



# 에틸렌플랜트의 운전자동화를 위한 기법에 관한 연구



김채성 / c.s.kim@samsung.com

한양대학교 전기공학과 학사  
한양대학교 플랜트엔지니어링 석사  
(현) 삼성엔지니어링 화공사업본부 전기제어팀 차장

## 1. 서 론

국내외 경영환경이 악화되고 정유 및 석유화학업계의 경쟁이 심화되면서 1980년대 초 국내 정유업계의 공정제어 분야에 생산효율 증대를 위한 선진 제어 기법인 고급공정제어(Advanced Process Control, APC) 기술이 소개 되었으며 1980년대 후반부터는 국내 신규 공장 설립이 폭발적으로 증가하면서 외국 엔지니어링 회사(ABB(미), Kellogg(미), UOP(미) 등)를 통해 본격적으로 APC 기술이 도입되어 적용되기 시작했다.

그러나 이 당시 고급공정제어 기술에 대한 이해 부족 및 공정운전 인력의 공감대 부족 등으로 실제 적용결과 기대 수준에 훨씬 못 미치는 결과가 나타났으며 이후 고급공정제어 기술에 대한 경영진의 불신으로 '90년대 초 국내 업계의 고급공정제어 기술 적용이 잠시 주춤하였으나, 지속적인 고급공정제어 용역업체의 기술개발 및 석유화학업계의 경쟁 심화 등으로 다시 고급공정제어 기술이 생산 분야의 경쟁력 강화 핵심기술로서 부각되었으며 지속적으로 변화하는 시장상황에 대처하고 가격 및 품질상의 경쟁우위를 확보하기 위하여 효율적인 공정제어기술을 필요로 하고 있다.

이제는 고급공정제어 기술이 거의 모든 정유, 화

학플랜트에서 널리 활용될 만큼 일반화되어 가고 있다. 그러나, 눈에 보이지 않은 소프트웨어나 공정제어전략을 다루다 보니 투자에 대한 기대효과에 확신이 서지 않으면 실행에 옮기기가 쉽지 않은 것이 현실이다. 이에 본 연구를 통하여 석유화학 플랜트에 적용된 고급공정제어기술을 소개하고, 실제 플랜트에 적용하는 데 있어 좀 더 쉽고 안전한 접근 방법을 소개하고자 한다.

또한 본 연구에는 고급공정제어와 더불어 플랜트의 안정적인 운전과 품질, 비용측면에서 나쁜 영향을 줄 수 있고, 심각한 경우에는 설비의 손상, 환경문제, 인명피해까지 줄 수 있는 비정상 운전상태의 위험 부담을 줄이기 위한 방법 및 경보관리시스템에 대해 고찰하고, 이러한 고급자동화시스템을 구매, 운영하기 위해서 반드시 평가하여야 할 항목들에 대해서 논한다. 이러한 결과들로부터 플랜트의 생산 효율 증대 및 가격, 경쟁우위 확보가 되고, 환경적 또는 경제적 위험과 손실을 줄이게 됨을 예상할 수 있다.

## 2. 고급공정제어

### 2.1 화학플랜트에 있어서의 고급공정제어

고급공정제어는 이제 거의 모든 화학공장에 있



어 널리 활용될 만큼 일반화되어 가고 있다. 그러나, 눈에 보이지 않은 소프트웨어나 공정제어전략을 다루다 보니 투자에 대한 기대효과에 확신이 서지 않으면 실행에 옮기기가 쉽지 않은 것이 현실이다. 이는 선진국가에서도 플랜트 운전시 바로 적용하지 못하고 여러 시행착오를 거치고 나서야 적용하게 되는 어렵고 시간이 많이 걸리는 공정 제어방법이라 하겠다. 이에 본 연구를 통하여 고급공정제어를 실제 플랜트에 적용하는 데 있어 좀 더 쉽고 안전한 접근 방법을 소개하고자 한다. 고급공정제어는 분산제어시스템(Distributed Control System, DCS)나 프로그래머블컨트롤러(Programmable Logic Controller, PLC), 그리고 플랜트 컴퓨터에 내장되는 산술 그리고 논리 알고리즘으로 구성된다.

이 알고리즘들은 프로세스 변수를 감시하고 플랜트를 이윤이 증가하는 방향으로 플랜트 운전이 이루어지도록 이동시킨다. 고급공정제어가 가져다 주는 이익에는 생산 양 증가, 유틸리티의 감소 그리고 플랜트 운전을 순조롭게 자동으로 운전하는 것 등이 포함된다.

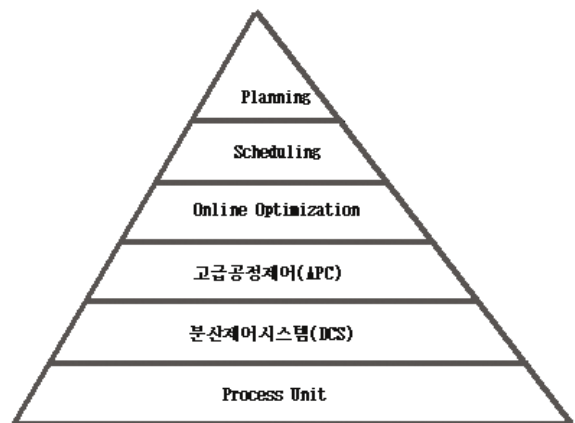
APC는 다음의 3가지로 크게 나눌 수 있다. 즉, 분산제어시스템과 프로그래머블컨트롤러를 이용한 고급공정제어, 모델예측제어(Model Predictive Control, MPC) 그리고 규칙기반제어라고도 불리는 지식기반제어(Knowledge-Based Control, KBC) 등이다. 모델예측제어는 대부분의 정유공장과 다변수로 크게 집중화 되어 있는 에틸렌 공장에 가장 적합한 형태이며, 지식기반제어(KBC)는 배치 공정 또는 비선형 공정에 자주 필요로 하는 형태이다.

많은 화학 공정에 있어서 분산제어시스템과 프로그래머블 컨트롤러를 활용하여 이익을 창출해 낼 수 있으며 이는 유용한 고급공정제어 전략을 효율적으로 수행함으로써 가능해진다. 성공적인 고급공정제어 수행을 위해서는 적절한 공정제어용 소프트웨어 틀이 필요하지만 좋은 제어용 틀

과 실질적으로 도움이 되는 공정 제어지식은 쉽게 얻어지지 않는다. 본 연구를 통해서 분산제어시스템과 프로그래머블 컨트롤러를 활용하여 효과적으로 이익을 창출할 수 있는 고급공정제어전략의 기술적인 접근 방법을 알아보고, 특히 에틸렌플랜트에 가장 적합한 모델예측제어 기술을 중심으로 관련된 기술을 알아본다.

## 2.2 모델예측제어 관련기술

공정기술의 계층적 구조를 그림 1에 나타내었다. 잘 알려진 바와 같이 단위 장치들로 구성된 공정을 제어하기 위하여 분산제어시스템이 사용되고, 그 상부에 고급공정제어기가 설치되어 하위 제어기에 설정치를 준다. 공정 조업조건을 최적으로 설정하기 위하여 실시간 최적화기가 최적화를 수행하고 하위 제어시스템의 설정치를 정한다. 보다 상위의 planning과 scheduling은 시장의 상황을 고려한 생산계획을 정하여 실시간 최적화기에 정보를 준다. 이와 같은 계층구조에서 모델예측제어 기술은 독특하고 우수한 제어성능을 바탕으로 고급공정제어 시스템의 핵심 기술로서 자리잡고 있다. 이에 모델예측제어 기술과 관련이 있는 기술들을 모델예측제어기를 중심으로 살펴보고 상호간의 관계에 대해 논의하고 전체시스템이 효율적



[그림 1] 공정 기술의 계층적 구조



으로 운전되기 위한 필수요건들에 대해서 논한다.

### (1) TAC 기술

모델예측제어 기술이 공정제어에 있어서 강력한 방법론을 제시한다는 것은 분명한 사실이지만 공정상 모든 피제어변수를 모델예측제어 기술을 이용하여 제어한다는 것은 아마도 현명한 생각이 아닐 것이다. 그 이유로는 제어 시스템의 설계로부터 유지 및 관리가 기존의 제어 기술 보다 훨씬 복잡하며 비용이 상당하기 때문이다.

TAC 기술이라함은 아주 기초적인 공정기술을 일컫는 용어으로써, 케스케이드제어, 오버라이드제어, 피드포워드제어 등을 말한다. 이러한 TAC 기술의 범위를 어떻게 설정할 것인가에 대한 여러 견해가 있으나 기본 PID 제어를 제외한 제어 알고리즘을 일컫는다고 보는 것이 일반적이다. 대부분의 공정제어 문제는 기존의 고급공정제어 기술 즉, TAC 기술을 통해 풀이가 가능하므로 적절하게 TAC 기술을 활용하는 것이 좋다. 겉보기에는

TAC 기술의 적용이 쉬워보일 수 있으나 공정에 대한 정확한 이해를 바탕으로 하는 공정분석 기술이 요구된다. 모델예측제어 기술을 적용하기에 앞서 기능설계 단계에서는 제어시스템의 구성을 설계하는데 이 단계에서 어떠한 기술을 활용하여 제어시스템을 구성할 것인가가 결정되게 된다.

이러한 기술 적용에 있어서의 일반적인 지침을 쉽게 이해할 수 있도록 표 1에 나타내었다. TAC 및 모델예측제어 기술이 많은 문제를 해결할 수 있다는 것은 분명하지만 하부에 설치된 기본 PID 제어기의 적절한 튜닝은 공정 성능에 지대한 영향을 준다는 것을 잊지 말아야 할 것이다. 앞에서 언급한 바와 같이 모델예측제어기는 공정상의 하위 제어기에 설정치를 결정하는 역할을 담당하고 하위 제어기가 주어진 설정치를 추종한다. 따라서 제어 성능은 하위 제어기의 성능에 의존하게 된다. 이러한 이유로 대개의 경우 각 하위 제어기에 대한 튜닝 및 제어시스템에 대한 전반적인 검토가 모델예측제어기 설치 이전에 이루어지는 것이다.

<표 1> TAC 기술과 모델예측제어 기술에 대한 비교

TAC 기술	모델예측제어 기술
되먹임, 앞먹임, 연계제거와 간단한 동특성을 가진 시스템에 대한 제약 제어가 가능.	되먹임, 앞먹임, 연계제거와 거의 모든 종류의 동특성을 가진 시스템에 대한 제약 제어가 가능.
제약조건이 벗어났을 때만 인지되고 더 이상의 침해가 일어나지 않도록 조치함	과거 제어 동작의 결과를 예측하고 현재와 미래가 제약조건을 어기지 않도록 조절함.
기초적인 공정 모델을 사용함.	정상적 혹은 정상적이지 않은 공정에 대해 시간 영역 공정 모델을 사용함
제어 알고리즘의 표준 라이브러리를 사용함.	고유하며 소프트웨어적-집중의 쉘 프로그램을 사용
기능 블록을 사용하는 엔지니어 - 집중적인 핸드크래프팅(handcrafting)제어 전략	일단 쉘 프로그램이 완성되고 공정 모델이 구해지면 상당히 쉽게 구현되는 제어 전략
공정 테스트 혹은 추정에 의하여 공정 모델이 구해질 수 있음. 시작 후에 상세히 튜닝 할 수 있음.	공정모델이 공정 테스트에 의해 구해져야 항상세 튜닝의 기회가 없음.
막대한 튜닝과 상세 튜닝을 필요로 함.	한정된 튜닝 가능성- 장점이자 단점
공정과 제어전략의 활동들에 대한 감(feel)을 조업자에게 줄 수도 있음.	공정과 제어전략의 활동들에 대한 감(feel)을 조업자에게 주지 않음.
정상적인 기술 수준으로 제어 전략이 부분적으로 disabled될 수 있고 이상이 생기면 수동 조작이 가해질 수 있음.	부분적 disabling을 허용하지 않고 수동 조작이 잘못을 일으키게 됨
새로운 조업 조건으로 바꾸는 등의 기술 보수에 대해 정상적인 기술 수준을 요구함.	새로운 조업 조건으로 바꾸는 등의 기술 보수에 대해 고난도의 기술 수준을 요구함.



## (2) 실시간 최적화 기술

실시간 최적화 기술은 고급공정제어기의 상위에서 최적 공정 조업점에 대한 설정치를 제공하는 것이 그 역할이다. 실시간 최적화 기술은 대상공정에 대한 정상상태 모델을 기반으로 하여 경제성을 고려하는 목적함수를 설정하고 최적의 공정 조업점을 찾는 기술이다. 실시간 최적화기가 사용하는 정상상태 모델의 형태는 대상 공정의 정상상태 이득을 이용한 간단한 선형 모델 혹은 이론적인 모델을 이용한 비선형 모델이 사용될 수 있다.

먼저 선형모델 기반의 최적화 방법에 대해서 알아보자. 공정의 입출력에 대한 정상상태 이득이 공정 데이터 분석을 통해서 이루어지면 최적화 문제를 쉽게 구성할 수 있으며 선형계획법을 이용하여 쉽게 풀이할 수 있다. 선형모델을 이용한 최적화는 모델링에 소요되는 노력이 적고 최적화 문제의 풀이가 용이한 반면에 화학공정의 비선형성으로 인하여 아주 제약적인 운전 범위내에서 최적화가 이루어진다는 단점이 있다.

컴퓨터 및 모델링 기술의 발전은 보다 상세한 정상상태 공정모델을 기반으로 하는 실시간 최적화를 가능케 하였다. 이에 따라 실시간 최적화 시스템은 공정을 보다 정확하게 기술하기 위하여 공정에서 취급하고 있는 물질에 대한 물성치 데이터베이스와 다양한 열역학 모델을 포함하고 있으며 증류탑, 흡수탑, 밸브, 펌프 등의 각종 단위 공정에 대한 수학적 모델을 이용하여 공정의 정상상태 모사와 최적화를 수행하는 것이 일반적이다. 실시간 최적화 기술은 open-equation-based 기술을 바탕으로 한 모델링 및 최적화 기술을 이용하여 많은 발전이 이루어진 것은 사실이지만 화학공정의 복잡성과 공정모델링상의 가정 등의 측면에서 회의론이 있는 것도 사실이다.

앞에서 언급한 실시간 최적화 기술의 기술적 한계내에서 정확한 의사결정을 해야 한다는 측면에서 엔지니어의 공정에 대한 이해와 직관이 실시간 최적화에 있어서 무엇보다 중요하다. 일반적으로

로 실시간 최적화기에서 계산된 최적 조업점은 공정상의 제약조건들의 점점에 존재하게 된다. 공정상의 제약조건과 가까운 조업점에서의 운전은 필연적으로 가혹한 운전조건이며 이에 따라 조업 안정성을 확실하게 보장할 수 있는 엄밀한 제어 기법이 필요하다. 결국 최적 조업점에서 경제적 공정운전을 위해서는 제약조건을 다룰 수 있는 고급제어기술이 필요하다는 결론을 낼 수 있다. 모델예측제어는 알고리즘 자체에서 공정상의 조작변수 및 피제어 변수에 대한 제약조건을 고려할 수 있으며 최적 조업을 위한 필요조건을 충족시킨다는 측면에서 실시간 최적화기 결과를 실현하는 유일한 방법이라고 생각할 수 있다.

## (3) 공정인식 기술

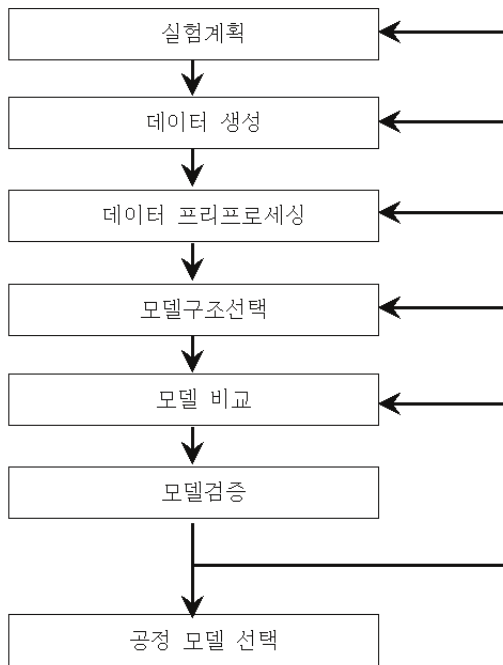
공정 모델로부터 공정의 출력을 예측하는 모델 예측제어기의 성능은 공정 모델의 신뢰성과 정확성에 의존한다. 따라서 공정 데이터로부터 정확한 공정모델을 획득하는 공정인식 기술이 요구된다. 모델예측제어 기술의 적용을 위하여 공정의 과거 데이터 또는 실공정 테스트에서 얻어진 테스트 데이터로부터 공정인식 기술을 사용하여 공정모델을 구하게 되는데 실적용에 있어서 가장 중요한 단계라 해도 과언이 아니다. 특히 실공정에 대한 테스트는 상황에 따라 달라질 수는 있겠지만 일시적 혹은 일정기간동안 비정상적인 조업을 하게 되어 Off-spec 생산물을 생산 및 공정의 불안정성을 일으킬 수도 있다. 따라서 테스트 기간의 단축을 목적으로 효율적인 공정인식 방법(예, 다변수 공정인식법, 효과적인 테스트 시그널 생성 방법 등)이, off-spec 생산물 및 공정 불안정을 방지하기 위한 페루프 공정인식 기술이 활발하게 연구되고 있다. 공정인식에 요구되는 공정데이터 획득을 위한 공정테스트는 엔지니어링 인건비, off-spec. 생산물, 공정 안정성 측면과 모델의 정확성이라는 상충관계(trade-off)를 고려해야 한다.

모델예측제어 기술 알고리즘에 따라 여러 가지



형태의 공정 모델이 쓰여진다. 계단응답 혹은 전 달함수 형태의 공정모델이 상용 모델예측제어 팩 키지에서 사용되었으며, 이산시간 모델인 ARX, ARMA, ARMAX, CARIMA 모델 등이 AMPC, GPC 등의 적응 모델예측제어기에서 사용되고, 최근에는 상태공간 (state-space) 모델을 이용하는 모델예측제어 기술이 개발되었다. 특히 상태 공간 모델을 기반으로 하는 모델예측제어 기술은 기존 FIR 기반 기술의 한계를 상당부분 극복할 수 있다. Kalman Filter를 사용할 수 있게 되어 추리 콘트롤 및 외란 제거 제어 성능 향상 등에서 많은 장점을 가지게 되었다. 공정인식은 공정의 데이터로부터 공정모델을 획득하는 일련의 작업이며 공정의 동적 특성을 잘 표현하는 공정모델을 최소자승법, 완전최소자승법 등의 수학적 기법을 이용하여 조정한다.

공정인식을 그림 2에 나타내었다. 그림과 같이 공정데이터 획득, 획득된 데이터를 처리하는 단



[그림 2] 공정모델 획득을 위한 공정인식 흐름도

계, 공정인식 기술을 이용한 공정모델 조정단계, 모델검증 단계 등의 순서로 이루어진다. 효과적인 공정인식을 위해서는 공정의 상태를 감안한 실험 계획과 테스트 신호 설계가 중요하다. 실험 계획은 어떠한 변수를 어떻게 얼마나 오랫동안 교란할 것인가?와 무엇을 얼마나 자주 측정할 것인가? 하는 것을 결정하는 단계로 공정인식에 있어서 가장 중요한 단계이다. 일련의 실험을 통해 얻어진 공정 데이터에서 아웃라이어를 제거하고 필요한 경우에는 적절한 필터링을 통하여 프리필터링을 거친다. 그 다음 적절한 모델형태와 차수 등을 선택한다. 공정 모델의 차수나 형태는 공정에 대한 엔지니어의 이해와 직관에 따라 이루어지는 작업이다. 예를 들면 고차의 공정모델을 선택하면 calibration data와 잘 일치하는 공정모델을 얻겠지만 실적용에 있어서는 over-parameterization에 의한 민감성 문제 등이 생길 수 있다는 점에 주의해 한다. 공정모델이 얻어지면 마지막으로 모델 검증 단계를 거쳐서 만족스러운 모델이 얻어졌는지 검증하게 된다. 공정인식을 위한 각 단계는 반복적으로 이루어지는 작업이므로 분석을 위한 여러 가지 분석 도구와 편리한 사용자 환경이 요구된다.

#### (4) 물성추정 기술

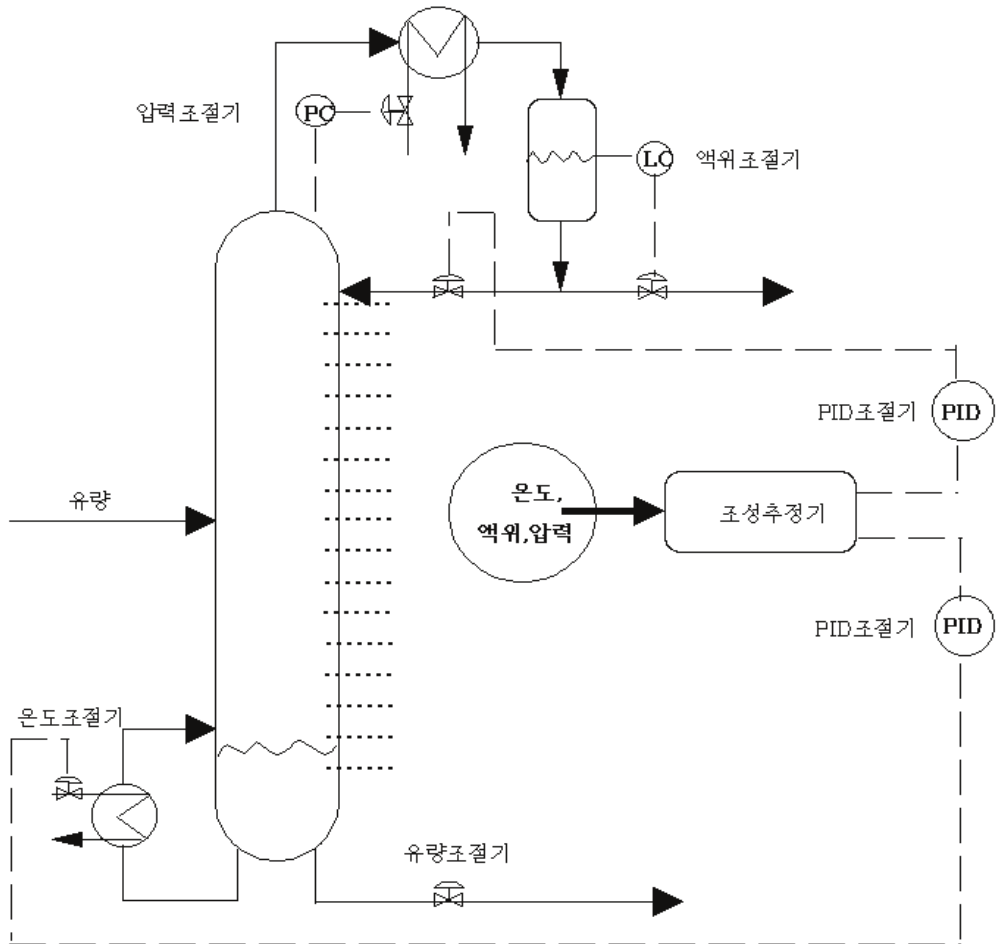
정유 및 석유화학 공정의 조업상의 1차 목표는 생산물의 품질을 원하는 스펙으로 하는데 있다. 분석기(GC, Gas Chromatography) 등을 이용하는 실시간 분석기술의 발전이 많은 문제를 해결하였지만 설치 비용 및 유지 관리상의 어려움 등으로 인하여 온도, 압력, 유량등 비교적 측정이 용이한 데이터를 이용하여 물성치를 추정하여 제어에 응용하는 물성추정기술이 많이 사용되고 있다. 이성분계 증류탑에서 탑상과 탑저 생산물 품질제어를 위하여 증류탑 상부 및 하부 온도를 측정하여 그 온도를 제어하는 것이 많이 사용하는 것이 대표적인 예일 것이다. 한개의 단 온도만을 이용



한 이와 같은 추정법은 다성분계에 대해서 확대 적용이 불가능하고 압력변화에 의한 오차, 민감도 문제 등이 있다는 단점이 있다. 이외에도 평균 온도 등을 이용한 방법들이 있으나 각기 문제점이 있다.

이러한 전통적 방법들의 문제를 해결하기 위하여 분석화학에서 발전된 MLR(Multiple Linear Regression), PCR(Principal Component Regression), PLS (Partial-Least-Squares) 등의 방법을 응용하여 측정이 용이한 다중 제2 추정치를 사용하여 실시간으로 측정하기 어려운 물

성치를 추정하는 기술이 개발되어 사용되고 있다. 조성 추정기를 이용한 제어 시스템 구조를 그림 3에 나타내었다. 증류탑에서 측정되는 온도를 이용하여 조성을 추정하여 탑상과 탑저의 조성 제어를 위한 PID 제어기에 추정치를 주고있다. 앞에서 언급한 바와같이 측정하기 어려운 물성치를 가용한 측정치를 이용하여 추정하는 이러한 기술은 화학공정 제어 시스템상의 난점인 조성 제어 시스템 구축에 많은 부분 해결해 줄 수 있다는 점에서 중요한 기술이다. 특히 모델예측제어 기술을 이용한 고급공정제어 시스템 구축을 저비용으로



[그림 3] 조성추정기를 사용한 제어시스템



보다 쉽게 하는데 많은 도움을 줄 수 있다고 사료 된다.

### (5) 정보관리 기술

모델예측제어기는 고급제어를 위한 워크스테이션 혹은 전용 컴퓨터에 설치되어 DCS로부터 공정 데이터를 받아 이를 이용하여 DCS상의 하위 제어기의 설정치를 계산한다. 계층도에서 보는 바와 같이 모델예측기를 포함하는 고급제어기의 설정치는 상위의 실시간 최적화기 혹은 공정 운전자에 의하여 결정된다. 상황에 따라 다르지만 실시간 최적화기와 고급제어를 담당하는 컴퓨터는 다른 컴퓨터에 각기 설치될 수도 있고 같은 컴퓨터에 설치되는 경우도 있다. 어떠한 경우든지 실시간 최적화기-모델예측제어기-DCS 간의 공정 데이터와 계산에 필요한 각종 정보들이 원활하게 공유되어야 한다.

DCS, 컴퓨터 및 네트워크 기술 발전과 함께 이 기종간의 통신 및 정보 공유 용이하게 되었으며 데이터베이스 및 통신 프로토콜의 표준화에 따라 급속히 발전했다. 아울러 공정의 정보를 보다 효율적으로 이용하고 활용하는데 도움을 줄 수 있도록 실시간 데이터베이스 기술도 급속한 진보를 거듭해왔다. 예상되는 공정 확장과 새로운 하드웨어 혹은 소프트웨어 설치에 대비하여 실시간 데이터베이스는 다양한 하드웨어와 소프트웨어들과 호환이 가능한 것이 필수적이며 표준 형식을 따르는 것이 바람직하다. 상용 실시간 데이터베이스는 개방형을 지향하는 것은 이러한 이유 때문이며 공정 상황에 알맞은 데이터베이스를 선정하여 사용하는 것을 추천한다.

### 2.3 에틸렌플랜트에서의 다변수예측제어

에틸렌플랜트에서의 고급공정제어중 가장 적합하다는 것이 모델예측제어이다. 그 중에서도 고급공정제어기의 일종인 다변수예측제어기(MPC, Multivariable Predictive Controller)로 고급공

정제어를 더 많이 구현하고 있다. 좀 더 엄밀히 말하면 다변수예측제어기와 생산량증대기(throughput maximizer)의 조합으로 고급공정제어를 구현함으로써 선호하는 생산물의 생산량을 증대시키고, 중요한 생산물의 품질을 더 높이며, 단위 원료당 혹은 단위 생산물당 소요되는 에너지를 줄일 수 있으며, 조업의 안정성을 증가시킬 수가 있다.

### 2.4 고급공정제어 사업 수행

지금까지 모델예측제어 기술 관점에서 실시간 최적화, 공정인식 및 정보관리 기술 등 관련기술을 논의하였고, 에틸렌 플랜트에 적용되었던 다변수예측제어에 대해서도 언급을 하였다.

이러한 각 기술들은 각각 독립적으로 운영되는 것이 아니고 서로 유기적인 관계에 있으며, 실공정에 모델예측제어 기술을 적용하여 그 성능을 최대한 활용하여 경제적 이득을 얻기 위해서는 모델예측제어 기술 자체에 대한 이해뿐만 아니라 관련 기술을 정확하게 이해하고 공정 상황에 맞도록 이들 기술을 통합하여 사용할 수 있어야 하겠다.

## 3. 정보관리 시스템

### 3.1 정보관리시스템에 대한 이해

자동화 또는 고급공정제어 기술의 도입으로 단순 작업에 대한 업무 부담을 줄어들지만 기존 운전자나 엔지니어는 새로운 업무에 부담을 느끼고 있으며, 더구나 자동화를 위한 하드웨어나 소프트웨어가 빠른 속도로 발전함으로써 공정의 안정적인 운전에 많은 기여를 하고 있지만 공정 편차로 인한 비정상 운전 상태는 계속 발생하고 있다. 이러한 비정상 운전 상태는 운전 비용과 품질에도 나쁜 영향을 주며, 심각한 경우에는 설비의 손상, 환경문제, 인명 피해를 가져올 수도 있다. 이러한 위험 부담을 줄이고 공장의 가동 시간을 늘리기 위한 가장 중요한 방법 중의 하나는 공장 운전의





주요 요소에 대한 경보를 잘 관리하는 것이다. 일반적으로 모든 운전 부서에서는 경보의 중요성을 인식하고 있지만, 실제로는 경보에 별로 주의를 기울이지 않고 운전을 하고 있다. 이는 초기 공장 설계 시 경보의 중요성만 인식하고 거의 대부분의 운전값에 경보를 지정하였으나, 이는 운전자의 경보관리 능력을 넘어섬으로써 모든 경보에 대하여 주의를 기울이지 않게 되는 결과를 가져왔다.

운전자용 keyboard를 살펴보면 silence 및 acknowledge key가 손상된 경우가 많은데, 이는 경보가 너무 많아서 운전자가 경보의 원인에 신경을 쓰지 않고 볼펜이나 다른 물질을 사용하여 이들 key를 보지도 않고 눌렀기 때문이다. 이런 실정이다 보니 정말 중요한 경보도 확인하지 않고 acknowledge key를 눌러 공정의 비정상 상태를 사전에 방지하지 못하는 원인이 되기도 한다. 일단 사고가 발생하면, 그 원인을 찾기 위하여 인쇄된 경보를 가장 먼저 찾으나 그 많은 경보들 중에서 경보의 우선순위, 상관관계를 파악하기가 쉽지 않다.

몇 년 전부터 프린터로 출력되는 경보를 PC에서 받아서 MS Access 또는 SQL 같은 상용 데이터베이스에 저장하여 경보를 분석하고 있으며, 이는 경보 분석 뿐만 아니라 프린터 소모품 절감에도 많은 도움을 주고 있다.

하지만 이러한 상용 데이터베이스에 저장된 경보는 경보 순서 배열, 자주 울리거나 하는 경보를 파악하는 데는 도움이 되지만 상세 분석을 하기에는 미흡한 부분이 많다. 정유 및 석유화학 플랜트 운전 시 많이 발생하는 불필요하고 적절하지 않은 많은 경보를 줄이고 경보를 체계적으로 관리하기 위한 경보시스템에 대한 지침서를 EEMUA (Engineering Equipment and Materials Users Association)에서 발간하였다. 이 지침서를 근간으로 하여 많은 업체에서 경보 분석 및 관리를 효율적으로 하기 위한 시스템을 개발하고 있으며 이러한 시스템을 구매하고 운영

하기 위해서 반드시 평가 하여야할 기능들에 대해서 연구해 보겠다.

### 3.2 경보관리시스템의 중요성

세계적인 대형 사고의 발생 원인에 대한 조사기록을 보면 하기와 같이 대부분 경보시스템이 운전자에게 사전에 경고를 하였으나, 운전자가 그 당시 너무 많은 경보로 인하여 이를 인지하지 못하거나 경보의 중요성에 대한 인식 부족이 사고의 주요 원인이었다고 한다. 이러한 대형사고의 예를 들면 아래와 같다.

#### (1) Three Mile Island(1979)

운전자가 경보의 상태가 열린상태로 고정되어 있는 것을 인지하지 못하였다. 이로 인하여 핵반응기의 주요부분 손상. 잘못된 운전반, 백 여개의 경보를 그대로 방치하였고, 적절하지 못한 운전자 교육, 이전 유지 실패에 대한 해결 방법의 확산 미흡하였었다.

#### (2) Union Carbide, Bhopal(1984)

Toxic gas 구름으로 2,500여명 사망, 도시의 1/3이 오염되었었다. 부적절한 유지보수, 경보 안전시스템의 부실, 위험한 화학 반응에 대한 안전관리가 미흡한 것이 주 원인이었다.

#### (3) Herald of Free Enterprise(1987)

페리호가 침몰 시 289명의 승객 및 승무원 사망. 운전 목표를 달성하기 위한 압력, 안전 문화의 결핍, 배외 해안 관리 시스템의 미흡, 뱃머리의 문을 열린 상태에서 항해하는 것을 감지하여 보고할 수 있는 효과적인 경보 시스템의 부재가 주요 원인이라 할 수 있겠다.

#### (4) Texaco Refinery, Milford Haven(1994)

폭발 및 화재 사고로 26명이 상해를 입었으며 £48,000,000 손해 및 주요 생산품이 손실되었





다. 운전 유지에 대한 압력, 공정개요 화면 미흡, 수백개의 경보를 경시, boiling overflow의 모든 결과를 완전하게 반영하지 않은 수정 작업, 플래어 드럼으로 부터의 가연성 액체의 누수가 주 원인이었다. 이후 회사에서는 잦긴들의 경보 시스템을 점검한 결과 경보에 대한 우선 순위와 하이알람비율이 잘못 설계되었다는 것을 발견하고 현재 시스템을 검토하여 우량사례를 추진하였다.

### (5) Channel Tunnel Fire(1994)

화염 연기로 £200,000,000 손실, 수백명의 통행자 및 충격에 의한 고통으로 매출 손실. 경보시스템 고장으로 사전에 문제가 있었으며, 운전 유지에 대한 압력, 정보 및 경보의 과다, 모든 직원에게 위기 사항에 대한 조치 통보의 지연이 원인이었다.

### 3.3 경보의 정의 및 구성과 기능

위와 같은 대형사고의 주요 원인중의 하나인 잘못된 경보, 운전자의 경보의 비인지로 인해 경제적 손실, 인명 피해 등을 줄이기 위해서는 먼저 경보의 중요성을 인식하고, 잘못된 경보를 줄이기 위한 경보관리시스템을 도입하여야 하겠다. 앞에서 언급한 EEMUA에서 발간한 “공정 경보 설계, 수집, 분석 및 관리에 대한 가이드”에서 정의한 경보의 예를 들면 아래와 같다.

- ① 운전자가 이해하지 못하거나 운전자의 임무가 정해지지 않은 경보는 제거하거나 재검토할 것.
- ② 재발생 경보에 대한 데드밴드를 조정한다.
- ③ 현재 운전 중이지 않은 공정에 대한 경보를 억제한다.
- ④ 재발생 경보에 대해 재설계를 한다.
- ⑤ 디지털 센서를 아날로그 센서로 대체한다. 따라서 경보의 사용 및 구성은 다음과 같아야 한다.
- ⑥ 안전 관련 주요 경보는 다른 운전 경보와 구

분해야 한다.

- ⑦ 경보의 수가 운전자의 효과적인 감시 능력 이상으로 발생하지 않도록 제한해야 한다.
- ⑧ 극도로 위험한 안전 관련 운전은 제어시스템에 대한 운전자의 조치에 의존해서는 안된다.

### 3.4 경보관리시스템의 기능

이러한 구성을 가진 경보관리시스템에 대한 기본 기능을 요약하면 다음과 같다. 유용하고 운전자의 임무를 지원할 수 있는 기능을 갖추어야 하며, 운전자의 능력과 한계를 고려하고, 다른 주요 정보의 통합 기능을 보유하여야 한다.

- ① 정상운전상태의 경우 제어시스템이 운전 설정치에 접근하도록 운전하며, 운전자는 별도의 조치 없이 감시만 하게 된다.
- ② 공정이 정상운전상태에서 이상상태로 넘어가는 경계에서 운전자가 공정운전에 개입할 수 있도록 경보가 발생하게 한다.
- ③ 공정이 이상상태에서 운전정지상태로 넘어가는 경계에서는 비상운전정지시스템이 작동하여 공정을 안전하게 정지시켜야 한다.

하지만 대부분의 공장에서 경보시스템은 정상, 이상, 운전정지가 운전전반에 걸쳐 발생하고 있으며, 그 수가 너무 많아서 경보가 오히려 운전을 방해하고, 운전자가 주의를 기울이지 않음으로써 대형 사고의 원인이 될 수 있다.

### 3.5 경보관리시스템의 구성요소

EEMUA에서 발간한 “공정 경보 설계, 수집, 분석 및 관리에 대한 가이드”를 기본으로 하여 많은 업체에서는 경보 분석 및 관리를 위한 시스템을 개발하고 있으며 특히 출원도하고 있다. 다음은 이러한 시스템들이 꼭 갖추어야 하고, 구매 시 평가해야할 기능들에 대해 논해보자.

#### (1) 경보저장

분산제어시스템 또는 PLC로부터 발생하는 경보



나 운전자 변경 사항, 시스템 메시지를 프린터포트 또는 RTDB를 통하여 컴퓨터에서 실시간으로 자동으로 수집하여 MS Access 또는 SQL 데이터베이스 형태로 저장하는 기능이다.

- ① 공정운전경보와 운전자 운전모드변환, 그리고 시스템메세지로 구분하여 저장할 수 있어야 한다.
- ② 공정운전경보는 ALM(Alarm), ACK(Acknowledge), RTN(Return)을 서로 다른 color로 표현할 수 있어야 한다.
- ③ 수집된 이벤트중 선택한 포인트를 클라이언트 PC, 문자전송시스템(SMS), 이메일로 자동으로 전송할 수 있어야 한다.
- ④ 보고서 기능 : 경보를 우선순위, 계기 별로 개요, 운전자 변경 사항을 통계 및 정리를 할 수 있어야 한다.
- ⑤ 분산제어시스템 일일 보고서를 PC로 저장 및 PC 프린터로 프린트할 수 있어야 한다.
- ⑥ 수집된 데이터는 경보 분석 및 관리가 용이하도록 계기이름, 날짜/시간, 경보형태, 개요, 운전값 등을 분리하여 별도의 필드에 저장하는 완전한 데이터베이스 구조이어야 한다.
- ⑦ 클라이언트 PC의 엑셀에서 필요한 데이터를 쉽게 편리하게 불러올 수 있어야 한다.
- ⑧ 데이터 수집의 중단 없이 자동 저장(Backup) 할 수 있어야 한다.
- ⑨ 경보 저장의 이상 혹은 통신 문제 및 데이터 수집상의 문제는 자동으로 로그 파일에 기록되어야 한다.

## (2) 경보분석

경보분석은 경보간의 상호관계, 운전자 변경 사항 및 운전변수(PV)와 경보간의 상관관계를 분석하여 중복되는 경보를 줄여주고 대표 경보만을 관리하여 운전자의 업무 부담을 줄여주며 경보에 대하여 관심을 가지고 올바른 대처를 할 수 있도록 지원하는 소프트웨어의 기능이다. 일반적으로

발생한 경보를 분석 시 관심이 있는 부분은 다음과 같을 것이다.

- ① 중복된 경보 또는 중속된 경보가 있는가?
- ② 집단 경보가 있는가?
- ③ 자주 울리거나 심하게 떨리는 경보가 있는가?
- ④ 연속적인 경보가 있는가?
- ⑤ 언제 사용자가 지정한 경보가 발생하였는가?
- ⑥ 일정 주기 이상으로 울리거나, 운전자가 인식하지 못한 경보가 있는가?
- ⑦ 어느 특정 시간에 발생한 경보의 숫자와 그 원인이 무엇인가?
- ⑧ 경보와 운전자의 변경사항이 상관관계가 있는가?
- ⑨ 운전자가 경보 값을 변경하였는가?
- ⑩ 운전자가 경보를 얼마나 오랫동안 무시하였는가?
- ⑪ 경보 발생 이후 얼마 만에 측정 변수가 움직였는가?

이러한 경보분석 시의 관심 사항에 정확한 분석 결과를 보여주기 위하여 경보 분석 시스템은 다음과 같은 기능을 제공해야 한다.

### 1) 경보개요

Emergency, high, low, journal, printer, total 경보에 대한 발생 수와 평균에 대한 개요를 보여주며, 경보와 운전자 변경사항에 대한 빈도를 히스토그램으로 나타낼 수 있어야 한다.

### 2) 중복경보

대부분 공장에서 너무 많은 경보의 원인은 중복된 경보(어떤 경보가 발생 시 항상 같이 발생하는 경보) 때문이다. 중복 정도가 어느 정도 인지(중복 비율 %), 중복 경보간의 시간 간격 등을 분석하여 중복경보의 비율이 큰 경우 이 경보를 없애므로써 전체 경보 수를 줄일 수 있다

### 3) 부분경보



어떤 경보가 다른 경보의 부분집합일 경우 이 경보는 없앨 수 있다.(예, 펌프 트립경보는 저유량 경보의 결과이나, 저유량 경보는 펌프 트립 경보의 결과가 아님. 이 경우 펌프 트립 경보는 저유량 경보의 부분집합임. 따라서 펌프 트립 경보는 없앨 수 있음.)

이 기능은 하나의 경보가 다른 경보를 대체시 그 효과를 보여줌으로써 대체 여부를 결정하는데 도움을 줄 수 있다.

#### 4) 집단분석

주요 설비가 고장 날 경우 관련된 집단의 경보가 다량으로 발생한다. 이 기능은 과거의 이력 데이터를 통계적으로 분석하여 같은 집단에 속하는 경보를 나타냄으로써 심각한 고장을 줄일 수 있으며, 같은 집단에 속하는 경보들을 1개의 경보로 대체 할 수 있으므로 적은 경보로 더 많은 정보를 보여 줄 수 있다.

#### 5) 빈도분석

너무 자주 발생하는 경보를 발생 수 또는 종류 별로 순서대로 정리하여 보여주게 함으로써 경보가 자주 발생하는 계기의 경보 발생 원인을 분석하면 경보를 줄일 수 있도록 도와 줄 수 있도록 한다.

#### 6) 채터링경보

짧은 시간 내에 자주 반복되는 경보로 이는 경보의 데드밴드 또는 운전 분류 값을 부적절하게 지정하여 발생하는 경우가 많다. 이는 빈도분석과 함께 너무 자주 발생하는 경보를 줄일 수 있는 방법이며, 별도의 분석 도구를 사용하지 않더라도 경보 저장기능에서 저장한 경보 데이터베이스만으로도 쉽게 분석할 수 있도록 도와주는 기능이 있어야 한다.

#### 7) 경보기간

경보가 발생한 이후 정상으로 복구 되기까지의 최대 시간 및 평균 시간을 분석하는 기능으로, 경보기간이 긴 경우 운전자가 경보상태를 오랫동안 확인하지 않은 것으로 경보로써 가치가 없는 경우가 대부분 이다. 또한 경보 이후복구가 되지 않았거나, 경보 없이 복구된 경우, 경보가 금지된 시간, 인지하기까지 소요된 시간 등에 대해서도 보여 줄 수 있어야 한다.

#### 8) 순차경보

어떤 경보에 의해 연차적으로 발생하는 경보를 분석하는 기능으로 이들 대부분은 한 개의 경보 또는 첫번째 경보로 대체될 수 있어야한다.

#### 9) 경보와 운전자 변경의 상관관계

어떤 경보의 이름이나 형태가 운전자 변경 사항과 상호 관계가 있는 지 분석하는 기능으로, 어떤 운전자 변경에 대하여 반드시 발생하는 경보 및 어떤 경보에 반드시 행하는 운전자 변경사항에 대하여 보여줄 수 있어야 한다.

#### 10) 경보값 변경분석

이 기능의 목적은 어떤 경보 지정값을 변경하였을 때 경보 발생에 미치는 영향을 분석하기 위한 것이다. 경보 지정값 변경에 대한 기록은 운전자 변경 사항 데이터베이스에 저장되며, 기존 값과 신규 값을 같이 보여 주는 기능이 있어야 한다.

#### 11) 경보 발생확률

이 기능은 공정치(PV)와 경보의 상관성 분석을 통하여 각 공정치 값에 대한 경보 발생 확률 및 경보 발생의 경향을 알려 주며, 이를 근거로 경보 설정값의 적절성을 판단 할 수 있다. 또한 경보 발생 이후에 공정치가 어느 값까지 다다른 지를 보여줌으로써 공정의 성격을 파악할 수 있다

이것은 경보는 정상 운전과 위험한 상황의 사이에 있으며 설계 단계에서는 정상 운전시의 변화



와 공정 응답을 모르기 때문에 실제 경보값을 정하기가 쉽지 않으므로 과거 데이터를 근거로 통계적으로 추정하게 한다. 이는 경보의 가장 적절한 설정값을 찾거나, 공정에 경보가 발생할 개연성을 감시하는 예측기능을 제공한다.

### 12) 경보와 시간의 상관관계

하루 중의 시간대 별, 일주일 중의 날짜 별, 공정을 운전한 운전 조별로 알람이 발생한 평균 횟수, 알람 지속 시간, 알람 확인 시간, 같은 알람 발생의 상관관계 제공할 수 있어야 한다. 이 정보를 이용하여 알람이 과도하게 발생한 원인 추적이 가능하며, 불필요한 알람을 줄일 수 있기 때문이다.

### (3) 경보관리자

경보시스템 구성 및 유지보수, 실제 경보 시스템과 비교 등의 기능을 제공해야 한다. 하니웰(미) 분산제어시스템(DCS)에 적용할 경우 엔지니어링 데이터베이스 파일로부터 경보 구성이 가능하다. 엔지니어링 데이터베이스 파일로부터 경보를 자동으로 추가하거나 업데이트가 가능토록하며, 현재 경보 구성에 대한 개요 화면 제공, 엔지니어링 데이터베이스 파일과 비교하여 경보를 동기, 경보관리강화자를 위한 엔지니어링 데이터베이스 파일을 자동으로 생성하는 기능을 제공한다.

### (4) 경보 부관리자

발생한 경보에 대하여 과거 조치 이력을 제공함으로써 운전자가 빠르고 적절하게 조치할 수 있도록 한다. 또한 사용자가 지정할 수 있는 경보 새로운 우선순위를 제공하여 기존 분산제어시스템의 경보 우선순위의 보조 수단으로 사용할 수 있도록 되어야 한다.

### (5) 경보 관리강화기능

분산제어시스템 내의 경보 매개변수를 정해진 시간에 변경할 수 있는 유지보수 기능을 제공한

다. 이 기능을 사용 시 사정상 운전자가 임시로 경보값을 변경하여도 이를 정해진 스케줄에 따라 복구토록 할 수 있다. 또한 정상 운전, 저유량, 턴어라운드 등 공정 상태에 따라 다르게 경보 값을 지정하면 이를 자동으로 분산제어시스템의 경보값에 적용하므로 비정상 상태 시 꼭 필요한 경보에만 주의를 기울이며 운전이 가능토록 경보 시스템을 구성할 수 있어야 한다.

### (6) 경보 감시기능

정해진 스케줄에 따라 과거 경보 이력을 분석하여 다음 사항에 대하여 보고할 수 있어야 하며, 필요 시 아래와 같은 결과를 이메일로 알려주는 기능을 가지고 있어야 한다.

- ① 중복경보 및 부분경보가 있는지 여부.
- ② 자주 또는 채터링경보가 있는지 여부.
- ③ 너무 오랫동안 방치한 경보가 있는지 여부.
- ④ 어떤 특정한 날의 경보 발생 횟수와 발생한 경보명.
- ⑤ 운전자가 변경한 경보 값.

## 5. 결 론

본 연구에서는 모델예측제어 기술의 관점에서 실시간 최적화, 공정인식 및 정보관리 기술 등 관련 기술들에 대하여 논의하였다. 또한 에틸렌플랜트에서 자주 사용하는 다변수예측제어기에 대해서도 논의하였다. 각 기술들은 독립적으로 운영되는 것이 아니고 서로 유기적인 관계에 있다는 점에 유의해야 할 것이다.

또한 공장의 안전에 대하여 수많은 기사와 논문이 발간되었지만, 사고와 실수는 계속되고 있으며 특히 같은 실수를 반복하고 있다. 신입사원은 이전의 같은 실수를 반복하여야만 배울 수 있으며, 이는 회사에서 가장 큰 손실 중의 하나가 되고 있다. 주요 원인으로는 축적된 지식을 다음 세대에게 전달할 시스템을 갖추고 있지 않기 때문이다.



보고에 따르면 재해의 80%는 사람의 실수와 관계가 있다고 한다. 또한 대부분의 사고에는 사전에 경보를 발생하나, 너무 많은 경보로 인하여 이를 무시하거나 적절하게 조치를 하지 못함으로써 사고가 발생하고 있다.

운전자의 실수를 가능한 줄이기 위하여 가장 중요한 일은 경보를 잘 분석하여 중복되거나 운전자의 조치가 필요없는 경보를 줄여서 운전자 1명이 감당할 수 있는 범위 내에서 경보가 발생토록 하는 것이다. 운전자는 모든 경보에는 운전자의 조치가 반드시 필요하다는 것을 인식하고 조치할 수 있도록 시스템적으로 보완을 하는 것이다. 본 연구를 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

(1) 실제 공정에 모델예측제어 기술을 적용하여

그 성능을 최대한 활용하여 경제적 이득을 얻기 위해서는 모델예측제어 기술 자체에 대한 이해뿐만 아니라 관련 기술을 정확하게 이해하고 공정상황에 맞도록 이들 기술을 통합하여 사용할 수 있어야 하는 사용자의 활용 능력이 중요하다는 결론을 도출하게 되었다.

(2) 경보데이터를 실시간으로 받아서 데이터베이스를 구성하는 것이 중요하며, 경보 - 공정운전값(PV) - 운전자 변경 사항간의 상관관계를 분석함으로써 사고의 원인을 정확하게 파악하고, 경보관리시스템과 분산제어 시스템간의 데이터베이스가 항상 일치하도록 시스템을 구축해야만 공장을 안전하게 운전할 수 있음을 알 수 있었다. (KIPEC)