

肥料生産에 있어서 에너지節約

(Nitrogen No. 184, March-April, 1990)

編輯者註

英國의 肥料産業은 現在 에너지節約技術開發에年間 1億과운드를 支出하고 있는데 이 에너지節約技術은 使用함으로써 20% 以上の 에너지를 절약할 수 있을 것으로 推定되었다. 本文은 1990年 1월에 Bristol에서 에너지技術支援處(ETSU)와 The Fertilizer Society가 共同으로 開催한 肥料生産에서 에너지 效率에 關한 歐洲會議의 報告書이다.

英國政府傘下 에너지技術支援處는 새로 創設된 에너지省이 그의 研究, 開發 및 에너지 效率과 새로운 에너지 技術의 實施 및 檢證 프로그램의 系統的 組織化와 管理를 돕기 위하여 1974年에 設立하였다. 英國의 肥料産業은 主要 에너지消費産業으로서 에너지技術支援處가 主要關心을 集中시키고 있다. 에너지技術支援處는 Fertilizer Society와 協力하여 Bristol에 있는 홀리데이 호텔에서 1990年1月 24-25 兩日間に 걸쳐 會議을 開催하였는데 여기서 肥料 및 關聯 化學製品 生産과 關係된 核心 메니저와 諮問要員들은 에너지節約技術의 遂行에서 얻은 經驗을 交換하고 最新 技術에 對하여 討議하였다. 會議가 끝난후 Severnside에 있는 ICI의 LCA 암모니아 工場에 訪問하려 하였으나 不運하게도 貨物車가 顛覆되고 나무가 뿌리채 뽑히며 파편 부스러기들이 나르는 強風 때문에 取消되었다.

○ 암모니아 生産

암모니아 生産에 關한 第1次 會期中 H & E Engineering의 Frank Brown 氏は 中國의 암모니아 工場을 改修한 後 主要 에너지 및 生産容량의 向上에서 얻은 經驗에 關한 報告書를 提出하였다.

生産容량 250 t/d 의 이 암모니아 工場은 H & E 社가 1965 年에 中國의 Luzhou 에 建設하였다. 1986 年에 世界銀行은 H & E 社에게 이 工場의 會計監査와 擴張 및 現代化에 對한 妥當性 調査를 하도록 하고 그 結果로 1989 年에 재 시운전을 하여 암모니아 450t/d 를 生産할 수 있게 되었으며 여기서 에너지 수요의 15%를 낮추게 되었다. 改修設計를 始作하기 전에 着實한 準備와 正確한 會計監査 및 妥當性 調査를 實施한 것은 이 事業의 成功에 重要한 役割을 하게 되었다.

本來 工場의 生産工程은 그 當時의 技術에 따라 選定되었다. 改質爐의 出口 壓力은 18 bar 이었는데 같은 時期에 契約하고 있던 다른 工場들도 類似한 壓力이었다. 低溫 CO 轉換 및 메탄화는 단지 소개만 되어 있었지 實際 適用되고 있지 않아서 이 工場에서는 殘溜 CO 와 CO₂ 除去를 高壓銅溶液 洗滌方法을 使用하는 것으로 하였다. 암모니아 合成은 550 bar 이었는데 이것은 그 당시의 보편적인 방법이었다.

이 工程의 所有者는 數年間 工場의 性能과 信賴度를 改善하기 위하여 工程 全體에 걸친 몇가지 重要한 變경을 하였다. MEA 工程의 活性炭層에 잡히지 않고 빠져 나가는 黃化物을 吸收하기 위하여 MEA 유니트 앞에 ZnO 의 Hot Bed 를 추가하고 天然가스 效率을 높이기 위하여 低溫 轉換塔을 추가하였다. 그러나 가장 주된 變경은 CO₂ 除去工程을 酸化砒素로 活性化된 탄산칼륨 (Hot Potassium Carbonate) 용액의 Giammarco Vetro Coke System 을 使用하던 것을 DEA 로 活性化된 Hot Carbonate 工程으로 轉換한 것이었다. 기존 칼륨을 代替하기

위하여 완전히 새로 팩킹된 再生塔을 設置하였다. 기존 칼럼에 吸收塔을 병렬로 추가하여 설치하였는데 이 吸收塔의 트레이는 새 칼럼에서와 같은 팩킹으로 바꾸었다.

H & G 社의 擴張 및 現代化 事業에 있어서 본래의 암모니아 루프는 現代化할 수가 없었기 때문에 125 bar 로 운전되는 새로운 루프로 交替하였다. 3台的 50 % 合成가스 壓縮機가 있었는데 그들은 Nuovo Pignone에 의하여 舊 3 단과 4 단을 새로운 루프용 순환기로 轉換했다. 2台的 또 다른 往復式 壓縮機는 새 遠心壓縮機로 交替하고 또 하나의 工程用 空氣 壓縮機를 추가 설치하였다. 이들 조치는 기존 信賴度 問題의 多少를 改善하고 터빈에서 나온 스팀으로부터 얻은 폐열사용율을 더 높일 수 있게 되었다.

새 암모니아 合成 루프는 이 루프가스중의 不活性 가스가 더 많은 상태에서도 運轉할 수 있게 되었다. 이것은 改質爐의 負荷가 감소될 수 있다는 것을 意味한다. 그러나 이 改質爐에 追加되는 모든 가스를 보내게되면 豫熱을 向上 시켜서 추가로 供給되는 天然가스의 대부분을 少量의 수증기와 함께 2次改質爐에 보내기로 決定한 것이다. 이렇게 하므로써 改質爐에 供給되는 全體 수증기량을 줄일 수 있게 한 것이다. 운전압력 45 bar 의 새 스팀 시스템의 추가되는 工場의 改質部門 以後의 熱 回收率을 增進시켰다. CO₂ 除去工程은 兩스테이지에 기계적 수증기 압축기능을 갖춘 Benfield “LO HEAT” 공정으로 전환되었다. 舊 Vet-rocoke 再生塔은 Semi Lean Stage 와 같이 새 재생탑이 있는 Lean Solution Stage 로 活用하였다. CO₂ 吸收塔을 개선하기 위하여 기존의 병렬로된 2기의 흡수탑에 1기를 直列로 追加하였다. 이 改良 때문에 相對적으로 다소 電力이 增加된 反面 再沸 (Reboil) 負荷는 半減되었다. 마지막 主要 변경은 Dow Gas Spec FT 技術로 轉換함으로써 굴뚝가스 (Flue Gas) 중의 CO₂ 除去設備의 容量을 倍加한 것이다. 이 結果로서 이 工程의 再沸負荷는 1/2 以下로 줄어들었고 이

工程의 改良前에 겪었던 腐蝕問題도 극복하게 되었다.

○ 窒酸의 生産

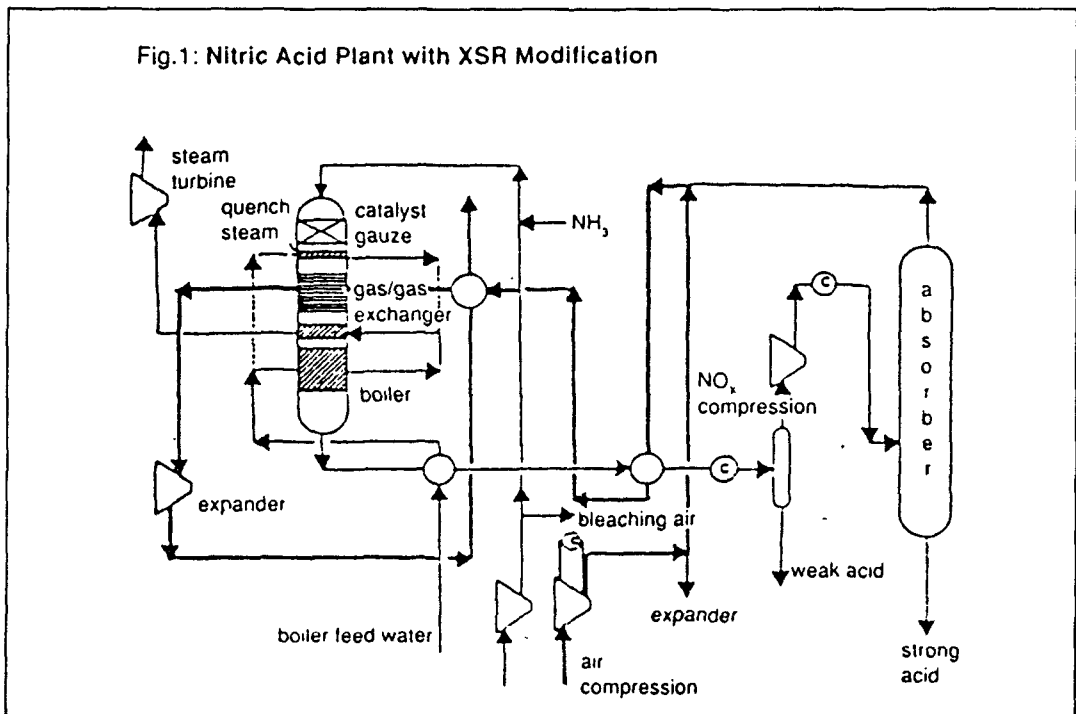
有力한 工程 에너지 調整 諮問團인 Linhoff March 社와 世界의 技術 移轉機 構인 英國 技術團이 共同으로 開發한 新工程 設計는 英國 技術團의 M. Rendell 과 Linhoff March 社의 D. Whittaker가 報告書를 作成 提出하였다.

XSR 工程은 例를 들면 窒酸과 같이 터빈을 經由하여 나오는 排氣가스로부터 에너지를 回收할만한 규모로 生産하는 發熱가스相 酸化工程에 대한 新概念이다. 이 新開發工程의 原理는 工程入口에서 反應段階工程을 迂回 (Bypass) 시키고 排氣터빈入口 앞에서 테일가스 스트림과 合流시켜 가스流量은 증가시키므로써 流量이나 溫度 등의 在來式 設計上的의 어려움없이 電力으로서 높은 에너지 回收를 하는 것이다. 질산에 대한 XSR 공정은 全體工程을 간단하게 맞추어 지을 수 있는데 그렇게 하므로써 投資費를 줄이거나 또는 단독 기구로 達成할 수 없는 熱效 合發電 效率을 갖는 추가 에너지 생산을 하도록 할 수 있다.

재래식 질산공장에서 테일가스의 設計溫度는 대체적으로 約 500℃이다. 일단 이 테일가스의 가열 요건이 充足되면은 여분으로 남는 反應熱은 수증기 발생에 사용된다. 더 높은 터빈入口의 高溫측에서의 驅動은 익스팬더의 出力을 增加시키고 이렇게 하므로써 수증기 要求量과 補助스팀터빈 驅動裝置의 크기는 減少되며 공정에 사용하고 남는 剩餘스팀의 量은 增加하게 된다. 원칙적으로 이들 工程은 기계를 통과하는 테일가스 流量에 의해서 엄격하게 제한받는 動力回收 터빈으로부터 最大의 動力을 얻으려는 努力인 것이다.

만일 XSR 工程原理가 適用된다면은 익스팬더에 대한 流量은 反應空氣 要求量 以上으로 추가공기를 壓縮하고 그것을 테일가스 加熱器의 앞스트림에 注入하여 補充한다. 이 테일가스는 空氣와 매우 類似하므로 그것이 大氣로 排出될 수 있

다. 만일 익스팬더에 依해서 發生된 追加된 일의 量이 壓縮에 投入한 追加된 일의 量을 超過한다면 그 空氣의 流量은 경우에 따라서 補助 스팀터빈 驅動的의 必要를 除去하기 爲해 增加될 수 있다. 익스팬더 入口의 溫度($> 600^{\circ}\text{C}$)가 적당 하면 그 工程은 이 地點에서 本來의 設計보다 더 많은 잉여스팀을 生産하게 된다. XSR 개념에 따라 수정된 工程의 간단한 flowsheet는 Fig. 1에 나타낸 바 와 같다.



이 XSR 工程原理는 補助 스팀터빈 驅動裝置를 더 以上 必要로 하지 않는 限界點 以上에서도 적용될 수 있는 것이다. 과잉 공기량을 좀 더 增加시키므로써 더 많은 직접동력이 回收엑스팬더로 부터 발생되지만 그러나 잉여 반응열에 해당 하는 만큼의 수증기 발생은 희생하게 된다. 그러므로 新工程을 探擇하는 경우에는 全體的인 현장의 여건에 따라서 기존 질산공정의 제약을 받지 않고 잉여동력이 나 또는 잉여수증기 형태로 生産할 수 있도록 設計할 수 있다.

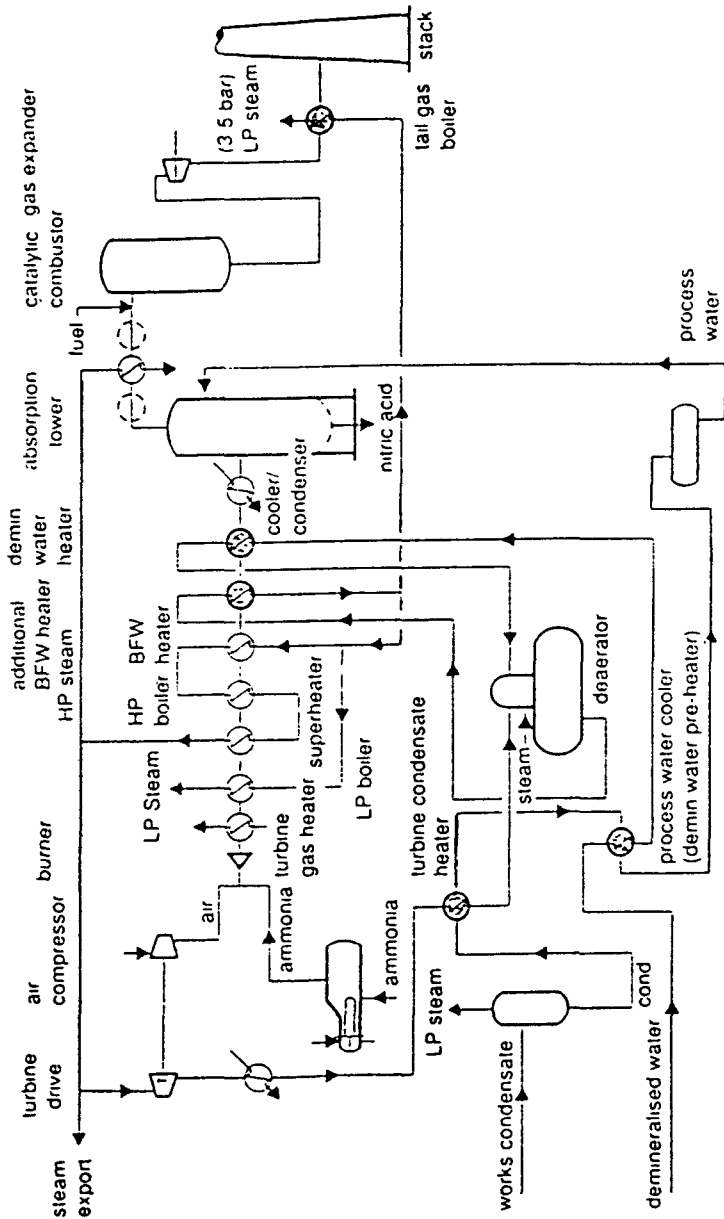
한편 질산공장에 대한 熱回收과 關聯하여 Kemira 社의 J. Berry 氏는 Chemico 의 400 t/d 生産容量의 單일압력 질산공장의 熱回收率을 改善하여 一特히 35 bar 의 수증기로 전환하므로서 一低溫系統의 에너지 效率을 增進하기 위한 修正 作業에 關한 報告書를 提出하였다. 이것은 低溫에서 操作하기에 適合하고 廢水나 大氣로 버리는 熱을 經濟的으로 回收하기 위한 열교환기를 설치하므로서 달성되었다. 이 工程의 潛在的인 利點은 剩餘스팀 5 t/h 를 추가로 발생시키므로서 工場의 보일러 負荷를 減少하는 것이다. 이들 利點은 獨立的인 모니터링에 의해서 實現되었고 타당성이 인정되었다. 이 事業에 對한 總投資費는 550,000 파운드 이었다.

○ 工場의 修正

修正된 工場의 熱回收系統은 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. 기존 工場의 다운스트림에 보일러給水 加熱用 열교환기를 추가로 설치하였다. 이것은 기존공장의 모든 보일러로 가는 보일러給水를 더 豫熱하여 壓力 35 bar 의 보일러給水用으로 만들기 위하여 豫熱된다. 이 열교환기의 低溫쪽 튜브의 온도는 露點에 近接한다. 그러므로 腐蝕防止를 爲해서 튜브材質의 선택은 신중하게 하여야 한다. 100-130 °C 범위의 온도에서 酸이 응축하여 열교환기 表面을 부식시키며 또 再蒸發이 일어나는 경우에는 酸이 濃縮되므로 腐蝕問題는 格別하게 된다. 선정된 金屬材料는 25/20 Cr/Ni 튜브이고 저온쪽 Tube sheet는 Hydroswaged Tube를 사용하였다.

보일러給水 가열기로부터 나온 170 °C 의 질소산화물 가스는 디어레이터에 요구되는 물을 보충하기 爲하여 必要한 純水를 가열하는데 사용된다. 질소산화물 가스를 170 °C에서 140 °C로 冷却하므로서 純水는 25 °C에서 140 °C로 가열된다. 이 열교환기의 튜브에서 응축이 일어나는데 腐蝕問題를 最少化하기 爲해서는 특수

Fig. 2: Flowsheet of Modified Heat Recovery Network



한 設計와 材料가 要求된다. 이 열교환기는 튜브표면이 젖어있게 하고 再蒸發을 피하여 셸 (Shell) 과 튜브시트가 젖어있게 유지하며 그리고 낮은 압력 강하가 되도록 設計하였다. 다수의 竝列 Flat Coil이 셸의 冷却 / 응축부분에 설치된 2개의 열교환기가 병렬로 설치되었다. 이 장치의 效率를 위해서 여기에는 特級 25/20 Cr/Ni 을 사용하였다.

deaerator 로 循環되는 터빈의 응축수는 오염된 응축수를 사용하여 板狀열교환기로 豫熱되는데 이 오염된 응축수는 공장의 工程水로 사용하는 純水에 의해서 다시 冷却된다.

곧바로 나가는 테일가스의 온도를 낮추기 위하여 expander 뒤의 13 bar 테일가스 보일러의 운전조건을 3.5 bar 로 轉換하였다. 이 경우 이 공정은 露點以上에서 운전되므로 腐蝕問題가 없는 것은 분명한 것이다.

이러한 공정의 修正은 必然的으로 공장의 스팀계통에 영향을 미친다.

스팀은 다수의 廢熱보일러와 火力을 사용하는 보일러에서 발생되며 工程應用에 사용되고 있다. 가장 적합한 利用을 實現하기 위해서는 스팀은 고압으로 生産하여 공정용 스팀으로서 사용되기 前에 에너지를 回收하기 위하여 터빈을 통하여 스팀의 압력을 떨어뜨린다. 추가로 발생된 3.5 bar 스팀 5 t/h의 利用을 위하여 35 bar 와 3.5 bar 의 압력수준 사이에서 운전되는 스팀터빈의 하나는 같은 스팀 소비량으로 35 bar 와 13 bar 의 압력수준 사이에서 조작되는 약 10 t/h의 스팀을 사용하는 새 터빈으로 代替되었다. 밸브를 통하여 35 bar 의 스팀을 13 bar 로 減壓하므로써 스팀의 量은 14 t/h에서 4 t/h로 減少 었다.

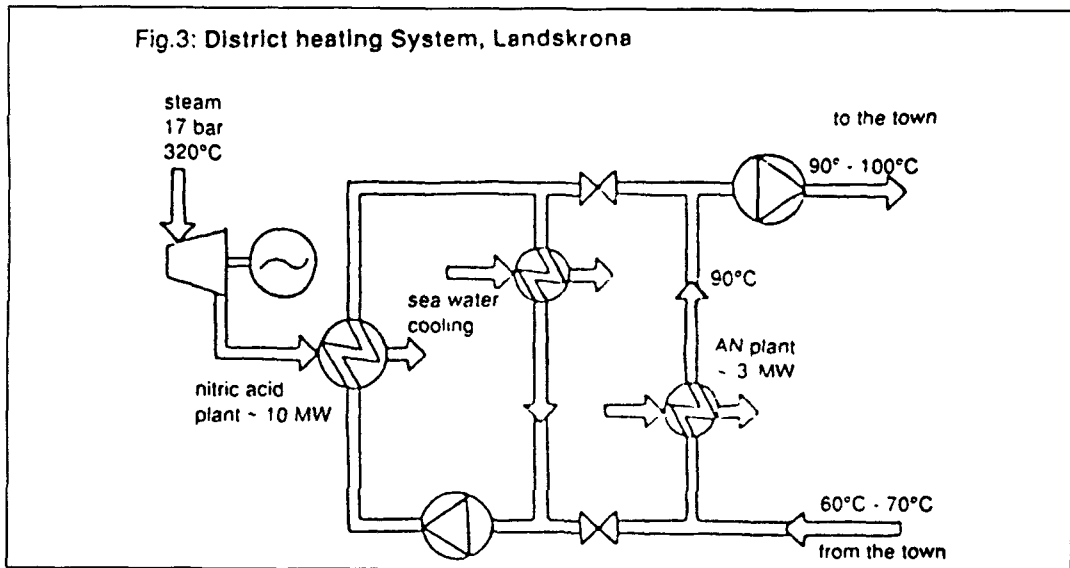
窒酸生産에 관한 세미나를 完成하기 위하여 스웨덴의 Landskrona 에 있는 Supra 社의 B. Perrson 氏는 肥料用 酸의 生産에 있어서 에너지 절약에 관한 報告書를 提出하였다.

Landskrona 의 Supra 社에서 肥料生産用 中間原料로 사용하는 질산의 生産공

장은 에너지사용을 최적화하기 위하여 改修되었다. 응축손실은 에너지로 전환되어 에너지 수요가 가장 많은 기간중 地域暖房용으로 사용된다. Landskrona에 있는 Supra社의 2基의 中間壓力 질산공장은 1965年과 1968年에 설립되었는데 總容量은 140,000 t/a를 생산한다. 이들 공장에 소요되는 에너지량은 約 1.9 MWH/t HNO₃이고 電氣는 0.03 MWH/t이다. 터보압축기는 스팀터빈(17 bar의 스팀)으로 운전되고 그리고 스팀응축기는 海水로 冷却되었다. 잉여에너지는 스팀으로서 다른 소비처로 보내진다.

1981年 Landskrona地方 當局者가 地域暖房 시스템을 설치코저하는 決定으로 Supra社에게 질산공장의 에너지 회수를 改善할 수 있는 機會를 주었다. 逆壓(Back Pressure) 터빈을 가진 스팀터빈을 다시 설치하는 문제가 검토되었으나 스팀 압력이 낮고(13 bar, 300℃) 좀더 높은 온도의 地域暖房用水(100℃)가 필요하므로 인하여 Balance가 맞지 않기 때문에 기각되었다.

가장 좋은 해결책은 스팀터빈을 전기모터로 代替하는 것이었다. 이것은 0.79 MWH/t HNO₃의 잉여 에너지를 供給하는 에너지 Balance를 改善하였다. 스팀 응축기에서의 에너지 損失은 크게 감소되었지만 電氣에너지는 모터를 돌보기 위



해서 구입하지 않을 수 없게 되었다. 內部的 스팀 分配網은 에너지 消費에 對한 必要와 價格에 의거한 供給을 最適化하기 위하여 1986 年에 확장되었다. 이 공장에서의 지역난방 시스템은 Fig. 3에 나타낸 바와 같다.

○ 工程의 強化

셀과 튜브형 열교환기에 대한 여러가지 代案 例를 들면 각종 板狀열교환기를 경험하여 보았지만 유력한 위치에 있는 것은 없었다. Billingham에 있는 ICI의 R. Fawcett氏가 제출한 報告書를 통하여 새롭고 간결한 열교환기 즉 프린트 회로형 열교환기 (Printed Circuit Heat Exchanger) 사용의 長點과 經驗에 對하여 자세하게 記述하였다.

오스트라리아의 시드니에 있는 Heatric pty 社가 開發하고 製作한 이 프린트 回路形 熱交換器는 액체의 통로를 마련하기 위해서 化學적으로 제작한 전형적으로 매우 높은 表面密度를 가진 0.3-1.5 mm의 납작한 金屬板으로 축조하였다. 이들 金屬板은 통로의 크기, 모양 및 위치를 정확하고 완전한 한 블록으로 만들기 위해서 高溫에서 서로 接合된 것이다. 다음에 이 블록은 요구되는 容量의 열교환기의 中心部 (Core)를 만들기 위해서 서로 熔接된다. 中心部는 블록으로 만들어지므로 中心部の 容量에 對한 實驗的 上限制限은 없다. 마지막으로 流體의 헤더 (Header)는 열교환기를 完成하기 위하여 中心部面에 附着된다.

프린트 회로형 열교환기는 ICI질산공장의 2 個所 즉 테일가스 가열기와 에코노마이저에 適用하기 위하여 設置하였는데 모두 성공적으로 운전되고 있다.

테일가스 가열기의 기능은 207 °C의 스팀을 사용하여 넓고 밀집된 공장에서 나오는 180-200 °C의 가스를 가열해주는 것이다. Heatric 社가 제외한 工程에 있어서 가스의 흐름은 단일통로 (Single pass)로하고 스팀의 흐름은 응축시키기

위한 압력降下가 되도록 3통로 (Three Pass) 구조로 만들어졌다. 가스쪽의 접근영역은 在來式 裝置의것과 같이 가스흐름 방향의 실제 중심부의 깊이가 단지 110 mm인 것을 별문제로 하고는 그 외에는 재래식 공정의것과 유사하다. 이 적용에 대한 프린트 회로형 열교환기 사용의 長點은 그것이 매우 가벼워서 支持하기가 쉽다는것과 그것을 축조해 넣은 닥트와 함께 浮上하는 것이다. 재래식 열교환기는 配管系統의 또다른 곳을 固定하는 추가 支持가 불가피하게 되며 거기에다가 팽창을 하는데 더 시간이 걸린다.

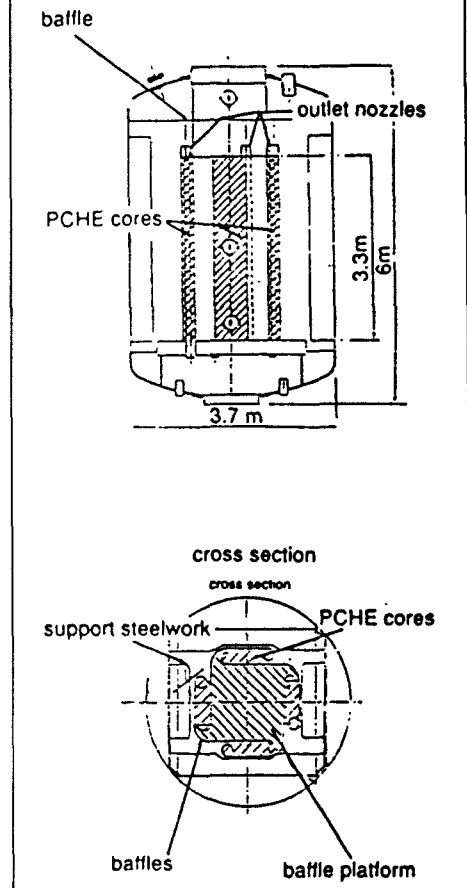
두번째 適用은 현대식 대형 질산공장에 대한 에코노마이저의 전열면을 代替하는 것이었다. 길이 6 m 직경 3.7 m의 이 直立容器는 보일러수를 나르는 (Finned Tube 를 가진 길이 3.8 m 面積 2.85 m²의 Bank로 되어 있는데 이것은 120 °에서 260 °로 가열된다. 공정용가스는 冷却器와 응축기로 통과하기 前의 露點 바로위의 온도인 300 °로부터 冷却된다. 修理하기가 매우 어려운 튜브의 용접결합 두곳이 있었는데 절연면을 交替하므로서 해결하였다. 압력셀 내부의 프린트 회로형 열교환기의 스케치를 Fig. 4에 나타냈다. 이것은 4개의 분리된 단위로 되어 있는데 깊이가 각각 3.3 m이고 직접적으로 배열되어 있다. 가스는 용기내부에 있는 배플 (baffle)에 의하여 구획된 matrices를 통하여 흐르게 하였고 용수를 위한 配管이 마련되어 있으며 버너에서 나오는 부스러기를 걸러내기 위하여 큰 filter basket이 설치되어 있다. 가스는 한 통로의 中心部를 통과하지만 물쪽은 요구되는 逆流흐름이 되도록 配列한 15개의 통로를 가지고 있다.

프린트 회로형 열 환기와 관련되었던 문제점은 다음과 같다. 즉 그들 全體의 온도변화 때문에 에코노마이저內의 길다란 中心部의 구부림은 支持台와 baffles의 설계단계에서 再考되어 것이 촉구되었고 25/20 ELC 자재를 板形으로 독일에서 가져오는데 豫想보다 시간이 오래 걸렸으며 가스의 가열기는 불량자재로 만들

있던 스트림라인상의 잘못된 여과장치로 어려움을 경험하였다. 그 결과로서 여과장치로부터 나오는 부스러기가 中心部를 부분적으로 막히게 하였다.

일단 이 신제품의 문제點과 거래장벽은 이겨냈으므로 이 프린트 회로형 열교환기가 肥料産業에 적합한 열교환기로 될 수 있기를 기대한다. 이것은 價格이 저렴하고 견고하며 간결하여 적용하기가 좋은 것이다. 高壓, 高溫에서 取扱할 수 있고 體積이 큰 Gas/Gas 기능에는 잘 맞지 않지만 放射熱을 除外한 傳熱機能 全體範圍에 適用할 수 있다.

Fig.4: Economizer Incorporating the PCHE



외제 좋다 남용할때 우리기술 발전없다