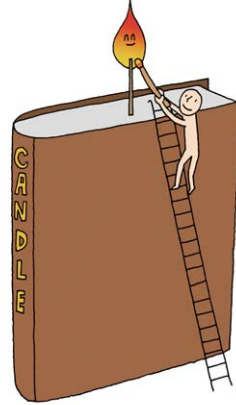


화염 그림자의 영상분석을 통한 최초발화지점 확인

글 이승훈 서울지방경찰청 과학수사계 화재폭발조사팀



1. 머리말

발화부(Fire origin)는 화재가 시작된 방 또는 구역을 말한다¹⁾. 우리나라 화재원인조사실무에서는 화재로 인해 피해가 발생한 전체를 화재부위라 하고, 발화부는 화재가 처음 시작된 곳으로 인정할 수 있는 범위로 한정된 장소를 말하며²⁾, 이곳에 발화원인이 존재하기 때문에 발화부를 선정하는 것은 본격적인 발화원인 검사를 시작할 수 있는 기반이 된다. 따라서 이 작업은 화재조사에 있어서 매우 중요한 업무이며 만일 발화부가 잘못 선정되었을 때에는 막대한 조사인력과 시간을 낭비하게 된다.

또한 잘못된 발화부 선정으로 여타부위에서 발굴된 연소잔해들을 진정한 발화부에 쌓아놓는 등 함부로 취급된다면 훼손가능성이 있으며, 이러한 화재현장은 원인을 밝힐 수 있는 기회를 영원히 잃어버리게 될 수도 있다.

화재조사분야의 전문가들에게 명확한 발화부 선정의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않을 정도로 인식되고 있으며, 이 분야의 전문가인 국립과학수사연구원의 박남규 박사(2014)는 “화재현장조사에서 발화지점을 한정하는 것만으로도 조사의 80%는 성공이다”³⁾라고 하며 화재현장조사에 있어서 발화부 설정이 얼마나 비중이 높고 중요한 업무인지를 강조한 바 있다.

잘못된 발화부의 판단은 화재조사 전체를 망칠뿐만 아니라 화재 이후 이해당사자들에게도 큰 영향을 미칠 수 있다. 특히 ‘실화책임에 관한 법률’의 개정(2009년 5월 8일)은 중대한 과실이 인정되지 않는 경우에도 손해배상책임을 인정하였으며, 개정 이후 판례에서는 명확한 화재원인이 밝혀지지 않고, 단순히 관리지배 하에 있는 장소에서 화재가 발생하여 인근 가옥이나 상가에 확산된 경우에도 관리책임을 물어 관리책임자의 손해배상책임을 인정하고 있는 추세이다. 즉, 조사관들에 의해 발화부가 선정된 것을 근거로 관리자에게 배상책임을 부과한다는 것이다.

따라서 지속적으로 화재와 관련된 민사소송이 증가추세이며 최근 고액의 손해배상이 걸린 민사 소송에서도 선정된 발화부에 의해 이해당사자들의 희비가 엇갈리는 사례들을 자주 볼 수 있는데 이 법의 개정 이후 잘못된 발화부의 판단이 관계자들에게 미치는 영향은 가중되고 있다는 것을 알 수 있다.

1) National Fire Protection Association, NFPA 921 Fire and Explosion Investigation, 3.3.9 Fire Origin, p11, 2008 Edition.

2) 최승복, 2010. 재래시장의 전기화재위험성 및 화재감식기법에 관한 연구. 가천대학교

3) 박남규, 수사연구 2014. 01월호 p22. 도서출판 수사연구

2. 영상을 이용한 최초발화지점 확인

화재조사관은 발화부를 설정하기 위해 분석이 가능한 정보들을 최대한 수집하고 있으며, 이들이 가지고 있는 정보를 활용하여 증거가 가지고 있는 법과학적인 가치를 최대한 이끌어 내기 위해서 '소사체를 이용한 화재현장 연소패턴에 대한 연구(이상준, 2007)' 등 다양한 과학적 논리와 이론들을 개발하고 정리하는 연구들이 지속되고 있다.

본고에서는 최초발화지점 확인을 위해 CCTV의 동영상 등 영상을 이용하는 방법을 소개하고자 한다.

최근 창고, 상가, 공장, 사무실 등 다양한 장소에 CCTV 설치가 증가되고 있는 실정이며 이로 인해 화재현장의 발화정보자료에 대한 취득도 용이해 지고 있는 추세이므로 발화부를 판단하는 데에 있어서도 영상자료의 분석방법에 대한 가치는 지속적으로 증대될 것으로 예상된다.

CCTV의 방향이 직접적으로 발화장면을 비추고 있다면 더 이상 이것을 증명하기 위한 해석이나 별도의 증거가 불필요하고, 논란의 여지없이 발화부를 확인할 수 있을 것이다. 발화장면이 직접적으로 촬영되지 않았을 경우에는 단순히 영상의 특정 지점이 밝아지는 경우와 연기의 이동 방향을 관찰하여 해당 방향을 화염이 시작된 발화부의 방향으로 판단해 왔던 것이 분석의 전부로 인식되어 왔다. CCTV가 직접적으로 비추고 있지 않는 경우에도 영상에는 많은 정보가 내포되어 있지만 현재까지는 이러한 점이 간과되어 왔으며 법과학적 가치를 충분히 이끌어내지 못하고 '발화 모습이 촬영되지 않았다' 라며 체념해 왔다.

빛은 반사, 굴절, 간섭, 회절 및 도플러효과(Doppler effect) 등 특징이 있으며 파장이 비교적 짧아 직진하며, 다른 매질의 경계면을 만나면 일부는 반사되고 일부는 굴절된다⁴⁾. 본고에서 빛에 관한 이론적 기반은 빛의 여러 성질 중 대표적인 빛의 직진성과 확산성이다.

빛은 광원으로부터 방사형태로 진행하기 때문에 별도의 반사와 굴절이 없는 이상은 광원을 중심으로 주변을 향해 구(球)의 형태로 진행되며 방사되는 에너지가 다른 물체를 만나서 가려지면 이곳에 부딪힌 파장이 반사되거나 흡수되어 투과하지 못하고 차단되기 때문에 가려진 곳은 가려지지 않은 부분에 비하여 에너지의 불균형이 발생하고 상대적으로 어두워지는데 이것을 그림자라고 한다. 빛은 직진을 하기 때문에 그림자는 항상 광원의 반대쪽, 즉 물체가 광원을 향하고 있을 때 물체의 뒤쪽으로 생기면서⁵⁾ 빛과 그림자는 광원-물체-그림자 순으로 항상 일직선상에 나타난다.

그림자는 3차원적인 물체에 입사되는 빛에 의해 윤곽을 따라 나타난다. 따라서 그림자만으로 그림자가 만들어진 피사체의 모습을 완벽하게 추적하는 것은 곤란하지만 책상이나 의자, 기둥 등 단순한 물체는 유추가 가능하며 책상의 모퉁이나 의자의 등받이와 같이 특정 포인트가 그림자의 어느 부분에 해당되는지를 알 수 있는데 이 부분을 서로 잇는 연장선을 긋는다면 이는 정확히 광원의 방향을 지목하게 된다.

4) 두산백과사전 인터넷 검색 '빛' <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1106711&cid=40942&categoryId=32235>

5) 두산백과사전 인터넷 검색 '그림자' <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1069294&cid=40942&categoryId=32227>

단순한 그림자가 인상된 물체를 그림자는 동일한 물체라고 하여도 그림자가 인상되는 표면의 굴곡이나 경사각 등에 따라서 다양한 크기와 형태로 나타날 수 있다. 그러나 다음과 같은 실험을 살펴보면 굴곡이나 경사각에 따라서 그림자의 모습에 왜곡이 발생하더라도 특징점을 서로 연결하여 광원의 방향을 판단하는 데에는 전혀 영향을 미치지 않는다는 점을 알 수 있다.



[그림 1] 태양광이 길이와 모양이 동일한 2개의 원기둥에 입사되었지만 그림자가 인상되는 표면의 경사도 등의 형태 때문에 그림자의 모습은 큰 차이가 나타났다. 그러나 특징점을 연결한 선 두 개는 서로 평행하게 태양의 방향을 지목하고 있으므로 표면상태에 따라서 왜곡되는 그림자의 형태는 특징점을 연결하는 방식으로 광원의 위치를 추적하는 데에 전혀 영향을 미치지 않는다는 점을 확인할 수 있다.

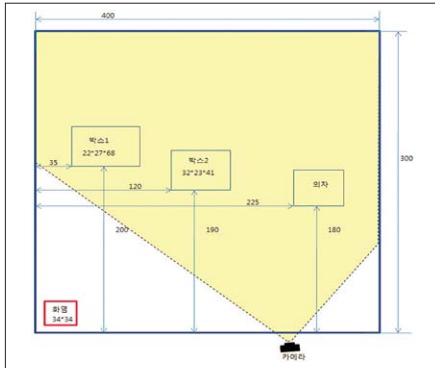
그림자의 특징점과 피사체의 특징점을 연결한 선은 광원의 방향을 알 수 있다. 빛은 광원으로부터 방사되기 때문에 한 지점에 광원이 존재하고, 여러 지점에 피사체가 존재할 경우에 각 피사체에 입사되는 빛의 각도는 다양하며 결국 그림자의 방향 또한 각각 다르게 나타난다. 이 때 여러 피사체의 그림자를 분석한 연장선은 결국 광원이 위치한 지점에서 서로 교차되므로 2개 이상의 연장선은 그림자를 생성시킨 광원의 방향뿐만 아니라 3차원적인 위치를 알 수 있게 된다.

이론적으로 검토하였을 때 일반적인 빛과 그림자를 이용하면 그림자의 외곽선의 특정 지점으로부터 피사체의 해당부위를 연결한 선은 빛의 직진성 때문에 여지없이 광원을 지목하게 된다. 따라서 CCTV에 발화부가 촬영되지 않아 광원의 위치를 명확히 알지 못하고 그림자만 촬영된 경우에도 그림자와 피사체를 확인하면 해당 그림자를 생성시킨 광원의 정확한 3차원적 지점을 확인할 수 있다. 입사각 설정의 오차율을 감안한다고 하여도 여러개의 다양한 입사각을 구하여 이들이 교차되는 지점을 광원의 위치로 판단한다면 그만큼 정확도는 높아질 것이다.

3. 화염 그림자의 영상분석을 통한 최초발화지점 확인 실험

실험은 무풍의 실내 공간에 300×400×240cm 사이즈의 컨테이너 박스를 설치하고 그림자를 생성시킬 물체로 의자와 종이상자 2개(27×22×70, 32×23×40)를 각각 다음과 같은 위치에 설치하였고, 레이저 포인터 설치시에 그림자의 정확한 위치를 확인하기 위하여 물체의 그림자가 발생할 것으로 예상되는 부위에 스티커 자를 부착하였다.

컨테이너 박스의 코너 부위에 설치한 화염은 33.5×33.5 크기의 팬(pan)에 휘발유를 채워 연소시킨



[그림 2] 실험 설계도



[그림 3] 실험을 위한 물체 설치

것을 사용하였다. 그림자를 통해 화염부를 역추적하는 것이 가능한지를 확인하기 위해 팬에 연소를 시작한 후 화염에 의해 생성된 그림자를 촬영하여 그림자의 위치에서 피사체를 향해 역으로 레이저를 설치하였으며 레이저의 방향과 교차되는 지점을 확인하였다.

화염의 수직적 위치판단이 가능한지를 관찰하기 위해 휘발유를 연소시키는 팬의 위치는 바닥과 사다리를 이용하여 170cm 높이에서 각 1회씩 실험을 하였다.



[그림 4] 바닥에 놓은 상태, 170cm 지점 사다리에 위에 올려놓고 각 1회 실험을 실시하였다.

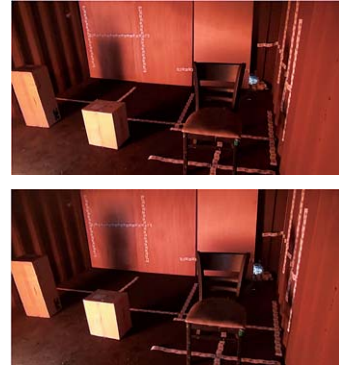
4. 실험결과

가. 조명을 이용한 예비실험과 난류화염의 차이

착화시켰을 때 생성된 화염은 난류로 인하여 길이가 70 -120 cm 가량으로 길어지고 짧아지는 반복적인 변화가 있었으며 그에 따라서 물체의 그림자도 영향을 받아 모습이 수시로 변화되는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 5] 난류에 의해 화염의 높이가 약 70~120cm 범위에서 반복적으로 변화되었다.



[그림 6] 화염의 변화에 따라서 그림자의 크기와 위치가 변화하고 있는 모습

광원의 방향을 추적하기 위해서 레이저를 사용하였다. 그림자의 위치가 수시로 변화하므로 사진에 나타난 그림자 위치를 기준하여 레이저 포인트를 잡았다.

나. 평면적 분석

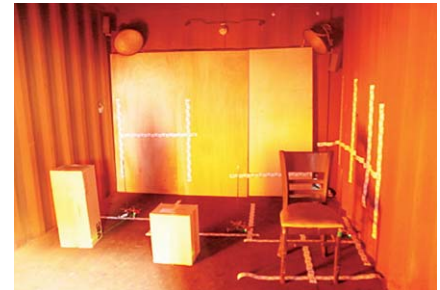
바닥에 놓인 팬에서 만들어진 70~120cm 높이의 화염에 의한 물체의 그림자를 확인하였다. 레이저는 바닥에서 5cm 높이에 위치하였으며 2개의 박스 그림자의 외곽에서 물체의 외곽으로 각 레이저를 작동하고, 의자의 다리부분에 비친 그림자에서 다리 방향을 향해서 레이저를 작동하였다.



[그림 7] 화염과 물체의 관계



[그림 8] 하부 화염에 의해 생성된 그림자의 모습



[그림 9] 평면적 분석을 위해 물체의 외곽선을 따르는 레이저 설치



[그림 10] 레이저 설치 모습

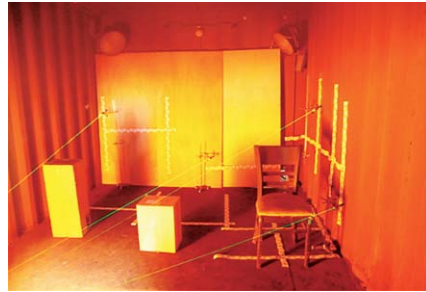


[그림 11] 화염이 존재하였던 팬 위로 각 방향에서 모인 레이저가 교차하고 있는 모습

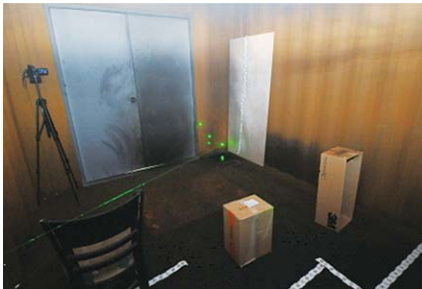
다. 입체적 분석

상자1, 2의 꼭지점이 되는 포인트와 의자의 등받이, 의자 안장 꼭지점을 포인트로 4개의 연결선을 설정하였으며, 각 레이저는 하단부에 위치한 팬을 지향하며 화염이 있었던 부분에서 교차되는 것을 확인하였다.

라. 높은 화염에서의 실험



[그림 12] 광원의 방향으로 집중되고 있는 레이저



[그림 13] 광원의 방향으로 집중되고 있는 레이저



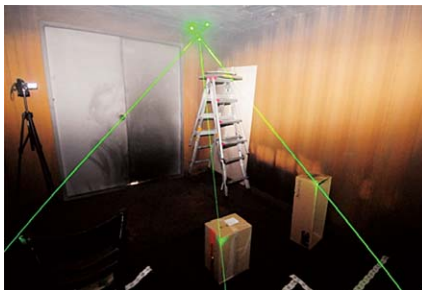
[그림 14] 지면으로부터 50cm 이내의 오차율을 보이고 있다.



[그림 15] 천정 등 상단부에서 발화하였을 때를 가정하여 170cm 높이에서 연소시켜 실험을 하였다.



[그림 16] 상부 화염에 의해 생성된 그림자의 모습



[그림 17] 천정으로 집중되어 화염의 위치에서 집중되고 있는 레이저의 모습



[그림 18] 천정 부위로 집중되었다.

마. 광원으로써의 화염의 특징

화염으로부터 방사되는 광원은 일반적인 조명과 같은 광원에 비하여 다음과 같은 독특한 다른 특성을 가진다.

- 시간경과에 따른 화염의 성장으로 인해 광량이 증가 및 연소부위 확대 및 이동
- 화염의 상승성
- 바람의 영향으로 인해 화염이 기울 수 있다.
- 난류에 의한 화염의 거동

조명 등 일반적인 광원의 경우 시종일관 같은 자리에서 동일한 광량을 제공하지만 화염의 경우에는 다르다. 화염은 시간이 흐름에 따라서 주변의 가연물을 따라서 이동하기 때문에 그림자의 모양이나 방향 또한 발화 초기의 상황과 다르게 변경될 수밖에 없다. 따라서 화염의 이러한 특성을 고려할 때 그림자 분석을 통해 유의미한 발화부의 판단은 발화 초기 상황의 그림자를 분석하는 것이 기본이 되어야 할 것이다.

또한 화염의 상승 특성은 발화부를 판단하는 데에 오류를 제공할 수 있다. 화염은 기상이 연소하는 것이며 화염에 대한 가연물이나 점화원은 화염의 하단부에서 제공되고, 이 지점을 발화점으로 지목해야 하는데 점화 이후 빛을 방사하는 화염은 발화부의 상단부에 존재하게 된다는 점이다. 따라서 그림자를 통해 3차원적인 발화지점을 고려하는 것은 고려 시점에 주된 화염의 위치를 판단하는 방법이라는 점과 정확히 발화지점을 지목하는 것은 아니라는 점을 인식하여야 한다.

5. 실제 화재사례의 적용

2014. 2월경 서울 금천구 독산동에서 발생한 화재사건으로 현장은 대형 냉동창고이며 CCTV는 천정에 설치되어 창고의 출입문을 향해 비추고 있었고, 화재는 동 냉동창고 앞의 화물적재 장소 코너 부위에 위치한 쓰레기통 부위에서 화재가 발생한 것으로 발화 장면은 CCTV 상에서 촬영되지 않은 상태이다.

이 현장은 냉동창고 적재 장소의 한쪽 측면으로 화물 파렛트가 적재되어 있어 가연물 집중에 의해 이곳 중심으로 연소된 간접적인 연소형태가 두드러지게 나타났다. 따라서 연소형태분석을 통해 판단하였던 발화부는 파렛트 부위로 판단할 수밖에 없었으나 차후 CCTV 영상에 촬영된 그림자 분석을 통해서 쓰레기통 부위에서 발화하여 주변으로 확산되었다는 것을 알 수 있다.

[그림 23] 은 그림자를 이용해서 수직으로 서있는 기둥의 지면





[그림 19] 화재현장의 전경



[그림 20] 화재현장의 측면 모습



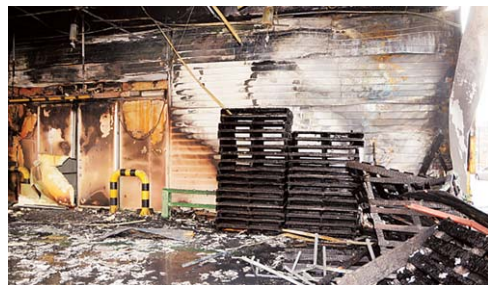
[그림 21] 화재가 발생하기 이전 단계의 모습



[그림 22] 화재가 발생한 이후 단계의 모습



[그림 23] 위 그림자를 토대로 바닥에 인상된 수직 물체의 그림자와 평행하게 연장선을 그린 모습



[그림 24] 쓰레기통 부위에서 촬영한 모습

에 나타난 그림자의 방향을 역추적하는 방법으로 직선을 그린 것이다. 각각의 직선은 각 각도의 차이를 보이며 길게 연장하였다면 일정한 지점에서 상호 교차하게 되는 지점을 확인할 수 있으며, 이 지점이 그림자를 생성한 광원의 위치 즉 화염의 위치로 볼 수 있는데 사진을 통해 발화부로 판단된 지점은 현장감식시에 발화부로 선정되었던 쓰레기통 부위를 정확히 지목하고 있다.

본 사례 영상에서는 카메라의 앵글이나 현장의 조건 상 입체적인 분석을 시행할 만큼 물체나 그림자의 포인트가 충분하지 않은 관계로 지면의 그림자를 분석하는 평면적 분석 방법을 사용하였는데 이것 만으로도 발화부를 판단하는 데에 있어서 큰 도움이 되었다. ㉞