

特 輯

日本 窒素質 肥料工業의 30 年史

(Source : Nitrogen No.152, 11 / 12 月 1984)

○ 概 論

日本은 先進工業國들 가운데 天然 gas 나 石油等 國內 賦存資源이 없는 유일한 國家이다. 그럼에도 不拘하고 유럽이나 北美의 Ammonia 工業이 石炭에서 훨씬 더 經濟的이고 깨끗한 炭化水素로 原料를 轉換시켰을때 日本의 Ammonia 工業도 競爭力을 維持시키기 위해 이들의 뒤를 따르지 않을 수 없었다.

1950 年代 中半以後 數次에 걸친 合理化 計劃과 現代化 過程이 約 15 年間 이어지면서 日本의 窒素質 工業은 硫安에서 尿素로 成分含量이 높은 製品을 生産하는 쪽으로 轉換되었을 뿐만 아니라 舊式의 Ammonia 生産施設을 炭化水素를 基本으로 한 經濟規模로 擴張시켜 代替했다.

1970 年까지 世界市場에서 競爭力과 效率을 올릴 수 있도록 窒素質 工業이 現代化되었다. 그러나 輸入原料에 전적으로 依存하지 않을 수 없는 形便이 되었다. 이같은 輸入依存으로 1973 / 4 年과 1979 年 두차례에 걸쳐서 國際 原油價格과 다른 原資材價格의 大幅的인 上昇으로 因하여 큰 타격을 입기도 했다.

따라서 窒素質 肥料工業은 低價의 自國產 原料를 利用하는 다른

나라, 특히 產油國들의 窒素質 工業과 더 이상 競爭을 할 수 없게 되었다.

技術 改善에 依한 效率性 提高 可能性이 限定되어 있기 때문에 철저한 工場閉鎖計劃의 樹立이 必要하게 됨에 따라 다음해인 1980년에 이 計劃을 完成시켜 全體 Ammonia 生産能力을 40%, 그리고 尿素 生産能力을 60% 이상까지 減縮시켜 왔다. 나머지 生産施設에서 生産되는 製品은 거의 모두 國內市場에서 販賣키로 했다. 現在 Mitsui Toatsu Chemicals Ltd. (MTC)로 알려진 會社는 肥料用 尿素를 日本에서 最初로 生産한 會社였다.

最初의 生産工場은 日産 50 屯의 生産能力으로 1948년에 運轉을 開始했다.

그 以後 製造技術의 急激한 發達에 힘입어 生産量이 急伸張했다. 예를 들면 1974년의 生産은 359萬ㄱ으로 記錄的인 水準에 達했으며 이중 248萬ㄱ이 輸出되었다.

尿素生産은 國際市場에서 競爭力을 確保하기 위한 目的으로 政府의 案內에 따라 各 製造業體가 逐行했던 日本 肥料工業의 主要 合理化 計劃의 必須的인 構成內容이었다. 그 當時까지는 硫安이 主要 窒素質 肥料로 되어 있었다.

2次 合理化 計劃은 Ammonia 生産施設을 고체 원료에서 液體原料 (原油, 重油, 其他 石油抽出物質 또는 캐스)로 轉換시켜 놓았다. 現代化 計劃은 Steam Reforming 工程의 導入으로 처음에는 日産 500 ~ 700 ㄱ 規模의 工場에서 後에는 合成캐스의 遠心加壓 工程과 함께 日産 1,000 ~ 1,500 ㄱ의 生産規模를 가진 단일 生産工場으로

여러 段階를 거쳐 遂行되었다.

施設容량의 經濟的 規模로부터 最大의 經濟的인 利益을 유도하기 위하여 이들 Ammonia 工場을 併設한 尿素工場을 日産 800 ~ 1,750 ㄱ의 規模로 建設하였다.

日本은 炭化水素 燃料의 國內 賦存資源이 없기 때문에 擴張과 現代化를 거친 후 窒素質工業은 거의 石油 抽出物인 輸入原料에 全적으로 依存하게 되었다. 合理化 計劃과 現代化 計劃이 1970 年에 끝나면서 窒素質 工業은 國際原油價格과 精製製品의 價格이 갑자기 큰 幅으로 引上됨으로써 危機에 처하기 직전 3 個年동안만은 完全한 利益을 볼수가 있었다. 이같은 波動은 1973/74 年과 1979 年에 반복되어 일어났다.

그러나 國際市場 與件이 安定을 되찾자 現代化 計劃 期間동안에 建設되었던 現代的인 Ammonia / 尿素工場의 大部分이 原料의 輸入價格때문에 輸出市場에서 競爭力이 상실되어 폐기시키지 않으면 안되었다. 現在는 國內需要를 充足시키기에 充分한 經濟的 生産高를 유지하면서 稼動되고 있는 한편 輸出를 위한 少量의 制限된 物量만을 生産하고 있다.

○ 第 1 次 合理化 計劃

1950 年代 中半에 樹立된 最初 合理化 計劃의 主要 內容中の 하나는 그 當時 實際的으로 유일한 窒素質 肥料인 硫安의 國內 價格을 ㄱ當 23,500 ㄱ (65 \$)에서 國際價格 水準인 50 \$ 로 引下시키는 것이었다. 1955 年 硫安生産은 213 萬ㄱ인데 비해 尿素 生

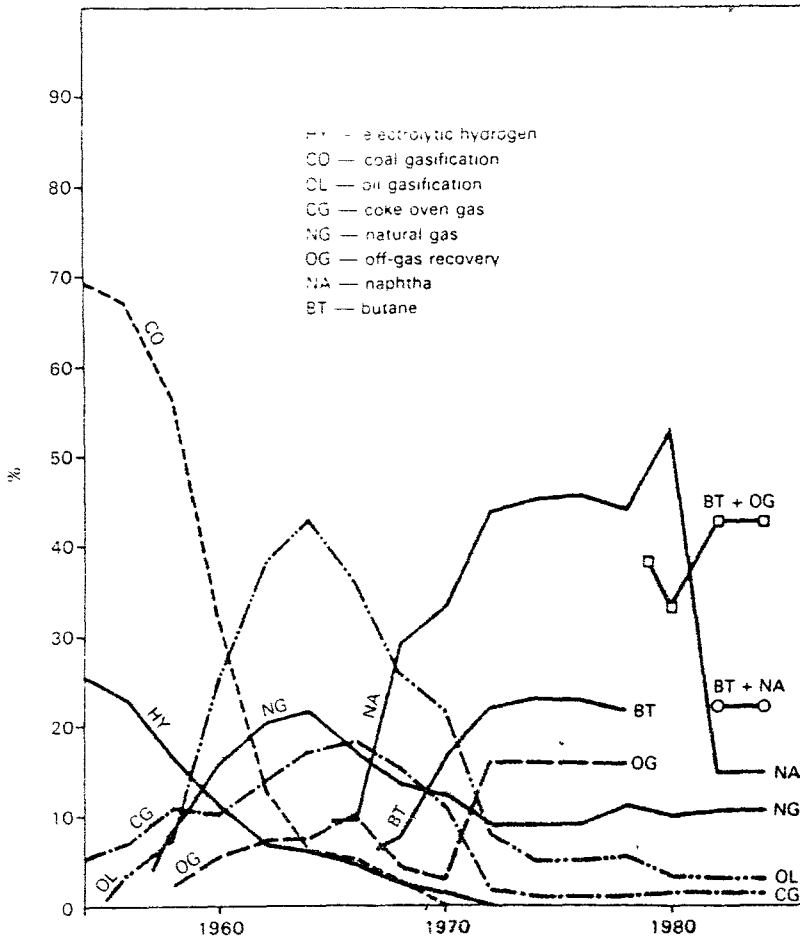
產量은 16萬㎏에 지나지 않았으며 國內 尿素價格은 53,700 원 (150 \$)이었다. 그 當時 Ammonia 合成 gas 의 70%가 石炭을 原料로 製造되었으며 25%가 물의 電氣分解, 그리고 5%가 Coke oven gas로부터 製造되었다.

그래서 gas化 工程을 變形 改善시켜 Ammonia 生産의 經濟性을 提高시키는 方案이 提示되었다. 同時에 窒素質 成分 供給源이 점차 硫安에서 尿素로 轉換되도록 計劃되었다.

1次 合理化 計劃의 마지막 해인 1960年, 硫安의 生産量은 242萬㎏에 達한데 비해 尿素生産은 61萬㎏으로 增加되었다. 그러나 硫安의 國內價格은 ㎏당 21,000 원 (58 \$)으로 밖에 引下되지 않은 反面에 尿素價格은 41,000 원 (114 \$)水準으로 引下되었다. 그래서 1次 合理化 計劃은 尿素 生産量이 고무적인 增加를 보였으나 價格面에서는 成功했다고 말할수가 없다. 그렇지만 Ammonia의 生産原料가 固體에서 液體로 代替됨으로써 發展의 契機가 되었다. 石炭과 물의 電氣分解에 依한 方法이 줄어들었으나 Coke oven gas를 利用한 製造는 늘어났다.

이 時期에 天然 gas와 石油를 Ammonia의 原料로 利用하는 方法이 出現되었다 (Fig 1.) 동시에 尿素 製造工程이 變換되기 始作했다. 이제까지 使用되었던 Partial Recycle Process (副產物로 硫安이 生産됨)가 Total Recycle Process (모든 Ammonia가 尿素로 轉換됨)로 代替돼 가고 있었다.

Fig. 1: Feedstock Base of Japanese Ammonia Plants



○ 2次 合理化 計劃

1次 合理化 計劃은 硫安과 尿素價格을 當初 目標했던 價格水準으로 維持하는데 失敗했다는 評을 들어왔다.

설상가상으로 國際市場 價格이 유럽이나 北美가 天然 gas 나 重油 및 原油와 같은 저렴한 Ammonia原料로 轉換시켜 나감으로써 더

속 引下되고 있는 형편이었다. 그래서 2次 合理化 計劃이 國內 硫安價格을 43 \$로 引下시킬 수 있도록 樹立되었다. 이 計劃은 原料를 固體에서 液體로 轉換시키며 生産設備의 現代화와 그리고 製品을 硫安에서 尿素로 더욱 轉換시키도록 강력히 推進시킴으로써 達成시킬 計劃이었다.

그 結果 2次 合理化 計劃의 마지막 해인 1965 年の 年間 生産量은 硫安이 250 萬噸, 尿素가 120 萬噸이었다.

國內 市場價格은 硫安이 20,000 원, 尿素가 39,500 원으로 떨어졌지만 輸出市場價格은 아직도 낮은 水準이어서 硫安이 17,600 원, 尿素는 33,400 원을 維持했었다.

(Fig 1)은 2次 合理化 計劃期間동안의 原料 轉換 過程을 보여주고 있다.

石炭의 gas化 工程이나 물의 電氣分解를 利用한 工程은 점차 자취를 감추었으며 液體原料(液體 및 gas 包含)를 利用한 占有率이 거의 90%로 增加되었다.

이같은 變換의 代價로 現在의 窒素質 肥料工業이 거의 完全히 輸入原料에 依存할 수 밖에 없도록 만들어 놓았다.

○ 1次 改善 計劃

1963 ~ 1965 年에는 世界市場에서 窒素質 肥料의 供給不足을 겪었다.

그 原因은 유럽의 흑한으로 住產量을 減縮할 수 밖에 없었으며 蘇聯이나 東南아시아 地域 國家들이 農業生産을 높이기 위한 政策

逐行으로 肥料 消費量이 增加되었기 때문이었다.

그 結果로 北美나 유럽地域에서 새롭고 效率性이 높은 工程을 바탕으로 한 Ammonia / 尿素工場의 建設이 흥수를 이루었다. 國際 競爭力을 維持하기 위하여 日本 肥料工業도 유사한 工程을 채택하지 않을 수 없었으며 결국 日本 政府나 肥料製造業體들은 1965 年에 第 1 次 改善 計劃에 착수하게 되었다.

1 次 改善計劃의 主要目的은 舊式의 Ammonia 工場을 日產 500 噸의 大規模 單一生產工場으로 現代化시키는 동시에 液體原料를 使用함으로써 生産費用을 最少化시키면서 全體 Ammonia 生産能力을 20 %까지 增大시키는 것이었다. (Table 1 參照)

Table 1. Raw Material and Utilities Consumption for Various Ammonia Processes (per product tonne)

Raw material	Amount	Electric power (kwh)	Boiler feed water (m ³)	Cooling water (m ³)
Electrolytic hydrogen	—	10,000	1.8	150
Coke oven gas	2,000 Nm ³ H ₂	1,200	-	150
Coal gasification				
(1 atm)	14.0 × 10 ⁶ cal	-	1.7	500
(25 atm)	11.6 × 10 ⁶ cal	-	1.25	400
Heavy oil gasification	9.8 × 10 ⁶ cal	-	2.7	300
Naphtha reforming	8.8 × 10 ⁶ cal	-	2.8	200
Natural gas reforming	8.5 × 10 ⁶ cal	-	2.8	175

따라서 이들工場들을 運轉하기 위해 合作投資會社를 設立할 計劃도 包含되었다. 이 計劃의 主要內容은 全體 生産能力이 日産 3,030 ㄱ으로 되어 있는 新規 Ammonia 工場, 6 個가 建設되며 5 個의 Ammonia 舊工場(全體能力: 日産 1,280 ㄱ)을 폐기시키는 것이었다. 新工場中 2,280 t/d 은 납사를 原料로, 500 t/d 은 butane 을 原料로(ICI Steam Reforming Technology 使用) 그리고 250 t/d 은 石油化學工場의 폐가스를 利用한 工程을 채택했다. 또한 6 個의 尿素工場이 6 個의 Ammonia 工場과 같이 建設되었으며 全體規模 416 t/d 工場 3 個를 폐기시키는 것이었다.

新規 尿素工場中 5 個는 Mitsui Total Recycle C Process 를 채택하였으며 나머지 尿素工場은 Chemico Total Recycle Process 를 도입했다.

1967 年 1 次 改善計劃이 끝난후 日本의 全體 Ammonia 生産量中 93%가 液體原料를 利用, 製造되었으며 나머지는 石炭 gas化 工程과 물의 電氣分解工程을 利用하여 製造되었다. 한편 이 當時의 國內 Ammonia 價格은 19,500 ㄱ 그리고 尿素는 37,700 ㄱ으로 각각 약간씩 떨어졌다.

石油化學原料나 폐가스에 대한 依存度가 많아지면서 Ammonia / 尿素工場은 거의 石油化學 工業團地內에 位置하게 되었으며 主要 化學會社들이 대부분 所有하거나 運營하게 되었다.

窒素質 肥料工場의 所有主나 運轉會社의 경향은 2 次 改善計劃期間동안에 더욱 擴大되었다.

○ 2次 改善計劃

1次 改善計劃이 끝난後 新規의 現代的인 生産施設이 全體 Ammonia 生産施設의 30%인 約 100萬%에 達했으며, 全體 尿素 生産能力의 約 40%인 역시 100萬%을 차지하게 되었다.

그러나 世界의 其他國家들의 肥料工業은 더욱 大規模의 生産設備에 投資를 하므로써 生産費用을 節減하며 世界市場에서의 競爭力을 提高시키는 등 發展을 거듭하였다. 1966年에 Nitrex는 中共을 비롯하여 東南Asia各國에 매우 저렴한 價格으로 窒素質을 供給할 수 있는 大規模의 物量供給 契約을 체결했으며 國際市場에서 競爭力을 維持하기 위해서는 日本도 역시 大規模 生産工場의 經濟規模로 擴張해야 된다는 것을 이 時期에 充分히 확신할 수 있게 되었다.

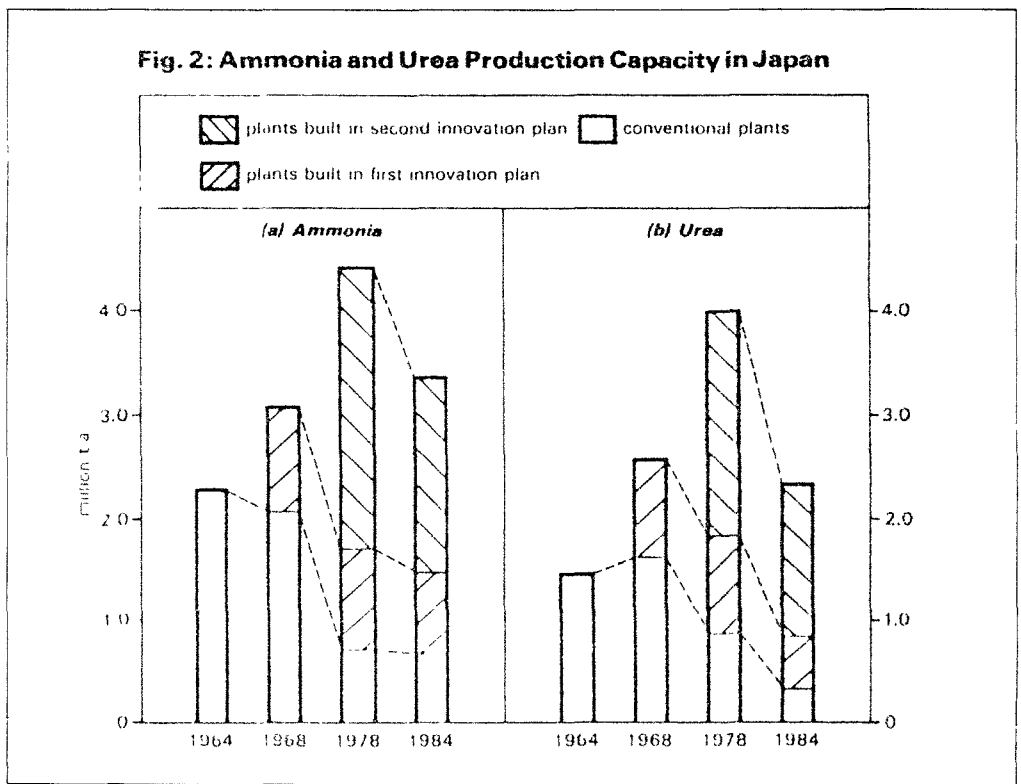
그래서 1968年에 第2次 改善計劃을 樹立하기에 이르렀다.

2次 改善計劃의 基本目的은 老朽되었거나 小規模의 非效率的인 工場을 代替시켜 日産 1,000%이나 그 以上の Ammonia 生産規模로 判明된 Centrifugally-blown single-train의 生産工場에서 製品을 生産하여 國內市場과 輸出市場의 需要를 充足시킬 수 있도록 하자는 것이었다.

따라서 全體 日産 8,300%에 해당하는 8個의 新規 Ammonia 工場이 稼動되었으며 全體 生産能力이 日産 3,500%에 해당하는 舊工場들이 폐기조치 되었다.

Fig. 2a는 1次 改善計劃 이전에 建設된 재래식 Ammonia 工

場과 1次 改善計劃期間에 建設된 工場 그리고 2次 改善計劃期間
 에 建設된 工場의 生産能力을 나타낸 것이다. 이들 新規工場들은
 모두 液體原料를 使用토록 設計되었는데 日産 1,700 ㄲ인 3個의
 工場이 膿사를 原料로, 日産 1,000 ㄲ規模의 1個工場이 butane
 을 原料로, 日産 750 ㄲ 1個工場이 天然 gas 를 原料로, 日産 750 ㄲ
 1個工場이 天然 gas 를 原料로 日産 1,750 ㄲ의 2個工場이 페가스
 를 原料로, 그리고 日産 1,550 ㄲ規模의 1個工場이 페가스와
 Butane 을 原料로 使用토록 設計 되었다.



한편 日産 700 ㄲ~1,750 ㄲ까지의 알맞는 規模의 新規 尿素工
 場 6基가 全體 日産 6,650 ㄲ의 生産能力으로 6個의 新規
 Ammonia 工場과 병행하여 建設되었다.

따라서 이들 新規工場들은 全體 生産能力 2,540 t/d 인 12個의 낡은 工場과 代替시켰다. (Fig. 2b) 물론 新規 尿素工場들은 그 當時에 가장 낮은 Utility 를 消費하는 가장 最新工程을 導入했다. (Table II)

Table II
Raw Material and Utilities Consumption of Various Urea Processes
 (per product tonne)

	Ammonia (tonnes)	Carbon dioxide (tonne)	Steam (tonnes)	Power (kWh)	Cooling water* (m ³)
Once-through process	1.67	0.90	0.90	180	22
Partial-recycle process	0.82	0.83	1.10	170	60
Total-recycle processes:					
Chemico	0.58	0.78	1.80	180	90
Total Recycle C	0.57	0.75	1.10	155	100
Total Recycle C-Improved	0.57	0.75	0.92	140	84
CO ₂ Stripping	0.57	0.75	1.00†	125	55
Total Recycle D	0.57	0.75	0.78	137	64
ACES	0.57	0.75	0.63‡	121	55

* Temperature rise = 10°C.

† At 25 kg/cm² g. Export: 0.15 tonne at 3 kg/cm² g.

‡ At 25 kg/cm² g. Export: 0.07 tonne at 5 kg/cm² g.

이들 6個의 工場중 3基는 모두 3,750 t/d 規模의 生産能力으로 Mitsui Toatsu 의 Total Recycle C - Improved 工程을 利用했으며 나머지 3基(全體 生産能力: 2,900 t/d)는 Stamicarbon CO₂ Stripping 工程을 基本으로 했다.

1972年 2次 改善計劃이 完了되었을때 全體 Ammonia 生産能力은 443萬 t/a 에 그리고 全體 尿素 生産能力은 399萬 t/a 에 達했다. 그 當時 國內市場 價格은 硫安이 18,800 ¥ 그리고 尿素가 35,000 ¥에 머물렀다.

○ 石油波動的의 影響

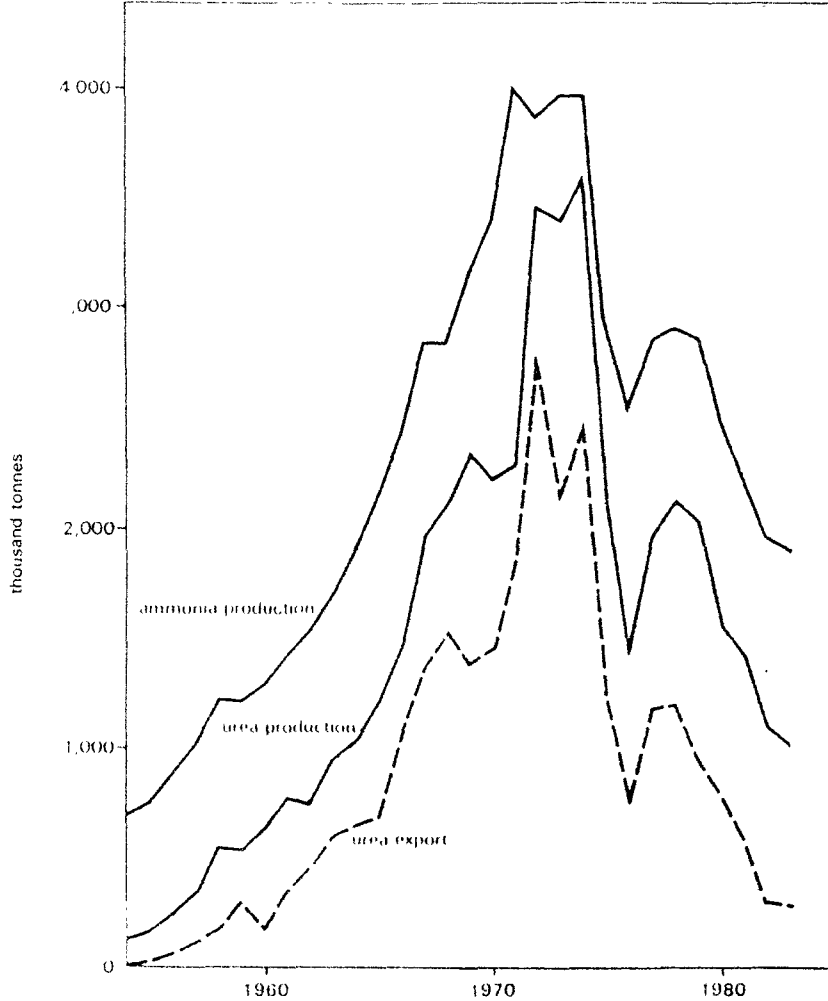
1次 改善計劃의 末年度에 日本의 窒素肥料工業은 國際市場에서 이미 競爭力을 확보 했으며 이같은 狀況은 2次 改善計劃이 着手 됨으로써 硫安과 尿素의 國際價格이 일반적으로 下向趨勢에 있었음에도 不拘하고 계속 維持되었다.

특히 日本의 生産業者들은 東南Asia市場에서 北美나 유럽의 生産業者들에 비해 輸送거리가 짧기 때문에 競爭上에서 유리했다. 그러나 이같은 狀況은 1973/74年과 1979年, 2次에 걸친 石油波動으로 因하여 갑자기 變化하게 되었다.

이는 그때까지 肥料工業이 전적으로 依存했던 炭化水素의 輸入價格을 豫想치도 않게 엄청나게 上昇시켰던 原因이 되었다. 또한 石油生産國들은 輸出市場에서 그들의 原資材에 대한 부가가치를 창출시킬 目的과 工業開發計劃의 일환으로 Ammonia와 尿素를 스스로 生産하기 始作했다. 이들은 既存의 生産業者들과 輸出市場에서 치열한 競爭을 했을뿐만 아니라 또한 肥料를 自給自足하는 한편 다른 生産業者들의 輸出市場을 점차적으로 減少시켜 놓았다.

Fig. 3은 日本의 Ammonia / 尿素 生産과 輸出에 미친 影響을 graph로 보여주고 있다. 예를 들면 1972年에서 1974年 사이의 尿素 輸出은 250 ~ 270 萬噸으로 最高를 보였으나 그 後에는 不振을 면치 못했다.

Fig. 3: Rise and Fall of Japanese Ammonia/Urea Production and Exports



○ 工場閉鎖

1978年 政府는 窒素質 産業을 特定 不振産業으로 지정하고 生産量을 減縮하기 위한 基本的인 再編成計劃을 세워 餘分의 生産能力을 縮少시킴으로써 窒素質 工業을 더욱 合理化시켰다.

그當時 窒素質 工業이 當面한 縮少範圍는 그當時 이들 두製品の 既存 公稱 生産能力이 Ammonia가 456萬 t/a, 尿素가 399萬 t/a 인데 비해 1977年 實際生産實績은 Ammonia가 284萬 t/a, 尿素가 197萬 t/a 이었던 것과 比較하면 推定할 수가 있을것이다.

따라서 그當時 Ammonia 工場의 平均 生産能力 利用率은 61.6%, 尿素工場의 生産能力 利用率은 49.4%에 達했다.

바꾸어 말하면 통상 Ammonia 工場의 稼動率을 88%, 尿素工場의 稼動率을 94%로 運轉한다면 두 製品の 需要均衡을 維持하기 위해서는 Ammonia의 生産能力중 119萬 t/a, 尿素的 生産能力중 179萬 t/a 을 閉鎖시킬 必要가 있었다.

1979年 炭化水素 價格이 暴騰됨에 따라 1982年 産業再編成計劃이 檢討되어 名目上の 生産能力으로 더욱 減縮키로 했다.

現狀態에서 이 計劃은 Ammonia와 尿素生産工場의 稼動率을 모두 87%로 잡고 있어 1985년에 가서는 Ammonia 生産能力中 66萬 t/a, 尿素生産能力中 83萬 t/a 을 더 閉鎖시킬 計劃으로 있다.

따라서 1985년에 가서 Ammonia 生産能力은 271萬 t/a, 尿素生産能力은 149萬 t/a 이 남게 되어 지난 1977년의 生産能力中 41%와 63%를 각각 減縮한 結果가 될 것이다.

大規模의 가장 現代的인 Ammonia 工場과 尿素工場의 일부도 이 計劃속에 包含되어 있었다. 1次 改善計劃期間中 建設된 Ammonia와 尿素工場中 일부를 1976~1979년에 廢棄시켰으며 주로 工業用과 일부 國內 肥料用으로 生産되고 있는 中間規模의 尿素工場

2 基가 現在까지 存續되고 있다.

2 基의 現代的이며 世界的 規模의 Ammonin / 尿素工業團地 (1 基는 Ammonia 1,550 t/d , 尿素 1,100 t/d이며 다른 1 基는 Ammonia 1,000 t/d , 尿素 900 t/d 能力保有)가 1968 年과 1972 年 사이에 建設되어 2 次 改善計劃期間인 1976 年과 1980 年에 어쩔수 없이 각각 廢棄되었다.

또 다른 950 t/d 規模의 Ammonia 工場과 1,400 t/d 規模의 尿素工業團地는 1985 年 初에 閉鎖시킬 豫定이다.

○ 工場의 融通性和 經濟性を 改善

現在 남아있는 工場들은 融通성과 經濟성을 改善시킴으로서 높은 原料價格으로 인한 不利한 結果를 緩和시키기 위하여 모든 努力을 경주해 왔다.

예를 들면 大規模 Ammonia 工場에서는 改良된 용광로를 택해 가장 低廉한 原料로 轉換 利用할 수 있도록 했다.

원심 가압기는 減少된 부하율로 經濟적인 運轉과 安全을 維持시키는데 最適이었다. Mitsui Toatsu Chemical 은 넓은 尿素工場을 現代化시켜 채래식 工程에서 Energy 消費가 적은 Total Recycle D Process로 轉換하여 Utilities 消耗량을 근본적으로 減少 시켰다. 이 工場은 200 t/d 의 少規模 生産能力을 가지고 있음에도 不拘하고 經濟적으로 運營할 수가 있다.

Mitsui Toatsu 는 또한 점점 인기가 좋은 bulk 상태로 配合된 多成分 肥料를 만들기 위해서 必要한 精確한 規格의 尿素粒子를

生産하기 위하여 Energy 效率이 좋은 fludized-bed process 를
導入했다.

그러나 불행하게도 尿素 生産費의 75% 이상이 Ammonia 原料와
Utilily 費가 차지하고 있어 궁극적으로는 尿素工程 自體만을 改善
비싼 原料를 使用하여 만든 製品을 가지고 低廉한 原料로 製造한
製品과 世界市場에서 價格 競争을 한다는 것은 不可能한 일이었
다.

ACES 工程일지라도 尿素 生産時의 全體變動費 節約은 불과 6
~ 7%에 不過하다.

이 ACES 工程 (Advanced Cost - and Energy - Saving Process)
은 Toyo Engineering 社가 開發하여 韓國에서 産業化된 초근대적
인 技術으로써 現在 보편화된 여타 商業的인 尿素工程보다 Utility
費用이 40%가 節減된다.

그래서 만일 日本이 國際市場에서 옛날의 競争位置를 回復시킬수
있는 機會를 찾을 豫定이라면 Ammonia 生産費用의 節減方法을 찾
는것이 絶대적으로 必要하다. 그때까지 日本 生産業者들의 輸出展
望은 매우 制限을 받게 될 것이므로 주로 內需市場에 계속 依存
할수 밖에 없는 形便에 있다.