

## 尿素合成技術의 現況(Ⅱ)

(Source : Nitrogen No. 186, July-Aug. 1990)

### 編輯者註

本稿의 第Ⅰ部에서는 尿素合成工程의 技術開發現況을 考察하였다. 第Ⅱ部에서는 尿素工程의 制御에 있어서 公害防止와 คอมพิวเตอร์ 適用에 關하여 高찰하고자 한다. 즉 工程의 許容差나 操作限界를 標準值 以下로 운전할 餘지가 없도록 環境規制가 강화되고 있기 때문에 이에 따른 보조장치들의 적용이 요구되고 있다.

本稿의 第Ⅰ部에서 밝힌바와 같이 尿素合成工程의 技術은 지난 수년간 여러 競爭의 인 技術이 하나로 모아지도록 노력한만큼 성숙하게 되었다. 그러나 環境分野는 상대적으로 최근에 실제적 관심을 갖게 되었기 때문에 尿素工場에 대한 公害防止 技術開發은 아직 完成되지 못했다. 生産의 經濟성과 關하여 말한다면 工程 그 자체를 더 開發할 여지는 거의 없으나 당장의 主要 目標은 컴퓨터와 마이크로프로세서를 더 광범위하게 適用하여 工程管理을 改善하는 것이다.

### ○ 尿素工場의 公害防止

오늘날 效果적인 公害防止는 어느 尿素工場이나 필수불가결한 것이다. 主要 汚染物質의 發生源은 통상 두가지가 있는데 잔류암모니아와 요소를 함유하고 있는 합성부

---

문에서 나오는 액체 배출물과 제립탑이나 그레놀레이션 부문에서 방출되는 공기스트림에 실린 기체배출물이다. 왕복식 펌프의 Stuffing boxes에서 나오는 Gland 冷却水에서도 汚染物質이 섞여 나올 수 있다.

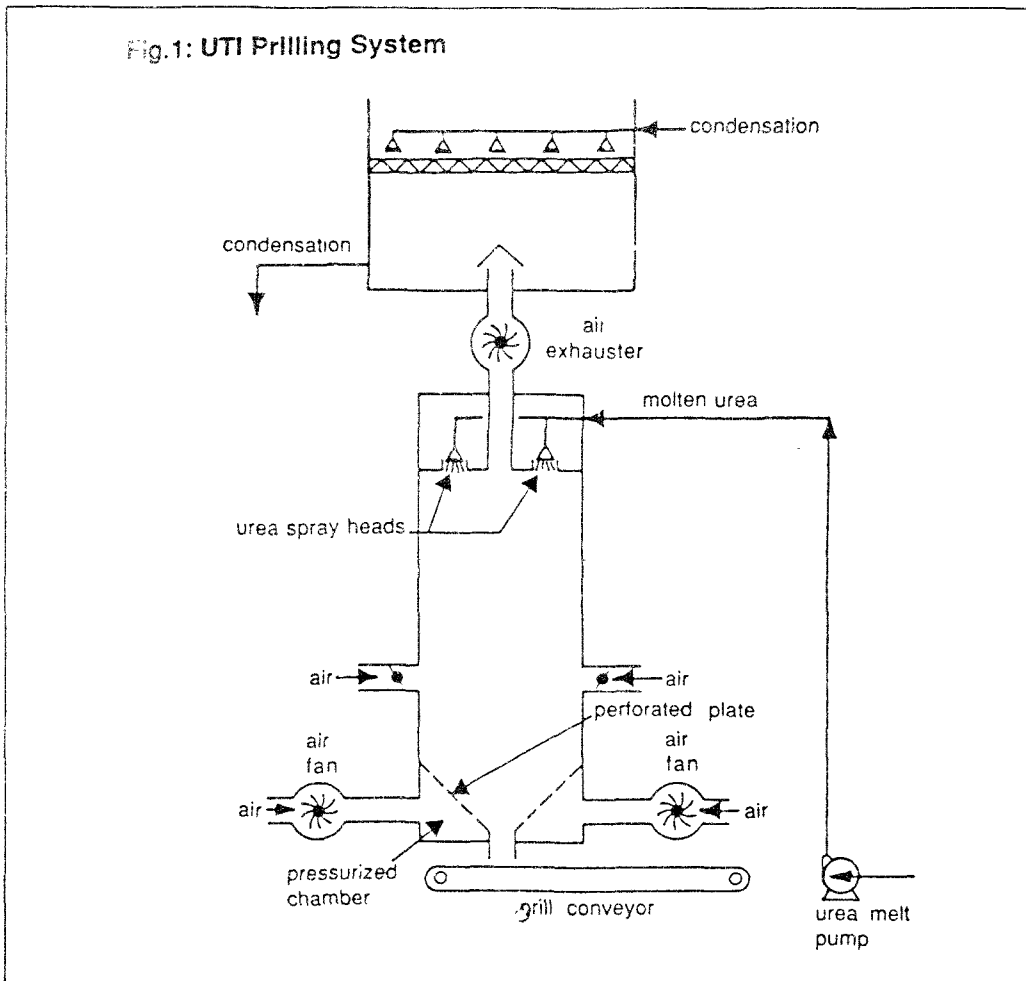
#### ○ 空氣汚染

尿素는 結晶으로된 物質인데 吸濕性이 매우 강하여 특히 더웁고 습한 氣候에서 貯藏할때 結晶形으로 굳어지거나 固結되기 쉽다. 尿素는 또한 주로 肥料를 使用되는데 끈끈한 結晶이나 미세한 분말형태로 使用하기가 불편하기 때문에 기계적 기술을 適用하여 거칠고 均一하며 부드럽고 자유롭게 流動하는 粒子나 그레놀로 造粒하여 使用하기에 편리하게 생산한다.

尿素는 吸濕性의 성질이 있고 熔融點이 낮기 때문에 슬러리나 스템 granulation과 같은 肥料製造時 잘 使用하는 조립기술로 덩어리로 뭉치게하여 granule을 만들 수가 없는데 그 理由는 요소 granule을 실질적으로 건조할 수가 없기 때문이다. 그러므로 많은 요소는 Prill 형으로 생산되고 있다. Prill 형의 尿素는 부드럽고 둥근입자인데 그것은 實質적으로 요소입자가 제립탑의 바닥으로 떨어지기 전에 內部가 비어있는 탑의 바닥에서 올라오는 冷却用 空氣의 흐름속에 無水尿素熔融體 (合成工程에서 생산되는 溶液을 거의 100%濃度로 증발하여 만듦)를 飛沫形으로 떨어지게 하므로써 충분히 굳어지게 된다. 그러나 最近 熔融尿素와 질산암모늄 (類似한 性質을 갖임)을 granule로 造粒하는 工程을 개발하여 왔는데 그 製品의 物理的 속성은 造粒된 다른 肥料材의 物理的 속성과 매우 닮았기 때문에 인기를 얻고 있다. 이들 熔融尿素의 granulation 工程은 最近 Nitrogen紙에 잘 소개되어 왔으나 本稿에서는 論外의 문제다.

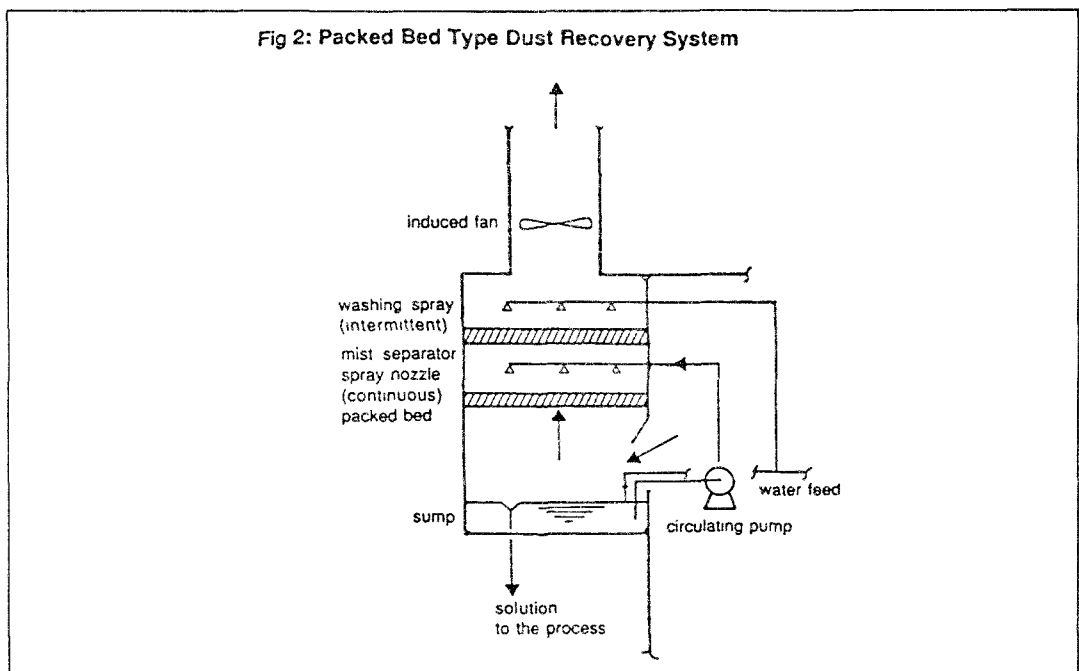
프릴 탑에서 배출되는 尿素粉塵은 프릴탑의 熔融尿素의 Spray Head 주변에서 생성된 상대적으로 많은 양의 尿素 Mist와 프릴탑에서 프릴이 바닥에 떨어질때 받는 충

격에 전달만큼 충분히 固化하는데 필요한 과량의 冷却用 空氣로 인하여 생성되는 것이다. 尿素 Mist는 冷却用 空氣의 빠른 흐름에 실려있는 미세한 고체요소 입자로 고화되어 배출되는 공기와 함께 주변 대기로 방출된다. 문제점은 熔融尿素的 Spray Head의 부적당한 설계와 제립탑상부에 위치한 結晶의 熔融裝置에 의하여 惡化되는 것이다. 이들 問題點을 해결하기 위하여 Urea Technologies Inc.는 다년간의 연구결과 Cross-flow 原理에 의한 자체의 제립탑 설계기술을 開發하였다.(Fig.1 참조). 통상의 설계도에 의한 재래식 요소제립탑에 있어서 주변공기는 제립탑 저부에



서 흡입되어 상부로 排出되는데 空氣는 塔의 벽을 타고 올라가는 경향이 있어서 그 중심부로 낙하하는 熔融尿素飛沫의 흐름을 놓치는 수가 있다. 그 결과로서 요소입자

가 제립탑의 바닥에 도달할때 완전하게 고체로 되지 못하여 서로 엉켜붙는 경향이 있다. 상업적 尿素工場들은 그 規模가 점차로 커졌기 때문에 제립탑의 직경도 커지게 되어 굴뚝효과 (Chimney effect)는 심하게 감소되는데 그것은 직경이 작은 설계를 擴大하여 제작하였기 때문이다. Urea Technologies Inc(UTI)로 제작한 제립탑에 있어서 공기는 재래식과 마찬가지로 塔의 下部로 들어오지만 그러나 塔上部의 中央에서 排出된다. 尿素펌프는 99.7% (중량)의 熔融尿素를 排出다트와 塔의 벽사이의 주위에 개량된 설계로 제작한 스프레이헤드로 수송한다. 이 構成은 尿素粒子가 올라오는 공기흐름의 進路를 비스듬하게 橫斷하여 落下하도록 되어 있어서 冷却效率이 倍加된다. 固體尿素가 塔內벽에 부착되는 것을 防止하였는데 그것은 空氣흐름의 内部的 構成이 半熔融尿素의 비밀이 塔內벽으로부터 떨어져 나가게 되어있기 때문이다. 직경을 크게 만든 제립탑에 있어서 굴뚝효과의 損失을 補償하기 위하여 空氣排出裝置의 上部에 排氣팬 (Exhaust fan)을 추가설치 하였다. 배출공기중에 아직 남아있는 요소분진을 씻어내기 위하여 제립탑 상부에 매우 간단하고 설치비가 저렴



---

한 水洗裝置가 設置되었다. 回收된 尿素溶液은 再處理하기 위하여 尿素工場으로 再循環된다.

도요엔지니어링 (TEC)는 尿素粉塵에 의한 汚染의 問題點을 解決하기 위하여 프틸답이나 그레놀레이터에 적합한 充填式 분진스크러버를 使用하였다. 분진스크러버의 설계에서 주요 목적대상은 최소의 압력강하와 低廉한 設置費用으로 최대의 집진효율을 얻는 것이다. Fig.2는 분진회수 계통도를 나타낸 것이다. 洗滌區間에 설치된 充填床은 배기중의 요소분진이 세척되는 효과적인 接觸面積을 增加시켜주며 尿素수용액을 분무하여 직접 접촉하게 하므로써 요소분진이 쉽게 잡히게 된다. 분무된 요소수용액의 Mist Spray nozzles 위에 設置된 demister에 의하여 제거된다.

#### ○ 水質汚染

尿素工場에 있어서 물은 필연적으로 發生되는데 尿素 1톤당 300 kg의 비율로 工程凝縮水가 나온다. 이량은 증기응축수와 廢冷却水까지 합한다면 더 불어나게 된다. 工程凝縮水中의 암모니아와 탄산가스의 存在는 주로 蒸發部門으로 보낸 尿素溶液中의 殘留암모니아와 炭酸가스로 因한 것이다. 약간의 암모니아는 부수적인 Biuret의 생성 즉 尿素가 가능한한 가장 짧은 時間동안 이상으로 熔融狀態로 存在할때 形成되는 축합산물의 結果로서 存在하기도 한다. 工程凝縮水中에는 尿素도 存在하는데 熔融尿素가 프틸이나 그레놀을 만들기 위하여 분리된 진공분리기에서 尿素의 液體粒子나 승화된 尿素가 凝縮水에 들어가기 때문이다.

液體流出物中の 尿素나 암모니아 汚染物質은 化學的으로 다소 다르기 때문에 과거 一般的 실제에서는 低壓의 한 容器에서 汚染된 排出物로부터 암모니아를 제거하였으며 高壓 高溫의 각 個別容器에서 尿素를 가수분해하여 다시 암모늄카바메이트로 만드는 것이었다. 이것은 Starmicarbon의 廢水處理工程이다. 工程凝縮水는 전형적으로 미세한 비말의 Carry-Over에 기인한 약 6%의 암모니아, 2%의 炭酸가스 및

---

소량의 尿素을 含有하고 있다. 工程凝縮水 탱크에서 나온 溶液은 2-3bar의 壓力으로 運轉되는 첫번째 Desorber로 送入되는데 여기서 암모니아와 탄산가스는 증기 스트립핑에 의하여 除去된다. Desorber의 下部에서 나오는 溶液에는 아직도 尿素과 암모니아가 약 0.5 ~ 0.7% 含有되어 있다. 部分的으로 정제된 工程凝縮水の 壓力은 增加되며 다음에 이 凝縮水는 熱交換機를 經유하여 약 200 °C의 溫度와 17bar의 壓力으로 運轉되는 가수분해장치로 통과된다. 充分한 滯留時間이 지난후 尿素은 20bar의 壓力에 의하여 가수분해장치에서 나온 溶液은 實質적으로 尿素가 含有되지 않은데 가끔 5ppm 以下の 정도가 含有되어도 사실상 檢出할 수 없는 정도다. 그러나 이 溶液은 아직도 약간의 암모니아와 탄산가스를 함유하고 있는데 그것은 둘째 Desorber에서 스팀에 의하여 제거된다. 蒸氣는 첫번째 데소로 들어가서 여기서 스트립핑 매체로서 使用된다. 그리고 충분히 정제된 최종공정수는 스팀발생용으로 사용된다.

工場의 簡便性이나 資本的投資나 工場의 運轉費의 經濟的 利點에서 尿素工程 設計者들은 동일압력에서 두가지 조작을 통합조정하는 方法을 追求하였다. Snamprogetti社는 溫度와 滯留時間의 影響을 밝혀내는 시험을 實施하였는데 要求되는 結果를 얻는데 가장 결정적 입증을 한것은 加水分解裝置의 크기였다. Plug flow는 逆混合을 피하는데 필요했으며 그리고 尿素가 개질되는 것을 尿素의 加水分解產物인 암모니아와 炭酸가스가 發生되자마자 물로부터 除去하는 것이 필요하다는 것을 알았다. 이 試驗은 220 °C 이상의 溫度에서 尿素含量이 1-2ppm 정도까지 떨어진다는 것을 보여 주었다. Snamprogetti社는 이 結果를 使用하여 1,626t/d 容量의 granule 尿素 工場에 加水分解裝置를 設置하였다. 그 結果는 매우 成功的이어서 여기서 排出되는 工程凝縮水는 보일러 給水用으로 使用하기에 適合한 範圍까지 암모니아와 尿素의 含量이 격감하게 되었다. Snamprogetti社가 설계한 거의 모든 신공장들은 이 加水分解裝置를 設置하였다.

本稿의 第I部에 나타낸 Fig.2를 참고하면 凝縮水는 工程凝縮水 탱크에서 저압회

---

수부분과 같은 壓力으로 運轉되는 廢水蒸溜塔으로 送入된다. 이 塔은 적당한 높이에 設置한 골뚝형 트레이에 의해서 두 부분으로 나누어진다. 상층부분으로부터 나오는 물, 尿素 및 소량의 암모니아와 탄산가스를 含有한 溶液은 加水分解裝置로 送入되고 여기서 尿素는 定量的으로 암모니아와 탄산가스로 分解된다. 工程凝縮水는 加水分解 裝置로 들어가기 전에 熱交換器에서 豫熱된다. 加水分解裝置에서 나오는 蒸氣는 蒸溜 塔에서 나오는 蒸氣와 함께 分離塔 上部에 있는 低壓 Decomposer 로 부터 나오는 Off-gas 와 混合된 다음 低壓凝縮器에서 回收된다.

Urea Technologies Inc.(UTI)는 中間壓力에서 運轉되는 단일용기로된 加水分解 裝置와 Stripper 를 設計하였는데 이것은 蒸溜 tray 를 갖춘 塔으로 되어 있다. 汚染된 工程凝縮水는 이 塔의 下部로부터 放出되는 精製된 뜨거운 凝縮水와 熱交換 하여 豫熱된 다음 이 塔의 上部에 있는 셋째구간으로 송입되는데 거기서 Stripper 는 폭포수처럼 아래로 떨어진다. Stripper 의 下端部分은 尿素를 加水分解하고 液 相으로부터 암모니아를 제거하기 위하여 스팀으로 가열하는데 그것은 소량의 탄산가 스팀을 追加하므로써 促進된다. 加水分解塔-스트리퍼의 오버헤드(Overhead) 排出物 은 凝縮되고 凝縮水部分은 오버헤드排出物中の 水蒸氣含量을 減少시키기 위한 리플럭 스(Reflux) 로써 스트리퍼의 상부트레이로 송입된다. 나머지부분은 암모니아를 모두 回收하기 위하여 尿素工場으로 再循環된다. 處理된 工程凝縮水는 冷却塔補充水, 低壓 보일러給水 또는 工程水 補充用으로 再使用하기에 適合한 순수한 凝縮水로서 이 塔의 下部에서 放出된다. 加水分解塔-Stripper 는 完全自動操作으로 되어 있어서 감시나 整備가 別로 要求되지 않는다.

도요엔지니어링社의 통합조정된 公害防止 시스템은 往復式펌프의 Gland 冷却水가 Gland Seal 의 누설로 인하여 공정유체로 汚染되는 것을 處理하기 위한 設備를 包 含하고 있다. 潤滑油로 汚染되었다면 기름분리기(Oil Separator)로 기름을 제거하 여 冷却한후 다시 펌프로 循環된다. 冷却水가 흐르는 라인상에 設置된 또 다른 기름

---

분리기로 한번 더 기름을 제거한 후 그 冷却水는 암모니아와 尿素를 回收하기 위하여 工程凝縮水 處理部門으로 放出된다.

尿素合成에서 生成되어 回收部門으로 送入된 물은 濃縮 / 蒸發器의 眞空下에서 蒸發된 다음 表面凝縮器에서 凝縮된다. 제 2 단 表面凝縮器에서 生成된 工程凝縮水는 암모니아와 탄산가스를 제거하기 위하여 3bar의 工程凝縮水 Stripper에서 스팀 스트리핑에 의하여 處理된다. 다음에 스트리퍼의 中間단에서 나온 물은 16bar의 壓力에서 운전되는 尿素加水分解裝置로 보낸다. 表面凝縮器의 第1 단에서 生成된 工程凝縮水는 尿素濃度가 높기 때문에 尿素工場의 回收部門에서 吸收劑로서 使用된다.

#### ○ 컴퓨터의 適用

工程制御나 工場運轉을 완벽하게 하기 위하여 컴퓨터시스템이나 소프트웨어가 最近 몇년동안 急速히 開發되어 널리 利用되고 있다. 컴퓨터制御시스템의 利點은 명백하다. 즉 人力이나 生産費를 節減할 수 있고 工場의 安全과 信賴度가 增加된다.

UTI는 全再循環尿素工場의 運轉을 最適化하기 위하여 컴퓨터 시스템을 開發하였다. Hewlett-Packard 236형 桌上付 컴퓨터에 기준한 패키지컴퓨터制御시스템은 尿素工場의 生産增大와 스팀消費량을 節減하기 위하여 가장 중요한 공정변수를 제어할 수 있게 設計되었다. 其他의 利點은 反應塔의 암모니아와 탄산가스의 比, 再循環 Carbamate 용액의 濃度和 反應塔의 溫度를 包含한 하루 24時間 최적조건에서 安定的인 工場의 運轉등 9가지의 가장 重要한 Loop를 自動으로 操作할 수 있는 것이다. 그것은 또한 工場內 다른 Loop의 制御에 관한 것도 運轉員에게 指示해 준다.

最適프로그램을 위한 모든 아날로그 入力은 3497A Data 取得 Unit를 통하여 入力된다. 9가지의 重要한 Loop에 대하여 Panel board에 있는 Controller는 工場의 단위 스팀消費량을 適正하게 하기 위하여 컴퓨터제어에 의하여 매시간 自動적으로 reset 된다. 生産된 尿素 屯當의 單位 스팀消費량을 나타내는 그래프가 매시간



---

그러지게 된다.

미리 計劃한 制御戰略은 편차가 없는 컴퓨터로 實施될 수 있으며 교대근무조를 바꿀때 항상 發見되는 問題點도 컴퓨터를 使用하므로서 제거된다. 컴퓨터는 精密하게 測定될 수 있게 하여야 하며 運轉中인 裝置에서 수시로 일어나는 동적인 變化도 적게 하여야 한다. 이것은 全體 稼動時間을 增加시키고 工場이 트립되거나 緊急稼動中 止하는 機會를 줄여준다.

大部分의 運轉者들은 콘트롤 루프를 수정하려 할때 過剩修正을 하는 影響이 있어서 가끔 工程을 더 불안하게 하는 수도 있다. 더욱이 그들은 反應塔의 암모니아와 탄산가스의 물比와 같이 反應時間이 긴 Loop를 制御할때 인내력을 잃을 수도 있다. 컴퓨터는 이와 같은 문제를 잘 이르지 않고 더 效率的으로 극복하며 또한 運轉員이 본래의 장해로 인한 問題를 수습하기에 바쁠때 不安定한 工場의 重要한 地域을 制御해줄 수 있다. 컴퓨터는 운전원의 복잡한 日常課題를 簡素化하여 주고 運轉者로 하여금 컴퓨터가 制御해 주지 않는 工場의 다른 地域을 좀더 觀察할 수 있게 하여 준다. 工場의 運轉에 影響을 미치는 모든 複合的인 工程關係는 소프트웨어에 포함되는데 그것은 工場運轉者가 어떤 問題에 熟達하게 되는데 수개월이 걸리는 時間을 短縮하여 준다.

多機能 컴퓨터의 경우에 稼動中인 工場의 라인에서 工程에 불안을 주지 않고 쉽게 컴퓨터를 制御할 수 있다.

도요엔지니어링社는 몇가지 適用할 수 있는 컴퓨터 소프트웨어를 開發하였는데 그들은 模擬工程(Process Simulation), 設計/엔지니어링, 工場運轉員의 訓練, 工場의 運轉制御 및 全體工場의 管理等이 包含되어 있다. 컴퓨터 制御시스템은 다음의 변수 즉 反應塔의 암모니아와 탄산가스의 比, 反應塔으로 들어가는 再循環 카바메이트 용액의 流量, 再循環카바메이트용액중의 암모니아와 탄산가스의 濃度 및 高壓吸收塔의 液體레벨을 最適조건으로 유지해 준다. 컴퓨터는 工場의 條件을 分析하여 尿素工

---

---

場의 계기계통에 있는 컨트롤러의 셋트포인트値를 컨트롤모델에 따라 조정하여 준다.

模擬訓練시스템을 사용하여 未熟練된 工場運轉員들을 運轉中인 工場에서 가능한 모든 현상에 대하여 訓練시킬 수 있다. 運轉員들은 실제공장을 運轉하기 전에 모의장치에 配置된 컨트롤시험을 包含한 工場컨트롤시스템의 操作에 익숙하게 된다. 試運轉 및 運轉停止節次를 包含한 工場運轉의 각 스텝에 대한 運轉技術은 實際工場の 運轉에 대한 混亂의 두려움없이 반복하여 실제적인 訓練을 할 수 있다.

配置된 컨트롤시스템과 같은 컴퓨터 하드웨어의 주요개발에 고무된 Starmicarbon社는 1981년에 그의 尿素工程에 컴퓨터컨트롤 戰略을 設計하기 시작하였다. 이들 努力으로 현재 세계적으로 여러 工場에서 運轉되고 있는 MUVAC(Multi-Variable Advanced Control)라고 부르는 소프트웨어 팩키즈를 開發하였다.

MUVAC가 소개되기 전에 Starmicarbon社의 工程으로 된 工場들은 특히 勤務組 교대시 運轉員들의 不必要한 工程干涉으로 어려움을 겪어왔다. Control Panel로부터 떨어져 配置되어 있는 재래식 工場에 있어서 多變測定과 制御原理는 進行되고 있는 광범위한 視野를 잡는데 運轉員의 物理的 措置로 훌륭하게 대신하였다. 結果적으로 運轉員의 MUVAC 知識을 사용하여 工場을 어렵게 運轉하고 있었다. 이제는 더 이상 運轉員의 간섭에 따라야 할 必要가 없으며 原料의 在庫와 유틸리티의 효과적인 供給下에서 최적조건에 더 近接한 運轉이 可能하게 된 것이다.

運轉員과 交代勤務監督者는 화란의 Gellen에 있는 Starmicarbon社의 MUVAC에서 訓練을 할 수 있다. Simulator를 사용하여 모든 點에 있어서 顧客의 工場과 비슷한 運轉을 할 수 있도록 調整할 수 있다. 이 시스템은 컴퓨터컨트롤의 모든 要求條件에 맞는 Honeywell TDC 2000 系統으로 組立되었다.