

# 폭발사고 조사 Investigation of Explosions

국방부 과학수사연구소 임 봉 환

## 1. 폭발의 유형

폭발은 물질이 급속한 화학적 반응 또는 물리적 작용에 의해 급격히 체적이 불어나고 파열하는 급속한 연소의 한 형태이다. 폭발의 유형에는 물리적폭발, 화학적폭발, 핵폭발이 있다.

물리적 폭발은 증기 보일러나 가마솥의 압력 증가로 인한 폭발과 같이 폭발의 원인이 물질의 상태 변화에 따른 체적 증가로 용기가 팽창되면서 폭발되는 현상을 물리적 폭발이라 한다.

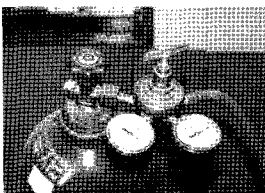
물이 수증기로 변하는 것과 공기가 열을 받아 분자 운동이 활발해져 체적이 증가하는 것과 같이 외부에서 공급해준 에너지의 증가에 따라 물질의 상태가 바뀌거나 운동이 활발해지면서 용기가 팽창, 파열되면서 폭발을 일으키는 현상이다.

화학적폭발은 누출된 가스가 폭발한다든지 각종 화약류가 폭발하는 것과 같이 가연물 자체가 불씨나 충격등에 의하여 화학반응을 일으켜 열과 압력을 동반하는 폭발의 대표적인 유형이다.

핵폭발은 원자핵의 분열이나 원자핵의 융합에 의하여 나타나는데, 원자력 발전과 원자폭탄은 핵분열을 이용한 것이고, 태양이 작렬하며 타는 것과 수소폭탄은 핵융합 반응에 의한 폭발이다.

### [물리적 폭발 사고예]

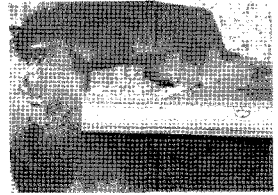
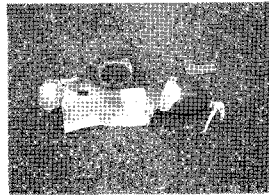
소화기에 이산화탄소를 주입하던중 소화기가 폭발하면서 중상을 입은 사건으로 이와 같이 외부에서 가해준 압력을 견디지 못하고 폭발하는 경우가 물리적 폭발임.



[정상적인 가스통]



[사고 당시 가스통]



[폭발된 소화기와 파편]

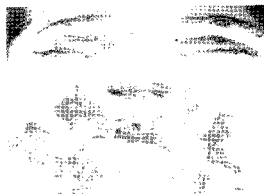
모든 가스통은 좌측 가스통과 같이 감압기(레귤레이터)를 붙여 사용토록 되어 있으나, 우측의 사고 가스통에는 감압기가 없는 상태로 가스 충전시 가스통의 압력이 그대로 소화기에 전달되어 폭발한 사고이다.

### [화학적 폭발사고 예]

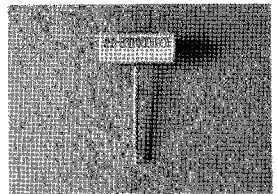
부상자의 진술에 의하면 숙소에 인적불상자가 침입하여 각목으로 얼굴을 가격한후 도주하였다고 주장하는 사건이었던 바, 부상자의 부상 부위를 면밀히 관찰한 결과 입속에 검은 그을음(매연)과 열에 데인 흔적(소운)이 있는 것을 수상히 여겨 사고 숙소를 면밀히 관찰할시 폭음통 파편을 회수하였다.

고체 폭발이든 가스 폭발이든 화학적 폭발은 고온의 열을 동반하기 때문에 열에 의한 손상 유무를 면밀히 관찰하면 화학적 폭발인지 여부를 확인 할 수 있다.

이 경우 폭음통을 입에 물고 담배피우는 흉내를 내다가 폭음통이 폭발하여 중상을 입은 사건이다.



[부상자의 사진]



[폭음통]

※ 폭음통 : 비행장등과 같이 조류의 피해지역에서 조류를 몰아내기 위하여 터트리는 것으로 딱딱한 종이에 화약을 넣어 만든 것으로 폭발시 큰소리가 나도록 만든 화약통.



[폭음통의 위력을 확인하기 위한 돼지머리 실험]

폭음통을 입술에 물린 경우(중앙 사진)와 입안에 물린 경우(우측 사진) 모두 매연과 소음(화상흔)이 나타나고 있다. 입술에 물린 경우는 입술과 이빨 부위만 손상을 입었고, 입안에 물린 경우는 입안이 심한 손상을 입는 것을 볼수 있었다.

## 2. 폭발의 효과

### 가. 폭풍효과

폭풍효과에는 1차 폭풍으로 불리는 양의압력과 2차 폭풍으로 일컬어지는 음의 압력으로 나누어 생각 할 수 있다. 먼저 양의 압력을 살펴보면, 폭발하는 순간 팽창된 체적이 폭풍을 형성하여 폭발지점을 중심으로 사방으로 퍼져나가면서 주위의 물건들을 폭발지점과 반대방향으로 쓰러트리거나 날려보내게 되는데, 양의 압력파는 그 힘이 없어질 때까지 계속 바깥쪽으로 퍼져 나간다.

폭발 순간에 형성된 양의 압력파는 그 주변 공기를 폭발 지점 반대방향으로 밀어내게 되고, 이렇게 주변공기를 바깥쪽으로 밀어 내게되면 폭발지점의 주위에 넓은 진공 상태의 공간이 형성되게 된다.

이렇게 형성된 폭발 중심의 진공 상태는 원래의 대기압으로 되돌아 올려는 힘이 생기게 되며 폭발 중심에서 밀려 나갔던 공기를 끌어 들여 진공을 메우게 된다. 이러한 반작용과 공기의 역류현상을 음의 압력 혹은 흡입 위상이라 한다.

음의 압력은 양의 압력보다 그 위력은 덜하나 양의 압력으로 부서진 구조물에 재차 충격을 주어 구조물이 더욱 심하게 부서지게 하거나 1차 폭풍과는 반대 방향인 폭발 지점쪽으로 구조물들이 넘어지게 한다.

그러므로 현장 조사자들은 1차에 의한 파괴인지 2차에 의한 파괴인지를 세밀히 관찰 구분하여 폭발지점을 결정하는데 착오가 없도록 해야할 것이다.

### 나. 파편효과

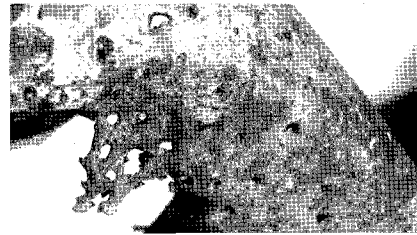
폭발 순간에 형성된 압력파는 그 주변 공기를 폭발지점 반대방향으로 밀어내며 주변 구조물들을 파편화 시켜 다른 구조물을 파괴하거나 인명을 살상하게 된다.

또한 수류탄과 같은 군용 폭발물이나 가스통의 폭발과 같이 용기에 담겨져 있던 상태에서 폭발한 경우 폭발물

질을 감싸고 있던 용기가 파편화되면서 사방으로 파편이 비산되면서 다른 구조물을 파괴하거나 인명을 살상하기도 한다.

이런 경우 폭발의 중심은 용기 내부이기 때문에 파편화된 용기는 사방으로 비산되게 된다.

만약 비산된 파편이 없다면 가스, 다이너 마이트, TNT, 콤포지션과 같이 파편이 없는 물질에 의한 폭발인지를 확인하여야 하며, 가스와 달리 다이너 마이트, TNT, 콤포지션과 같은 고체 폭발물은 국부적으로 굉장히 큰 위력을 발휘하기 때문에 땅이 움푹 패인다. 다른 곳과 비교하여 엄청난 압력을 받은 흔적이 있다면 고체 폭발물에 의한 폭발은 아닌지 의심해 볼 필요가 있다.



[폭발 현장에서 수거한 철재판]

철재 표면을 보면 사진상 앞쪽에서 뒤쪽으로 타격받아 생긴 구멍과 파인부분을 볼수 있다. 이는 철재의 앞쪽에서 폭발하였고, 파편이 다량 동반되는 폭발물에 의한 폭발이다.

### 다. 열효과

증기 보일러나 가마솥의 압력 증가로 인한 폭발은 화학적인 연소 반응을 일으키지 않는 물리적인 폭발이기 때문에 외부에서 가해진 열보다 온도가 높게되는 일은 있을 수 없다. 폭발사고로 화재가 발생하거나 혹은 폭발현장에 강한 열의 작용 흔적이 있다면 일단은 화학적인 폭발, 즉 연소에 의한 폭발로 생각하여야 한다.

폭발현장에서 화재나 혹은 열을 받아 구조물이 변형되었거나 사람의 피복등에 열을 받은 흔적등이 있다면 화학적인 폭발로 보아야 한다.

하나의 사례를 보자. 휴발유 드럼통에 공기를 불어넣던 중 드럼통이 압력을 이기지 못하여 폭발하였다. 이 폭발로 인하여 옆에 있던 사람이 죽었다며 감정 의뢰한 일이 있었다.

만약 외부에서 가해진 압력을 이기지 못한 드럼통의 파열이라면 물리적 폭발인데, 과연 외부에서 불어넣은 공기의 압력을 이기지 못한 드럼통이 파열하여 사람을 죽일 수 있겠는가 라는 의심이 가서 죽은 사람의 피복을 확인해 보라고 하여 확인한 결과, 피복이 열에 의하여 부분

적으로 타고 늘어 붙어 있다고 하였다.

만약 이런 경우 물리적인 폭발이라면 폭발 현장에서 폭발로 인하여 사망한 사람의 피부에 강한 열을 받은 흔적을 어떻게 설명할 수 있겠는가.

이는 보나마나 물리적인 폭발이 아니라 드럼통속에 불씨를 접근시켜 폭발한 경우가 아니겠는가. 이는 화학적 폭발 다시 말하면 연소에 의한 폭발이며 사망자의 피부뿐만 아니라 드럼통 내부에도 열을 받은 흔적이 있을 것이므로 파편화된 드럼통 내부도 세밀히 관찰하는 것을 잊어서는 안 된다.

일반적으로 가정에서 사용하는 가스통이 폭발하였다면 가스통 속에 산소를 주입하지 않는 한 가스 자체만으로는 연소할 수 없다. 만약 가스통이 폭발하였다면 외부의 충격이나 화재 당시 열에 의한 폭발을 생각하여야한다.

즉 처음 폭발은 외부의 열에 의하여 분자 운동이 활발해진 가스통이 압력을 견디지 못하고 폭발한 것이므로 물리적인 폭발이다. 이 물리적인 폭발로 가스가 분출되어 2차적으로 가스가 폭발하는 것이다. 그러므로 이 경우 폭발이 화재의 원인이 아니라 화재가 폭발의 원인인 셈이다. 화재와 폭발의 전후 관계를 살피는 것은 뒤의 폭발부 결정편에서 자세히 설명하겠다.

### 3. 폭발물의 상태

#### 가. 기체

일상 생활에서 일어나기 쉬운 대부분의 폭발은 LNG와 LPG로 대변되는 가스 폭발이다

LNG와 LPG는 자체의 산소를 함유하고 있지 않기 때문에 순수한 LNG나 LPG 상태에서는 폭발이 일어나지 않으며 흔히 말하는 폭발범위내에 존재하여야만 폭발할 수가 있다.

다시 말하면 가스와 산소가 서로 적당한 농도 비로 존재할 때에만 폭발을 일으킬 수 있는 조건이 된다는 뜻이다. 현장 감식자가 잊어서는 안될 부분은 폭발한 장소 전체가 균일하게 폭발범위의 가스농도를 가져야만 폭발한다는 의미가 아니라 국부적으로 폭발범위에 들어가지만 하면 그 곳에서 폭발이 일어 날수 있음을 알아야한다.

흔히 삼겹살을 구워 먹을 때 휴대용 가스렌지에 점화가 안돼 몇번을 점화 시도하다가 어느 점화되는 순간 딱하는 소리가 나며 점화되는 것을 볼 수가 있는데, 이는 몇차례의 점화 시도 과정에서 국부적으로 가스가 누출되어 폭발범위내에 존재하는 상태가 되어 있었다는 것을 말해준다.

얼마전 북파공작원이 가스통에 불을 붙여 시위하는 장면을 TV를 통해보았는데, 진압하던 경찰이 가스통이 폭

발할까봐 겁나서 인지 접근하지 못하는 장면을 볼 수가 있었다. 가스통에 불이 붙는 것은 분출되는 가스가 공기와 접촉하기 때문에 불이 붙는 것이지, 공기가 전혀 없는 가스통속으로 불이 들어 갈 수가 없는 것이다.

산소가 없기 때문에 통속으로 불이 들어 갈 수 없다면 폭발도 불가능한 것이다.

불이 역류해 들어가 폭발할 수가 없으므로 접근해서 록크를 잠그면 그만인 것이다.

외부의 화염에 의해서 가스통이 달구어져 가스통 안에 들어 있던 가스가 팽창하여 폭발할 수는 있겠으나 이 폭발은 앞에서 말한 화학적 폭발이 아닌 물리적 폭발이기 때문에 가스 폭발과 다른 차원인 것이다.

#### 나. 액체

액체 폭발물은 화학공장에서 화공약품과 같이 특이한 경우의 폭발을 들 수 있다. 니트로글리세린과 같이 폭약을 만들 때 들어가는 화공약품은 외부에서 충격을 주면 폭발하는데 이와 같이 일상적으로 접하는 폭발물의 형태가 아니므로 자세히 설명하지 않겠다.

#### 다. 고체

고체폭발물은 주로 군에서 사용하는 수류탄, 지뢰, 각종 고폭탄등이 이에 속한다. 고체 폭발물로 사용되는 화약류는 다이내마이트, TNT, 폼포지션등이 있다.

대부분 고체 폭발물은 자체에 산소를 함유하고 있기 때문에 주변에 산소가 있건 없건 폭발을 일으킬 수가 있다. 폭발 현장에서 고체 폭발물이 폭발한 경우 폭발의 중심이 어느 부위인지를 정확히 파악하는 일은 무엇보다 중요하다.

대부분 고체 폭발물은 폭발물 자체에 파편을 함유하고 있기 때문에 파편의 비산각도와 거리등을 면밀히 살피면 폭발의 중심을 확인할 수가 있다. 벽이나 다른 구조물에 혹은 바닥에 박힌 파편들의 타격 방향을 입체적으로 생각하면서 조사하면 폭발의 위치가 바닥인지 아니면 바닥 위쪽인지를 확인할 수 있다.

고체 폭발물인 경우 바다에서 폭발했는지 아니면 바다 위쪽에서 폭발했는지의 확인은 사람의 행위가 어떻게 연관되어져 폭발했는지를 확인하는 단서가 된다.

고체 폭발물은 일정한 체적을 가지고 있기 때문에 폭발점을 정확히 파악할 수 있으며 이 고체 폭발물은 무게가 있기 때문에 공중에 띄워 폭발시키기 위해서는 누군가가 들고 있거나 아니면 실에 매달아 공중에 띄운 상태에서 폭발시켜야 가능하다.

자살하기 위해서 혹은 부주의해서 손에 쥐고 있을 때 폭발하는 경우와 같이 몇몇의 특이한 경우를 빼면 대부분

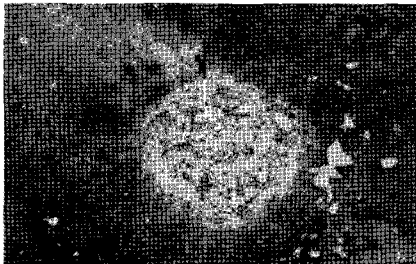
바닥에서 폭발하게 된다.

이때 바닥에서 폭발하였다면 폭발의 위력의 경중에 따라 다소 차이는 있겠지만 대부분 바닥이 깨이거나 콘크리트 바닥과 같이 단단한 경우 금이 가거나 파괴되기 때문에 바닥을 면밀히 살펴보면 폭발점을 찾을 수 있고 또한 폭발점의 바닥 손상 정도를 보면 폭발물의 파괴력을 알 수 있다.



[화장실에서 수류탄이 폭발한 현장]

수류탄이 폭발하여 1명이 사망한 사건으로 폭발 지점은 폭발에 의한 그을음 및 파편의 비산흔적등으로 보아 사진의 가운데 부분, 소변기의 상단부분으로 지면에서 위로 올라온 상태에서 폭발하였다.



[시멘트 바닥에서 폭발한 경우]

바닥에서 폭발한 경우로서 폭발 중심부 시멘트 바닥이 움푹 패어있는 모습을 볼수 있다. 이와 같이 고체 폭발물은 폭발의 중심이 한 점으로 표시할수 있을 정도로 범위가 비교적 작은 대신 국부적으로 굉장한 위력을 나타내는 특징이 있다.

#### 4. 폭발부의 결정

폭발은 압력과 열 및 파편이 폭발 중심부로부터 사방으로 퍼져 나가기 때문에 구조물들이 밀려 나간 상황을 파악하면 폭발 중심을 찾는 일은 그리 어려운 일이 아니다. 특히 폭발의 중심은 대단한 압력이 작용하기 때문에 날라갈수 있는 구조물이나 집기류등이 날아가고 폭발 중심 바닥에 있던 것들도 사방으로 밀려나 폭발 중심은 깨끗

한 상태로 남아 있는 경우가 많다.

폭발중심의 바닥이 움푹 패인 흔적이 있으면 고체 폭발물이나 일정한 체적을 가지고 있는 용기가 폭발한 것으로 보아야 한다.

이런 경우 용기가 사방으로 파편화돼서 날아가기 때문에 멀리 떨어진 곳까지 조사하여 멀리 비산되어 날아간 파편 모두를 회수하는 일이 중요하다.

파편이 비산된 거리 및 방향등도 정확히 입증할 수 있도록 해야한다.

만약 폭발물로 의심되는 파편이 사방으로 비산되었다면 폭발의 중심은 비산된 파편용기의 내부에서 일어났음을 증명하는 것이 되겠다. 만약 파편이 한쪽 방향으로만 비산되었다면 건축물이나 주위의 구조로 보아 그럴 수밖에 없는 상황인지 여부에 대해서도 정확한 조사가 이루어져 입증 할 수 있어야한다.

만일 주위 구조물에 영향을 받지 않았는데도 한쪽 방향으로만 파편이 비산되었다면 폭발의 중심은 폭발물 내부가 아니라 바로 옆에서 다른 폭발이 일어났고, 그 폭발의 압력으로 밀려 날아간 것은 아닌지 자세히 관찰 할 필요가 있다.

또한 파편 조각들을 자세히 살펴보면 내부에서 압력을 받은 것인지 외부에서 받은 것인지 즉 타격방향이 어느 쪽으로 작용했는지를 확인 해야한다.

다음으로는 파편의 열반은 쪽이 내부인지 또는 외부인지를 파악하여야 하며, 열반은 쪽이 내부이든 외부이든 간에 전체적으로 어떤 부위가 제일 열을 많이 받았는지를 폭발전의 형태 및 위치를 고려하여 파악한 후 이 열반은 흔적들이 화재에 의한 수열흔적은 아닌지 세밀한 관찰이 요구된다.

만약 건물 내부에서 일어난 가스 폭발 사고라면 그 건물에서 제일 취약한 부분이 폭발의 압력으로 밖으로 비산되어 날라 갔을 것이며, 이 부분은 아마도 창문이나 창문의 유리파편정도가 되지 않겠는가?. 이런 파편들이 밖으로 비산되지 않고 건물 밑으로 쏟아졌다면 일단 폭발은 아닌 것으로 보아야한다.

화재와 폭발이 같이 일어 나는 경우도 비일비재한데 이 경우 화재가 먼저지 아니면 폭발이 먼저지를 다루는 사고현장도 있을 것이다.

이 경우는 화재현장으로부터 멀리 떨어진 장소 즉, 화재의 영향을 받지 않는 장소로 날아간 집기류 및 구조물의 잔해들이 화재로 인하여 그을음이 부착되었거나 탄 흔적은 없는가를 살펴보면 알 수 있다.

폭발이 먼저 일어 났다면 비산된 파편에는 그을음이나 탄흔적이 없을 것이기 때문이다.

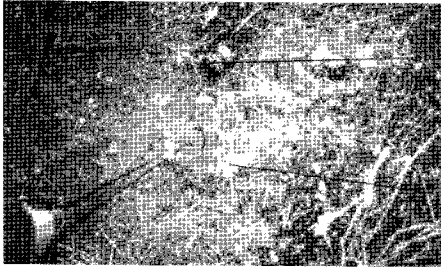
반대로 타다만 나뭇조각, 불에 그을린 구조물 파편, 집기

류등이 있으면 화재로 인한 폭발을 생각 할 수 있다. 비산된 파편들로부터 화재에 의한 그을음이나 탄 흔적등의 부착 여부를 확인함으로써 화재와 폭발중 어느 것이 선행되었는지, 즉 화재에 의한 폭발인지 아니면 폭발에 의한 화재인지를 파악 할 수 있다.



[바닥에서 수류탄이 폭발된 경우]

바닥의 시멘트가 파괴되었고 구조물들이 사방으로 밀려나 있다. 지환통과 안전 손잡이가 폭발 현장에 없고 바닥에서 폭발한 것으로 보아 누군가가 안전핀과 안전손잡이를 제거한후 던진 것으로 생각된다.



[지상에서 수류탄이 폭발된 경우]

폭발점 바깥쪽으로 잡목들이 밀려 나가 있고, 지면의 땅이 패이지 않은 것으로 보아 땅에서 위로 들어 올려진 상태에서 폭발한 것이다. 주변에 지환통과 수류탄 안전 손잡이가 있는 것으로 보아 자살한 것으로 생각된다.

### 5. 폭발원의 결정

폭발은 일반 화재와 같이 연소의 한 부분일 뿐이며 다만 시간적으로 급격한 연소의 한 형태이다. 보통 가연물과 불씨의 접촉으로 인한 재해를 화재라고 할 수 있다면 폭발 역시 가연물과 불씨의 접촉으로 설명할 수 있다. 다만 여러 가연물 중에 물리적 특성상 급격한 연소의 특징을 띠는 가연물을 폭발물이라 부르는 것 뿐이다. 폭발원인의 결정도 화재 원인의 결정과 마찬가지로 폭발물(가스)과 불씨가 어떻게 결합하여 폭발로 진전되었는

가를 확인하는 일로 폭발의 원인을 결정하게 된다. 폭발은 가스가 누출된 장소라면 어떠한 불씨든 접촉하기만 하면 폭발되기 때문에 어떻게 가연물인 가스를 관리하느냐에 따라 폭발의 유무가 달려 있다 하겠다. 가스폭발은 대부분 불씨가 원인이 아니라 어떻게 그 장소에 가스가 누출되었는가가 폭발의 원인이 될 수 있다. 그렇기 때문에 폭발공간 내부에 가스관이나 가스레인지 등 가스관련 시설에 어떤 결함이 있는지를 밝히는 일이 가스사고의 원인을 밝히는 일이라 할수 있다. 또한 폭발성 가연물을 다루는 화학공장등에서의 폭발사고는 한번 폭발 사고가 발생하였다 하면 규모와 크기가 엄청날뿐더러 또한 재산 손실이 막대한 경우가 종종 있다.

폭발조사에 경험이 풍부하지 못한 조사관들은 폭발의 규모가 워낙 방대하여 어디부터 조사해야 될지 망설여지는 경우가 있다.

그러나 아무리 규모가 크고 방대하다고 하더라도 조그만 한 폭발사고와 달리 무슨 특별한 방법이 있는 것은 아니다. 앞에서 설명한 바와 같이 폭풍에 의하여 날아간 중심부, 파편의 방향, 지면의 패인 정도등 앞에서 설명한 폭발부의 결정과 같이 폭발 중심부를 확인하면된다. 확인된 폭발 중심부서 어떤 작업이나 공정이 이루어졌는지를 살피면 규모가 크다고 폭발 원인 조사가 특별히 어려울 것은 없다. 이런 폭발도 연소의 한 종류일뿐이며 이 연소의 3요소, 즉 불씨(열), 가연물, 산소(공기)를 제대로 제어하지 못한 결과가 아니겠는가?

특히 이런 공장에서는 교반기에 화학약품을 넣어 섞거나 건조시키는 공정에서 종종 폭발사고가 일어나는데, 폭발을 막기위해 교반기 내부의 산소를 제거하여 완전한 진공상태로 만든 후 작업 해야한다.

이런 공정에서 폭발하였다면 틀림없이 교반기 내부로 공기가 새어 들어가거나 작업을 중단한후 재 가동 할 경우 완전하게 공기를 뽑지 않고 시작할 때 주로 폭발하게된다. 작업자의 부주의나 작업 공정 순서의 뒤 바뀜으로 내부로 공기가 유입된 것은 아닌지 작업자를 중심으로 면밀한 조사가 진행되어야한다.