

CASE 기술동향 단편

- 실시간 운영체제 기술 동향
- 컴퓨터 통합 생산을 위한 공장 구조
- 초소형 인공위성의 연구 전망

실시간 운영체제 기술 동향

컴퓨터 기술이 획기적으로 발전함에 따라 그 사용영역이 CNC, 통신장비 등의 제어 시스템에서부터 양방향 TV(Interactive TV), PDA 등과 같은 멀티미디어 시스템에 이르기까지 시간성을 띠는 모든 시스템으로 확장되고 있다. 그러나 현재 실시간 시스템 개발을 위한 설계환경은 매우 열악하여 시스템 개발과 유지 보수에 많은 시간과 노력이 요구된다. 더구나 최근 들어 보다 복잡한 멀티미디어 응용분야에서 실시간성을 요구함에 따라 이들을 위한 효과적인 개발 환경이 필요하게 되었다. 이와 같은 요구를 충족시키고 실시간 및 멀티미디어 프로그램들을 효과적으로 수행시키기 위해서는 실시간 운영체제의 개발이 필수적이다. 최근의 실시간 운영체제 개발의 동향을 살펴본다.

이미 실시간 운영체제의 개발을 지원하기 위한 IEEE의 표준안인 POSIX 4와 POSIX 4a가 제안되었으며, 국제 표준으로 자리잡게 될 것이다. POSIX 4는 기본 실시간 시스템을 위한 제안이며, POSIX 4a는 쓰레드를 위한 확장 제안이다. 현재 개발되고 있는 많은 실시간 운영체제들은 POSIX에서 제안하는 인터페이스를 따르려 노력하고 있다. 현재 상용화되어 있는 실시간 운영체제들 중 현재 대표적으로 사용되는 상용운영체제들에는 LynxOS, QNX, VRTX, 그리고 VxWorks 등이 있으며, 각각의 특징을 간략하게 살펴보면 다음과 같다.

- LynxOS : 대형 커널이며, 우선순위에 기반한 선

점형 운영체제로서 UNIX 호환된다. POSIX와 호환성이 있으며, 파일 시스템과 윈도우, 네트워킹 등과 같은 기능을 지원한다. Motorola, Intel, Sun, Hewlett Packard 등의 환경을 지원한다.

- QNX : 대형이며, 우선순위에 기반한 선점형 실시간 운영체제이다. 확장가능(scaleable)하며, 다중 사용자 환경을 지원한다. UNIX/POSIX와 호환되며, Intel 80286/386/486 상에서 동작한다.

- VRTX, VRTX32, VRTXsa : 소형이며, 우선순위에 기반한 선점형 실시간 운영체제이다. 네트워킹과 파일 시스템을 위한 add-on을 사용할 수 있다. VRTX의 경우 MC680x0에서만 동작하고, VRTX32의 경우는 MC680x0, Intel 80x86, 80960 그리고 National Semiconductor series 32000에서 동작한다.

- VxWorks : Wind 커널을 바탕으로 한 선점형 실시간 운영체제이며, 네트워킹과 파일 시스템을 내장하고 있다. MC680x0, MC683xx, Intel i960, Intel i386, R3000, SPARC, Fujitsu SPARCLite, 그리고 TRON Gmicro 100/200/300 등의 다양한 환경에서 동작하며, 프로그램의 개발을 위해서는 호스트 워크스테이션이 필요하다. 지원하는 워크스테이션은 Sun3, Sun4, HP9000, IBM RS-6000, DEC, SGI, 그리고 MIPS 등이 있다.

이들 실시간 운영체제들은 실시간 운영체제 자체가 가져야 할 여러 가지 특징들을 보다 효율적으로 구현하도록 하는 것뿐만 아니라, 개발자들이 보다 빠른 시일 안에 안정적인 제품을 개발할 수 있도록 하는 여러 툴킷을 제공하는 것을 그 목적으로 삼고 있다. 주문형

컴퓨터 통합 생산을 위한 공장 구조

비디오(Video-On-Demand), 양방향 TV(Interactive TV), 홈쇼핑, 게임기, PDA, 비디오폰, 가라오케 서버 등 다양한 멀티미디어 환경을 지원하기 위해서는 이러한 툴킷의 제공이 필수적이다. 여기에는 셋톱 박스(Set-top box) 개발 패키지, 비디오 서버 개발 패키지 등을 비롯하여 가정, 학교, 사업, 일반 엔터테인먼트 분야에 사용될 여러 종류의 내장 멀티미디어 응용 프로그램 개발을 위한 툴킷 등이 포함된다. 이러한 기술들을 바탕으로, 실시간 응용프로그램을 통합적으로 개발, 테스트, 유지할 수 있는 시스템들이 개발되고 있다.

한편, 여러 대학과 연구 기관에서 실시간 통신 프로토콜(real-time communication protocols), 실시간 database, 실시간 programming language, 분산 실시간 시스템, 실시간 그래픽스 등의 분야에 대한 연구를 수행하고 있으며, 이러한 기술들과 실시간 운영체제를 접목시키려는 노력을 추진하고 있다.

- 담당 편집위원 :

홍성수 교수(서울대학교 전기공학부) -

제조산업에 있어서 경쟁력확보를 위하여 전략적으로 CIM을 도입하였거나 도입중인 기업이 많다. 그러나 CIM의 적용에 있어 기대치 만큼 효과를 보지 못하고 있는데, 이는 하드웨어 상응하는 소프트웨어의 개발 및 유지비용이 많이 소요되며 제조시스템을 구성하고 있는 하부시스템간의 요구되는 통합이 효과적으로 이루어지지 못하기 때문에 발생된다. Smith et. al의 연구에서는 제조시스템에서 효과적으로 각 단위 시스템간의 통합을 이루며 동시에 컨트롤러 소프트웨어 비용을 감소시킬수 있는 제조현장중심의 컨트롤 소프트웨어 (SFCS; Shop-Floor Control System)개발방법론을 제시하였다.

Smith et. al의 연구는 SFCS을 위하여 제조시스템을 shop 수준, workstation 수준, equipment 수준으로 고려한 계층적 구조를 제안하였다. 또한 각 수준에 있어서 필요한 제어 활동을 planning, scheduling, execution 으로 나누어 SFCS에 대하여 대응시켜 분석했다. 이를 요약하면 아래의 표와 같다.

- 인용처: Smith, J. S.외,

IIE transactions(1996) 28, 783-794 -

- 담당 편집위원 :

임 석철 교수(아주대학교 산업공학과) -

	Planning	Scheduling	Execution
Equipment	· 작업 계획	· 각 개별작업에 대한 시작/완료 시간을 결정 · 복수개 부품을 가공할 때, 부품의 처리순서를 결정	· 부품가공을 초기화하고 모니터링하기 위한 각 기계컨트롤러와 상호작용
Workstation	· workstation를 통한 부품의 이동경로 결정 · 기계의 고장시 신속히 대처하는 계획	· workstation에서 각부품을 작업할때 시작/완료 시간을 결정	· 부품을 할당,제거하고 각 비의 활동을 동기화 시키기 하여 equipment 컨트롤러와 호작용
Shop	· 부품 order를 운송장 및 workstation 능력에 맞 분리 · workstation 간에 공통	· 각 workstation에 대한 부품배치의 시작/완료 시간을 결정 · 공유하는 tool에 대한 배달 스케줄링	· workstation과 상호작용 · 자원관리와 상호작용

초소형 인공위성의 연구전망

방효충

한국항공우주연구소 무궁화 위성 그룹

최근 활발히 진행되고 있는 미세기술(Micro/nano-technology)이 기계나 전기/전자 분야는 물론 향후 초소형 인공위성의 개발로 연결될 전망이다. 현재 미국에서는 기존의 대형 인공위성에 소요되는 막대한 개발비를 절감하고 효율적인 인공위성의 개발을 위해 미세기술을 이용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 미국 NASA 산하의 JPL(Jet Propulsion Lab) 연구소에서는 종래의 하드웨어 기술을 MEMS (Microelectromechanical Systems) 기술과 연결시켜 소형 인공위성을 개발하는 연구를 추진하고 있다. 기존에 일부 진행되어왔던 소형 인공위성 개발은 주로 대학교 위주로 연구차원에서 추진되어왔으나 최근에는 국가적인 차원의, 그리고 실제적인 임무를 수행하기 위한 인공위성 개발사업에 소형 인공위성이 이용될 전망이다. 소형 인공위성은 다시 크기에 따라 소형 위성(microsatellite), 초소형 위성(nanosatellite), 극초소형 위성(picosatellite)으로 분류될 수 있다.

Nanosat이라 불리는 직경과 높이가 약 10cm 크기의 초소형 인공위성은 약 1W의 전력을 소모하면서 통신 임무를 수행할 수 있다. 이러한 Nanosat은 실리콘으로 제작된 위성체 자체의 탑재 컴퓨터, 기억장소, 전력 제어장치, 관성센서, 모뎀, 수신기 및 발신기 등을 포함한 명실상부한 위성체 시스템을 갖추게 된다. 일부 위성은 자세제어 결정 및 제어 모듈을 별도로 장착하기도 한다. 대부분의 장치들은 미세기술이 적용되며 주로 실리콘 웨이퍼를 가공하여 구현된다. 기존의 대형위성들은 복잡한 지상 관제시스템을 필요로 하고 운용에 막대한 경비가 드는 반면 초소형 위성은 지상관제소의 제어 없이 대부분의 임무를 수행할 수 있는 자동화 기능이 대폭 강화된다.

이러한 초소형 위성들은 자체의 태양 전지판 이외에 탑재 배터리에 의해서도 상당 기간 임무를 수행할 수

있게된다. 물론 위성의 형태로 인하여 대량 생산이 가능하고 1회 발사때 수십 내지 수백 개를 동시에 궤도상으로 발사할 수 있다. 탑재 안테나의 종류에 따라서 초소형 위성들은 다양한 통신 임무는 물론 음성, 비디오 신호 및 데이터 전송의 임무에 이용될 수 있다. 또한 약 2m 직경의 지상 안테나를 이용하여 지구정지궤도(36500km 상공)의 초소형 위성과 통신할 수 있을 것으로 전망된다. 또한 하나의 초소형 위성이 10cm 직경의 탑재 안테나를 이용하면 5GHz의 주파수로 0.5W의 전력을 소모하면서 아날로그 음성신호를 전달할 수 있다. 무엇보다도 초소형 위성의 최대 장점은 수천 개로 이루어진 위성군(constellation)을 형성하여 기존의 몇 개로 이루어진 위성군이 갖는 단점을 보완할 수 있다는 점이다. 기존의 위성군에서는 일부 위성에 고장이 발생할 경우 대체위성의 개발에 막대한 비용 및 시간이 소비될 수밖에 없다. 또한 각 위성에서 발생하는 안테나의 출력을 조정하여 전체 초소형 위성군에서 발생하는 출력을 임의로 조절할 수 있는 장점도 있게된다.

저 궤도 인공위성의 수명은 대부분 대기와의 마찰로 인한 고도의 감소와 이를 보충하기 위한 재추진에 필요한 탑재 연료에 의해 결정되는데 초소형 위성의 경우 크기가 작아서 대기 마찰효과가 적고 따라서 보다 긴 수명을 보장할 수 있는 장점도 있다. 통신용 임무 이외에 초소형 위성은 우주 및 지구환경, 기상관측의 임무에 일종의 센서로서 응용될 수도 있다. 초소형 인공위성의 개발과 응용은 앞으로 더욱 활발할 것으로 예상되며 타 산업분야로의 파급효과도 기대된다. 현재의 개인용 컴퓨터가 일반적인 것처럼 머지않은 미래에 지구정지궤도에 주먹만한 크기의 개인용 위성을 보유할 때가 올 것이다.

참조 : Aerospace America - October, 1996.

CASE 기술동향 분석 (1)

실시간 최적화 기술

이성제, 한종훈

포항공과대학교 화학공학과 지능자동화연구센터

1. 서론

현재의 정유 및 석유화학 사업은 수요의 변화, 에너지 비용의 증가, 원료의 가격 상승, 운전비용의 상승 그리고 환경 규제 강화 등 다양한 주위 상황 변화에 접하여 대외 경쟁력을 높이고 이득을 최대화하도록 해야 하는 시점에 있다. 이를 해결하기 위한 공정 개선 방법으로는 새로운 설비를 도입하거나 기존 설비를 고치거나 기존의 공정 설비 및 장치를 최대한 이용할 수 있도록 조업 조건을 설정해 주는 방법 등이 있다. 그러나 이중 현실적으로 적은 비용으로 짧은 시간 내에 공정의 생산성을 향상하는 방법은 다양한 환경 하에 공정이 유연하게 대처하도록 실시간으로 최적 조업 조건을 설정해 해주는 것이라고 할 수 있다. 실시간 최적화(Real time optimization 또는 On line optimization)는 주어진 조업 영역 내에서 최적화 가능 변수들을 잘 조절하여 운전함으로써 공장의 이익을 최대화하거나 성능을 최대화하는 감독 제어(Supervisory control) 시스템이다. 실시간 처리와 피드백 기능을 통해 모델링과 최적화 기술을 가능한 조업중인 프로세스에 가깝도록 할 수 있다. 이러한 기능을 수행하는 실시간 최적화 시스템에서는 약간의 조업 조건을 향상시키기만 해도 기대할 수 있는 경제적 이윤은 매우 크다[1]. 정유 및 석유화학 공정을 중심으로 적용되어온 80년대 초기에 실시된 실시간 최적화 기술은 신뢰도가 낮아 대부분이 조업자들의 경험에 의존하여 가능성을 제시하는 수준으로 이용되거나 아예 고급 제어 프로젝트에서 제외되

었다[2]. 그러나 최근에는 조업 조건을 향상시키기 위해 여러 가지 방법들의 시도와 더불어 화학 공장에서의 CIM 기술 발전과 컴퓨터의 처리속도 향상 등에 따라 관련 기술들이 체계화되면서 여러 상용 패키지들이 출현하고 있을 뿐 아니라 변수가 많은 큰 규모의 공장들에 적용되어 좋은 결과를 보여주는 등 성공한 사례들이 발표되고 있다.

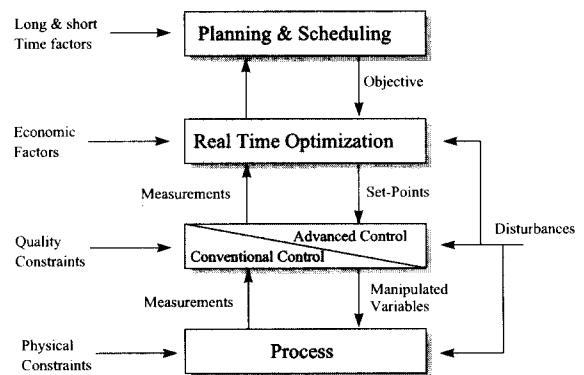


그림 1. 일반적인 CIM의 구조.

2. 공정 산업을 위한 CIM과 실시간 최적화

실시간 최적화 기술이 적용 가능하게 된 화학 공정에서의 CIM 구성부터 먼저 살펴보면 다음과 같다. 자동화가 잘 구현된 화학 공정의 전산통합생산시스템의 제어 시스템 체계는 공정으로부터 관리에 이르기까지 몇 단계로 나누어 볼 수 있는데 그 구조는 프로세스 컨트롤 단계, 최적화 단계, 그리고 스케줄링과 계획 단계를 필수적으로 포함한 계층적 구조를 이루고 있으며

Company	Product Name
Adersa	HIECON (Hierarchical Constraint Control) PFC (Predictive Functional Control) GLIDE (Identification package)
Aspen Tech	DMCplus {DMC(Dynamic Matrix Control) + SMCA(Setpoint Multivariable Control Architecture)}
Honeywell Profimatics	RMPCT (Robust Model Predictive Control Technology) PCT (Predictive Control Technology)
Treiber Controls	OPC (Optimum Predictive Control)
Dot Products	STAR (Multivariable Process Control)
선경건설	CIMPA (Controller Implementation by Model Predictive Algorithm)

표 1. 모델 예측 제어 패키지.

그림 1과 같다. 계층적 구조를 이루고 있는 제어 시스템 체계는 각 단계들마다 고려해 주어야 하는 제약 조건과 주된 요인들이 다르고, 외란(disturbance)의 발생이 다르기 때문에 공정을 최적으로 조업하기 위한 결정 값들 또한 달라진다[3].

이러한 계층적 구조는 하위 단계의 성능이 상위 단계의 결정에 의해서 변화되지 않고 독립적이어서, 전체적인 공장의 효율을 높이기 위해서 설정된 실시간 최적화 단계의 결정은 그 하위 단계인 컨트롤에서 미리 설정해 둔 제품의 품질을 변화시키지는 않는다. 그리고 최적 운전을 하기 위한 조업 조건을 계산하는 데 필요한 컴퓨팅 시간을 분배시킴으로써 짧은 시간 내에 필요한 최적 포인트를 찾아내는 것이 가능하다[3]. 예를 들면 최적화 모델이 크거나 최적화 루틴에서 많은 계산량이 부과되어 최적점을 찾아내는데 시간이 오래 걸리는 경우 하위 단계인 컨트롤 단계와 다른 하드웨어를 구성하여 최적화 기능을 분리해 빠르게 수행할 수 있다.

2.1 프로세스 컨트롤 단계

프로세스 컨트롤 단계에서는 Conventional control과 Advanced control로 구성되어 있는데, Conventional control이 일반적으로 분산제어시스템(DCS)을 사용하여 공정 전체의 안전을 위한 감시와 생산물 품질의 목표 달성을 위한 실시간 제어를 주로 하고, 최근 고급 제어

(Advanced control) 기술의 진보로 인하여 PID Controller로는 제어하기 어려운 다변수 제어 공정이나 외란(disturbance)이 큰 공정 등에 다변수 예측제어(Multivariable predictive control)와 같은 모델을 이용한 제어기술을 사용하고 있다. 고급제어를 사용하여 예상할 수 있는 이익은 설정치(set point)를 제한조건에 가깝게 안정적으로 이동시켜 운전함으로써 Conventional control에서보다 제어 변수들의 값들을 향상시킬 수 있다. 고급제어시스템(Advanced control system)에서 필수적인 요소로 Real-time database가 필요한데 실시간 조업 데이터를 받아들여 저장하는 역할은 물론 설정치들(set points)의 지속적인 개선(update)을 위한 Data server로 쓰인다[4]. 주요 상용 모델예측제어 패키지들은 표 1에서와 같다.

2.2 실시간 최적화 단계

실시간 최적화 단계에서는 실시간 최적화 결과를 적용하는 방법에 따라 열린 루프(open-loop)와 닫힌 루프(closed-loop)로 구분하는데 조업자에게 결과의 적용을 간섭할 수 있는 방법을 열린 루프라고 하고 자동적으로 제어 시스템에 설정치(set-points)를 내려주는 방법을 닫힌 루프라고 한다. 그리고 Off-Line 최적화가 긴 시간 동안의 평균적인 상황을 최적화 한다면 On-Line 최적화는 분(minutes) 단위에서 일(days) 단위의 짧은 기간동안 대상 공정을 최적화 한다. 즉, 여기서 말하는

실시간이란 실행하고자 하는 조업의 새로운 결과가 적용되는데 걸리는 시간보다 더 짧은 시간 내에 계산하는 시간이다. 예를 들어 최적화 조업이 1시간에서 12시간 주기로 바뀐다면 계산 시간은 10분에서 60분 사이에 이루어져야 한다.

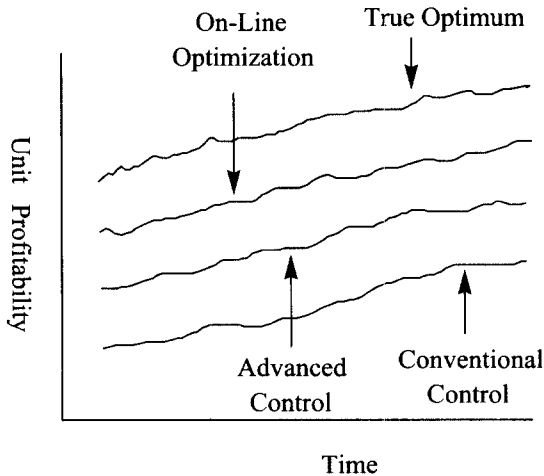


그림 2. 최적화로 얻게 되는 이익.

프로세스는 앞서 말한 여러 공장내외의 상황의 변화에 따라서 최적 포인트가 바뀌게 된다. 최신의 장비들을 가지고 통상적인 operator control을 통해 공장의 이익을 가능한 실제 최적점(True optimum)에 가깝게 할 수 있으나 변화가 많은 offset이 존재한다. 이러한 offset은 공장 상태와 시장 효과에 대한 정보의 부족뿐 아니라 공장 운전 상태의 변경과 컨트롤러들의 설정을 결정하는 어려움 사이에 생기는 economic tradeoff에 대한 조업자의 지식 결여에 의해서 생긴다.

실시간 최적화 단계에서는 프로세스로부터의 데이터와 설비의 상태 및 제한 조건 등의 완전한 지식이 갖춰진다는 조건과 현재의 시장 상황과 생산물에 대한 단기적인 수요와 가격 등에 대한 정보가 충분하다는 조건이 갖춰지면 공장에 대한 정확한 수학적 모델과 컴퓨터 시스템의 배경 안에서 경제성을 고려하여 단시간 조업 조건을 결정할 수 있다. 따라서 고급제어의 상위 단계에 실시간 최적화를 적용하여 조업이 실제 최적점에 가깝도록 한 단계 더 가능하게 하며 그때의 이익에 대한 간략한 비교가 그림 2와 같다. 실시간 최적

Company	Products
Aspen Tech	RT-OPT(Real-Time Optimization System)
Dot Products	NOVA(Nonlinear Optimization Versatile Applications)
SIMSCI	ROM(Rigorous on-line Monitoring & Optimization Technology)
Honeywell	On-line Optimization Hi-Spec Solutions

표 2. 실시간 최적화 상용 패키지.

화 패키지로는 공정모사 프로그램을 전문가 시스템 등과 연결하여 이용하는 사례도 있으나 표2에서와 같은 실시간 최적화 전문 패키지가 널리 쓰여지고 있다.

2.3 계획 및 스케줄링 단계

계획과 스케줄링의 단계는 긴 시간 동안의 공장의 생산 및 재고관리 측면에서 이뤄지게 된다. 모든 단계에서는 기본적으로 프로세스 측정치가 피드백 루프에 입력되게 되며 상위 단계에서는 하위 단계에 대한 가이드라인을 제시하게 된다.

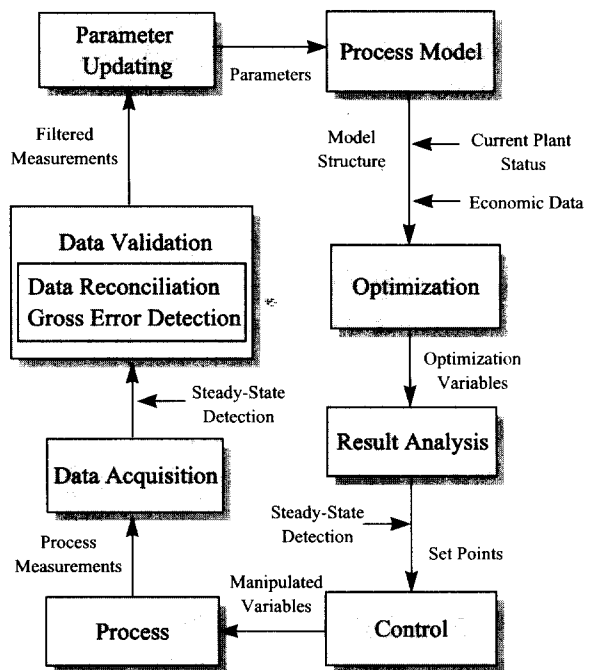


그림 3. 실시간 최적화의 일반적 단계.

3. 실시간 최적화 구성 단계

CIM 기술이 체계화된 공장에서 실행되는 실시간 최적화는 그림 3에서와 같이 프로세스로부터 데이터를 받아들이며 데이터 검증, 파라미터 및 모델 개선, 최적화, 그리고 컨트롤에 이르는 일련의 과정을 주기적으로 반복하는 시스템을 이루고 있다.

3.1 데이터 검증(Data Validation)

대부분의 실시간 최적화 적용에서 사용되는 모델은 정상상태 가정을 근거로 하므로 데이터 보정 또는 매개변수 예측이 실행되기 전에 실제 공정이 거의 정상상태에 도달했다는 것을 확인하는 것이 중요해진다. 정상상태에 도달했다는 것을 확인하기 위한 방법으로 시계열 계수들의 불변성을 포함해서 여러 측정치들이 평균값을 중심으로 일정한 범위 내에서 한정되는 것으로써 정상상태에 도달하고 있다는 것을 확인할 수 있다.

그런데, 이런 정상상태의 확인에서 문제가 되는 것은 사실 공장 전체적인 측면에서 볼 때는 공장의 일부분이 정상상태에 도달했다고 해도 다른 부분은 정상상태에 있지 않을 수 있고 또한 정상상태에 있어도 그것과 연결된 다운 스트림쪽은 정상상태에서 벗어나는 등의 문제가 발생할 수 있다[3]. 여러 정상상태 판별법 중에서 주기 사이의 평균을 비교하는 데 사용할 수 있는 많은 통계적인 테스트들이 발표된 사례가 있다[5]. 정상상태를 감지하는 것과 실시간 최적화 연산을 수행할 수 있는 시간과의 관계를 적절히 선택하여 주기, 측정치와 한계치 등을 잘 선택해야 한다.

공정이 정상상태에 도달했는지를 확인 한 후 데이터 보정 프로그램으로 장치상의 결점이라든지 노이즈 때문에 생기는 불확실한 공정 데이터를 제거하고 확실한 데이터를 얻는다. 이러한 절차가 필요한 것은 어느 값들이 공정에 유용한 데이터인지를 분석하기 힘들고, 복잡한 공정의 경우 한 측정값은 다른 측정값에 대해 영향을 주고받아 체계적인 분석이 어려우며 측정 장치의 오류와 공정상에 생기는 필연적인 오차도 포함되어 있기 때문이다[6]. 그리고 측정을 중복되게 하는 경우도

배제할 수 없다. 이러한 데이터들이 오차를 포함하고 있을 경우 제어는 물론 실시간 최적화는 실패할 가능성이 매우 크다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 측정된 데이터들을 체계적으로 분석하고 데이터를 선별 및 보정하는 과정이 필요하게 된다[7]. 또한 계측을 위한 장치들은 부정확한 영점 조정, 라인의 누수, 기기의 오동작 등과 같은 총계 오차(gross error)를 갖게 되는데 노이즈에 비하면 상당히 큰 오차로서 원인을 찾아 제거해 줘야 한다. 그러므로, 매개변수를 예측하기 전에 총괄 오차를 발견해서 제거해야 한다. 최근에 이에 관해 총괄 오차 감지를 위해서 개발된 많은 통계적 테스트가 소개되었다[8]. 그리고 데이터 보정과 총괄 오차 감지(gross error detection)를 동시에 고려하는데 있어 hybrid SQP방법을 써서 비선형 시스템에 적용시킬 수 있음이 발표되었고 [9], bivariate objective function과 물질 수지 및 에너지 수지의 제한 조건에 대한 비선형 문제를 푸는데 있어서 GAMS/ MINOS 등을 사용하는 방법이 제시되었다[10].

3.2 파라미터와 모델 개선(Update)

공정으로부터 얻어진 데이터를 필터링하고 유효성을 검사한 후에 신뢰할 수 있다고 가정할 경우 현재의 공정이 모델과 일치하도록 파라미터를 개선(update)하는 과정을 거치게 된다. 주요한 파라미터들로는 열전달 계수, 열교환기로부터의 열손실, 촉매의 물리적 특성 등이 있으며 파라미터들은 플랜트 설계 데이터로부터 초기값들을 얻을 수 있고, 조업이 어느 정도 진행된 데이터들을 유효성을 거친 후에 개선할 수 있다. 그러나 새로운 설비의 도입이나 시간이 지남에 따라서 파라미터들은 현저히 변하게 될 것이며, 따라서 프로세스 모델과 최적화 알고리즘이 구현된 정상상태 모사기(Aspen Plus, Hysys, ProSim)등을 이용해서 새로운 파라미터를 판단해야 한다.

이렇게 해서 개선된 모델은 실시간 최적화를 위한 필수적인 정보를 제공해주며, 성공적이면서도 긴 기간의 실시간 최적화 조업을 위해서는 자료의 유효성이 요구된다[11]. 일반적으로 유효성 점검이 만족되는 신뢰

성 있는 측정치들은 모두 모델을 최신화 시키는데 사용된다.

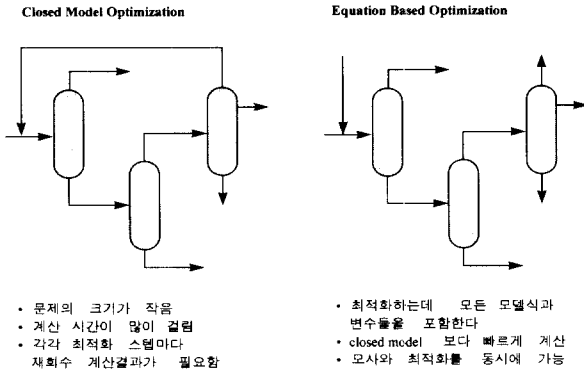


그림 4. Closed model equation과 Equation based optimization비교.

모델의 다양성	공정 설계 파라미터 조정 시뮬레이션 최적화
시뮬레이션의 효율성	수렴시켜야 할 재회수 라인이 필요 없음 컨트롤 블록이 없음 스펙을 설정하기 쉬움 heat integration이 쉬움 user-specified calculations을 적용하기 용이함
최적화의 효율성	최적화의 각 스텝마다 flowsheet가 필요하지 않음 루프를 수렴하는데 생기는 수치적인 어려움을 피하기 쉬움

표 3. Equation based optimization의 특징.

3.3 최적화

최적화의 단계에서는 공정의 제한 조건과 상위 단계의 경제성 요인을 고려하여 공정의 효율과 이윤을 향상시킬 수 있는 새로운 조업 조건을 계산한다. 일반적인 실시간 최적화 시스템에는 다른 시스템과 같이 만족해야 하는 제약식들로서 물질 수지식, 에너지 수지식, 열역학적 관계식 그리고 물리적 제약식과 그들의 도함수까지 수많은 모델들이 존재한다. 특히 이 모델들은 경제성이 고려되어야 하며 최적화 문제를 푸는 것과 직접 연관되므로 빠르게 계산이 될 수 있도록 구성되

어야 하며 정확하고 빠른 해를 찾는 최적화 알고리즘도 중요한 하나의 큰 요소가 된다. 계산된 새로운 최적화 포인트는 그 해의 결과 분석 후에 조업자의 검토를 거쳐 적절하지 못한 설정값들은 거부할 수 있도록 할 수 있으며 또 다른 방법으로 설정값들을 자동적으로 제어 시스템의 설정값이 되도록 할 수도 있다. 이렇게 해서 최종적으로 계산된 최적의 조업 조건은 각 제어 시스템의 Set-point 값들로 보내진다.

3.3.1 모델링 기술

프로세스 모델링 기술에는 flowsheet상의 각 유닛이 입력(inputs)에 의해서 결과(outputs)가 차례로 구해지는 sequential modular model로 알려진 closed-form이 있고, 총괄적인 프로세스를 나타내는 모든 식들이 한꺼번에 풀어지는 equation based model이라고 하는 open-form이 있다. Hybrid 방법도 가능하여 open-form으로 해를 구하는 동안 일부의 유닛들이 closed-form으로 계산되기도 하지만 최근에 open-form에 의한 모델링이 널리 쓰이고 있으며 그림 4에서 두 방법에 대한 특징을 비교하였다.

Open equation 모델링은 모든 모델식을 $F(X) = \text{residual}$ 의 형태로 써서 프로세스 모델들과 최적화 식들을 함께 residuals를 영(zero)으로 수렴하도록 한다 [12]. 각 모델에 대한 식들을 행렬(matrix)로 구성하고 행(row)은 식(equation)들에 열(column)은 변수들에 해당하게 되고 행렬은 Jacobian 구조를 나타내게 되는데 변수들에 대한 각 식들은 일차 편미분 행렬(first partial derivatives matrix)이 된다. 이렇게 만들어진 Open-form 프로세스 모델은 매우 드문드문(sparse)한 matrix이며 이러한 sparsity를 이용하지 않으면 부피가 큰 open-form flowsheets는 다루기 힘들어진다. 또한 ODE (Ordinary Differential Equations)로 표현되는 모델에 대해서는 collocation 방법 등을 써서 AE (Algebraic Equations)로 바꾸어 closed-form integrators를 피할 수 있으며, Open formulation에서 함수의 불연속성이 존재할 경우에 식을 다양한 재구성법을 이용해 피해야만 한다. 표 3에서는 이러한 Open

form equation으로 구성된 모델 최적화의 특징들에 대해서 나열하였다.

3.3.2 최적화 구성(formulation)

정확한 공정 모델이 설정되면 이를 바탕으로 목표를 세워 최고의 공정 이윤을 얻거나 최소의 비용을 얻을 수 있는 방향으로 조업 조건을 설정해 주어야 하는데 주로 조업 경험이나 공정 시뮬레이션을 바탕으로 최적화 문제를 구성(formulation) 할 수 있다. 이러한 최적화 문제는 크게 목적 함수와 제한 조건으로 정의된다. 일반적으로 목적 함수는 공정에서 소비되는 에너지량을 최소화하는 방향이나, 단위 소비 에너지량에 대한 생산량의 최대화 방향, 그리고 위의 두 가지를 함께 고려한 공정 이윤의 최대화하는 방향으로 구성할 수 있다. 전형적인 목적함수의 구성은 다음과 같다 [2].

$$\text{Maximize Product value} - \text{Feed costs} - \text{Utility costs} + \text{Other variable economic effects}$$

목적 함수에서 동적인 항목은 포함하지 않는 것을 알 수 있다.

효율적인 최적화 알고리즘의 문제로는 정확하고 빠르게 최적 포인트를 계산해서 최적의 조업 조건을 제시해야 한다. 최근 널리 쓰이는 비선형 최적화 알고리즘으로는 GRG (Generalized Reduced Gradient), SQP (Successive Quadratic Programming)이 있고, RSQP (Reduced Sequential Quadratic Programming)는 자유도 (Degrees of freedom)가 적은 큰 스케일의 프로세스 최적화 문제에 대해 잘 맞는다[13]. 그 다음은 최적점을 잘 찾도록 변수와 방정식들을 그들의 변하는 범위를 살펴 스케일링한다.

3.3.3 접근 방법

실시간 최적화 문제는 많은 양의 데이터와 정보, 그리고 모델 등에 의해서 상당히 커지게 되고 비선형성 또한 증가하게 되므로 이것을 실시간으로 풀 수 있는

가 하는 문제에 직면하게 된다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해서 최적화를 제약식과 목적 함수를 구성할 때 여러 가지 점을 고려하게 되고 최적화 알고리즘을 개발할 때도 많은 것을 고려하게 된다. 이와 같은 문제를 해결하고자 한 방법으로 실시간 최적화의 접근 방법에서 분산 방식(Distributed approach)과 집중 방식(Centralized approach)으로 구분한다[2]. 독립된 설비들의 운전에 대한 지역 최적화(local optimization)들로 구성된 modular 혹은 계층적 최적화 방법을 분산 방식이라고 하고, 모든 단위 설비에 대해 하나의 최적화 문제를 구성하는 것을 집중 방식이라고 하고 그림 5와 같다.

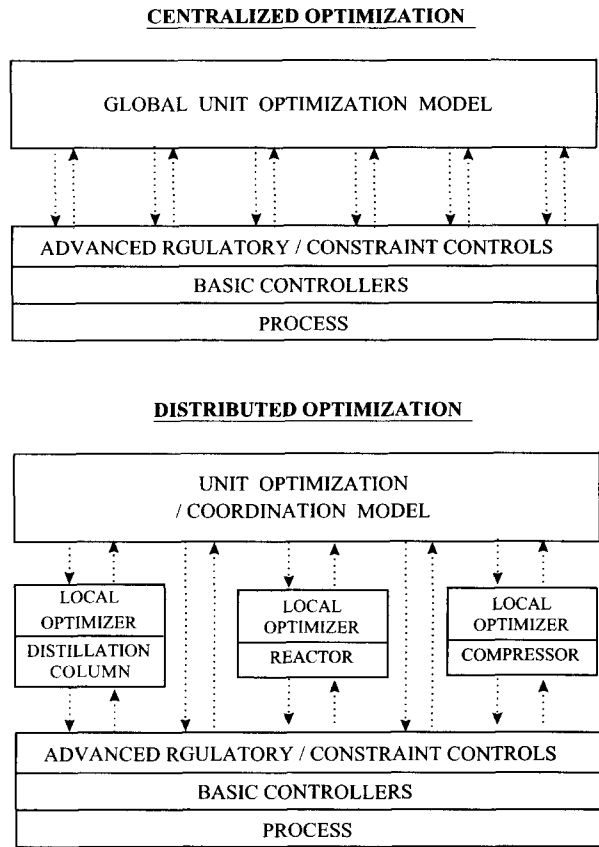


그림 5. 분산 방식(Distributed)과 집중 방식(Centralized) 최적화.

3.4 결과 분석

실시간 최적화를 하면서 프로세스로부터 많은 정보를 이용하였고, 모델이 실제 공정과 정확하게 일치하기 어려운 점, 그리고 복잡한 계산들에 따른 최적화 결과

의 부정확성 등 때문에 결과 분석의 과정에서 최적화 값들을 평가하거나 새로운 설정치로 적용할 것인가의 결정을 내리게 된다. 이때 정상상태 판별을 하여 동적인 전이 상태이거나 최적화 결과 값의 변화가 크지 않을 경우에는 공장에 적용시키지 않는다. 이렇게 해서 결과 분석이 이루어진 후에 컨트롤에 Set-point가 정해지고 프로세스로 다시 돌아가 일련의 닫힌 루프를 반복하게 되면서 실시간 최적화는 실행된다. 이러한 시스템이 정확하게 수행되기 위해서는 각 단계의 기술들이 잘 개발되어 연결되어야 한다. 이러한 실시간 최적화 간격은 바로 전에 실행되었던 최적화 루프에 의해 공정이 새로운 정상상태가 되는 시간보다는 길어야 한다.

4. 적용 사례

실시간 최적화의 적용 범위는 조업의 안전 및 제품 품질이 확보된 조건 아래서 조절 가능한 최적화 조업 변수들이 남아있을 경우, 최적화 변수들이 변할 때 이익이 많이 변하는 경우, 실시간 조절이 필요할 정도로 외란(disturbance)이 자주 발생할 경우, 그리고 몇몇 정형화된 방법만으로는 최적화 변수를 결정하기 어려울 정도로 공정이 복잡한 경우[3]에 실시간 최적화를 통해 공장의 이윤을 증가시킬 수 있다.

실시간 최적화가 적용되는 분야를 보면 단위 공정으로부터 공장 스케일까지 다양하며, 구체적으로 에틸렌 공장과 같이 여러 개의 반응기, 증류탑, 냉각 시스템과

열원 등을 갖고 있는 일반적으로 복잡한 공정의 경우 [14]등에 많이 적용되고 있다. 지금까지 실시간 최적화를 적용시켜서 최적화를 한 분야로는 에틸렌 공장[14], Olefin 공장[15] [16], 에틸렌 옥사이드 공장[17], 벤젠 공장[18], 유틸리티 공장[19], 정유공장[20]등이 있다

국외에서 Aspen Tech와 SIMSCI등이 국내의 정유 및 석유화학 공장들에 실시간 최적화 기술을 적용 중에 있고, 포항공대를 중심으로 현대정보기술(주)과 현대석유화학(주)은 대산 단지 내에 위치한 공장을 대상으로 산학연 협동 체제를 갖춰 실시간 최적화 기술을 개발 중에 있다. 또한 한국과학기술원, 선경건설 등도 기술 국산화를 위해 연구하고 있다.

5. 결론

지금까지 공정 산업에서의 실시간 최적화 기술 동향을 살펴보았다. 실시간 최적화는 다변하는 공장 환경에 안전성을 확보하여 신속하게 대처함으로써 생산물의 안정적인 공급을 할 수 있는 기술이며 전체적인 효율을 최대화할 수 있는 방법이다. 현재 이러한 실시간 최적화의 구성 요소들에 대한 연구는 물론 관련 기술 개발이 급속히 진행되고 있으며 전산통합생산 시스템이 구현된 공장에서의 적용은 필수적인 추세이다. 그런데 그 기술을 도입하더라도 설비나 공정이 바뀔 때 다시 외부에 기술이 종속되는 부작용을 생각할 수 있다. 따라서 실시간 최적화 기술을 자체적으로 보유할 수 있

YEAR	APPLICATION	USER	PROFIT
1977	Ethylene Oxide Plant	Shell Oil	ROI 50%
1983	Ethylene Plant		3-5 %
1986	Ethylene Plant	Wilton	4 M \$/yr
1988	Power Station	Texaco	2-6%
1990	Refinery	Amaco Painter	4 M \$/yr
1990	Gas Plant	Star Enterprise	4 M \$/yr
1990	Crude unit	Chevron USA	3 M \$/yr
1990	Ethylene Plant	OMV Deutschland	5-10 %
1991	Ethylene Plant	Lyondell	1-3 %
1991	Ethylene Plant	Lyondell	9 mnth
1992	Olefins Plant		

표 4. 실시간 최적화 적용 사례.

도록 보다 체계화시켜 다양한 조건에서 유연성을 갖고 적용할 수 있도록 개발해 나가야 한다.

* 본 연구를 위해 포항공대 공정 산업의 지능자동화 연구센터를 통해 재정적 지원을 해주신 한국과학재단에 감사함을 드립니다.

참고문헌

- [1] Latour, P. R., Online Computer Optimization I: What It Is and Where To Do It, Hydro-carbon Processing, vol.58, no.6, pp. 518-527, June, 1979.
- [2] Darby, M. L., D. C. White, On-Line Optimization of Complex Process Units, Chem. Eng. Prog., October, pp. 51-59, 1988.
- [3] Marlin, T. E., Andrew N. hrymak, Real-Time Operations Optimization of Continuous Processes, Chemical Process Control - V, Jan, 1996.
- [4] Macchietto, S., G Stuart, T. A. Perris, G. R. Dissinger, Monitoring and On-Line Optimization of Process Using Speedup, Computers chem. Engng., vol.13, no.4, pp.571-576, 1989.
- [5] Narasimhan, S., Chen Shan Kao, R. S. H. Mah, Detecting Changes of Steady States Using the Mathematical Theory of Evidence, AIChE Journal, vol.33, no.11, pp.1930-1933, November, 1987.
- [6] 이무호, 한종훈, 장근수, 다중 최적화 방법을 이용한 multi-component system의 데이터 보정, 화학공학의 이론과 응용, 제3권, 제1호, pp. 257-261, 1997.
- [7] 조현우, 한종훈, 장근수, 연속공정에 대한 다변량 통계적 제어 방법을 이용한 공장규모 실시간 감시 및 진단, 화학공학의 이론과 응용, 제3권 제1호, pp. 241-245, 1997.
- [8] Crow, C. M., Data Reconciliation - Progress and Challenges, Proceedings of PSE 94, pp. 111-121, Seoul, Korea, 1994.
- [9] Tjoa, I. B., L. T. Biegler, Simultaneous Strategies for Data Reconciliation and Gross Error Detection of Nonlinear Systems, Computers chem. Engng., vol.15, no.10, pp. 679-690, 1991.
- [10] Zhang, Zejun, Ralph W. Pike, Thomas A. Herwig, An Approach to On-Line Optimization of Chemical Plants, Computers chem. Engng., vol.19, Suppl., pp. S305- S310, 1995.
- [11] Forbes, J. F., T. E. Marlin, Design Cost: A Systematic Approach to Technology Selection for Model-Based Real-Time Optimization Systems, Computers chem. Engng., vol.20, no.6/7, pp. 717-734, 1996.
- [12] Gallun, S. E., R. H. Luecke, D. E. Scott, A. M. Morshedi, Use open equations for better models, Hydrocarbon Processing, pp. 78-90, July, 1992.
- [13] Schmid, C., L. T. Biegler, Quadratic Programming Methods for Reduced Hessian SQP, Computers chem. Engng., vol.18, no.9, pp. 817-832, 1994.
- [14] Lauks, U. E., R. J. Vasbinder, P. J. Valkenburg, C. van Leeuwen, On-Line Optimization of An Ethylene Plant, European Symposium on Computer Aided Process Engineering-I, S213-S220.
- [15] Fatora, F., G. Gochenour, B. Houk, D. Kelly, Closed-Loop Real-Time Optimization and Control of a World Scale Olefins Plant, AIChE Spring Meet., New Orleans, March, 1992.
- [16] Pierucci, S., T. Faravelli, P. Brandani, A Project for On-Line Reconciliation and Optimization of An Olefin Plant, Computers chem. Engng., vol. 18, Suppl., pp. S241- S246, 1994.
- [17] Larmon, F., J. Van Reusel, L. Viville, On-Line Optimization of an Ethylene Oxide Unit, Digital Computer Applications to Process Control, IFAC and North-Holland Publishing, pp. 59-77, 1977.
- [18] Krist, J. H. A., M. R. Lapere, S. Groot Wassink, R. Neyts, J. L. A. Koolen, Generic System for On-Line Optimization & the Implementation in a Benzene Plant, Computers chem. Engng., vol.18, Suppl., pp. S517-S524, 1994.
- [19] Foster, D., Economic Performance Optimization of a Combined heat and Power Station, Proceed. IMechE, vol.201, A3, pp. 201-206, 1987.

[20] Kennedy, J. P., Real-Time Refinery Optimization, Hydrocarbon Processing, pp. 57-61, April, 1989.

저자소개

이 성 제

1972년 6월 13일생

1996년 포항공과대학교 화학공학과 졸업.

1997년 5월 현재 포항공과대학교 화학공학과 석사과정.

주관심 분야는 공정 자동화, 실시간 조업 최적화 시스템.

(790-784) 경북 포항시 효자동 산31번지, 포항공과대학교 화학공학과, 지능자동화 연구센터.

TEL. 0562) 279-5967 / FAX. 0562) 279-3499, 2699.

한 중 훈

1961년 9월 1일생

1984년 서울대학교 화학공학과 졸업.

1986년 동 대학원 화학공학과 졸업(공학석사).

1994년 MIT 화학공학과 졸업(공학박사).

1987-1988년 KIST연구원.

1993년 Molten Metal Technology 선임 연구원.

1993-1995년 MIT Post-doc. 연구원.

1995년-현재 포항공과대학교 화학공학과 교수.

주관심 분야는 공정 자동화, 지능 시스템, 실시간 조업 감시 진단 및 최적화 시스템.

(790-784) 경북 포항시 효자동 산31번지,

포항공과대학교 화학공학과, 지능자동화 연구센터.

TEL. 0562) 279-2950, 279-2279 / FAX. 0562) 279-3499, 2699.

- 담당 편집 위원 :

한중훈 교수 (포항공대 화학공학과) -