

광 방사로부터 점화 위험성

Ignition Hazard of Flammable Atmospheres by Optical Radiation

한국산업안전공단 산업안전보건연구원 최 상 원

1901년도에 과학자들이 바라본 20세기의 과학기술의 예상은 탄환열차, 화상통신, 태풍제어 및 동물과의 대화를 예상하였으나 태풍제어와 동물과의 대화는 아직도 과학자들이 이루지 못한 과제이다. 금세기의 당면한 기술은 순수 자연현상의 해명에 의한 새로운 과학 서비스 산업 관련 기술(정보)이다. 이와 관련하여 금세기의 과학자들은 「자원 낭비에 의한 물질문명의 영향」을 고려한 지구·자연환경의 개선, 폐기물 처리와 자원의 재활용, 정보통신·교통, 방재·안전, 의료기술(건강증진) 및 식료생산이라는 과제를 설정하여 연구를 수행하고 있다. 여기에 안전이 포함되어 있다는 것은 필자와 같이 안전 연구에 종사하는 연구원으로서 매우 고무적인 일이라 하겠다.

1. 서론

가연성 물질을 점화시키는 점화원으로는 열, 전기적인 스파크 및 기계적인 스파크가 있다. 열적인 요소는 다시 적외선, 태양열, 초음파, 고온 표면, 화염, 고온가스 충전가스 등이 있으며, 전기적인 스파크는 정전, 섬락, 단선, 단락, 접점 등이 있고, 기계적인 스파크는 충격과 마찰이 있다.

현재까지 대부분의 점화원에 대해서는 그 메커니즘이 규명되어 있으나, 무선 주파수(Radio Frequency)에 의한 점화 위험성은 물론 전격의 위험성이 제기되어 선진 여러 국가에서는 이미 연구를 진행하였고, 우리 연구원에서도 계속적으로 몇 년간 연구사업으로 수행하고 있는 상태이나 광 방사(Optical Radiation)에 의한 점화 위험성은 최근에 와서 기초 연구가 시작된 상태이다.

본 기고에서는 영국에서 진행하고 있는 광 방사에 의한 가

연성 물질로의 점화 위험성에 대한 기초 연구의 진행과정과 실험방법 등에 대하여 살펴보았다.

II. 광 방사에 의한 점화 위험성

잠재적으로 점화 가능한 분위기(여기서 폭발위험지역이라 한다)에서 설비의 감시와 자료 취득 및 제어를 위한 광섬유 기술의 응용은 최근 급격하게 증가하여 왔다. 이 분야에서 나타나는 점화 위험성은 만약 파괴된 섬유로부터의 방사가 고체입자 또는 국부가열을 발생하는 표면과 충돌하는 경우에 발생할 수 있다.

광섬유를 이용한 기술은 전기적 스파크가 없고 일반적으로 자체가 갖고 있는 안전성 때문에 기존의 전기시스템을 대체하는데 사용되어 왔다. 그러던 중 Moore와 Weinberg은 미세한 섬유 또는 입자의 덩어리가 강력한 방사 빔에 의해 직접적으로 조사되었을 때, 주위의 폭발위험지역으로 점화를 야기할 수 있다는 것을 알게 되었다. 그러나 점화 메커니즘은 방사를 흡수하여 미세한 고체물질을 높은 온도로 상승시키는 과정이 필요하다.

영국의 OSCA(Optical Sensors Collaborative Association)에서 신뢰할 만한 연구가 발표되었고, 이와 비슷한 시기에 SSS(SIRA Safety Service Ltd) 회사도 방폭지역에서 광섬유 시스템의 사용에 따른 점화 가능성을 연구한 결과 이 두 연구는 광학적 방사에 의한 미세한 물질의 가열은 가연성 분위기를 폭발시킬 수 있다는 결론에 도달하였다. 광섬유 시스템에서 이용 가능한 제한된 에너지량으로 보아 점화는 발생되기 쉽지 않으나 광섬유 시스템에서 활용 가능한 전력은 급격히 증가하고 있다.

본 기고에서는 주로 SSS 회사에서 수행된 실험과정과 결과들을 다루었다. SSS에서는 두 가지 영역에서 연구를 수행하였으며, 첫 번째는 다양한 크기의 전기적으로 가열된 물체에 의해 di-ethyl ether와 carbon disulphide의 점화와 관련된 것이고, 두 번째는 광범위한 점화 가능한 물질이 광학적으로 가열된 물체에서의 점화와 관련된 것이다. 다음은 두 번째 연구의 결과이다.

첫 번째의 연구와 자료로부터 광섬유로부터 나오는 방사에 의한 가연성 분위기의 점화를 야기할 가장 큰 가능성은 미세한 입자의 방사흡수이며, 점화를 발생하는데 필요한 전력은 입자의 크기가 감소함에 따라 급격하게 감소함을 알 수 있었으므로 광섬유와 동일한 크기인 입자 내로의 전력 흡수가 바로 점화 메커니즘의 근간을 이룬다고 할 수 있다.

III. 실험 방법 및 실험 장치 구성

실험 방법

실험 방법은 아래 3개의 주요 영역을 포함하여 계획하였다.

- (1) 직경 50 μm 와 400 μm 사이의 입자에 대한 di-ethyl ether와 carbon disulphide를 점화시키는데 필요한 전력/입자 크기의 비율 결정
- (2) 직경 400 μm 와 5 mm 사이의 두 개의 입자에 대한 상기
 - (1)번 항목의 반복
 - (3) 기타 점화 가능한 물질과의 점화시험의 반복

이러한 입자 범위의 선택은 직경 50 μm ~400 μm 의 범위에서 사용된 입자로부터 얻어진 결과가 확실하고 첫 번째 실험에서 얻은 결과에서 사용된 가장 작은 입자의 크기가 대략 직경 400 μm 이었기 때문에 결정하였다.

직경 400 μm ~5 mm 사이의 입자를 사용한 실험은 데이터 곡선을 좀더 정확하게 그려낼 수 있도록 하기 위해서 결정하였다.

마지막으로 사용된 증기의 범위를 확장함에 의해 di-ethyl ether와 carbon disulphide보다 다른 물질에 대한 기본적 지침을 얻을 수 있는데 첫 번째의 증기는 미세하게 가열된 물체에 의한 열적 발화에 특이하게 민감하다는 것이고 또 다른 하나는 매우 낮은 자동발화온도를 가졌다는 것이다.

실험 장치 구성

전기적으로 가열하는 첫 번째 실험시에 발견된 가장 작은 물체는 대략 직경이 400 μm 이었다. 두 번째 연구의 경우는 가

열하는데 직경 50 μm 이하의 물체가 필요했기 때문에 광학적 방법이 전기적 방법의 대안책으로 채택하였다. 또한 조절 가능한 국부 가열을 일으키기 위한 수단으로 레이저를 사용하였고, 빔 감쇠로 인한 요구 전력량은 4급 레이저로 하였다.

실험장치 구성은 그림 1과 같으며, 특징은 물체의 위치를 변화시키기보다는 레이저 빔을 변화시키는 것이다. 광점은 직경 50 μm 이다. 점화 시험조, 광학시스템, 빔 조절을 위한 X-Y-Z상, 감쇠기로서의 사용을 위한 빔 분할기와 필터, 4 W 크립톤 이온 레이저와 레이저 파워미터 등으로 구성되었다.

입자 시료

입자 시료의 기본적인 요구 사항은 직경 50 μm ~400 μm 의 입체로, 높은 온도에서 충분히 안정적이고 광학적으로 검은색이고 불활성이어야 한다.

적합한 크기의 세라믹 구형을 구했지만 광학적으로 검은색이 아니고 이들을 올려놓을 적당한 방법이 없어 사용하지 못했다. 자체 생산하여 첫 번째는 직경 10 μm 스텐리스 강선에 카본을 붙인 것이었다. 이것은 선에 고온의 검은색 페인트 방울로 매달려 있다가 카본을 제외한 페인트성분이 제거되도록 구워서 제작하였으나 만족스럽지 못하여 마지막으로 사용된 입자는 대략적인 구형으로서 구리로 만들었다. 직경 200 μm ~400 μm 크기의 입체는 직경 13 μm 의 선에, 직경 400 μm 이상은 직경 38 μm Molybdenum 선에 매달았다.

점화 시험조의 입증

새로운 점화 시험조는 사용 전에 크기와 형태의 변화가 실험 결과에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 입증할 필요가 있다. 이것은 P15 thermistor에 의해 di-ethyl ether를 점화하는데 요구되는 전력을 찾는 것과 관련된 첫 번째 연구의 일부로서 수행된 실험을 반복적으로 수행하여 입증하였다.

레이저를 이용한 실험

레이저를 이용한 것은 전기적으로 가열된 주어진 크기의 입자에 대한 di-ethyl ether 또는 carbon disulphide/공기를 점화시키는 가장 낮은 광학전력을 측정하기 위한 목적이었다.

입사 전력의 조정

레이저는 전원 공급기의 조정에 의해 스텝 사이의 미세한

조정과 단계적 감쇠기에 의해 복잡한 전력 조절 상을 갖는다. 위의 조절과 결부된 광학 시스템 배치에서 피할 수 없는 손실을 방지하기 위하여 필요한 전력 범위만을 갖도록 한다. 고 전력 시험에 대하여 광학적 배치는 측면 거울로부터 전력손실을 피하기 위해 U자가 아닌 V자 형태로 되어 있다.

입체에 대한 입사 전력은 입자의 위치에 상관없이 전력계에 의해 빔 중간에서 측정한다. 시험조의 끝단을 분리하고 측정하고자 하는 전력계 머리 부분을 빔 라인에 놓는다. 레이저는 최소의 전력으로 조절하고 전력계는 원하는 범위로 설정한다. 일련의 모든 것이 정위치에 있고 조절 가능하면 레이저에서 빔 스톱퍼가 개방되고 전력을 원하는 수준까지 조절한다.

입자의 위치

입자는 입사전력 조정 후 곧바로 놓지만 빔 스톱퍼가 개방되는 것은 아니다. 초기의 시험에서 빔의 위치는 일단, 빔 스톱퍼가 개방되면 입자를 바이패싱하는 전력을 측정하는 전력계를 이용하여 조절한다. 또한 광점은 직경 20 μm 의 반복성을 갖는 위치로 한다.

점화 시험

원하는 전력을 조정한 후 증기 농도를 최대값으로부터 제로까지 소인(sweep)시킨다. 이는 시험조를 통해 충분한 혼합 증기를 통과시켜도 된다. 전 항의 경우는 적어도 시험조의 5 배에 해당하는 체적으로 지속적으로 공급하여야 한다. 빔 스톱퍼가 개방되는 시점에서 증기/공기의 혼합물을 차단하고 공기를 공급한다. 시험조로의 공기 흐름이 입자를 냉각시키는 시험조에서 와류성 분위기를 피하고 10분 이상의 소인 시간(sweep time)을 확보한다.

IV. 실험 결과 및 검토

di-ethyl ether와 carbon disulphide의 점화가 레이저에서 방사된 빛으로부터 미소한 불활성 고체입자를 조사함으로써 발생되었으며, 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 80 mW 이하의 입사전력에서는 어떠한 점화도 발생되지 않았다. 이것은 점화가 발생되지 않는 최소 전력은 대략 80 mW 임을 알 수 있다. 그러나 외견상 80 mW가 실제적인 최소값으로 보이나 좀더 면밀히 연구를 수행하여야 한다

고 본다. 왜냐하면 실험에서 사용된 입자는 비 폭발성이고 비 촉매적인 것으로 선택하였고, 이들의 특성은 점화를 야기하는데 요구되는 전력을 감소시키는 것으로 생각된다. 또한, 최소 전력에 가까운 점화의 발생보다 더욱 작은 입자에 대한 데이터가 어떠한 경향을 보일 것인가를 명확히 구분해 낼 수 있을 정도로 충분하지 않다는 것이다.

- (2) 직경이 130 μm 이하의 입자에서는 어떠한 점화도 발생되지 않았다. 직경 130 μm 에서 점화 전력을 구할 수 없었던 것은 이들 실험에 사용된 미세 입자의 지지 선이 입사 전력에 견디지 못했기 때문이다.
- (3) 직경이 800 μm 이하의 입자에 있어서 점화를 일으키는 필요한 전력은 입자의 크기가 작아짐에 따라 적어지게 된다. 그러나 첫 번째 실험에서의 예측 즉, 입자의 크기가 두 배로 감소하면 필요한 전력이 25배의 비율로 감소한다는 것과 같은 예측은 곤란하다는 것을 알 수 있었다.
- (4) 점화를 일으키는데 필요한 전력은 기 연구된 가연성 물질의 점화 온도 또는 점화 에너지에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이는 carbon disulphide와 di-ethyl ether 둘 다 점화를 발생하는데 요구되는 상정온도가 흑체 계산에서 입자의 크기에 따라 1800 $^{\circ}\text{C}$ ~700 $^{\circ}\text{C}$ 사이에 있기 때문에 가연성 물질에 대해 넓은 범위에 걸쳐 비슷하고, 또한 이것은 미약하게 가열된 입자에 의해 쉽게 점화를 발생하는 가연성 증기의 특성이 점화 온도나 점화 에너지가 아니라 것을 강력하게 나타낸다. 여기서 관측된 미소 입자의 점화에 관한 현상을 연결시켜주기 위한 몇 가지 변수가 고려되어야 한다.
- (5) 광섬유는 점화를 야기하는데 필요한 전력 그 이상을 전송할 능력이 충분히 있다.
- (6) 고체상 레이저 다이오드는 광섬유에서 점화를 야기하는데 필요한 최소의 전력 그 이상을 광섬유에 공급할 수 있다.

V. 결론

본 기고에서는 영국에서 진행되고 있는 광 방사에 의한 가연성 물질로의 점화 위험성에 대한 기초 연구의 진행과정과 주로 SSS 회사에서 수행된 실험과정과 결과들을 살펴보았다. 그 결과 광섬유의 파손 등에 의한 광 방사로부터 주위의 고체 입자가 이 때의 광 방사를 흡수하여 미세한 고체 물질의 온도

를 상승시켜 가연성 물질을 폭발시킨다는 결론을 도출하였다.
앞으로

- (1) 폭발성 유기물, 폭발성 금속과 촉매 입자로 바꾸어 불활성 타킷 입자를 이용한 실험과 순수한 레이저 조사만으로 가연성 물질로의 점화 위험성 평가 등의 연구가 수행되리라 보며,
- (2) 이러한 연구의 결과로부터 충분한 데이터가 결론에 도달한다면 국가의 안전지침으로 채택되어야한다.

향후, 이 분야에 대한 연구는 계속 진행되리라 보며, 우리 연구원에서도 전자파 등과 같은 비전리 방사선에 의한 산업 기기로의 오동작, 인체에 대한 위험성을 연구하기 위한 연구 시설이 운용단계에 있다. 더욱이 이러한 시설을 이용하여 가연성 물질로의 폭발을 방지할 수 있는 연구를 앞으로 수행할 수 있다는 것은 폭발 방지에 관한 연구를 하고 있는 필자로서는 다행스러운 일이라 하겠다.

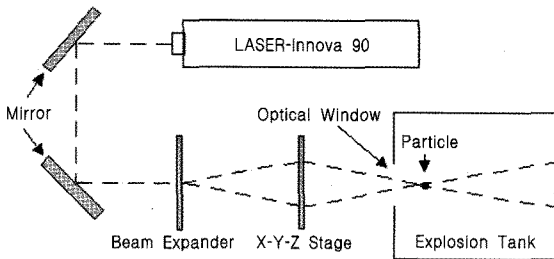


그림 1. 실험 장치 구성도

■ 참고문헌

- (1) G. Tortoishell, "The Safety of Optical System in Flammable Atmospheres", Forth International Conference on Electrical Safety in Hazardous Areas, No. 296, Vol. VII+188, pp. 86-93, 1988.
- (2) S. K. Scott and J. D. B. Smith, "Modeling of Ignition of Flammable Atmospheres by Radiation-heated Fibrous Agglomerates", Proc. R. Soc. Lond. A, pp. 199-217, 1995.
- (3) J. D. B. Smith, "Ignition Hazards Arising from Broken Optical Fibres in Flammable Atmospheres, Mathl. Comput. Modeling Vol. 24, No. 8, pp. 55-63, 1996.

<영문 요약>

Since the very first use of optical systems in the process industries there has been a tacit assumption that, because they are not electrical, they do not present an ignition risk when used in flammable atmospheres.

This paper describes about an optical ignition mechanism from experimental work carried out by Sira Safety Services Limited(UK) and whether there is sufficient of an ignition risk for precautions to be advisable when optical systems are used in flammable atmospheres.