

효率的인 「危險要素 및 操業性 分析 (HAZOP Analysis)」을 爲한 考察

(Contemplation on Effective HAZOP Analysis)

車 淳 哲* 金 斗 煥**

1. 序 論

危險要素 및 操業性 研究(HAZOP Studies)라고도 불리우는 危險要素 및 操業性 分析 (HAZOP Analysis)은 (以下 “HAZOP”이라 稱함) 1960年代 中盤 英國 ICI社의 Process Safety 專門家인 Trevor A. Kletz가 提案한 以來 英國, 美國 等 先進國에서는 이미 이를 普遍化하여 거의 모든 化學플랜트에 活潑하게 適用·使用되고 있다.

특히, 英國의 化學플랜트에서는 單純한 配管 라인을 交替할 時에도 HAZOP을 遂行한 後에 來야 實施한다.

1974年 6月 英國 Flixborough 所在 年産 7 万톤의 카프로락탐 플랜트에서 反應期 間의 벨로우즈(Bellows)에 漏泄(leaking)이 發生하여 7.9Atm, 155℃ 狀態의 사이클로헥산(Cyclohexane)이 暴發함으로써 28名이 死亡하고 住民을 包含한 89名の 重傷, 10日間の 連續 火災, 1821채의 家屋과 167個의 Shop이 破損하는 大慘事를 겪은 바 있다.

또한, 1976年 7月 이태리 밀라노에서 不過 24km 떨어진 세베소(Seveso)所在 Bactericide 製造플랜트에서 사람에게 가장 毒性 物質로 알려진 TCDD (2, 3, 7, 8 tetrachlorodiben-zoparadioxin)가 漏出하여 約 26km²이 汚染되고 600餘名이 疏開되었으며 約 2600名이 blood

test를 받았는데 그 被害는 오늘날까지 持續되고 있다.

이에 1982年 EC 理事會에서 유럽共同體 (EC) 國家들이 重大産業事故 豫防과 被害를 減少시키기 爲해 最少限으로 遵守해야 할 法則 基準인 [The European Communities Directive on Major Accident ; Hazards of Certain Industrial Activities] 일명 세베소 指令을 制定하여 1988년부터 義務적으로 施行 中에 있다. 즉, 安全性 確保를 爲해 化學플랜트 등에서 排出하는 有害·危險物質의 環境 排出을 規制하는 法規를 整備하여 自國 企業에 自主의 리스크 管理를 義務化시킨다.

한편 1984年 12月 今世紀 最大의 化學플랜트 事故라고 불리워지는 印度 보팔 所在 유니온카 마이드 社의 Pesticide 製造플랜트에서 MIC (Methylisocyanate)의 不適切한 冷却과 Flare System의 未可動으로 因해 約 25톤의 中間 生成物인 MIC가 漏出, 暴發하여 約 2,500名이 死亡하고 25,000名 以上이 負債하는 大型事故가 發生하였다.

이 衝擊적인 事件으로 말미암아 美國에서는 國家的인 次元에서 重大事故 豫防 制度를 導入, 推進하는 契機가 되었다.

1985年 美國 化學工學會(AICHE) 傘下에 CCPS(The Center for Chemical Process Safety)를 設立하여 各種 安全 關聯 指針書의 發刊, 國際 學術大會 開催 等 資料 交換 窓口的

* 化工安全技術士, 化學工場設計技術士, 서울産業大學校 産業安全工學科 講師, 鮮京建設 次長

** 化工安全技術士, 서울産業大學校 産業安全工學科 講師, 韓國産業安全公團教育院 安全管理學部長 兼 教授

役割, Workshop 및 教育 訓練 프로그램 實施의 活動을 展開하면서 工程危險管理(Process Risk Management)를 包含한 12가지 構成要素의 CCPS Guideline을 提供하였다. 1985年 같은 해 環境廳(EPA)에 依하여 毒性物質 漏出 事故 豫防에 關한 法案이 提案된 以後 1990年 11월에 事故로 因한 有害物質의 放出 防止에 關한 大氣清淨法(Clean Air Act)이 制定되었으며, 1986年 美國 議會에서는 처음으로 SA RA法案(Superfund Amendments and Reauthorization : Act)을 通過시켰고 이 法案에서 大型 事故 時의 非常措置 計劃과 國民이 알아야 할 權利 等を 主로 담고 있다.

한편, 民間 團體인 美國 石油協會(API)에서 1990年 1월에 API Recommended Practice 750을 통해 工程 危險分析(Process Hazards)을 包含한 11가지 構成要素의 工程危險要素 管理指針(Management of Process Hazards)을 發刊하였으며, 美國 化學物質 製造協會(Che-mical Manufacturers Association, CMA)에서는 R/C(Responsible Care) 以外에 工程安全 實務에 關한 指針을 提供하는 等 化學플랜트에서의 安全은 HAZOP을 中心으로 하는 製造工程 危險性評價를 通하여 綜合的인 對策을 樹立하여야 함을 強調하였다.

이어 1990年 6月 美國 勞動省 傘下 OSHA (Occupational Safety and Health Administration)에서 高度로 危險한 化學物質의 工程安全管理(Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals, 29 CFR 1910.119)라는 法律案에 對한 草案을 作成하여 1990年 11월에 워싱턴 D.C에서 1991年 2月에는 텍사스 휴스턴에서 公聽會를 거친 後에 1992年 2月에 이를 確定하고 1992年 5月 26일부터 實施中에 있는데 OSHA의 PSM(Process Safety Management) 모델은 工程危險分析(Process Hazard Analysis)을 包含한 12가지 構成 要素로 이루어져 있다.

國際勞動機構인 ILO에서도 亦是 印度 보팔 所在의 MIC 漏出 事故 以後 1988年에 “Major

Hazard Control” 指針書의 發刊을 始作으로 하여, 1991년에는 重大産業事故 豫防(Prevention of Major Industrial Accidents)에 關한 危險要素 및 리스크 分析(Analysis of Hazards and Risks)을 包含한 12가지 構成 要素의 PSM 모델 實務指針書(Code of Practice)를 發刊하였고 1993年 6月에는 重大産業事故 豫防에 關한 協約(ILO 協約 第174號)을 採擇한 바 있다.

美國, 유럽의 EC와는 달리 아시아의 韓國이나 日本은 모두 東洋의 獨特한 文化圈 속에서 오래 安住하여 왔으며 1970年代에 現代的인 安全工學을 導入하였다고 볼 수 있다. 日本이 시스템安全工學 또는 危險性評價에 對한 技法을 導入한 것은 1970年 境이었으나 1973年 日本各地의 石油콤비나트의 石油化學플랜트에서 火災 및 爆發 事故가 頻繁하였고 1974年 세도나카카이(疎戶內海)에 重油가 새어들어 내해(內海)를 크게 汚染시킨 미즈시마事件 등이 連이어 發生함에 따라 石油콤비나트法이 制定되었으며 勞動省의 化學設備 安全審査制度에 리스크 어세스먼트를 反映시킨 것으로 傳해지고 있다.

韓國은 陸軍本部 人事參謀部에 安全計를 設置한 1952年을 安全 業務의 嚆矢로 하여 1982年에 産業安全保健法을 制定 施行하였고 1987年에 勞動部 傘下 韓國産業安全公團을 設立하여 化學設備의 事前 安全性 審査制度를 施行하고 있으나 最近의 火災·爆發 災害 死亡者는 每年 2,000名을 웃돌고 있어 1994年 10月 中에 化學設備의 危險性 評價技法 中 하나인 HAZOP을 韓國産業安全公團 産業教育院에 專門科程으로 開設하는 한편, 勞動部에서는 1995年에 産業安全 컨설턴트 制度를 立法化하고 1996年 부터 化學플랜트의 危險性 評價制度를 部分的으로 施行할 豫定으로 하고 있다.

EC의 세베소 指令(Seveso Directory), 1992年 3월에 設立한 유럽 化學工學會(EFCE) 傘下의 EPSC(The European Process Safety Center) 모델, 美國 化學工學會(AIChE) 傘下

CCPS의 PSM 모델, 美國石油協會(API)의 API RP 750, 美國化學物質製造協會(CMA)의 工程安全實務에 관한 指針(Model Program : Code of Management Practices), 美國勞動省傘下 OSHA의 PSM 모델, 國際勞動機構(ILO)의 PSM 모델, 韓國의 産業安全건설센터 制度들 中의 工程危險要素 分析 또는 評價(Process Hazard Analysis)의 中心에는 共通的으로 바로 HAZOP이 자리잡고 있음을 알 수 있다.

化學플랜트 主要 事故 要因인 火災·爆發·危險物 漏出로 認한 重大災害의 惹起를 抑制함에 있어서, HAZOP은 記號的인(Symbolized) 知識 體系에 바탕을 둔 爛商討論(Brain Storming)의 形態로 意思 決定의 方法을 통해 化學플랜트에서 發行 可能한 危險要素 및 操業性을 糾明하고 이의 對策을 提示하는 가장 效果的인 而서 選好되는 보다 體系的이고 構造化된 定性的인 工程安全分析(Qualitative Process Safety Analysis) 形態의 危險性 評價技法이다.

2. HAZOP 遂行 節次 및 方法

2.1 HAZOP의 概要

HAZOP은 化學플랜트의 危險要素(Hazard)와 操業性(Operability)의 問題點을 糾明하는 가장 選好되고 效果的인 定性的인 工程危險性 評價技法으로서, 어느 程度 完成된 設計圖面 或은 既存의 商業運轉中인 플랜트가 設計 意圖로부터 얼마나 벗어나는가를 調查하는 것을 포함하며 脚氣 다른 技術과 經驗을 가진 專門家들이 모여 統制된 環境 下에서 化學플랜트의 工程흐름詳細圖(P&ID)의 特定區間(Study Node)을 選定한 後 爛商討論(Brain Storming)의 形式을 통해 裝置나 配管라인에 可能한 여러가지 異常狀態(Deviation)을 上程하고 이러한 異常狀態를 發生시키는 原因(Cause)과 結果(Consequence)를 豫測하며 이의 保護裝置

(Safeguard) 및 緩和시키는 對策(Recommendation or Mitigation)을 提示하는 方法이다.

2.2 HAZOP의 概念

HAZOP의 概念은 도움말(Guide Words) 또는 팀리더의 技術과 經驗에 依해 주어진 形式을 따르면서 工程設計 엔지니어(Process Engineer), 計裝設計 엔지니어(Instrument & Control Engineer), 試運轉 엔지니어(Commissioning & Startup Engineer), 프로젝트 엔지니어(Project Engineer)를 包含한 팀이 組織的이고도 創意的인 爛商討論(Brain Storming)의 技法을 통해 플랜트의 危險要素(Hazard)와 操業性(Operability)의 問題點을 糾明하는 것이다.

爛商討論의 主된 長點은 創造的인 想像의 나래를 퍼면서 아이디어를 만들어 내며 다른 構成員의 意見을 批判없이 收容함으로써 스스로 없이 그들의 生覺을 提案케 하는 點이며, 創造力은 팀 構成員의 意見 交換과 그들의 多樣한 기반에 起因한다.

HAZOP팀은 팀리더 或은 工程設計 엔지니어가 選定한 工程흐름詳細圖(P&ID)의 特定區間(Study Node)에 對하여 도움말(Guide Words)을 利用하여 工程變數(Process Parameter)의 異常狀態(Deviation)를 찾은 後에 原因, 結果, 保護裝置 및 對策 提示까지 糾明한다.

HAZOP을 遂行하는 가장 效果的인 時期는 設計가 比較的 相當한 水準으로 完成되었을 (Nearly Frozen) 때, 即 UOP의 Basic Package "A" 水準 或은 機器(Mechanical Equipment)와 計裝(Instrument & Control) Item의 見積依賴書(Requisition for Quotation, RFQ)를 送付하고 電氣의 單線圖(Electrical Single Line Diagram) 및 配管의 機器配置圖(Plot Plan & Equipment Location Plan)를 作成할 수 있는 時點이다. 그러나 HAZOP은 實際로는 既存의 商業運轉 中인 플랜트를 包含

하여 플랜트 建設의 構想段階, 概念設計段階, 基本設計段階, 詳細設計 및 購買段階, 施工段階, 試運轉 및 稼動段階 中 어느 段階에서도 遂行할 수 있다.

2.3. 用語 解說(Terminology)

- 1) 檢討區間(Process Sections or Study Nodes) : 工程흐름詳細圖 (P&ID)에서 異常狀態(Deviation)를 檢討하는 機器 或은 配管 라인의 區間
- 2) 運轉段階(Operating Steps) : 廻粉食(Batch) 工程에 있어서 Manual 或은 Automatic과 같이 要求되는 措置(Action)나 節次(Procedure)
- 3) 意圖(Intention) : 正常狀態에서 期待되는 플랜트의 運轉狀態
- 4) 도움말(Guide Words) : 設計 意圖를 定性化 或은 正量化하는데 使用하거나 工程危險要素를 糾明하기 爲해 爛商討論으로 鼓無的인 着想을 誘發토록 하는 簡單한 單語들(例: No, Less, More, As well as 等)
- 5) 工程變數(Process Parameter) : 工程과 關係있는 物理的·化學的 性質

(例: 反應, 溫度, 壓力, 흐름, pH 等)

- 6) 異常狀態(Deviation) : 도움말(Guide Words)을 工程變數(Process Parameter)에 組合하여 發見되는 設計 意圖로부터의 벗어남
- 7) 原因(Causes) : 異常狀態(Deviation)가 發生하는 理由
- 8) 結果(Consequences) : 異常狀態(Deviation)가 發生하는 當然한 歸結
(例: 火災, 爆發, 毒劇物の 漏出 等)
- 9) 保護裝置(Safeguards) : 異常狀態(Deviation)의 原因을 防止하고 結果를 緩和할 수 있는 機器裝置
(例: 安全밸브, 安全板, 警報裝置, 連動裝置, 節次書 等)
- 10) 措置 또는 提案事項(Actions or Recommendations) : 設計 變更, 節次書 變更, 追後 檢討에 對한 提案
- 11) 危險要素(Hazard) : 環境의 破損, 死傷者 其他 經濟的인 損失을 誘發할 수 있는 物質이나 操業上의 危險要素

2.4. 도움말(Guide Words)의 詳細

1) 도움말(Guide Words)의 意味

Guide Words	意 味	解 說
No(또는 Not)	設計意圖의 完全한 否定	設計意圖의 어떤 部分도 成就되지 않으며 아무 것도 일어나지 않음.
Less	定量的인 減少	加熱, 反應 等과 같은 行爲 뿐만 아니라 流速, 溫度 等과 같이 定量的인 性質의 增減을 나타냄.
More	定量的인 增加	
Part of	定性的인 減少	모든 設計意圖와 運轉條件이 어떤 附加的인 行爲와 함께 發生함.
As well as	定性的인 增加	어떤 意圖는 成就되나 어떤 意圖는 成就되지 않음.
Reverse	設計意圖의 論理的 反對	이것은 主로 行爲에 適用되는데 例를 들면 逆反應이나 逆流 等에 該當됨.
Other than	完全한 代替	設計意圖의 어느 部分도 成就되지 않고 전혀 다른 일이 發生함.

2) 異常狀態(Deviation)의 構成

Guide Words	Process Parameter	Deviation
No	Flow	No Flow
More	Pressure	High Pressure
As well as	One Phase	Two Phase
Other than	Operation	Maintenance

2.5. 危險要素(Hazard)의 種類

- 火災(Fire)
- 振動(Vibration)
- 爆發(Explosion)
- 獨極物(Noxious Material)
- 爆宏(Detonation)
- 感電(Electrocution)
- 爆煙(Deflagration)
- 窒息(Asphyxia)
- 有毒性 漏出(Toxic Release)
- 機械的 故障(Mechanical Failure)
- 腐蝕(Corrosion)
- 不良品(Product Offspec)
- 輻射熱(Radiation Heat)
- 異常反應(Runaway)
- 騒音(Noise)

2.6. 化學플랜트 事故의 3가지 類型

事故의 類型	發生 頻度	災害 可能性	經濟的 損失
火災	높음	낮음	중간
爆發	중간	중간	높음
有毒性 漏出	낮음	높음	낮음

2.7. HAZOP의 目的

- 1) 工程危險性 評價 側面에서 潛在的인 危險 要素(Hazard)나 操業上(Operability)의 問題點을 糾明
- 2) 把握된 危險要素나 操業上의 問題點에 對한 考慮가 設計上에 反映되었는지의 與否 確認

- 3) 設計上에 反映된 保護裝置(Safeguard)의 適合 與否 確認
- 4) 設計上의 反映 漏落 또는 不適合하다고 判斷된 保護裝置의 境遇 設計의 變更 또는 補完
- 5) 매니지먼트의 決定을 爲한 提案 또는 緩和 對策의 提示

2.8. HAZOP의 適用 對象

- 1) 多數의 死傷者나 深刻한 環境 汚染을 誘發 하거나 莫大한 經濟的인 損失을 招來할 수 있는 獨劇物의 漏出이 豫想되는 境遇
- 2) 大型 火災, 爆發, 爆宏, 爆煙의 憂慮가 있는 境遇
- 3) 새로운 工程 技術이나 工程制御 시스템을 導入하는 境遇
- 4) 既存設備의 變更으로 因하여 危險要素의 增加가 豫想되는 境遇
- 5) 建設 後 한번도 HAZOP을 遂行치 않은 境遇
- 6) 設計 時에 HAZOP을 遂行치 않은 境遇
- 7) 變更된 MSDS(Material safety Data Sheet)의 情報를 入手한 境遇
- 8) 플랜트의 稼動中止(Shutdown)나 撤去(Demolishing)하는 境遇
- 9) 플랜트의 原料나 製品을 Loading, Unloading하는 境遇
- 10) 運轉敎本이나 節次書를 檢證할 必要가 있는 境遇(이 境遇에 運轉敎本이나 節次書 自體에 對하여 HAZOP을 遂行함) 等

2.9. HAZOP 遂行 時에 必要한 設計物 및 情報

- 1) 基本設計 資料(Basic Engineering Design Data)
- 2) 工程흐름詳細圖(Piping & Instrumentation Diagram)
- 3) 工程흐름概略圖, 熱 및 物質收支圖(Process Flow diagram, Heat & Material

- Balance Diagram)
- 4) 機器目錄表, 機器士樣書(Equipment List, Equipment Datasheet)
 - 5) 敷地境界 條件(Battery Limit Condition)
 - 6) 配管 物質 士樣書(Piping Material Specification)
 - 7) 機器 配置圖(Plot Plan, Equipment Location Plan)
 - 8) 物質安全 士樣書(Material Safety Data Sheet, MSDS)
 - 9) 電氣 單線圖(Electrical Single Line Diagram)
 - 10) 危險地域區分圖(Hazardous Area Classification Drawing)
 - 11) 計裝士樣書(Instrument Data Sheet)
 - 12) DCS & ESD 調節 構成圖(DCS & ESD Control Configuration)
 - 13) 運轉 關聯 指針書(Commissioning Procedure, Operating Instruction) 等の 設計物(Engineering Output)과 함께,
 - 14) 狀平衡, 化學平衡 等の 化工熱力學 知識
 - 15) 單位操作, 移動現狀 等の 化學工學 知識
 - 16) 工程制御 및 計裝 等の 計裝工學 知識
 - 17) 시스템 安全工學, 防爆工學, 消防工學 等の 安全工學 知識
 - 18) 化學플랜트의 DCS 操作을 包含한 試運轉 (Commissioning & Startup Operation) 經驗
 - 19) 回轉機器(Rotating Machine)의 Troubleshooting 經驗
 - 20) 컴퓨터 操作을 圓滑히 遂行할 수 있는 經驗 等이 要求된다.

2.10. HAZOP 遂行 節次

1) 目的, 分析 範圍를 決定한다.

分析을 爲한 一般的인 目的은 플랜트의 責任者나 新規 프로젝트의 境遇 프로젝트 매니저가 定한다. 이 責任者는 보통 팀리더의 도움을 받

는다.

팀리더는 HAZOP의 具體的인 目的과 分析 範圍를 決定한다. 分析은 여러 專門家로 構成된 한 팀에 의해 이루어지며 그 팀에 賦與된 權限의 範圍를 決定하여야 한다.

팀리더가 이 接近 方法에 對하여 잘 알고 있으면 決定은 훨씬 쉽다.

2) 分析팀을 構成한다.

一般的인 팀의 構成은 約 5~7名으로서 팀 構成員이 너무 많으면 分析에 너무 時間이 많이 걸리고 팀 構成員이 너무 적으면 確信을 爲한 必要한 知識의 幅이 不足하게 된다.

팀리더는 HAZOP을 進行하는 節次上의 技術과 함께 安全設計, 工程設計 等 多樣한 經驗이 要求되며 나머지 構成員들도 各己 擔當 分野의 專門家이어야 한다.

銓衡的인 HAZOP 팀의 構成은 다음과 같다.

- HAZOP 팀리더(HAZOP Team Leader)
- 工程設計 엔지니어(Process Engineer)
- 계장設計 엔지니어(Instrument & Control Engineer)
- 安全設計 엔지니어(Safety Design Engineer)
- 試運轉 엔지니어(Commissioning & Startup Engineer)
- 프로젝트 엔지니어(Project Engineer)

3) 分析 準備를 한다.

必要한 準備 作業의 量은 플랜트의 規模와 複雜性에 依存하는데 比較的 簡單한 境遇에는 한 팀이 工程흐름概略圖를 가지고 몇 時間 分析 作業을 함으로써 끝낼 수도 있지만 一般的으로 보다 많은 準備 作業이 必要하며 다음과 같은 4段階의 作業으로 이루어진다.

- 資料의 蒐集
- 蒐集된 資料를 適當한 形態를 바꿈
- 分析 節次 計劃의 樹立
- 必要한 會議 日程의 計劃

4) 팀 構成員과 함께 分析 檢討를 遂行한다.

分析 檢討는 팀 리더가 미리 定해진 計劃에 따라 討議를 統制하므로 高度로 組織的이다.

工程設計 엔지니어는 팀 구성원에게 분석코자 하는 공흐름詳細圖 (P&ID)에 대하여 全般的인 工程 說明을 하고 檢討하고자 하는 區間 (Study Node)을 팀리더와 함께 協議하여 選定한 다음 設計 意圖(Design Intention)와 運轉 條件(Operating Condition)에 대하여 說明한다.

檢討區間(Study Node)은 基本的으로 裝置와 裝置 사이를 連結하는 配管라인을 基本 單位로 하며 裝置를 包含하기도 한다.

도움말(Guide Words)을 選定하고 異常狀態 (Deviation)를 確認하고 그 原因(Causes), 結果(consequences), 保護裝置(Safeguard), 措置事項(Action Required or Recommendation)에 대하여 協議한다.

모든 檢討區間에 대하여 分析이 끝난 後 工程흐름詳細圖 (P&ID)에 대하여 概略的인 安全 事項을 確認하면 더욱 信賴性 있는 分析이 될 수 있다.

5) 分析 結果를 記錄 및 維持한다.

分析 檢討 팀의 重要한 活動의 하나는 檢討 結果를 記錄하고 維持하는 것이다.

討議된 모든 內容을 손으로 記錄한다는 것은 매우 無理이며 HAZOP Software 프로그램을 活用하는 것이 바람직하다.

于先 HAZOP의 書式은 討議를 檢證하는 동안에 팀리더의 確認 過程을 거쳐 主로 프로젝트 엔지니어에 의해 記錄된다.

討議를 進行하는 동안 完璧한 記錄과 記錄된 事項을 保存키 위해 錄音을 하고 再生을 하는 것이 效果的인 한 方法으로 採擇될 수 있다.

이는 플랜트의 工程條件이 變形되거나 異常狀態(Deviation)의 結果로 事故가 發生할 境遇에 매우 貴重한 資料로 活用할 수 있기 때문이다.

分析 檢討한 內容의 正式 記錄은 將來의 다른 目的에도 使用할 수 있는데, 예를 들면 훌륭하게 遂行된 檢討 結果는 保險料의 策定에 影響을 줄 수가 있고 關係 機關으로부터의 豫定된 許可를 得하는데 도움을 주며 또한 이러한

檢討에 의해 얻어진 情報들을 後에 改善하기 爲한 資料로 使用할 수 있다.

6) 後續 措置를 取한다.

分析 檢討 會合의 後續 措置는 設計의 變更이나 補完, 運轉 方法의 變更과 關聯된 提案 事項이 얻어질 境遇에 반드시 플랜트의 責任者나 新規 프로젝트의 엔지니어링 매니저 및 프로젝트 매니저와 協議를 거친 後에 施行하여야 한다.

그리고 모든 解決되지 않은 問題는 機器 納品業體의 情報의 入手와와 이어지는 措置를 통하여 解決되어야 한다. 또한 隨時로 措置事項의 進度 確認이 必要하다.

境遇에 따라서는 分析 檢討 會合의 結果가 나중에 解決되어야 하는 問題도 發生하는데 이러한 目錄은 팀리더(或은 프로젝트 엔지니어)에 의해 作成되어 팀 구성원에게 配布함이 바람직하다.

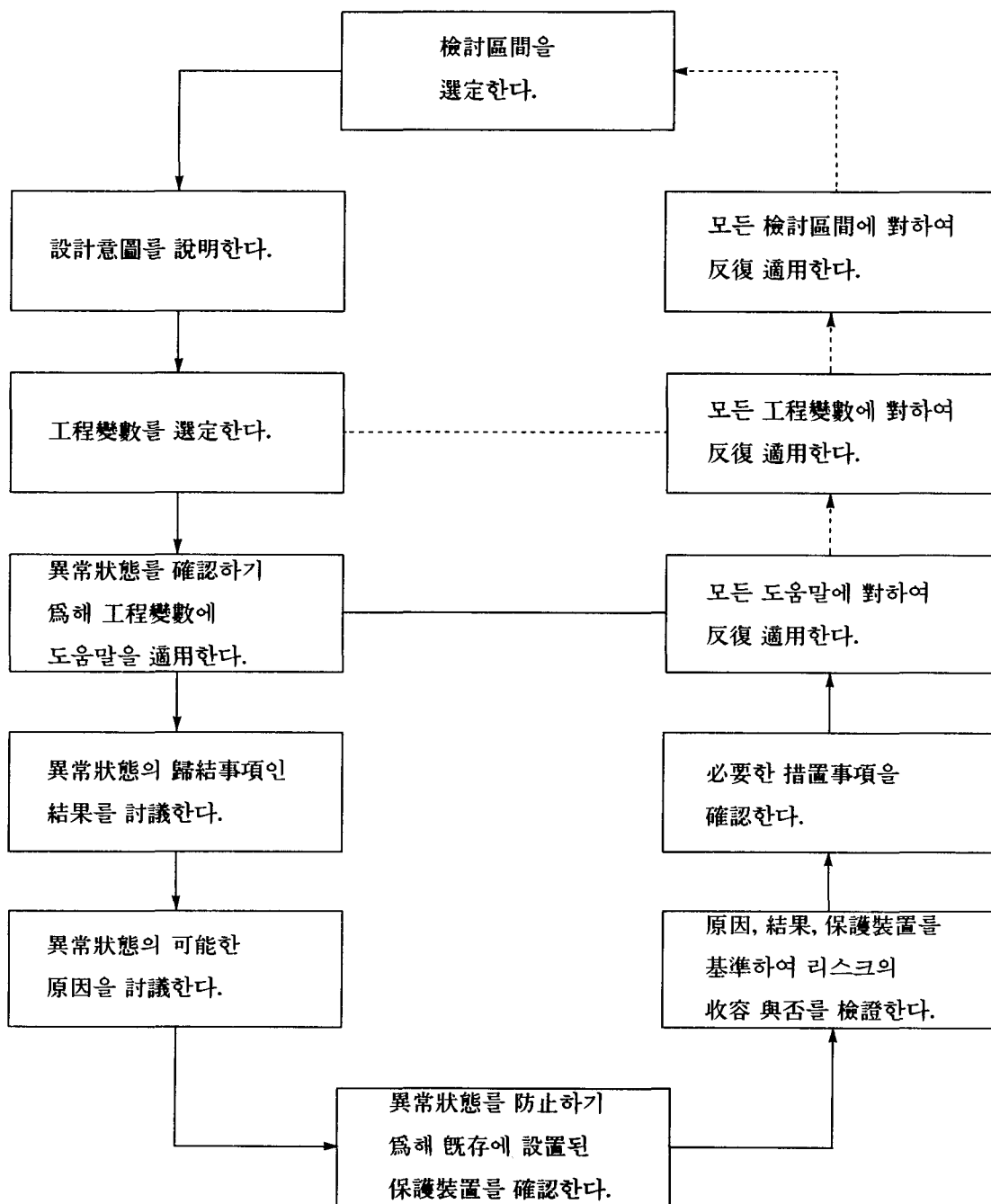
一定期間이 지난다음 分析 檢討 팀이 再召集되어 評價 및 措置 會合을 가질 수 있는데 여기에서 各 疑問 事項이 再檢討되고 進行 事項을 確認하며 可能한 結論을 導出한다. 또한 露出된 危險要素의 措置事項에 대하여는 모든 合意 事項이 施行될 때까지 後續措置가 持續되어야 함을 強調한다.

3. 成功的인 HAZOP 遂行을 爲한 考慮 事項

3.1. 效率的인 HAZOP 팀리더의 役割

- 1) 팀리더의 가장 重要한 役割은 HAZOP 分析의 檢討 行爲가 問題의 解決이 아닌 問題의 糾明에 초점을 맞추도록 維持하는 일이다.
- 2) 팀 구성원과 技術과 經驗에 對하여 競爭하지 않는다.
- 3) 分析 檢討 會合 中에 어느 구성원이 守勢에 몰리지 않도록 批判을 삼가한다.
- 4) 能率을 높이기 爲하여 必要時 適切한 休息을 取하도록 하며 1日 6時間을 超過치

11. HAZOP 分析 檢討法 節次圖



- 않도록 進行한다.
- 5) 分析 檢討 構成員의 役割과 責任을 明確히 한다.
 - 6) 分析 檢討 會合場의 設備가 充分한지 確認한다.
例를 들면 清潔 狀態, 必要한 Flip 차트, 電氣 等の 유틸리티와 飲料水(Refreshment) 및 若干의 間食거리도 필요하다.
 - 7) 팀 構成員의 HAZOP 技術 및 節次에 對한 事前 Training이 必要한 지를 檢討 한다.
 - 8) 分析 檢討 會合에 必要한 時間을 決定한다.
 - 9) 팀 構成員이 檢討할 工程에 익숙하도록 配慮한다.
 - 10) 分析 檢討할 事項을 選定한다.
 - 11) 모든 팀 構成員이 檢討할 事項을 熟知하도록 確認한다.
 - 12) 設計基準(Design Basis)을 確認한다.
 - 13) 異常狀態(Deviation)와 結果(Consequences)를 진지하게 檢討한다.
 - 14) 팀 構成員이 可能한 創造的인 아이디어를 展開토록 誘導한다.
 - 15) 實質的인 主要 關心事를 誘導한다.
 - 16) 特定 問題의 露出에 對하여 合意 事項을 誘導한다.
 - 17) 모든 Input 事項을 檢證토록 確認한다.
 - 18) 疑心스런 Input에 對하여 質疑을 통해 確認한다.
 - 19) 팀 構成員이 爛商討論(Brain Storming)을 통해 活潑하게 鼓舞될 수 있도록 激勵한다.
 - 20) 檢討 分析의 進度를 調律한다.
 - 21) 檢討 分析의 넓이와 깊이를 調律한다.
 - 22) 팀 構成員이 주어진 時間을 嚴守하도록 調律한다.
 - 23) 觸媒로서 作用할 수 있도록 調律한다.
 - 24) 措置事項 및 對策 提案事項이 設計 및 購買 行爲에 充分히 反映되었는 지를 確認한다.
 - 25) 不充分한 分析 檢討 事項에 對하여 實質的

- 인 主要 關心事를 다루고 있는지 팀 構成員에게 認知토록 한다.
- 26) 팀 構成員 中 다음 構成員이 參與하였을 境遇 다음과 같이 賢明하게 對處한다.
- 이것은 나의 設計라고 抗辯하는 構成員(the 'it's my design' man): 一部 部分은 糾明할 必要가 있고 窮極的으로 適合하게 設計되었음을 確信하고자 強調함.
- 問題없다고 抗辯하는 構成員(the 'no problem' man): 여러가지 다른 質問을 던짐으로써 檢證하는 것이 必要함.
- 하품하는 構成員(the 'big yawn' man): 豫想치 못할 質問을 하여 參與토록 誘導함.
- 深하게 憂慮하는 構成員(the 'over-cautious' man): 會議場 바깥에서 該當 問題를 持續的으로 考慮할 것인지 質問함.
- 表現力이 不足하고 深하게 부끄러워하는 構成員(the very shy person): 比較的 平易한 質問을 하여 參與토록 誘導함.
- 支配的인 性格의 構成員(the dominant personality): 먼저 이 構成員의 見解를 確認(Confirm)한 後에 다른 構成員에게 그들의 見解를 求하는 方法으로 誘導함.
- 끊임없이 發表하는 構成員(the non-stop talker): 조용하고도 技巧있는 말로서 會議場 바깥에서 타이름.

3.2. HAZOP 前提 條件

- 1) 두個 以上の 機器 및 部品의 故障이나 事故(Double Failure)는 同時에 發生하지 않는다.
- 2) 安全밸브, 체크밸브, 警報시스템, 非常停止 시스템 等の 安全 裝置는 必要할 때 正常的으로 作動하는 것으로 看做한다.
- 3) 機器 裝置 및 部品과 配管 等은 設計 및 製作 士樣에 適合하게 製作하여 設置된 것으로 看做한다.
- 4) 運轉員(Operator)은 危險 狀況의 發生 時

에 이를 認識할 수 있고 充分한 時間이 있는 境遇 必要한 措置 事項을 取할 수 있는 것으로 看做한다.

3.3. HAZOP 遂行 時에 犯하기 쉬운 誤謬

- 1) 팀 構成員의 熱情的인 沒頭로 因해 頻道數가 작은 危險要素에 對하여 비싼 機器나 裝置를 追加로 設置하려고 할 境遇(Don't Get Carried Away) : 팀리더는 比較的 덜 危險한 危險要素의 頻도와 結果를 팀 構成員에게 되묻거나 過去의 實績을 換氣하여 誤謬가 없도록 誘導한다.
- 2) Hardware and Software : 팀 構成員은 主로 엔지니어로 構成되는데 이들은 機器나 裝置의 追加 設置로 解答을 求하려는 傾向이 있다. 그러나 購買原이나 設置 時期의 不適合으로 因해 機器나 裝置의 追加 設置가 不可能하거나 너무 비싸기 때문에 方法에 있어서의 變化나 運轉員의 Training을 向上시켜야 한다. 卽, Software를 變化시켜야 한다.
- 3) 작은 規模의 變形(Small Modifications) : 작은 規模의 變形에 對하여 HAZOP이 不適合하다고 生覺하는 技術者가 一部 存在하나 事故의 相當數는 작은 規模의 變形 時에 豫測과는 달리 發生함을 周知시켜야 한다.
- 4) HAZOP 遂行 自體의 必要性에 疑問(Do We Need a HAZOP?) : 一部 사람들은 有能한 엔지니어를 採用하여 그들의 知識과 經驗을 利用하면 HAZOP이 必要치 않다고 主張하지만 이것은 잘못된 生覺이다. 왜냐하면 HAZOP은 知識과 經驗의 대체물이 아니라 構造員의 知識과 經驗을 體系的이고 構造的인 方法으로 連結해 주는 裝置이기 때문이다. 또한 有能한 엔지니어는 때때로 隔離하여 일하기 때문에 HAZOP이 이를 確認檢證하는 有用한 道具이다.

- 5) HAZOP 遂行 時期의 너무 늦은 指摘(A HAZOP is Done Too Late.) : HAZOP을 너무 늦게 遂行하면 設計 變更의 리스크가 있는 것이 事實이나 設計 變更보다는 設計 補完으로 反映할 수 있다. 따라서 詳細 設計의 始作 前에 工程흐름 概略圖를 가지고 豫備 HAZOP의 遂行이 勸告된다.
- 6) 不適切한 初期 設計物(Inadequate Initial Design)
- 7) HAZOP 遂行 時의 設計 傾向(Design in the Meeting) : 分析 檢討 時에 設計를 하려는 傾向이 있으나 HAZOP은 設計物에 對한 檢證임을 周知하여야 한다.
- 8) 討議의 散漫함(Debate Straying Too Far)
- 9) 經驗의 偏見(Experience Biasing the Analysis) : 經驗의 偏見이 體系的인 檢討 分析和 摩擦을 빚을 수 있다.
- 10) 分析 檢討의 不適切한 進度和 깊이(Inadequate Face and Depth of Analysis)
- 11) 不適切한 豫想 問題의 定義(Inadequate Definition of Problem)
- 12) 팀 構成員의 變更(Change of Team Membership)
- 13) 매니지먼트의 HAZOP 認識 結如(Poor Understanding by Management of the HAZOP Procedure and Resources Required)
- 14) 不適切한 經驗의 HAZOP 팀리더 및 構成員(Inexperienced HAZOP Team and Inadequately Trained/Experienced Team Leader)
- 15) 팀 構成員의 자유스러운 會合 雰圍氣 缺如(Failing to Establish a "Safe" Environment for Team Members) : 매니지먼트의 反對 意思로 自由스러운 檢討 分析의 雰圍氣가 缺如되는 수가 있다.
- 16) 保護 裝置에 너무 많거나 적은 點數를 주는 境遇(Taking Unwarranted Credit for

- Safeguards and Too Little/No Credit Given for Safeguards)
- 17) 後續措置가 어려운 提案事項(Recommendations Where Followup is Difficult) : 現實적으로 어려운 措置 或은 提案事項에 對하여는 次善策을 講究함이 勸告된다.
 - 18) 分析 檢討 時의 不適合한 記錄(Poor Recording of HAZOPs)
 - 19) 運轉敎本の 未洽(Failure to HAZOP Startup and Shutdown Procedure)
 - 20) 工程흐름詳細圖의 未洽(Poorly Updated P&IDs)
 - 21) 옳지 못한 分析 檢討 技術(Wrong Technical for the System being Reviewed)
 - 22) 긴 分析 檢討 期間(HAZOP Sessions Which Run Too Long Each Day) : 分析 檢討의 行爲가 鈍感해지기 쉽다.
 - 23) 혼자서 HAZOP을 하는 경우(I'll Take the Drawings and HAZOP it Myself) : HAZOP의 精神에 根本적으로 違背된다.
 - 24) 先任者의 意圖대로 進行하는 境遇(Only to Have the List Reviewed by a More Senior Person) : 特히 會合 바깥에서 措置事項이나 提案事項을 故意로 漏落하거나 變更하는 境遇가 있는데 HAZOP의 精神에 根本적으로 違背된다.
 - 25) 가장 危險한 物質의 分析 檢討에만 集中하는 境遇(Concentrate on the Sections of the Plant Which Handle the Most Hazardous Materials)
 - 26) 機器 納品業體 部分에 對한 輕視(Not to Study Those Sections of Plant Which are Supplied as "Vendor Packaged Units")
 - 27) 팀 構成員의 參與度 未洽(Individual Members of the Team May be Feel That Their Contribution is not Essential) : 팀 리더의 役割이 重要하다.

3.4. HAZOP 分析 檢討의 成功 要素

- 1) HAZOP 分析 檢討에 基本이 되는 設計物

들의 正確性和 完結性

- 2) 팀 構成員의 技術的인 能力, 洞察力, 協調 精神
- 3) 異常狀態(Deviation), 原因(Causes), 結果(Consequences)를 發見하기 爲해 HAZOP을 活用할 수 있는 팀 構成員의 能力
- 4) 糾明되어진 危險要素들 中에서 深刻성이 있는 것에 對해 均衡 感覺을 維持하며 集中할 수 있는 팀 構成員의 能力
- 5) 어느 程度 完成된 工程흐름詳細圖(P&ID)를 가지고 分析에 임할 것.
- 6) 發生 可能性이 比較的 작은 危險要素에 對하여 너무 高價의 裝置 또는 機器를 設置하려하지 말고 運轉員의 訓練이나 運轉敎本, 保守指針書를 따르도록 勸告할 것.
- 7) 些少한 事項이라도 看過하지 말고 會合 時에 會議 事項의 導出이 어려울 境遇에는 別途의 解決策을 講究할 것.
- 8) 分析 檢討의 記錄은 比較的 設計物을 잘 熟知하고 있는 프로젝트 엔지니어가 遂行하는 것이 바람직하며 會合은 1日 6時間을 超過치 않도록 勸告된다.
- 9) 漆板에 工程흐름詳細圖(P&ID)를 붙이고 半圓型으로 둘러앉아 Filp차트를 活用하면서 進行하는데 檢討 中인 區間은 點線으로 Marking하고 檢討를 完了하면 實線으로 Marking한다.
- 10) 그러나 무엇보다도 가장 重要한 成功 要素는 特히 海外플랜트 턴키 工事의 境遇에 HAZOP 만큼은 一括都給(Lumpsum)이 아닌 別個償還(Reimbursible)으로 契約함이 積極 勸告된다. 왜냐하면 發注處와 契約者 間의 HAZOP 會合에서 眞正한 意味의 安全分析 檢討가 期待되기 어렵기 때문이다.

4. 結 論

以上에서 살펴본 바와 같이 HAZOP은 歐美

先進國의 産業體에서 出發하여 法令化한 後 現在 施行 中이며 化學플랜트의 安全性 評價를 爲해 體系的이고도 構造的으로 잘 定義되어 있는 定性的인 方法論으로서 무엇보다도 基本設計 能力의 培養과 함께 危險性評價 專門家의 養成이 時急하다고 判斷한다.

이와 關聯하여 韓國産業安全公團 産業教育院에서 1994年 10月 中에 危險性評價技法 專門過程을 開設하고, 勞動部에서는 1995年에 産業安全진실턴트 制度를 立法化 推進하여 1996年 부터 化學플랜트의 危險性評價 制度를 部分的으로 施行할 豫定으로 하고 있는 바 化學플랜트의 主要 事故 要因인 火災·爆發·危險物 漏出로 因한 中大災害의 發生을 抑制함에 있어 매우 鼓舞的인 現象이라 하겠다.

한편, HAZOP의 定量的인 弱點은 缺陷數分析(FTA), 擴散 모델링(Dispersion Modeling) 등으로 補完할 수 있다.

最近 發注되는 海外플랜트 턴키工事的 要求事項 및 關聯 法規, 指針의 強化에 따라 工程安全管理(Process Safety Management, PSM)의 核心이라 할 수 있는 工程危險性 評價 中の HAZOP의 陽性化는 國家的인 産業安全 次元의 큰 課題라고 여겨진다.

이는 政府가 우리의 産業 現場의 實情에 適合한 工程危險性 評價技法을 積極 開發 誘導하여 普及함으로써 企業 스스로가 PSM을 自發的으로 遂行할 수 있도록 啓導한 後에 法的으로 制度化함이 바람직하다고 生覺한다.

이와 關聯하여 國內에서는 産業體의 各 危險性評價 專門家를 中心으로 하여 學校·研究所·韓國産業安全公團·韓國技術士會 間에 體系的인 情報 및 資料 交換이 要請되며, 나아가서는 國際 開放化에 對備하여 韓國과 日本의 技術士會가 相互 蓄積된 技術과 經驗을 바탕으로 콘소시움을 形成한 後 東南亞 및 中國에 進出하여 技術 移轉 및 工程危險性評價 業務를 遂行하는 것이 國內은 勿論 國際的인 安全性向上·生産性向上을 통해 참다운 人間 尊重的 社會를 具現하는 것이라 하겠다.

參 考 文 獻

1. CCPS, "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures", 2nd Ed., AIChE, 1992.
2. CCPS, "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures", 1st Ed., AIChE, 1985.
3. CCPS, "Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety", AIChE, 1989.
4. D. A Crowl & J. F. Louvar, "Chemical Process Safety : Fundamentals with Applications", Prentice Hall, 1990.
5. Frank P. Lees, "Loss Prevention in the Process Industries", Vol. 1 & 2, Butterworths, 1980.
6. ILO, "Prevention of Major Industrial Accidents", Code of Practice, 1991.
7. OSHA, Federal Register, 29 CFR 1910. 119.
8. API Recommended Practice 750, "Management of Process Hazards", 1st Ed., API, 1990.
9. "CMA Responsible Care", Chemical Manufacturers Association
10. "A Guide to Hazard and Operability Studies", Chemical Industries Association, London 1977.
11. "Hazard Study Leaders Training Course", ICI Engineering, Nov. 1991.
12. "Hazard Study Methodology", ICI Engineering, Nov. 1991.
13. T. A. Kletz, "Eliminating Potential Process Hazards", Chemical Engineering, April 1, 1985.
14. H. G. Lawley, "Operability Studies and Hazard Analysis", Chemical Engineering Progress(Vol. 70, No. 4), April 1974.
15. W. J. Kelly, "Oversights and Methodology in a HAZOP Program", Hydrocarbon Processing, October 1991.
16. D. W. Jones, "Lessons from HAZOP Experiences", Hydrocarbon Processing, April 1992.
17. 韓國産業安全學會, "化學設備의 危險性 評價技法 開發", 1993. 10.
18. 이영순, "工程安全管理의 國際動向과 國內適用", '93 國際 安全工學 學術 심포지움, 韓國産業安全學會, 1993. 8.
19. 윤인섭, "工程危險性 評價技法", 化學工場 工程安全管理 國際세미나, 韓國化學工學會, 1994. 4.

◇ Page 139에 계속 ◇