

火藥類에 관한 새로운 危險性 評價

住友商事(株) 木村 眞
(譯) 李 英 一

1. 머 리 말

現在 危險物에 관한 評價가 消防法에 의하여 다시 評價되고 있으나 CIL, ICI, Hercules等の 火藥 公社들에 있어서 dynamite보다 安全하다고 생각 되는 ANFO나 含水爆藥의 危險性을 再檢討하는 움직임이 나오고 있다. 여기에서 紹介하는 것은

- (1) CIL's Hazard Assessment Manual 중 Chapter 19 Sensitivity experiments
- (2) Errol L.Falconer, Hazard Control with high energy materials : Art or (87 Symposium at the Center for Explosives Technology Research at University of New Mexico에 있어서의 講演)

으로 부터 拔萃한 것이다. 이 研究의 發端은 1974~75년에 일어난 危險物로서는 重要視되지 않는 物質의 爆發에 의한다<표1>.

Mc Masterville는 CIL의 工場에서, 이 事故의 4個月前에 dynamite의 混合中 爆發을 일으켰으나, 그때까지 17年間은 한번도 事故를 일으킨 일은

없었다. 이 事故以後 CIL은 雷管起爆性 slurry 에 대하여 dynamite와 똑같이 嚴格한 規制로 改正하였다.

그리고 올바른 危險性 및 作業運營의 檢討(Hazards and Operability Study, 略하여 HAZOP)가 完成되기까지 새로운 工場이나 設備를 發足시키지 않도록 하였다. 그리고 ICI의 Mond Division에서 HAZOP技術을 얻어 다시 1978年 Seville에 있어서의 火藥工業의 事故에 관한 第6回 國際會議에서 A.S.Mackinon과 R.Shaw의 論文에서 詳細한 것을 알았다.

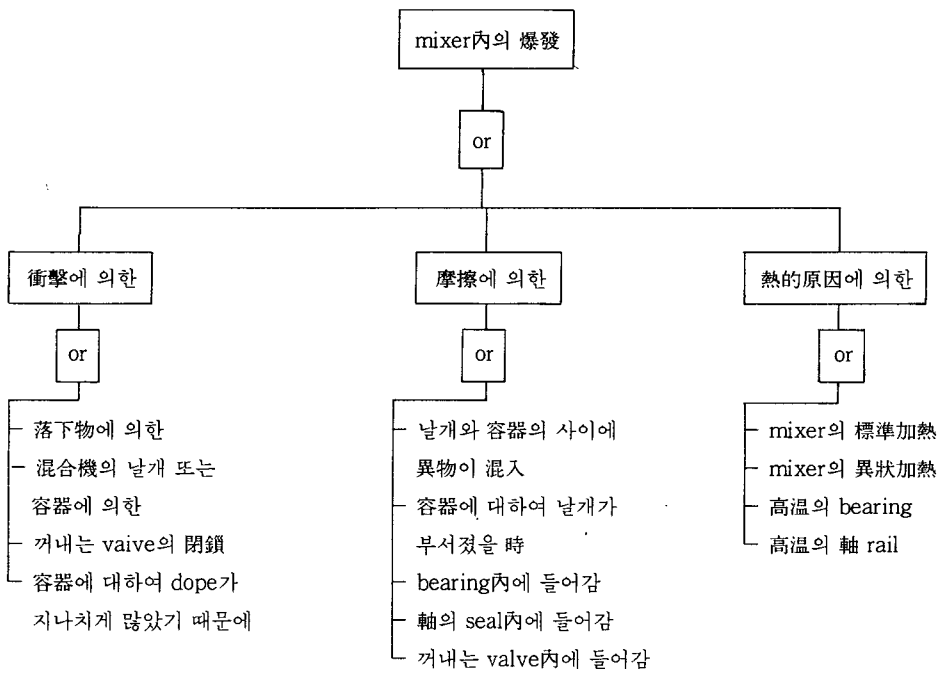
따로 Hercules社의 Allegany Ballistics 研究所에서 HERC技術(Hercules技術의 略)을 얻었다. 이것은 物理的, 熱的 刺戟에 의해 일어나는 爆燃과 爆轟의 頻度を 評價하기 위한 Probit curve와 經驗의 試驗을 行하는 有效한 補助技術이다.

2. HAZOP技術

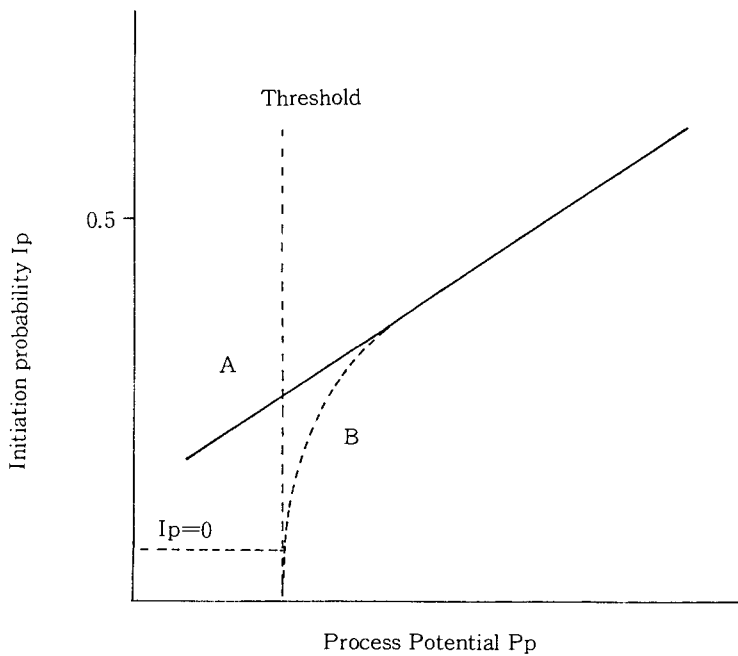
製造開始의 着想에서부터 工場稼動直後의 最終 段階까지 約 6個月間에 다음의 6段階가 있다.

<표1> 1974~75년에 일어난 參考로서 쓸모있는 事故

場 所	Flixborough	Wenatchee	Mc Masterville
年 月 日	'74年 6月 1日	'74年 8月 6日	'75年 10月 1日
爆 發 物 科 推 定 原 因	工程中的 漏水口에서 나온 Cyclohexane蒸氣	10,000 gallon이 든 87% MMAN의 rail tank car(日 常과 같이 電源을 졌을 時에 일어났다)	5,300lb의 EGMN slurry 爆 藥이 爆發하여 1,000lb의 液 狀 EGMN과 900lb의 哨安 이 傳爆하였다. 包裝機에 供 給하는 Moyno pump內의 一 般의 Ball joint가 原因
死 傷	28人 死亡 104人 負傷	2人 死亡 113人 負傷	8人 死亡 19人 負傷



[그림1] fault tree



[그림2] Prebit Curve

<表2> batch 作業에 있어서 check list

1. 量의 變化	(a) 지나치게 많을 時 (b) 지나치게 적을 時 (c) 正常時
2. 物理的 條件의 變化	(a) 壓力이 지나치게 클 時 / 지나치게 적을 時 (b) 溫度가 지나치게 높을 時 / 지나치게 낮을 時 (c) 粘度가 지나치게 높을 時 / 지나치게 낮을 時 (d) 静止時의 壓力
3. 化學的 條件의 變化	(a) 材料가 나쁠 時 (b) 濃度가 지나치게 높을 時 / 지나치게 낮을 時 (c) 金屬이나 油類 등 特別한 汚物 混入
4. 作業順序의 變更	(a) 省略했을 時 (b) 順序를 바꿨을 時 (c) 部分的으로 完結했을 時
5. 換氣裝置, 廢水設備	(a) 다른 放水物과의 適合性 (b) 構造, 外部에서 爆發이 일어났을 時
6. 緊 急 時	(a) 救援이 失敗했을 時 (b) 豫想外의 事件(火災, 外部의 爆發 등)

(1) 第1段階

調査, 爆發과 發火外에 여러가지의 騒音, 腐蝕, 電氣的 衝擊等은 각각 細密하게 생각하면 서로 다르나 이 段階에서는 同一한 것으로 생각하여 利用할 수 있는 data를 모은다.

(2) 第2段階

(i) Fault Tree

行程과 計劃의 仕樣, Flow sheet를 明白하게 한다. 主要한 危險에 대하여 fault tree를 만든다. 즉 準備를 위한 配管이라든지 計劃上 固有한 弱點에 의해 일어날 수 있는 潛在的 危險狀態가 憂慮되는 設備等의 檢討를 한다.

工場管理나 終業等의 組織, energy源, 空氣 其他 重要한 資源供給, 安全運營을 위한 施設에 必要한 完全性의 檢討를 行한다. 이를 위하여 만드는 것이 fault tree이다. 概念圖를 [그림1]에 表示한다.

(註: 이것은 品質管理에서 俗言으로 “물고기의 뼈”라고 말하여지는 것과 같고, 이 思考方式은 새로운 것은 아니다.)

(ii) Probit Curve

起爆確率(Initiation probability 略하여 Ip)은 2가지의 要素 즉, 物質反應(Material response 略

하여 Mr)과 工程에 있어서 事故의 可能性(Process potential 略하여 Pp)으로 되어 있다.

前者은 物質의 衝擊이나 摩擦에 대한 銳敏性으로 落錐試驗이나 미끄럼 摩擦試驗等에 의해 energy 入力 level로 test하여 求한다.

後者는 發生한 energy의 函數이다. 이 energy는 計算에 의해 求한다. Probit curve를 만들어 $I_p : P_p$ 를 plot하여 I_p 를 求한다. Probit curve는 衝擊, 摩擦, 電氣 等에 의해 起爆에 應用된다.

[그림2]에서 表示한 바와 같이 縱線은 I_p , 橫線은 energy入力を 對數 scale로 表示한다. 衝擊起爆은 落錐 其他의 衝擊試驗機를 使用하여 定한다. 이들의 裝置는 많이 있으나 基本的으로는 同一한 原理이다. 規定의 重量은 test하는 小藥量의 火藥을 一定한 높이에서 떨어뜨린다. 이 energy로 火藥類는 發火하나 反應은 많은 方法으로 定해진다. 높이를 바꿔 落下시켜 反應한 比率을 각각의 energy level로 記錄한다. 反應의 確率은 一般的으로 分布되나, 普通의 確率紙에 plot했을 때의 data는 略直線이 된다.

Probit分析에 의해 I_p 를 定하는 것은 다음의 前提가 있다. 第1의 前提는 Probit line은 平均에서 의 標準偏差에 外挿하여 意義있는 結果가 생기게

한다는 것이다. line을 만들기 위한 data는 반드시 平均值 附近에 集合되고 平均에서 벗어나는 點을 만드는데 必要한 test數는 急激하게 增加한다. 分析되는 많은 事故는 Pp가 적은 것은 明白하고 標準偏差는 平均以下이다. Pp의 分布가 적을 때는 Ip도 減少하므로 Probit curve는 直線이라고 判斷된다. 이것은 energy 入力 level이 낮은 것에서도 證明된다.

Probit line은 모든 level의 energy 入力(Pp)을 나타내는 것이나 낮은 때에는 起爆의 可能性에는 限度가 있다. 한편 工程의 物理的 化學的 性質을 考慮하여 이것 以下の energy level에서는 反應이 일어나지 않는 □值(역치, threshold, 最低限界)가 있다. [그림2] 즉, Ip = 0인 點이 있다고 말할 수 있다.

이렇게 때문에 어디까지나 繼續되는 直線 A보다 밑에 있는 曲線 B가 생각된다. 이러한 直線이 있다고 하는 假定은 이 技術의 根本原理이다. 危險表示를 直線으로 表示한다는 前提는 危險을 消極적으로 表示하는 것보다 誇張하여 表示하는 것이다. 그러나 이 前提는 特히 衝擊試驗에서는 問題가 있다.

(iii) 衝擊 energy의 項에 있는 바와 같이 一定한 接觸面積을 갖는 鋼의 表面과 試料의 크기와 사이에 일어나는 衝擊은 理想的인 것에 가깝다. 그러나 실제로 일어나는 衝擊은 여러가지의 物體에서 일어나고 또한 接觸面積이 一定하지 않고 더구나 摩擦의 要素를 包含하고 있는 일이 많으므로 危險을 過小評價하기 쉽다. Probit技術의 詳細는 標準統計 text에 記載되어 있다.

(iii) 衝擊 energy

衝擊 energy E(joule)는 다음式으로 表示된다.

$$E = Mgh$$

M : 落下重量(kg), g : 重力常數

h : 落下高(m)

衝擊繼續時間은 2개의 鋼裂表面의 衝擊일 때에는 10⁻⁴秒 정도이다. 이 數字는 重量 0.5~20kg, 높이 10⁻²~2m의 範圍에서 一定하다. CIL에서 使用하는 衝擊試驗機는 US Navy에서 開發한 것으로서 重量 5kg, 0.5"(12.7mm)徑의 金床(모루)을 갖고 있다.

EGMN base slurry의 경우 H₅₀(發火率 50%)은 重量 5kg에서 0.4m, energy는 約 20joule, energy

入力速度(input rate)는 2×10⁵joule/sec이다. 上記한 2개의 鋼表面의 衝擊繼續時間 10⁻⁴秒는 같은 硬度的 硃쇠, nickel等에도 適用된다. 한편의 表面이 軟할 때에는 衝擊時間은 길어지고, joule/sec 値는 減少하므로 起爆確率は 減少한다. plastic이나 gum과 같은 構造物이 現在 많이 使用되므로 衝擊時間은 廣範圍하게 되나 이들 경우의 時間은 10⁻³秒정도이다. dynamite, TNT, EGMN Slurry 등의 衝擊起爆確률을 [그림3, 4, 5]에 表示한다.

(iv) HQ

모든 火藥會社는 각각의 設備方法으로 製品의 危險分析을 行하고 있다. 過去 이들의 評價는 主觀的으로서 經驗에 의한 個人判定에 의거하고 있었다. 危險性定量化(Hazad Quantification 略하여 HQ) 技術은 CIL에서 最初로 計劃되었다. 아직 이 評價는 確立되어 있지 않으나 將來에는 物理學者, 化學者, 技術者의 協力에 의해 理論的, 經驗的 基礎에 의거하여 完成될 것이다. 現在 檢討되고 있는 HQ技術은 다음과 같다.

爆轟 또는 爆發을 例들들면 여기에는 可燃性 物質이 存在하여, 事故를 일으키는 刺戟이 있고 起爆이 일어난다. 이 情報은 fault tree에 있어서 事故發生이 豫想되는 頻度を 주기때문에, 다음式으로 表示된다.

F_F : 主要한 發火가 豫想되는 頻度(主要發火/年)

X_F : 다음式으로 爆發이 豫想되는 頻度(爆發/年)

이라하면

$$E_F \times C_P \times I_P \times S_P = F_F$$

$$F_F \times T_P = X_F$$

爆發이 發火의 中間段階를 거치지 않고 일어날 경우도 많다.

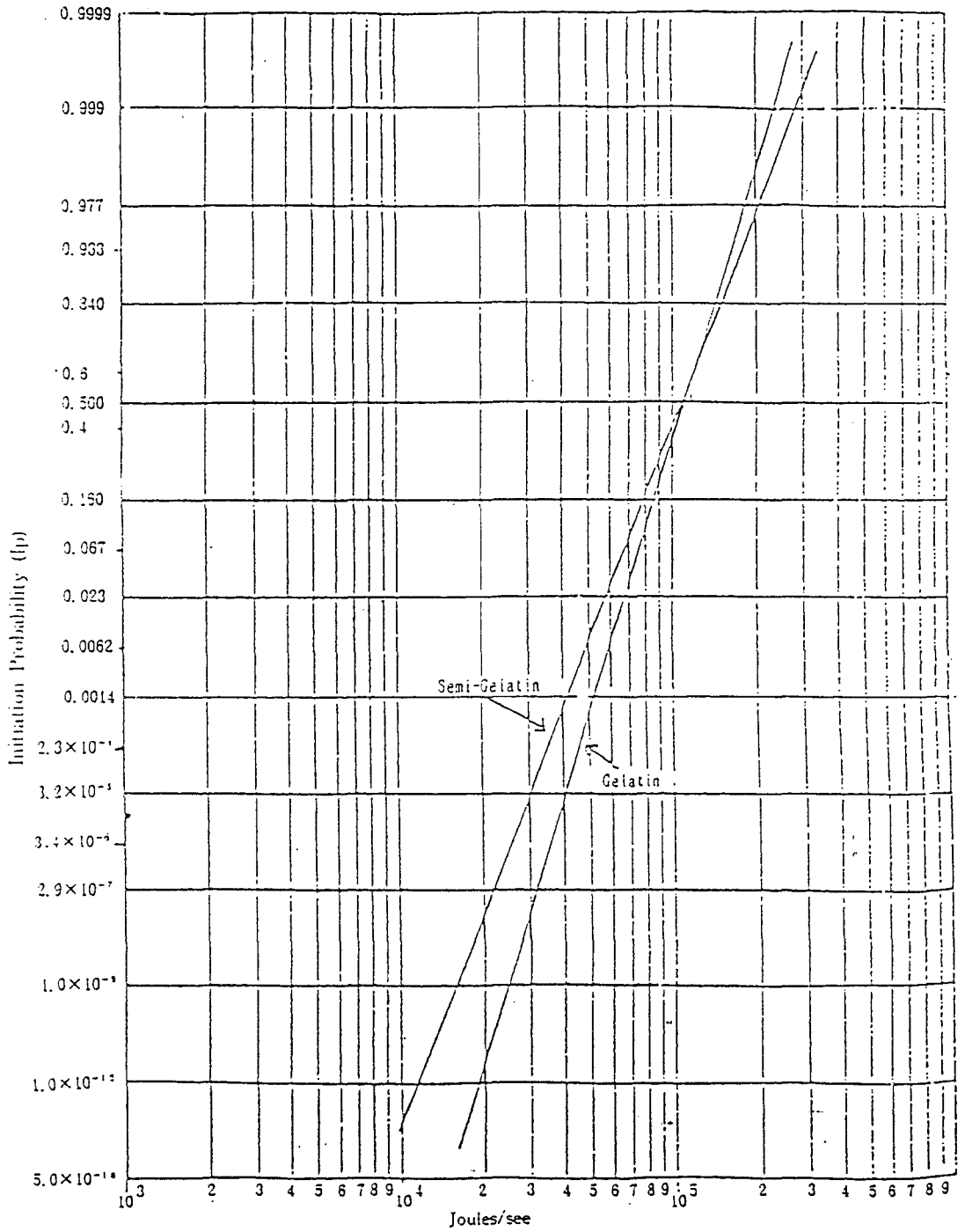
여기에서

E_F : 特別한 事故(衝擊, 摩擦等)가 正常作業으로 豫期되는 年間發生頻度

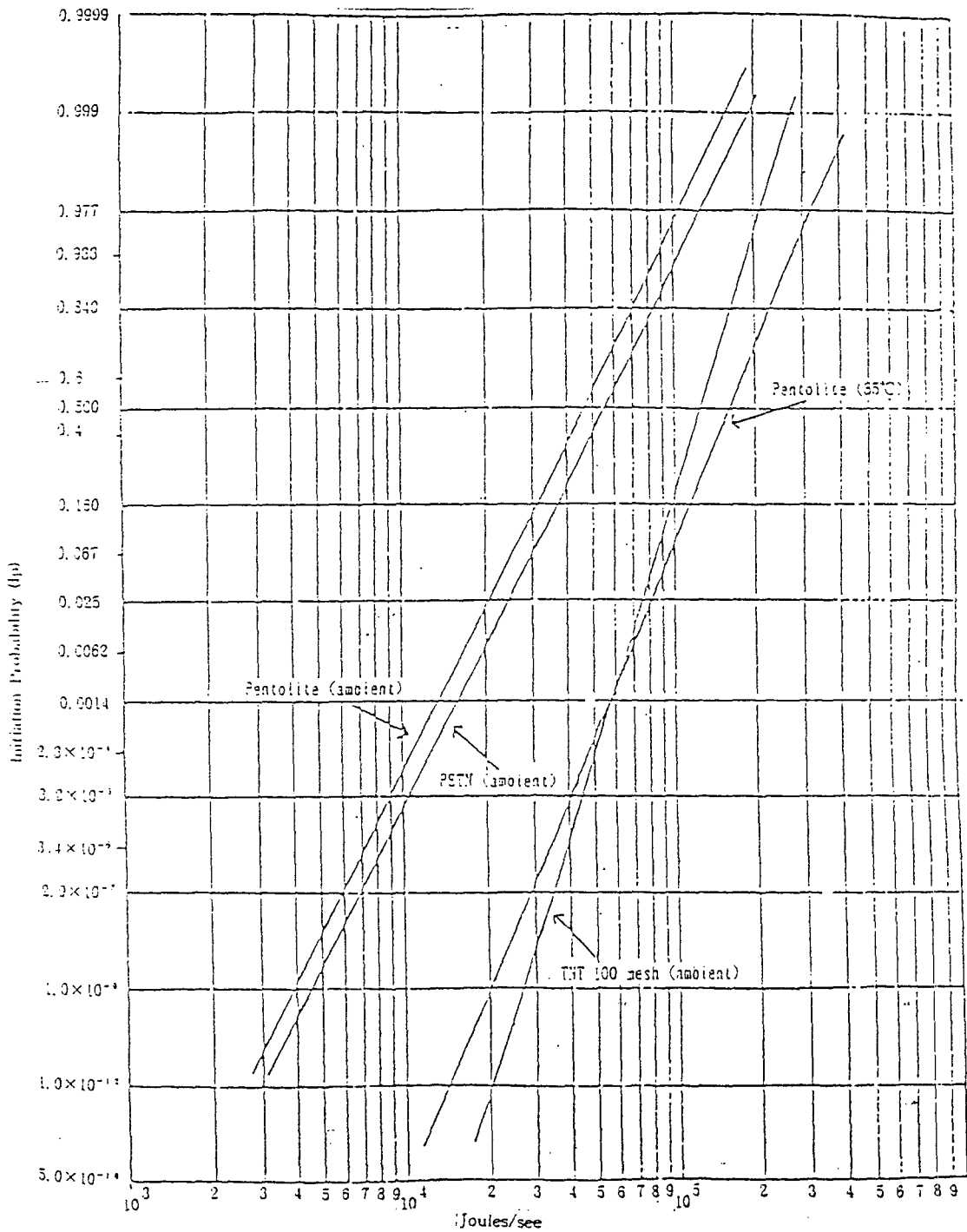
C_P : 生産에 使用하는 物質이 事故가 일어날 때 또는 場所에 있는 確率

I_P : 工程中에 物質의 起爆이 일어날 確率(앞에서 나옴), 이 確率은 問題의 物質의 感度 또는 反應에 의한

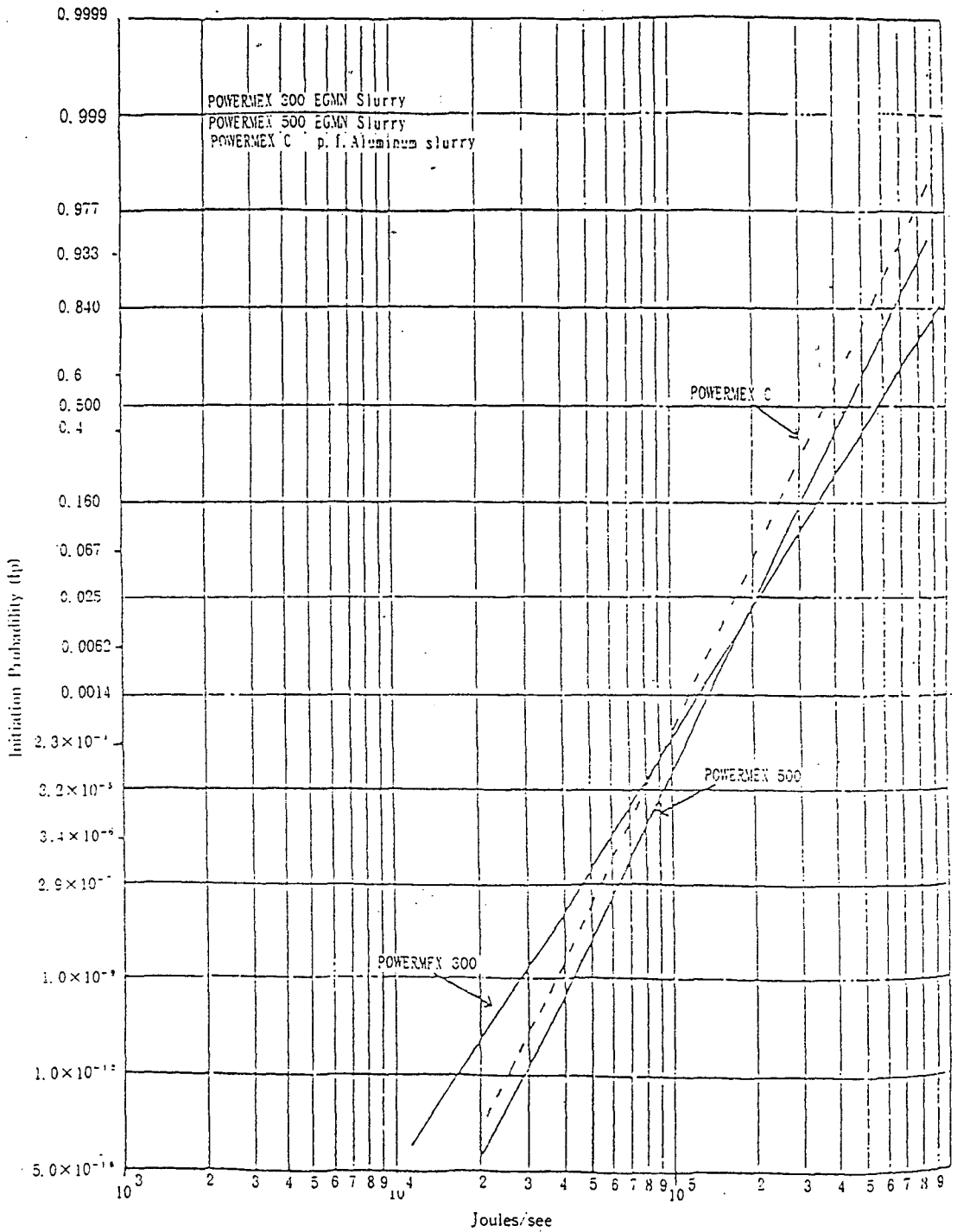
S_P : 小量의 物質의 分解에서 火藥全體의 分解



[그림3] $I_p(I_{moact})$ for NG-Based Explosives



[그림4] I_p (lmoact) for TNT, PETN, Pentolite 50/50



[그림5] $I_p(I_{moact})$ for POWERMEX Slurries

로의 傳播確率

T_p : 發火에서 爆發로 發展하는 確率

(3) 第3段階

計劃이 認可된 後, 될 수 있는대로 빨리 第3段階의 檢討에 들어간다. 이것에는 計劃責任者의 方針下에서 作業指導原案의 準備도 包含된다. 開發의 最終段階에 있어서 이 指導 diagram은 工場作業 및 維持의 評價를 正確하게 明示한다. 모든 pipe, 容器 및 遭遇할 可能性이 있는 모든 環境下의 組織의 確認을 包含한다. start時, 終了時 및 緊急事態의 作業에 관한 完全한 檢討를 行한다. 各 段階中에서 가장 詳細하고 더구나 時間을 갖고 行한다. 이것이 되지 않으면 計劃은 차질을 招來하고 計劃은 遲延된다. 이 研究은 工場의 作業可能性에 集中하여 行한다. 이것을 檢討하기전에 다음의 書類가 必要하다.

(i) 工場의 配置圖

(ii) 配管과 機械類의 圖面

(iii) 作業開始時, 標準作業中, 作業終了時 및 緊急時에 있어서의 作業規準

(iv) 第2段階에 있어서의 結論

team member에는 本 計劃을 熟知하고 있는 者, 作業者에는 機械操作에 익숙한 사람을 고른다.

다음에 nitro glycerin 硝化時에 貯藏tank에서 pipe를 거쳐 反應槽에 넣는 酸供給에 대하여, 計劃責任者부터 作業者에 대한 質問 및 그 回答에 대한 反應의 例가 記載되어 있으나 이것은 省略한다.

batch作業에 있어서 check list를 <表2>에 表示한다.

(4) 第4段階

이 目的은 前段階까지 行하여진 勸告가 모두 突行되었는가 어떤가를 確認하는 것이다. 作業開始前에 計劃責任者는 安全評價를 確認할 責任이 있고 未解決의 問題가 남는 作業을 開始해서는 안 된다.

(5) 第5段階

作業開始前 例를 들면 OSHA General Industry Safety & Health Standards and Insurance Underwriters Requirements와 같은 法的인 項目도 網羅 包含되어 있는가 어떤가를 檢討함과 함께 全員이 監視 miss, 照明不充分, 操作位置가 適當한가 어떤가 등을 檢討한다. 이 段階가 끝나면 工場

은 作業開始의 準備가 完了된다.

(6) 第6段階

作業開始後 6~8個月後에 計劃責任者는 危險 level이 合理的인 것을 確認하고 工場은 full操業을 한다. 이 檢查結果는 將來의 參考를 위하여 包括的이고 더구나 權威있는 報告書로서 作成한다. 만일 就業中에 明白한 修正을 必要로 할 때는 工場 火災에 影響된다고 豫想되는 事項을 記錄 保存한다.

3. Test에 관한 備忘錄

(1) 危險에 관한 分析順序

危險에 관한 分析은 通常 다음의 段階로 行하여진다.

(i) 原因이나 機構外에도 모든 危險을 檢證한다.

(ii) 危險의 順序를 갖이고 함께 關係하는 것을 明示할 適當한 理論樹(logic tree)를 作成한다. (註 : logic tree에 대한 說明은 없다)

(iii) 發生의 頻度を 定量化함에 의해 危險성을 評價한다.

(iv) 認定되고 있는 標準에 대한 災害의 頻도와 結果를 比較함에 의해 妥當性を 評價한다.

(v) 여러가지의 作業을 選定하여 決定的인 選擇을 檢討한다.

(vi) 最終決定

(vii) 對策實施와 實施後의 監視

(2) 火藥類의 test

CIL은 다른 英國圈의 會社와 같은 test를 採用하고 있으나 多少 改良한 方法을 使用하고 있다. 衝擊이나 摩擦試驗에 있어서 從來의 高energy를 받을 경우의 結果를 低energy의 경우에 採用할 時에 適當한 因子가 必要하다.

이 因子는 重要한 것으로 이 技術은 慎重히 行할 必要가 있다. CIL에서 鈍感한 火藥類에 대하여 使用하는 test를 <表3>에 表示한다.

衝擊 摩擦試驗의 data에 관하여 ABL은 固形試料에는 energy/area로 表示하고, 液體 또는 gal에는 energy/time으로 表示하나, CIL에서는 固體일 경우에도 time인 편이 適當하고 joule/sec로 表示한다. 摩擦試驗의 probit curve에서는 P대신에 PLV^2 을 使用한다. (P은 接觸壓力, L은 接觸길이, V는 slide速度)

(3) 爆轟으로의 生成과 介在 test는 大部分 發火過程에 使用되나, 反應은 通常의 爆轟反應으로 生長하기 前에 막을 수가 있다는 認識을 갖는 것이 重要하다. 發火(ignition), 生長(growth), 爆燃(deflagration), DDT(deflagration to detonation transition), 爆轟(detonation)의 5段階가 있다.

介在한 點에서 보면 어떤 事故는 爆轟을 防止하는 것에 의해 없게 할 수가 있다. 이 抑制는 發火 또는 燃燒가 破裂이나 射出되기 前에 制御할 수 있으면 有效하다.

이것은 重要하고 더구나 有效한 値로서 爆發前에 爆燃의 抑制를 CIL에서는 計劃하고 있다. 그러나 이 技術로 어디까지 할 수 있는가 라는 限度는 아직 決定되어 있지 않다. CIL의 技術者는 slurry

나 emulsion 爆藥에 있어서, 爆發盤(bursting disc)을 使用하여 攻에서 끄집어내는 것에 의해 많은 發火의 生成을 抑制하였다.

더욱더 加壓된 燃燒現象에 있어서의 test에 의해 은폐되어 있던 特性을 豫測할 수가 있었다.

過壓에 의한 爆發防止는 加壓速度가 빠르지 않고 機械的 制御以內이면 可能하다. 爆發의 確率은, 2HAZOP技術의 2段階 (iv) HQ의 項에 記載하였다.

火藥製造에 있어서 많은 作業, 例를 들면 爆發浮化는 주로 Sp(燃燒가 持續하는 方向으로 傳播, 成長할 可能性)가 작은 것으로 이를 위해서는 形狀치수를 바꾸던가 孔을 만들던가 등 處理를 하면 達成된다.

<表3> CIL에서 鈍感한 火藥에 使用하는 定量的 危險 test

試 驗 項 目	測 定 項 目
1. 衝 擊 (a) 鋼-鋼 (b) sand paper를 使用한 Type12道具 (c) 거품이 있는 液體 또는 gel	落下-重量의 높이 同 上 同 上
2. 摩 擦	slide하는 block위에 press된 静止한 車輛에 의한 힘
3. DSC /DTA	熱的項目(thermal event)
4. 加熱한 wire에 의한 發火	發火特性(溫度와 時間)
5. 爆發까지의 時間	等溫狀態에서의 爆發時間
6. 斷熱 Dawar試驗	低溫에서의 狀況을 檢査 scale up을 위한 loss
7. 最小點火藥量	黑色火藥對替 鈍感한 物質에 대한 熱線
8. 加壓下의 燃燒	持續燃燒의 最小壓
9. 爆發限界의 높이	12g BP /RDX에 의해 鋼管의 破裂
10. DDT	No.9과 같으나 두꺼운 鋼管을 使用한다.
11. 最小起爆藥	雷管 또는 pen light 參照
12. guard cap test	起爆衝擊壓
13. 銃擊感度試驗	衝擊相當, 긴時間 使用
14. 空中殉爆試驗	事故傳播의 可能性

4. 今後の危険物制御研究課題

CIL에서는 다음과 같이 危険物 制御研究를 하도록 提案하고 있다.

(1) HERC 및 CIL test의 檢討

火藥類의 發火, DDT의 確率을 定하는데 使用하는 技術의 改良檢討

(2) probit curve에 주어진 因子의 效力을 check하여 할 수 있다고 생각되는 改良을 提案한다.

(3) 消火條件을 明確히 하기 위하여 點火와 爆轟 사이에 일어나는 現象의 鮮明. 例를 들면 火藥의 種類마다 壁의 物質이나 溫度를 改良한다.

(4) 壓力通氣孔에 대한 工學的 標準을 檢討하여 爆發을 抑制할 수 있는가.

(5) 可燃性 固體 emulsion의 檢討

無水 및 水分이 작은 emulsion의 最小燃燒壓은 火藥成分과 같이 周圍의 壓力以下이다.

이것은 危險分類의 均一性을 意味하는가.

(6) 組成과 最小燃燒壓間의 效果를 確認하여, 試驗法을 改良한다.

(7) 直接 摩擦에 의한 起爆의 機構와 感度가 낮은 物質을 넣는 것의 意義鮮明

왜 火藥은 얇은 層內에서 燃轟이 進行되지 않는가. 熱에 敏感한 物質에 有效한 bearing의 檢討

(8) 超音波等 새로운 energy源의 危險性的의 檢討.

例를 들면 超音波 seal은 plastic包裝에 使用된다. 現在の test는 지나치게 經驗的이다.

(9) 큰 batch內에서 豫想되는 熱的 事故에 대한 適當한 斷熱 calorimeter의 開發.(從來의 dynamite에 비해 ANFO나 含水爆藥은 安全性은 높으나 아무리 鈍感하여도 火藥類인 以上 爆發한다는 것은 觀念的으로는 알고 있어도 여하튼 安心할 수 없다.)

會員加入願

會員區分	正會員 贊助會員 特別會員	姓名			生年 月 日	
會員 NO		本籍地				
免許種類	管理 製造 1,2	現住所				
免許 NO		勤務處	職場名			
免許取得 年 月 日			職位			
			所在地			
免許所持地 市 道 別	市 邑	出身校	年 月	卒業了 卒修	專攻科目	
推薦會員	姓名					
	住所					

上記와 如히 會員으로 加入코저 願書를 申請하나이다.

199 年 月 日

申請人 姓名

大韓火藥技術學會 會長 貴下

但 會費는 ₩ 40,000(入會費 20,000 年會費 20,000)

送金處는 國民銀行 論峴同支店 계좌번호 074-21-0179-269