

# 화염 그림자 분석을 통한 최초 발화지점 확인에 관한 연구

이승훈\* · 최민기\*\* · 최돈목\*\*

\*서울지방경찰청 과학수사계 화재폭발조사팀, \*\*가천대학교 소방방재공학과

## A Study on Determination of Fire Origin by Shadow analysis

Seunghun, Lee\* · Minki, Choi\*\* · Donmook, Choi\*\*

\*Div. CSI Seoul Metropolitan Police Agency,

\*\*Dept. Fire & Disaster Protection Engineering Gachon University

### Abstract

This study is about determination of fire origin by using analysis of shadow that was recorded CCTV data at the fire scene. This analysis is based on straight and radiate nature of light. At fire experiment with about 1m flame, we conformed that 2-dimensional extension line is focused at the bottom of the fire. If the fire is burning at the same level with shadow, it indicate the point of origin exactly. In 3-dimensional analysis that connect extensional line between distinctive points the shadow and the objet, the line focused in the  $\emptyset$  50cm-circle. We estimate the reason of that is because of the character of combustion of gases. The line indicate not the point of origin but the flame that is over the point of origin. thus, you have to consider the line indicate the flame when you do 3-dimensional analysis.

**Key words** : Fire investigation, Fire Origin, Shadow analysis, Fire shadow

### 1. 서론

화재조사의 절차는 “현장의 관찰 - 발화부의 판단 - 발굴 - 발화원인 검사 - 가설의 설정 - 검증”으로 크게 구분할 수 있다. 발화부(Fire origin)는 화재가 시작된 방 또는 구역을 말한다.[1] 화재조사 실무적인 의미로서는 화재로 인해 피해가 발생한 전체를 화재부위라 한다면 발화부는 화재가 처음 시작된 곳으로 인정할 수 있는 범위로 한정된 장소를 말하며 이곳에는 발화원인 존재하기 때문에 올바른 발화부를 선정하는 것은 본격적인 발화원인 검사를 시작할 수 있는 기반이 된다.[2] 따라서 이것은 화재조사에 있어서 매우 중요한 업무이며 반대로 만일 잘못된 발화부가 선정되었을 때에는 막대한 조사인력과 시간을 낭비하게 되는 원인이 된다. 또 잘못된 발화부 선정으로 여타부위에서 발굴된 연소 잔

해들을 쌓아놓는 등 함부로 취급된다면 진정한 발화부는 훼손 될 수밖에 없으며 이러한 화재현장은 원인을 밝힐 수 있는 기회를 영원히 잃어버리게 될 수도 있다.

화재조사 분야의 전문가들에게 ‘명확한 발화부 선정의 중요성은 아무리 강조해도 지나칠 수 없다’는 정도로 비중이 높은 업무로 인식되고 있으며 이 분야의 전문가는 “화재현장조사에서 발화지점을 한정하는 것만으로도 조사의 80%는 성공이다”라며 화재현장조사에 있어서 발화부의 판단이 얼마나 비중이 높고 중요한 업무인지를 강조한 바 있다.[3]

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,

† Corresponding Author : Donmook Choi, Dept. Fire & Disaster Protection Engineering Gachon University, 1342 SeongnamDaero, Sujeong-Gu, Seongnam-Si, Gyeonggi-Do, 461-701  
M · P : 010-8966-8744, E-mail: fire@gachon.ac.kr

Received July 15, 2014; Revision Received September 14, 2014; Accepted September 19, 2014.

단순히 관리지배 하에 있는 장소에서 화재가 발생하여 인근 가옥이나 상가에 확산된 경우에도 관리책임을 물어 관리책임자의 손해배상 책임을 인정하고 있는 추세이다.[4] 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 발화부의 판단이 관계자들에게 미치는 영향은 가중되고 있다는 것을 알 수 있다.

본 연구는 화염이 주변으로 빛을 발하며 빛이 사물에 비추었을 때에 그림자가 발생하는데 CCTV의 영상에 화염에 의한 그림자가 촬영되었을 경우 이것을 통해 발화부를 추적하는 방법으로서 증거로서 그림자의 법과학적 가치를 검증하고자 한다. 이는 기존에 구체적으로 연구된 바가 없어 앞으로 화재조사관들이 발화부를 추적할 때 활용할 수 있는 여러 방법들과 더불어 추가적인 근거를 제시해 줄 수 있는 실무적인 연구가 될 것으로 사료된다.

화재현장에서 CCTV의 방향이 직접적으로 발화장면을 비추고 있다면 더 이상 이것을 증명하기 위한 해석이나 별도의 증거가 불필요한 명확한 사실이며 논란의 여지없이 발화부를 확인할 수 있을 것이다. 발화장면이 직접적으로 촬영되지 않았을 경우에는 어려움을 겪게 되는데 단순히 영상의 특정 지점이 밝아지는 경우와 연기의 이동 방향을 관찰하여 해당방향을 화염이 시작된 발화부의 방향으로 판단해 왔던 것이 분석의 전부로 인식되어왔다.

CCTV가 직접적으로 비추고 있지 않은 경우에도 영상에는 많은 정보가 내포되어 있지만 현재까지는 그에 대하여 간과되어 왔으며 법과학적 가치를 충분히 이끌어내지 못하고 ‘발화 모습이 촬영되지 않았다’라며 체념해 왔다. 본 연구는 발화부가 직접적으로 촬영되지 않았더라도 CCTV에 촬영된 그림자를 분석하여 발화부를 추적하는 효과적인 방법과 그 효용성을 확인하여 최종적으로 실무에 적용시키기 위한 목적으로 연구를 진행하였다. 이 연구의 목적은 화재가 발생하면 화염으로부터 방사되는 빛이 어떠한 물체에 가려졌을 때 그림자가 만들어지게 되고, 빛의 직진성을 고려하여 그 그림자를 분석한다면 빛의 방향을 알 수 있다는 점에 착안하여 이를 화재조사에서 빛의 방향, 화염의 방향, 즉 발화부를 추적하는 방법으로 사용할 수 있다는 것을 검증하는 것이다.[5] 이는 화재조사관들에게 보다 폭넓은 발화부 추적 근거를 제시하기 위한 것으로 기존에는 실시하지 않았던 분야인 그림자 분석에 대하여

새로운 방향의 기틀을 다지는 밑거름이 될 수 있을 것으로 사료되며 최근 창고, 상가, 공장, 사무실 등 다양한 장소에 CCTV 설치가 증가되고 있어 이로 인해 화재현장의 발화정보자료에 대한 취득도 용이해 지고 있는 추세이므로 발화부를 판단하는 데에 있어서도 영상자료의 분석에 대한 가치는 지속적으로 증대될 것으로 예상된다.[6]

## 2. 연구의 배경

### 2.1 기존 발화부 추적방법

현행 발화부의 추적 방법은 화재와 관련하여 얻을 수 있는 여러 자료를 통해 가설을 세우고 가설 중 반증(反證)이 없으며 다수의 객관적 정보들을 만족시킬 수 있는 합리적인 가설을 통해 발화부를 판단하게 된다. 화재현장을 분석할 때 이들에게 주어지는 정보는 일일이 거론할 수 없을 정도로 종류가 많을 것이나 현재 주로 사용되어 대표적이라고 말할 수 있는 발화부 추적의 근거가 되는 자료와 방법은 다음과 같은 것들을 예로 들 수 있으며 그 중에서는 전기적 특이점을 통한 발화부 추적 방법이 가장 객관적이며 과학적이라는 평가를 받고 있다.

화재조사관들의 발화부 판단 방법은 다양한 방법 중 위에 열거된 연소패턴의 분석, 전기적 특이점 분석, 목격자 진술을 통한 방법을 복합적으로 사용하고 있으나 각 방법에 대한 한계가 대두되고 있으며, 특정 사건의 분석결과가 충분히 신뢰받을 수 있을 정도의 객관성을 가지기 어렵다는 논지로 이를 반박하기 위한 재현실험과 연구도 수행되고 있다.[7,8] 최근 법정에서 민사 또는 형사적으로 문제가 되고 있는 사안에 있어서 발화부 판단에 대한 견해가 전문가들 사이에서 다툼이 잦은 것도 이와 같은 이유 때문일 것으로 사료된다.

## 3. 이론적 검토

### 3.1 빛과 그림자

본 연구는 빛의 여러 성질 중 본 연구의 대표적인 과학이론은 빛의 직진성과 확산성을 기반으로 하고 있다. 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 때

문에 가려진 곳은 가려지지 않은 부분에 비하여 에너지의 불균형이 발생하고 어두워지는데 이것을 그림자라고 한다. 빛은 직진을 하기 때문에 그림자는 항상 광원의 반대쪽, 즉 물체가 광원을 향하고 있을 때 물체의 뒤쪽으로 생기면서 빛과 그림자는 광원-물체-그림자 순으로 항상 일직선상에 나타난다.



[Figure 1] Captured image of TV program.

그림자를 통해 광원의 위치를 파악하는 이 분석방법은 한때 세간의 흥밋거리가 되었던 달착륙 음모설에서 음모론을 주장하기 위한 논리 중 하나로 사용되기도 하였다. 달에서 촬영하였다는 이 사진의 그림자가 태양에 의한 것이 아니라 가까운 곳에서 비추어진 조명에 의한 것이라고 분석결과를 제시하였지만 NASA에서는 달착륙이 사실이라고 주장하면서도 현재까지도 이에 대한 충분한 설명을 하지 못한 상태이다. 달착륙 음모설을 다룬 저명한 다큐멘터리 TV 프로그램에서는 달착륙 음모설의 증거로서 NASA가 제공한 여러 개의 사진에서 그림자의 방향을 분석한 바가 있다.[9]

태양은 원거리에서 달을 비추고 있기 때문에 태양에 의한 그림자들은 가까운 물체들 사이에 태양광의 입사각이 평행한 것으로 간주할 수 있을 만큼 크게 차이가 나지 않기 때문에 물체와 그림자를 연결한 연장선은 평행한 모습을 나타내야 한다는 점을 근거로 [Figure 1]과 같이 NASA의 사진 중 착륙선 - 착륙선의 그림자, 돌 - 돌의 그림자가 촬영된 사진에서 각 연장선 이 가까운 지점에서 교차될 수 있을 정도의 각도를 보

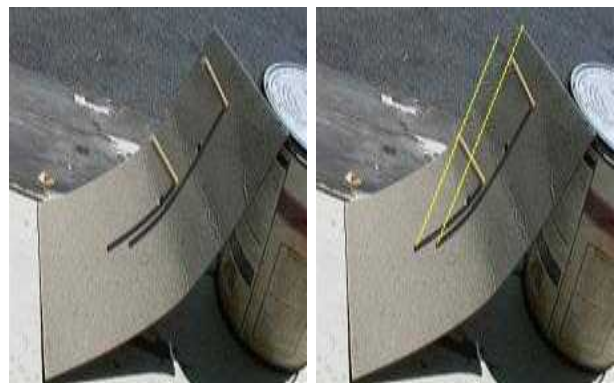
이는 것에 대하여 태양광에 의한 그림자가 아닌 가까운 곳에서 비추어진 광원 즉, 인위적으로 설치된 조명에 의한 것이라며 조작된 세트에서 촬영된 사진이라고 주장하였다.

### 3.2 그림자 분석 가능성에 대한 고찰

본 연구는 일직선상에 나타나는 빛과 그림자의 특성을 이용하여 물체와 그림자를 알고 있을 때 광원의 방향을 추적하는 방법으로 화재현장에서 초기에 촬영된 영상을 통해 광원의 방향 즉 발화부를 판단 것에 대한 연구이다.

그림자는 3차원적인 물체에 입사되는 빛에 의해 윤곽을 따라서 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.

단순한 그림자가 인상된 물체를 그림자는 동일한 물체라고 하여도 그림자가 인상되는 표면의 굴곡이나 경사각 등에 따라서 다양한 크기와 형태로 나타날 수 있다. 그러나 [Figure 2]와 같은 실험을 살펴보면 굴곡이나 경사각에 따라서 그림자의 모습에 외곡이 발생하더라도 특징점을 연결한 선 두 개는 서로 평행하게 태양의 방향을 지목하고 있으므로 표면상태에 따라서 왜곡되는 그림자의 형태는 특징점을 연결하는 방식으로 광원의 위치를 추적하는 데에 있어서 전혀 영향을 미치지 않는다는 점을 확인할 수 있다.

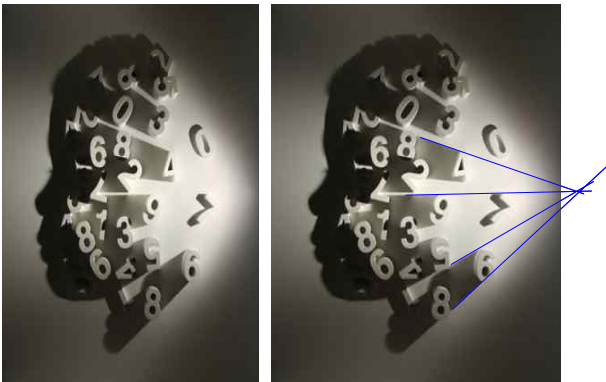


[Figure 2] Shadow and extension line.

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 피사

체의 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 화염의 3차원적 지점을 확인할 수 있다. 입사각 설정의 오차율을 감안한다고 하여도 기존의 발화부 판단방법에 의한 경우 보다 더욱 협소한 지역을 발화부로 설정할 수 있으며 여러 개의 다양한 입사각을 구하여 이들이 교차되는 지점을 광원의 위치로 판단한다면 그만큼 정확도는 높아질 것이다.

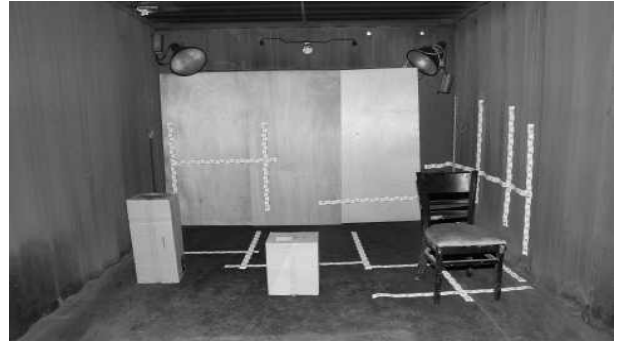


[Figure 3] shadow art and analysis.

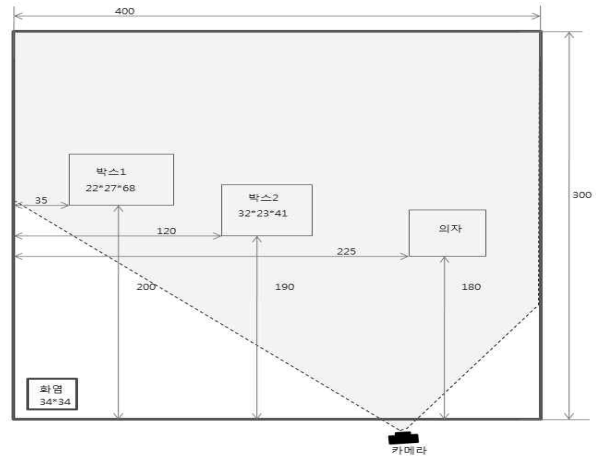
위 [Figure 3]의 예시는 그림자를 분석해서 광원의 입사각을 추적한 것을 나타낸 것이다. Fig. 3은 그림자를 이용해서 예술을 표현하는 shadow art 작품의 하나이다. 작품에 사용된 숫자 4, 6, 9의 길게 늘어선 그림자를 평면적으로 연장하였을 때 각 연장선은 그림자가 인상된 지점으로부터 광원의 방향을 지향하며 모두 1개의 지점에서 교차되는 것을 볼 수 있는데 이것을 통해 사진에 촬영되지 않았지만 그림자를 생성시킨 광원이 존재하는 평면적 지점을 명확히 알 수 있다. 이는 그림자의 평면적 분석의 예시로 볼 수 있으며 만일 그림자의 입체적인 특징점 1개 이상을 연결할 수 있다면 평면적 교차점에서 수직의 선을 그어 입체적 분석선과 만나는 지점을 확인해서 3차원적 공간에서 광원의 위치를 포인트로 지목할 수 있을 것이다.

### 4. 실험 방법

#### 4.1 실험 세트



[Figure 4] Experimental setting.



[Figure 5] Experimental setting.

실험은 [Figure 4]와 같이 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 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 확인하였고, 화염의 수직적 위치판단이 가능한지를 관찰하기 위해 휘발유를 연소시키는 팬의 위치는 바닥과 사다리를 이용하여 170cm 높이에서 각 1회씩 실험을 하였다.

## 5. 결과 및 고찰

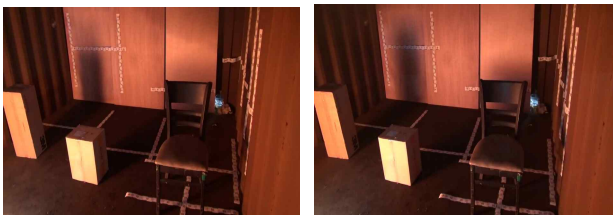
### 5.1 조명과 난류화염의 차이

착화시켰을 때 생성된 화염은 난류로 인하여 길이가 70~120 cm 가량으로 길어지고 짧아지는 반복적인 변화가 있었으며 그에 따라서 물체의 그림자도 영향을 받아 [Figure 6]과 같이 모습이 수시로 변화되는 것을 확인할 수 있었다.



[Figure 6] Flume shape is changing by turbulence.

광원의 방향을 추적할 때 레이저 포인트를 설정할 그림자의 위치는 수시로 변화되는 가운데 본 실험에서는 화염의 높이 변화를 고려하지 않고 무작위로 촬영된 스틸사진의 그림자 위치를 사용하였다.



[Figure 7] Changing shadow by flume.

### 5.2 평면적 분석

바닥에 놓인 팬에서 만들어진 약 1m 가량의 화염에 의해 물체가 그림자를 확인하고 약 5cm 높이의 2개의 박스 그림자의 외곽에서 물체의 외곽으로 각 레이저를 조사하고, 의자의 다리부분에 비친 그림자에서 다리 방향을 향해서 레이저를 조사하였다.



[Figure 8] Setting of laser pointer.



[Figure 9] Focusing laser beam.

### 5.3 입체적 분석

#### 5.3.1 낮은 화염

휘발유가 담긴 팬을 컨테이너의 바닥에 위치시켜 낮은 곳에서 발화된 화염을 묘사하였다. 점화시켰을 때 팬에서 발생한 화염은 준비한 사물들에 빛을 비추며 <Figure 7>과 같이 그림자를 생성하였는데 그림자들은 길게 늘어지며 비교적 거리가 먼 맞은편 벽면에 인상되어 상자의 꼭지점을 확인하기 어려울 정도로 흐려진 그림자가 나타났으며 대략적인 꼭지점의 위치를 포인트로 잡아 연장선을 연결하였다.

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

조사된 레이저의 연장선은 팬의 위치에서 위쪽으로 크게는 약 50cm 범위 내에서 집중되는 모습을 살펴볼 수 있었다. 이는 후레쉬 라이트와 같은 인공조명을 사용하였을 때 정확히 광원을 지목하는 모습과 다른 것을 알 수 있는데 그 이유는 플래시 라이트는 집중된 포인트로부터 방사되는 빛이지만 화염은 기상연소로 인해 연소반응대 전반에 이르는 영역에서 빛이 발생하기 때문이다.[10] 즉, 빛을 발하는 대역이 넓어진 것이기 때문인 것으로 사료된다. 결국 연장선은 촬영된 시점의 연소반응대를 지향하고 있다고 볼 수 있다.



[Figure 10] Each the laser beam focused at the point of flame



<Figure 12> Upper flame



[Figure 11] Each the laser beam focused at the point of flame in 50cm circle

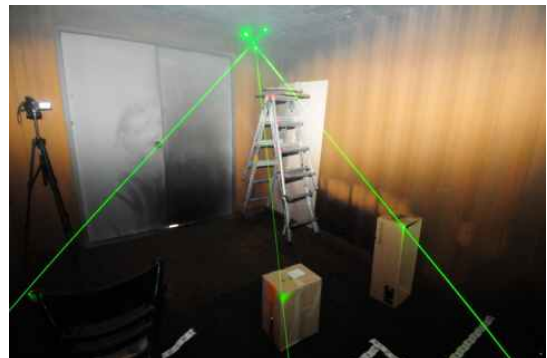


[Figure 13] Upper flame shadow

### 5.3.2 높은 화염

[Figure 12]와 같이 휘발유가 담긴 팬을 사다리를 이용하여 약 170cm 높이에 위치시키고 착화하여 높은 곳에서 발화하였을 때의 상황을 묘사하였다. 점화시켰을 때 팬에서 발생한 화염이 천장 이전의 공간에서 충분히 연소하지 못하고 화염이 길어져 천장과 벽에 부딪혀 천장면을 따라서 수평적으로 퍼지면서 연소하는 형태를 나타냈다. 높은 곳에 위치하며 빛을 발하는 화염은 바닥에 있는 물체에 빛을 조사하며 물체가 놓인 바닥면에 비교적 짧은 그림자를 인상하였고 그림자는 팬을 바닥에 설치하였을 때에 비하여 [Figure 13]과 같이 진하고 선명한 그림자를 생성하였기 때문에 상자의 꼭짓점 등 그림자의 특징점을 확인하는 데에 어려움이 없었다.

레이저를 이용하여 각 상자의 꼭짓점에서 1개소의 자의 등반이 부분에서 1개 총 3개의 연장선을 설치하였으며 레이저를 조사하였을 때 [Figure 14]와 같이 팬보다는 화염이 꺾여 천장을 따라 연소하던 부분을 지목하고 있다.



[Figure 14] Focusing laser beam.

### 5.4 화재사례의 적용

그림자 분석방법에 대하여 실제 적용가능 여부를 확인하기 위해 실제 화재현장에서 발췌한 CCTV 영상을 통해 발화부 추적이 가능한지를 확인해 보았다.

2014년 2월경 서울 금천구 독산동에서 발생한 화재 사건으로 현장은 대형 냉동창고이며 CCTV는 천장에 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.



[Figure 15] Fire scene



[Figure 16] Extension line by shadow analysis

이 현장은 냉동창고 적재 장소의 한쪽 측면으로 화물 파렛트가 적재되어 있어 <Figure 15>와 같이 가연물 집중에 의해 이곳 중심으로 연소된 간접적인 연소 형태가 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.

CCTV 동영상에는 화재발생이전의 영상도 함께 기록되어 있는데, 화재가 발생하는 순간 그림자의 변화를 살펴보면 기존의 조명에 의한 그림자 인지가 발생하면서 새롭게 생성된 그림자 인지를 어렵지 않게 확인할 수 있다. <Figure 15>사진은 화염이 발생한 이후에 화염으로 인해 모양과 방향이 바뀐 것 즉 화염에 의한 그림자로 판단할 수 있는 장면의 프레임을 사용한 것이다.

프레임에 나와 있는 그림자를 이용해서 수직으로 서 있는 기둥의 지면에 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 위치

로 볼 수 있는데 사진을 통해 발화부로 판단된 지점은 현장감각시에 발화부로 선정되었던 쓰레기통 부위를 정확히 지목하고 있다.

본 사례 영상에서는 카메라의 앵글이나 현장의 조건상 입체적인 분석을 시행할 만큼 물체나 그림자의 포인트가 충분하지 않은 관계로 지면의 그림자를 분석하는 평면적 분석 방법을 사용하였는데 이것만으로도 발화부의 평면적 위치를 판단하는 데에 있어서 절대적인 역할을 하였다.

## 6. 고찰

진술에 의한 발화부 추적, 전기적 특이점을 통한 발화부 추적, 화재패턴 분석을 통한 발화부에 대한 판단은 경우에 따라서 또 다른 해석논리에 의해서 격파될 수 있으며 각 단독적으로는 절대적일 수 없다. 현행 화재조사관들은 이런 취약한 점에 대하여 염두하고 가용할 수 있는 모든 방법을 활용하고, 또한 각 방법을 동시에 활용하여 가장 현장의 상황과 가장 부합하는 가설을 선택하고 있다.[11] 발화부 판단의 방법으로써 CCTV 그림자 분석의 장점으로 다음과 같은 장점을 들 수 있다.

1. 별도의 해석이 필요치 않으며 객관적 입증이 가능하다.

CCTV에 의한 촬영은 기계적인 방법을 통하여 이루어져서 정확성과 현장성을 담보할 수가 있어 촬영 이후에 인위적인 가공이 없다면 유력한 물적 증거로 인정될 수 있다.[12] 즉 촬영된 그림자의 모습을 사실로 인정하는 것에 대하여는 논란의 여지가 없다. 또한 이 방법은 별도의 해석을 필요로 하지 않으며, 그대로 인정할 수 있기 때문에 기존의 방법에 비하여 객관적이라고 평가할 수 있다.[13] 녹화된 영상 기록 내용은 사실로 인정되기 때문에 해석에 있어서 다소 주관적이라는 평가를 받으며 오류 가능성이 존재하는 기존의 발화부를 추적하는 방법의 근거가 되는 화재패턴, 전기적 특이점, 진술 등과 부합하지 않을 경우에도 우선적으로 객관성을 인정받을 수 있는 자료가 된다.

2. 더욱 협소한 지역을 지목

그림자 분석은 멀티 포인트를 분석하여 다양한 입사각이 교차하는 지점을 광원의 방향으로 확인할 수 있어 기존의 화재패턴의 분석이나 전기적 특이점의 해석을 통한 발화부 추적 방법에 비하여 더욱 협소한 지역을 발화부로 선정하여 조사범위를 축소할 수 있기 때문에 화재조사에 소요되는 노동력이나 시간을 절약할 수 있다.

### 3. 재현이 용이하다.

고가의 비용을 투자하여 구획실의 모양이나 내부 가연물을 유사하게 설정하고 발화시키는 경우에도 당시의 온도, 습도, 풍향 등 다양한 원인에 의해 크게 영향을 받을 수 있으며 화재의 양상은 크게 달라질 수 있고, 거액의 실험 세트는 단 1회의 화재실험으로 모두 소실되므로 여러 각도의 실험을 하는 것은 사실 상 불가능하다.

FDS 등 컴퓨터 시뮬레이션으로 화재상황을 재현하는 경우 시뮬레이션 프로그램 자체가 실제 화재현장을 충분히 묘사하지 못하는 태생적인 한계가 존재하며 시뮬레이션에 필요한 다양한 가연물과 건축재료의 물성을 확인하기 위해서도 거액의 비용이 소요된다. 화재 상황 전체를 시뮬레이션 하기 위해서 고려되어야 하는 요소들의 정확한 변수를 입력하는 것은 사실 상 불가능하다는 평가를 받고 있으며, 대략적으로 중요하다고 인정되는 제한적인 변수들만을 입력하여 코딩되는 경우가 많다. 실제 화재를 재현하는 측정에서 비정확도가 30%에 이른다고 보고되었다.[14]

이에 비하여 그림자 분석을 통한 발화부 추적방법은 단순히 빛의 직진성에 의한 그림자의 위치를 확인하는 것이므로 실제 화재현장을 축소하여 만들어 사용하였을 때에도 차이가 발생하지 않는다. 또한 빛의 각도만을 확인하는 것이므로 여러 장소를 발화부로 가정하고 확인하는 동일한 실험을 수차례에 걸쳐서 진행할 수 있다. 또 컴퓨터 시뮬레이션과 비교하였을 때에도 단순히 3차원 모델링만 가능하다면 재료의 물성치 등을 입력할 필요가 없기 때문에 그에 소요되는 시간과 비용을 현저히 절약할 수 있고 물성치 입력에 의한 것이 아니라 단순히 빛의 각도를 확인하는 것이므로 컴퓨터 작업에 의한 경우에도 논란이 발생할 확률은 현저히 낮다.

## 7. 결 론

이 논문에서 연구하였던 그림자 분석을 통한 발화부 위 추적 방법은 빛의 직진과 확산의 성질을 기반으로 하는 분석방법으로 CCTV에 촬영된 그림자의 특징점들을 잇는 선들을 연장해서 광원의 방향 즉 발화부위의 방향을 알아내고, 연장선들이 교차하는 지점을 발화부위로 결정하는 방법으로 실험을 실시하고, 실제 화재현장이 촬영된 4건의 CCTV 기록을 분석하였을 때 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 화염의 그림자 분석 중 평면적 그림자 분석법은 화염의 평면적 위치를 정확히 판단할 수 있다.

2. 입체적 분석법은 높이 1미터 가량의 화염이 낮은 곳에서 발생하였을 때 연소중인 화염의 중심부에서 약

50cm 범위로 집중되는 교차점을 확인할 수 있다.

3. 높은 곳에서 발생한 화염과 낮은 곳에서 발생한 화염을 구분할 수 있으며, 각 실험에서 화염의 위치를 판단하는 데에 문제가 발생하지 않았다.

4. 그림자 분석에 의한 판단은 연장선이 발화부위의 위로 쏠는 화염을 향한다. 즉 연장선의 교차 지점 아래 부분에 발화부위가 존재한다는 점을 고려해야 한다.

5. 그림자 분석은 화염의 기상연소로 인한 상승성, 바람에 의한 휨, 천장과의 충돌로 인한 꺾임 등으로 인하여 일부 오차가 발생할 수 있으나 기존의 방법에 비하여, 정확도가 높고, 더욱 좁은 범위를 발화부위로 설정할 수 있기 때문에 시간과 노동력 측면에서 경제적인 화재조사를 실시할 수 있도록 할 것이다.

6. 물체와 인상면의 거리가 길어지면 그림자는 명확한 특징점을 확인하기 어려울 만큼 흐려질 수 있으며, 이 경우 잘못된 특징점을 선정은 연장선의 각도는 범위를 크게 벗어날 수 있다. 따라서 선명한 그림자를 우선적으로 선별해 사용하며 흐려진 그림자에서 함부로 특징점을 선정하는 것은 지양해야 할 것이다.

이 분석방법에 기반이 되는 빛의 직진성에 대한 원리는 매우 간단하며 이미 여러 법과학 분야에서 활용되어 왔던 점을 고려하더라도 논란의 여지가 없다. 또 이 방법을 사용하기위해서 별도의 복잡한 과학적 지식을 요구하지 않기 때문에 현장에서의 활용도가 높을 것으로 사료된다.

기존의 발화부 추적 방법 비하여 별도의 해석이 불필요하며 조사관의 주관이 포함될 여지가 없으므로 보다 객관적이다. 기존의 방법을 통한 발화부위 판단이 이 방법에 의한 발화부위 판단과 충돌할 경우 우선적인 가치를 인정받을 수 있을 것으로 사료된다.

## 8. References

- [1] NFPA 921, (2008), Fire and Explosion Investigation, 3.3.9 Fire Origin., National Fire Protection Association, p 11.
- [2] Seungbok, Choi, (2010), A Study on Electric Fire Risk of the Traditional Markets and Fire Investigation Techniques, Gachon University, p 37.
- [3] Namgyu, Park, (2014), January, Susayungu magazine, p 22.
- [4] 실화책임에 관한 법률, (2005. 5. 8. 개정), 제1조, 법률 제 9648호.
- [5] Ostdiek, Bord, (2012), Physics 1st edition, Books heel, p278.



- [6] Seoul Metropolitan homepage, (searched at 2014. 5. 5.) <http://seoul.go.kr>.
- [7] Sanderson, J., 1999 "Arc mapping may provide valuable clues of fire's origin." Fire Findings, Spring Vol. 7, Number 2, p12- p13.
- [8] NFPA 921, Guide for Fire and Explosion Investigations, (2008), 17.1 Origin Determination, Introduction, National Fire Protection Association.
- [9] Fox TV, (2001). Did we land on the moon?. Q channel, 15 Feb.
- [10] John, Dehaan, (2007), Kirk's Fire Investigation 6th edition, Pearson Education Inc. p 24.
- [11] NFPA 921, Guide for Fire and Explosion Investigations, (2008), 17.1 Origin Determination, Introduction, National Fire Protection Association
- [12] Bonghan, Lee, Hojung, Park, Jinsung, Jung, (2013), Analysis on Effectiveness of Crime prevention CCTV, Daijun Univ. p 27.
- [13] Seunghun, Lee, (2012), Practice & theory of Fire Investigation 2th edition, Donghwa press, p 24, 93.
- [14] John, Dehaan, (2007), Kirk's Fire Investigation 6th edition, Pearson Education Inc. p 645.

## 저 자 소 개

### 이 승 훈



가천대학교에서 소방방재공학과 석사학위를 취득하였고 서울지방경찰청 과학수사계 화재폭발 조사팀에서 원인조사 전문가로 근무 중이다. 화재조사이론과 실무, 화재과학 등을 집필하였으며 관심분야는 화재 및 폭발 현상 및 감식기법 연구 등이다.

주소 : 서울시 종로구 내자동 사직로 8길 31 서울지방경찰청 과학수사계 화재·폭발 조사팀

### 최 돈 목



충남대학교에서 학사, 석사, 박사를 취득하였고 일본 동경공업대학교 미국 버지니아공과대학교에서 연구책임교수로 연구 및 교육활동을 하였다. 현재는 가천대학교 소방방재공학과에서 교수로 재직중 이다. 관심분야는 화재조사(감식 및 감정), 위험물 안전관리 및 소화약제의 소화성능 등이다.

주소 : 경기도 성남시 수정구 성남대로 1342 가천대학교 공과대학 설비플랜트·소방방재공학과

### 최 민 기



가천대학교에서 소방방재공학과 석사학위를 취득하였다. 관심분야는 화재조사(감식 및 감정), 화학물질의 안전관리, 방화화재 감식기법 연구 등이다.

주소 : 경기도 성남시 수정구 성남대로 1342 가천대학교 공과대학 설비플랜트·소방방재공학과