

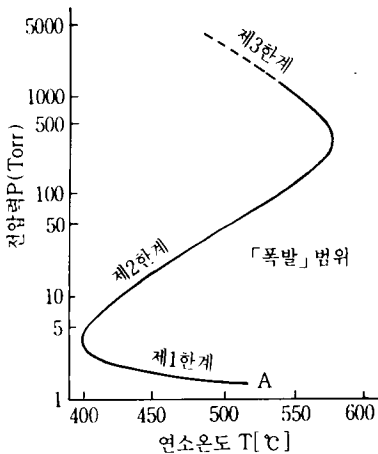
燃焼限界와 爆發限界

연소한계와 폭발한계라고 하는 용어는 각각 Flammng Limits와 Explosion Limits에 대응한다고 생각할 수 있으나, 일반적으로 양자는 같은 의미로 볼 수 있는 말이다. 과연 두 단어의 진정한 의미는 무엇일까?

理化學辭典(岩波書店, 日本)에는 연소한계에 대해서는 게재되어 있지 않으나 폭발한계는 다음과 같이 표현되어 있다. 「폭발한계란 폭발(연소를 포함한다)이 일어나기 위하여 필요한 농도, 압력 등의 한계를 말한다. 공기중에서 가연성기체가 연소하기에 필요한 농도의 하한치를 폭발하한계, 상한치를 폭발상한계라 하고, 보통 1기압 상온에서의 측정치를 나타

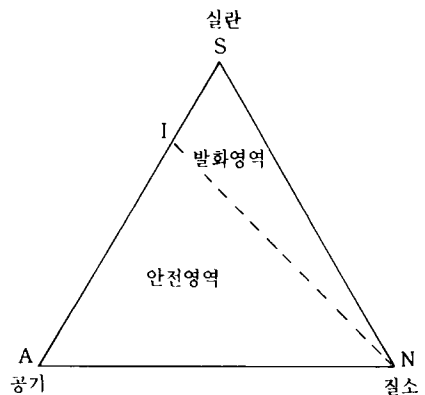
낸다. 하한계와 상한계의 사이를 폭발범위 또한 연소범위라고 한다. 폭발범위 내라 할지라도 폭발을 일으키기 위해서는 보통 점화에너지가 필요하다」로 되어 있고, 계속해서 「조성이 일정한 혼합기체가 발화하는 한계온도는 압력에 따라 변화하며 그 관계의 예는 그림 1과 같다. 저압에서의 돌기(突起)는 산소에 수소 또는 일산화탄소를 혼합한 기체에서 현저하였으나 탄화수소에서도 나타났다. 그림 1의 AB를 폭발하한(압력) 또는 제1한계, BC를 상한 또는 제2한계, C이상을 제3한계라고 한다」 위 설명의 전반부는 농도의 한계를 말하며 후반부는 온도한계에 관한 것이다.

【그림 1】 수소-산소계의 폭발한계



여기에서 우선 연소한계 즉, Flammability Limits는 화염으로부터 온 것이 분명하다. 일반적으로 화염은 연소가스 중을 전파하는 것이지만 Flammability Limits라고 하는 것은 화염이 그 혼

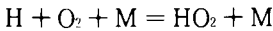
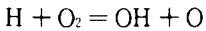
【그림 2】 실란-공기-질소계의 자연발화한계



합가스 중을 전파할 수 있는지의 여부를 말하는 것으로 정의되어 있고 그 점에 대한 논의의 여지는 없을 것이다.

그러면 Explosion Limits는 어떤가. 위에서 인용

한 사전의 후반부 설명에 있는 바와 같이 그와 관련하여 반드시라고 해도 좋을만큼 교과서에 나오는 것이 수소 등의 폭발한도 이야기다. 이 경우의 폭발은 화학반응으로서 연소 그 자체이지만 화염이 공간을 전파한다고 하는 형태를 취하지 않고, 공간적으로는 가스의 전 공간에서 동시에 일어나는 현상이다. 예를 들면 수소의 폭발 제2한계는 수소원자와 산소분자의 2가지 반응 즉,



가 상호 경합하는 것으로 정해지고 있다. 전자가 보다 빠를수록 연쇄분기반응이 진행되어 폭발에 이르고, 후자가 빠를수록 그것이 저지되어 폭발은 일어나지 않는다. 그래도 이와같이 같은 반응기구가 상온 상압에 있어서 수소의 연소한계를 결정하는데에도 주요한 역할을 하고 있는 것이 확실시 되고 있다. 이와같이 연소한계와 폭발한계와는 극히 유사한 현상에 대하여 사용되어 온 것은 틀림없으나 다른 측면이 있는 것도 확실하다.

그런데 연소한계와 폭발한계가 같다고 하는 말은 이와같은 논의 보다도 오히려 연소한계 내의 혼합가스 중에서 화염전파가 폐쇄공간 내에서 일어난다면 압력의 상승을 수반하고, 일반적으로 보다 넓은 의미로서의 폭발이라고 부르는 현상과 중복되기 때문에 오는 것이라고 생각할 수 있다. 따라서 용어가 실제로 어떻게 사용되고 있는가를 말한다면 폭발한계가 관용적으로 연소한계를 포함한다고 하는 것은 거의 자명한 사실이며 추가하여, 같은 것 같지만 다소 성격이 다른 폭발한계가 같이 포함될 수 있다고 생각할 수 있을 것이다. 이와같이, 현상으로서의 2가지 용어 사이에 미묘한 Contamination이 존재한다.

이하에서는 연소한계와 폭발한계가 본래는 편의적으로 사용되어 온 면이 강한 폭발한계로 통일되게 사용되어 온 예를 소개하고자 한다.

반도체산업 등에서 원자재로 흔히 쓰이는 가스의 하나인 실란이라고 하는 것이 있다. 실란의 폭발한계는 1.37%로 되어있다. 이 경우의 폭발한계는 물론 연소한계로 보아도 좋다. 여기에 대하여 상한계 쪽은 측정되지 않는다. 실란은 자연발화성이고, 실온에서

공기와 접촉하는 것 만으로도 자연발화한다. 최근, 실란의 자연발화에는 농도적인 한계가 있다는 것이 밝혀졌다. 그림 2와 같이 실란-공기-질소의 3원소에서 불 때, 자연발화 한계는 질소 100%인 점을 통하여, 어떤 구배를 갖는 하나의 직선으로 대개 나누어지는 것을 볼 수가 있다. 그림상으로는 자연발화 영역과 안정영역은 그림 2의 점선과 같이 나누어진다.

실란의 상한계로서는, 동 계통의 가스인 디크로로 실란이 99%, 디보란이 93%, 게르마늄이 100% 등의 수치로 알려져 있고, 이들과의 비교로 생각할 때 적어도 90%, 거의 100%에 가까운 수치가 예상된다. 그러나 그림 2에서 보면 그와같은 수치라면 상한계는 완전히 자연발화 영역 내에 포함되고 말 것이기 때문에 측정에 따라 정해진다고 하여도 혼합가스가 불안정하기 때문에 조제 불가능하여 측정할 수 없게 된다. 설령 그러한 혼합가스가 어떤 순간에 존재한다 해도 그 가스 내에 이르는 곳에서 순간적으로 분기반응이 시작되고, 잠깐 사이에 폭발이 일어나고 말 것이다. 이렇게 일어나는 현상은 상기 수소의 폭발과 같은 것이다. 즉, 자연발화한계(범위)라고 하는 것은 1기압 실온의 조건에서 일어나는 폭발한계(범위)가 된다. 그 자연발화는 산소농도가 작을수록 일어나기 쉬운 것을 알고있기 때문에 연료 과잉측의 한계에 관계없이 실란100%에 가깝게 된다. 그렇다고 해도 실란은 분해폭발 하지 않기 때문에 100%는 아니다.

이와같이 실란의 경우 연소반응이 가능한 농도 범위는 2가지의 구분된 영역으로 나눌 수 있다. 그 하나는 실제로 화재가 공간을 전파하는 영역이고 또 하나는 공간적인 전파는 없으나 연소반응이 자동적으로 일어나는 폭발영역이다. 전자는 관례적인 의미로서 폭발범위라고 불러도 좋은 영역, 후자는 본래의 의미로서의 폭발범위이고 이들의 영역은 폭발범위라고 부르는 약간의 Contamination을 포함하는 말로서 통일적으로 부르기에 적절치 상응한다고 말할 수 있을 것이다. 이 의미로서 실란의 폭발한계는 1.37%, 상한계는 100% 직전까지가 된다.

(安全工學, Vol. 34 No.5, 1995 참조)