

可燃性가스의 爆轟(Detonation)에 對하여

二逆火防止裝置를 中心으로二

康 宗 權

〈慶熙大學校 教授〉

序 論

近來 우리나라에서도 高壓가스安全管理法에 逆火防止裝置를 달도록 規制하는等 高壓가스安全裝置에 對한 社會的 關心이 漸次 높아져 가고 있는 것은 꽤 多幸한 일이라 아니 할 수 없다. 高壓가스 하면 火災나 爆發을 聯想하게끔 된것도 過去 우리 周邊에서 일어났던 大火災나 爆發事故等이 高壓가스 特히 液化石油가스인 프로판가스가 主로 事故原因인 되어 社會의 큰 物議를 일으켰던 탓이라고도 생각 된다.

그러나 오늘날에는 프로판가스 뿐아니라 水素 酸素 및 아세틸렌等 爆發의 危險性이 더높은 高壓가스가 產業界에서도 널리 能率的으로 活用되고 있는 것이다. 그러나 이들 高壓가스가 자칫 잘못하면 爆發한다는것은 比較的 널리 알려진 事實이다. 이것이 爆發할때 混合가스의 初壓이 높고 爆發範圍가 爆轟(detonation)을 일으킬 수 있을 程度의 濃度를 지니고 있을 경우에는 $1,000\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 어마어마한 衝擊波를 隨伴하고 波及速度가 $3,000\text{m}/\text{秒}$ 에 이르는 實로 놀랄도록 빠른 轟波가 무서운 破壞力을 나타낸다는 것은

一般에게는 잘 알려지지 않은 比較的 새로운 事實이다. 우리나라 高壓가스 安全管理法施行規則(別表 4의 1의 (29))에 依하면 아세틸렌 充填用支管에는 爆發이나 爆轟이 일어나지 않도록 即 火炎(flash)이 아세틸렌가스관으로 逆流해 들어가지 않도록 하는 逆火防止裝置를 附着하도록 規制하고 있으며 水素, 酸素, 火災 또는 아세틸렌, 酸素, 火災을 使用하는 施設에도 逆火防止裝置를 施設하도록 法으로 規制하고 있는 것이다.

그 밖에도 에틸렌, 酸素, 프로판, 酸素의 火炎을 使用하는 경우등에도 爆轟이 일어날 수 있는 것이다. 이와같은 高壓가스의 爆轟에 對하여 그 基本的 特性과 最近까지 이룩한 先進諸國의 研究結果를 中心으로 爆轟의 構造와 그 強度를 나타내는 特性値와 爆轟이 일어나는 經緯, 그리고 爆轟이 일어나기 쉬운 危險率의 指標가 되는 爆轟 誘導距離 直接起爆에너지 및 爆轟限界等에 對하여 그 意義와 測定된 諸資料(Data)에 關하여 著述하고자 한다. 아울러 爆轟을 阻止하기 위한 諸手段으로서 알려진 逆火防止裝置(Flash Back arrester, Flame arrester)의 構造의 特性과 性能等에 對하여도 記述하고자 한다.

1. 爆轟(Detonation)의 定義

爆轟(Detonation)은 燃燒傳播의 한 形態로서 이것은 超高速(最大 3,000m/sec)의 燃燒反應에 의하여 持續되는 衝擊波(Shocking Wave)라 할 수 있다. 그 波及速度는 混合가스의 媒質中에서 音速보다 더 빠르고, 一定條件下에서는 一定한 速度로 傳播된다.

爆轟이 생기는 것은 高壓가스에만 限定되어 일어나는 것은 勿論 아니며 液體 또는 심지어는 固體의 均質系와 氣體와 固體(粉體爆轟) 또는 氣體와 液體(필름테네이손(film seternation), 스프레이테네이손 spray detonation)와 같은 不均質系에서 일어나는 것도 알려져 있는 것이다.

2. 燃燒와 爆轟(Deflagration and Detonation)

可燃性가스에 點火되면 發生된 火災은 곧 傳播되어 간다. 이 傳播되어 가는 速度는 未燃燒가스에 對하여는 音速以下(燃燒) 또는 音速以上(爆轟)으로 進行되는 것이다.

萬一 傳播速度가 音速以下일 때에는 燃燒가일어난 密閉容器中에서 音速으로 均一化되기 때문에 火災의 傳播方向에 對하여 直角을 이루는 斷面에서 받는 壓力은 比較的 적지만 傳播速度가 超音速의 경우 (爆轟)에는 壓力이 均一하게 되는 速度가 傳播速度보다도 짧기 때문에 爆轟波가 進行되는 方向에 對하여 直角을 이루는 斷面에서 받는 壓力은 大端히 크다.

3. 爆轟波의 特性

氣體의 爆轟波를 中心으로 基本的事項에 言及하고서 한다.

가. 爆轟波의 構造의 特性

爆轟波의 前面에는 무서운 衝擊波(Shock Wave)가 先行하여 未燃燒 狀態에 있는가를 瞬間的

으로 加熱, 加壓하여 燃燒反應을 急速하게 促進시켜 超短時間內에 安定된 化學平衡을 이뤘 反應을 끝맺는다. 이때 發生되는 熱에너지는 不斷히 衝擊波에 傳導되어 衰退함이 없이 一定한 速度를 維持하면서 進行되는 것이다.

衝擊波는 直進하는 波長이 짧은 單一壓縮波로서 強力한 衝動壓力을 隨伴하는 것이 그 特徵이라 하겠다.

그 衝擊波의 모델(Zeldovickvon Neuman-Dönng)을 中心으로 衝擊波 背後의 壓力과 溫度 및 密度의 變化를 살펴보면 壓力과 密度가 衝擊波 前面에서 急激한 피크(peak)值를 이루고 있는 것을 나타내고 있다. 그리고 爆轟波를 微視的으로 觀測해 보면 衝擊波와 燃燒波가 서로 離合集散을 거듭하면서 進行되는 多頭構造를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 爆轟限界 附近에서는 뛰어오른 構造를 나타내 보이고 있다.

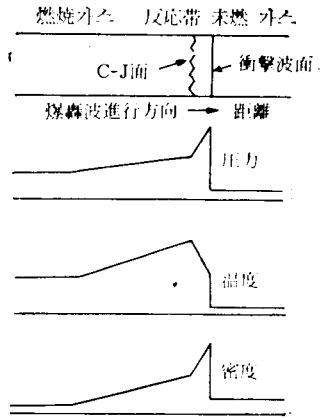


그림 1. 爆轟波의 壓力, 溫度密度의 變化

나. 爆轟波의 特性值

爆轟波의 強度는 爆轟速度와 壓力 및 溫度等으로 나타 내게 된다.

이들의 計算值는 燃燒反應의 化學平衡이 超高速으로 일워지므로 1次元의 衝擊波 理論式에 爆轟時 生成되는 가스의 熱力學的 狀態를 決定짓

는 關係式과 波及速度가 C-J面의 粒子速度와 音速의 合計로서 주어진다. C-J條件式의 두 式을 利用하여 얻을 수 있다.

이 計算値는 衝擊波 背後의 化學反應 實3面 即 C-J의 安定平衡 狀態에 있어서의 값을 意味하며 衝擊波前面에서 C-J面 까지에 이르는 變化는 10^{-6} 秒間에 일워지므로 實際로는 이를 無視하여도 될 程度이다. 그러나 C-J面에서의 狀態가 維持되는 時間은 10^{-3} 秒 程度로 여겨진다. 이들 計算値는 一般의 爆轟波의 경우에는 實測値와 잘 一致하지만 爆轟限界 附近이나 爆轟으로 轉移한 直後에는 實輸値와 반드시 一致되지는 않는다. 表 1에는 몇몇 種類의 氣의 C-J特性値와 爆轟波가 空氣中을 透過하는 경우에 空氣와의 接觸面에서 일으키는 透過衝擊波의 初期의 값을 나타내고 있다. (表 1 參照)

表 1. 氣爆轟波와 C-J特性値 및 空氣中 透過衝擊波의 初期値 ($P_1=1\text{atm}$, $T_1=298^\circ\text{K}$)

混 合 氣	C-J 特性値			透 過 衝 擊 波	
	速 度 (m/s)	壓 力 (atm)	溫 度 (°K)	速 度 (m/s)	壓 力 (atm)
H ₂ 29.5%-空氣	1,967	15.6	2,951	1,229	14.6
CH ₄ 9.5%-空氣	1,801	17.2	2,783	1,230	14.6
C ₂ H ₆ 4.0%-空氣	1,795	18.2	2,819	1,251	15.1
C ₂ H ₄ 6.5%-空氣	1,819	18.3	2,922	1,260	15.3
C ₂ H ₂ 7.7%-空氣	1,863	19.1	3,111	1,287	16.0
2H ₂ +O ₂	2,834	18.8	3,682	1,468	20.8
CH ₄ +2O ₂	2,392	29.4	3,727	1,611	25.1
C ₂ H ₆ +5O ₂	2,360	36.3	3,830	1,708	28.3
C ₂ H ₄ +3O ₂	2,376	33.5	3,938	1,671	27.0
C ₂ H ₂ +2.5O ₂	2,426	33.9	4,215	1,685	27.5
C ₂ H ₂ +O ₂	2,936	45.8	4,512	1,962	37.3

(1) 爆轟波 前面壓力

爆轟波 前面의 壓力은 可燃性氣와 空氣의 混合氣의 경우에는 最高일때 初速의 16~20배에 達한다. 그러나 可燃性氣와 酸素의 混合氣일 때에는 아세틸렌과 酸素의 等몰 混合氣일 때가 가장 높아 初壓의 無慮 46배에 達한다.

可燃性氣의 濃度에 있어서는 化學量論(stoichiometry)組成보다 若干 높은 濃度에서 最大値를 나타 내며 初壓의 變化에 對하여는 正比例 關係를 보여 初壓이 2배면 波前面의 壓力도 2배가 된다.

(2) 爆轟波의 波及速度

爆轟波의 波及速度는 可燃性氣와 空氣의 混合氣의 경우 最高 1,800~2,000m/sec程度이다. 그러나 可燃性氣와 酸素의 混合氣일 때에는 最高 2,500~3,000m/sec 程度에 이른다. 可燃性氣濃度의 變化에 對하여는 化學量論(stoichiometry)組成 보다 높은 濃度에서 最高値를 나타내며 初壓의 增加에 對하여는 若干 빨라지지만 爆轟限界 附近을 除外하고는 거의 變化가 없다고 봐도 된다.

(3) 入射壓과 反射壓

爆轟波 前面의 壓力은 爆轟이 進行되는 方向에 對하여 直角을 이루는 斷面에서 받는 壓力으로 나타낸다.

爆轟波를 正面으로 받는 壓力이 反射壓가 되고 入射壓의 2~2.5배의 값을 나타낸다. 剛體面에서 反射된 衝擊波는 그後 衰退되면서 漸次 높은 壓力을 維持한채 곧 燃燒氣에 吸收되게 된다 이와같은 典型的인 壓力의 測定例를 그림 2에나

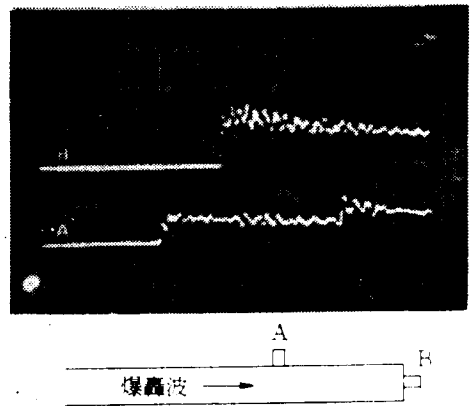


그림 2. 爆轟波의 入射壓과 反射壓의 測定例(水素 30%, 空氣混合氣, 初壓: 大氣壓)

다내고 있다. 2個所의 壓力計 A, B의 感度는 같은것을 써서 測定하였다.

(4) 空氣中の 透過

空氣와 같은 不活性가스 가운데에 爆轟波가入射 되면 衝擊波는 空氣中을 透過하면서 境界에서 反射를 일으킨다. 反射波한 燃燒가스 속으로 吸收되어 되돌아 가게된다. 이 경우 透過하는 衝擊波의 速度와 壓力은 爆轟波와 空氣와의 境界에서 不連續的으로 變化하여 漸次 衰退하면서 空氣中으로 傳播되고 마침내 音波로 變하여 消滅된다. 透過하는 衝擊波의 初期速度 및 壓力의 값을 表 1에 나타내고 있다. 透過하는 衝擊波의 衰退는 爆轟波의 特性과 規模, 透過空間內的 媒質 및 形態에 따라 다른것을 알 수 있다.

4. 爆轟의 始作

爆轟이 일어나는 過程에는 두 種類의 경우가 있다. 하나는 通常的인 火災(flame)이 徐히 加速化되어 燃燒에서 爆轟으로 變하는 경우인데 이것을 自己起爆(self-initiation)이라 일컫으며 이 경우 「爆轟誘導距離」가 爆轟發生의 可能性에 對한 尺度가 된다. 다른 하나는 點火源에서 直接 爆轟이 생기는 경우인데 이것은 直接起爆(Direct-Ignition)或은 이때 點火源에서 나오는 衝擊波가 主된 役割을 다한다는 見地에서 衝擊波起爆(blast initiation)이라 하기도 한다. 이 경우에는 「直接起爆의 限界에너지가 爆轟이 일어나기 쉬운 指標가 된다.

가) 自己起爆

自己起爆은 管속과 같은 制限된 空間에 들어 있는 爆發性 混合가스에서 容易하게 發生된다. 細長型 管속에 爆發性 混合 가스를 채우고 한끝에 着火하면 燃燒에 依한 가스 膨脹에 따라 未燃燒가스의 混亂과 그에 따른 火災의 加速化로 未燃燒 가스속에 壓縮波가 차례로 送出되게 된다 先行된 壓縮波가 斷熱壓縮을 일으켜 未燃燒가스는 加溫되게 되므로 뒤에서 나오는 壓縮만큼 그 速度는 빨라지고 그것이 漸次로 쌓여지고 합

쳐져서 衝擊波를 이룬다. 이 衝擊波와 火災間에 있는 未燃燒 狀態의 가스가 衝據波에 依하여 高溫高壓으로 發火을 일으키고 또 強力한 爆發을 일으킨다.

이 爆發이 앞서나가는 衝擊波속에 進入하여 그것을 補強함으로써 安定된 爆轟波를 形成하게 된다. 이때의 狀況을 그림 3에 나타냈다.

그림中 寫眞은 透明한 水平管속에서 爆轟으로 轉移하는 것을 나타내는 샷터開放, 靜止寫眞이다.

燃燒에서 爆轟으로 轉移하는 瞬間에는 極히 높은 壓力과 速度를 나타내며 配管等을 破壞되는 경우가 많다.

最初 가스의 着火로 부터 燃燒, 爆轟으로 轉移하기 까지 火災이 傳播되는 距離를 爆轟誘導距離라고 한다. 이것은 가스의 種類, 組成, 壓力, 溫度, 管徑 및 管壁의 狀態와 管路上의 障礙物이나 管端의 開放 또는 閉塞狀態等 請要因에 따라 影響을 미친다. 그러므로 爆轟誘導距離는 物質定數는 아니고 裝置에 對한 依存性이 강한 特定值라 할 수 있을 것이다. 이들 要因 가운데서 가장 큰 影響을 미치는 것은 火災의 加速을 促進하는 要因 即 管中の 未燃燒가스의 흐름을 混亂시키는 그런 要因이다. 例을 들면 管路속의 障礙物等이다. 管端의 開閉 및 管路에 스파이럴(spiral)線을 넣었을 경우 爆轟誘導距離에 미치는 影響에 對한 實驗結果의 한事例를 表 2에 나타

表 2. 管端條件 및 管路의 障害物이 爆轟誘導距離에 對한 影響

管端條件		스파이럴綵挿入		스파이럴線없이	
點火端	反點大端	導轟誘導距離	轉移割合	導轟誘導距離	轉移割合
開	閉	0.58~0.74m	3/6	3.20m	1/5
開	閉	—	0/5	—	0/5
開	閉	0.33m	5/5	1.57~1.58m	5/5
開	閉	0.32m	5/5	1.53~1.57m	5/5

(管徑 28mm, 管長 9m, 水素 30% 空氣混合가스 스파이럴거리 0.7m의것 을點火端에 挿入)

내고 있다. 表에 나타나 있는 바와 같이 點火하는 管端이 閉塞되어 있는 경우에는 點火하는 管端의 反對쪽 끝의 開閉如否에 關係없이 容易하게 爆轟으로 轉移할 수 있다. 그러나 兩端이 開放된 管속에서는 爆轟이 일어나기가 가장 어렵다. 이 경우에도 스파이럴 線을 點火하는 管端에서 分離하여 管路의 途中에 挿入하면 스파이럴 線의 끝 部位에서 부터 爆轟으로 轉移하기 始作한다. 이런 結果를 보아 스파이럴 線과 같은 管路속의 障礙物이 爆轟으로 轉移하는 것을 促進하는 事實을 알 수 있다.

나) 直接起爆

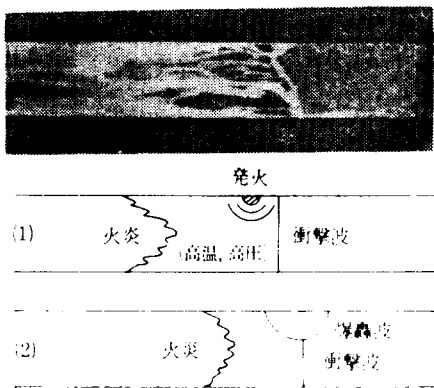


그림 3. 爆轟波를 産成一燃燒에서 爆轟으로의 轉移

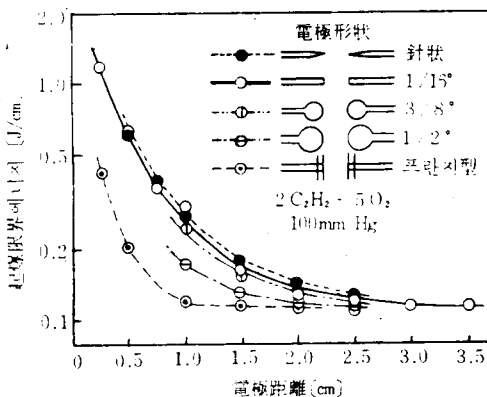


그림 4. 各種電極 形態의 電極距離와 起爆限界에너지

爆轟의 直接起爆이란 衝擊波를 隨伴한 強力한 點火源에 依하여 爆發性 混合가스를 點火源으로 直接 起爆하는 경우를 말한다. 이 경우 點火源의 에너지 크기와 그 特性이 重要한 要素가 된다. 制限되어 있지 않는 廣濶한 空間에서 大量의 可燃性가스나 蒸氣에 着火되다 境遇, 障礙物이 없으면 火災의 加速化는 일어나기가 힘들므로 自己起爆에 依한 爆轟의 發生은 일어나지 않는다.

이 경우에는 直接起爆에 依하여 爆轟이 發生될 可能性 또는 일어날 條件이 安全上 더 重要하다고 생각 된다.

直接起爆時의 點火源으로서는 實驗적으로 強力한 電氣스파크, 爆藥 및 管中의 水平爆轟波의 投入등이 利用되고 있다.

① 電氣스파크에 依한 直接起爆

이 경우에는 電極의 形態와 放電特性 등이 起爆의 限界에너지에 影響을 준다.

그림 4에 低壓의 아세틸렌과 酸素의 混合가스의 直接起爆에 所要되는 限界에너지 發生과 電極距離 및 電極의 影響을 나타내고 있다. 그리고 프랜지型 電極의 경우 프랜지表面에서 얻은 구름模樣의 事例를 그림 5에 나타냈다. 그림 4에서 電極距離가 길어지면 單位電極 距離當 起爆限界에너지는 一定值에 漸次 가가워진다. 그러므로 電氣스파크와 같은 線狀의 點火源에서는 單位기



그림 5. 프랜지型電極의 그으름(媒)模樣 (2C₂H₂+5O₂, 初壓; 50mmHg)

리當 에너지의 最少값을 起爆의 限界 에너지로 나타낼 수가 있다.

이때의 에너지는 當初콘덴서에 備蓄 되었던 全에너지($1/2CV^2$)는 아니고 起爆에 有効하게 作用하는 에너지 크기이다. 即 放電에너지의 出力(power)이 最大일때 放出된 스파크 에너지가 일으키는 衝擊波의 強度가 問題이지 其後 放出되는 에너지는 起爆過程에 何等寄與을 하지 못한다. 實際로 有効한 에너지는 $1/2CV^2$ 의 $1/10$ 程度로 보고 있다.

그러나 이와같이 하여 求하는 測定例는 드물고 電氣스파크로 直接起爆할 수 있도 가스는 可燃性가스와 酸素의 混合가스와 같이 比較的 爆轟이 일어나기 쉬운 系列에 限定되고 있는 것이다.

② 爆藥에 의한 直接起爆

安全上 重要な 可燃性가스와 空氣의 混合가스가 廣濶한 空間에서 爆轟을 일으키는데는 더욱 強力한 點火源이 必要하다.

이 경우 實驗的으로 爆藥을 起爆源으로 쓰는 경우가 많고 直接起爆의 難易度는 起爆에 必要한 最少의 爆藥量 或은 그 化學에너지로서 評價할 수가 있다.

表 3에서는 몇가지 種類의 可燃性가스에 對한 直接起爆에 所要되는 爆藥量과 實驗結果을 나타내고 있다.

表 3. 廣濶한 空間에서의 可燃性가스와 空氣의 混合가스의 直接起爆에 所要되는 爆藥量

可燃性가스	使用 爆藥	限界藥量	備考
프로필렌옥사이드	Datasheet (Dupont)	3.5g	外挿值
에틸렌	벨즈리드	10g	
"	베트릴	15g	
에탄	"	40g	
프로판	"	80	
보탄	"	80	
메탄	"	22kg	
메탄	Datasheet (Dupont)	4kg	

③ 管속의 平面爆轟波 打入에 依한 直接起爆

表 4. 可燃性가스, 蒸氣의 爆轟의 危險指數(D^H)

(A)=可燃性가스와 酸素의 混合物
 D^H 가스·蒸氣

1.	아세틸렌
10^1	옥사이드(에틸렌옥사이드, 프로필렌옥사이드)에틸아세틸렌, 프로판지엔 亞窒酸에틸
10^2	오레핀(에틸렌, 프로필렌)시크로프로판, 메틸비닐에테루弗化비닐
10^3	팔라핀(에탄, 프로판, 브탄, 헥산) 디에틸에테루 아세트알데히드, 水素
10^5	메탄
(B)	可燃性가스와 空氣의 混合物
D^H	가스, 蒸氣
10^5	아세틸렌
10^7	옥사이드(에틸렌옥사이드, 폴리프로필렌옥사이드)亞窒酸아민 亞窒酸플로핀
10^8	오레핀(에틸렌, 폴리프로필렌)Mapp. 亞窒酸플로필 50%+石油 에베루 또는 벨젠 또는 니르로에탄 또는 燈油 各 50% 混合物
10^9	파라핀(에탄, 프로필)디옥산, 水素
10^{11}	메탄

$$D^H = \frac{\text{燃料의 最少起爆限界 에너지}}{\text{아세틸렌 酸素混合物의 最少起爆限界 에너지}}$$

廣濶한 空氣中에서 爆發性 混合가스를 直接起爆시키는 方法으로서는 一旦 容易하게 발생시킬수 있는 管속에서 爆轟波를 일으키고 거기에 接續된 같은 가스의 組成을 가진 廣濶한 空間에 打入시켜 爆轟을 發生시켜 限界管徑을 求하는 實驗이 Zeldsvich, Freiwald, Ginsburgh等에 依하여 行해졌으며 그 結果 起爆에 必要한 限界管徑과 限界爆藥量과의 사이에 相關關係가 있다는 事實을 認定하게 되었다.

그들은 이 方法을 써서 各種 可燃性가스에 對

하여 酸素中에서나 또는 空氣中에서 直接起爆의 限界管徑을 外挿法을 써서 測定하였다. 또한 이 값과 爆轟波의 特性值에서 그때마다 에너지를推算하였고 從來 얻었던 電氣스파크나 爆藥에 의한 結果를 整理하여 比較值을 내게되었다.

이와 같이 各種가스의 直接起爆이 일어나기 쉬운 程度를 起爆限界에너지로 評價하여 이것을 相對的으로 나타내는 것을 試圖하였고 그 結果 여러가스를 爆轟이 일어나기 쉬운 程度에 따라 몇개의 구름으로 區分하였던 것이다. 그 結果가 表 4에 나타나 있다. 表 가운데 D_{1f} 는 가장 爆轟이 일어나기 쉬운 아세틸렌과 酸素의 混合가스의 最小起爆 限界에너지($0.4 \times 10^{-3} J$)을 1로 볼 경우 다른 것은 그 몇배의 起爆에너지가 必要한지를 나타냈다. 表 4에서 가스 種類에 따라 起爆에너지에 있어서 큰 差가 있는 것을 알 수 있다 또한 같은 가스라도 酸素中과 空氣中에서 起爆 에너지가 10^6 배나 큰 差를 나타냄도 보여주고 있다. 이런 結果를 보아 過去에 廣濶한 空間에서 일어났던 蒸氣爆發 事故에서도 거의 大概의 경우 直接起爆에 依하여는 爆轟이 생기지 않았던 것으로 여겨진다. 왜냐하면 起爆에 必要한 에너지는 通常 얻을 수 있는 點火源의 에너지를 훨씬 넘고 있기 때문이다. 그러나 實際事故의 경우에는 部分的인 空間의 制限條件과 地上에 있는 여러 障礙物 때문에 일어나는 火災의 加速으로 因하여 爆轟으로의 轉移可能性이 커지므로 問題가 되는 것으로 여겨진다.

5. 爆轟의 限界

爆轟의 限界에는 組成限界(不活性가스에 依한 稀釋限界 包含), 壓力限界 및 管徑限界가 있다. 이런 限界는 相互 關聯되어 있으며 그 限界는 다른 두 條件을 固定시킬 수 있을 때 비로서 決定 지을 수가 있다. 水素와 酸素系에서의 限界值 測定例을 表 5에 나타냈다.

通常 利用하는 限界值는 壓力이 大氣壓力에서 여러 管徑에 있어서 가스가 가진 濃度限界을 나

表 5. H_2-O_2 系의 爆轟限界測定例

	壓力	管徑	H_2 濃度	文獻
組成限界	1氣壓	10cm	10~85%	17)
壓力限界	23mm Hg	2.7cm	50%	18)
管徑限界	1氣壓	0.25cm	60%	19)

타내는 경우가 많다. 여기서는 爆轟限界가운데 주로 大氣壓力에서의 爆發性 가스의 濃度限界와 起爆方法과 管徑의 影響에 對하여 記述한다.

이미 言及한바와 같이 爆轟이 일어나는 過程에는 두가지 경우가 있어 濃度限界의 測定方法도 두種類로 大別할 수가 있다. 하나는 管中에서 燃燒로부터 爆轟으로 轉移가 일어나는 限界組成을 測定하는 方法이다. 이 경우 弱한 點火로서 생긴 火災을 充分히 加速시키기 위하여는 大端히 긴 爆發管이 必要하고 測定된 限界組成도 裝置 依存性이 強하여 一般性이 없는 缺點이 있다. 그러나 實際 事故狀況은 이와같이 爆轟이 일어나는 경우가 많은 것이다.

또다른 한 方法은 衝擊波를 隨伴하는 強力한 點火源으로서 爆轟을 直接 일으키는 方法이다. 球狀의 容器를 써서 強力한 電氣스파크나 爆藥을 點火源으로 쓰는 方法인데 이 경우 생기는 爆轟波는 球面을 이룬다. 點火源으로 부터의 衝擊波의 衰退가 甚해지므로 爆轟이 생기기 어렵고 얻을 수 있는 限界濃度範圍도 좁은 경우가 많다. 一般的으로 限界濃度の 測定에는 그림 6에 나타낸 것과 같은 爆轟波管이 쓰이며 起爆시키기 쉬운 可燃性가스와 酸素系 管中에서 發生된 平面爆轟波를 試料가스속에 打入하여 限界濃度を 測定하는 方法이 쓰인다. 이 경우 測定에 쓰이는 管徑이 限界濃도에 影響을 미친다. 水素와 空氣의 爆轟 限界濃도에 미치는 管徑의 影響에 對하여 爆轟波로 起爆한 경우의 測定例을 그림 7에 나타냈다. 여기서 管徑이 無限大가 되는 경우가 가장 넓은 限界濃도가 所要된다. 그러나 實際로 解放된 空間에서 爆轟이 일어나기가 가장 어렵다

는것은 이미 記述한 바와 같다.

여러 方法으로 測定한 몇개의 可燃性가스와 電氣系의 爆轟 限界濃度範圍을 表 6에 나타냈다 表에서 爆轟限界濃度は 起爆方法이나 測定容器的 形態에 따라 크게 다른것을 알 수 있다.

自己起爆의 경우에는 管徑이 커지면 아세틸렌이나 에틸렌옥사이드도 爆轟을 일으키지 않으며 反對로 直接起爆으로 管徑이 클 수록 爆轟範圍도 넓어지고 나아가서 點火源의 에너지가 크면 燃焼限界보다 넓은範圍에서도 爆轟이 생기는 경우가 있다. 이것은 分明히 강한 衝擊波를 주면 燃焼範圍內의 가스는 어떤 것이거나 모두 爆轟을 일으킬수 있다는 것을 나타내고 있다.

爆轟限界 自體는 本質的으로 起爆過程에 따라 달라지는 것이 아니지만 實際上 爆轟을 일으키는 데는 起爆方法에도 큰 問題가 있는것이다. 即 廣闊한 空間에서는 爆轟은 잘 일어나지 않으나 一旦 생긴 爆轟波의 傳播는 容易하다는것이다.

爆轟의 限界值를 利用 하고자 하면 點火源의 種類나 容器的 形態, 管徑, 障礙物의 存在如否 空間의 制限等을 考慮하여 適正한 評價를 내려야 할 것이다.

6. 爆轟의 阻止

高壓가스의 爆轟으로 인한 事故의 豫防對策은 點火源의 排除 또는 가스漏洩의 防止等 基本的으로는 一般 防爆對策과 同一 하지만 爆轟이 일어나지 않도록 이미 앞에서 記述한 諸對策을 講究해야 할 것이다.

一旦 爆轟이 일어난 後에 爆轟波를 阻止 하거나 被害를 最少限으로 減少시킨다거나 하는 方法은 一般 가스爆發을 抑制하기 위하여 쓸수 있는 方法과는 判異하다. 例을 들어 安全破裂板 등으로는 爆轟波를 거의 有效하게 防止하거나 排出할 수는 없는 것이다.

廣闊한 空間에서 일어난 爆轟에 對하여는 于 先 安全距離을 充分히 維持하고 防爆壁을 設置하는 등의 方法을 取하지만 實際 壁外側에서는 壓力

을 輕減시킬수 있으나 오히려 壁內側에서는 反對로 反射波때문에 壓力이 높아진다는 것만 보아도 알 수 있다.

小 容器나 管속에서 일어나는 爆轟波에 對하여는 爆轟壓力에 能히 견딜 수 있는 強度을 지닌 材質의 管을 使用할 수는 있다. 爆轟壓力의 持續時間이 通常 가스의 燃焼爆發時의 壓力持續時間에 比하여 大端히 짧기 때문에 支撐이 可能하다고 보지만 爆轟波의 경우에는 衝擊壓力로서의 破壞가 效果가 아직도 不分明한 點이 많으므로 爆轟으로 轉移할 때의 過大한 壓力과 反射壁에 依하여 管路一部과 破壞되는 경우가 흔히 있을 수 있는 것이다.

가. 爆轟波防止裝置의 原理

爆轟波防止裝置는 主로 可燃性가스가 흐르는 配管內에서 일어난 爆轟波의 傳播을 阻止함으로써 裝置나 設置에 被害가 擴大 되는 것을 防止하기 위하여 配管의 途中에 設置하는 防護裝置(protector)이다. 爆轟波의 傳播을 阻止하려는 爆轟波에 隨伴되는 衝擊波를 弱화시키고 爆轟波의 傳播을 持續시키는 役割을 하는 燃焼波에서 熱과

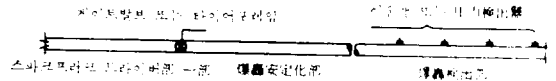


그림 6. 爆轟限界의 測定裝置

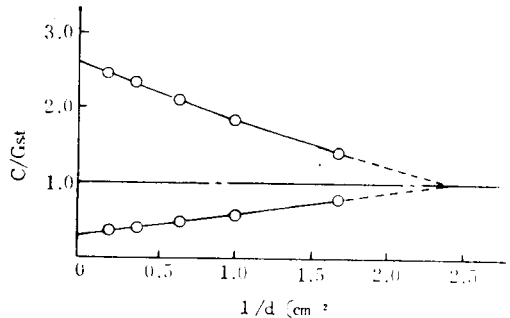


그림 7. 水素와 空氣混合가스의 爆轟限界에 있어서의 管徑과 濃度の 關係(C : 水素濃度, C_u : H_2 29.5% d : 管徑)

炭化水素의 基(radicals 例 OH基)을 奪取하여 燃燒波를 消滅시켜야 한다.

이를 위하여 衝擊波의 緩衝 또는 爆轟의 中斷 등을 促進하는 機構을 마련하여 固體細隙에 依하여 火炎을 冷却시키고 機械的 흐름을 遮斷함으로써 未燃燒가스의 供給을 斷絶하는 등의 方法을 取하여야 한다.

火炎은 적은 空間에서는 傳播되지 않고 冷却되어 消失되는 現象을 나타낸다. 이것을 消炎이

라고 부르고 그런 性質을 가진 物質을 消炎素子라 부른다.

위에서 말한 細隙이란 消炎效果를 낼 수 있는 特定가스의 消炎距離 以下の 작은 空間을 말하는 것이다.

그리고 火炎이 傳播될때 細隙속에서 消失되어 더 傳播가 進行되지 않는 限界의 特定가스의 直徑을 그가스의 消炎直徑이라 하는데 爆轟波의 경우에는 그 消炎直徑이 燃燒波의 에比하여 훨씬

表 6. 燃料 空氣混合가스의 爆轟範圍의 測定值 (初壓: 大氣壓)

燃 料	爆轟範圍(vol%)		起 爆 方 法	測 定 容 器	
	下 限 界	上 限 界		徑[cm]	거리[m]
水 素	27	35.5	自 己 起 爆 ($2H_2+O_2$ 爆轟波) 爆 藥 (강한 氣體爆轟波)	(2)유리管	40
	18.3	59		(2.5)	
	15	63.5		30.5	12.2
	9.0	76.5		∞ (外挿法)	2.4~3.0
메 탄	6.5	12	아마토루 70g	30.5	12.2
	6.5	13.5			
아 세 틸 렌	爆轟안일어남		自 己 起 爆	60	50
	6.6	15.3	自 己 起 爆	(2)유리管	40
	6	25	雷管+벤스릿트 7g	184의 고무	風 船
	4.2	50	($2H_2+O_2$ 爆轟波)	(2.5)	
에 틸 렌	2.0	100	벤 스 릿 트 10g	60	50
	5.3	9.1	自 己 起 爆	8	27
에 틸 렌	3.3	14.7	$C_3H_8+5O_2$ 爆轟波	7	18
	2.8	18	벤스릿트 20.3g	15	15
에 탄	2.9	12.2	$C_3H_8+5O_2$ 爆轟波	7	18
에틸렌옥사이드	爆轟안일어남		自 己 起 爆	60	50
	5.3	18	테 트 린 10g	60	50
		>30	" 100g	60	50
에라놀(100°C)	5.1	9.8	3.25% $C_4H_{10}-O_2$ 爆轟波	1.3	1.5
프 로 필 렌	3.5	8.5	시 드 爆藥 800g	고무팩 1.8×1.8×7.6	
	3.5	10.4	$C_3H_8+5O_2$ 爆轟波	7	18
포 로 편	爆轟안일어남		自 己 起 爆	60	50
	3	7	시 드 爆藥 800g	고무팩 1.8×1.8×7.6	
	2.6	7.4	$C_3H_8+O_2$ 爆轟波	7	18
	2.2	9.2	벤 스 릿 트 10g	60	50

브 탄	2.5	5	시 드 爆 藥 800g $C_3H_8 + 5O_2$ 爆轟波	고무팩 1.8×1.8×7.6	
	2.0	6.2		7	18
에 틸 에 테 루	2.8	4.5	($2H_2 + O_2$ 爆轟波)	(2.5)	
벤 겐 (100°C)	1.63	5.55	3.25% $C_4H_{10} - O_2$ 爆轟波	1.3	1.5
거옥탄 (100°C)	1.45	2.85	"	1.3	1.5
硫 化 水 素	6.5	21	벤 스 릿 트 20.3g	15	15

() 内는 推定條件.

선 작아지는 것이다.

나. 爆轟波 防止裝置의 種類와 그 性能

一般의으로 우리나라에서 逆火防止裝置(flash Back Arrester)라하면 燃燒波의 火炎(flame)을 阻止하는 火炎防止器(flame arrester)와 爆轟波(detonation wave)의 火炎을 防止하는 裝置(flash back arrester)을 總稱하는 말이다.

逆火防止裝置의 機構는 좁은 直徑의 細隙또는 通路로 되어 있어 그곳을 通過하여 가스는 흐르지만 火炎(flash flame)은 그곳에서 冷却, 消滅시키는 性能을 갖춘 裝置로서 火炎에 逆流하기 쉬운 配管에 設置하는 安全裝置이다.

① 逆火 防止裝置의 種類와 一般의 性能

이 裝置에는 水封式과 乾式이 있다. 水封式은 가스를 물 또는 不燃性 液體속을 氣狀態로 通過시키므로써 가스의 흐름을 分斷하여 爆轟의 傳播을 阻止하려는 것이다.

이것은 消炎이 確實하여 大容量의 管路에 適當하지만 가스가 濕하게 되는 缺陷이 있고 裝置內의 水位를 點檢하기가 어려운 短點이 있다. 이식은 주로 $1kg/cm^2$ 以下의 溶接用 아세틸렌의 配管에 많이 쓰인다. (그림 8 參照) 그러나 물과 作用하기 쉬운 다른 가스(例, 水素等)等에는 使用하지 않는다.

乾式裝置는 消炎素子로서 團體細隙이 쓰인다. 주로 金網(meshnet) 燒結金(sintered metal) 發泡金屬(metal foam), 基他金屬리본, 스틸울(steel wool), 炭素粒等이 쓰인다.

細隙의 直徑이 적을 수록 阻止能力도 커지지

만 가스의 流通抵抗도 따라서 增加되는 癖이 있다. 例를들어 燒結金屬은 細隙을 이루고 있으나 流通抵抗이 가장 높은 短點을 지니고 있는 통과 같다.

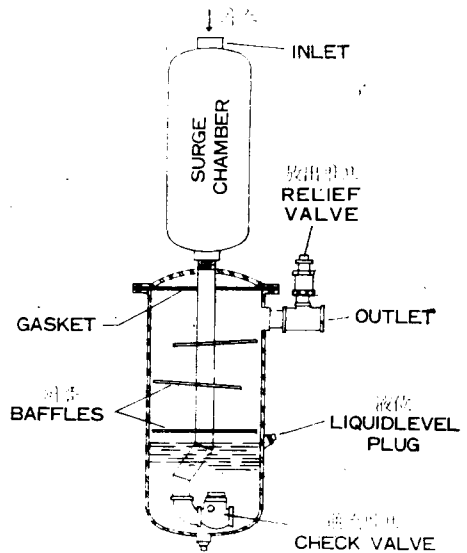
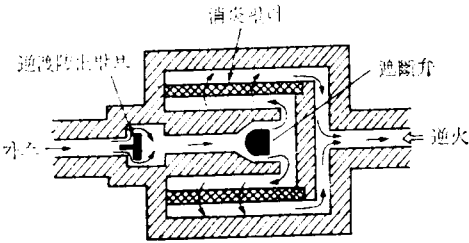


그림 8. 水封式 逆火防止裝置의 構造(아세틸렌 溶接專用), $1kg/cm^2$ 以下.

아세틸렌과 酸素系統과 같이 大端히 強力한 爆轟波을 阻止하려하는 超過細隙이 必要한 것이다.

가스 溶接에 쓰이는 토치(torch)에는 아세틸렌과 酸素의 混合가스가 많이 쓰이는데 火口에서 逆火되는 것을 防止하기 위하여 小型의 逆火防止器가 實用化되고 있다(그림 7 參照).

例 1.



例 2.

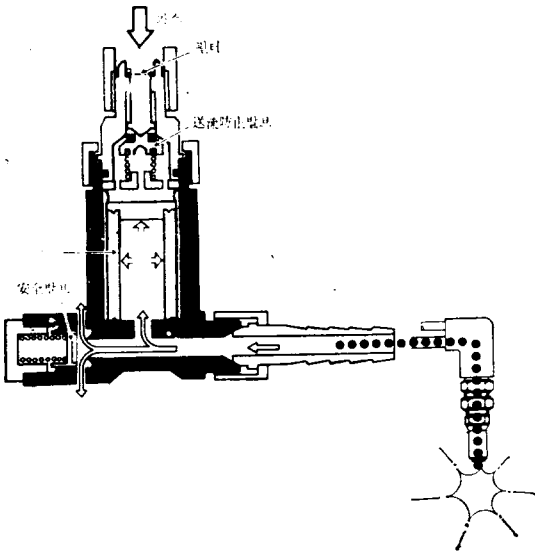


그림 9. 逆火防止裝置의 構造例

이 裝置의 基本 構造는 그림 9와 같다. 現在도 大量의 可燃性가스와 酸素의 混合가스의 爆轟波를 確實하게 阻止할 수 있는 實用的인 乾式 爆轟波 防止裝置는 아직 開發되어 있지 않은 것이다.

可燃性가스와 空氣 混合가스의 爆轟波에 對하여는 固體細隙을 쓴것이 여러種類 試圖되고 있다. 그리고 管中の 爆轟波가 갑자기 넓은 空間으로 나오면 爆轟이 瞬間적으로 中斷되는 原理를 利用하는 方法도 쓰여지고 있다(그림 10 參照) 이렇게 하면 爆轟波를 直接 阻止하는데 所要되는 金網 枚數을 切半 以下로 주릴 수가 있고

表 7. 溶接時等 逆火事故가 일어는 경우

1. 가스 토치(torch)가 老朽 또는 調節밸브가 헐거울 경우
2. 팁(tip)이 老朽하거나 막혔을 경우
3. 가스 容器內의 多孔質物의 粉沫이 토치를 막아 호스의 弱한 部位가 破裂되어 逆火되는 경우
4. 가스 集合設備의 탱크나 配管에 外部衝擊이 加해졌을 경우等.

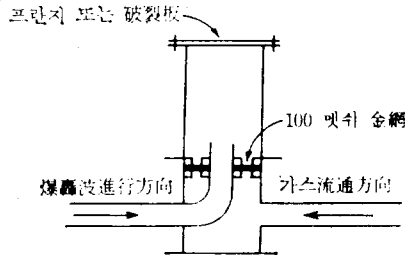


그림 10. 爆轟中斷型 爆轟防止器 構造

가스의 流通抵抗도 大幅 減少 시킬 수 있다.

어떤 種類의 爆轟波 防止裝置에 있어서도 爆轟波를 阻止함과 同時에 未燃燒가스의 供給을 遮斷하는 裝置가 必要하다. 이것이 없으면 一旦 爆轟波가 阻止 되었다 하더라도 團體細隙 表面에서 持續的인 一種의 바나싯이 維持되어 그 狀態가 持續되면 그 消炎素子마저 가스의 發火溫度까지 加熱되어 未燃燒가스에 引火가 될 경우가 生기기 쉽다.

② 逆火防止裝置의 性能 基準(美國 例) (가) 裝置는 燃燒波 또는 爆轟波가 壓力調整器 또는 配管으로 逆流하는 것을 確實하게 防止할 수 있을 것

- (나) 逆流하는 가스를 阻止하는 性能을 具備할 것
- (다) 放出(check)裝置를 具備할 것
- (라) 消炎素子는 金網 燒結金屬 發泡金屬 또는 이와 同等以上の 消炎性能을 具備할 것
- (마) 裝置 通過時의 壓力損失이 적을 것
- (바) 逆火防止후 곧 復元이 可能하여 繼續使用에 支障이 없을 것

結 語

爆轟波의 危險性을 評價함에 있어서 利用한 모든 技術資料을 過少 또는 過大 評價하는것은

禁物이라 하겠다. 爆轟波 防止하는 裝置에 對한 檢査는 最惡의 條件下에서 그 性能을 確認한 것이 아니면 使用하지 말아야 할 必要가 있는 것이다. 이 分野에 對한 繼續不斷한 加一層의 깊은 研究가 있어야할 것이다. <끝>

韓國保險產業 世界 20位 浮上

우리나라 보험산업이 전세계국별 수입보험료 순위로 세계 20위에 부상한 것으로 밝혀졌다. 6월 11일 韓國 保險公社가 입수한 세계적으로 권위있는 보험전문지 近昔 시그마誌 5월호(스위스·리인슈어런스社발행)에 의하면 우리나라는 지난 79년 연간 거수보험료가 미화 16억 5백만달러로서 세계 20위를 차지한 것으로 나타났다.

시그마誌는 해마다 연간 거수보험료가 1억달러 이상인 보험국의 순위를 발표하고 있는데 우리나라는 지난 71년 세계 30위에 처음으로 랭크된 이래 매년 상승세를 나타내 72년 29위, 73년 28위, 74년 29위, 75년 28위, 76년 27위, 77년 25위, 78년 22위에서 79년에는 20위를 차지, 국내보험산업이 선진국으로서의 발판을 구축한 것으로 나타났다.

1979年度 全世界主要保險國의 舉收保險料 및 順位

順位	國 家	1979年度 舉收保險料(各國貨幣單位: 百萬)				美 1달러 當換率 ²⁾	總額의 美달러 換算額(單位: US \$ 百萬)	世界市場 占有率(%)
		貨幣單位	損害保險	生命保險	合 計			
1	美 國 ^{*)}	US-\$	118,017	57,022	175,039	—	175,039	44.65
2	日 本 ²⁾	Yen	3,513,306	7,350,898	10,864,204	239.70	45,324	11.56
3	西 獨	DM	42,926	28,697	71,623	1.73	41,401	10.56
4	英 國 ^{*)}	£	5,354	5,717	11,071	0.45	24,602	6.28
5	프 랑 스	F	64,885	23,680	88,565	4.02	22,031	5.62
6	캐 나 다	Can. \$	7,945	5,213	13,158	1.17	11,246	2.87
7	네 델란드	hfl.	9,962	6,568	16,530	1.91	8,654	2.21
8	이 태 리	Lit.	4,735,000	755,000	5,490,000	804.00	6,828	1.74
9	스 위 스	S. Fr.	5,135	5,035	10,170	1.58	6,437	1.64
10	濠 洲	A. \$	3,628	1,804 ³⁾	5,432	0.90	6,036	1.54
11	스 웨 덴	S.Kr.	11,789	7,719	19,508	4.15	4,701	1.20
12	벨 지 움	B.Fr.	93,724	34,289	128,013	28.05	4,564	1.16
13	스 페 인	Ptas	189,742	27,825	217,567	66.15	3,289	0.84
14	오스트리아	Sch.	27,020	8,681	35,701	12.43	2,872	0.73
15	덴 마 크	D.Kr.	8,245	6,840	15,085	5.37	2,809	0.72
16	남아프리카	Rand	750	1,450	2,200	0.83	2,627	0.67
17	아로헨티나	N. Pes.	3,243,200	172,700	3,415,900	1,618.50	2,111	0.54
18	핀 란 드	Mk.	2,778	4,654	7,432	3.71	2,003	0.51
19	노 르 웨 이	N. Kr.	6,407	3,244	9,651	4.93	1,958	0.50
20	韓 國	Won	297,089	479,537	776,626	484.00	1,605	0.41