새로운 觸媒는 보다 높은 效率을 자랑하고 있다. 이들은 施設費와 運營費를 大幅 減縮시키고 있는 것이다.

窒素肥料 工業에서

改良 觸媒와 費用의 減縮*

R. Habermehl**

水素와 含水素 合成氣體, 特히 암모니아 合成氣體의 生産은 最近 20~25年에 걸쳐 그 技術面에 있어서 長足의 發展을 보았다. 이러한 技術的 向上의 主要한 影響은 物理的 裝置, 設備費와 合成氣體 生産費 面에서 두드러지게 나타났다. 이 20餘年 동안, 水素와 含水素 合成氣體 生産費는, 勞動, 原料, 유틸리티, 構造材 等의 費用이 增加하고 있음에도 不拘하고, 오히려 繼續 減少되고 있는 形便이다. 技術의 向上은 20~25年 前보다 水素와 含水素 合成氣體의 生産費를 減縮시킨 것은 勿論, 裝置 設備費 그 自體도 大幅 減少시켰다.

이처럼 生産費를 減縮시키게 된 主要因을 列擧하면

1. 合成氣體 製造 壓力의 增加를 包含한 技術의 向上, 裝置 設計의 改良, 보다 廣範한 自動化, 構造資材의 改良.
2. 生産의 大規模化.
3. 보다 效率的이고 低廉한 觸媒의 使用.

이 글은 위中 第3項, 即, 水素와 含水素 合成氣體 生産費에 미치는 觸媒의 影響을 論하는 것이 目的이다. 그 中에서도 암모니아 合成氣體 生産이 보다 活發함으로, 筆者는 다른 面보다도 이 方面에 關한 水素의 利用을 보다 詳論하려고 한다.

觸媒의 製造

最近까지 이 分野와 이와 連關 있는 分野에서 使用된 工業用 觸媒는 大部分의 會社에서 自家 製造하여 使用해왔다. 勿論 이 中 어느 會社에서는 他社를 爲하여 觸媒를 製造 販賣한 會社가 있기는 하였으나, 그저 必要한 副業으로만 生覺하였을 뿐, 觸媒生産을 發展시켜 企業化하려고 本格的으로 意圖한 會社는 없었다. 따라서 生産高와 效能은 낮았으며, 高價이었고, 또한 새로운 改良 觸媒를 硏究 發展시키려는 刺戟도 없었다. 觸媒 工學上의 激變은, 觸媒를 發展, 製造, 販賣하는 것을 唯一한 技能으로 삼은 特殊會社가 出現하면서부터 비로소 試圖되었다. 오늘날 有觸媒工程 設計專門인 同時에 그들의 生産品에 附隨되는 完全한 用役을 提供할 수 있는 設備를 갖춘 諸 會社에 依하여, 이러한 觸媒가 市販되고 있다. 이들 會社는, 自社 製造 觸媒를 使用할 수 있는 工程에 關한 設計條件을 提供하고, 觸媒를 供給하며, 觸媒 使用 始作 時와 使用 中에 技術 協助를 提供할 수 있는 陣容을 갖추고 있는 것이

---

* CEP 61, No 1, pp57~61, (Jan. 1965)

** Catalysts and Chemicals Inc., Louisville, Kenturky.
1949년 켄터키大學校 卒業, 工業用 觸媒의 硏究, 技術 및 販賣에 있어서 14年間의 經驗을 가지고 있다. 現在 Catalysts and Chemicals Inc.의 工學, 技術 支配人이며, 工程및 觸媒 設計 推薦 責任者인 同時 그의 會社 製品 使用者에 對한 技術協助 責任者이다.

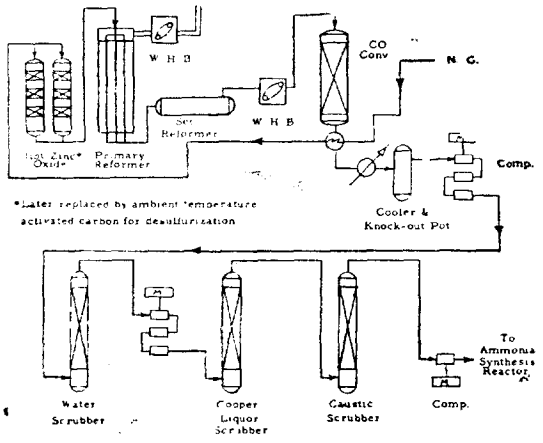

Fig. 1. Ammonia Synthesis Gas Preparation, 1941 to 1951

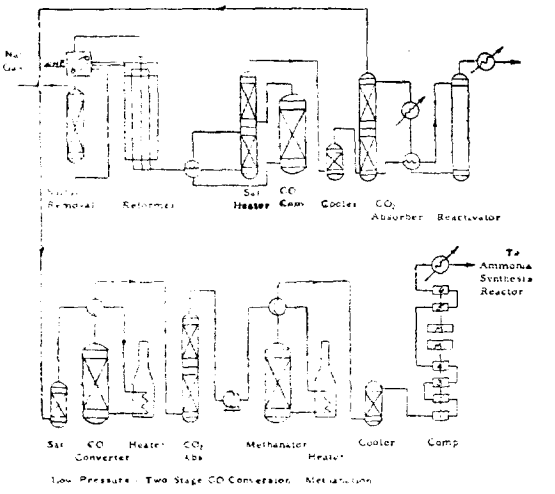

Fig. 2. Ammonia synthesis gas preparation, 1952 to 1953

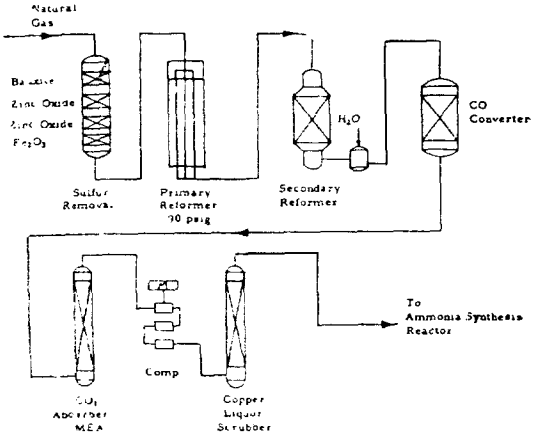

Fig. 3. Ammonia Synthesis Gas Preparation, 1952 to 1953

다. 뿐만 아니라, 이들 會社는 새 觸媒 發展에 關한 硏究와 이에 따르는 設備를 硏究하며, 現存 觸媒를 改良하기 爲한 探究와 試驗을 繼續하고 있다. 이들의 觸媒分野에 對한 影響은 相當히 顯著하였기 때문에, 오늘날 自家 造製 觸媒를 使用하는 會社는 少數에 不過하며, 그나마 차츰 減少하고 있는 形便이다.

이러한 觸媒는 암모니아 生産에 二重的인 影響을 미쳤다. 即, 첫째로 設計 技術 上의 改良을 招來하였으니, 이는 結果的으로 設備費와 運營費를 減少시켰다. 또한 觸媒 그 自體에 對한 投資가 繼續 減少되어 온 것이다. 이 글에서는 이 後者의 役割을 主로 하여, 첫번째의 役割은 多少 參考하는데 그치고저 한다.

암모니아 工場의 發展

Figs 1~7은 大戰時인 1940年代 初期로부터 現今에 이르기까지의 現代 암모니아 工場의 革命過程을 나타낸 것이다.

要컨대, 1940年代初期의 工場은, 本質的으로 大氣壓下에서 原料 암모니아를 合成하고, 一酸化 炭素 轉化의 一段階를 거쳐, 아민 洗淨에 依한 二酸化 炭素 除去, 銅液 洗淨에 依한 殘餘 一酸化및 二酸化 炭素의 除去, 合成 氣體의 壓縮, 이어서 암모니아 合成을 하게 되어 있었다. 지난 25年餘에 걸쳐서, 改質 壓力은 漸進的으로 改善되어서, 처음에는 大氣壓에서 60 lb/in² 로, 이어서 150, 200, 300, 마침내 最近의 設計에서는 500 lb/in² 까지 改良되었다. 이 期間 동안에, 一酸化 炭素의 轉化 亦是 一段에서 二段으로, 最近에는 低溫 轉化로 發展하여, 一段만을 使用하여서도 一酸化炭素를 轉化시키며 高純度의 암모니아 合成氣體를 生産하기에 이르렀다. 뿐만 아니라, 殘餘 一酸化및 二酸化炭素를 除去키 위하여 메탄化(methanation)를 導入, 메탄化는 低溫 一酸化炭素 轉化와 함께 銅液 洗淨 過程을 事實上 除去하였다.

初期의 低壓 改質 裝置에 있어서는, 改質爐(reformer furnace)의 容量은 熱傳達 關係보다는 觸媒 活性에 따라서 主로 決定되었었다. 그러나, 새로운 改良 觸媒의 發展으로 因하여, 改質壓力을 增加시킬 수가 있었으니

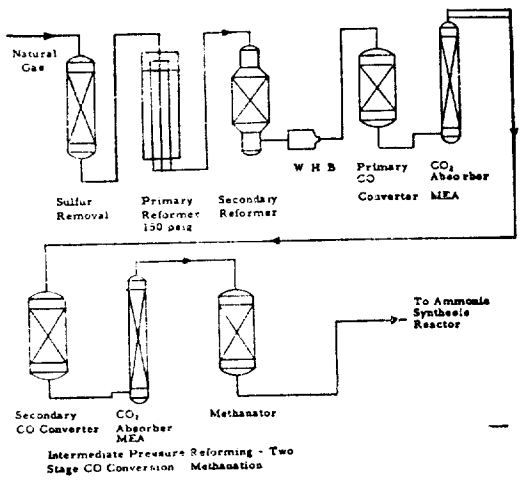

Fig. 4. Ammonia Synthesis Gas Rreparation, 1956

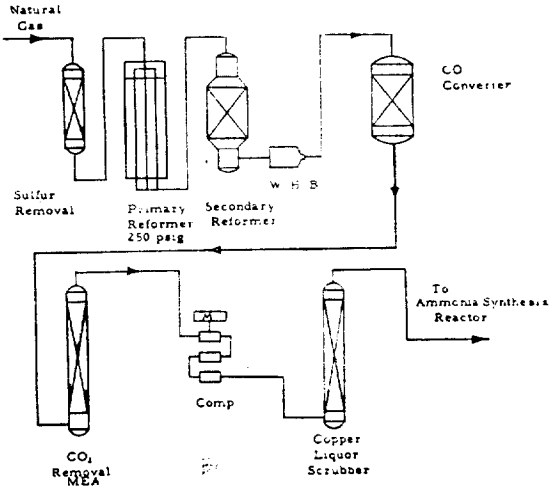

Fig. 5. Ammonia Synthesis Gas Preparation, 1960

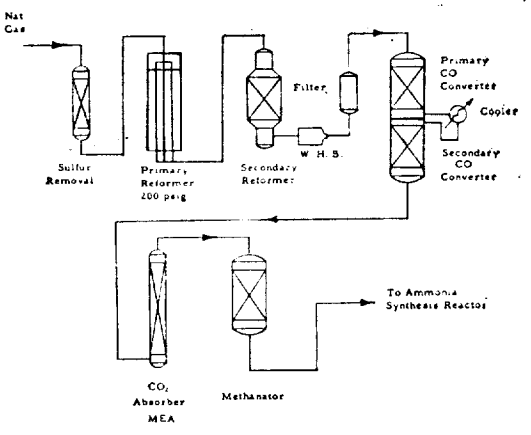

Fig. 6. Ammonia Synthesis Gas Preparation, 1961

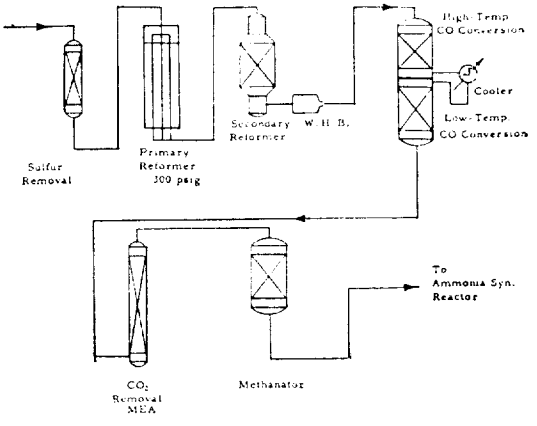

Fig. 7. Ammonia Synthesis Gas Preparation, 1963~1969

이는 오늘날 改質 容量이 觸媒活性보다는 熱流出에 制限을 받고 있기 때문이다. 따라서, 一定量의 암모니아 生産에 所要되는 管의 數와 爐의 크기는 줄어들게 되었으며, 또한, 管材는 高價의 合金이었음으로 裝置費를 相當히 節約할 수 있게 되었다. 改質壓力의 改善은 또 全 工場에 걸쳐서 裝置의 數를 減少시킴으로써 投資, 燃料및 動力費의 節約을 招來하였다. 그리고, 高改質壓力의 使用은, 工程 氣體流로부터 凝縮 蒸氣의 形態로 熱을 吸收하여 二酸化炭素 除去用으로 利用할 수 있게 하였으니, 結果的으로 燃料費가 減縮된 것이다. 그뿐 아니라 高壓 合成 氣體는 約干의 壓縮으로도 암모니아合成 壓力에 到達할 수 있게 되어, 動力費를 節約할 수 있게 되었다.

觸媒費의 低下

觸媒의 價格은, 投資費나 操作費의 主要 項目은 아니지만, 여하튼 지난 20年 동안 括目할만한 下落을 나타냈다. Table 1에서 Figs 1~7 에서 例示한 工場에 對한 암모니아 噸當(암모니아 合成을 除外한) 觸媒費를 보였다.

Table 1. Catalyst Requirement for Production of Ammonia.
(plants correspond to Figs 1 to 7)

	cost of catalyst at time of initial charge purchased, $/daily ton of NH_3								
Plant	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Year built	1941	1952	1953	1957	1958	1961	1963	1964	1965*
Desulfurization	75	34	54	21	39	37	54	10	10
Primary reforming	430	304	142	152	71	51	39	49	30
Seconary reforming	965	—	351	126	85	76	61	31	32
CO conversion	870	672	383	230	240	174	126	159	185
Methanation	—	690	—	415	180	94	80	63	25
Total	$2,340	1,700	930	944	615	432	360	312	282

* Catalyst purchased in 1964.

Table 1에서 보인 바와 같은 觸媒費의 減少는 다음의 結果이다.

1. 技術의 改良
2. 觸媒의 改良
3. 觸媒 價格의 低下

技術 改良의 例로서, 改質 壓力의 增加의 影響을 들 수 있으며, 이 結果로 觸媒를 보다 效率的으로 使用할 수 있게 되었다. 이를 Table 2에 보였다. 이 Table은 1941年에서 1956年에 걸친 것으로, 이 期間 中에 改質壓力은 大氣壓에서 35 lb/in² guage, 이어서 80, 마침내 150 lb/in² guage로 增加되었다. 그러나, 이 期間 中에는, 觸媒의 單價는 比較的 無變動 狀態이어서, Table에서 보는 바와 같이 技術 改善만의 影響을 顯著히 알 수가 있다.

Table 2. Effect of Reforming Pressure on Ammonia Synthesis Gas Catalysts costs.

Plant	1	2	3	4
Year	1941	1950	1953	1956
Pressure, lb/in² guage	6	35	80	150
Catalyst costs (ex NH_3 synthesis)	$1,766	1,037	930	912

觸媒 그 自體의 改良은 암모니아 單位量 當의 觸媒 所要量에 括目할 影響을 미쳤으니, 이를 Table 3에 보였다.

Table에서 例示한 바와 같이, 보다 效率的인 觸媒의 使用結果, 生產量은 根本的으로 增加하였다.

特히, plant A의 境遇, 設備의 容量은 倍 以上이 되었으며, 암모니아 單位量 當의 觸媒價는 最初의 그것보다 現在의 增進 觸媒가 半 以下로 下落하였다.

勿論 보다 效率的인 觸媒로 代置함으로써 plant A의 容量은 增大하였으나, 生產 全體의 完全한 增加를 確立하기 爲하여서는 數個 項目의 裝置를 增設하거나 또는 代替하여야 되었다. 이러한 特殊 境遇, 二酸化炭素의 增加 負荷를 取扱키 위하여 二酸化炭素 除去系에 附加的인 設備를 하고 또 몇 項目은 代置하여야 되었으며, 合成 氣體系에는 壓縮機를 加設하여 容量을 增大시킬 必要가 있었다. Plant B와 C의 경우는, 第一次 改質 觸媒를 代替하여 容量을 增大하였음으로, 物理的 變化는 熱交換 裝置와 壓縮 裝備의 附設로서 足하였다.

Table 3. Effect of Improved Catalysts on Ammonia Plant Capacity.

Plant	A	B	C
Original capacity, ton/day	300	300	300
Present capacity, ton/day	800	400	390
Incremental catalyst cost	300,000	26,000	26,000
Catalyst cost per incremental daily ton of NH_3	600	260	290

燃料 所要量의 減少

觸媒의 效率및 活性의 改良으로 生產量이 增加한 것은 勿論, 所要 燃料 亦是 減縮되었으니, 이를 Table 4에 보인다.

Table 4. Effect of Improved Catalyst on Ammonia Plant Fuel Requirement.

Plant	D	E
Capacity, ton/day	320	600
Incremental catalyst cost per daily ton of NH_3	$102.00	$ 83.50
Fuel savings(1,000 std ft³ natural gas/ton of NH_3)	0.40	0.46
Catalyst pay-out in days at 35 ¢/1,000 std. ft³	730	520

Table 4 에서, 燃料의 節約만도 新 觸媒 使用의 結果로 볼 수 있는 것이니, 이는 觸媒費支拂(catalyst pay out)이 5年을 超過한 豫想 觸媒 壽命에 對하여 約 二年이기 때문이다. 그러나, 여기서 指摘하여야 할 것은, 各 境遇에 있어서, 約 15~20%의 生產容量이 增加한 것이며, 이 點까지 考慮한다면, 觸媒費 支拂은 約 30日이 될 것이다.

암모니아 即 合成氣體 單位量 當의 觸媒費를 大幅 減少시킨 한 要因은 觸媒 그 自體의 價格이 全般的으로 下落하였다는 것이다. 觸媒의 發展및 製造를 專門으로 하는 會社가 出現 成長한 以後로, 觸媒의 價格은 繼續 下落한 것이다. 이러한 價格의 低下로, 1957年 以後 全 美國의 水素와 含水素 合成氣體 生產業者는 千萬弗 以上을 貯約하였을 것이다. 觸媒의 價格이 이처럼 實質的으로 減縮되고 있음에도 不拘하고 어느 때보다도 急速度로 改良이 繼續되고 있었다는 것은 記憶할만한 事實이다.

Table 5 에서, 觸媒 價格의 低下가 典型的 工場에서의 암모니아 日當 噸當의 全般的 觸媒費 減少를 生生하게 볼 수가 있다. 이 工場은 改質器의 運轉壓力이 250 lb/in² guage이며, 脫硫工程(Desnlfnrization unit), 第一, 二次 改質(reforming), 在來的 CO 轉化 觸媒를 使用하는 一段의 一酸化炭素 轉化 工程, 그리고 메탄化 工程을 包含하고 있는 것이 特徵이다. 이 工場의 觸媒는 1963年 購入된 것이며, 購入 價格도 表示되어있다. 觸媒를 1956, 1959, 1964年에 購入했을 경우의 推算 價格도 表示되어 있다. 이 Data를 圖示한 것이 Fig. 8이다. 이 그림은 또한 單位 價格 低下의 顯著한 影響을 나타내고 있으며 뿐만 아니라, 觸媒 價格의 安全性(levelling-off)도 指示하고 있고,

Table 5. Catalysts Costs for Typical Ammonia Plant.

(Catalyst purchased in 1963. Table shows hypothetical cost if catalyst had been purchased at prevailing prices in other years.)

	Catalyst cost per daily ton of ammonia, $			
Year	1956	1958	1963	1964
Desulfurization	62	54	54	50
Reforming	254	170	100	98
CO conversion	475	220	126	126
Methanation	213	142	80	72
Total	$1,004	586	360	346

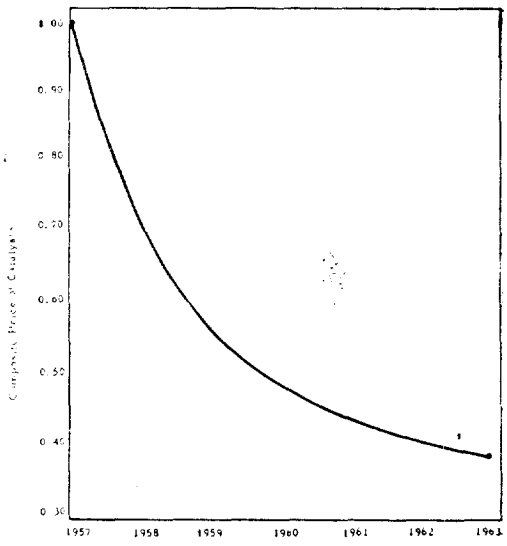

Fig. 8. Composite Price of Catalysts for a Typial Ammonia Plant 1957 to 1960
(Basis: 1957 cost=100)

또 암모니아 工場의 構成 要素인 觸媒價格이 더 이상 實質的으로는 低下하지는 않을 것이라는 點을 示唆하고 있다. 오히려, 原料 및 勞動費에 있어서와 같이 觸媒價格이 少量이나마 漸進的으로 上昇하리라는 氣味마저 보인다.

이소피에스틱 암모니아 合成法

水素와 암모니아 生產用 觸媒가 앞으로 繼續 改良되리라는 것은 疑心할 餘地가 없으며, 이러한 觸媒와 技術上의 改善은 改質壓力의 일층 增加, 原料 選擇의 일층 廣範化, 또한 암모니아의 경우 암모니아 合成 壓力의 減少를 招來할 것이다.

이러한 改質壓力의 上昇과 암모니아 合成壓力의 減少는, isopiestic ammonia process, 即 암모니아 合成氣體가 암모니아가 合成되는 그 壓力과 同一壓力에서 生產되는 工程을 利用할 날이 멀지 않다는 것을 示唆한다. 이 目標가 達成되면, 現在 암모니아 生產과 밀접한 關聯있는 壓縮 工程을 排除할 것이니, 이는 말할 것도 없이 改質 및 合成 觸媒의 發展에 依存되는 것이다. (飜譯 編輯部)