

最新 암모니아製造技術(IV)

(Nitrogen No.200 November-December 1992)

Nitrogen誌에 寄稿한 論說文에서 Appl博士는 암모니아製造技術中 合成가스製造工程의 끝부분까지 검토하였다. 이 寄稿文의 第2回分인 本文에서는 合成루프와 에너지관리 및 驅動機械裝置의 選擇등에 관한 考察을 하였다.

우리가 오랜 歲月에 걸쳐서 암모니아製造工程에 대하여 여러단계의 研究開發을 해온 것은 단지 암모니아合成에 적합한 75%의 水素와 25%의 窒素로 된 混合가스를 生産하는데 필요한 것이었다. 2酸化炭素除去工程을 거처나온 가스는 아직 完全하지는 못 하지만 合成루프로 들어가서 암모니아를 生産할 수 있는 단계가 된 것이다. 이 가스는 아직도 水分이나 미량의 2酸化炭素와 1酸化炭素를 含有하고 있어서 觸媒에 害毒作用을 할 수 있기 때문에 合成塔에 곧 바로 送入할 수는 없는 것이다. 대부분의 工程에 있어서 이 가스는 300~330°C의 濕度로 再加熱하여 nickel을 基底로 한 메타네이션 觸媒層을 통과하게 되는데 여기서 1次改質反應과는 相反되는 反應이 일어나서 가스중에 들어 있는 2酸化炭素와 水素가 反應하여 다시 메탄으로 轉化하게 된다(이 反應은 合成部門의 不活性가스問題에 영향을 미치게 된다). 이 部門은 하나의 完備한 표준공정이었기 때문에 최근의 技術開發에 있어서 주목할만한 과제가 되지는 못 하였다.

이 가스는 冷却하여 凝縮水가 分離된 후에도 미량의 酸化炭素(10ppm이하)와 水分(約 20ppm)을 함유하고 있다. 舊式工場에서는 合成루프의 암모니아凝縮工程을

사용하여 가스중의 殘留水分을 除去하는데 이것은 새로 補充되는 合成가스가 암모니아를 凝縮分離하기 전의 再循環가스와 混合되어야 하는 단점이 있게 된다. 암모니아를 凝縮分離하기 전의 合成가스를 補充가스로 稀釋하면 암모니아를 凝縮分離하는 工程에 영향을 미치게 되어 再循環가스의 流量이 많아지거나 冷凍容量이 증가하게 되므로써 에너지消費량이 커지게 된다. 이러한 이유때문에 最新 암모니아工場은 合成가스중의 水分을 제거하는데 여러가지 형태로 구성된 분자체건조장치(Molecular Sieve dryers)를 사용하고 있다. 在來式 工場을 改補修할 때에도 분자체건조장치로 改裝하는 경우가 있다.

○ 암모니아合成部門

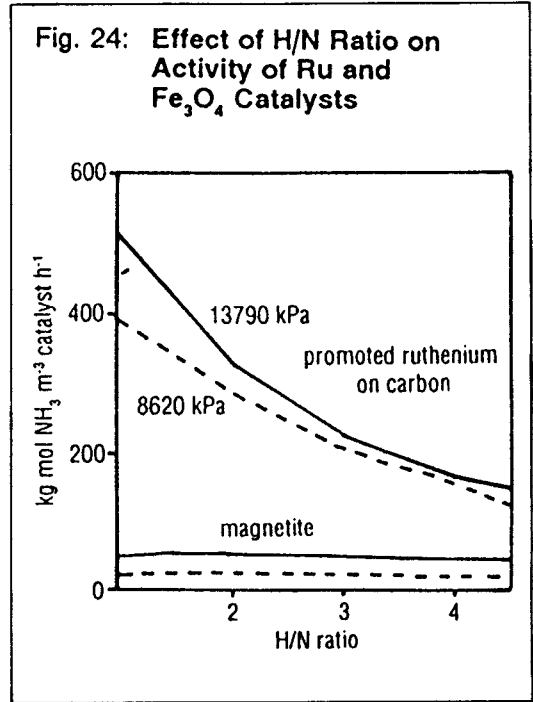
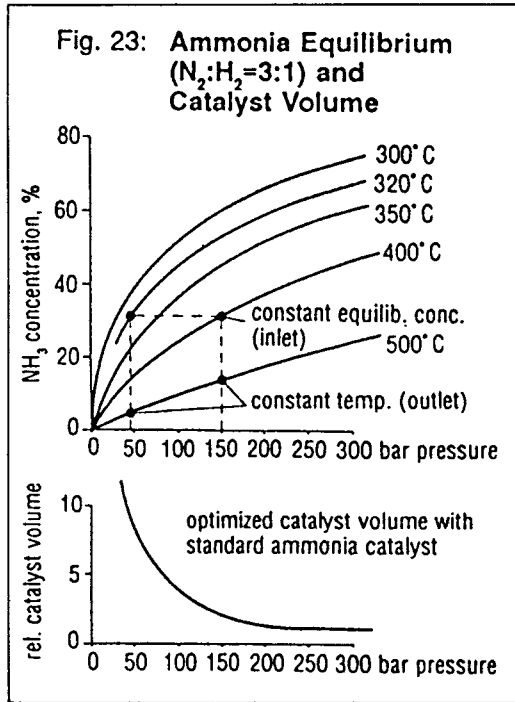
암모니아合成의 지배적인 要素는 반응식 18에 나타낸 化學平衡의 위치인데 이 化學平衡의 위치는 왼편으로 진행되기가 더 쉽기 때문에 觸媒의 성능이나 에너지消費量 및 工業的 妥當性에 입각하여 運轉할 수 있는 工業的 條件下에서 암모니아를 生産하는 것은 좀 不利한 것이다.



$$\Delta H_{298}^{\circ} = -91.4\text{KJ/mole}$$

觸媒가 들어 있는 合成塔을 통과한 合成가스는 그 일부분(대략 20%)만이 암모니아로 轉換될 수 있기 때문에 매우 많은 부분의 未反應合成가스는 암모니아를 分離한 후 再循環에 對備해야 된다.

암모니아合成反應은 가스의 體積減少가 수반되므로 르샤틀리에의 原理에 따라 高壓으로 하는 것이 좋으며 發熱反應이기 때문에 溫度를 낮추어 줄수록 암모니아의 平衡濃度가 더 좋아지게 된다. 그러나 에너지消費량의 견지로 보면 가급적 壓力을 낮게 하는 것이 좋다. 최근 低에너지化한 스팀改質식 단일 암모니아工場에 있어서 合成가스壓縮機의 에너지消費량은 약 2.5GJ/t NH₃인데 이것은 암모니아공



場全體에 消費되는 에너지量の 대략 10%에 상당한 것이다. 그러나 壓力을 낮게 하면 反應溫度를 낮추어서 平衡條件을 補正해 주어야 하기 때문에 좋지 않게 된다. 鐵을 基底로 한 표준 암모니아合成觸媒를 使用하고 溫度를 낮추어도 反應率 이 減少되면 活動性이 더 좋은 觸媒를 使用하거나 만일 이것이 불가능하면 反應 時間을 늘려야 한다. 反應時間을 늘리는데는 Fig.23에 나타낸바와 같이 많은 量 의 觸媒를 使用할 必要가 있게 된다.

○ 암모니아合成觸媒

市販되는 標準 암모니아觸媒를 使用하면 약 350°C의 合成塔入口溫度와 40~50 bar의 合成壓力에서 合成塔을 技術的으로 運轉할 수가 있다. 그러나 이 경우에 필요한 觸媒의 量은 크게 증가되며 대단히 큰 合成塔을 필요로 하게 된다.

反應溫度는 350°C이하로 낮출 수 없기 때문에 암모니아濃度는 다소 적어지게

되며 이러한 많은 량의 가스로부터 암모니아를 회수하고 再循環하는데 所要되는 에너지의 增加量은 合成壓力을 낮추는 데서 절약되는 에너지를 거의 초과하게 된다. 50bar의 壓力에서 1,500t/d의 암모니아를 生産하는데 옛날 방식의 觸媒를 사용하면 그 體積이 정상적 觸媒의 6배가 필요하게 된다. 그렇지만 M.W. Kellogg 社는 30~40bar의 壓力에서 運轉하는 옛날 방식의 磁鐵觸媒를 基底로한 工程을 提案하였다. 合成塔出口의 濃度가 매우 낮은 암모니아를 水洗式으로 分離한 암모니아水溶液을 蒸溜하여 回收된 암모니아는 성능이 좋은 多段式 冷凍機를 使用하여 -33°C 의 液體암모니아로 生産된다. 이것은 정말 흥미가 매우 많은 방법이지만 낮은 合成壓力에서 運轉하는 가장 效果的인 利點을 成就할 수 있는 것은 약 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ 의 溫度사이에서 斷熱的으로 運轉이 가능한 觸媒를 사용하므로써 合成塔出口가스중에 濃度가 높은 암모니아를 生産되어야만 하는 것이다.

1913年이래 刮目할만한 것은 오파우地方(現 루트비히 샤펜市의 일부)에 있는 BASF社에서 最初로 商業的 암모니아工場이 始作된 때이었는데 이때 알빈 미타쉬氏와 그의 研究員들이 活動性鐵觸媒를 開發한 것이었다. 이것은 그들이 광범위하게 研究를 실시한 덕분에 생각할 수 있는데 그들은 週期率表에 있는 거의 모든 元素들을 포함한 3,000種類 이상의 成分造成物을 가지고 20,000회 이상의 실험을 실시한 것이다.

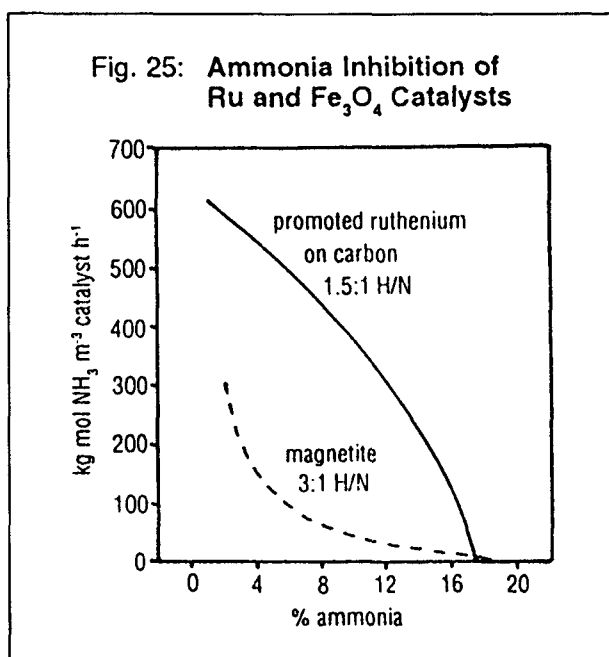
이 研究가 이루어진 後에는 약간의 改善을 한데 불과하였다. 助觸媒의 濃度나 觸媒粒子의 굵기 및 製造方法등을 最適化한 결과 觸媒의 活動性이 改善되고 사용 수명도 더 길어지게 되었다. 이 研究開發과 관련된 사항중 가장 주목할만한 것은 ICI社가 특별한 助觸媒로서 코발트(Co)를 소개한 것이었다. 최근 암모니아合成觸媒의 成分造成에 있어서 정말 근본적인 改革을 보게 되었는데 그것은 M.W.Kellogg 社가 현재 루테늄(Ru)을 基底로 한 觸媒를 상업화하고 있는 것이다.

○ 루데늄基底 암모니아合成觸媒

1979年 BP社는 黑鉛支持體에 루데늄카보닐錯化合物로 구성된 새로운 암모니아合成觸媒에 대한 技術을 Kellogg社에게 알려 주었다. Kellogg社는 10年동안의 試驗프로그램을 거친후 1990年 10월에 루데늄觸媒를 基底로 한 Kellogg社의 改良型 암모니아工程(KAAP: Kellogg Advanced Ammonia Process)을 發表하였는데 이 루데늄觸媒의 活動性은 전통적인 鐵觸媒보다 10~20倍가 더 높다고 주장하였다. 特許에 의하면 이 觸媒는 루데늄카보닐 $[Ru_3(CO)_{12}]$ 을 窒酸루데늄이 침투되어 있는 炭素含有支持體위에 昇華시켜 製造한 것이다. 이 觸媒는 재래식觸媒보다 상당히 넓은 表面積을 가지고 있으며 特許의 例를 보면 5%(중량)의 루데늄(Ru)과 10%(중량)의 루비듐(Rb)을 함유해야 하는 것이다. 反應溫度를 얼마나 낮출 수 있는지 또는 예상수명이나 價格에 관해서는 별로 알려지지 않았다. 貴金屬觸媒의 製造에 경험이 있는 엔젤하드 인더스트리社가 이 新觸媒를 製造하여 Kellogg에 납품하고 있다.

이 觸媒는 캐나다의 Kitimat에 있는 Ocelot암모니아工場의 改補修프로젝트에 최초의 상업적 사용을 하게 되었는데 이 工場에는 암모니아濃度を 약 13.5%에서 18%로 높이기 위하여 기존 水平型 合成塔의 다운스트림에 하나의 再反應裝置로서 KAAP의 反應塔이 設置되는 것이다. 이 프로젝트은 工場의 生産容量을 40%까지 增大시키고자 하는 것이다. 자세한 情報은 알 수 없지만 Kellogg社는 전통적인 鐵觸媒가 充填된 水平型合成塔을 에너지와 投資費를 절약하기 위하여 KAAP로 완전히 바꾸는 것이 아니고 추가하는 쪽을 선택한 것으로 추측할 수 있다.

이탈리아의 大學研究所가 니켈(Ni)과 오스뮴(Os) 成分造成으로 使用한 二重金屬으로 된 루데늄덩어리의 活動性에 관한 研究結果를 보면 루데늄만으로 된 金屬덩어리의 活動性보다 우수하다는 것이 立證되었다.



새工場에 종래의 磁鐵觸媒를 바꾸어 넣을 수 있는 가능성은 새 觸媒의 長點이 白金族金을 사용하는 높은 費用을 충분히 상쇄할 수 있느냐의 여부에 달려 있을 것이다. 그 밖에 보통보다 낮은 N₂:H₂比에서 操作이 잘 되는 이 觸媒는 상당히 높은 容積活動性(Volumetric Activity)을 가지고 있으므로 암모니아에 쉽게 自己抑制(Self-inhibition)되는 일이 적으며(Fig.25) 뛰어난 低壓, 活動性(Low-pressure activity)을 가지고 있다. 그러나 종래의 磁鐵觸媒와 같이 루테늄觸媒는 合成가스중의 酸素含有不純物(水分, 2酸化炭素등)에 感受性이 강하다. 앞으로도 더 좋은 改善이 가능할 것으로 보이지만 이러한 觸媒類의 최종적인 活動性이 合成루프를 合成가스工場과 같은 壓力으로 運轉되게 할 수는 없는 것 같다.

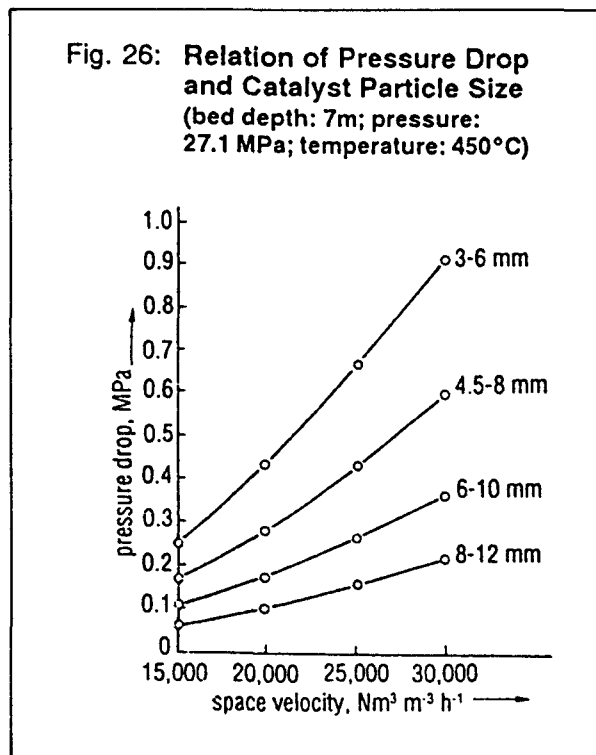
많은 연구진들은 여러해 동안 암모니아合成反應의 研究에 몰두하여 왔는데 그 중 가장 重要한 것은 異種成分物質의 觸媒反應이라 할 수 있다. 窒素는 磁鐵觸媒 위에 解離的으로 吸着된다는 것이 現在까지의 研究評價이다. 現在 通說的으로 認定되고 있는 反應메카니즘은 Brill, Boudart, Ertl, Somorjai등과 같은 研究陣들

이 그들이 研究結果를 最新 論文集에 상세하게 記述해 놓았다.

○ 粒子的 크기와 모양

주로 Kellogg社가 開發한 第1世代의 단일 암모니아工場에서는 軸流型(Axial-flow) 퀘치타입의 合成塔이 一般적으로 使用되었다. 그 당시 보편적으로 使用한 運轉壓力은 원심압축기로 압축할 수 있는 最大의 壓力인 약 150bar이었는데 이때 10~15,000h의 空間速度에서 觸媒의 標準크기는 6~10mm이었다. 觸媒의 크기와 活動性사이에는 대략 1次式的 關係가 있어서 粒子的 크기가 작을수록 活動性이 높다는 것이 잘 알려져왔다.

그러나 粒子的 크기가 작은 觸媒를 使用하면 合成塔의 壓力降下가 크게 증가되기 때문에 軸流型 合成塔에서도 粒子的 크기가 작은 觸媒를 使用하기가 어려웠다.



약 25年前에 Haldor Topsøe社는 암모니아合成에 放射流型(Radial-flow)으로 改良된 合成塔을 開發하였다. 이러한 構造의 合成塔을 使用하면 空間層에 對하여 計算된 合成가스의 流速은 軸流型 合成塔의 流速에 比하여 약 10分の 1에 불과하다. 그러므로 放射流型 合成塔에는 粒子의 크기가 작은 觸媒의 使用이 可能하며 그래도 壓力降下가 낮다. 그리고 이 放射流型의 合成塔을 使用하면 最適의 容積으로 만들수가 있다.

Kellogg社는 또 다른 構造의 研究를 하여 1971년에 水平的 十字流型(Cross-flow)의 合成塔을 소개하였다. 反應의 制御에는 第1世代의 設計와 함께 韃池冷却방식을 使用하였다.

觸媒의 크기가 굵으면 活動性이 낮게 되는 原因은 두가지로 볼수가 있다. 첫째 굵은 觸媒를 使用하면 粒子의 內部에서 生成된 암모니아가 合成가스스트림으로 나가는 速度를 지연시키게 되기때문에 細孔시스템을 통하여 擴散되는 速度가 느려지게 되는 것이다. 암모니아의 擴散速度가 느리면 암모니아의 反應率이 억제되게 된다. 둘째 각 個體的인 觸媒粒子의 還元은 粒子의 外部로부터 시작되어 內部로 進行하게 된다. 觸媒粒子내에 있는 酸化鐵중의 酸素가 還元反應으로 인하여 떨어져 나와 형성된 물은 이미 환원된 觸媒粒子의 外面으로 나가게 되는데 이것은 약간의 再結晶化를 유발하는 수가 있다. 이 再結晶化의 影響을 觸媒의 粒子를 1mm에서 8mm로 커지게 하며 觸媒粒子의 全體的인 表面積을 11-16m²/g에서 3-8m²/g으로 줄어들게 하는 것이다. 암모니아合成觸媒의 粒子는 製造工程의 結果로 인해서 전통적으로 不規則한 모양을 가지고 있는데 이것은 粒子個體의 全體的인 活動性이 立體型이나 球型으로 만든 것 보다 더 좋기 때문에 長點이 되는 것이며 大量流體(Mass-flow)에 대한 수직적 혼합과 熱消散(Heat dissipation)의 정도가 더 크다. 좀 더 規則的으로 만든 觸媒粒子를 使用하므로써 壓力降下는 다소 改善되었지만 무시할 정도였다.

합성루프를 設計할때 最適化戰略의 선택에 따라 粒子가 작은 觸媒를 사용하면 活動性이 더 높은 利點을 취할 수 있는 여러가지 방법이 있다. 만일 합성루프의 압력이 일정하게 유지된다면 필요한 觸媒의 容積을 적절하게 줄일 수 있으며 같은 容積의 觸媒를 사용하더라도 合成塔出口의 암모니아濃度는 증가되지만 合成가스의 再循環量이나 冷凍容量은 줄어들게 된다. 다시 말하면 合成루프의 壓力을 낮출 수 있는 방법을 선택할 수 있다는 것이다. 工場을 改補修할때 合成塔을 새로 設置하거나 合成塔內部를 수정하여 粒子가 작은 觸媒를 充填하므로써 암모니아生産容量을 늘리는 프로젝트를 가끔 하게 된다. 最新 低에너지工程을 적용한 대형 암모니아工場의 設計에서는 後者가 合成루프내의 配管이나 熱交換容量과 같은 여러가지 要因으로 복잡하기 때문에 壓力을 낮추는 것 보다는 암모니아의 合成率이 더 강조되는 경향이였다.

○ 合成塔의 設計

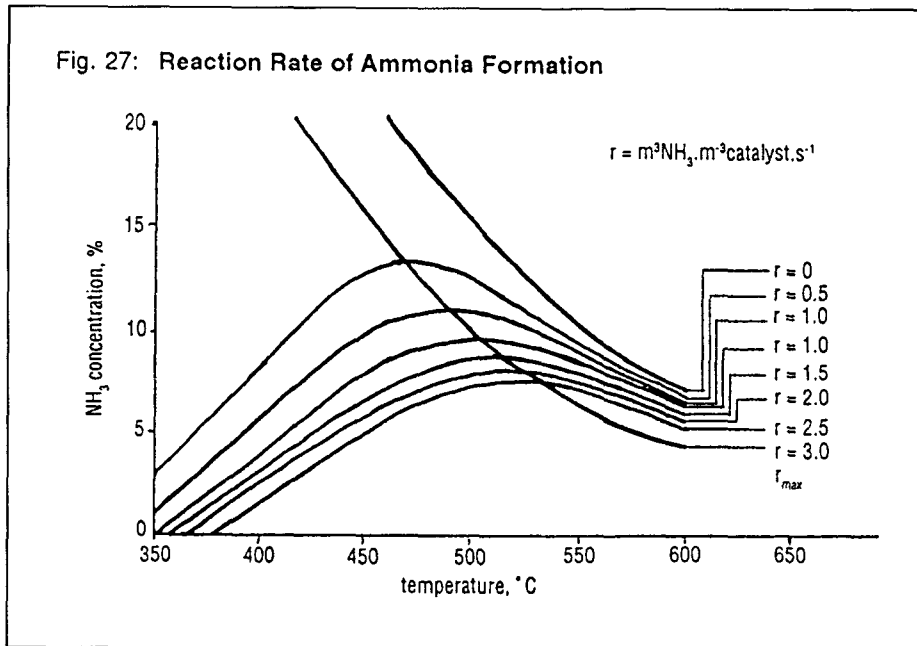


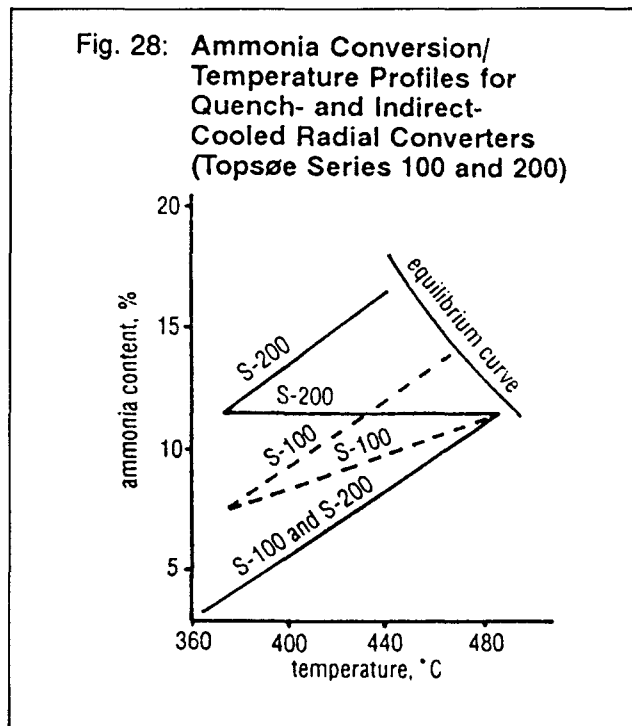
Fig.27은 溫度와 암모니아濃度の 函數관계로서 잘 알려진 일정한 反應率을 도표로 나타낸 것이다. 이 反應率에서 암모니아濃度を 항상 최대로 얻을 수 있는 일정한 溫度가 있다는 것은 분명하다. 이러한 점들을 종합해 보면 각 암모니아濃도에 대한 最大의 反應率을 나타내는 溫度曲線이 얻어진다. 反應率을 最大로 유지하기 위해서는 암모니아濃도가 증가할때 反應塔의 溫度는 떨어져야 한다. 觸媒가 가장 적절하게 使用되기 위해서는 反應溫度프로필은(觸媒層의 첫 부분에서 初期의 斷熱加熱이 된후) 이 曲線을 따라야 한다. 옛날 合成塔을 使用할때는 高壓容器的 容積을 最適的으로 使用하기 위하여 이러한 “理想型”과 항상 比較하였다. 오늘날의 合成塔에 대한 設計改善의 목적은 熱回收 가능한 한 最大限으로 하며 全合成루프의 投資費를 最小化하는데 있다.

암모니아合成塔의 設計는 하나의 化學엔지니어링으로서 要求되는 課題이다. 觸媒床의 數나 規模, 溫度프로필, 암모니아濃度, 가스造成, 壓力降下등을 포함한 設計基準을 計算하기 위해서는 적절한 數理的 모델이 필요하다. 原則적으로 合成내에서 安정한 상태로 反應되는 성질은 2개의 微分方程式으로 說明될 수 있다. 첫째, 식은 反應物質과 암모니아에 대한 觸媒床내의 濃度位置關係를 나타낸다. 이것은 反應의 動力學的 關係를 표현한 것이다. 둘째, 식은 合成가스나 觸媒 및 合成塔의 內部構造에 대한 溫度位置의 關係를 나타낸 것이다. 이 方程式의 형태는 合成塔의 形態에 따라 다르다.

反應의 動力學的 關係는 Temkin-Pyshev의 方程式이나 또는 이 方程式의 修正式을 使用하여 說明될 수 있다. 이것은 다른 방정식들을 使用하여 說明될 수도 있다. 다소간의 本質的인 反應을 나타내는 이 方程式들은 대량의 合成가스가 通過되더라도 制限을 받지 않는다. 이 方程式들은 통상적으로 매우 미세한 觸媒粒子를 使用한 測定值로부터 유도된다. 실제적인 應用을 위해서 이 方程式에는 工業的인 암모니아 合成에 使用되는 좀더 굵은 觸媒粒子에 적용할 補正係數(觸媒의

細孔에 대한 有效性係數)가 포함되어야 하며 이 補正係數에는 合成가스의 輸送현상에 관한 것도 무시될 수 없다. 合成가스내에 들어 있는 酸素含有不純物들의 영향을 고려해 넣기 위해서 이 方程式에는 또 다른 項이 추가될 수도 있다. 實物대로 나타낸 相異한 動力學的 關係의 適合성은 선택된 反應條件이나 觸媒의 형태 특히 助觸媒의 濃度에 어느 정도 의존된다.

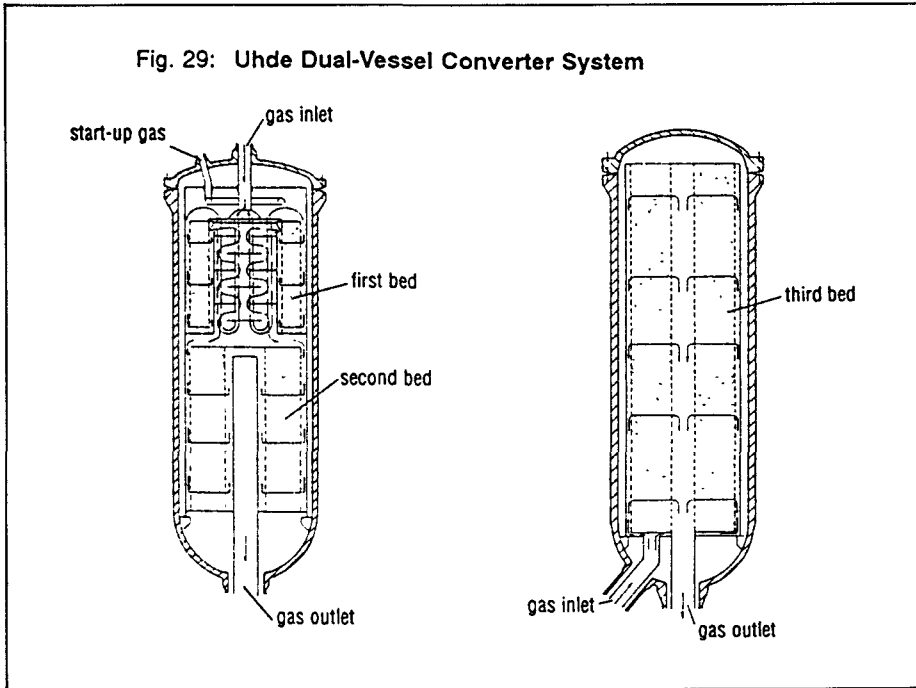
찬 合成가스가 合成觸媒덩어리를 통과하는 “冷却管”내에서 加熱된다는 옛날의 概念을 무시한다면 통상적으로 理想的인 曲線에 最適的으로 接近하기 위해서는 韃池冷却式 合成塔이 相對的으로 간단한 다른 設計와 比較하여 가장 우수한 것이다. 韃池冷却의 原理는 最初의 放射流型 合成塔이나 十字流型 合成塔에서도 적용된다. 韃池冷却式 合成塔에서는 再循環가스의 일부분만이 약 400°C의 첫번째 觸媒層을 통과한다. 觸媒床에 充填되는 觸媒容積의 선택은 合成가스가 약 500°C로 合成塔出口에서 나올 수 있도록 대부분의 觸媒供給者들이 提案한 것이다. 이 가



스 的 溫度는 다음 단계의 觸媒床에 들어가기 전에 再循環가스가 통과하는 冷却器 (150~200°C)에 의해서 急冷된다. 이 節次는 다음 觸媒層에서도 동일하게 適用된다. 이와 같은 방법을 사용하면 反應의 프로필은 前述한 理想曲線의 부근에서 지그-재그모양을 나타내게 된다. 한가지 短點은 모든 再循環가스가 전체적인 觸媒容積을 통과하지 않는다는 것이다. 附言하면 觸媒床을 通過한 合成가스를 더 淸 再循環가스로 冷却할수록 최후에 合成塔出口에서 回收할 수 있는 熱은 低級으로 된다. 첫번째 觸媒床으로 들어가는 合成가스의 溫度를 최초의 反應溫度로 올리는데 필요한 熱을 빼내고 나면 전체적인 反應熱의 나머지는 보일러給水를 예열해줄 수 있는 정도에 불과하다.

간접냉각식 合成塔에서는 合成塔에 들어가는 合成가스를 예열해 주기 위한 熱交換器가 첫번째 觸媒床의 뒤에 배치되어 있다. 마지막 觸媒床이나 만일 어떤 中間觸媒床들이 있다면 이 床들을 거쳐 나오는 合成가스의 溫度는 高壓스팀의 溫度를 올려주기에 충분할 정도로 높다. 이것은 전체적인 에너지效率을 향상시키는데 分명한 長點이 된다. 그리고 再循環가스의 全量이 모든 觸媒床을 통과하기 때문에 觸媒의 全容積은 比較되는 條件下에서 적어지게 되며 통상적으로 觸媒床의 數도 줄일 수 있게 된다. 오늘날의 모든 현대식 低에너지工程의 設計는 비록 設計와 配置가 상당히 다를지라도 이러한 方法을 使用한다. Fig.30은 두가지 개념에 대한 溫度패턴을 나타낸다.

Topsøe社의 200系列合成塔과 Kellogg社의 水平型合成塔은 最小한 1,800t/d의 生産容量을 가진 1基의 容器內에 合成가스의 中間열교환기와 함께 2개의 觸媒層을 사용하고 있다. Uhde社가 設計한 合成塔(Fig.29)은 3개의 觸媒床을 사용한다. 入口와 出口에 熱交換器가 있는 첫 2개의 觸媒床은 한 容器內에 수용되어 있다. 高壓스팀을 발생하는 廢熱보일러 合成가스가 세번째 觸媒床이 들어 있는 둘째 容器로 들어가기 전에 冷却된 다음 둘째 高壓보일러를 통과하여 나오게 된다. 암모

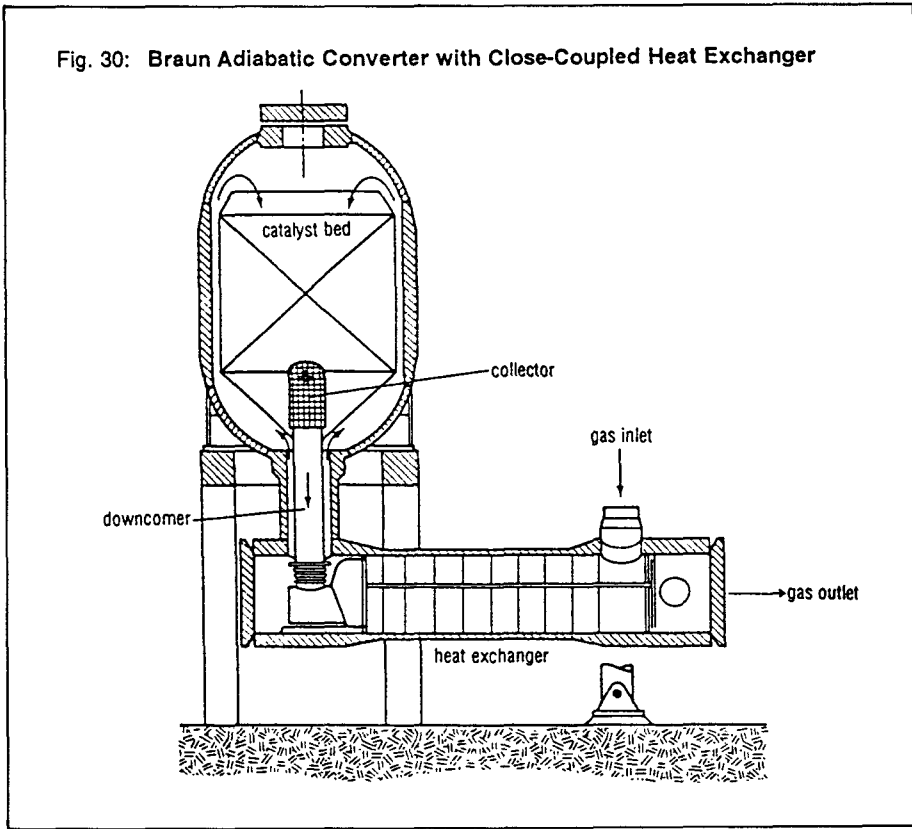


니아공으로서 두 容器로 된 合成塔시스템을 오랫동안 사용해왔던 Brown & Root Braun社는 현재 각기 分離된 容器內에 設置된 3개의 觸媒床을 사용하고 있는데 첫째 觸媒床의 뒤에는 入/出口熱交換器가 있고 다른 2개의 觸媒床뒤에는 高壓스팀보일러가 設置되어 있다. 최근 Topsøe社는 S-250으로 알려진 2基의 合成塔과 3개의 觸媒床으로 구성된 암모니아合成시스템의 技術도 소개하였다.

高壓보일러에 필요한 高溫(450~500°C)에 견디기 위하여 出口溫度를 차게 유지하도록 특별한 設計方法이 使用되어야 한다. Braun社는 이 廢熱보일러를 合成塔에 직접 연결하는 方法으로 좋은 해결책을 考案하였다(Fig.30).

대부분의 合成塔設計에서는 壓力셀이 250°C이하로 유지되도록 斷熱을 하거나 찬 가스가 흐르게 한다. 오늘날은 材質이 아주 좋은 鋼材를 使用할 수 있기 때문에 合成塔을 Nelson의 도표에 순응하여 400°C로 運轉할 수 있게 되었다. Braun社의 合成塔을 예로 보면 둘째 合成塔에는 400°C의 合成가스가 들어가며 암모니아

Fig. 30: Braun Adiabatic Converter with Close-Coupled Heat Exchanger



습량이 10%인 이 가스는 합성탑의 벽에 직접 접촉한다. 이러한 運轉條件에서 몇 차례의 事例를 經驗했던 크랙(Crack)의 발생을 피하기 위하여 熔接을 할 때는 豫熱을 잘하고 熔接후에는 熱處理를 하는데 특별한 주의를 해야 한다.

Ammonia Casale社의 ACAR(Ammonia Casale Axial-Radial)工程의 合成塔은 하나의 混合流型으로 된 것이 독특한 특징이다. 각 觸媒層에서 合成가스는 上部지역에서는 주로 軸流型으로 통과하고 下部에서는 放射流型으로 통과한다. 이러한 設計는 觸媒床의 上層끝부분에 대한 특별한 실링(Sealing)의 필요성이 없게 되는데 이는 上層部分의 軸流型合成塔의 運轉이 放射流部門에 대하여 일종의 실링역할을 해주기 때문이다. 작은 軸流部門은 壓力降下에 별로 큰 영향을 미치지 않는다. 대체로 말하면 混合流型의 技術은 매우 상세한 機械的 設計를 단순화한 것이다.

觸媒床에는 각각 카트리지가 바스켓에 조립되어 있는데 대부분의 모델에서 쉽게分離될 수 있다. 이 모든 기술의 개념은 急冷式 冷却시설이나 内部熱交換器를 사용한 냉각시설을 구성하는데 매우 좋은 적응성이 있으며 기존 合成塔의 셀에도 잘 맞는데 잠시 동안만 合成塔의 運轉을 정지하여도 설치할 수 있다.

〈계속〉

