

고압가스 보안에 관한 小考

鄭 雨 昌

〈漢陽大學校 工科大学 教授〉

序 言

一般工業에서 뿐만 아니라 高壓가스 工業에서 安全을 確保한다는 것은 매우 重要하다. 特히 高壓가스 工業에서는 可燃性가스나 毒性가스를 高壓下에서 다룰 경우가 많기 때문에 一般工業에 比해서 災害發生 우려가 더 많다. 일단 한번 災害가 發生하면 그 被害는 매우 크다. 즉 災害의 發生은 人命을 빼앗고 값비싼 機器, 裝置, 建物 등을 損傷시킬뿐 아니라 復舊에 많은 資材와 時間을 要한다. 따라서 高壓가스 工業에 대하여 충분한 安全對策을 강구할 필요가 있다. 따라서 우선 取扱하려는 可燃가스의 性質 特히 爆發에 관한 性質을 잘 파악하지 않으면 안된다.

여기서는 高壓가스중 工場에서 비교적 많이 다루는 몇 種類의 가스의 爆發特性을 기술하여 多少나마 高壓가스 保安에 對備코져 한다.

1. 可燃性가스의 引火

水素, 一酸化炭素, 메탄 등의 可燃가스와 空氣가 混合되었을때 引火시키면 당연히 爆發이 일

어난다. 石炭이나 木材 등의 固體可燃物에 比해서 가스는 引火하기 쉽고 그 自然發火溫度는 固體나 液體보다 낮다고 生覺될지 모르나 實은 表 1에 表示한 바와같이 가스쪽이 自然發火溫度가 높다. 水素는 가장 引火하기 쉬운 가스이며 工場 災害의 大部分이 水素爆發과 같은 느낌을 나타낼 정도인데 그 自然發火溫度는 580°C로 木炭의 300°C에 比해서 매우 높다. 그런데 固體나 液體에서는 微小한 火氣 및 불꽃으로는 冷却效果가 크기 때문에 쉽게 着火되지 않는데 가스의 경우는 微小한 불꽃으로도 着火됨으로 그 引火의 危險性이 內包되고 있다. 그렇지만 自然發火溫度 以下에서는 着火되지 않는다.

가스爆發時 引火의 原因으로서는 직접 불을 접촉시키거나 電氣불꽃에 의한 것이 그 大部分이다. 可燃性가스의 自然發火溫度는 500°C로부터 600°C의 範圍의 것이 많은데 그 火災는 아무리 적게하여도 1200°C의 높은 온도이고 炭불이나 電熱線等도 肉眼으로 빛이 보이면 550°C를 넘어이는 충분히 가스를 點火시킬 수 있는 溫度이다. 電氣불꽃은 스위치의 切斷 등에서 發生되는데 이는 가스 爆發의 原因으로 되며 또한 靜電氣의 불꽃이 引火의 役割을 할때도 있다. 高壓가스에서 보면 高壓가스가 급격히 放出될 경우 靜電氣가

(表 1) 各種可燃物の 自然發火溫度

可燃性物質	自然發火溫度(°C)	可燃性物質	自然發火溫度(°C)
木材(針葉樹)	250	黃 린	30
◇ (闊葉樹)	260	重 油	260
木炭	300	燈 油	300
石炭(歷靑炭)	360	가 술 린	380
◇ (褐 炭)	300	에 탄 을	530
◇ (無煙炭)	490	아 세 틸 린	400
코크스	500	水 素	580
黃	232	一酸化炭素	640
赤 린	240	메 탄	650

發生해서 그 불꽃으로 爆發이 일어날 경우가 가끔 있다. 따라서 高壓裝置가 破裂될 경우 다른 火氣가 없다하여도 가스의 二次的爆發이 반듯이 일어날 것이라고 豫期하지 않으면 안된다.

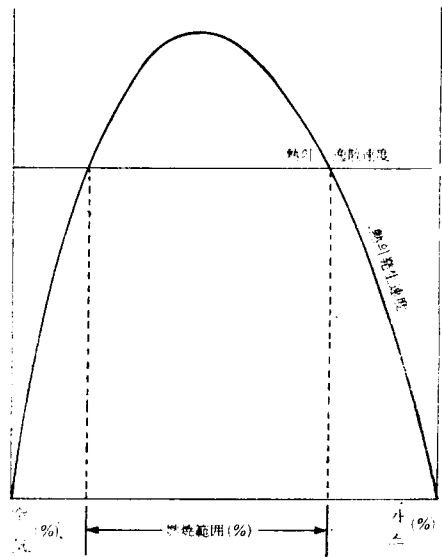
可燃性가스의 引火에는 火氣와 電氣불꽃 이외에 觸媒作用에 의한 點火現象이 있다. 水素와 酸素의 混合가스에 白金이나 팔라듐의 微粉이 發火觸媒라는 것은 잘 알려져 있다. 가스의 溫度가 높으면 鐵이나 니켈등의 微粉도 똑같은 觸媒作用을 한다고 생각할 수 있으며 鐵이나 니켈에서는 水素還元을 받은 微粉이 空氣中에서 發火하는 性質이 있으므로 水素漆加工場이나 암모니아 合成裝置에서 破裂이 일어났을 때 飛散된 觸媒粉에 의해 引火가 일어날 可能性이 있다.

또한 石油 또는 이외의 油類를 다룰 경우 引火點이라고 하는 溫度가 測定된다. 引火點은 自然發火溫度 즉, 着火溫度와 混同하기 쉬운데 引火點은 油類의 蒸氣가 發生해서 液面上에 空氣와 混合된 燃燒混合가스를 形成하는 溫度이다. 따라서 기름의 引火點은 自然發火溫度보다 적은 때가 많다. 例로서 가솔린의 自然發火溫度는 400°C 정도인데 그 引火點은 常溫以下이다.

2. 爆發範圍

可燃性가스가 空氣와 混合될 경우 引火의 原因

이 있으면 燃燒 또는 爆發이 일어나는데 다행이도 可燃性가스에는 모두 그들의 特有한 燃燒範圍가 存在하고 있어 어느 一定範圍의 空氣와의 混合比率로 되지 않는 한 點火해도 燃燒가 일어나지 않는다. (그림 1)에서 混合가스가 燃燒할 경우 熱의 發生速度의 曲線과 熱의 逸散速度 曲線이 만나고 있는데 이 만나는 點의 外側混合比率에서는 熱의 逸散速度 쪽이 發生速度보다 크기 때문에 混合가스의 溫度는 그의 自然發火溫度를 維持하지 못하여 燃燒가 일어나지 않는다. 兩曲線이 마주치는 點의 內側의 混合比率만이 燃燒를 維持하게 된다. 이와 같이 燃燒가 일어나는 混合比率 즉 空氣에 대한 가스의 混合濃度の 百分率을 燃燒範圍라고 한다. 가스와 空氣와의 混合比率이 化學量論的인 比率에 가까우면 混合가스는 매우 격렬한 爆發을 나타내는데 이 比率을 爆發範圍라고 區別한다.



(그림 1) 燃燒範圍의 說明

(表 2) 및 (表 3)에 表示한 바와 같이 가스나 蒸氣는 그 種類에 따라 燃燒範圍에 현저한 相違點이 있다. 水素나 아세틸렌과 같이 燃燒範圍가 상당히 넓은 가스도 있는 반면 炭火水素가스와

(表 2) 主要가스의 燃燒範圍와 爆發範圍
(空氣와의 容量 %)

가스	燃燒範圍 [%]	爆發範圍 [%]	가스	燃燒範圍 [%]	爆發範圍 [%]
水素	4~75	18.3~50	酸化 에틸렌	3.6~100	
아세틸렌	2.5~100	4.2~50	암모니아	15~28	
一酸化탄	12.5~74		黃化水素	4~44	
메탄	5~15		石炭가스	5.3~32	
에탄	3~12.4		水性가스	7~72	
프로판	2.1~9.5		發生爐 가스	17~70	
부탄	1.8~8.4		高爐가스	35~74	
에틸렌	2.7~36				

같이 比較的 좁아 安全性이 높은 가스도 있다. 化學工場에서 爆發事故가 가장 많은 것이 水素와 아세틸렌이라는 것을 理解할 수 있을 것이다. 또한 天然가스를 都市가스로 使用할 경우 空氣로 稀釋해서 發熱量을 낮추는 理由도 理解할 것이다. 그런데 水素는 燃燒範圍가 넓은것이의 比重이 0.069(空氣를 1로해서)로 매우 낮고 擴散速

(表 3) 主要揮發性可燃液體素氣의 燃燒範圍
(空氣와의 混合物의 容量 %)

蒸氣	燃燒範圍 [%]	蒸氣	燃燒範圍 [%]
엔탄	1.4~7.8	아세톤	2.6~13
헥산	1.2~7.4	에틸에테르	1.9~36 (爆發 2.8~4.5)
옥탄	0.95~4.7	二黃化炭素	1.3~50
데칸	0.75~5.6	醋酸에틸	2.2~11
벤젠	1.3~7.9	씨크로헥산	1.3~7.8
톨루엔	1.2~7.1	가스린 (100/130)	1.3~7.1
메탄올	6.7~36	가스린 (115/145)	1.2~7.1
에틸알콜	3.3~19		

도도 큼으로 引火하기 쉬워서 燃燒範圍가 事故의 主要한 原因이 된다.

또 炭化水素가스는 一般的으로 炭素數가 많아짐에 따라 燃燒範圍가 좁아지는데 반면에 燃燒範圍 下限點이 낮기 때문에 稀薄가스에서도 引火가 일어나기 쉽고 또한 比重이 크기 때문에 室內의 下部滯溜가 일어나 引火할 경우도 있다. 프로판가

스의 爆發事故등은 이와같은 原因이라 생각된다.

燃燒範圍를 잘 理解하고 있으면 가스의 種類에 의해서 多少의 漏洩이 일어나도 換氣 또는 다른 適當한 措置를 취함에 따라 燃燒範圍의 混合氣 發生을 阻止한다는 것은 그렇게 困難하지 않으며 만일 燃燒가 일어났다고 하여도 가장 큰 被害를 일으키게 하는 爆發範圍에는 미치지 않게 된다. 따라서 이 性質은 災害防止上 특히 重要な 知識이다.

3. 酸素와의 混合가스

앞에 말한 여러값은 空氣에 對한 것으로 酸素가스와 混合되었을 경우는 事情이 달라진다. 一般的으로 酸素가스와 可燃物을 接觸시킬 경우는 引火發火溫度 燃燒 및 爆發등의 條件이 달라서 매우 위험하게 된다. 그래서 生覺지도 않는 事故가 일어나는데 可燃性가스가 酸素와 混合할 경우 그 燃燒範圍와 爆發範圍가 광범하게 되며 이때의 爆發力도 격렬하게 된다.

따라서 溶接 및 酸素工場等 酸素를 取扱할 경우에는 酸素自體는 위험치않지만 다른 可燃物과 接觸한다는 것을 고려해서 引火나 爆發의 위험은 항상 염두에 두어 取扱할 때 安全을 生覺하지 않으면 안된다. (表 4)에 各種 可燃가스와 酸素와의 混合物에 관해 燃燒範圍와 爆發範圍를 表示했다. 즉 酸素와의 混合物에서는 燃燒範圍가 넓은 뿐만 아니라 그 大部分이 爆發範圍에 속한다는 것에 注意할 必要가 있다.

(表 4) 酸素와 可燃性가스混合物의 燃燒範圍 및 爆發範圍

가스	燃燒範圍 [%]	爆發範圍 [%]	가스	燃燒範圍 [%]	爆發範圍 [%]
水素	4.0~94	15~90	에틸에테르	2.1~82	2.6~40
아세틸렌	2.3~94.5	3.5~93	一酸化炭素	15.5~94	38~90
메탄	5.1~61	—	암모니아	15~79	25.4~75
프로판	2.3~55	3.7~37			

4. 溫度와 壓力的 影響

A. 溫度的 影響

燃燒範圍가 發生하는 原因은 混合가스의 反應 熱의 發生速度와 熱의 逸散速度와의 關係로부터 生기는 것이므로 그 燃燒範圍는 點火時의 溫度에 따라 다르다는 것은 당연하다. 溫度가 높을 때는 熱의 逸散速度가 느림으로 熱의 發生 및 逸散兩速度曲線의 만나는 點이 넓게 되어 燃燒範圍가 廣範하게 되며 反對로 最初의 溫度가 낮을 때는 熱의 逸散이 적렬하여 結果로서 燃燒範圍가 좁아지게 된다.

(表 5) 溫度에 따르는 메탄의 燃燒範圍

溫度 °C	燃燒範圍 [%]
17	6~13
100	5.95~13.7
200	5.50~14.6
300	5.10~15.5
400	4.80~16.6

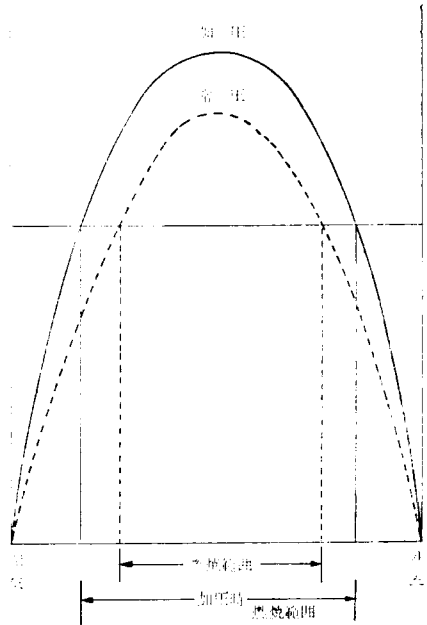
매우 낮은 溫度로 冷却하였을 경우에는 兩曲線이 만나지 않아 燃燒가 일어나지 않을 경우도 있을 수 있다. 그러나 이와같은 예는 燃燒範圍가 매우 좁은 炭化水素等에 한정되어 있어 內燃機關의 엔진의 始動等에 影響을 주는 程度로 工場內 가스의 保安面에서는 거의 考慮할 必要가 없다.

B. 壓力的 影響

다음에 爆發性混合가스의 爆發現象이 壓力에 따라 어떻게 影響이 미치는가를 생각해보자. 混合가스를 壓縮해서 壓力을 上昇시켰을 경우에는 反應의 分子濃度가 增大함으로 反應速度는 質量作用의 法則에 따라 당연히 促進된다. 따라서 熱의 發生速度도 크게 된다. 그런데 熱의 逸散速度는 壓力의 影響을 적게 받으며 또한 가스의 熱

傳導도 氣體分子運動論에서 明白히 되어 있는 바와같이 一定溫度에서는 壓力에 따라 變化하지 않는다. 對流나 가스의 擴散速度등은 壓力의 增加에 따라 反比例하며 반면 輻射에 의한 熱의 逸散速度는 壓力의 增加에 따라 比例하지만 全體를 綜合해 보면 熱의 逸散速度는 壓力에 따라 거의 變化하지 않는다. 그래서 壓力이 上昇될 경우에는 熱의 發生速度는 促進되는데 熱의 逸散速度는 變化하지 않으므로 結局 反應系의 溫度는 上昇해서 結果爆發速度가 빨라지고 적렬한 爆發이 일어나게 된다.

가스의 燃燒範圍에 관해 生覺해보면 壓力이 上昇하였을 때는 (그림 2)와 같이 熱의 發生速度曲線이 위로 올라가서 逸散曲線과의 交叉點이 더 벌어져 燃燒範圍가 넓어지게 된다. 그래서 壓力이 增大하면 가스爆發의 위험이 增大되는데 실제로는 이러한 現象이 가스의 種類에 따라 현저하게



(그림 2) 高壓에 의한 燃燒範圍

다르므로 가스에 의해서 반듯이 豫想한 바와 같은 燃燒範圍의 넓이를 나타낸다고는 할 수 없다. 즉 (表 6)에서 볼 수 있는 바와 같이 메탄과

(表 6) 壓力에 따르는 메탄의 燃燒範圍

壓力(atm)	燃燒範圍[%]
1	5.6~14.3
5	5.7~16.4
10	6~17.1
30	5.9~24.6
50	5.4~29
125	5.7~45.5

같이 壓力의 增大에 따라 그 燃燒範圍가 대개 豫想한 바와같이 넓어지는 性質을 지닌 것도 있으며 또한 一酸化炭素와 같이 壓力이 增加하면 반대로 燃燒範圍가 좁아지는 것도 있다. 그런데 이와같은 가스의 異常한 爆發現象을 상세히 分析하여보면 可燃性가스와 酸素以外的 混合가스의

(表 7) 壓力에 따르는 一酸化炭素의 燃燒範圍

壓力[atm]	燃燒範圍[%]
1	14.2~71
5	15.4~67.5
10	17.8~62.8
30	20.3~58.8
50	20.6~56.8
125	20.9~51.6

存在가 큰 影響을 준다. 例로서 一酸化炭素의 경우 空氣의 窒素를 헬륨이나 아르곤으로 置換하면 燃燒範圍는 분명히 壓力에 따라 增大되며 또

한 混合가스 중 水蒸氣가 存在할 경우에는 理論的으로 豫想될 수 있는 바와같이 燃燒範圍는 壓力에 따라 增大된다. 이러한 現象은 一般的으로 가스의 燃燒와 密接한 關係가 있는 水蒸氣의 觸媒作用에 의한 것이며 實際가스에는 水蒸氣가 항상 存在함으로 가스의 燃燒範圍는 일반적으로 壓力에 의해 넓어진다고 해석할 수 있다. 따라서 法規上 酸素 2%以上을 包含하는 第1種可燃性가스는 壓縮시킬 수 없다는 理由가 여기에 있다.

다음에 壓力의 低下가 가스의 爆發現象에 影響을 주는 경우가 있는데 爆發性混合가스의 壓力을 서서히 低下시키면 熱의 發生速度가 熱의 逸散速度에 따르지 못하기 때문에 결국은 爆發이 일어나지 않는 狀態에 도달한다. 이와같은 壓力을 爆發의 限界壓力이라고 한다. 그런데 가스의 種類에 따라서는 壓力을 低下시키면 다시 爆發을 일으키는 것이 있다. 水素, 메탄, 一酸化炭素 등은 이에 屬하는 것으로 이와같은 壓力에서의 爆發을 低壓爆發이라고 한다. 例로서 水素와 酸素의 混合爆鳴氣는 560°C에서의 限界壓力이 600 mmHg이고 이 壓力以下에서는 爆發하지 않는데 다시 壓力을 내려 40mmHg로 되면 다시 爆發이 일어나며 數 mmHg에서 完全히 爆發이 일어나지 않게 된다. 이와같은 現象은 가스의 燃燒가 일어날 경우 中間에 生成되는 H, O, OH, 등의 遊離基에 의한 連鎖反應으로부터 일어난다고 生覺된다.

<끝>

