

화재조사 기초 이론

화재조사를 처음 접하는 조사관으로 화재와 관련된 화재조사의 중요성과 기초이론을 최소한의 분량으로 정리 요약한 단원으로 첫 페이지 부터 차근차근 정독하여 화재조사관으로서 기초지식을 습득하는 것을 목표로 하였다.

경기지방경찰청 문용수 씀.

목 차

I. 화재의 위험성 및 추세	3
II. 연소이론 및 화재발전 양상	3
III. 발화부 추정 및 축소법	7

I. 화재의 위험성 및 추세

인간생활에 불은 꼭 필요한 존재이면서 주의를 소홀히 하면 가장 무서운 악마로 돌변하는 양면성을 가졌으며, 우리가 생활하는 모든 장소는 산소없이 살 수 없고, 산소를 함유한 공기 중에 가연 조건을 충족하는 가연물은 고체, 액체, 기체의 형태로 가옥 및 생활필수품 등에 수를 헤아릴 수 없을 정도로 다양한 종류로 존재한다.

이러한 우리의 일상은 연소의 3요소 중 가연물과 산소가 항상 준비된 상태이며, 잠정적 점화원에 의한 화재 발생의 위험성이 존재한다고 인식되어야 한다.

또한 앞으로 건축물은 지속적인 대형화, 고층화, 지

하 심층화, 인구 집중화 등이 가속화되는 추세로, 화재 발생 건당 인명 및 재산피해는 상상을 초월할 정도로 증가하며, 문명의 발전과 더불어 기존에 없던 새로운 유형의 화재가 생성될 것으로 전망하고 있다. 이러한 화재 발생 변화 여건에 부가적으로 증가하는 각종 범죄와 관련된 보험금 등을 노린 방화사건 또한 증가하고 있는 상황에서 그 대처 방안의 하나로 과학적 지식에 근거한 화재 원인을 규명하고, 이를 통한 증거위주의 수사로 범인을 검거하여 방·실화자의 처벌 및 화재분야의 기초자료를 제공하는 차원에서 하나의 전문분야 및 학문으로 다루어져야 할 것으로 생각된다.

II. 연소이론 및 화재발전 양상

♣ 이 단원은 연소이론, 화재성장 특성, 구획 화재의 연소확산 특성, 개구부의 공기순환 특성, 건물간 연소이동 특성 등을 건축물의 구조를 통하여 설명하고 있으므로 쉽게 이해 할 수 있으리라 본다.

1. 연소이론

연소란 가연물과 산화제(산소)가 급격한 반응을 일으켜 다량의 발열반응을 하고 그 결과 가시광선 형태로 발광하면서 반응에 의한 발생 열에너지인 활성 화학종(Radical)에 의해 연쇄적으로 반응이 지속되는 현상으로 정의되며, 연소는 가연물, 산화제(산소), 점화원의 3요소가 충족될 때 반응을 일으킬 수 있으며 이것을 연소의 3요소라 한다.

(1) 가연물

가연물은 산화제(산소)와 화합하여 산화 발열반응을 할 수 있는 모든 물질의 총칭이며, 고체, 액체, 기체 상태로 존재한다.

(2) 산화제(산소)

산화제(산소)는 연소시 가연물과 반응하는 필수요소 중의 하나로 공기 중에 질소 등을 제외한 순수 산소 함유체적은 약 21%를 차지하고 있다.

(3) 점화원

연소반응을 개시하는 가연물의 에너지를 부여하는 원

인으로 일반적으로 불을 붙이는 충격, 압축, 전기적인 스파크 등 수 많은 경우에 의한 점화원이 존재한다.

2. 화재성장 특성

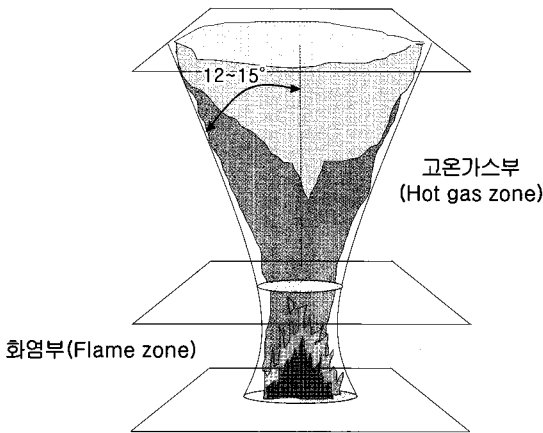
가연물이 연소할 때 공간의 크기, 가연물의 특성, 공기의 유동 등에 의한 연소조건에 차이로 연소형태가 여러 유형으로 변화하지만 기본적인 연소형태는 발화지점에서 상단으로 연소하려는 성향이 가장 크고, 상승 연소에 부가적으로 측면 연소하면서 미약하게 하단으로 연소하는 특성이 있다.

이러한 연소현상을 흔히 2차원적인 표현으로 V자 모양의 연소 형태를 보여 V패턴("V" Pattern)이라는 화재용어로 표현하고 있으며, 연소변화의 형태를 일반적인 연소형태와 연소조건에 따른 연료지배형(Fuel Controlled Fire) 및 환기지배형(Ventilation Controlled Fire)의 화재로 분류한다.

(1) 일반적인 연소형태

한 장소에서 단일 가연물에 의한 연소라고 가정하

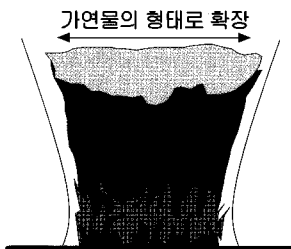
면 그림과 같이 화염부 상단(Hot gas zone)은 역 원뿔형태의 화염 및 연기기둥(Plume)이 상승하여 확대한다고 볼 수 있으며, 화염부(Flame zone)는 바닥에서부터 작은 원뿔 형태로 화염이 확장되는 형태로 존재하므로 화염부의 작은 원뿔과 그 상단의 역 원뿔을 결합하면 하단이 좁은 모래시계 형태로 표현하는 것이 가장 적절하고, 중앙의 점선으로부터 화염확산 측면의 각도는 12~15도의 경사를 유지하는 것이 일반적이다.



(2) 조건별 연소 형태 변화

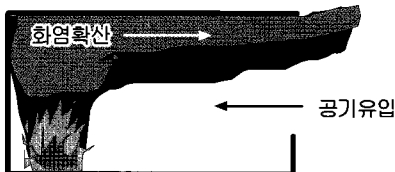
연소 조건이 그림과 같이 ① 가연물이 측면으로 퍼지는 경우, ② 낮은 천장과 벽면에 근접하여 개구부의 환기에 의한 공기 유동 등의 연소조건에 따른 연소 형태의 변화를 초래한다.

① 가연물이 너비를 넓히면서 연소확장



② 개구부 방향으로 연소확산

천장에 연기층이 형성되고 개구부로 연소 확산



(3) 연료 및 환기 조건에 따른 양상

화재는 과잉된 가연물 또는 과잉 산소가 있을 때의 두 가지 경우로 생각해 보자, 과잉 가연물의 경우 가연물에 비하여 산소가 부족하므로 산소의 공급 조건에 따른 연소형태의 지배를 받는 환기지배형 화재와 산소가 충분하고, 가연물이 부족하다면 가연물의 조건에 따른 연소확산의 지배를 받는 연료지배형의 화재로 분류할 수 있고, 일반적인 구획 화재초기에는 연료지배형 화재로 시작하여 환기지배형 화재로 전위되기 쉽다.

① 환기 지배형 화재(Ventilation Controlled Fire)

산소를 함유하고 있는 폭발성 및 강한 휘발성 가연물을 제외한 화재 발생장소에 산소유입 조건에 따른 개구부의 방향으로 화염이 확산되는 산소 유입량에 따른 화재 확산방향과 발전단계의 지배를 받는 형태를 말한다.

② 연료 지배형 화재(Fuel Controlled Fire)

화재 발생시 개방공간에서 충분한 산소유입 조건이라면 가연물의 연소특성과 표면적에 비례하여 연소확산 방향이 변화하는 연소확산 형태로 휘발성이 강한 방향과, 가연물이 화염에 노출 표면적이 넓은 방향으로 화염이 확산되는 가연물의 조건에 따른 화염 확산의 지배를 받는 형태를 의미한다.

③ 가연물의 성상에 따른 양상

i) 기체 상태의 연소

기체 가연물은 공기중으로 확산하려는 경향이 있고, 공기와의 혼합비율에 따른 공간 내에서 대단히 빠른 연소확산이 이루어지며, 어떤 경우에는 음속보다 빠른 폭발 상태에 이를 때 도 있으나, 기체 상태 연소의 일반적 형태는 혼합연소, 확산연소를 들 수 있다.

ii) 액체 상연소, 분해연소로 나눌 수 있다.

iii) 고체 상태의 연소

고체 가연물은 그 특성으로 인하여 연소확산 속도가 비교적 느린 편이며, 고체 표면에서 직접 연소되는 표면연소, 열분해에 의해 생성된 가스가 연소되는 분해연소, 직접 증발한 증기가 연소태의 연소

액체 가연물은 흐르는 방향의 표면 연소를 하면서 확산하려는 특징이 있으며 확산속도가 빠른 편으로, 일반적 연소형태는 증발되는 증발연소로 나눌 수 있다.

이러한 연소 조건의 변화에 따른 화염 및 연기기둥(Plume)의 형태적 변형은 화재 확산 양상과 방향을 변화시키고 화재 진화 후 수 많은 연소 탄화혼의 형태 식별을 통한 화재발생에서부터 소화단계의 시나리오를

가정하고, 다시 역추리를 통해 발화부를 확정된 후 발굴 및 복원작업을 통하여 발화원을 규명해야 하는 화재조사 특성상 화염 확산 특성의 이해가 꼭 필요하다.

3. 구획 화재의 연소확산 특성

건축물 등 일정 구획내에서 발생한 화재는 가연물, 공기유동 등에 영향을 받아 단일 연소특성이 아닌 다양한 형태와 구획 내부의 조건에 따른 대류, 복사, 전도의 형태로 복합적인 연소확산 과정을 거치는 확산 단계별 특성을 설명하였다.

우선 화염확산 과정에서 발생하는 대류, 복사, 전도를 아래 그림과 같이 평소 쉽게 접할 수 있는 구획내 난로를 비유하여 간략히 설명하기로 한다.

① 대류

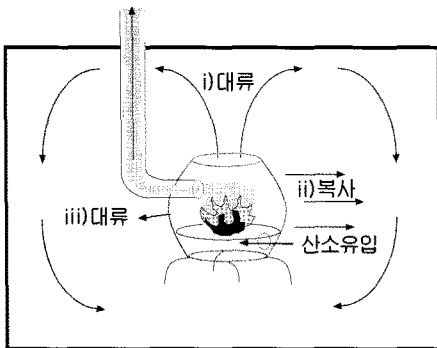
화염이 기체나 액체 같은 매체 내에서 순환에 의한 이동 및 확산 형태로 그림에서와 같이 온도차에 의한 구획내 공기의 순환에 의한 온도의 전달임.(온도차에 비례)

② 복사

화염부 및 고온 층에서 발산하는 전자기파의 형태로 에너지를 다른 부분에 전달하는 것으로 일상에서 난로의 옆에서 손을 펴고 있으면 온기가 느껴지는 것에 비교할 수 있다. (온도 4제곱에 비례)

③ 전도

가연물에 직접 접촉하여 열이 물체내를 이동이나 접촉된 다른 물체로 이동하는 형태로 난로 내부의 화염으로 난로 외부 금속이 전체적으로 뜨거워지는 형태이다. (온도차에 비례)



(일정 구획내 난로를 켜놓은 상황)

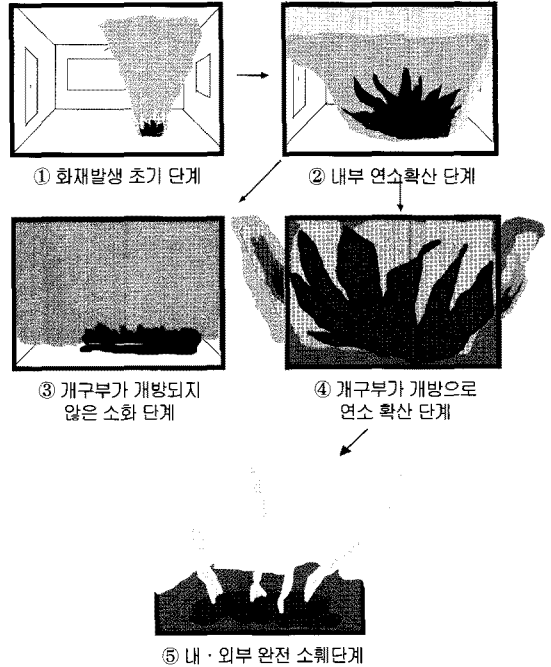
구획내 가연물은 의자, 책상, 이불 등에 불상의 발화원으로 불이 붙어 화재가 발생한 것으로 가정하면

다음 그림 ①→②→③와 같이 자연 소화되는 경우 또는 그림 ①→②→④→⑤와 같이 전소되는 두 가지 방

향으로 전개 할 수 있을 것이다.

① 화재 발생 초기

가연물에 불상의 발화원에 의한 연소가 처음 시작되고 구획내 창문과 출입문이 개방되지 않은 상태에서도 내부 잔류하는 충분한 산소 조건하에 가연물의 표면적의 지배를 받는 연료지배형 화재(Fuel Controlled Fire)이다.



② 내부 연소확산 단계

연소가 진행됨에 따른 구획내 발화부에서 생성된 연소 생성물을 포함한 고온가스가 상승하여 천장 부분에 일정한 층을 형성하고, 하단 방향으로 복사열의 발산과 더불어 발화부에서 확대한 화염으로 전도, 대류, 복사의 복합적인 연소확산의 메카니즘으로 구획전체의 온도가 약 500℃부분까지 상승하여 아직 불길의 도달하지 않은 발화부와 근거리에서 바닥 등의 노출표면에 열분해 작용으로 가연성 기체가 생성되고, 급격히 산소농도가 저하된다.

③ 개구부가 개방되지 않은 소화단계

구획내 창문과 출입문 등이 화염 및 고온으로 소실되지 않아 외부 공기가 유입할 수 없는 조건을 형성하여 계속적인 산소부족으로 열분해 생성물과 연소생성물이 증대되며, 산소농도가 0% 가까이 될 때까지 혼소(Smoldering)로 전이되어 마침내 소멸된다.

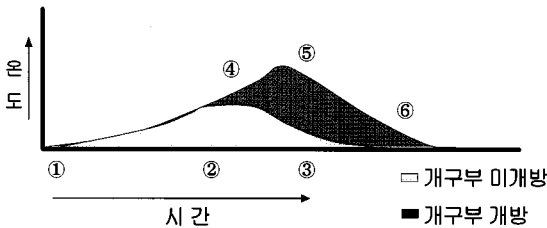
④ 개구부가 화염으로 개방되거나 인위적인 개방의 경우

구획내 화염온도의 상승으로 창문 및 출입구가 소훼되면서 개방되거나 인위적으로 개구부를 개방하였을 때 산소농도의 저하로 인한 불완전 연소 생성물이 고온으로 충전한 상태에 있다. 급격히 산소가 공급되어 플래시오버(Flashover) 단계로 접어들며, 산소가 유입되는 방향으로 폭발적인 연소확산 화염이 전파되는 백드래프트(Backdraft) 현상이 발생한다.

⑤ 내·외부 완전 소훼 단계

개방부분으로 유입된 산소는 내부의 모든 가연물을 태우고 천장 및 벽면의 붕괴로 이어진 후 마침내 소화된다.

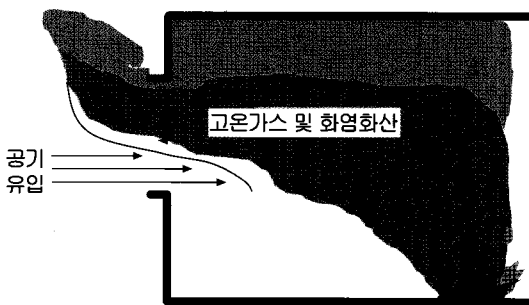
이상의 연소단계별 진행순서를 아래와 같이 온도, 시간의 변화에 따른 그래프로 표현한다.



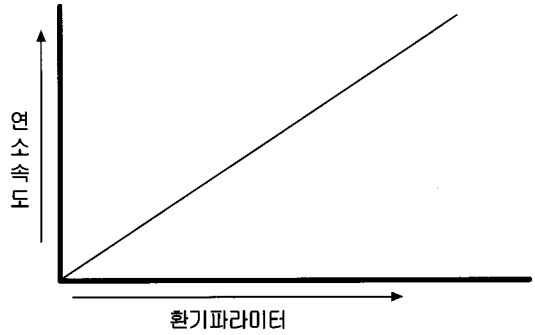
4. 개구부의 공기 순환 특성

환기 지배형 화재에서 창문의 공기 순환 상태는 매우 중요하므로 아래 그림과 같이 구획 내 벽면에 개구부인 창문을 통한 공기 순환 특성을 이해한다.

제한 공간에서 다른 환기구가 존재하지 않는다면 개구부의 상단에는 연소 생성물을 포함한 고온기체가 외부로 배출되고, 그 하단으로 공기가 유입되는 흐름을 형성하나, 공기 유동의 속도는 그림의 화살표의 길이로 표현한 것으로 배출되는 기체가 유입하는 속도에 비하여 빠르고, 일반적으로 환기지배형 화재에서 개구부의 크기에 비례하여 가연물의 연소조건을 결정한다.

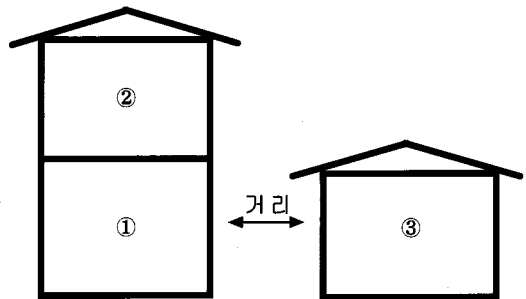


환기지배 영역의 구획화재에 있어서 개구부의 면적 공급하기 $\sqrt{\text{개구부 높이}}$ 를 환기파라미터(Ventilation Parameter)라고하며, 다음 그래프와 같이 가연물의 질량 연소속도와 환기파라 미터 사이의 관계는 비례한다.



5. 건물간의 연소이동 특성

건물간의 연소이동은 건물간의 거리가 3m 이하의 매우 근접한 경우를 제외하고 거의 복사열에 의하여 연소확대 한다고 볼 수 있으며, 건물간의 거리가 멀어질수록 연소확대 가능성이 줄어드는 경향이 있다.



위 그림과 같이 2층과 1층 건물이 2개동이 있다면, 우선 발화한 건물이 먼저 소훼되고, 옆 건물을 동층 보다는 상층으로 연소확대하는 하는 것이 일반적인 현상으로 발화부에 따른 연소확대 순서는

①에서 처음 발화한다면 우선 그 상층의 ②가 소훼되고 건물간의 거리 등에 따른 ③건물의 근접한 벽면과 상단 부분이 일부 소훼됨.

②에서 최초발화 한다면 ②부분이 완전 소훼되고 하층인 ①부분이 소략물에 의한 느린 연소가 시작된다.

③에서 발화한다면, 근접한 건물 상단인 ②부분으로 연소 확대한다.

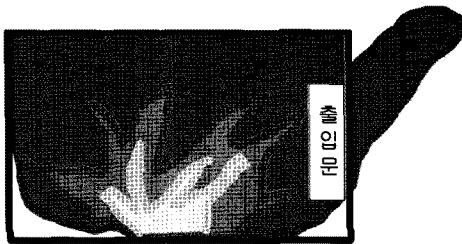
Ⅲ. 발화부 추정 및 축소법

❁ 4장에서 다루어진 연소이론 및 화재발전 양상을 토대로 진화 후 소훼흔, 연소잔류물 및 단락흔 식별에 의한 발화부 추정 및 축소 방법에 대한 현장 조사적 측면에서 설명하였다. 연소 잔류물의 형상 식별에 의한 발화부 추정과 단락흔에 의한 발화부 추정의 두 가지 방법으로 설명하고 있으며, 이 두 가지 조사결과가 일치한다면 매우 정확한 현장조사가 이루어진 것이다.

1. 연소 형상 식별에 의한 발화부 추정

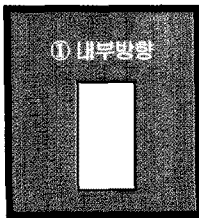
화재 진화 후 연소잔류물은 화재 이전의 상태에서 물리적, 화학적 변화를 거친 후 특성, 질량, 형태, 위치 등이 완전히 변화한 것으로 추정해야 한다. 이러한 변화의 특성을 다음과 같이 단편적인 그림과 현장사진을 통하여 설명 후 가상 현장을 통한 발화부를 추정하기로 한다.

(1) 출입구의 소훼 상태 식별

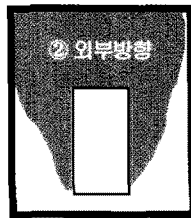


화재당시의 상황을 재현한 것으로 내부 벽면이 적체적으로 소훼됨

↓ 소화 후 상태



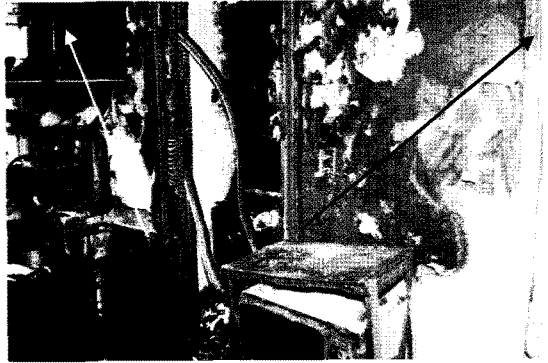
벽면이 전체적으로 소훼되어 있음



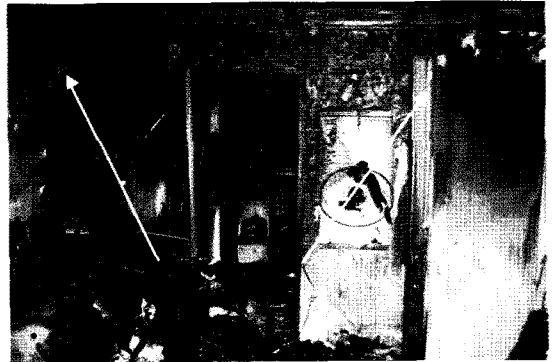
내부의 화염이 출화한 연소흔의 특성이 식별됨

위 그림의 ②외부방향의 연소흔을 다음 현장에서 촬영한 사진으로 식별한다.

다음 사진은 주방의 보일러실 입구를 촬영한 것으로, 보일러실에서 발화하여 주방으로 출화한 형태이며, 보일러실내에서 주방 벽면 양쪽에 화살표 방향으로 연소흔이 식별되는 것을 볼 수 있다.



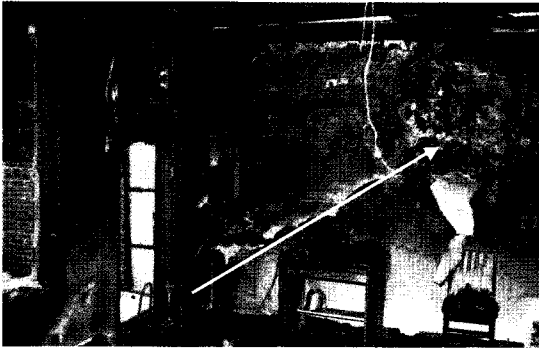
아래 사진은 안방내부에서 거실부분을 촬영한 것이다.



▲ 위의 사진으로 거실에서 양 화살표 방향으로 연소 확대흔을 식별할 수 있다.



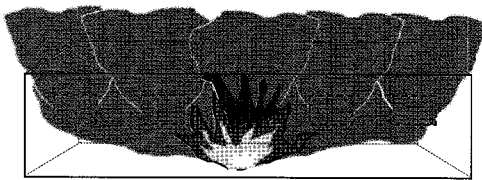
▲ 두 개의 공장간의 경계 부분을 촬영한 것으로, 우측 공장에서 좌측 공장으로 연소 확대흔이 벽면에 식별된다.



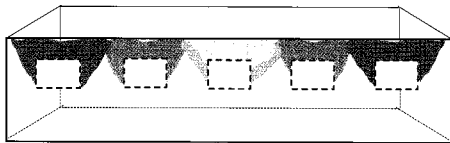
▲ 외부에서 건물 내 출입문으로 화염이 확산된 연소흔이 식별된다.

(2) 개구부(창문)의 그을음 부착 상태 식별

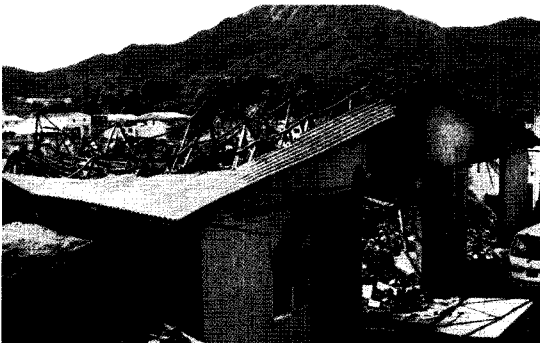
건물내부 발화부인 중앙의 창문은 화염이 있는 완전 연소에 의한 그을음 부착이 없고, 양쪽으로 발화부에서 떨어질수록 그을음이 불완전 연소에 의한 짙은 연소가스 배출로 그을음 부착이 많아진다.



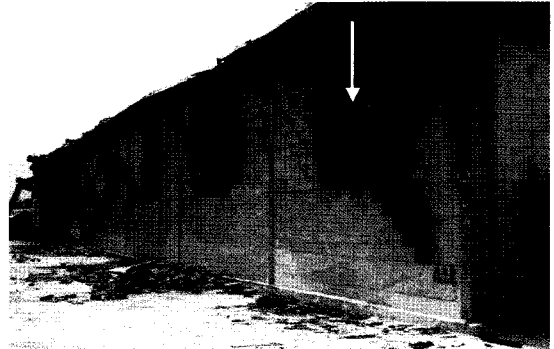
내부 중앙 부분에 화재가 발생한 상태



화재 진화 후 창문의 그을음 부착 상태



▲ 붕괴된 공장건물을 촬영한 것으로, 전면 2개의 출입구가 각각의 공장으로 되어 있는 구조로 발화부인 좌측 출입구에 비하여 우측 출입구 상단의 그을음이 짙은색으로 부착되어 있음.

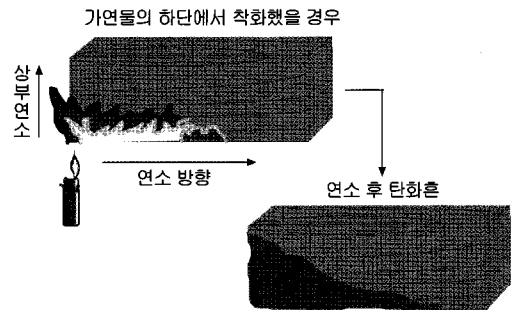


▲ 내부 칸막이가 없는 한 개의 구획으로 되어 있는 공장 건물을 촬영한 것으로, 좌측의 발화부의 창문 상단에는 그을음 부착이 없고, 화살표 부분의 발화부와 원거리에 있는 창문에는 짙은 색의 그을음이 부착되어있는 것을 식별 할 수 있음.

(3) 상·하 연소 방향에 따른 연소흔 식별

가연물의 착화 위치에 따른 연소흔 형태를 그림과 사진을 통하여 특징을 식별한다.

하단에서 착화될 경우 상단과 하단측면으로 연소하려는 경향이 크다.

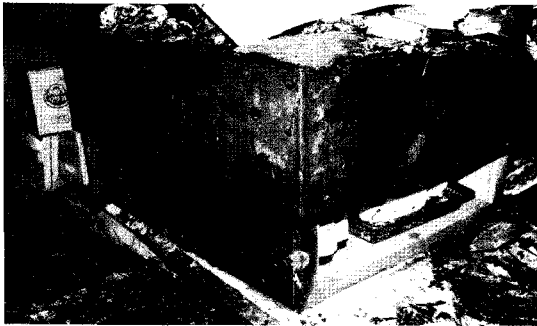
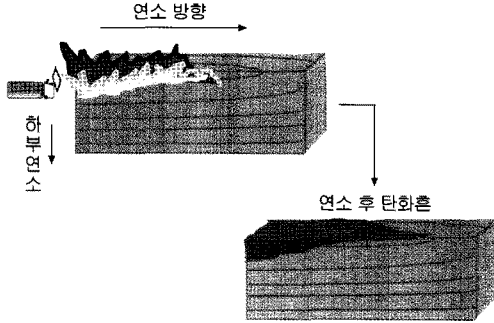


▲ 적재되어 있는 섬유 하단에 인위적인 착화에 의한 연소확대 상태를 촬영한 것으로, 상 방향과 하단 측면 방향으로 연소 확대흔이 식별되고, 섬유 아래의 플라스틱 받침대(빠레트)의 일부가 용융 상태로 식별됨.

측면 또는 상단에 착화하는 경우, 상단 측면으로 연

소하려는 경향이 가장 크고 부가적으로 하단으로 미약하게 연소한다.

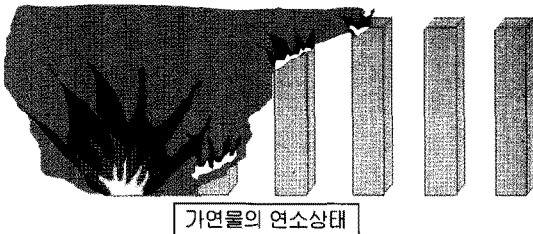
▼ 가연물의 측면 또는 상단에서 착화했을 경우



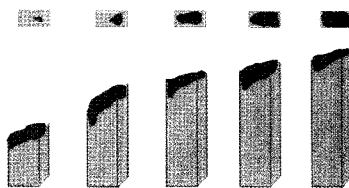
▲ 하단이 노출되지 않은 가연물체의 경우를 촬영한 것으로, 좌측에서 연소확대되어 세로부분과 상단의 측면부로 연소 확대한 형상임.

(3) 좌·우 연소 방향에 따른 연소흔 식별

가연물의 발화부에서의 연소 진행에 따른 연소의 방향성 및 가연물 자체의 측면 소취 형태를 그림과 사진을 통하여 특이점을 식별한다.



▲ 가연물의 길이와 측면의 탄화상태 등으로 소취 후 방향성을 식별할 수 있음.



▲ 목재 부분은 실제 현장에서 전체적으로 탄화되어 검정색으로 보이나, 그림의 식별 편의상 목재색으로 처리 하였음.



▲ 목재 구조물의 탄화 상태를 촬영한 것으로, 좌측에서 수열을 받아 순차적으로 탄화흔을 형성하고 있어 방향성을 식별할 수 있음.

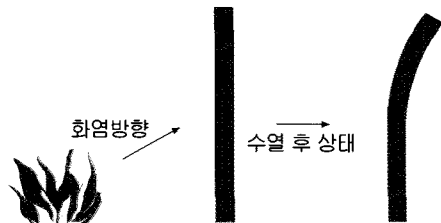
(3) 금속의 발화 방향에 따른 용융흔 식별

일상에서 접할 수 있는 철(Fe)과 알루미늄(Al)을 예로 그림과 사진을 통한 용융 및 굴곡 상태로 발화 방향을 식별한다.

① 철(Fe)

철은 합금 및 열처리 등에 따른 강성, 취성, 용융점의 차이는 있으나, 보통의 경우 용융 전에 수열을 받은 부분의 철 분자간의 활동의 증가로 부피가 증가하는 특성으로 600℃ 주변에서 인성 변화가 있고, 1,200℃ 부분에서 용융 되기 시작한다.

발화부에서 수열을 받은 부분의 철 분자 활동의 증가로 부피가 반대 부분에 비하여 늘어나 발화부의 반대편으로 휘어지는 상태로, 지면에서 직선으로 서있는 가로등, 기둥 등의 구조물에서만 가능한 조건으로 만약 건물의 연결 부분이라면 연결부에 하중의 방향으로 휘어진다.

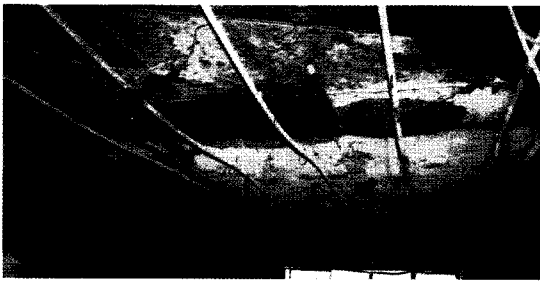


◀ 철(Fe) 소재의 가로등을 촬영한 것으로, 발

화부인 우측의 나무가 있는 부분에서 수열을 받아 좌측으로 휘어진 상태를 식별할 수 있음.

수열을 받은 부분이 분자간의 조직력의 약화로 중력 방향인 하단으로 휘어지는 상태를 그림으로 표현한 것으로, 다음 그림과 같다.

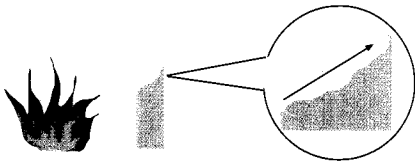
하단에서 수열을 받을 경우



▲ 천장의 철골 구조물의 만곡 상태를 촬영한 것으로, 발화부인 안쪽의 철골이 하단으로 곡선 형태의 만곡 상태를 식별할 수 있음.

② 알루미늄(Al)

알루미늄은 용융점이 약 500~600℃사이로 다른 금속에 비하여 용융점이 낮기 때문에 초기에 용융되기 쉽고, 수열을 받는 방향으로 용융되어 휘어지거나, 용융흔의 경사도로 수열 방향을 식별할 수 있는 특징이 있다.



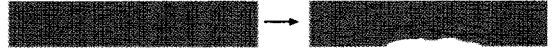
▲ 수열을 받는 방향으로 용융되므로 수열 방향의 반대 방향으로 경사도가 있는 용융흔을 식별할 수 있음.



▲ 사진의 ↓부분의 알루미늄 창틀의 용융상태로 연소확산 방향성을 식별할 수 있음.

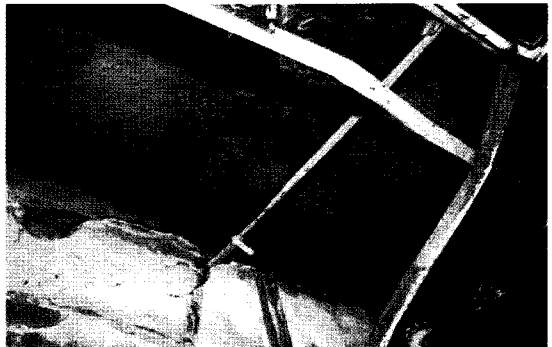
(4) 콘크리트 표면 수열흔 식별

콘크리트는 수열 부분에 수분이 증발하며, 표면적의 팽창 정도 및 내부 철근의 팽창 정도의 차이로 균열되어 응집력을 잃은 부분의 일부가 탈락되는 박리흔을 식별할 수 있다.

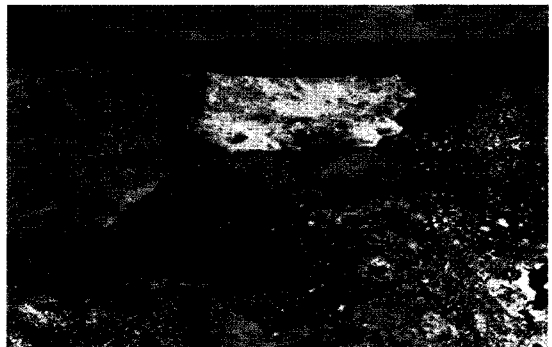


발화부 상단의 콘크리트 천장 부분에 집중적으로 수열된다.

천장에서 소략 콘크리트 박리파편이 소략된다.



▲ 발화부 상단의 콘크리트 표면 박리상태를 촬영한 것임.



▲ 발화부의 콘크리트 바닥의 박리흔을 촬영한 것임.

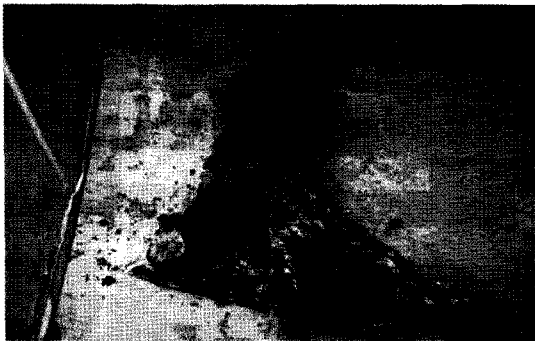
(5) 샌드위치 패널의 소훼 방향성 식별

가건물 또는 증축된 건축물에서 볼 수 있는 샌드위치 패널의 소훼 방향은 화살표 방향으로 연소확대한 것으로, 소훼되면서 형성되는 문양의 크기가 발화부와 근접할수록 크고, 발화부와 멀어질수록 작고 조밀한 문양으로 형성되는 특징이 있다. 다음의 사진으로 자세히 알 수 있다.



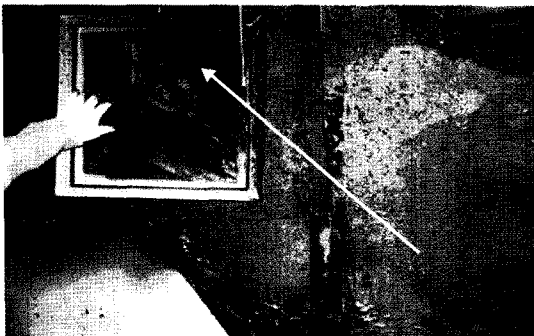
(6) 액체 가연물(석유, 휘발류 등)에 의한 소훼흔 식별

▼ 냉장고와 바닥에 석유를 뿌린 후 인위적으로 착화시킨 방화 사건으로, 액체 가연물은 바닥에서 흐르거나, 살포된 면적이 집중적으로 소훼되는 특징을 식별 할 수 있음.



(7) 소락된 벽면 부착물의 소훼흔 식별

화재발생 초기에 벽면에 부착되어 있던 거울, 달력, 액자 등이 먼저 소훼되면서 부착 부분의 소실로 제일 먼저 소락되는 경향이 있으며, 바닥에 떨어진 후 그 위에 다른 연소잔류물이 다량 떨어지면서 누적에 의한 공기 유동이 어려워 발생 초기의 소훼 상태를 유지하는 경우가 많으므로, 발굴 과정에서 발견되는 벽면 부착물은 부착위치를 확인하여 초기 연소 방향성을 식별 할 수 있다.

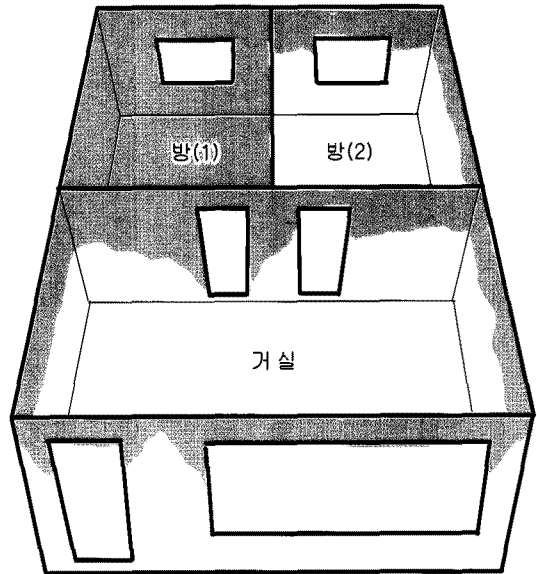


위 사진은 소락된 액자의 부착위치에 복원한 후 촬영한 것으로 화재 초기에 화살표 방향으로 연소확대된 방향성을 식별할 수 있다.

이상의 단편적인 방향성이 있는 연소형상 식별은 가옥 및 기타 구획으로 되어있는 광범위한 화재현장을 계속적으로 축소하는 판단 자료이며, 판단된 발화 추정부에서 최소한의 발굴 및 복원 작업을 할 수 있는 전 단계로, 다음과 같이 현장 상황에 적용한다.

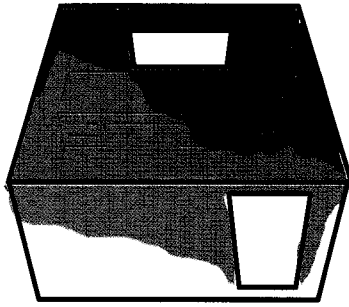
다음과 같이 철근콘크리트 구조로 되어있는 방 2개, 거실로 되어 있는 가옥에서 화재 발생 후 화재조사를 위하여 입장하였다는 가상 상황으로 처음부터 같이 조사를 시작하기로 한다.

▼ 다음 단원인 단락흔에 의한 발화부 추정에서 같은 도면으로 추정 할 것임.

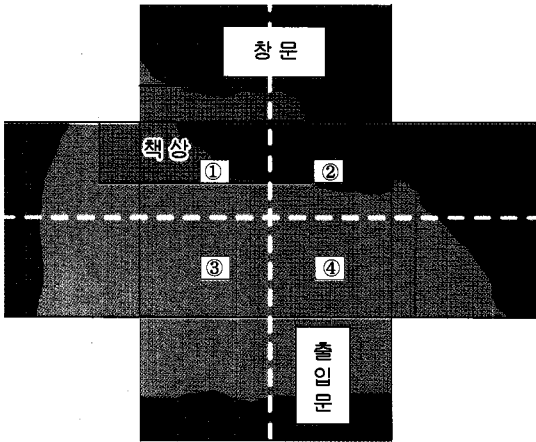


화재진화 후 벽면의 연소형상은 거실과 방(2)은 상단 부분만 소훼흔을 볼 수 있으며, 방(1)의 출입문은 내부에서 외부로 화염이 확산된 방향성이 있는 소훼 상태를 식별 할 수 있으므로 최초 발화 구획을 방(1)로 1차 축소한다.

평면도와 같이 방(1)로 축소한 발화부 다시 ①, ②, ③, ④구획으로 나누어 2차 축소하면, 방내부 벽면의 연소흔과 책상의 탄화방향 등으로 ②번 부분으로 축소되고, 이 부분을 대상으로 발굴 및 복원 작업을 시작한다.

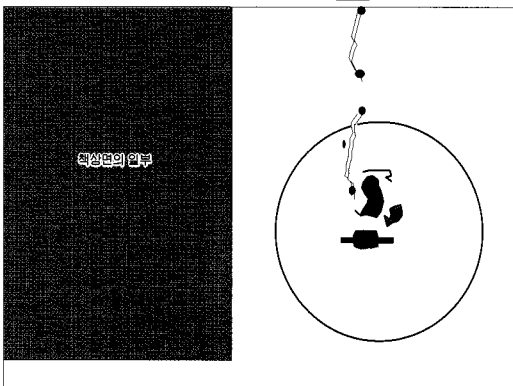


방(1)의 내부를 벽면을 펼친
도면으로 전환한다.



그림과 같이 ②번 부분을 발굴도중 벽면 2구용 콘센트에 삽입된 플러그, 소형모터, 단락흔이 있는 전선류 등이 발견되어 수거하였고, 기타 다른 특이점이 있는 잔류물을 발견치 못한 상태였다.

벽면 콘센트 상단에 플러그 →
삽입상태로 소체되어 있음



▲ 발굴 과정에서 소형모터 및 전선류에서 단락흔이 있는 연소 잔류물이 발견됨

가상적인 화재현장은 벽면 등의 소회흔 식별에 의한 발화부를 방(1)의 책상 우측 바닥으로 축소하였으며, 이 부분을 집중 발굴하여 소형모터와 벽면 콘센트에 삽입된 플러그와 단락흔이 있는 전선 등 연소잔류물을 발견, 현미경 관찰에 의한 모터 권선에서 단락흔 발견, 헤어드라이기를 유력한 발화원으로 추정하였고, 피해자의 진술 청취사항을 종합 판단하면 피해자가 헤어드라이기를 사용중 정전이 되어 플러그와 스위치를 켜집위치에 놓고 외출하였고, 다시 통전되어 계속적으로 헤어드라이가 작동중 과열되어 출화한 것으로 추정된다.

2. 단락흔에 의한 발화부 추정

전기의 특성 및 단락흔에 대한 설명 후 전 단원과 같은 가상 조건에서 단락흔의 식별에 의한 발화부를 축소하는 방법을 이해하기로 한다.

(1) 전기의 특성

전기는 우리가 살고있는 일상에서 아주 유용한 존재이나, 주위를 소홀히 하면, 감전, 전기 화재의 발생 등으로 대단히 위험한 존재로만 알고 있다.

그러나 화재 현장에서도 전기는 아주 유용한 존재로 전기의 특성을 잘만 이용하면 발화부를 손쉽게 축소할 수 있는 암호를 가지고 있는 공기중에 비유하면 블랙박스 같은 역할을 할 수 있다.

전기에 대한 체계적인 이론은 다음 호에 다루어질 전기화재 편에서 습득하기 바라며, 이 단원에서는 단락흔을 설명하는데 필요한 최소한의 전기 이론을 설명하였다.

전기가 도체(전선 등)에 흐르는 것과 물이 파이프 내에 흐르는 것에 비유하면, 파이프내 수압이 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르는 물의 압력의 차이는 전기에서는 전압, 파이프내 흐르는 물의 양은 전류, 물의 흐름을 방해하는 요소를 저항, 파이프는 물이 흐르는 통로는 전기에서 도체에 해당하고, 파이프 내에 흐르는 물의량을 조절하는 밸브나, 수차 등을 이용하여 힘을 얻는 것을 스위치, 부하기기(라디오, 전열기 등)로 비교할 수 있다.

전기에는 전압, 전류, 저항, 전력, 전력량, 허용전류 등의 관계 공식 등은 다음 편에서 다루기로 하고, 이 단원의 주제인 단락흔에 의한 발화부 축소에 필요한 사항은 다음과 같다.

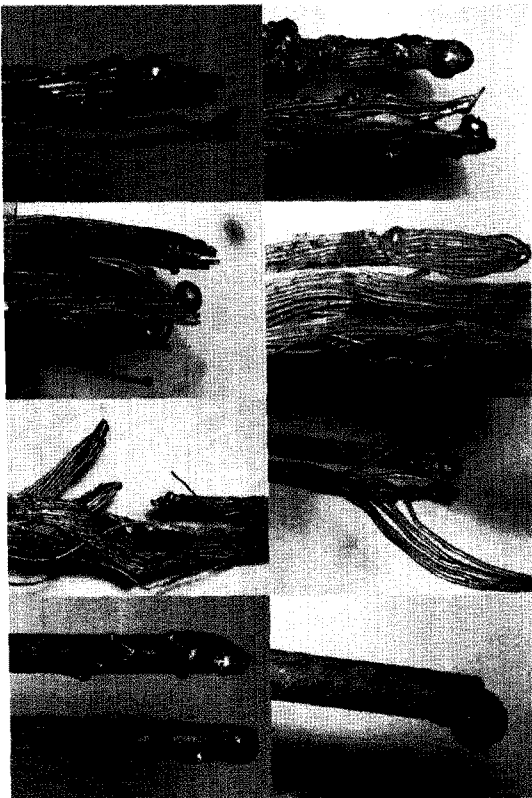
① 전기는 도체 내에서 가장 단거리로 흐른다.

② 도체(전선)를 둘러싸고 있는 절연피복이 화염으

로 소실되면 선간 접촉이 일어나고, 선간에 단락전류가 순간적으로 흐르며, 이때 발생한 고온의 주울(Joule) 열로 전선이 용융되는 것을 선간 단락이라 한다.

③ 단락된 전선의 용융 상태를 단락흔 이라하며, 다음 페이지의 현미경 촬영한 사진과 같이 전선의 일부분이 접촉되면서 매우 작은 범위를 국부적으로 녹이는 망을 및 기타 형태의 용융흔으로, 만약 전기적인 용융이 아닌 외부 화염에 의한 용융이라면 전선의 일정 부분을 순간적으로 녹이기보다는 전체적으로 화염을 받아 광범위하게 녹거나, 연선간에 융착이 되어 있는 것이 일반적이다.

▼ 단락흔을 촬영한 사진



(2) 차단기 상태 식별

차단기는 누전차단기와 배선용차단기가 있으며, 누전차단기는 부하측에 누설 전류 발생시 전기를 차단하고, 배선용 차단기는 부하측에 과전류 발생시 전기를 차단하는 것으로, 구가옥에서는 배선용차단기를 대신하여 커버나이프 스위치가 같은 역할을 하는 경우가 있다.

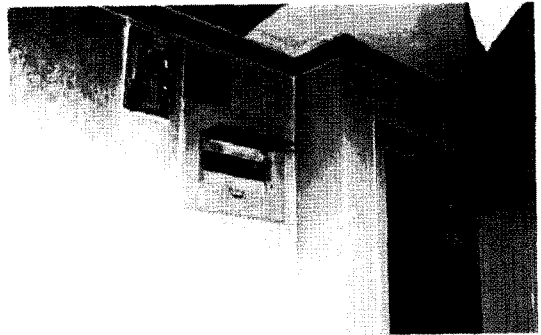
① 누전차단기

부하측에 인가되는 전압 및 전류가 규정된 부하 이하로 누설되면, 자동적으로 차단기내 접점이 끈어지는 트립(30A이상) 또는 꺼짐(30A이하) 상태로 전환됨.

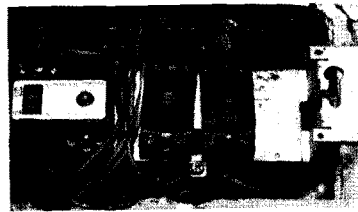
② 배선용차단기

부하측에 규정 이상의 전류(과전류)가 흐르거나 단락될 경우 차단기내 전자석 혹은 바이메탈이 작동하여 전원이 연결된 접점을 끌어당겨 전기가 끊어지는(트립 또는 꺼짐) 원리로 퓨즈와 달리 전원의 레버를 다시 작동하면 정상적으로 복귀된다.

가정에서 흔히 쓰이는 차단기의 배열은 30A 이하 용량의 누전차단기-배선용차단기(조명용, 콘센트용, 기타)2-3개로 구성되어 있다.



▲ 가정집 현관 좌측 벽면의 분전반을 촬영한 것으로, 분전반내 인입선이 좌측부터 누전차단기를 거쳐 2개(조명용, 콘센트용)의 배선용차단기로 분기되어 부하로 연결되어 있음.

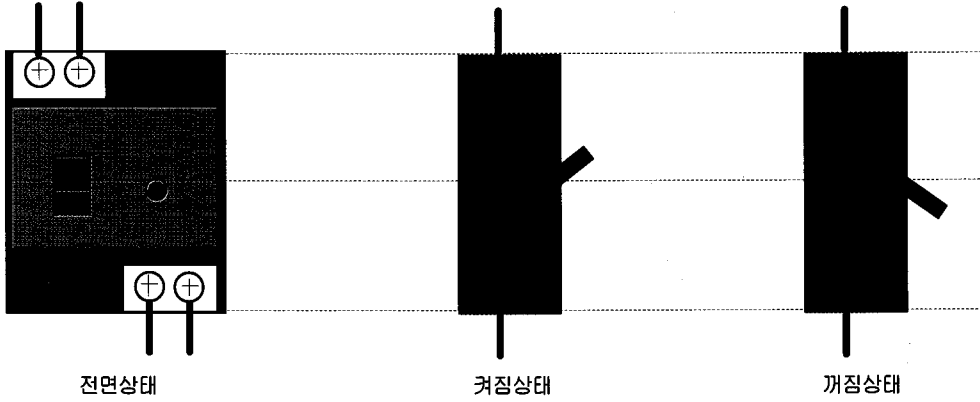


분전반은 화재 현장에서 소훼되면 외부 형태 식별로는 켜짐/꺼짐/트립 상태를 확인 하여야 하나 차단기가 30mA이하 일때는 켜짐/꺼짐의 2동작으로 켜짐과 트립이 동일 위치로 부하측의 단락흔 등의 식별로 상태를 추정 하여야 한다.

다음의 사진은 분전반이 소훼 후에는 외부 스위치 부분이 용융되어 상태 식별이 불가능한 경우로 내부 단자 및 동작 스위치의 핀 상태를 확인 하여야 한다.



※ 차단기의 상태 식별



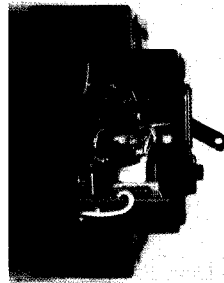
▼ 아래 그림은 외부 식별에 의한 차단기의 상태를 표시한 것으로, 스위치가 켜짐은 상단방향, 꺼짐/하단 방향을 확인 할 수 있음.

※ * 차단기의 스위치 상태별 상황 * *

켜짐 - 스위치의 동작 부분이 상단을 향하고 있으며, 차단기의 전원측에서 부하측으로 전원이 연결되어 있는 상태임.

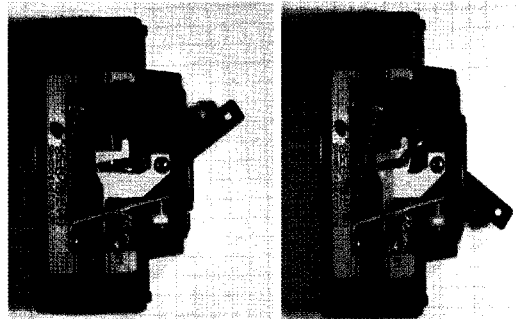
트립 - 켜짐 위치에서 부하측의 규정된 전류 및 전압 이외의 과전류나 누설전류가 발생시 스위치의 동작부분이 중앙부분으로 전환되면서 동시에 전원이 자동으로 차단되는 상태임(30A 이상의 차단기에서만 트립 상태를 확인 할 수 있음).

꺼짐 - 스위치의 동작부분이 하단을 향하고 있는 상태로 부하측의 전기적인 이상이 아닌 인위적으로 전원을 끊은 상태임.

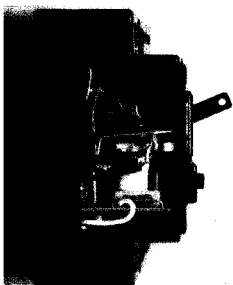


▶ 꺼짐 상태의 누전차단기의 측면으로 켜짐 상태의 내부 상태에서 변화된 것은 접점이 끈어지고, 내부핀이 돌출되어 경사지게 위로 올라온 위치로 전환된 것을 확인하여야 하나, 조사관의 각자 차단기를 분해하여 다른 특징점을 발견하기 바란다.

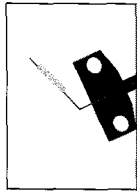
사진은 누전차단기와 같이 배선용 차단기의 측면을 분해하여 촬영한 것으로 내부핀, 접점 등의 켜짐/꺼짐 상태를 면밀히 관찰하여 특징점을 찾아본다.



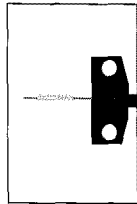
위 차단기는 소훼되지 않아 기계적인 동작 상태를 식별하기 쉬운 반면에 화염으로 외형이 변형되었다면 상태식별은 어려워지며, 다음 사진과 같은 화재 현장에서는 외관상으로는 형태를 식별할 수 없으므로, 전면을 제거 후 내부 동작 상태를 확인한다.



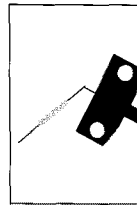
▶ 켜짐 상태의 누전차단기의 측면을 절단 후 촬영한 사진으로 단자 접점부분이 붙어 있고, 내부핀이 가로 방향으로 안으로 들어간 위치로, 아래 사진의 켜짐 상태의 내부의 기계적인 식별점을 관찰하여야 한다.



▶ 켜짐 상태로 전면 스위치 동작부분이 상단으로 향하여 있고, 내부 핀의 측면이 하단을 향하는 핀과 스위치가 점선 부분과 같이 V 형태임.

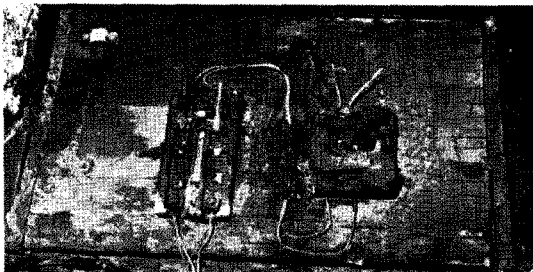


▶ 트립 상태로 전면 스위치 동작부분과 내부 핀의 측면이 일직선상의 점선 부분과 같이 - 형태임.



▶ 꺼짐 상태로 전면 스위치 동작부분이 하단으로 향하여 있고, 내부 핀의 측면이 상단을 향하는 핀과 스위치가 점선 부분과 같이 A 형태임.

구 가옥에서 흔히 볼 수 있는 커버나이프스위치는 차단기와 같이 부하측의 과전류 발생시 내부 휴즈에 흐르는 과전류로 인한 발열로 일정부분이 용융소실되는 단락으로 전기를 차단하는 원리로 물리적인 휴즈의 용융 시간 때문에 배선용차단기에 비하여 동작 속도가 매우 느린 편이다.



▲ 벽면에 부착된 분전반을 촬영한 것으로, 인입선이 우측의 누전차단기를 지나서 커버나이프 스위치를 통과 후 부하측으로 연결되어 있음.

커버나이프스위치 내부 2개의 휴즈는 부하측 과전류시 2개가 모두 용단되는 경우는 매우 희박하고, 부차 상태에 따른 2개 중 1개가 먼저 용단되면 전원이 차단되므로 나머지 1개는 발열은 되지만 용단되기 전에 전원이 중단되는 것이 일반적이거나, 동시에 용단되는 경우도 있다.

그러나 수열로 휴즈의 용단 부분이 완전히 용융되면, 수열전에 전기적인 용단과 수열에 의한 용단인가는 확인 할 수 없으므로 이러한 경우에는 휴즈 상단의 전원 스위치가 꺼짐/켜짐만을 확인 할 수 밖에 없다.

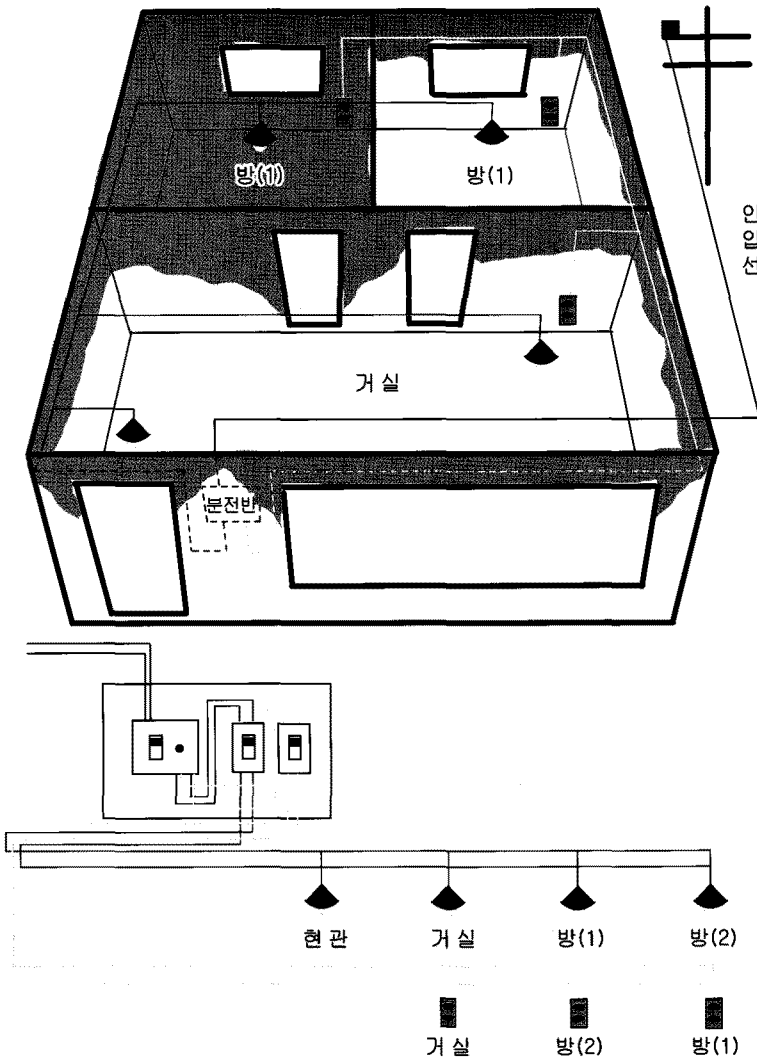
단락흔의 형태와 분전반내 차단기 및 커버나이프스위치의 작동 상태 확인은 단락흔에 의한 발화부를 축소하는데 기본적으로 확인할 사항으로 전단원과 같은 가옥 구조로 전기적인 특이점을 식별한다.

다음 그림을 참고로 다음과 같이 두 가지 경우로 차단기 상태와 단락흔의 발견으로 발화부를 추정하는 연습을 한다.

- ① 누전차단기와 조명 배선용차단기 꺼짐 상태이며, 방(1)의 조명용 배선, 방(2)의 조명용 배선, 거실의 조명용 배선, 3개소의 단락흔 발견, 조명의 배선 순서는 위와 같이 제일 부하측은 방(2)이므로 방(2)내부를 발화부로 추정함.
- ② 누전차단기 꺼짐, 조명 배선용차단기 켜짐, 콘센트 배선용차단기 꺼짐 상태이며, 방(1)의 콘센트용 배선, 방(2)의 조명용 배선, 2개소에서 단락흔 발견, 분전반내 차단기는 누전차단기 보다 배선용차단기가 부하측이므로 콘센트 배선용차단기가 제일 먼저 작동하고 그 다음 누전차단기가 작동한 것으로 방(1)의 콘센트에서 최초로 단락되어 배선용 차단기가 꺼지고, 그 후 연소확산 과정에서 방(2)의 조명용 배선이 소훼되면서 누전되어 최종적으로 누전차단기가 꺼짐으로 되어 가옥 내부 전원이 모두 차단된 것으로 추정되어 방(1)을 최초 발화부로 추정 함.



▲ 스위치의 삽입 부분의 수열 변색흔의 차이로 당시 통전 상태를 확인한다.



◀ 다음 가옥은 인입선이 분전반의 누전차단기를 지나서 조명 배선용차단기와 콘센트 배선용차단기로 분기되어 있으며, 조명 배선용차단기에서 현관조명→거실조명→방(1)의 조명→방(2)의 조명의 순서로 연결되어 있으며, 콘센트 배선용차단기는 거실콘센트→방(2)콘센트→방(1)콘센트로 연결되어 있는 구조이다.

위 가상의 가옥에 입장을 시작한다.

현관 입구에 위치한 분전반내 차단기를 식별법과 같이 케이스를 일부 제거 후 핀 및 점점을 확인한바, 누전차단기는 꺼짐, 조명 배선용차단기는 켜짐, 콘센트 배선용차단기는 꺼짐으로 식별된다.

소취 상태가 가장 심한 방(1)의 책상 옆의 소취 부분을 발굴하던 중 벽면 콘센트에 삽입된 플러그 끝단의 전선에서 단락흔이 식별되고, 그 부하측의 연소 잔류물을 수거함.

가옥내 다른 부분의 전기 배선 및 기기 등을 추가로 확인하였으나, 단락흔 및 출화흔의 발견이 없었다.

위 수거물은 전 단원의 연소형상에 의한 발화부 축소법과 같이 소형모터 권선 및 내부 전선에서 단락흔이

발견되어 당시 사용중 화재가 발생한 것으로 추정하여 피해자의 진술을 토대로 발화원을 소형모터의 과열에 의한 발화원으로 추정하였다.

그러나 연소상태가 방(1)에서 확대되어 주방과 방(2)의 내부를 전소시킨 화재라면 연소형상으로는 발화부를 특정하기 어려울 때가 있다.

이러한 상황에서는 방(1), 방(2), 거실 등의 가옥 전체를 발굴 및 복원 작업을 해야 할 것이고, 발굴 과정에서 방(1)의 책상 우측의 하단에서 단락흔이 있는 전선이 발견되었다면 그 부분을 발화부와 근접되었다고 가정하고 주변을 집중발굴 하여야 하며, 그 과정에서 소형모터와 단락흔이 있는 소선 등이 발견될 것으로 생각된다.