

## 尿素合成塔事故와 羅州工場 正常化

韓國綜合化學 羅州工場 文 景 周

### 略 史

1958年 5月1日 政府와 舊湖南肥料株式會社間에 羅州肥料工場建設 國內工事役務契約을 締結하고 施設費 外貨 2,700萬弗 建設費 10億원으로 1959年 6月 15日 本工事を 着工하여 西獨組合體 (Lurgi 代表會社 外 4個會社)의 技術指導에 依하여 建設이 進行되어 오다 民營 當時資金難等으로 建設工事が 一時停頓狀態에 빠졌다 多幸히 5·16革命에 依하여 政府에서 引受케 되어 政府의 果敢하고 積極的인 施策으로서 急速度로 建設이 이루어졌고 1962年末에 竣工式을 갖게되었다. 日産 250屯 年産 8萬 2千屯 規模의 尿素工場으로 和順 無煙炭을 原料로하고 榮山江水를 原料水와 冷却水로 利用할 計劃이었으나 和順炭의 量과 質이 期待에 어긋났으며 뿐만아니라 國內炭의 枯渴로 依하여 國產原料에 依存한다는꿈은 깨어지고 榮山江도 한말時는 完全히 바닥이 드러나 立地條件이 不適하다는 것을 매늦게 알고 于先油類代替를 서둘렀다. 一次擴張으로 남자를 原料로하여 尿素 50% 増産과 日産 50屯規模의 메탄을 合成工場 日産 10屯規模의 濃窒酸工場建設 第二次擴張으로 石炭代身 B.C. oil로 shell gas化 及 發電所 boiler에 B.C. oil 代替를 68年~70年에 完了하였으나 西獨 技術陣은 많은 未解決點을 남긴채 歸國하여버렸다. 例로 slurry carbon을 pellet化하여 boiler에서 燃燒시키도록 設計하였음에도 不拘하고 實施를 못하였고 尿素合成에서 隨伴되어나온 inert gas中的  $\text{NH}_3$  回收를 하도록 設計되어있으나 實施를 못하였고 尿素日産 375屯設計值에 겨우 330屯性能保障으로 끝인것외에 數個의 問題點을남겼다. 然이나 只今은 工場內의 技術陣에 依하여 모두解決되었다.

### 羅州工場의 長短點

短點으로는 工場이 係單位로 建設되어 大部分이 二系列로 되어왔고 gas source도 2個所이기 때문에 複雜多難하며 生産原價가 높다.

1. 機器의 數와 種類가 많으며 事故빈도도 機器數에 比例하여 많다. 더욱 大部分이 外注하여야할 機器들이기 때문에 事故時期豫測과 調達可能期間等を 감안하여 計劃을 樹立하는 것에 隘路가 있으며

2. 機器 trouble回數가 많음에 따라 gas及 中間製品 潤滑油 steam等 物量의 loss가 많다.

3. 工場이 分散되어왔기 때문에 勤務人員이 많아야 함에도 不拘하고 有事時는 所屬單位工場以外의 工場에 人力活用이 圓滑치않으며 人件費支出은 많아야한다.

#### 長點으로는

1. 工場實務歷史가 짧은 우리 技術系에 機器裝置의 trouble이생겼을때 尼부조급한 判斷을 내리지않고 二系列比較檢討할 수 있다. 過般에 尿素反應塔破裂事故時 比較對相이없었다면 原因究明에 큰 過誤를 범하였을 것이다(後述). 特히 腐蝕問題는 原因不明한 事項이 間間히 나타나며 一例로 converted gas ( $\text{CO}_2$  29.8,  $\text{CO}$  0.4,  $\text{H}_2$  68.61,  $\text{CH}_4$  0.57,  $\text{N}_2$  0.62)를 hot potash溶液( $110^\circ\text{C}$ , 3.7N,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ 와 若干 borax)으로  $\text{CO}_2$ 洗滌除去次 hot potash溶液을 27 atü로 pumping 하여주는 데 discharge line(當時는 carbon steel이었으나 只今은 St-steel로 交替)에서 A line는 腐蝕이 微微하나 B line는 每週마다 1回式으로 熔接하여야하는 trouble이 있어 西獨技術擔當者에게 「같은 壓力 같은 溫度 같은 連轉時間같은 材質 같은 流量에 尼부顯著한 差異가 나지않느냐」고 質問하면 「連轉하여보면 그런한 現象이 나타나기도한다」고 莫然한 答辭을 하여주는 것이었다.

2. 工場이 一部 trouble 이 생길時도 一部는稼動되고 있기 때문에 再始動하여 load up 하는데 時間이 短縮된다.

## 尿素反應塔 破裂事故

### 1. 事故經緯

가. 發生日時 1972. 4. 14. 23:05

나. 發生工場 Sec. 624 尿素合成工場(尿素反應塔 B)

다. 事故直前操作 尿素合成工場 A/B 2 line 이 正常稼動中(330 t/day)

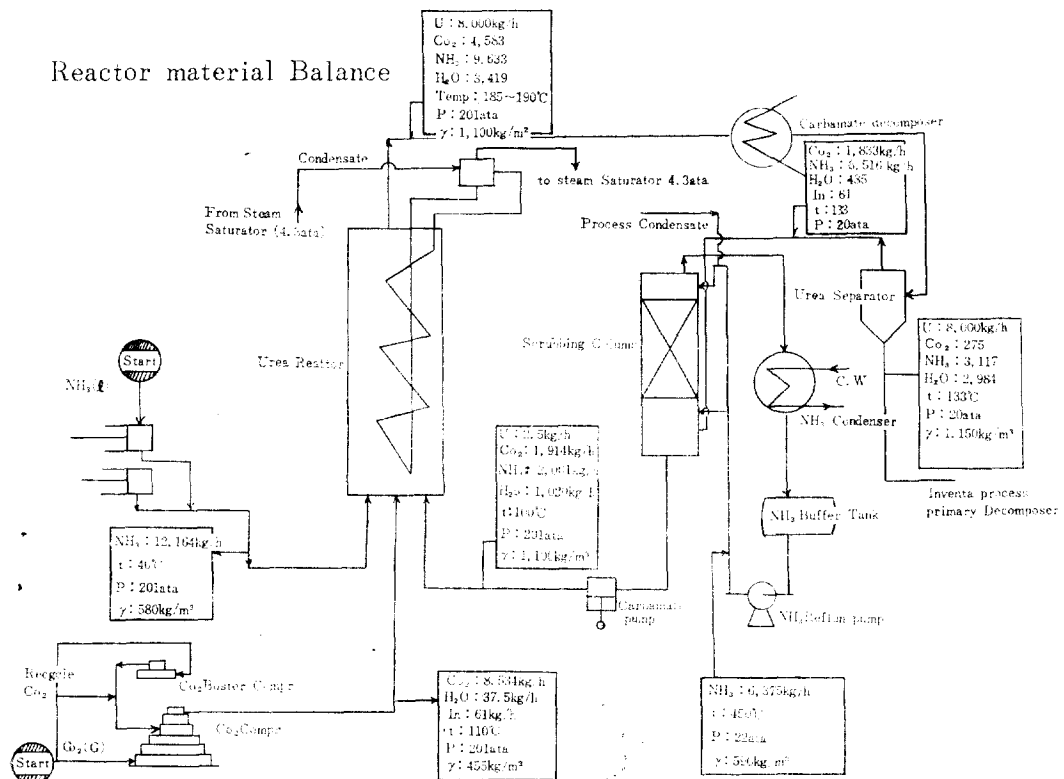
19:30 炭酸 gas 壓縮機 B 6 단 cylinder 에 潤滑油注入이 되지않아 (2 個中 1 個) 負荷를 減少시키고 A line 에 負荷를 增加시켜 運轉하다가 B line CO<sub>2</sub> 壓縮機 6 단 lubrication 의 check valve 를 交替하기 爲하여 22:50 B line 을 運休하였다. carbamate 의 clogging 防止와 合成塔壓力維持次 carbamate pump 는 繼續運轉中이었고 let down valve opening 이 0.3 이었다. 23:05 check valve 作業을 마치고 cylinder 潤滑油注入을 確

認하려는 瞬間 遠距離에 있는 尿素反應塔 B 에서 爆音과 함께 200 壓이 걸린 巨大한 合成塔이 거의中間에서 完全히 上下두토막이나고 上部는 밑으로 내려앉았다.

### 2. 事故 原因分析(Flow sheet 添付)

多幸이 人命被害는 없었으나 負傷者가 4 名나왔고 長期入院加療後 完治되었음 事故直後 崔雄博士를 團長으로한 調査團(11名)이 構成되었으며 運轉 miss off gas 폭발 材質결함 safty valve 의 作動與否等 可能性을 多角度로 檢討하였으나 이렇다할 단서를 잡기가 어려웠고 KIST 에서 맹신재博士의 材質檢査結果를 기다리고 있는中 工場側에서는 事故가 나지않고 있는 合成塔 A 에 對하여 豫防整備次 全面 check 를 하게되었다.

먼저 平時에는 뜯어볼 必要를 느끼지 않는 絶緣物(glass wool)을 試運轉以來 9 年만에 처음으로 解體하고 shell 表面을 點檢한 結果 tack welding 한곳에 의심이가서 同場所를 grinding 하여 dye chack 하여본 結果 crack 이 鮮明히 나타나므로 數個所를 같은 방법으로 check 한 結果 亦是 同一하였다. 塔A에서 얻은 hint



를 事故塔인 B에 對하여 같이 check 한 結果 同様相이 나타나므로 tack welding 近處를 sampling 하여 KIST로 보냈으며 調查團의 一員인 孟博士는 이를 檢査하고 다음과 같이 보고 하였다.

「Tack welding 시킨 局部의 組織을 調查하였던바 直徑 약 10mm의 組織變化를 일으킨 깊이 約 1.2mm에 해당되는 無數의 micro (toe) crack 이 發見되었고 硬度값도 原材質의 硬度값 210 (DPH)에 比하여 300~500(DPH)로 많이 높았다. Shell材質에 非金屬性介在物이 全般的으로 發見되었는데 이들은 一次的으로 形成된 crack의 전과를 도왔다고 추정된다.」 이어 調查團의 結論도 다음과 같았다. 卽「不合理한 tack welding에 依해 組織上의 變化가 局部的으로 생기고 熱 壓力이 作用하여 Shell 外部에 micro crack (Toe crack)이 形成되었고 壓力의 作用 및 反復壓力의 作用으로 이들 micro crack 이 成長進展하여 内部로 들어왔다.

한편 shell 內外에서는 liner가 數次損傷되어 부식성 成分기가 造成되어 stress corrosion 이 일어나 이들 두 要素가 서로 도와 파탄을 유발한 것으로 解析된다. shell材質에 非金屬性 介在物이 全般的으로 發見되었는데 이들은 一次的으로 形成된 crack의 전과를 도왔다고 추정된다.

合成塔A도 使用不能이다.

**Tack welding :** 施工當時 (62.5.11.~9.27.) 尿素合成塔 保溫次 塔周圍를 全部 glass wool (厚15cm)로 쌓았는데 이들을 支持하기 爲하여 shell 外각에 9個의 band를 써우고 band를 固着시키기 爲하여 每 band마다 shell 表面에 18個所의 tack welding을 하였으며 이는 西獨技術陣의 監督下에 이루어졌고 우리技術陣은 그러한 經驗은 全無이기때문에 또 大整備때 glass wool까지 뜯고 check 한다는것은 意外的 일이기때문에 9年間 micro(toe) crack를 觀察할 機會가 없었는데 이것이 너무 큰 禍根이 된 것이다. micro (toe) crack은 熔接時 熔融凝固한 熔接金屬과 熔融에까지 이르지못한 母材熱 影響部에 熔融線(fusion line)이 생기어 이 位置에 隣接한 母材는 熔融直前의 溫度까지 達하고 結晶粒子가 粗大化하여 취약化한것이 普通이고 壓力이 集中되어 toe crack이 形成될 可能性이 많으니 特히 高張力鋼(60kg/mm<sup>2</sup> 以上) 表面에 熔接棒을 대는것은 삼가 해야한다고 文獻에도 나와있었다.

合成塔 B의 事故直後 工場側에서는 合成塔 A에 對한 非破壞檢査(X-ray 및 초음파 탐상조사)를 韓國工業檢査株式會社에 依頼하였으며 여기서 나온 結果는 다음과 같다.

균열부의 길이구분	개소	균열부 길이구분	개소
10~20mm	11	10mm 이하	11
20~50mm	7	11~40mm	38
50~80mm	11	40~50mm 이하	6
80~110mm	3	51~55mm	3
110~150mm	3		
150~200mm	2		
200~250mm	3		

국내비료 공장의 Reactor 비교

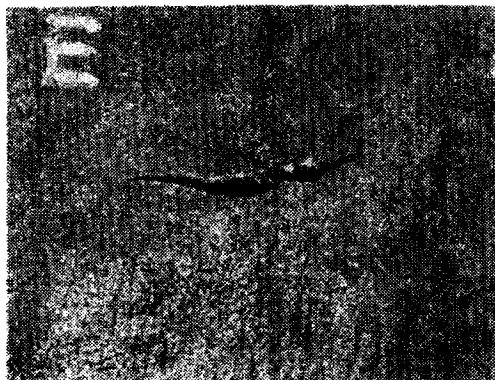
구 분	나 주 비 료		충주비료	3,4 비료
	중	전		
제각회사	Essener Appar- atrbau	고-베 제강	A. O. Smith	고-베 제강
설계압력 Kg/cm <sup>2</sup>	220	220	225	253
사용압력 Kg/cm <sup>2</sup>	200	200	200	230
수합시험 압	286	330	338	380
재 질	26 Cr <sub>7</sub> Mo	Inner shell SUS-33(10 mm) layer SS41 (4.5mm) K-TEN 60m <sub>4</sub> (84mm)	A. I. Smith Spe. 11350	welton55
Shell 구조	Solid	Multi layer	Multi layer(24)	Multi layer(18)
Shell 내경 m/m	1,200	1,200	926	1,500
Shell 두께 m/m	55	98.5	155	104.1
liner m/m	8	10	11	19
safety factor	2.89	3	4.0	4.0
safety valve setting at Kg/cm <sup>2</sup>	260	225	225	253
setting at 작업압력	130%	113.5%	113.5%	110

### 3. 收 拾

事故가 發生하자 當社는 卽時 事故調查團을 構成하여 調查를 進行하는 한편 莫大한 資金으로 reactor B를 最短時日內에 製作하도록 近距離인 日本神戶製鋼에 發注하였는데 第二次擴張時 西獨技術陣의 miss로 多節期の 好條件期임에도 不拘하고 375 t/day 設計値를 훨씬 下廻한 330 t/day mean 밖에 내지못하고 歸國하여버린後 恒常 reactor 容量이 적음을 느껴오다가 敏速히 reactor net volume 9.11m<sup>3</sup>를 11.74m<sup>3</sup>로 増容發注하였든 것이다.

신, 구 Reactor 의 비교

구 분	종 전	현 재
Inside dia. mm	1,200	1,200
Inner length mm	10,000	11,500
Net volume m <sup>3</sup>	9.11	11.74
Buffer volume m <sup>3</sup>	0.154	0.154
Cooling bundle tube Ea	110	62
Total heat transfer surface m <sup>2</sup>	125	83
Wall thickness mm	55	98.5
Liner thickness mm	8	10
Liner material	SUS 33	SUS 33
Water pressure Kg/cm <sup>2</sup>	286	330

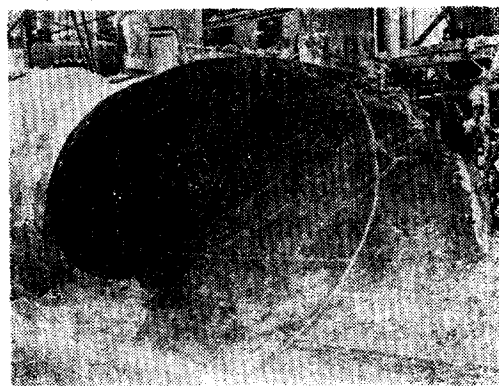


(2)

Feed ratio %	3.2:1	3.6:1
Retention time min	24-26	28-33
Conversion Ratio %	53	60
Urea product ton.	330-356	375-408

이것이 今日 380t/day mean 으로 設計値를 上廻하고  
工場이 正常化된 第一 큰 原因이 되었다는것을 生覺할  
때 不幸을 幸으로 轉換시킨 重大한 時點이었음을 알수  
있다.

이윽고 調査團側으로부터 合成塔 A도 使用不能이란  
結論이 내려지자 또 一基를 先發注分과 同一型으로 發  
注하였으며 工場內 全員이 動員되어 最短期日內에 徹  
去 및 復舊作業을 마쳤다.



(1)



(3)

E : Reactor B의 shell 内部 어느部分의 crack 後面 tock welding 한곳에의 crack 이 進展되어  
貫通된것임. 길이 約 20cm

1 : 두동강이 난 合成塔 B의 下體部分

2 : 두동강이 난 合成塔 B의 上體部分 (tube bundle 과 더부러 절단하였음)

3 : 厚 55mm의 shell 破裂斷面과 liner

結果 B line 은 同年 9 月初부터 A line 은 10 月初旬부터稼動을始作하였다.

効果面에서

	從 前	現 在
生 產 量	330 t/day	380 t/day
轉 換 率	52~53%	61~62%
反應物체류시간	22~23min	28~29min

尿素合成에 있어反應物체류시간이 30분이最適인바 이에接近하고 있다.最近 4年間 月別生産實績(尿素)은 다음과 같다.

月 別 生 產 量 單位(t)

Month	71 年 度	72 年 度	73年度	74年度
1	9,603.700	9,861	11,032.400	10,738
2	8,016.525	8,324.325	9,189.825	8,844
3	8,831.100	9,057.750	10,587	11,666
4	8,534.625	3,226.475	10,508	10,639
5	7,389.375	—	9,860	10,373
6	6,683.175	—	8,587	10,765
7	1,424.750	—	7,656	7,252
8	3,937.200	—	5,273	6,133
9	7,722.200	4,140.575	9,713	11,348
10	9,155.300	9,212.850	9,736	
11	7,550.500	9,070.725	10,762	
12	7,033.450	9,229.800	10,034	
Total	85,881.900	62,123.500	112,938.225	87,758

## 結 論

始初부터 모든 不遇한 與件과 複雜多難한 條件에서稼動되어오던 羅州工場이 68年度의 旱害때부터稼動率底下, 負荷率底下로生産量이下廻하고 그後 一次, 二次擴張事業 未完備로繼續不振한實績을 거둠으로써社會에서赤字會社로烙印이 찍혀왔다.

國民의莫大한税金으로 이루어진 巨大한 이 國營企業體가國民의期待에 어긋났음은實로面目이 없는일이었으나 尿素合成塔 事故를契期로轉換期를 맞게 되었다. 夏節期에는工場循環冷却水 보다 5~6°C 낮은榮山江水를直接 암모니아合成工場에供給하는等數多한改善을 하였고 西獨技術陣이未解決로남긴數件을解決하였고 carbon steel로 되어있던 CO<sub>2</sub>冷却器 암모니아凝縮器를 비롯하여 10餘個에 이르는重要冷却器凝縮器熱交換器를社內에서 St-steel로製作하여交替하므로써機器裝置의 많은 trouble 要因을除去하였다.

宿願인設計值年間12萬톤達成을自前에 두고 있으며 赤字를免할수 있는工場으로特히 湖南農民의創設時의期待에 부합될수 있는공장이 될것으로자부하는바이다.

## 參考書

1. 湖南肥料 羅州工場尿素合成塔 事故에 對한 最終報告書 1972. 5.
2. 安全工學 通卷 46. 1972.
3. Advances in petroleum chemistry and refining. volume X 1965.
4. 實用尿素工業便覽