

# 화학공정의 전산제어시스템

이석호, 정찬설

삼성엔지니어링(주) 공정팀

## 1. 서 론

치열한 국제경쟁하에서 생산성 향상에 대한 필요성이 절실하게 요청됨에 따라 전 공장의 운영을 컴퓨터로 최적화하는 전산제어시스템을 도입하고자 하는 시도가 화학공정에서도 지속적으로 증가하게 되었고, 실시간 제어에서부터 최적화 및 생산계획에 이르기까지 화학공정의 특성을 고려한 전산제어시스템 하드웨어 및 소프트웨어가 발전하게 되었다.

화학공정에 컴퓨터를 이용하여 안전성 및 생산효율을 향상시키고자 하는 노력은 1950년대 말부터 시작되어 1970년대에 분산제어시스템(DCS, Distributed Control System)이 개발[1]됨에 따라 프로그램만으로 다양한 제어 알고리즘의 구현이 가능하게 되었으며 판넬위주의 운전방식에서 탈피하여 컴퓨터에 의한 제어시스템을 구축하는 기초가 마련되었다. 그 이후 마이크로프로세서의 눈부신 발전에 따라 분산제어시스템의 기능은 급격히 향상되었으며 점차적으로 대규모 화학공정에서는 적용이 보편화되었다. 1970년대 말부터는 상업화된 다변수 예측제어 알고리즘이 실제공정들에 적용되기 시작[2]하였으며, 최근에는 실시간 제어 및 최적화에까지 적용 가능하도록 공정모델링 기술이 향상되면서 전산제어시스템의 발전이 가속화되고 있다.

따라서 시스템 하드웨어 측면에서는 실시간 제어를 담당 하였던 분산제어시스템이 통신 및 데이터베이스 관련기술의 향상과 더불어 점차 상위컴퓨터와의 통합된 시스템으로 확장하게 되었으며, 소프트웨어 측면에서는 상위제어(Supervisory Control) 및 최적화를 통한 제어 및 생산계획 수립을 하는 단계에까지 이르게 되었다. 본 고에서는 화학공정의 전산제어시스템의 계층별 제어구조와 함께 각 계층별 제어 기술에 해당하는 시스템 하드웨어를 분산제어시스템의 확장

성을 중심으로 소개하고자 한다.

## 2. 전산제어시스템의 계층적 구조

실시간 제어에서 생산계획에 이르기까지의 전산제어기술은 그림 1 에서와 같이 5단계의 계층적 제어구조[3]를 형성하고 있으며 단계별로 정보를 교환하며 유기적인 체제를 구축하고 있다. 최상위 단계인 Corporate Planning은 다수의 지역에 분산 설치되어 있는 공장들을 하나로 묶어 회사 차원의 통합적 경영을 하는 경우에 적용된다. 그 다음 4번째 Plant Planning 단계는 각 공장내의 자체적인 최적 경영을 위하여 비교적 장기적인 일정계획이나 최적화를 고려한 공장조업 목표를 설정하는 단계이며, 3번째 단계인 Scheduling은 공장내의 각 단위공정간의 조업조절이나 단기적인 일정계획을 최적화 알고리즘을 통하여 수행하는 단계이다. Puigjaner등이 제시한 회분공정 전산통합생산시스템의 계층 구조[4]와 비교하면, Scheduling 단계는 Recipe 및 반응시간 조정등에 해당하게 될 것이다. 2번째 단계인 상위제어 및 최적화(Supervisory Control & Optimization)에서는 공정의 안정성 및 생산성 증대를 위하여 각종 제어 및 분석기법들이 동원되며 공정모델을 이용한 운전의 최적화도 포함하고 있다. 따라서, 그동안 활발한 연구활동과 더불어 산업용 화학공정에 적용되었던 다양한 고급제어 및 최적화 기술, 그리고 공정진단용 전문가시스템들은 이 단계에 속한 기술들이며, 제어기술에 의하여 이룩한 생산성 향상의 대부분을 차지하는 단계[5]이기도 하다. 마지막 단계인 공정감시 및 제어(Monitoring and Control)는 일반적으로 분산제어시스템을 이용하여 실시간 환경에서 공정을 직접적으로 감시하고 제어하는 단계이며 안전을 고려한 Interlock등도

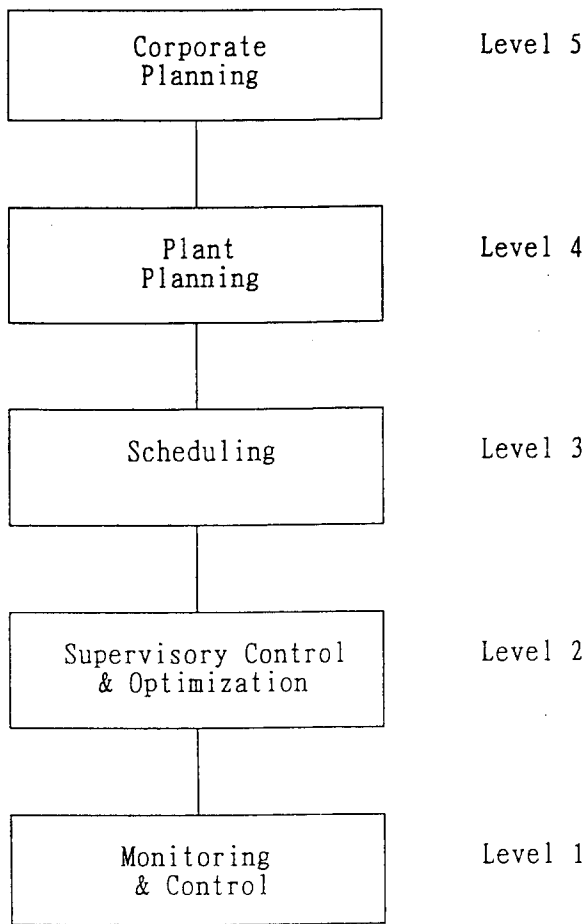


그림 1. 전산통합제어기술의 계층적 구조.

포함하고 있다.

### 3. 계층별 제어기술

#### 3.1 공정감시 및 제어

계층적 제어구조의 기초부분에 해당하는 단계로서, 하드웨어적인 구분에 의하면 마이크로프로세서를 장착한 모듈들을 분산시켜 신뢰성을 강화시킨 분산제어시스템을 이용하는 단계라고 할 수 있으며, 소프트웨어적으로는 분산제어시스템이 제공하는 표준 기능을 이용하거나 간단한 알고리즘을 포함한 프로그램만으로 적용이 가능한 수준의 기술이다. 대부분의 화학공정 제어루프를 담당하고 있는 PID(Proportional-Integral-Derivative) 제어를 중심으로 구성되는 Feedback, Cascade, Ratio, Feedforward, High-Low Selection 제어등이 해당된다. 또한, PID 제어기의 기능을 약간 변형시켜 비선형공정에도 적용이 가능하도록 만든 PID-GAP 제어기등도 분산제어시스템에서 표준기능으로 제공하고 있다. 회분공정 및 이송공정등에 널리 적용되는 순차제어(Sequence Control)도 이 단계의 기술에 해당[6]한다.

그러나, 공정의 특성과 규모에 따라 다양한 제어시스템이 구축될 수 있으며, 이에 따른 적용 소프트웨어도 달라져야 함과 더불어 제어전략까지도 변경되어야 하므로 반드시 하드웨어 기준 만으로는 기술단계를 구분하기가 어려운 측면이 있다. 예를 들면, 연속제어 루프가 많은 대규모 공정에는 다양한 제어기능이 제공되는 분산제어시스템이 유리하나, 빠른 제어시간이 요청되는 이송공정인 경우에는 프로그래머블 로직 콘트롤러가 유리하여 래더로직(Ladder Logic)이라는 독특한 제어프로그램을 작성하여야 한다. 화학공정에 있어서는 프로그래머블 로직 콘트롤러가 이송공정이나 Interlock등과 같이 빠른 제어시간을 필요로 하는 부분에 이용되고 데이터 감시는 분산제어시스템을 통하여 하는 것이 일반적이다.

제어를 위한 알고리즘외에도 공정의 안전을 위한 Interlock 알고리즘은 공정설계시 고려되어야 할 기본기능이다. Interlock 알고리즘이란 단위기기의 고장이나 불안정한 운전 조건에 의하여 공정의 안전이 위협받게 될 때 작동하여 운전을 중단시키는 것으로서, Interlock 알고리즘이 수행되는 하드웨어를 제어를 담당하고 있는 제어시스템과 함께 사용하느냐와 분리하느냐에 따라 종속형 또는 독립형 Interlock 시스템이라고 한다. 독립형으로 구성시에는 측정계기로 부터 별도의 신호를 받아서 처리하므로 제어시스템의 고장시에도 공정의 보호가 가능하여 안전한 측면이 있으나, 별도의 신호를 만드는데 드는 비용이 증가하고 전체 시스템 구성이 복잡해지는 단점이 있기 때문에 공정의 특성 및 제어시스템의 신뢰도등이 고려되어야 한다.

공정의 운전상태를 감시(Monitoring)하고 경보(Alarm)를 주는 기능도 기초단계의 기술에 속하며, 이는 제어관련 한 기술적 사항이기 보다는 경보가 발생하였던 기록을 관리하고 쉽게 운전자에게 상황을 전달할 수 있게 하는 컴퓨터 시스템의 데이터베이스 관리기술에 보다 가깝다고 볼 수 있다.

#### 3.2 상위제어 및 최적화

기본적인 감시와 제어기술보다 상위에 위치하면서 운전상황을 감시하고 명령을 내려주는 기능을 담당한다. 따라서, 분산제어시스템의 기본 제어기능으로는 구성이 어려운 제어 알고리즘 및 공정 진단용 소프트웨어가 들어가는 단계라고 할 수 있다. 단위공정별 최적화 및 상위제어, 통계적 방법에 의한 제어(Statistical Quality Control)[7]등의 기술들과 공정데이터의 신뢰도 향상 및 물질수지를 맞추기 위한 Data Reconciliation등의 기술들을 포함하고 있다.

실시간 데이터를 이용하는 고급제어 기술은 PID 제어기로는 원활한 제어가 어려운 다변수제어 공정이거나 지연시간이 큰 공정, 외란이 심한 공정등에 공정모델을 이용한 제어 기술을 적용하므로써 공정을 안정화시키는 기술이다. 1970

년대 후반부터 산업용 공정에 널리 적용되어 효용성을 입증시킨 예측제어 알고리즘이 대표적 상위제어 기술이며, 산업용 예측제어 패키지들은 IDCOM, DMC, STAR 등이 있다. 이들 예측제어 패키지들은 프로그램 내부의 핵심기능으로 최적화 알고리즘을 가지고 있으며 제어구성도에 따라 공정의 제한조건을 고려한 단위공정의 최적화를 포함한 예측제어를 구현할 수 있다. 그러나, 기존의 예측제어 패키지들은 선형화된 공정모델을 이용하므로 반응등을 포함한 비선형 특성이 강한 공정에는 적용에 한계가 있다. 다만 Gain Scheduling 기법[8] 또는 Model Adaptation[9] 등의 기법을 도입하여 비선형 공정의 문제해결에 접근하고 있으나 실제 공정에의 적용은 아직 보편화되어 않은 상태이다. 이 외에도 비선형공정인 반응기의 온도제어에 Fuzzy 제어를 적용하였던 예[10,11]가 국내에서도 있으며, 한편으로 비선형 반응모델을 직접 제어에 이용하는 기법[12]이 연구되었으나 공정별 반응모델을 일반화하기 어려운 측면도 있다.

상위제어 기술에 의하여 공정의 운전상태가 목적값을 중심으로 하여 안정화되면 공정이 허용하는 범위내에서 최적화 알고리즘에 의한 목적값을 변경시킴으로서 생산성 향상을 기대할 수 있게 된다. 최적화 과정에는 단위공정의 최적화와 공장전체의 최적화가 단계적으로 이루어지며, 이는 공정모델을 통하여 구현이 가능하다. 온라인 최적화 기법은 분산방식과 집중방식으로 구분[13]되는데 분산방식은 Bottom-Up 방식으로서 각 단위공정을 모듈화시켜 최적화시킨 후 다시 각 단위공정의 주요변수에 대하여 전체공정을 최적화시키는 방법을 채택하고 있으며, 집중방식은 Top-Down 방식으로서 분산방식에 대응되는 형태이다. 분산방식은 단위공정별 모듈화된 정상상태 공정모델을 사용하므로 기존의 상업화된 공정모사 패키지들(Aspen Plus, Provision, HYSIM, PROSIM 등)을 바로 이용할 수 있다는 장점외에도 운전시 필연적으로 발생하는 단위공정간의 시간지연을 고려할 수 있다는 장점[13]이 있다. 그러나, Recycle 회로가 포함된 공정의 경우 최적화 계산시간이 길 뿐만 아니라 설정된 계산 주기내에 반드시 해답을 구할 수 있다고 보장하기가 어려운 단점을 포함하고 있다. 이에 반하여 집중방식은 전체 공정모델의 수식이 직접 나열되기 때문에 프로그램의 크기가 커질 뿐만 아니라 이를 빠른 시간내에 풀어야 하는 문제와 신뢰성 있는 해답을 반드시 제공해야 한다는 문제에 부딪혀 있었으나, 최근에는 대규모 비선형 공정모델에도 적용이 가능한 최적화 프로그램 Solver(DMO, NOVA 등)가 등장하여 실제공정에 적용되기 시작함으로써 집중방식은 많은 관심을 집중시키고 있다. 이들 산업용 패키지들의 사용자 교육자료에 의하면, Sparsity Pattern을 이용하여 공정모델의 계산용 Matrix 크기를 축소시켜 계산속도를 향상시켰으며, 비선형 모델의 Jacobian Matrix를 찾아내는데 Perturbation 방식을 도입[14]하였다. 또한, NOVA의

경우에는 IF..., THEN... 로직에서 발생하는 비연속성 문제를 처리할 수 있는 기능을 추가한 것으로 설명되었다. 이 Solver들을 이용하기 위한 각 공정별 모델들이 개발되고 있으며 산업용 프로그램 패키지들(DMO, NOVA, RT-OPT 등)이 등장하게 됨으로써 공정최적화의 새로운 단계를 맞는 시점에 있다.

최적화 과정에서 이용되는 공정데이터는 최적화 계산주기 동안의 평균값이며, 계산주기는 한 번의 계산결과가 하부 제어구조의 목적값으로 받아들여져서 공정에서 변화를 일으킨 후 다시 정상상태에 도달하기 까지의 시간보다는 적어도 길어야 한다. 전체 공정의 최적화 계산주기는 일반적으로 시간 또는 일단위로 수행되는데 정유공정의 Blending공정의 경우 1~2일을 적용한 예[15]가 보고되었다.

현장에서 채집된 공정데이터는 측정기기의 오차 또는 공정내의 물질이 축적되면서 생기는 시간지연등의 이유로 인하여 물질수지가 밸런스 상태에 있기가 어려운 것이 사실이다. 또한, 측정기기의 고장시에는 공정상태를 추정하여 최적화 프로그램의 입력 데이터로 활용하는 것이 필요한데, 이를 위하여 데이터조정(Data Reconciliation) 기술이 제시되었다. 데이터조정과 총괄에러측정(Gross Error Detection) 이론에 대해서는 Mah[16]에 의하여 상세히 설명되었다.

운전데이터에 노이즈가 많은 경우에는 필터를 이용하여 노이즈를 걸러 주어야 하나, 한편으로는 비정상적인 운전데이터로부터 공정상태를 진단하기 위한 기법도 필요하다. 진단시스템(Diagnostic System)은 공정이 비정상적으로 진행되고 있음을 감지하여 알려줄 뿐만 아니라 고장의 원인을 파악하여 운전자가 조치하여야 할 내용까지도 설명하는 역할을 담당한다. 따라서, 컴퓨터가 모든 것을 관리하여 처리하는 전산통합생산시스템이라고 할지라도 적절한 진단을 통하여 공정의 상태를 확인하는 것은 필요하기 때문이다. 전문가가 제시한 논리적 근거를 배경으로 추론하는 Knowledge Based System이 널리 알려져 있는데, 실제 공정에 적용된 예[17]가 다수 발표되었을 뿐만 아니라 상업화된 패키지(Gensym G2 등)가 나와있으며 분산제어시스템에까지 옵션기능으로 설치가능할 정도가 되어있다.

최적화를 위한 모든 알고리즘들이 공정모델을 바탕으로 하는 까닭에 공정의 변화에 따른 모델을 변경하는 기술도 중요한 관심사항들 중의 하나이다. 다량의 운전데이터를 활용하여 모델적응 (Model Adaptation)을 위한 별도의 기능이 마련되어야 하며, 모델변경 여부의 확인에 대해서는 검증자에 의한 분석을 거친 후 Off-line으로 수행되는 것이 일반적이다. 이는 공정이상에 의하여 공정모델이 자동적으로 변경되는 것을 막고자 함이다. 모델적응 및 분석을 위하여 필요한 기능들에는 공정모델용 Matrix 생성, 모델 최적화, 결과 분석 및 보고, 데이터/모델/결과 비교, 데이터/모델 변경등이 있다[18].

### 3.3 Scheduling

대표적 연속공정인 정유공정에서의 Scheduling은 공장내의 단위공정의 조업여부, 원료 투입, 생산물 이송, 혼합등과 관련한 조업순서를 정하기 위하여 필요하며, 비교적 단기적이고 가시적인 운영계획을 수립하는 단계이다. 원료 및 생산물 탱크들의 수급관리도 수행하여야 하며, 혼합비와 저장 탱크내의 물질 및 성분등과 관련한 정보와 단위공정의 조업 시간별 생산량과의 관계들이 활용된다. Scheduling을 하기 위하여 최적화 계산을 하는 주기는 공장별 특성을 고려하여야 하나 일반적으로 일단위 또는 주단위를 하고 있다. 정유공정의 Blending관련 적용예가 계층별 기능과 함께 Agrawal[15]에 의하여 상세히 설명되었다.

단위공정 최적화 단계에서 이용하는 비선형 공정모델을 직접 사용하는 경우에는, Blending 공정의 Scheduling에서 요구되는 Yes/No 또는 On/Off 로직에 의하여 발생하는 Mixed Integer 문제까지를 포함하여 아주 복잡하고 규모가 큰 MINLP (Mixed Integer Nonlinear Programming) 문제로 확대되기도 하는데 이 복잡한 문제에 대해서는 아직 연구 단계에 있다. Lasdon과 Baker[18]는 단계별 기술의 통합을 위하여 비선형과 선형의 두개의 모델로 나누어서 별도로 최적화 계산을 거치는 방식을 제시하였다.

회분식 화학공정인 경우에는 상위레벨의 계획단계에서 종류별 생산량이 결정되면 단위기기의 상태와 원료 수급관계, 유틸리티 상황, 생산물 저장 및 이송등을 고려하여 상세 Schedule이 결정된다. 연속공정과 달리 적용해야할 Recipe관련 데이터 관리와 생산물의 물성을 점검하여 나온 결과를 반영하여 Recipe를 변경하는 단계까지도 포함된다. 이는 회분공정의 전통적 Scheduling 방식이기도 하다. 그러나,

Rijnsdorp[19]에 의하면 시장상황과 고객의 요구가 바뀌고 공정의 기기상태가 갑자기 변화하는 경우라면 Recipe도 상황에 따라 변화되어야 하며, 이를 위해서는 Recipe를 변경하는 방법과 반응을 포함한 공정모델이 필요하다고 주장되었다.

### 3.4 Plant Planning

공장전체의 운영을 위하여 1~3 개월 정도의 계획을 만드는 것을 목표로 한다. 이 단계에서는 단위공정의 운전여부 및 최종 생산품으로서의 조성, 탱크의 저장량 목표값등이 결정된다. 이를 위해서 공정상황을 정확하게 반영할 수 있는 비선형모델을 사용한다[18].

### 3.5 Corporate Planning

다수의 공장을 가지고 있는 회사 차원의 경영계획이 세워지는 단계로서 3개월에서 1년 단위로 적용된다. 원료 구입, 전체 생산물량, 공장규모의 설정등과 관련한 불확실한 사항에 대한 기준을 제시하며, 이를 근거로하여 공장별 원료 및 생산량 할당, 기간별 재고량 확보등에 대하여 지시를 하게 된다[18]. 그림 2는 유공의 전산시스템 구조[20]로서 Corporate Planning단계부터 기초제어 단계에 이르기까지를 하드웨어 관점에서 나타내었다.

## 4. 전산제어시스템

컴퓨터에 의한 실시간 제어가 직접디지털제어(DDC, Direct Digital Control) 방식에 의하여 화학공정에 적용되기 시작한 이후에 마이크로프로세서의 발달과 통신기술의 발달에 따라 분산된 마이크로프로세서를 전산네트워크를 통하여 통합하는 개념이 적용된 분산제어시스템이 1974년 처음으로 산업용 화학공정에 등장하게 되었다. 이는 제어시스템의 고장시에 공정이 위험에 처하게 되는 문제점을 최소화하려는 노력에서 비롯된 결과였다. 반응기를 포함하여 연속적으로 운전되는 화학공정은 전산제어시스템의 작동 불능시에는 폭발 또는 유해한 물질의 유출, 환경오염등을 동반할 수 있는 까닭에 전산제어시스템의 안전성에 관한 의문은 오랫동안 실제공정에의 적용에 걸림돌로 작용하였다. 이는 일반 산업용 이산공정에 프로그래머블 로직 컨트롤러와 같은 전산제어시스템이 조기에 정착되기 시작했던 점에 비교될 수 있다고 하겠다.

미국 Exxon사의 석유정제공정에 적

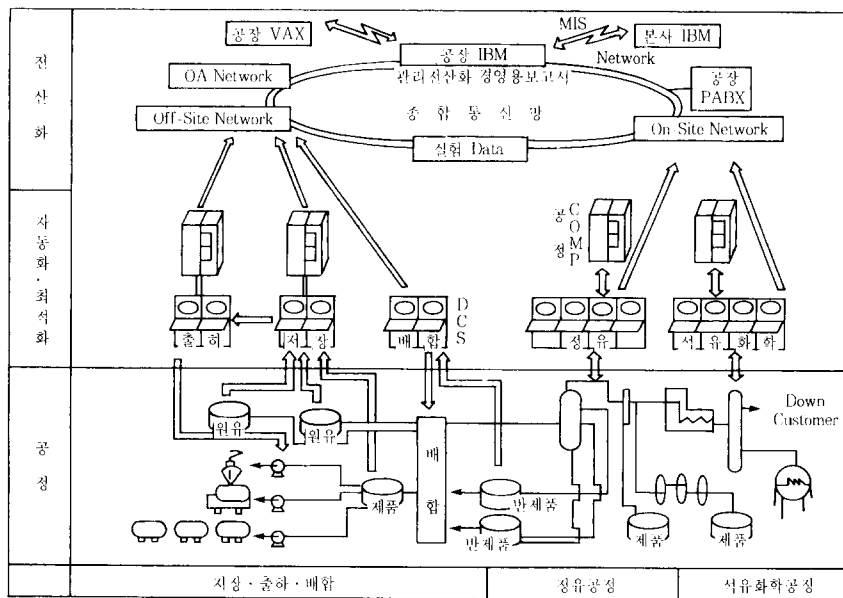


그림 2. 유공의 전산통합생산시스템.

용되었던 하니웰 TDC-2000 시스템으로 시작된 분산제어시스템의 역사는 곧이어 폭스보로사와 요코가와사등에 의한 분산제어시스템의 출현을 가져오게 되었으며, 통신 및 데이터 관리기능이 향상됨에 따라 대규모 화학공정에도 하나의 통신 네트워크에 연결된 제어시스템만으로도 적용이 점차적으로 가능하게 되었다. 또한, 이중화(Redundancy) 기능을 강화하여 개별적 마이크로프로세서의 고장시에도 공정을 안전하게 유지할 수 있게 됨에 따라 최근에 새로이 건설되는 화학공정에는 대부분 분산제어시스템이 설치되고 있을 뿐만 아니라 관널방식의 제어시스템으로 운전되던 기존의 화학공정들에도 전산제어시스템으로 교체되고 있는 상황이 되었다. 그러나, 아직도 Interlock와 같은 안전장치와 관련해서는 분산제어시스템과는 별도의 독립적인 시스템을 가져가는 것이 일반적인 상황이다. 이는 전산제어시스템의 고장으로 제어가 불가할 경우에도 공정의 안전성은 반드시 보장되어야 한다는 개념이나 공정의 위험도 및 경제성을 고려하여 단위공정별로 결정되어야 할 사항이다.

공정감시 및 제어에 해당하는 분산제어시스템의 기능으로는 현장에 설치되어 있는 센서 및 밸브와 컨트롤러의 데이터 전송이 고려되어야 하는데 종전의 신호 전송방식(4~20 mA, 1~5 V, Pulse, Thermocouple, RTD등)을 위하여 개별적인 전선을 이용할 뿐만 아니라 별도의 마이크로프로세서가 장착된 Smart Transmitter와 통신을 하여 신호전달을 하는 체제로 발전되어 적용되고 있으며, 최근에는 센서들과의 전산네트워크를 통한 데이터 전송을 하는 시스템까지 발전해 나가고 있다. 또한, 컨트롤러나 입출력카드를 현장에 분산설치하여 신호용 전선량을 줄임과 동시에 현장에서 유지보수가 가능하게 되었다. 제어 알고리즘을 구현하기 위하여 이용되는 컨트롤러에는 연속공정의 제어에 적합한 알고리즘외에도 회분공정의 순차제어에 용이한 프로그램을 위하여 고급전산언어(Pascal, C등)를 이용할 수 있도록 되어있다. 최근의 시스템은 대부분 32 비트의 마이크로프로세서를 장착하고 있으며 다양한 연속제어용 알고리즘과 순차제어 프로그램이 하나의 모듈에서 같이 수행될 수 있도록 되어있다.

또한, 프로그래머블 로직 컨트롤러등이 장점을 가지고 있었던 논리회로의 구현을 위하여 프로그래머블 로직 컨트롤러의 기능을 도입하여 분산제어시스템이 별도의 모듈을 가지는 시스템도 있다. 컨트롤러의 이중화 기능은 이미 표준화된 사양이 되었으며 최근에는 아날로그 입출력 카드의 이중화도 가능하게 되어있는 상황이다.

예측제어 및 적응제어, 퍼지제어등의 상위제어에 해당하는 제어 알고리즘이 개발됨에 따라 초기에는 상위컴퓨터에서 계산된 제어변수값들이 비교적 낮은 전송속도의 시리얼 통신(Serial Communication)에 의하여 분산제어시스템에 전달되어 공정의 운전에 이용되는 제어구조를 갖추고 있었

다. 그러나, 마이크로프로세서의 발달에 따라 하나의 마이크로프로세서가 과거의 상위컴퓨터 수준의 용량을 가지게 되었고 모듈화된 단위 유니트에서도 상위제어 알고리즘들이 수행가능함에 따라 별도의 상위컴퓨터를 이용하지 않고도 상위레벨의 제어를 할 수 있게 되었다. 시스템 업체에 따라 상위레벨의 제어를 위하여 별도의 모듈로 구성하는 경우와 일반 컨트롤러에 소프트웨어만을 추가시켜 적용하는 경우로 나눌 수 있는데 아직까지는 마이크로프로세서의 용량이 크지 않으므로 제어구조가 비교적 간단한 공정에만 적용이 가능한 상태이다. 전문가시스템(Expert System)과 같은 상위레벨의 공정진단 및 감시기능을 수행하는 알고리즘도 분산제어시스템의 모듈에 장착됨에 따라 분산제어시스템의 영역은 점차 확대되고 있다. 그러나, 상위레벨의 제어 알고리즘들이 실제로 화학공정에 적용될 경우에는 아직도 상위컴퓨터에 의존하는 경우가 대부분이다. 이는 상위레벨의 제어 및 진단등의 기술이 전산제어시스템의 하드웨어적 기술이기 보다는 화학공정의 정확한 분석을 통한 공정제어기술에 해당하므로 분산제어시스템 공급업체보다는 전문적인 제어업체들에 의하여 상위레벨의 제어 프로젝트가 별도로 진행되기 때문으로 판단된다.

공정최적화를 위해서는 공정모델뿐만 아니라 최적화 Solver등의 프로그램이 대용량의 컴퓨터를 필요로 하기 때문에 아직도 상위컴퓨터를 이용하고 있다. 다만 분산제어시스템과 상위컴퓨터와의 실시간 데이터를 주고 받는 방법에서 향상된 통신기술을 적용하여 데이터전송속도가 향상되고 데이터를 불러오는 방법등에서 기술의 진전이 있었다. 상위컴퓨터에 널리 이용되는 상업용 데이터베이스(InforPLUS, PI등)들이 나와 있으며 분산제어시스템과 통신 소프트웨어를 개발하여 갖추고 있다. 대부분의 분산제어시스템은 VAX나 HP, IBM등의 널리 사용되는 컴퓨터들과의 통신을 위한 모듈 및 소프트웨어가 개발되어 있으며, 별도로 분산제어시스템 업체별로 특정 상위컴퓨터를 설정하여 전체 공장의 상위컴퓨터들간의 네트워크를 구축하는데 하나의 패키지로화된 시스템을 제시하기도 한다. 최근에 출시되는 분산제어시스템 신모델들은 UNIX를 OS(Operating System)로 채택하여 개방형 시스템을 추구함으로써 외부의 컴퓨터들과의 접속이 용이하게 되었다. 이는 단위공정별로 별도의 상위컴퓨터가 있어야 상위정보 네트워크를 구성할 수 있었던 과거의 전산제어시스템과 크게 구분지을 수 있는 항목이라 할 수 있다.

생산계획 및 Scheduling 단계에 대해서 단위공정의 경우에는 공정최적화를 위한 상위컴퓨터와 같은 개념에서 접근이 가능하나, 전체 공장의 계획을 세운다면 각 단위공정으로 부터 올라오는 데이터를 이용하여 최적화 계산을 하게되므로 UNIX하의 상위정보 네트워크에 있는 컴퓨터에서 계산을 하는 것이 최근의 전산제어시스템이 제시하는 개념이다.

다음은 세계적으로 널리 사용되는 분산제어시스템중 최근에 향상된 기능을 제시하고 있는 것들을 중심으로 전산제어시스템의 계층별 구조와 연결시켜 간략히 설명하였다. 각 분산제어시스템의 구성도는 시스템 업체의 자료를 이용하였다.

#### 4.1 하니웰 TDC-3000LCN 시스템

그림 3에서 제시된 시스템 네트워크에서 여러단계의 네트워크가 있는데 가장 하위레벨들(Data Hiway 및 Universal Control Network)은 컨트롤러들의 제어용 데이터를 위주로 하고 있다. 초기의 TDC-2000 시스템에서는 Data Hiway가 전체 Network에 해당되어 운전자용 스크린도 모두 Data Hiway에 물려있는 상태였으나 시스템 기술이 발전하여 상세 역할 분담이 이루어진 상태이다. LCN(Local Control Network)으로 대변되는 중간 네트워크는 공정데이터의 감시 또는 복잡한 계산, 데이터 저장등을 위하여 데이터가 이동하는 통로로 이용된다. 운전자용 스크린(UxS, Universal Station X)과 더불어 계산용 모듈(AxM, Application Module X) 및 데이터 저장용 모듈(HM, History Module)이 LCN상에 존재하며, 상위레벨의 예측제어나 전문가

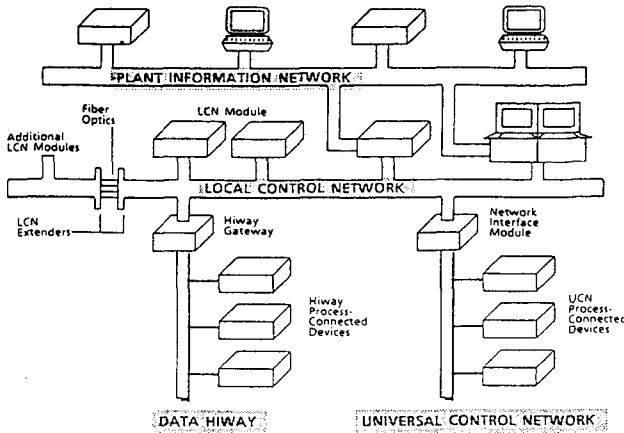


그림 3. Honeywell TDC-3000 LCN System Configuration.

시스템등의 알고리즘을 구현하는 모듈로는 AxM을 이용하고 있다. 최상위레벨의 PIN(Plant Information Network)은 X-Window를 채택하고 있는 UxS와 PIN레벨의 데이터를 LCN레벨로의 입출력을 다루는 AxM 모듈들과 연결되어 있다. 이와는 별도로 실제 공정에 널리 적용되었던 CG(Computer Gateway)라는 LCN상의 모듈을 통하여 직접 상위컴퓨터에 시리얼 통신방식으로 연결하기도 하며, PLNM(Plant Network Module)을 통하여 DECnet 또는 Ethernet에 연결하여 사용하기도 한다.

#### 4.2 폭스보로 IA Series 시스템

1987년도에 UNIX 체제를 도입하여 새로이 개방형 시스

템을 발표하였으며 컨트롤러와 데이터 저장용 모듈, 통신용 모듈, 운전자용 인터페이스 모듈, 데이터 관리 및 계산용 모듈등으로 분산되어 콘트롤 네트워크(Nodebus)에 접속되어 있다. 입출력 카드뿐만 아니라 콘트롤러까지도 현장에 설치될 수 있도록 설계되었으며, 입출력 카드에 마이크로프로세서가 장착되어 콘트롤러와 통신(Field Bus Communication)을 하여 데이터를 전달하도록 되어있다. 상위레벨의 제어와 관련하여 콘트롤러에는 직접 Self Tuning 기능을 가진 PID 알고리즘을 표준화된 기능으로 채택하고 있다. 예측제어 또는 전문가시스템등의 소프트웨어들과도 개방형 체제에

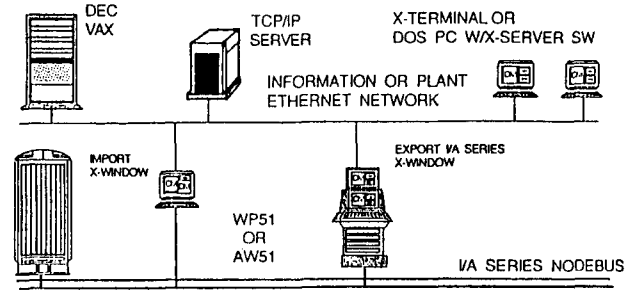


그림 4. Foxboro IA Series System Configuration.

의한 접속이 가능하도록 되어있으며 상위컴퓨터와의 연결은 그림 4와 같이 VAX 컴퓨터와 Ethernet를 통하여 통신이 가능하다.

#### 4.3 요코가와 CENTUM CS 시스템

UNIX를 이용한 개방형 분산제어시스템이 최근에 발표되었으며 과거에 나왔던 CENTUM-XL과는 Bus 변환기(ABC)를 통하여 데이터 전송이 가능하도록 하였다. FCS(Field Control Station)에 의한 콘트롤 기능에는 순차제어를 위하여 Yes/No 형태의 순차테이블 방식이 있으며 로직 회로를 위한 별도의 기능이 있다. 또한 원거리 입출력 카드를 이용할 수도 있다. 상위레벨의 제어를 위해서는 예측제어, 퍼지제어, Self Tuning 기능등을 장착하고 있으며 이를 위하여 ACS(Advanced Control Station)을 적용하며 별도의 네트워크없이 자체적인 분산제어시스템의 하나의 모듈로 이용하고 있다. 상위컴퓨터에 들어가야할 최적화 또는 생산 계획시스템에 대해서는 그림 5에서 제시된 미니컴퓨터 레벨인 APS(Application Station)이 있으나, 전 공장의 네트워크가 필요한 경우에는 Ethernet에 의한 통신을 할 수 있다. 또한, ACG(Communication Gateway Unit)를 통하여 상위컴퓨터와 직접 연결을 할 수 있는 방식을 제시하고 있다.

### 5. 결 론

화학공정의 전산제어시스템은 마이크로프로세서의 발달과 더불어 제어 알고리즘의 개발에 따라 급속히 그 기능이 향

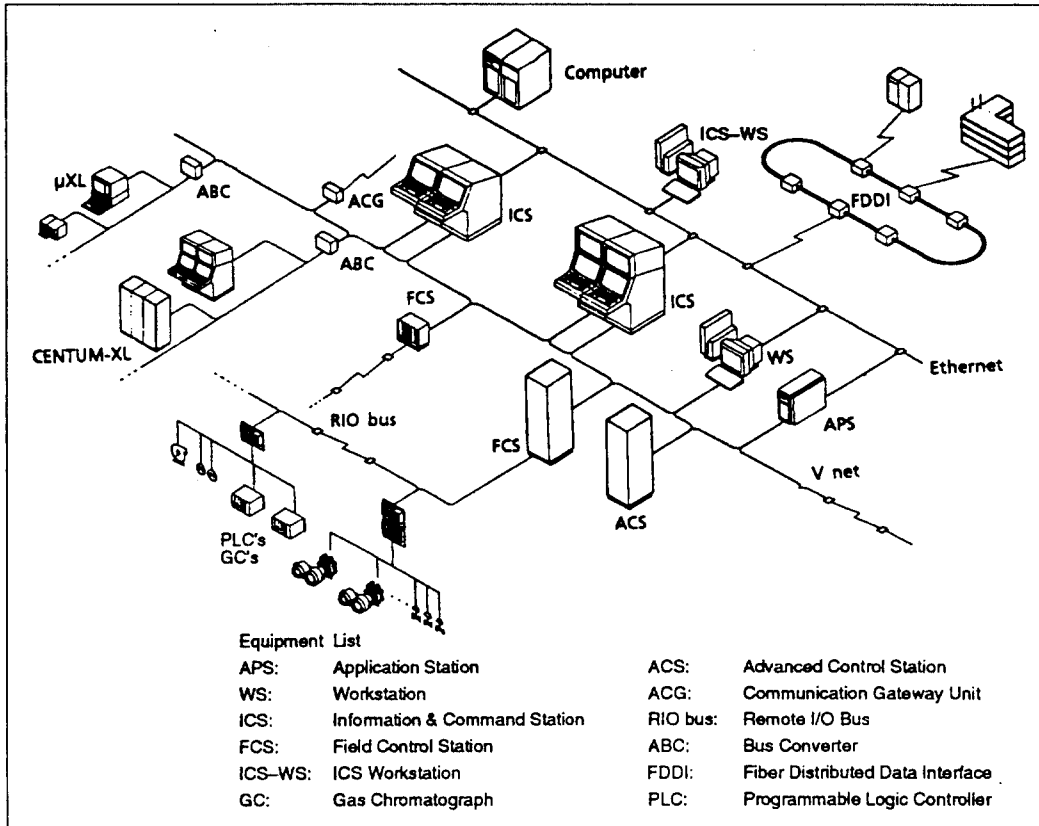


그림 5. Yokogawa CENTUM CS System Configuration.

상되었다. 이와 더불어 통신기술의 발달은 컴퓨터 시스템을 통합하고 대규모 소프트웨어까지도 포함한 전 공정의 전산 제어시스템을 구축하는데 역할을 담당하였다. 비록 그동안 한국에 설치되었던 대부분의 전산제어시스템들이 단순히 관널운전을 대신하는 형태의 분산제어시스템 설치에 그친 측면도 있었으나, 한편으로는 화학공정의 운전을 컴퓨터로 하였던 경험과 수치화된 운전데이터, 그리고 전산제어시스템의 기반이 마련되었다는 점에서는 일단 긍정적 측면이 있다고 하겠다.

화학공정의 전산제어시스템이 하드웨어적으로 기반을 갖추에 따라 이제 나가야 할 방향이 소프트웨어적인 상위레벨의 제어시스템 구축이라는 어렵지만 명확한 목표를 설정할 수 있다는 점에서 화학공정의 전산제어기술은 계속적으로 발전하고 있으며 전망은 밝다고 하겠다. 온라인으로 적용이 가능한 모델링 기술의 발전과 기능이 뛰어난 Solver의 개발은 최근들어 급진전을 보이고 있으며 상업용 최적화 패키지들이 등장하여 다수의 실제 공정에 적용되어 효용성을 입증하기도 하였다. 공정의 안정화 및 단위공정 최적화용 예측 제어 기술은 이미 성숙단계에 진입하였으며 실제 공정에의 적용에는 수백건에 이르고 있다. 현재까지 순수 국내 기술에 의한 수건의 상위제어 적용실적이 보고된 상태이기도 하다.

그러나, 화학공정의 제어는 기초제어 상황이 원활하지 않으면 상부제어가 형성될 수 없으므로, 공정의 원활한 운전과 직접적 관계에 있는 PID제어기에 의한 기초제어구조를 튼튼히 한 후에 차례차례 계층별 제어구조의 계단을 밟고 올라가야만 성공적인 전산제어시스템의 구축이 가능한 것이다. 화학공정의 전산제어시스템은 하드웨어와 소프트웨어의 완벽한 조화없이는 성공을 기대하기 어려우며 한 번의 프로젝트에 의하여 외부에서 제어용 소프트웨어 패키지를 도입하고 전산제어시스템 하드웨어를 아무리 멋있게 갖추어도 명확한 공정의 이해와 꾸준한 노

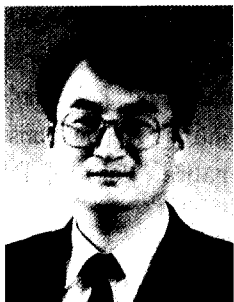
력없이 진정한 전산통합생산을 기대하기 어려울 것이다. 자체 인력을 통하여 다양한 특성을 가진 화학공정을 이해하고 이를 바탕으로 제어구조를 형성한 후 적절한 하드웨어를 도입하고 제어용 프로그램을 직접 작성해가면서 전산제어시스템을 구축해야만 유지보수까지가 가능한 진정한 의미의 전산제어시스템을 구축하게 될 것이다.

### 참고 문헌

- [1] Williams, T.J., The Purdue Reference Model for Computer Integrated Manufacturing: An Aid to CIM Implementation, Paper 23a, AIChE National Meeting, Houston, March (1991)
- [2] Richalet, J., A. Rault, J.L. Testud, and J. Papon, Model Predictive Heuristic Control: Applications to Industrial Processes, Automatica, Vol. 14, P. 413 (1978)
- [3] Pekny, J., V. Venkatasubramanian, and G.V. Reklaitis, Prospects for Computer-Aided Process Operations in the Process Industries, Computer-Oriented Process Engineering, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam (1991)

- [4] Puigjaner, L., A. Huercio and A. Espuna, Batch Production Control in a Computer Integrated Manufacturing Environment, J. Proc. Cont., vol. 4, no. 4, P. 281 (1994)
- [5] 박선원, 이석호, 정유 및 화학공정산업에서의 컴퓨터 통합생산, 화학공업과 기술, vol. 8, no. 2, P. 163 (1990)
- [6] 이동수, 이석호, 정찬설, 분산제어에 의한 다목적 회분 공정의 설계, 화학공업과 기술, vol. 6, no. 4, P. 421 (1988)
- [7] McCarthy, J.J., R.P. Ruckman, The Application of the CIM Reference Model to a Continuous Process Plant, Advanced Control in Computer Integrated Manufacturing, Purdue Research Foundation, West Lafayette, Indiana (1990)
- [8] Jung, C.S., K.K. Noh, S. Yi, J.S. Kim, H.K. Song, and J.C. Hyun, MPC improves reformer control, Hydrocarbon Processing, April, P. 115 (1995)
- [9] Shah, S.L., C. Mohtadi, and D.W. Clarke, Multivariable Adaptive Control without a Prior Knowledge of the Delay Matrix, Systems and Control Letters, 9, P.295 (1987)
- [10] Lee, K.S., S.H. Bang, S. Yi, J.S. Son, and S.C. Yoon, Iterative Learning Control of Heatup Stage for a Polymerization Reactor, Proceedings of PSE, Kyungju (1994)
- [11] Yi, S. and S. Park, Fuzzy Learning Control : Application to an Industrial Polymerization Reactor, Proceedings of 5th International Fuzzy Systems Association World Congress, July, Seoul (1993)
- [12] Soroush, M. and C. Kravaris, Nonlinear Control of a Batch Polymerization Reactor : an Experimental Study, AIChE J., 38(9), p.1429 (1992)
- [13] Darby, M.C., and D.C. White, On-line Optimization of Complex Process Units, Chemical Engineering Progress, Oct., P.51 (1988)
- [14] Moshedi, A.M., H.Y. Lin, and R.H. Luecke, Rapid Computation of the Jacobian Matrix for Optimization of Nonlinear Dynamic Process, Computers and Chemical Engineering, vol. 10, no. 4, P. 367 (1986)
- [15] Agrawal, S.S., Integrate Blending Control, Optimization and Planning, Hydrocarbon Processing, Aug., P.129 (1995)
- [16] Mah,R.S., Process Data Reconciliation and Rectification in Chemical Process Structures and Information Flows, Butterworths Publishers, Boston, P.385 (1990)
- [17] Stanley, G.M., Experiences Using Knowledge Based Reasoning in Online Control Systems, IFAC Symposium on Computer Aided Design in Control Systems, Swansea, UK, July (1991)
- [18] Lasdon, L.S., and T.E. Baker, The Integration of Planning, Scheduling, and Process Control, Proceedings of the third International Conference on Chemical Process Control, M. Morari and T.J. McAvoy (eds), CACHE/Elsevier (1986)
- [19] Rijnsdorp, J.E., Integrated Process Control and Automation, Elsevier Science, Amsterdam (1991)
- [20] 김광은, 세계일류의 화학공장 자동화 시스템, 화학공업과 기술, vol. 8, no. 2, P. 141 (1990)

## 저 자 소 개



### 이 석 호

1980 한양대 화공과 (학사).  
 1982 한국과학기술원 화공과 (석사).  
 1994 한국과학기술원 화공과 (박사).  
 1980-현재 삼성엔지니어링(주)  
 공정팀장  
 (135-280) 서울 강남구 대치동  
 946-1 글라스타워

TEL. 02)3458-3661 / FAX. 02)3458-4019.



### 정 찬 설

1982 한양대 화공과 (학사).  
 1985 오하이오 주립대학교  
 화공과 (석사)  
 1986-현재 삼성엔지니어링(주)  
 공정팀 선임엔지니어  
 1993-현재 KIST 고려대 화공과  
 학연박사과정

(135-280) 서울 강남구 대치동 946-1 글라스타워.  
 TEL. 02)3458-3660 / FAX. 02)3458-4019.