

# 세탁기의 발화성, 예방대안 및 원인조사기술에 관한 연구

## Study On The Ignitable, Preventive Measure & Fire Investigation Technique To Household Electric Washing Machine

대전남부소방서 조희수\* · 한국화재과학연구소 김만우\* · 대전소방본부 박원태

Hie Su, Joe Man Woo, Kim Won Tae, Kim

### 요 약

본 연구는 국내의 가정에서 가장 많이 사용되고 있는 1조식전자동세탁기(이하 기기라 함)의 발화위험요소 중, 그 내부에 부착된 세탁조의 하부측을 경유하며 배선되는 전선(이하 하부배선이라 함)의 발화형태와 성상(性状)을 조망하므로써, 예방대안과 원인조사의 요령을 구체적으로 제시하고자 하였다.

### I. 서 문

세탁기는 현재 한가정에 한 대씩 보급되어 있으며 사용빈도도 주 5~6회 정도로 우리생활의 필수품으로 자리 잡고 있으나, 화재 발생 시 세탁기의 원리나 구조 또는 부품의 역할이 생소하여 화재원인 판정을 하는데 어려움이 있다.

국가화재통계를 살펴보면 화재발생 점유율은 전기, 방화, 담배로 이한 화재 순으로 이중 전기 화재에는 가전제품이 포함되어 있다. 가전제품에

서 발생하는 화재는 전기를 사용한다는 이유로 전기화재로 분류되어 전기화재의 점유율이 높게 나타나게 된다. 세탁기는 대표적인 가전제품으로 전기와 물을 동시에 사용하는 것으로 습기에 의한 발화 가능성이 높을 것으로 사료되며, 이들 부품들의 특성을 이해한다면 화재원인 조사가 보다 수월하고 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다.

본 연구는 국내의 가정에서 가장 많이 사용되고 있는 1조식전자동세탁기(이하 기기라 함)의 발화위험요소 중, 그 내부에 부착된 세탁조의 하부측을 경유하며 배선되는 전선(이하 하부배선이라 함)의 발화형태와 성상(性状)을 조망하므로써, 예방대안과 원인조사의 요령을 구체적으로 제시하고자 하는 것에 그 목적을 두고 있다.

### II. 사고사례

기기의 발화원인으로 작용하는 근본적인 요소에는 여러 가지를 들 수 있으나, 일반적으로 주

류가 되는 것만을 분류하면 다음과 같다.

### (1) 부품 및 회로 신뢰성의 특성과 관련하여

기기에는 전자식과 기전식<sup>1)</sup>에 상당하는 전기전자부품 및 그것들의 조합회로가 대량으로 사용되고 있고, 이와 같은 것들의 안전성 확보에 근간이 되는 것에는 충분한 내구성과 신뢰성이 있어야 한다.

이에 그러한 제반특성이 부족하다거나 없을 때 또는 전기를 운반하거나 소모하는 등 에너지가 가해지는 것들의 수용능력에 대한 여유율이 현저히 낮을 경우, 관련된 부품들이 고장을 일으키거나 수명을 다할 시점에서 안전하게 제역할을 마감하지 못하고 스스로가 자기발화에 이르거나, 아니면 그러한 부품들과 연결되어 있는 회로가 발화에 이르도록 하는 구실을 할 수 있다.

### (2) 물 등의 각종 이물질과 관련하여

기기의 특성상 그것이 가지는 전기전자부품 및 회로에 악영향을 미칠 수 있는 것으로는 세탁수(물), 습윤(과도한 습기나 물기), 세탁세제, 세탁물이 머금고 있는 각종 인체의 부산물(나트륨, 암모니아, 단백질, 인, 지방 등), 공업용기름기, 대기의 산화성 가스, 환경적으로나 자연적으로 생성되며 흡착할 수 있는 각종 먼지와 같은 이물질 등 많은 불순물을 들 수 있다.

이러한 각종의 이물질이나 분위기 조건들이 전기에너지를 사용하는 해당부분에 지대한 영향을 미칠 수 있는 조건이 형성되는 경우, 전기작

용에 대한 대표적인 악영향으로는 이극간의 Tracking, 접촉점의 접촉불량, 도전로의 부식(통전면적의 감소, 접면의 전기저항상승 등), 절연부의 파괴, 운동부의 구속과 같은 나쁜 효과를 일으킬 수 있다.

### (3) 진동과 관련하여

기기 운전기능의 행정에는 세탁부하량 감지, 급수, 세탁(이하 행균포함), 탈수, 가열(삶는 기능), 배수가 있고, 그 중 특히 세탁과 탈수시에 발생하는 과도한 운동의 진동은 전기물체를 감싸거나 보호하는 기구적인 절연층을 파괴에 이르도록 만드는 중대한 악요소로 작용한다. 이와 관련하여 예를 들면, 전선의 굵곡이나 장력<sup>2)</sup>에 따른 전선내 심선(心線)의 절단, 전선절연피복의 파괴(마모, 경화, 균열 등), 스위칭접촉자의 불완전접촉 등이 그것이다.

이상의 발화요소중 본 논고의 주제와 관계된 것이 위 '3)항'이며, 그와 관련된 다음과 같은 화재사례들을 대상으로 고찰해 보면, 기기의 진동이 발화에 이르게 만들었던 개체로는 내부전선중의 하나인 세탁조의 하부측 배선이라는 것을 충분히 짐작하게 하며, 그와 관련한 공통된 추정근거는 다음과 같다.

- ① 기기내 세탁조의 하부배선에서 최소 2쌍 이상 수 개의 전기단락흔이 식별되는 점
- ② 연소의 중심부가 위 '①'의 발생부위와 그 인접주변의 구조재로 국한된다는 점,
- ③ 위 '①'의 흔적을 제외하고, 기기의 기타

1) 기전식(機電式) : 전기를 에너지원으로 사용하는 기계와 기구(이상을 종합하여 기기라고 표현)를 통털어 이르는 말.  
2) 장력(張力) : 당기거나 당겨지는 힘.

내부와 외부측 전체 부품 및 회로측 전기 물에서 발화원으로서 긍정할 만한 파괴흔적이 존재하지 않는다는 점.

- ④ 기기내 주전원의 선로상에 연결된 전류보호장치 중 최소한 1개 이상이 과전류(과대부하 또는 단락 조건에 상응하는)통전의 용단흔적을 남기고 있는 점.
- ⑤ 연소작용이 기기의 내부로부터 외측을 향하며 확대한 흔적을 남기고 있는 점.
- ⑥ 기기만의 단독소훼(반소수준)에서 종료된 상태에서 그것의 외측(기기 주변의 현장)은 그을림의 오염이나 부분적인 소손만이 발생되어 있는 점.
- ⑦ 기기밖 현장내 연소의 수준이 극히 국지적이고 소규모인데다 매우 경미하며, 기기 안 밖에서 조연재나 특이기구의 사용흔적이 관찰되지 않는 가운데 착화와 확대 등 연소의 중심축이 기기의 안쪽 깊숙하게 존재하는 것 등 범죄행위와 관련된 수단과 방법상의 용의성향(容疑性向)이 전혀 없는 점

- ① 기기 노후(약10년 이상의 사용품)에 따른 자기 진동의 진폭증대, 그로 인한 세탁조 하부측 배선의 자연적이고 점진적인 단선 또는
- ② 기기 하부측에 대한 수리이력이 있고, 그에 따른 배선설계경로에 어긋나는 당해 전선의 정형구조 불안정화가 전선에 대한 과도한 장력 초래, 그것이 전선심선의 단선요소로 작용.

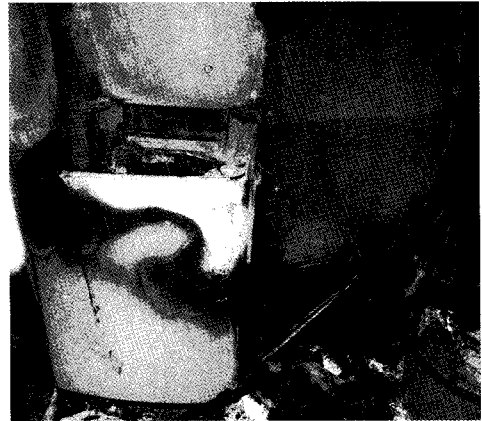


Fig.1. 세탁기의 소훼상황.

[사례 1]

- (1) 사고일시 및 지역  
2006. 8. 24(목), 09:30경 - 대구광역시 비전동소재 주택
- (2) 사고개황
  - ① 대략적인 화재발생시점(인지)은 기기가 전체 행정의 종료단계에 있는 탈수가 진행 중일 때
  - ② 기기가 놓여있던 다용도실측에서 유출되고 있던 연기 발견
  - ③ 수돗물을 이용한 직접 소화
- (3) 원인추정

[사례 2]

- (1) 사고일시 및 지역  
2007. 8. 13(월), 14:00경 - 대전광역시 서구소재 W아파트
- (2) 사고개황
  - ① 화재의 발생시점은 기기가 1행정의 세탁이 종료되고 이어서 2행정의 세탁이 약5분간 진행 중일 때
  - ② 기기가 놓여있던 베란다쪽에서 일고 있는 연기 발견
  - ③ 분말소화기를 이용한 직접 진화



Fig. 2. 우측면-상면-후면의 소훼.

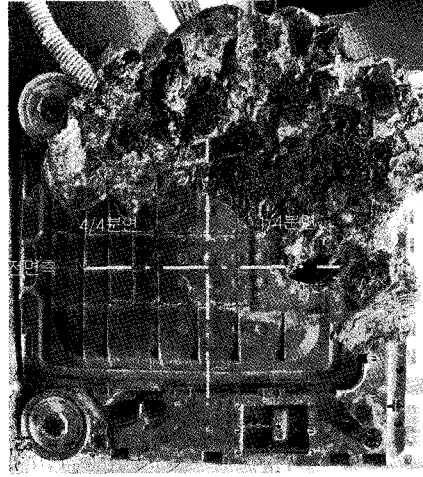


Fig. 3. 밑면의 1과 4사분면 소훼.

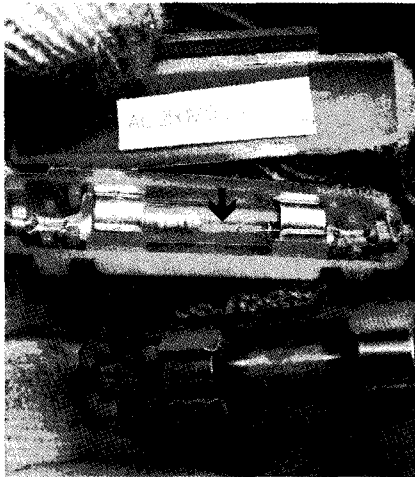


Fig. 4. 전류보호장치의 용단.



Fig. 5. 하부배선도체(모터입력선)의 단락흔.

(3) 원인추정

- ① 기기(약10년 미만의 사용품)의 고유진동에 따른 세탁조의 연계운동이 하부측 배선을 단선에 이르도록 함,
- ② 전선도체(이하 심선)의 절단면간 반복적인 분리와 접촉(斷續)이 주요한 요소로 작용
- ③ 단선에 이른 전선과 인접하고 있는 전선

사이의 절연층(피복) 파괴로 인한 상호단락(相互短絡)의 순간 발화

- ④ 배선고정용 기구부재와 세탁조 등 주변 가연구조재의 착화 및 연소확대

### III. 수행방향

위와 같은 기기의 자기적(自己的)인 발화메커니즘 진동과 관련하여 고찰해 볼 때, 기기에서 발생하는 반복적인 운동성향의 고유한 진동은 세탁조 하부측의 전선지지부에 크고 작게나마 영향력을 미칠 것이고, 이어서 그 영향력의 권역에 들어 있는 전선피복의 내부측 심선(心線)이 점진적으로 끊어지는 단선효과가 있을 것이 예상되며, 또한 그와 같이 끊어진 2개면 상호간의 심선단면 사이에는 세탁조가 움직일 때마다 접면방전작용(接面放電作用)을 일으킬 것이 용이해 진다는 것과 그 작용효과는 결국 전선이 발화에 도달할 수 있도록 만드는 요소가 될 것이라는 짐작이 가능하다.

그러므로 이와 관련한 실험적 연구와 검증을 통해서 기기내부의 전선이 단선에 이르는 이유, 그리고 그와 같은 전선이 발화에 이르게 되는 원인요소 및 연소의 전개과정을 고찰해 보는 한편, 연소후 결과적으로 남게 되는 제반흔적의 관련정보를 취하는데 필요하다고 판단되는 다음의 내용들을 검토하는 한편, 관계가 있는 실험을 병행하여 입증한다.

#### 1. 세탁조내 부하조건에 따른 하부배선의 상대성 관찰

세탁물과 세탁수(이하 부하라 함)가 담기는 세탁조의 처짐수준에 따라서 그것의 밑면부에 고정되는 하부배선의 경로각도가 함께 변할 수 있다는 점에서 부하량에 따른 하부배선의 꺾임각과 처짐각을 파악한다.

#### 2. 세탁조와 하부배선의 운동성향 관찰

세탁조의 균형적인 운동(정상운전)과 불균형적인 운동(이상운전-Unbalance)의 조건에서 일어나게 되는 진동 및 움직임 형태에 대한 전선의 운동성향을 파악한다.

#### 3. 하부배선의 단선조건과 발화성상의 관찰

- ① 전선심선의 단선형태를 파악한다.
- ② 단선이 발화에 미치는 효과를 파악한다.
- ③ 발화로부터 연소확대에 이르는 전체 과정과 형태를 파악한다.

#### 4. 세탁조를 포함한 부속물의 연소성 관찰

하부배선을 포함하여 그것의 주변을 둘러싸고 있는 다음과 같은 부속물의 난연성과 이연성을 진단하고 확인한다.

##### ① 전선

세탁겸 탈수용 모터, 모터기동콘덴서 및 배수모터측의 입력전선으로서, 기기외함의 내면으로부터 세탁조를 향해 가공(架空)으로 건너지른 후 세탁조의 밑면에 고정시킨 5가닥의 하부배선(5개선중 4개선은 전원공급선인 충전선, 나머지 1개선은 접지선)

##### ② 전선응력 완충재

기기의 운전중 수시로 움직이는 세탁조와의 간섭(마모, 꺾임 등)을 피하기 위하여 하부배선을 감싼 스펀지

### ③ 전선고정용 묶음선

세탁조의 밀면부에 하부배선을 고정시키기 위해 사용된 선으로서, 외층은 PVC재이고 내층은 철금속의 조합선

### ④ 격리판

전선이 발화할 경우, 세탁조측으로의 연소확대를 차단하거나 저지할 효력과 목적이 있는 것으로 짐작되는 수지판

### ⑤ 세탁조

주재가 Nylon 또는 PE계의 수지로서, 밀면 중앙전방측에 세탁과 탈수용 유도전동기(Ind-uction Motor), 정중앙부에 회전축 구동점 제동장치(Shaft Ass'y), 우측중간에 모터기동용 필름콘덴서(Starting Capacitor), 우측후방에 배수용 동기모터(Synchronous Motor), 세탁조 후방 밀면에 전원공급용 전선(하부배선) 등을 부착하고 있는 세탁과 탈수 등을 수행하는 통이상 각기의 위치는 기기를 정면에서 바라다 볼 때의 기준

### ⑥ 전선타격 완화재

하부배선이 외함의 내벽측에 때리듯이 충돌하며 닿을 때 마모 등의 손상이 없도록 하기 위하여 그 내벽체의 표면에 부착시킨 스펀지

## 5. 연소경과의 관찰표

기기의 착화를 시작으로 연소가 확대해 갈 때 보이는 제반성상을 파악한다.

## 6. 감정에 필요한 제반지식의 정립

소취기기의 감정시 조사관이 반드시 알아두어야 할 기반지식을 논리화한다.

# IV. 본문

## 1. 실험대상품

실험적 연구를 위하여 사용된 기기의 기본설계사양은 다음과 같다.

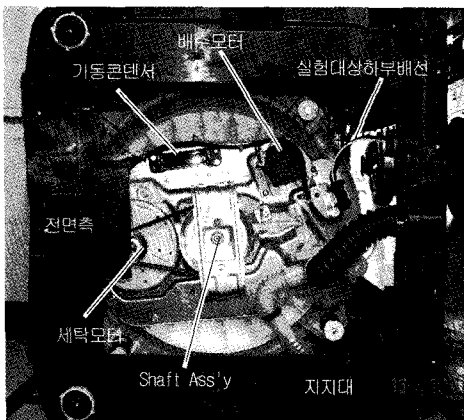


Fig.7. 기기의 밀면과 내부.

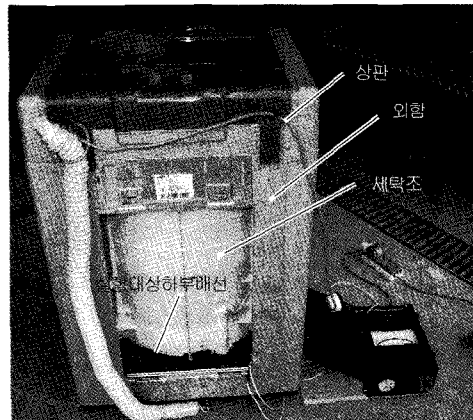


Fig.6. 기기의 후면.

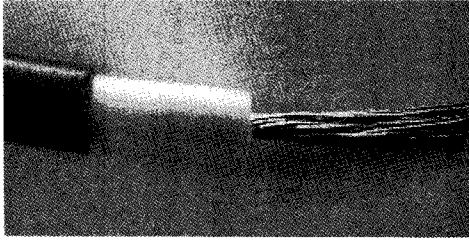


Fig.8. 하부배선의 외피복-내피복-심선.

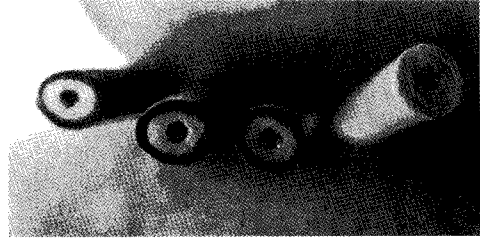


Fig.9. 하부배선(충전선)의 절단면.

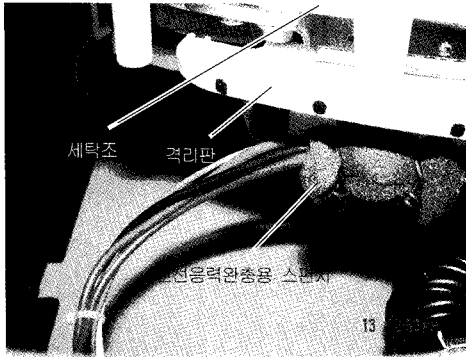


Fig.10. 세탁조측의 하부배선 고정형태.

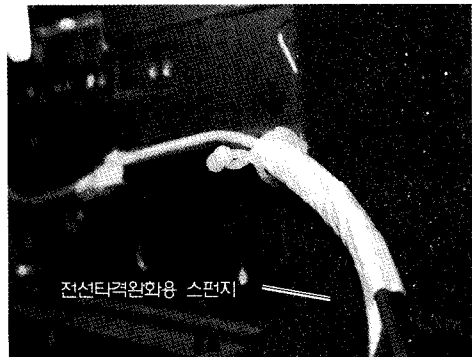


Fig.11. 외함내측의 하부배선 고정형태.

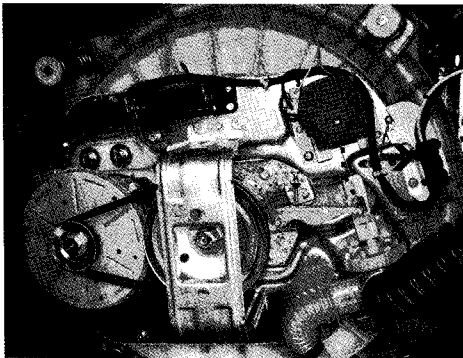


Fig.12. 하부배선의 설치경로.

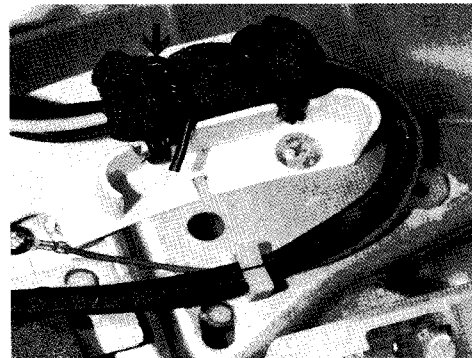


Fig.13. 세탁조측 하부배선의 고정부.

(1) 정격용량과 실험적용대수

최대소비전력 550W, 최대부하용량 10kg급의 동종모델, 2대

(2) 구조형식 및 용도

- ① 기기의 상부로 세탁물을 투입하고 인출하는 형식의 가정용 1조식전자동세탁기
- ② 철제판의 외함과 후면커버, 플라스틱수지의 상판, 기능제어 및 전장부<sup>3)</sup>, 스테인레스틸의 세탁검 탈수통(내통), 플라스틱수지의 세탁

플라스틱수지의 밑면지지대와 차음판<sup>4)</sup>으로 구성된 조립식 구조

접지선(극)을 내포한 0.75mm<sup>2</sup>의 3심 전원 코드와 플러그

(3) 하부배선

- ① 사용전압정격 : 600V
- ② 절연피복 : 105℃내열 및 VW<sup>5)</sup>-1의 난연급 PVC 2층피복(2중절연전선이라 함)
- ③ 도체재질 : 주석도금 동선
- ④ 심선단면적 : 20AWG<sup>6)</sup>
  - ⓐ 단면적 0.5mm<sup>2</sup>(소선경 0.18mm, 소선수 19가닥)
  - ⓑ 환산공식 :  $S = (\pi d^2 / 4) \times n \therefore S$ (단면적, 단위mm<sup>2</sup>),  $d$ (소선직경, 단위mm),  $n$ (소선수)

② 후보호장치

- ⓐ 전체선로보호 : 주전원선로에 12A(주석판의 단일형)의 과전류보호용 퓨즈 적용
- ⓑ 세탁모터보호 : 바이메탈식 자동복귀형 서모스텝, 125℃

③ 회로구성

기기의 전기회로는 크게 기전장치와 전자회로기판(PCB Controller)으로 양분되어 있다.

(4) 전기회로와 보호장치

① 전원공급

2. 실험적용기준

실험을 실시하고 적용하기 위한 기초기준은 다음과 같은 사항과 조건을 근간으로 한다.

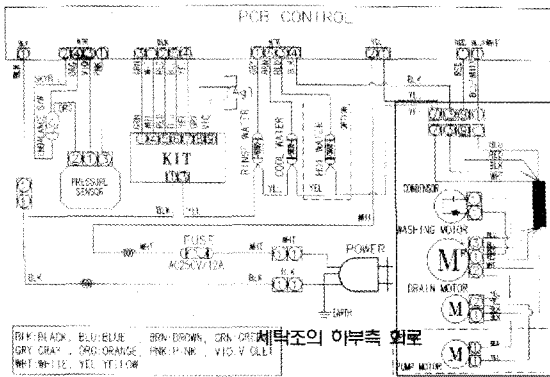


Fig.14. 기기의 전체회로와 세탁조의 하부측 회로.

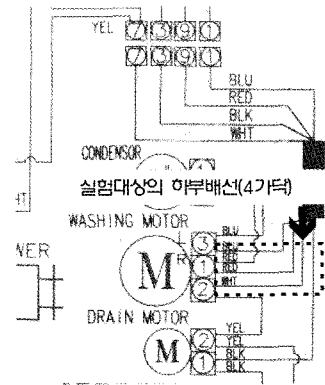


Fig.15. 실험대상 하부배선.

- 3) 전장부(電場部) : 전기전자기기에서 관련기능을 수행하기 위하여 전기적인 부품과 회로가 들어있는 특정의 공간이나 한정된 영역
- 4) 차음판(遮音板) : 기기의 내부로부터 발생하는 소음을 외부와 차단하거나 새어나오는 수준을 감소시키기 위해 적용한 판재의 구조물
- 5) VW : Vertical Wire의 약자이며, 이것은 전선이 미국규격에 따른 수직적 연소시험(VERTICAL WIRE BURNING TEST)의 승인품임을 의미한다
- 6) AWG : American Wire Gauge의 약어이며, 미국이 정한 표준전선의 공칭단면적을 의미한다.



### (1) 부하량의 선택

세탁물과 세탁수의 양은 제조자가 지정하는 수준에 준하되, 기기가 자동으로 감지하여 수행 되는 것에 따라 적용한다.

### (2) 전기공급의 선택

국내의 전기사업자(한전)가 공급하는 공칭전압 220V를 기준으로, 상하한의 표준전압변동( $\pm 10\%$ )이 있는 범위조건속에서 실시한다.

## 3. 실험재료, 기자재 및 용도

실험의 과정을 효율적으로 수행하고 결과를 취하기 위하여 다음과 같은 기구와 설비를 사용한다.

### (1) 세탁부하

기기의 세탁용량 기준, 최대와 최소의 세탁물(빨랫감) 그리고 그것들에 수반되는 수량(水量)에 준한 적용

### (2) 측정 및 관찰기구

- ① 컬러재생 열화상카메라 - 하부배선의 색온도분포 및 최대의 기계적 스트레스부위의 관찰과 확인용
- ② 스트로보스코프(Stroboscope) - 고속으로 움직이는 세탁조와 전선운동 및 진동수의 육안적 관측용
- ③ 전류계 - 기기의 세탁, 탈수, 방전, 단락시 해당회로에 흐르는 통전전류의 확인용
- ④ 버니어캘리퍼스 및 계산기 - 전선도체의 소선굵기와 심선단면적 확인용
- ⑤ 단락스위치(Short Circuit Switch) - 전선도

체의 단선점(斷線點) 재복원용

- ⑥ 전선 약간 - 단락스위치와 기기간 연결 및 기기내부배선의 부분연장용
- ⑦ 콘센트 및 연장케이블 - 기기의 전원공급용
- ⑧ 공구 - 기기의 분해, 조립, 접속, 절개, 절단, 고정, 납땜접속용
- ⑨ 절연테이프 약간 - 실험을 위한 제반회로 구성에 대한 전처리후의 절연용
- ⑩ 비디오카메라 및 디지털사진기 - 실험전반의 정지상과 동영상의 기록용
- ⑪ 급배수시설 - 기기의 세탁수 공급과 배수용
- ⑫ 세탁물 - 건조상태에서 약10kg의 일반 빨랫감
- ⑬ 부탄가스, 토오치 및 라이터 - 하부배선과 부속물 등 개체에 대한 간이연소실험용
- ⑭ 저항회로계 - 시료용 전선도체의 완전절단 확인용
- ⑮ 전등과 랜턴 - 야간실험의 전체 조명과 국지적인 관찰용

### (3) 실험환경

- ① 실험장소  
실험장소의 분위기 조건은 첫째, 실험시 세탁조 및 하부배선의 운동상황이나 미소방전(Scintillation)을 용이하게 관찰할 수 있는 어두운 곳, 둘째, 기기 실사용의 환경이 대부분 실내(무풍공간)에서 사용되는 점에 맞출 필요가 있다.  
그러나 본 실험의 장소가 옥외이었기 때문에 차광(遮光)속에서 관찰되어야 할 사안은 일몰이 지난 야간으로 대체했고, 실사용에 상응하는 바람의 차단조건은 기

기발화실험의 경과 및 결과에 큰 영향을 미치지 않는다고 판단되었기 때문에 바람이 약간 있는 실외에서 실시되었다.

② 대기조건

옥외의 일상적인 온도와 습도 조건 속에서 실시되었다.

(4) 위험대처기구

- ① 전원공급측과 기기를 직렬로 연결시킨 커버나이프스위치(30A퓨즈 내장) 및 누전과 전류 검용차단기(30A, 30mA) 각1개- 실험용 전원공급회로와 실험자 보호용
- ② 대량의 소화수 - 화재실험품의 소화용
- ③ 고무 및 면장갑 약간 - 실험자 보호용

4. 실험조건과 방법

(1) 하부배선의 전처리

총5개 가닥의 하부배선중 세탁모터측 전원공급의 공통선에 해당하는 1개선에 대하여, 그것의 피복을 원형대로 유지시키되 그 속에 삽입되어 있는 심선의 단면적(소선의 전체)을 완전히 단선시키거나 일부분만을 단선시킨 상태에서 기기를 탈수행정으로 연속운전한다.

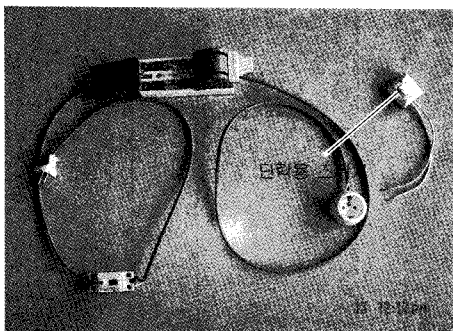


Fig.16. 플러그-차단기-나이프스위치-콘센트.

(2) 부하량의 적용

세탁조와 하부배선의 운동성향에 관한 관찰실험은 부하량을 최대와 최소로 각각 적용하고, 발화실험은 발화에너지가 상대적으로 높게 작용할 수 있는 최고의 통전전류에 관계있는 최대부하량을 선택한다.

5. 검토와 실험

기기의 일상적인 사용중 스스로 발생할 수 있는 예견가능한 동작형태에서 그 위험성을 확인하고자 다음과 같은 검토와 실험을 실시했다.

(1) 전자회로의 검토

당해 기기는 세탁조의 움직임 감소시키므로서 그를 통해 궁극적으로 하부배선의 기계적인 영향력을 함께 줄일 목적의 역할회로를 가지고 있으며, 그와 관련된 전기전자기능의 회로는 다음과 같다.

① Unbalancer회로(Unbalance Switch 및 연계회로)

탈수중인 세탁물이 심하게 편향되는 등으로 인해 세탁조의 균형이 깨질 때, 세탁조는 심한 요동을 치는 등의 교란 동작(攪亂動作 또는 異常運轉, 이를 Unbalance라고 함)이 일어난다. 이 때 탈수회전을 정지시키는 동시에 영킨 세탁물을 풀어 다시 부하의 균형을 잡기위한 세탁(급수재개행정)으로 복귀시킬 목적의 제어회로가 있으며, 이는 세탁조와 연동으로 움직이는 하부배선에 가해질 기계적인 충격을 막는 역할을 겸하고, 그러한 기능적인 제어는 회로기판

의 중앙처리장치(Micro Chip-Micom이라고 함)에서 수행한다.

② 지연탈수회로(遲延脫水回路)

탈수시 모터의 급격한 가속회전과 연이은 정속도의 진입은 미쳐 균형을 잡지 못한 세탁물로 인하여 세탁조의 균형성이 나빠지게 되고 이로 인하여 하부배선축에 기계력을 그대로 전달하는 계기가 된다. 따라서 일시의 가속회전을 나누어 회전시키며 속도를 가속화하는 이른바 간헐적<sup>7)</sup> 회전을(이를 간헐탈수라고 함)을 통해서 하부배선과 연계된 세탁조의 진동폭을 감소시키는데, 이러한 기능적인 제어 또한 회로기관의 중앙처리장치에서 수행한다.

(2) 회전수와 전류의 검토

① 모터의 회전수

탈수 중 최대 안정화 단계의 회전수를 스트로보스코프로 관측한 결과, 분당 약 700회의 속도(700rpm)로 회전하는 것을 확인할 수 있다.

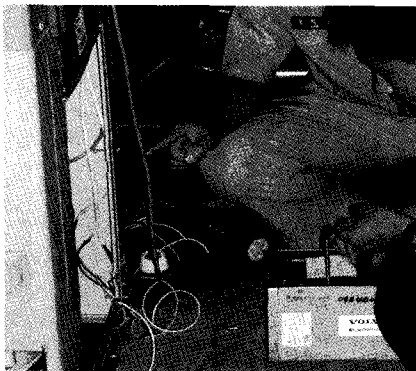


Fig.17. 스트로보스코프를 이용한 운동관찰.

② 통전전류

세탁과 탈수시 안정화되는 시점에서 각기의 운전전류는 세탁시 약1.3A, 탈수시 약 3.3A 정도이며, 모터가 움직이기 시작할 때의 가동전류는 최대 약4~6A 범위이다.

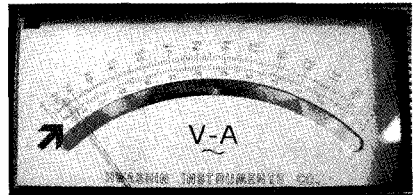


Fig.18. 세탁시의 운전전류.

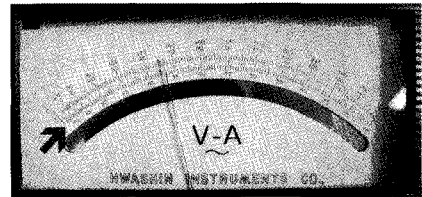


Fig.19. 탈수시의 운전전류.

(3) 기구의 검토

본 기구는 하부배선의 운동에 영향을 미치는 세탁조의 균형성을 최대한 확보하기 위해 기구적인 수단을 별도로 가지고 있으며, 그와 같은 기능역할의 장치는 다음과 같은 것이 있다.

① 현가장치(懸架裝置\*Suspension System)

세탁물과 세탁수가 담기는 세탁조는 4각형 금속외함의 4개 귀퉁이에 각기 1개의 금속봉(Bar)과 1개의 스프링(Spring)이 1조합 상태로 설치되어 있는 현가기구를 통해서 세탁조가 항상 수평의 무게중심을 가지도록 균형을 잡은 상태로 공중에 매달려 있는 구조이며, 이러한

7) 간헐(間歇) : 일정한 시간간격을 두고 되풀이하여 쉬었다 일어났다(여기서는 모터축의 전원을 인가했다 끊었다) 하는 것

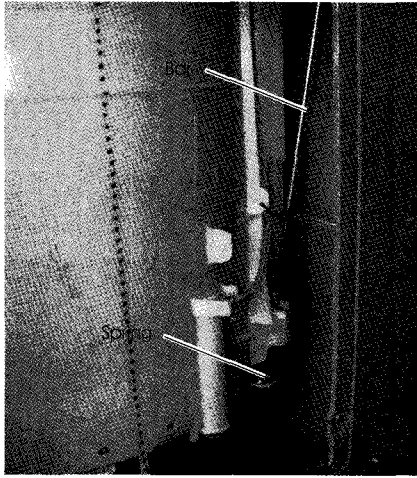


Fig.20. Suspension System.



Fig.21. Absorber Spring.

장치와 구조는 탈수시 세탁조의 상하좌우적인 움직임을 완화시켜 균형성을 확보하는 역할을 한다.

② 균형환(均衡環\*Balancer)

세탁조 상부 턱부분의 고리형 구조물속에는 물보다 비중이 큰 10~15% 농도의 소금용액이 들어있다. 이는 탈수시 세탁조 상부측의 떨림을 줄여주는 동시에 하부측에서 일어나는 진동과 불균형에 대한 균형성을 확보하는 역할을 한다. (Fig.54참조)

(4) 부하량에 따른 세탁조 변위와 하부배선의 영향성

1) 확인수단과 방법

① 장력

공중에 매달려 있는 세탁조의 하부측을 외함의 4개 코너방면을 향해서 최대한으로 밀거나 당기며, 세탁조 밀면에 배선된 전선의 영향성을 확인한다.

② 꺾임각

세탁조가 부하량에 따라 아래로 처지는 관계에서, 하부배선의 변화각을 확인한다.

2) 관찰결과

① 장력

세탁조의 최대이동 가능한 거리(외함의 내면에 세탁조가 닿는 수준)에서 전선이 팽팽해지는 등의 힘은 전혀 받지 않고 길이의 여유도를 충분히 가지고 있다.

② 꺾임각

세탁조속의 부하량을 최소와 최대조건으로 각각 넣었을 때, 세탁조의 하향적인 처짐에 따라 수평적으로 가설된 하부배선이 함께 내려앉는다. 그러나 배선이 심하게 꺾이는 등 전선상에 무리한 압박이 가해지는 수준은 발생하지 않는다.

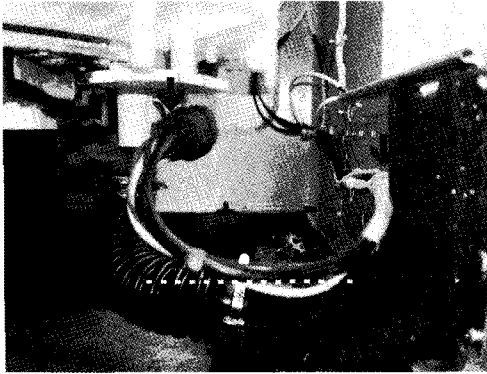


Fig.22. 최소부하에서 하부배선의 처짐각.

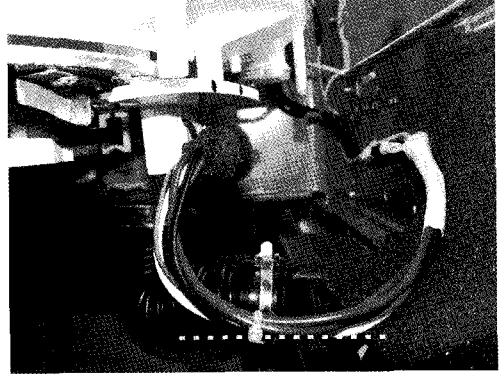


Fig.23. 최대부하에서 하부배선의 처짐각.

### (5) 세탁조와 하부배선의 운동성향

#### 1) 확인수단과 방법

- ① 세탁조의 표면에 수직과 수평상으로 교차직선을 긋고, 그 위에 1cm의 간격으로 점을 찍는다.
- ② 실험장소를 어둡게 한 후, 최소부하와 최대부하에서, 세탁과 탈수행정으로 각각 동작시킨다.
- ③ 스트로보스코프의 주사조명(走査照明) 속에 세탁조에 찍어 놓은 점들의 운

동성향을 관찰하는 것을 병행하는 동시에 유성펜을 일정하게 고정된 상태에서 운동중인 세탁조의 표면에 균일한 힘으로 접촉을 유지한다. 그 후 세탁조를 정지시킨 상태에서 운동흔적(유성펜이 그려놓은 흔적)을 관찰한다.

#### 2) 관찰결과

스트로보스코프를 이용하여 관측점의 운동상황이 육안으로 확인되는 동시에 사진으로 촬

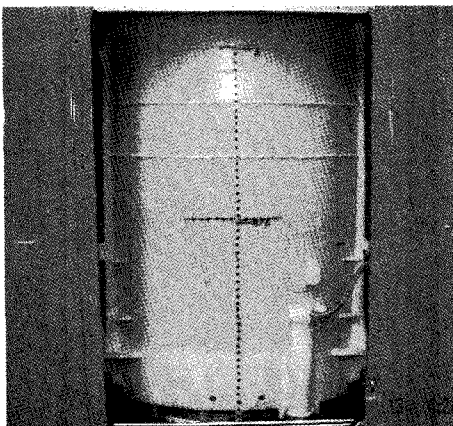


Fig.24. 운전중 스트로보 관찰을 위한 관측점.

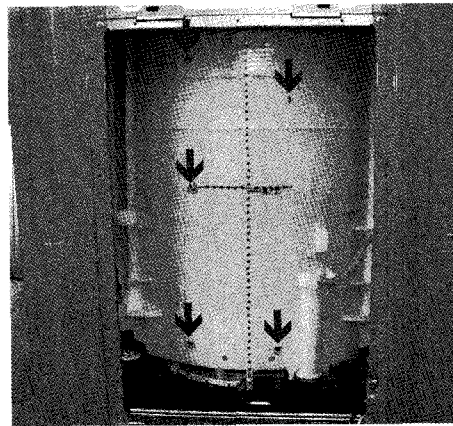


Fig.25. 유성펜을 이용한 탈수정지후의 운동흔적.

영된 운동의 성형은 다음과 같다.

① 세탁조의 운동성향

- ① (a) 기기가 무부하로 탈수회전할 때, 세탁조의 운동은 공모양의 원을 그리는 X, Y, Z축의 복합적인 원진동을 하며, 원진동의 회수는 모터회전수와 같은 분당 700회의 움직임이 있다.
- ① (b) 최소부하로 탈수회전할 때, 무부하시와 같은 복합적인 원진동을 한다. 단 진폭이 작은 편이만 세탁물의 균형과 불균형의 조건에 따라 세탁조에 대한 상진폭(上振幅)이 큰 경우와 하진폭(下振幅)이 커지는 경우가 있으나 대체적으로 진폭의 간격이 평행에 가까운 유형을 보인다.
- ① (c) 최대부하로 탈수회전할 경우, 최소

부하시와 같은 진동성향을 보이지만 진폭이 보다 크고, 세탁물의 균형과 불균형의 조건에 따라서는 세탁조의 떨림현상인 상진폭과 하진폭의 차가 최소부하때보다 더욱더 멀어지는 성향을 보이며, 대체적으로 진폭의 간격이 선형(상진폭이 큰 상태) 또는 역선형(하진폭이 큰 상태)의 상태를 보인다.

- ① (d) 세탁시는 부하량에 따라서 물량과 빨랫감의 상태조건에 의하여 수류(水流\*물살)가 급격한 변화를 일으키는 경우가 있고, 이에 따라 세탁조가 횡적으로 급속하게 이동하는 현상이 일어나는데, 이 때 하부배선에 순시적인 영향을 주는 것이 확인된다.

② 하부배선의 운동성향

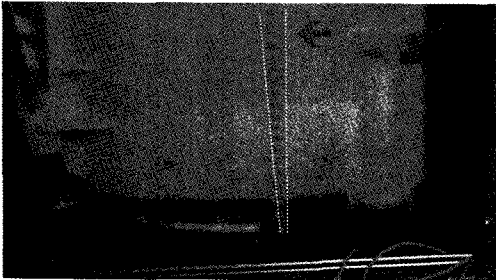


Fig.26. 상진폭-세탁조의 상부측 진폭도가 큰 상태.

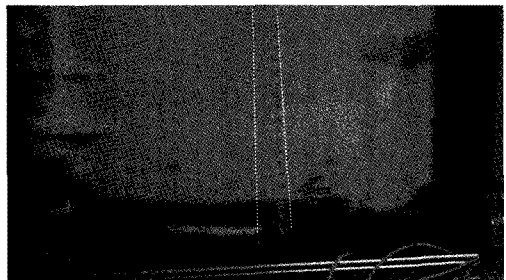


Fig.27. 하진폭-세탁조의 하부측 진폭도가 큰 상태.

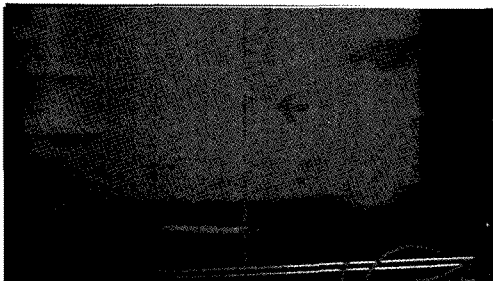


Fig.28. 세탁조가 중앙축의 인접축에서 진폭이 큰 상태.

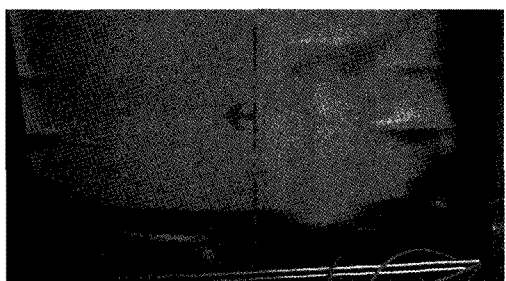


Fig.29 세탁조가 좌측으로 급히 이동하며 진폭이 큰 상태

- ㉑ 세탁조의 움직임에 따라 함께 운동하는 하부배선은 그것을 잡고 있는 고정부를 기점으로 전선의 단면방향을 향하는 원뿔갈대기형의 원운동을 하며, 이 움직임은 세탁조처럼 모터회전수와 같은 분당 700번의 회전을 한다.
- ㉒ 탈수초기인 기동시, 탈수종료의 정지시 또는 세탁중에는 세탁조의 하부측이 탈수의 중도와 같은 일정한 운전 상태에 있을 때보다 먼 거리로 이동하는 성향이 있다. 이때 세탁조의 불평형적인 이동과 함께 하부배선들은 그것의 종축(縱軸)을 따라 굴절과 장

력이 동시 또는 교대로 작용하는 롤링효과(Rolling Effect)<sup>8)</sup>를 일으킨다.

### (6) 하부배선의 단선조건

전선심선의 단선형태는 다음과 같이 파악되며, 절연재의 종류 또는 절연층수에는 관계없이 도체의 굴절각, 회전각, 장력, 심선비틀림의 정도에 따라 다음과 같이 총4개 유형의 단선형태를 남긴다. 단 하기의 단지점단선과 복지점단선은 도체에 기계적인 스트레스가 가해지는 여러 가지 조건에 따라서 반단선과 전단선 모두에서 발생한다.

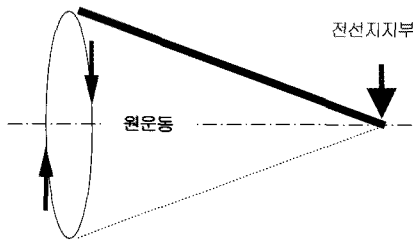


Fig.30. 전선의 원진동.

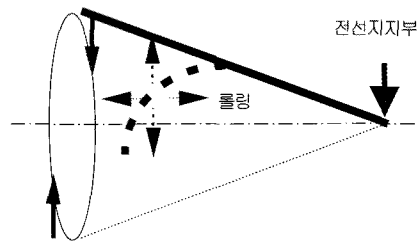


Fig.31. 전선의 입체적(롤링과 원운동) 진동.

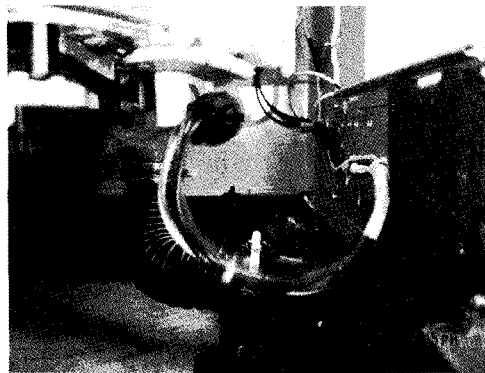


Fig.32. 하부배선의 떨림, 원운동과 롤링작용의 상황.

### 8) 롤링(Rolling)

롤링이란, 구르다는 뜻으로, 전선이 그것의 길이축을 따라 180°의 각도로 구르듯이 굽고 퍼지는 형세를 의미하며, 예를 들면 탱크나 건설 중장비의 바퀴를 감싸고 도는 운전띠(輪轉帶\*Rotation belt)나 캐터필러(無限軌道 \*Caterpillar)의 회전과 같은 동작상황을 말하는 것

## 1) 단선유형

### ① 반단선

수 가닥의 소선(素線)중, 일부의 소선만이 절단되는 형태(Fig. 33)

### ② 전단선

수 가닥의 소선 전체가 절단되는 형태(Fig. 34)

### ③ 단지점단선

소선이 토막현상없이 거의 일직선상으로 발생하는 직진성 절단형태(Fig. 35)

### ④ 복지점단선

소선들이 산발적으로 여러 개의 토막으로 끊어지는 형태(Fig. 36)

## 2) 실험전선의 단선방법과 조건

우리가 통상 알고 있는 전선의 단선을 반단선이라 칭하고, 그것은 전선심선의 전부 또는 일부만이 끊어진 상태를 포괄해서 의미해 왔다. 그러나 국내의 화재조사 관련서적중 일부의 자료<sup>9)</sup>에서는 위와 같이 단선의 형태를 반단선(半斷線) 외에 전단선(全斷線)과 완단선(完斷線)을 추가로 포함시켜 총3가지로 세분화한 후, 그것들을 다시 단지점단선(單地點斷線)과 복지점단선(複地點斷線)으로 재차 분류하고 있다.

여기서 반단선은 심선단면적의 일부가, 전단선

과 완단선(完斷線)은 심선단면적의 전부가 끊긴 상태로 구분했으며, 다시 전단선과 완단선의 차이점으로는 전자의 경우 끊어진 접면사이가 다시 붙을 수 있는 개연성이 있는 것을 말하고 있는 반면, 후자의 경우는 그럴 가능성이 전혀 없는 조건적인 것을 의미하고 있다.

이것은 기기의 단선 진행과정과 형태적인 조건을 전기적인 면과 기계적인 면에서 면밀히 들여다 볼 때 전선도체의 발열과 발화에 관련된 진행적 요소나 형태가 엄연히 다르고, 도체의 전기저항과 통과전류에 대한 크기 변화가 수시로 수반된다는 점을 들어 지적하고 있는것은 본 실험에서 충분히 고려해 볼 가치가 있는 것으로 판단된다.

따라서 피복을 원상태로 보전하는 것을 전제로 하여 내부소선의 일부 또는 전부를 끊어 각각 실험에 적용하고, 그러기 위해 다음과 같은 방법을 택하였다.

단 전자(일부)의 결과적인 단선형태는 위 '1)의 ①항의 반단선 조건, 후자(전부)는 위 '1)의 ②와 ③항의 전단선 및 단지점단선 조건에 해당하는 것이다.

### ① 심선의 절단작업

#### ㉠ 반단선

전선단면을 기준하여 횡으로 약



Fig.33. Partial Disconnect.



Fig.34. Total Disconnect.



Fig.35. Single Point Disconnect.



Fig.36. Plural Point Disconnect.

9) VI. 참고문헌과 자료, 1의 화재조사용어집, 신광문화사 2004년 5월판, 한국화재과학연구소 김만우



1/2만큼 피복에 칼집을 낸 후, 그 속에 들어있는 총 19개 소선 중 1개의 소선만을 남기고 18개 소선 모두를 절단한다.

⑥ 전단선

수작업의 수단을 이용하여 전선 종축에 대하여 직각 이상의 강제굴곡(왕복 약100회 전후)을 통해서 소선전체를 완전절단하는 동시에 피복은 전혀 파괴가 없는 조건을 유지하도록 한다.

② 심선절단의 확인

① 반단선

육안으로 확인한다.

② 전단선

전선도체의 양단에 저항회로계를 연결시킨 상태에서 위의 절단행위를 실시한다.

(7) 하부배선의 발화성상

하부배선과 관련한 발화가능성 여부의 검증을 위해 크게 3가지의 실험을 선택했으며, 그것의 결과는 다음과 같다.

1) 반단선에서의 방전가능성

① 실험관점

1가닥만이 남고 나머지 18개 소선이 모두 끊어진 절단점간에서 on-off의 스위칭작용이 있을 때, 그 사이에서 스파크가 발생하는가의 여부를 확인한다.

② 실험방법

세탁모터의 입출력선인 총4선중 1개선의 중도를 앞의 '5), 2), ①의 ①항과 같이 전처리한 후, 어두운 공간안에서 단선점의 사이를 서로 붙였다

떨어뜨리는 행위를 반복했으며, 이 때 해당 선로에는 전류계를 직렬로 연결시켜둔 조건이다.

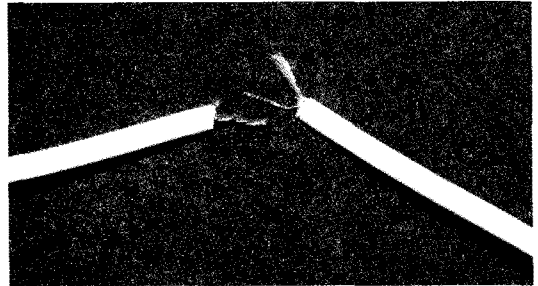


Fig.37. 반단선에서의 절단부간 방전실험시료.

③ 실험결과

전류계의 변화가 전혀 없고, 육안으로도 어떠한 방전의 현상도 보이지 않는다.

2) 반단선에서의 고온발열가능성

① 실험관점

1가닥만이 남고 나머지 소선 모두가 끊어졌을 때, 남아있는 1소선이 과열이나 적열을 일으킬 가능성이 있는가의 확인

② 실험방법

앞의 '5), 2), ①의 ①항과 같은 전처리 조건에서, 최대부하의 탈수행정을 지속적으로 반복하며, 온도계로 상시 관측을 실시했다.

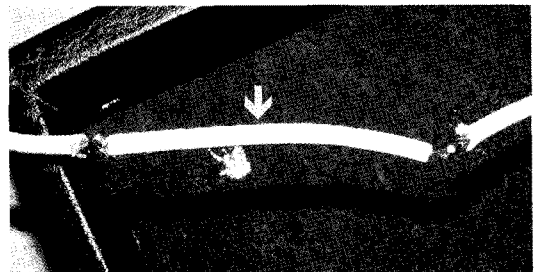


Fig.38. 반단선에서의 소선발열실험.

### ③ 실험결과

열화상온도계로 피복 및 피복밖으로 노출된 도선간 접촉점을 관측한 결과, 피복의 경우 대기온도보다 약 5℃ 높은 최고 35℃미만이고, 도선의 경우는 대기온도보다 약 15℃가 높은 최고 45℃수준에서 온도가 포화되는 등 피복이 녹거나 타는 등의 이상 증상은 전혀 발생하지 않는다.

## 3) 전단선에서의 방전 및 발화가능성

### ① 실험관점

소선 전체가 모두 끊어졌을 때, 발화의 가능성, 그리고 그와 같은 가능성이 있다면 발화에 이르는 과정과 성상을 확인한다.

### ② 실험방법

앞의 '(5), 2), ①의 ⑥항과 같은 전처리 조건에서, 최대부하의 탈수행정을 계속적으로 반복하며, 육안관찰을 실시했다.

### ③ 실험결과

#### ① 방전작용의 성공과정

단선점에서의 방전작용은 세탁조가 움직이며 양쪽의 절단면을 기계적으로 접촉시 키거나 끊어줄 때 가능하다. 즉 선로가 끊어진 양쪽의 절단면은 세탁조가 정지해 있을 때는 앞에서 언급한 완단선의 조건이기 때문에 방전작용을 일으키지 못하지만 고속의 탈수중에는 세탁조의 빠른 물리적인 운동으로 인해서 양절단점간에 기계적인 영향력이 그대로 전달됨에 의하여 상호간의 접촉

과 분리의 반복적인 발생이 가능하며, 그것의 속도와 단속회수(斷續回數)는 극히 빠르면서도 매우 빈번한 on-off를 일으키는 것을 확인할 수 있다.

즉 다시말해서 전선이 사전에 끊어져 있을 때(예를 들어 탈수의 종료시점인 정지시에 끊어지는 경우, 즉 모터측의 입력전원이 차단되는 시점이나 그 직후)는 절단점에서의 방전이 일어날 수 없지만 탈수가 한참 진행중(모터전원의 공급중)일 때 끊어지면 기구물의 움직임으로 인해서 절단점간의 접촉이 가능해지고, 그러한 접촉작용은 순간적으로 공급이 끊겼던 모터측에 다시 전원을 인가하게 되는 조건이 되어 세탁조를 계속 움직이도록 만들며, 그에 따라 절단점도 따라서 단속적인 통전이 가능해지는데, 접촉과 분리가 일어나는 그 때마다 불꽃방전(Spark)을 일으키게 된다.

#### ② 발화의 실패과정

전선이 발화에 이르려면 단선점에서의 방전작용이 지속적으로 유지되어야 하는데, 그러한 유지조건을 방해하는 요소가 작용하면 전선을 포함한 인접부재가 발화 또는 착화하지 못하며, 그와 같은 완단선적인 조건의 경우에는 다음과 같은 유형이 있다.

- 위 '①항'에서 언급한 것과 같

은 탈수중지시점에서 단선이 일어나는 경우에는 발화에 실패한다.

- 간헐적으로 반복운동을 하는 세탁중에 세탁조가 움직이는 성향은 연속적인 움직임을 유지하는 탈수시와 비교할 때 중간중간 짧은 순간의 전원공급에 대한 휴지기<sup>10)</sup>가 있다. 따라서 세탁조의 빨랫감이 물살에 의하여 움직이는 순간 세탁조의 이동거리가 큰 편이지만 탈수운전처럼 연쇄성을 가지지 못하기 때문에 그 점은 절단면간의 단속작용에 있어 실패할 확률이 높게 나타난다.
- 사전에 전선에서 단선이 있는 상태로 기기를 재차 사용할 때, 그 지점에서 일어나는 후속의 방전작용으로 인해 해당 부위가 열화(劣化)의 상태를 더욱 가속시키면 단선된 전선을 둘러싸고 있는 피복이 완전히 녹아버리는 시점에서 전선피복의 일체성이 완전파괴상황에 이르러 당해 전선을 잡고 있던 지지부로부터 쉽게 떨어지기 때문에 실패한다.

### ㉔ 발화의 성공과정

특히 탈수행정은 고속운동을 일으키는 단계이기 때문에 단선점에서 연속적인 스파크를 일으키는 개폐회수가 초당 약11~12회

정도로 판단되고, 이것은 전선의 진동수(분당 700회)에 상응하는 움직임이다.

이와같은 단선점에서의 스파크 방전작용의 근간이 되는 단속작용은 세탁조가 움직일 때마다 또는 움직이고 있는한 계속적으로 일어나며, 그와같은 단선부의 순시성 스파크는 단선된 전선의 피복을 태워가는 과정에서 그것과 밀착되어 있는 이극의 또 다른 전선의 피복을 태워 파괴시키는 상황이 도래하면 비로소 극간단락의 현상이 일어나는데, 그와같은 상태의 조건에서는 1개선의 절단면간에서 발생하던 단발성 스파크방전이 2개선간의 단락으로 발전함에 의하여 지속적인 불꽃방전을 일으키는 이른바 아크방전으로 전환되는 순간 커다란 화염을 일으킨다.

단 이와같은 발화까지의 성공은 단선(도선과 피복의 동시절단)으로 인해서 방전을 일으키는 전선이 지지부로부터 이탈되거나 탈락되지 않아야 하는 것이 전제조건이다.

10) 휴지기(休止期) : 잠시 정지하거나 쉬는 시간 또는 그 기간을 뜻함

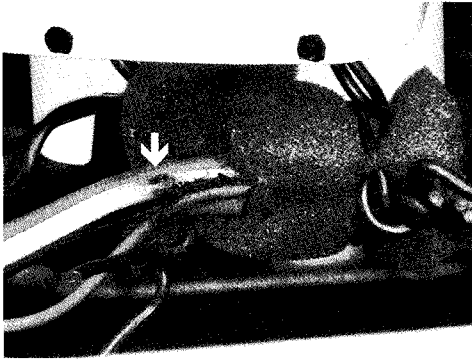


Fig.39. 실험중도 단선피복의 탄화단계.



Fig.40. 1차 Arcing단계.

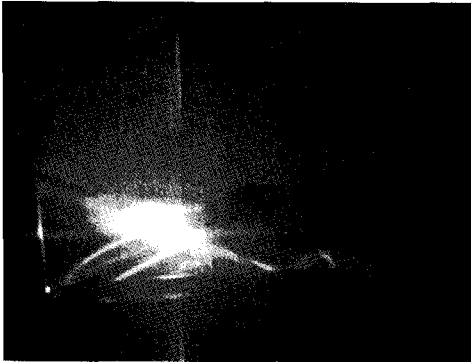


Fig.41. 2차 Arcing단계.



Fig.42. 3차 Arcing단계.

### (8) 연소경과(延燒經過)

기기의 착화를 시작으로 연소가 확대해 갈 때 보이는 제반성상은 다음과 같이 파악된다.

#### ① 착화물

전선에서 일으키는 방전불꽃은 즉시 전선의 피복과 전선을 둘러싸고 있는 스펀지 및 그것의 내면에 포함된 접착제를 착화에 이르게 만들었다.

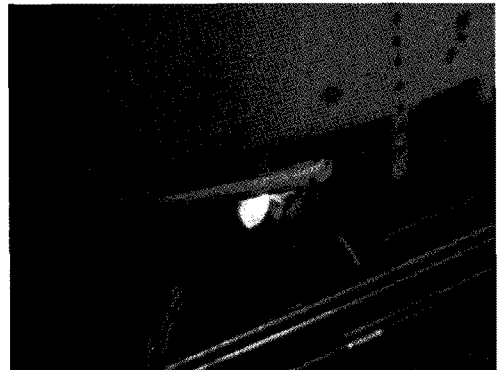


Fig.43. 착화기(전선완충용 스펀지의 연소단계).

#### ② 연소확대지연의 저지물

발화부에서 발생한 불꽃은 위를 향하

게 되는데, 이 때 그 위를 가로막고 있는 격리판으로 인해 불꽃이 더 이상 위로 올라가지 못하고 자연소화되는 경우와 올라가더라도 불길을 방해하며 잠시 지연시키는 효과를 보였다.



Fig.44. 교착기(불꽃이 격리판 밑에 잠시 머무는 단계).

### ③ 연소확대물

위의 상황이 확대되면서 전선몽치를 고정하며 잡고있는 묶음선의 수지물을 태우기 시작하고, 스펀지가 본격적인 연소상황에 이르면 불꽃의 크기와 길이가 커지고 길어지는 관계에서 위 ②의 격리판을 넘어서며 그 위에 위치하는 세탁조의 밑단에 불꽃이 접촉하는 가운데 세탁조로 옮겨 불기 시작한다.



Fig.45. 월경기(불꽃이 격리판의 제한선을 넘는 단계).

### ④ 연소확대

일단 불이 세탁조의 밑면측에 옮겨붙게 되면 불의 성장이 빨라지는 동시에 확장면적이 일시에 넓어지는 상태에 도달하고, 그 때 물처럼 줄줄 녹아 떨어지는 세탁조의 용융물은 모두가 불이 붙어 있는 상태이기 때문에 바닥으로 떨어진 그러한 것들이 바닥측에서 다시 제2, 제3의 불길을 일으키며 1차불길과 함께 커지는 성장기(成長期)에 도달한다.



Fig.46. 성장기(세탁조 밑면의 착화와 확대단계).



Fig.47. 성장기(세탁조의 착화용융물이 떨어지는 단계).

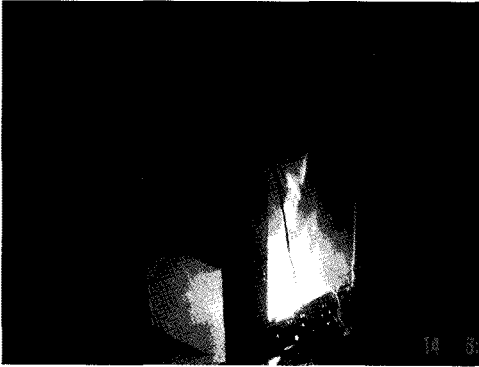


Fig.48. 성장기(세탁조의 국지적인 연소단계).

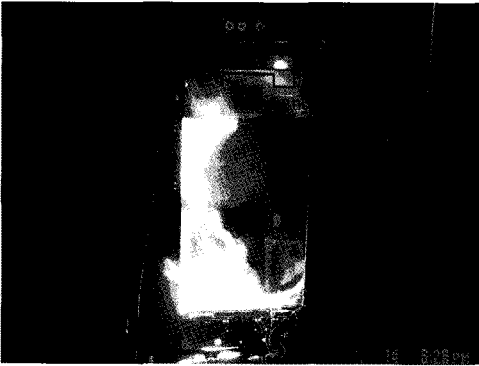


Fig.49. 성장기(세탁조 일방면의 붕괴를 동반한 부분적 확대와 4. 5차 Arcing단계).

### ⑤ 연소확대의 주방향과 붕괴

불이 최초로 발생하고 확대된 방면이 기기의 후방에서 바라다 볼 때 후방측의 중앙선에서 약간 좌측으로 벗어난 부위이기 때문에 세탁조의 주연소와 확대영역은 그 방면에 중심을 두면서 전개되어 가고, 그에 따라 외함 4개 귀통이의 현가장치를 이용해 허공에 떠있던 세탁조의 몸체는 화재중도에 연소방면의 지지부가 제일 먼저 파괴에 이르는 관계와 자체무게인 하중의 영향에 따라 동일 방향을 향해

바닥으로 기울며 내려앉아 버리며 걸잡을 수 없는 단계인 화성기(火盛期)에 접어든다.

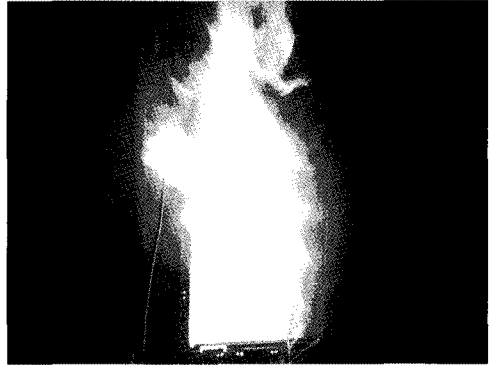


Fig.50. 화성기(세탁조 일방면의 전반적인 확대단계).

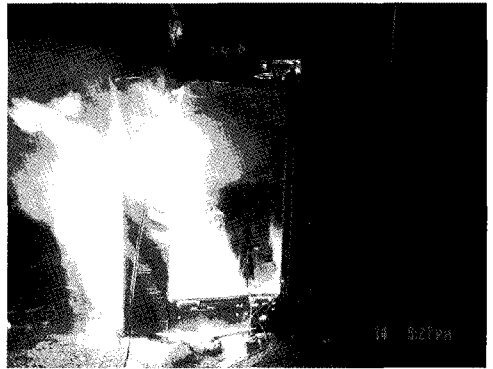


Fig.51. 화성기(바닥측의 전면적인 확대단계).



Fig.52. 화성기(기기내부 전반의 확대단계).

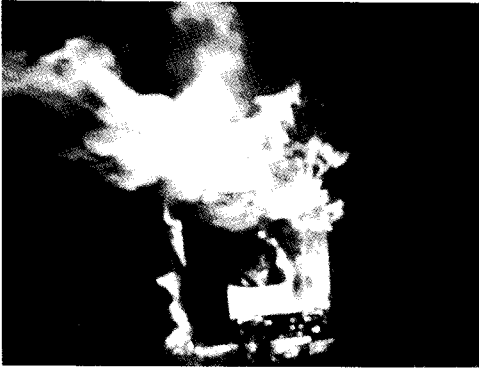


Fig.53. 최성기(세탁기 내외부 전반의 확대단계).

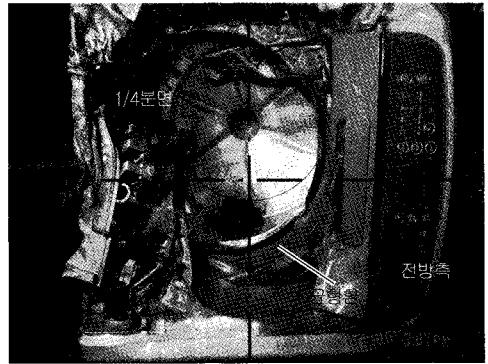


Fig.54. 세탁기 상면부의 소손.

### (9) 소훼품의 관찰

기기를 연소확대가 진행되는 중도에 강제 소화했고, 그것의 잔존물로 남은 준전소(準全燒) 상태에 있는 소손품은 다음과 같이 관찰된다.

#### 1) 기기의 외관관찰

##### ① 상면

상부측의 상판 구조물중에서 후방측의 소손도가 높게 나타나 있고, 그 영역중에서도 기기우측 후방의 코너에 해당하는 1/4분면에서 상대적으로 연소성이 강한 흔적을 보이고 있다.(Fig. 54)

##### ② 밑면

하부측 지지부의 구조물도 상부측과 비슷한 양상을 남기고 있고, 후방측의 소손도가 역시 높게 나타나 있다. 그러한 영역중에서도 기기의 우측 후방의 코너에 해당하는 1/4분면에서 상대적으로 연소성이 강하며, 역시 그 부분에는 연소중에 증기된 용융물과 탄화물의 퇴적량이 대향하는 반대편(4/4분면)보다 많이 존재하는 등의 상태를 남기고 있다.(Fig. 55)



Fig.55. 세탁기 밑면부의 소손상태.

##### ③ 전면

당해면은 직접적인 연소권역에서 완전히 벗어나 있다.(Fig.56와 57참조)

##### ④ 후면

당해면을 정면에서 바라다볼 때, 우측 변의 표면보다 좌측편의 소손도가 높고, 또한 그 좌측편의 표면중 바닥면과 가까운 부위는 외함의 철판측에 도포되었던 도료층(Paint)이 전소상태(황색화살)에 있는 반면, 그 위인 중상위부는 도료가 백화현상(白化現狀·적색화살)을 보이고 있는 등 중상위부측보다 중하위부측의 소손도가 높은 흔

적을 남기고 있다.(Fig.58과 59참조)

⑤ 좌면

당해면 또한 전면과 같이 연소권역에서 완전히 벗어나 있다.(Fig.57와 59참조)

⑥ 우면

당해면을 정면에서 바라다볼 때, 중하위측인 바닥측이 그 위의 부분보다 연소범위가 넓고, 그 형태는 삼각형 구도의 선형(扇形\*부채꼴)에 해당하며, 상기 후면과 마찬가지로 바닥면과 가까운 표면은 외함철판의 도료층이 전소상태에 있는 반면, 그 위인 중상위부는 도료의 백화현상을 보이고 있는 등 상부측보다 하부측의 소손도가 높다.(Fig.56와 58참조)

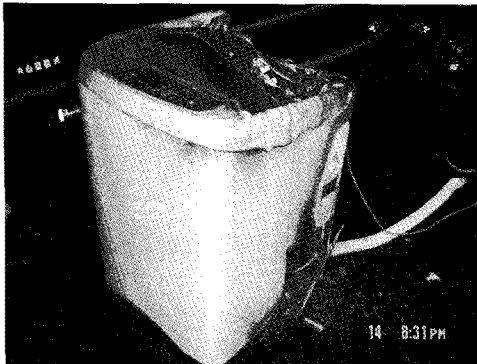


Fig.56. 상면-전면-우측면의 소손상태.

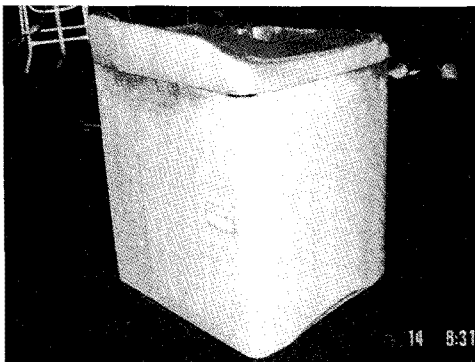


Fig.57. 좌측면-상면-전면의 소손상태.

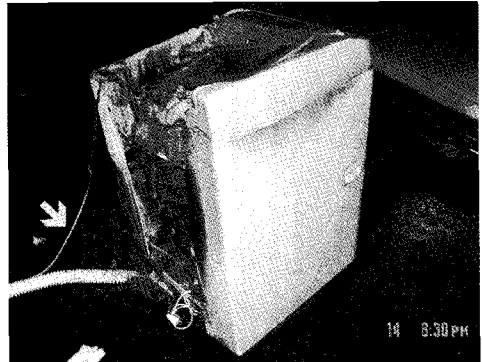


Fig.59. 후면-상면-좌측면의 소손상태.

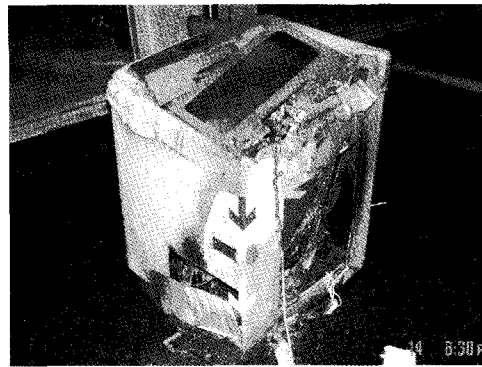


Fig.58. 우측면-상면-후면의 소손상태.

⑦ 세탁조

세탁조의 상부가 기기 우측후방의 코너번(1/4분면의 화살지시방면)을 향해서 이동(기움)되어 있는 상태이다.(Fig.54참조)

2) 기기 내외부측 배선의 관찰

① 전원코드표

이것의 전체 길이중 기기의 몸체측으로부터 플러그를 향하는 약2/5가량의 부위(Fig.58과 59의 녹색화살)가 부분적인 소실을 동반한 소손상태에 있으나, 내부 도선상에서는 전기적인 파괴



흔적이 식별되지 않는다.

② 내부배선

기기내부 전체의 배선중, 기기의 우측-후방-상부측의 영역과 세탁조의 우측-후방-하부측의 영역 등 같은 방면에 위치하는 총2개 권역에 배선되었던 전선의 도체에서 수 개의 전기단락용흔이 식별된다.

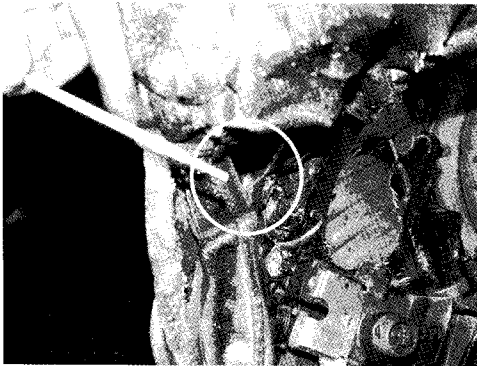


Fig. 60. 상부-후방-우측코너변 배선상의 제1용흔.



Fig. 61. Fig. 60원내의 전기단락용흔.



Fig. 62. 상부-후방-우측코너변 배선상의 제2용흔.



Fig. 63. Fig. 62원내의 전기단락용흔.

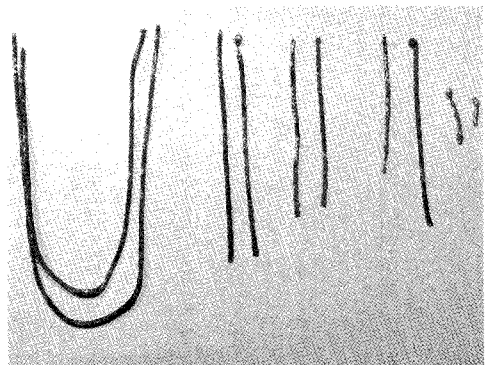


Fig. 64. 세탁조 하부측 배선의 전기단락용흔.

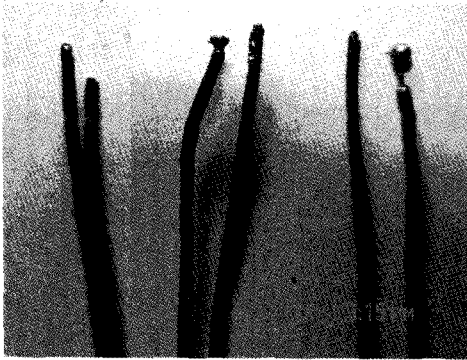


Fig.65. 전기단락용흔 1군의 확대.

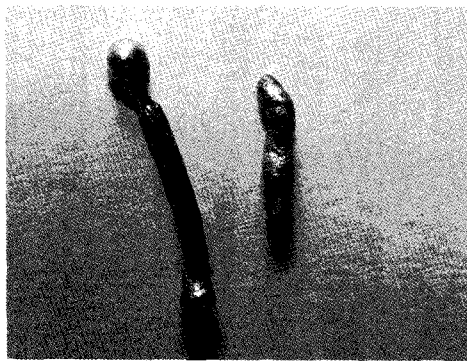


Fig.67. 전기단락용흔 3군의 확대.

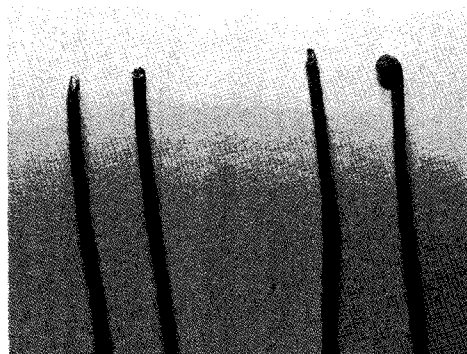


Fig.66. 전기단락용흔 2군의 확대.

### 3) 기기내부측 요소부품의 관찰

#### ① 보호수단의 부품

기기안에서 주연소의 권역과 관련된 회로에 대한 보호장치로는 1개의 과

전류보호용 퓨즈(12A, 판형가용체)가 있으며, 그것의 가용체는 과전류통전에 상응하는 전기적 용단의 흔적을 남기고 있다.

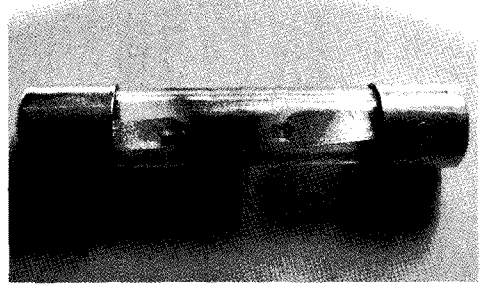


Fig.63. 가용체(정면측 촬영).



Fig.62. 가용체(측면측 촬영).

#### ② 기타 부품류

##### ㉠ 세탁조 하부측

이 영역에는 세탁모터, 기동콘덴서, 배수모터 등이 위치하며, 전기적인 파괴흔적이 식별되지 않는다.

##### ㉡ 세탁기 상부측의 후방면

급수밸브(Solenoid) 2개, 소형전원변압기(Transformer) 1개, 수압스위치(Water Pressure) 1개, 세탁조균형스위치(Unbalance Switch) 1개 및 연결 접속기 등이 부착되어 있으며, 이들 모두에서 전기적인 파괴흔적이 식별되지 않는다.

##### ㉢ 세탁기 상부측의 전방면

이 영역에는 기기의 기능을 제어하는 회로기판과 그것의 연결접속기들이 있지만 연소권역에서 완전히 벗어나 있는 관계로 인하여 단순히 오염되어 있는 정도이다.

### (10) 세탁조를 포함한 부속물의 연소성

기기의 하부배선과 구조재의 부재(部材)로 사용된 것들에 대한 난연성(難燃性)과 이연성(易燃性)을 가름해 보기 위하여 다음과 같은 연소 실험을 실시하였다.

#### 1) 실험조건과 방법

① 점화원 : 부탄가스를 사용한 토오치램프

- ② 적용조건 : 시료를 수직으로 세운 후, 그것의 최하단에 화염 적용
- ③ 실험시간 : 착화후 불꽃을 떼고, 자기 소화 또는 연소지속의 양상을 유지할 때까지 방치

#### 2) 실험결과

하기의 부품중 전선과 격리판을 제외한 모두는 난연도(難燃度)가 상당히 낮은 등급이 사용되었다는 것을 확인할 수 있고, 또한 스펀지의 경우에는 그 자체가 가지는 연소성질이 어느 정도의 연소확대를 지연시키는 성질이 있는 것으로 판단되나, 그것의 한쪽면에 사용된 접착제



Fig.64. 스펀지의 연소실험.

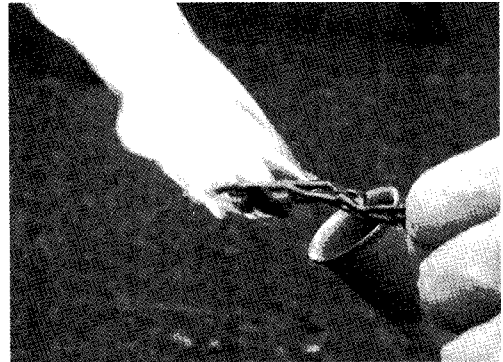


Fig.65. 전선무늬선의 연소실험.

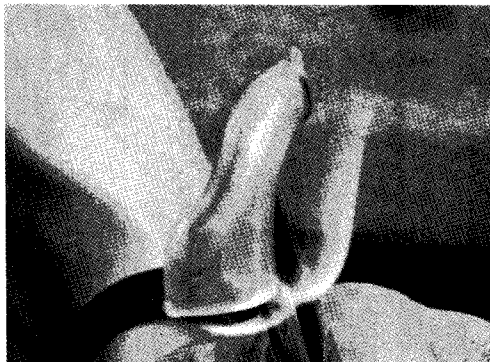


Fig.66. 세탁조의 연소실험.



Fig.67. 격리판의 연소실험.

는 연소가 빠른 상당의 이연적(易燃的) 성질을 가지고 있는 것으로 확인된다.

## 6. 실험검토결과에 대한 고찰

이상 사고사례와 실험결과간 일치여부의 관점에서 볼 때, 사고사례에서 언급하고 있는 제반 흔적과 추정원인은 실험으로 얻어진 관련결과와 서로 부합하는 공통점이 있다. 따라서 세탁기의 여러 가지 발화원인중 하부배선측의 발화요소와 그 근본원인과 관련하여 다음과 같은 판단을 내리며 정의할 수 있다.

### (1) 세탁조와 하부배선간의 관계

세탁물과 세탁수가 담기는 세탁조는 4각형 금속외함의 4개 귀통이에 금속봉과 스프링이 조합되어 있는 현가기구를 통해서 수평의 무게중심을 가지도록 균형을 잡은 상태로 공중에 매달려 있는 구조이다. 따라서 세탁조속의 부하량에 따라서 스프링의 수축과 복귀(팽창)가 있고, 그것은 곧 세탁조가 위와 아래로 오르내리는 조건과 함께 기기의 동작중 세탁조의 움직임에 따라 그것의 밑면이 전후좌우로 움직일 수 있으며, 이러한 이유에서 세탁조의 밑면부에 고정되는 하부배선의 경로각도 또한 그것의 종축과 횡축을 기준으로 수직적, 수평적 변화가 가능한 구조라는 것을 알 수 있다.

### (2) 세탁조의 진동성향과 악영향

#### ① 세탁조의 운동성향

세탁조의 운동성향은 크게 2가지로 구분되며,

첫 번째, 세탁조는 세탁시 수시 간헐

적으로 발생하는 급변적인 위치변위가 있고, 그러한 현상의 발생시점은 세탁과 행굼중 빨래의 움직임과 급물살에 따라 발생하는 순간 급진적 운동, 그리고 탈수기동, 탈수정지 및 탈수중인 세탁물의 불균형에 따른 세탁조의 요동(搖動)이 일어날 때이며,

두 번째는 탈수시 세탁조의 움직임이 상하좌우 및 대각방향의 복합적인 고속의 원운동을 하며, 그러한 원운동의 성향은 세탁조의 위쪽 진동이 클 때와 아래쪽 진동이 클 때 등 2지점의 변위각 서로 다른 현상이 빨랫감의 상태에 따라 다르게 나타난다.

#### ② 세탁조 운동이 미치는 악영향

세탁조의 움직임은 하부배선에 대하여 순간적인 당김과 굽힘의 운동을 교번(交番)으로 일으키게 만들거나 아니면 빠르고도 지속적인 영향을 미치는 요체로 작용한다. 즉 세탁조와 연계하여 동시에 움직이는 하부배선은 세탁조의 복합적인 원운동과 속도에 맞추어 같은 형태의 동일한 속도로 운동을 한다는 것이 확인되고, 그와 같은 현상에 따라서 하부 배선은 물리적인 영향을 직접 받게되는 정비례의 관계에 있다.

특히 세탁조의 밑면측이 수평적 이동거리상 멀다거나 떨림의 진폭이 큰 하진폭의 경우에는 세탁조의 위가 떨리는 상진폭의 작용조건보다 하부배선에 미치는 기계적인 악영향(단산)에서 매우 큰 영향을 끼친다는 것을 알 수 있다.

### (3) 수류운동, 세탁물의 상태와 하부배선 단선과의 관계

위 (2)항에서 언급한 것처럼 세탁시의 부하상태에 따른 물살과 세탁물의 동반적인 운동현상은 세탁조의 급진적인 운동변화를 초래하게 되고, 따라서 움직이게 되는 하부배선의 단선에 어느정도 영향을 미칠 수 있는 요소로 작용하고 있음을 알 수 있다.

### (4) 하부배선도체의 절단성향

하부배선이 장력, 굴곡, 회전 등의 운동작용으로 인해서 피복속의 도체가 절단에 이를 때, 심선(心線)을 구성하고 있는 소선(素線)이 하나씩 끊기다가 결국 전체가 단선에 이르는 데, 그 형태상으로 보면 반단선의 과정을 거친 후 전단선에 이른다는 점과 단선되는 부위가 일직선형이 있는가 하면 산발적인 토막형이 있다. 그러나 주로 꺾임의 굴곡성향이 둔각인데다 전선의 축을 따라서 톨링과 장력이 함께 작용하는 이유때문에 세탁기의 하부배선은 대부분 토막형에 해당되는 것으로 확인되고, 전선이 끊어지는 부위는 전선을 꼭잡아 매거나 잡고 있는 경계선의 밖(운동작용이 있는 방면)에서 전선의 피복을 포함한 단면(斷面)의 폭만큼 밖을 향한 지점에서 일어나는 것이 보통이다.

### (5) 발화와 불발의 과정

#### ① 반단선

직경이 0.18mm의 소선수 19가닥중 1가닥만이 남는 반단선의 조건에서, 1가닥이 과열상태에 들어갈 수 있는가에 대한 실험결과 전선의 피복을 녹이거나 태우는 온도까지 상승하지 못하는데, 이는 1가닥의 통전용량이 세탁이나 탈수시 호

르는 최대전류를 충분히 수용할 수 있는 관계에서 나타내 보이는 능력때문이라고 판단되며,

1가닥을 제외한 끊어진 18가닥의 양쪽 절단면이 재접촉과 재분리를 일으킬 때 그 사이에서 방전작용이 일어날 수 있는가에 대한 실험에서는 어떠한 방전현상도 일어나지 않았으며, 그 이유는 끊기지 않은 1선이 이론적으로 0에 가까운 저항성을 가지는 반면 그 1가닥과는 병렬회로의 관계에 있는 나머지 18가닥의 전기저항은 접면이 붙거나 떨어질 때 상대적으로 끊기지 않은 1가닥의 전기저항성에 비하여 매우 큰 저항성을 가지므로 인해서 거의 대부분의 전류가 끊기지 않은 1가닥으로 흐르기 때문인 것으로 해석된다.

#### ② 전단선

위의 소선 19개 가닥 전체가 끊기는 상황에서는 절단면간의 재접촉과 재분리시 각각의 조건에서 방전현상을 일으키는 데, 그와 같은 단발적인 방전(Spark)은 발화에 이르지 못하거나 상대적으로 어렵게 하지만 연속적인 방전(Arcing)은 충분히 발화에 이르도록 만들며, 그러한 Arc 방전의 조건은 Spark를 일으키는 Switching의 효과로 얻을 수 있는 것이 아니라 고속의 Switching에 해당하는 Chattering 효과가 있어야 가능하다.

이에 세탁기의 경우, 그러한 채터링을 가능하게 만드는 요소작용은 고속회전이 가능한 탈수과정에서 일어나고, 반면 세탁이나 행굨행정의 경우에는 고속의 채터링은 아니지만 저속의 스위칭작용에

서 발화하는 경우가 있는데, 그 이유는 단선된 부분이 간헐적으로 스파크방전을 일으킬 때 그러한 방전점이 제위치에서 이탈하지 못하면 그 선과 접촉하고 있는 또 다른 이극의 전선피복을 태우므로 인해서 상호간에 단락이 일어나게 만들면서 연속방전작용에 의하여 발화에 이르는 것으로 확인된다.

- ③ 발화의 원인이 되는 과전류 또는 단락전류의 통전 2개 이상의 전선도체 사이의 피복이 타면서 양자 도체간의 저항이 극한의 수 요으로 감소되는 단락조건이 발생하면 Fig.68과 같이 부하를 향하던 대부분의 입력전류(入力電流)는 부하측에 도달되기 전에 피복절연이 파괴된 지점을 통해서 도중에 거꾸로 회귀(回歸)하는 이른바 전원측으로 되돌아가는 현상이 발생하게 되고, 이 때의 통과전류는 세탁기 최대부하전류의 수배(반단락의 조건시) 또는 수십배 이상(완전단락의 조건시)에 달한다. 이는 전원측의 전력공급능력에 따라 큰 전류(大電流)가 흐르게 되는데, 바로 이 전류가 단선점이자 단락점에서 발화를 일으키는 요소가 되며, 이러한 단락 외에도 하부배선의 몽치는 접지선이 함께 포함되어 있는 관계에서 접지가 되어 있는 장소일 경우 지락도 함께 동반할 수 있고, 그것에 따라 충전선들간에 전기단락용혼이 생길 수 있는 것은 물론 접지선측에서도 단락혼

을 동시에 남길 수 있는 것과 함께 하기 '(6)항'에서 언급하고 있는 전선고정용 철사에 의하여 간접적인 선간단락을 일으킬 수 있는 관계에서 그와 같은 철선 또한 단락용혼을 가질 수 있다.

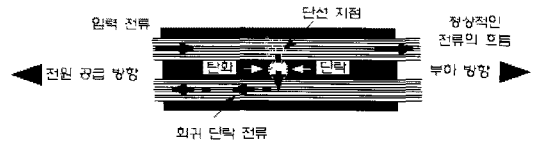


Fig.68. 단락전류의 회귀.

#### (6) 하부배선과 고정구조

세탁조의 하부측에서 접지선을 포함한 5선의 배선몽치를 잡아 고정하는 기구에는 철심이든 PVC피복의 철사를 사용하여 묶어 놓았고, 전선몽치의 둘레는 접착제를 내면에 도포한 스펀지로 말아 놓은 구조이다. 여기서 전선의 도체가 피복속에서 끊긴 후 지속적인 방전작용으로 인해 피복이 완전히 녹을 때 방전점 상호간을 완전히 분리시키며 발화에 이르지 못하게 할 수 있는 가능성을 가지고 있으나, 스펀지가 그러한 이탈을 방해(전선을 감싸안고 있기 때문)하는 구실을 하기도 한다는 것을 확인할 수 있다.

#### (7) 구조재 및 부재의 연소성과 방호구조

불을 일으키는 발화원(發火源)인 하부배선을 감싸거나 그것과 인접해 있으면서 착화와 연소확대의 매개물이 될 수 있는 관계 구조재와 부재들에서 보이는 연소특성중, 비교적 착화가 쉽고 자기소화성이 없거나 연소확대가 빠른 것이 있으며, 특히 불의 수직상승적 확대를 저지하는데 어느 정도 기여할 수 있는 부재로 사용된 격리판의 경우는 그의 효과면에 있어서 다소 부족

한 면이 있는 것으로 확인된다.

## (8) 소훼품 감정에 관하여

- ① 균형체의 붕괴성향과 발화부의 상관성  
세탁기에는 세탁조라는 균형체를 가지고 있기 때문에 이것이 쓰러지듯 내려앉은 방향을 보고 발화부의 방향을 짐작할 수 있는 충분한 근거로 삼을 수 있다는 것을 보여주고 있다. 즉 이것은 가연재로 구성된 세탁조가 불이 제일 먼저 접근하는 방면에서 녹기 시작하며 파괴될 때 세탁조의 무게로 인하여 현가장치에 매달려 있는 부분이 제위치에서 이탈하며 붕괴가 일어나기 때문이다.
- ② 완충기의 변형과 발화부의 상관성  
세탁조를 들고 있는 현가장치에는 스프링이 각각 사용되었고, 이것들은 열과 세탁조의 내리 누르는 자중의 무게로 인해 수축이 상대적으로 많이 일어나는 것을 볼 수 있는데, 이것들이 발화부와 관련한 방면을 알 수 있게 하는 또 하나의 근거가 된다. 그것은 제일 먼저 연소가 시작되는 곳의 유지시간의 연장에 따라 상대적으로 열을 오래 받게되는 스프링축의 수축률이 커지는 관계에서 발생하는 것이기 때문이다.
- ③ 세탁조의 연소흔적과 발화부의 상관성  
세탁조는 2중으로 구성되어 있으며, 내측은 스테인레스 스틸제이고, 외통은 플라스틱의 수지재이다. 따라서 이것들이 열을 받을 때 변색, 변형, 용융, 소실이라는 각각의 특징을 수반하게 되고, 그러한 수열도(受熱度)와 소훼도(소손과 소실)는 세탁기를 기준으로 상하, 전후, 좌우 어딘

가에 있을 발화부에 대한 소재 추적의 판단근거로 삼을 수 있다.

- ④ 상판의 연소흔적과 발화부의 상관성  
수지재인 상판의 경우, 전체가 소실되지 않은 이상 이 또한 전후좌우와 관련한 방향성을 남기기 때문에 불의 이동방향성을 판단할 수 있는 근거가 된다.
- ⑤ 금속외함축의 연소흔적과 발화부의 상관성  
금속재로 구성된 외함과 후면커버중 외함의 본체측은 도료도장의 층을 지니고 있고, 커버는 그러하지 않다. 따라서 도료층과 그러하지 않은 표면의 수열흔적과 부식으로 인한 침식깊이를 잘 분석하면 이 또한 발화부 추이에 유효한 근거로 삼을 수 있다.
- ⑥ 내부배선의 파괴와 위치흔적  
당해 세탁기의 내부배선은 전원코드를 통해서 상면후방의 좌측이 시작점의 기점이 되며 상면의 전방과 우측방면으로 각기 2분기되고, 그 시작점으로부터 다시 수직아래 바닥측으로 제3의 분기가 되는 배선경로를 가지고 있다. 따라서 그러한 선로상에 만들어진 단락 흔들의 선차(先次)를 정확히 구분지으면 이 또한 발화부에 접근하거나 한정하는데 상당히 유효한 근거가 된다.
- ⑦ 발화원 부정요건의 확보  
하부배선의 발화와 관련하여 볼 때, 해당 부분의 하부배선이나 그것보다 전원공급축에 가까운 기타의 전선(발화부의 상부축에 위치하는 것)을 제외한 전선 또는 전기부품에서는 발화초기에 세탁기내의 보호장치 또는 기기밖 전기공급계의 보호장치가 대부분 동작하기 때문에 전기

단락용흔이나 기타 전기적인 파괴흔적이 만들어지기 어렵다는 점에서 하부배선 외 발화원으로서 부정되는 사실 모두를 충분히 확보할 수 있다.

- ⑧ 발화시점 또는 운전행정의 개략적인 판단 하부배선의 발화와 관련하여 세탁기에서 발화한 시점이 언제인가를 파악해야 할 필요가 있는 경우, 크게 세탁이나 행굼중인가? 아니면 탈수중인가를 가름해야 할 때, 만약 세탁물이 많이 젖어 있거나 물을 머금고 있는 가운데 빨랫감이 세탁조에서 산발적으로 엉키고 뒤섞여 있고 동시에 세제의 알갱이가 적지않게 발견되는 경우에는 초기의 세탁과정일 가능성이 크고, 세제의 알갱이는 거의 찾아 볼 수 없지만 물의 함수량이 적지 않고 빨래의 분포성이 위와 같거나 유사한 경우에는 행굼이나 제2차 이후의 세탁과정일 확률이 높다.

또한 세탁물의 함수량이 반대로 미미하거나 짙어져진 것처럼 건조도를 보이고 있는 가운데 빨래의 대부분이 세탁조의 내벽측을 향해서 원형으로 골고루 물려 있는 경우는 탈수중에 발생했다고 할 수 있는 것이다.

## V. 결 론

### 1. 예방대안의 관점

국가기관은 각종 제조물로 인한 화재예방을 위해 상시적인 감시 감독을 통해서 적절한 예방책을 이끌어낼 수 있어야 하는 동시에 관련기업에 개선안이나 방향을 적절히 제안하고, 유효한

유지를 위한 사후관리, 감독책임을 다해야 하는 의무가 있다. 따라서 본 연구의 결과로서 1조식 전자동세탁기에 관한 개선대안을 제시한다면 다음과 같이 기술할 수 있다.

#### (1) 진동계수감쇠

하부측 전선의 발화요소로 작용하는 심선단선의 가능성을 최대한 억제하기 위해서는 세탁조의 진동폭과 운동계수를 대폭 낮추는 동시에 세탁물 엉킴의 근원이 되는 수류의 개선에 대하여 직간접의 기술개발노력이 우선적으로 필요하다.

#### (2) 단선시 이탈 용이성 확보

현재 세탁조와 하부전선의 배선경로상 구조에서는 해당 전선에 기계적인 스트레스가 가해지는 것은 피할 수 없는 문제이다. 따라서 단선이 언제가는 일어날 수 있다는 가능성이 크고 작게 존재하기 때문에 그것을 인정한다는 전제하에서 대책이 필요한 것이며, 따라서 단선된 배선의 심선과 그것의 피복이 같이 완전히 녹을 때, 끊어진 부위에서 자동으로 단속(斷續)할 수 있는 개연성요인을 최우선적으로 없애야 한다. 즉 현재 당해 기기의 경우는 심선과 피복의 완전한 절단상태가 발생해도 그것이 탈락되지 못하게 할 수도 있는 범위안에서 스펀지로 감싸안고 있는데, 이러한 구조의 완전한 변경이나 아니면 철사고정부로부터 스펀지가 길게 덮어 씌워지지 않도록 최대한 짧은 길이가 되도록 해야 한다. 이것은 그만큼 단선부인 고정부측으로부터 전선의 길이축을



따라 스펀지로 둘러싸게 되는 연장범위가 길어지는 것을 반드시 경계해야 한다는 것이다.

또한 전선을 감싸는 스펀지의 내면에는 접착제가 있고, 이것 역시 그러한 접착력으로 인해서 전선의 탈락을 방해하는 요소로 어느 정도 작용하기 때문에 접착제의 사용을 절대적으로 금해야 한다.

### (3) 난연도의 보완

먼저 직접적인 착화와 1차적 연소확대 권역에 있는 전선보호용 스펀지, 전선 고정용 철사의 피복은 자기소화성이 우수하고 난연도가 최상급인 것으로 변경할 필요가 있고, 스펀지의 내면에 사용된 접착성분의 난연도는 위에서 언급한 것처럼 전선의 탈락방해요소와 관련해 서라도 사용을 금해야 할 것으로 판단된다.

### (4) 불연재의 대체와 방호면적 확대

격리판은 비교적 높은 난연성을 지니고 있는 가운데 불꽃의 확대를 저지하거나 차단하는 역할을 어느 정도 담당하고 있다. 그러나 이것은 열에 대하여 변형이 일어나는 열가소성의 재질이고 또한 지속되는 화염에는 견디지 못한다. 따라서 이것은 열경화성이나 불연성의 금속으로 변경하는 동시에 추가로 고려해야 할 점은 금속재일 경우 화열로 인한 열전도로 인하여 오히려 세탁조의 고정부를 녹이거나 변형을 일으켜 방호 역할을 하지 못할 가능성에 대해서도 대비해야 한다.

그리고 그러한 방호물은 화염확대에 대한 충분한 차폐면적이 필요하므로 그만큼 확대할 필요성도 함께 있다.

## 2. 감정에 관한 관점

국가기관은 화재예방과 재발방지, 그리고 적절한 대안을 최대한 모색하려는 노력이 지속적이어야 하고, 그러기 위해서는 각종 화재사고의 원인을 치밀하고도 정확하게 파악해야 하는 것이 우선된다. 따라서 조사의 범주에 드는 감식, 감정, 검증의 활성화와 조사관의 자질향상은 필수이기 때문에 본 연구의 대상인 세탁기에 관한 조사행위중 소위 소손물에 대한 관찰과 분석의 감정, 그리고 실험과 재현 등의 검증을 실패없이 성공적으로 수행하기 위해서는 조사관 각자가 기기에 대하여 다음과 같은 사실을 충분히 알고 그것을 절대적으로 따를 필요가 있다.

- ① 감정을 실시하기 전에 기기의 기구적, 구조적, 재질적, 회로적 그리고 기능적 특성 모두를 사전에 파악해 두어야 한다.
- ② 감정전에 각종 기구부품과 전기전자부품들의 제반특성과 역할을 이해하고 있어야 한다.
- ③ 감정전에 기기에서 발생할 수 있는 고장조건이나 기타 이상조건 가능성을 모두 파악하거나 예견(짐작)하고 있어야 한다.
- ④ 감정전에 기기에 사용된 보호소자의 종류, 특성 및 보호동작시의 각종 형태와 흔적을 충분히 이해하고 있어야 한다.
- ⑤ 감정전에 사고당시 기기의 사용형태와 조건, 과거의 수리 또는 이상동작에 관한 정보를 가능한 모두 파악하고 있어야 한다.
- ⑥ 감정시에는 각종 연소체로 오염된 기기의

안팎을 물과 유기용제 등을 적절히 사용, 깨끗하게 전처리하며 변색의 경계와 색조를 명료하게 관찰할 필요가 있다.

- ⑦ 감정시 소훼기기의 부위별, 부품요소별, 위치별, 방면별 등으로 각각 나누어 각기 세부적으로 분석하고, 그것들을 모두 모아 종합적인 판단을 내리는 습관이 필요하다.
- ⑧ 전기적으로 파괴되는 제반흔적, 예를들면 방전연소, 트래킹연소<sup>11)</sup>, 심부연소<sup>12)</sup>, 파열연소<sup>13)</sup>, 과전류통전과 단락전류통전에 따라 나타나는 제반흔적의 차이 등 결과적인 형태를 충분히 구분할 수 있어야 한다.
- ⑨ 발화원으로서의 긍정요건만을 끌어내려는 오류를 범하지 말고, 반드시 긍정요건을 객관적으로 뒷받침하는데 필요한 부정요건을 정확하게 동시에 수집하는 습관을 가져야 한다.
- ⑩ 원인을 알면 대부분의 대책은 손쉽게 얻을 수 있다. 따라서 정확한 원인규명이 예방대책이나 각종 민형사적인 분쟁을 막을 수 있는 근간이 된다는 점에서 감정을 가볍게 생각하는 등의 접근자세는 삼가해야 한다.
- ⑪ 필요하다면 반드시 검증(재현)의 절차를 거치되, 그 때는 최소한 3회 이상을 반복하여 검증차수에 대한 상호간 일치성과 차이점(또 다른 변수로 확인할 수 있는 현상을 모두 파악하기 위한 것)을 확인해야 한다.
- ⑫ 정확한 감정만이 최선이 아니다. 그러한 내용의 결과를 화재조사(감정서)에 적절히 옮겨 그것을 통하여 비전문인등 일반인의 제3자에게 상황전반을 쉽게 충분히 이해하도록

록 만드는 것(조서작성기술)도 실질적인 원인조사 이상으로 중요하기 때문에 작성능력을 가지는 것은 필수이다.

## VI. 참고문헌과 자료

### <단행본>

1. 김만우, 화재조사용어집, 신평문화사 2004. 5
2. 김만우·김진표 공저, 전기화재 감식공학, 성안당, 2006
3. 중앙소방학교, 화재조사(1), 2007

### <연구논문>

1. 김만우, 전선단선과 운동부구속 그리고 양자간 발화상관성 연구, 한국화재조사학회지 Vol.7, No.1 2005. 12
2. 김만우, 1조식세탁기 발화원인과 대책에 관한 연구, 삼성전자 연구소, 2001.

11) 트래킹연소란, 물체의 표면이 나뭇가지 또는 벌레가 기어갈 때 남기는 이동 흔적과 같이 가는 선으로 길게 연장되며 타들어가는 것

12) 심부연소(深部燃燒)란, 물체의 연소가 국부적 또는 국지적으로 깊게 파먹히듯이 타들어가는 것

13) 파열연소(破裂燃燒)란, 내부의 압력작용으로 인해 외부로 돌출되며 타서 나오는 것