끊어지게 되는데 바로 그때 흐르고 있는 전류를 말한다.

도체 크기에 따른 용단 전류의 계산식은 다음과 같다. 단 k는 금속의 종류에 따른 그 금속이 가지는 고유한 값의 상수(常數)이고, d는 도체의 직경(mm)이다.

$$\therefore i_b = k \times d^{3/2} \text{ (A)}$$

전도 방열(傳導放熱 * Heat conduction)

물체를 통해 열이 빼앗기거나 이동하는 현상

연선(撚線 * Stranded conductor * Twisted wire)

여러 가닥의 가는 도선(소선의 다발)을 한데 모아 비틀고 꼬아서 심선화한 전선

완단선(完斷線 * Complete disconnection)

전선의 도체가 전단선처럼 기계적으로 완전히 절단되어 있는 것. 단 전기적인 연결이 완전하게 단절(斷絶)되어 있는 상태

섬락(閃絡 * Flashover) * 교호 방전

(交互放電 * Inter-ction discharge)

아크(Arc)가 발생하면서 두 전극(電極) 사이가 불꽃으로 이어지는 현상

채터링(Chattering)

전기 접점의 접촉부가 빠른 속도로 튕겨지고 복귀되는 작용이 반복되는 현상으로서, 마주보고 있는 한쌍의 접점이 어떤 원인으로 인해 매우 빠른 속도로 붙고 떨어지는 현상을 의미한다. 이때 전기 접점에서는 접점 사이에 불꽃을 동반하며, 통과하는 전류가 커질수록 폭발적인 현상을 일으킨다. 여기서 어떤 원인이란, 기구를 움직이는 전기적인 에너지가 그 기구의 동작을 극복할 수 없는 항복점의 경계에 도달한 상황이나 조건을 의미한다

경부(頸部 * Neck)

목부위

전장(電裝 * Electric field)

전기 부품이나 회로 등의 장치가 있는 공간

환상(環狀 * Ring shape)

고리처럼 동그랗게 생긴 형상

플런저(Plunger)

막대 모양의 피스톤

전자력(電磁力 * Electromagnetic strength)

전자기력(電磁氣力)이라고도 하며, 자기장(磁氣場) - 자석과 같은 자성체에서 발생하는 힘이 존재하는 공간속에 들어가 있는 도체에 전류가 흐를 때 그 도체가 자기장으로부터 받는 힘

연동(聯動)

기계나 장치에서 한 부분을 움직이면 그것과 연결되어 있거나 맞물려 있는 다른 부분도 잇따라 함께 움직이는 일

주기(週期 * Cycle)

진동하는 물체가 한 방향으로 움직였다가 다시 반대방향으로 그 만큼 움직여서 본래의 자리로 되돌아오는데 걸리는 시간이나 과정

참고문헌

- 김만우, 「화재조사」, 신광문화사, 2004
- 김만우, 「화재조사용어집」, 신광문화사, 2004
- 김만건, 「전기안전용어사전」, 성안당, 2000
- 최충석 외, 「전기화재공학」, 동화기술, 2000
- 화재조사기술교본 제3권, 일본 동경소방청 예방부 조사과
- 화재감식포켓필수휴대, 일본 동경소방청 예방부 조사과