

조업자 훈련을 위한 분산 교육시스템 구축

Development of a Distributed Operator Training System

°조성일, 장병무, 문 일

연세대학교 화학공학과(Tel: 361-3554; Fax:312-6401; E-mail: csi@pseys.yonsei.ac.kr)

Abstracts OTS(Operator Training System) requires computation for the systematic training in real-time. So we have developed a distributed operator training system that is composed of workstation based server and PC based user modules. Sover and OM(OTS Manager) modules are located in the workstaion server and user modules are located in PCs. User modules have DCS-like user interfaces and trasfer data with OM over the coaxial ethernet. This paper delineates a total system architecture and definition of data tranfering between OM and User module. Having applied this system to a batch process, we could anlyze operator's tasks.

Keywords YOTS, OM module, User module, Distributed system, Task Analysis

1. 서론

화학공정용 조업자교육시스템은 훈련자에게 실시간 공정운전 훈련을 제공하여 정상조업훈련 및 공정위험상황 대처훈련이 가능케 해야 한다. OTS는 실시간 훈련 상황을 제공하기 위해서 대상공정용 모사기를 사용하며 이 모사기의 계산속도가 전체 시스템의 효율성에 큰 영향을 미치게 된다. 현재 개발중인 YOTS(Yonsei OTS)는 이러한 문제들을 해결하기 위해 공정에 관련된 연산용 Solver와 OM(OTS Manager)을 컴퓨팅 속도가 빠른 서버 Workstaion에서 구동시키고 교육자와 훈련자를 위한 PC에서 네트워 통신을 이용하는 분산시스템(Distributed System)으로 구축하였다. 본 고에서는 분산시스템으로 구축된 YOTS에서 서버와 사용자간 교환되는 자료를 정의하고 대상공정을 배치프로세스로 선택하여 정상조업 훈련 단계에서 이루어지는 조업작업 분석을 중심으로 기술한다.

2. OTS의 시스템구성

현재 OTS시스템이 세계적으로 개발되고 있으며, 일부 공정에서는 이미 적용되고 있다. 시스템 구성은 DCS기반, 네트워크로 연결된 워크스테이션/PC기반, 단일 워크스테이션 기반의 크게 3가지 형태로 나누어 볼 수 있으며[1], 현재 본 연구실에서 개발중인 YOTS(Yonsei Operator Training System)는 네트워크로 연결된 워크스테이션/PC기반의 시스템 형태이다. 전체 구성 모듈은 교육자, 조업자를 위한 사용자(user) 모듈, 조업자 교육 시스템 관리자(OM : OTS Manager)모듈, 솔버(solver) 모듈로 크게 나뉘며 개발도는 그림 1과 같다.

3. OTS 모듈

3.1 OM (Operator training system Manager) 모듈

OM은 교육자에게 전체 공정을 실행, 중단, 조작, 문제제시, 훈련상황 통제, 시나리오 실행, 시나리오 구성등의 기능을 제공하고 이를 수행할 수 있는 기능을 포함해야 한다[2]. 또한 조업자의 교육 과정 분석, 교육

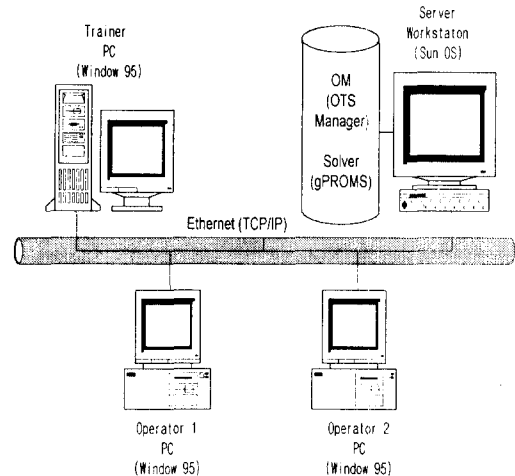


그림 1. YOTS의 시스템 구성

Fig. 1. The current system architecture of YOTS

성취도, 능력 테스트등의 기능을 제공해야 한다. 또한 각 사용자와 서버 모듈간의 인터페이스와 데이터 전송을 담당한다. 따라서 OM은 실행 초기에 각 모듈간의 인터페이스를 점검하고 사용자의 접속을 기다린후 교육자의 명령에 의해 전체 시스템을 초기화 한다.

3.2 솔버(Solver) 모듈

OTS가 현실적이고 효과적인 교육이 되기 위해서는 다양한 공정조건을 모사할 수 있어야 한다. 특히 연속, 회분공정의 Startup, Shutdown 등과 같은 많은 이산변수가 발생하는 상황을 다룰 수 있어야 하며, 가장 중요한 것은 실시간 모사가 가능하도록 해를 구하는 속도가 빨라야 한다는 점이다[3]. 솔버의 경우 직접 만들어서 사용하는 경우와, 일반 범용 솔버를 사용하는 경우, 화학공정용 전용 동적모사기를 이용하는 세가지 방법으로 크게 나누어 볼 수 있다. 본 연구에서는 영국 임페리얼 칼리지에서 차세대 모사기로 개발중인 gPROMS(General PROcess Modeling and Simulation)라는 동적 모사기를 솔버로 사용한다. gPROMS는 정의언어(Definition Language)기술 방식의 동적 모사기로써 해의 수렴속도가 빠르고, 공정의 기술이 용이하며, 다양한 이산시간

을 처리할 수 있는 장점을 가지고 있다.

3.3 조업자, 교육자 인터페이스 모듈

OTS의 효율적인 교육을 위해서는 조업자에게 실제 DCS와 유사한 형태의 교육환경을 제공하여야 한다. 현재 대부분의 DCS는 그래픽 유저 인터페이스 환경이며, 따라서 YOTS에서는 PC 윈도우 기반의 화면에서 DCS와 유사한 GUI(Graphic User Interface) 환경을 제공한다. 교육자의 경우 공정의 그래픽 부분만이 아니라, 전체 공정을 조절하는 기능과 조업자의 훈련상황을 관리할 수 있는 기능이 포함되게 된다.

4. 사용자 모듈과 OM모듈간 통신 및 자료구조 정의

정상조업 훈련단계에서는 조업자가 표준조업작업에 따라 공정을 진행시킨다. 이때 교육자는 이를 모니터하며 오류가 발생할 때 이를 간섭할 수 있으며 초기에 교육자가 훈련할 내용을 선택할 수 있어야 한다. OM모듈과 사용자모듈의 정보교환 개괄도는 그림 2와 같다. OM과 슬버가 위치해 있는 워크스테이션과 사용자들이 사용하는 이 기종 컴퓨터간의 통신을 위해서 양방향 통신기능이 있는 소켓(socket)을 이용하였다[4].

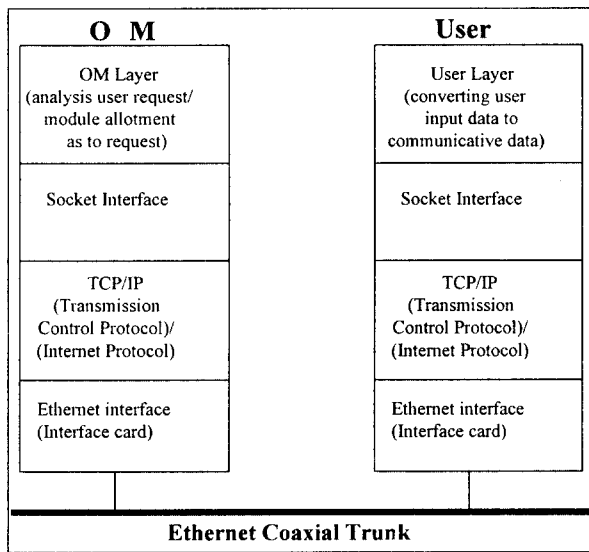


그림 2. OM과 User 모듈간 통신 계층도

Fig. 2. Communication hierarchy between OM and User

초기화단계에서 OM서버는 비활성소켓(passive socket)을 생성하고 사용자의 연결요청이 들어올때까지 기다렸다가 연결을 완성한다. 상호간의 통신이 가능해진 이후에는 OM은 다음의 과정을 따라 연결된 사용자에 필요한 자원들(resources)을 배당한다.

- 연결이 이루어진 사용자를 교육자와 조업자로 구분하여 확인한다
- 교육자와 조업자가 모두 등록된 이후에는 필요한 자원(공유 메모리, 교육자데이터, 조업자 데이터, 필요한 슬버의 갯수, 모사 데이터, 평가 데이터)을 할당한다.
- 교육자의 입력과 조업자의 입력을 받아들여 이를 분석하여 필요한 모듈을 실행시키거나 명령이나 결과를 사용자모듈에 전달한다.

교육자의 경우 전체 시스템을 관리하는 포괄적인 기능을 담당하므로 초기 등록과 정상조업시 사용자가 전달하는 데이터가 세분화 되므로 사용자중에서 교육자 전달데이터 구조[5]를 중심으로 살펴보면 표1과 같다. 표중 굵은선 안의 데이터는 교육자에게

추가되는 데이터이다 초기 접속시 사용자는 사용자 확인에 필요한 데이터를 OM으로 보내고 OM은 자신의 데이터 베이스와 비교하여 사용자의 등록, 갱신 등을 수행한다. 이후의 과정에서는 교육자는 조업자 훈련단계(training session)의 선택, 훈련과정(training course)의 선택 등 교육에대한 선택을 임의로 할 수 있어야 하며, 훈련도중 각 조업자의 상태를 임의로 조절할 수 있어야 한다. 따라서 OM으로 전달되는 데이터는 교육훈련에 필요한 데이터와 공정모사에 관계된 데이터로 구분된다. OM에서 사용자에게 보내는 데이터는 대상이 교육자인 경우 조업자의 현재 상태를 표시하는 정보가 포함되게 되며 공정상태에 대해서는 조업자에 따른 복수의 데이터가 존재하게 된다.

표 1. 사용자모듈과 OM모듈간의 통신 자료구조

Table. 1. Data structure transferring between OM and User

sending data from user to OM		sending data from OM to User	
user identification	user id, password	operator identification (instructor only)	operator id
	description, date		present training session
	change to operator (instructor only)		
training session	present training session	present training course	present training course
	present training course		
process status	time	process status	time
	simulation time increment (Δt)		model status
	process status		var1
	unit num		var2
	task num		var3
	specified value		...

5. 조업작업 분석(Task Certification)

OTS의 교육과정은 크게 설명 단계, 공정운전 단계, 이상진단 단계의 3부분으로 나누어져 있는데 이 중 특히 공정운전 단계와 이상진단 단계에서 조업자가 조작한 내용이 조작 순서나 시간에 해당한지를 분석하는 것이 필요하게 된다. OTS는 단순한 동적 모사시스템이 갖춘 동적 모사기능뿐 아니라 효율적인 교육이 가능하기 위해 조업자를 대상으로 한 다양한 교육과정의 개발과 그에 따른 평가, 그리고 그러한 교육결과를 다음 교육에 재적용 시키는 기능이 반드시 있어야 한다. 이러한 기능이 이루어지기 위해서는 그 교육과정에서 목표로 하는 교육 목표에 맞춘 표준조작을 미리 만들어놓고 조업자의 조작이 이러한 표준조작에 얼마나 벗어났는가를 분석할 수 있어야 OTS를 통한 훈련성과의 분석과 조업자의 조작에 대한 평가를 할 수 있다.

5.1 조업작업의 특성

일반적으로 공정의 조작 계층단계는 operation, phase, control step의 단계로 나누어진다(표 2). 조업자가 조작한 일련의 작업

(task)들은 control step에 해당하므로 이러한 조작을 기준에 만들어져 있는 표준 조업작업과 비교하기 위한 기본적인 규칙은 아래와 같다.

[기본 규칙 1] phase를 진행하는 동안 다른 phase의 control step을 실행하면 오류로 간주한다.

[기본 규칙 2] phase에서 필요로 하는 기본 control step중 하나 이상을 빠뜨리고 다음 phase로 넘어간 경우 그 이후의 control step은 오류로 간주한다.

특정한 경우 phase에서 필요로 하는 일련의 조작을 하지 않고 다음 phase로 넘어가도 공정 운전이 이상이 없는 경우도 있으나 OTS의 조업작업분석은 조업자에게 올바른 조작에 대한 인지도를 강화시키는데 있으며, 또한 이러한 오류가 가질지도 모르는 문제의 잠재적 심각성 때문에 이상의 두가지 규칙을 기본으로 정하였다.

표 2. 조업 작업 계층

Table. 2. Process operation Hierarchy

Operation	Phase	Control Step
Charge	Add	Open valve A to flow
...	Ingredient	Turn on pump A to flow
...		Turn off pump A to no flow

5.2. 조업작업의 분석 알고리즘

control step의 조업작업의 특성을 기준에 따라 구분하면 대기 시간에 따른 구분과 순서에 따른 구분으로 나눌 수 있다

[1] 대기시간에 따른 구분

- 어떠한 상태에 도달할 때까지 기다렸다가 실행하는 작업
- 바로 연이어서 할 수 있는 작업

[2] 순서에 따른 구분

- phase안에서 순서가 바뀔 수 있는 작업
- phase안에서 순서가 바뀔 수 없는 작업

[2]의 경우 한 phase안에서 조작 순서의 오류는 공정에 미치는 효과에 따라 아래의 세가지 형태로 분류될 수 있다.

- [1] 순서가 바뀌어도 상관이 없는 조작
- [2] 순서가 바뀌면 오류나 공정에 위험이 없는 조작
- [3] 순서가 바뀌면 공정에 치명적인 조작

6. YOTS의 적용

조업자교육시스템을 분산환경으로 구축한 뒤 서버와 사용자간의 통신이 원활이 이루어짐을 확인하는 방법으로 YOTS를 일반적인 화학공정에 적용시켰다. 선택한 공정은 배치 프로세스로서 반응물을 CSTR 반응기에 도입하고 일정 시간동안 반응을 시킨 뒤 생성물을 증류탑으로 보내 생성물을 분리하는 공정이다. 이 공정에 대해서 조업자 교육 환경을 구축하기 위해서는 공정을 모델링하여 슬비로 하여금 모사할 수 있도록 해야한다. 또한 사용자 화면을 구성하고 서버와 PC간 통신을 통해 사용자가 입력한 작업들에 대해 공정 계산을 하여 그 결과를 각 사용자 화면에 출력한다. 정상조업 훈련단계에서는 주어진 운전 지침에 의해 조업자가 실제로 공정을 운전하게 되며 조업자의 작업에 대한 분석이 이루어지게 된다. 그림 3은 YOTS를 적용시킨 대상 공정에 대한 것이다.

6.1 공정 설명

대상공정은 두 부분으로 나뉜다. 첫 번째는 회분 반응기 내에서 일어나는 반응에 관한 조업 훈련이고 두 번째는 반응기에서 생성된 생성물을 성분별로 분리하기 위해 회분 증류탑으로 보내 각 성분별로 분리하는 공정에 대한 조업 훈련이다. 일련의 조업 순서와 운전 조건들은 공정선택 시 화면으로 조업자에게 제공되며 이에 따라 조업자는 주어진 화면을 대상으로 작업을 하게 된다.

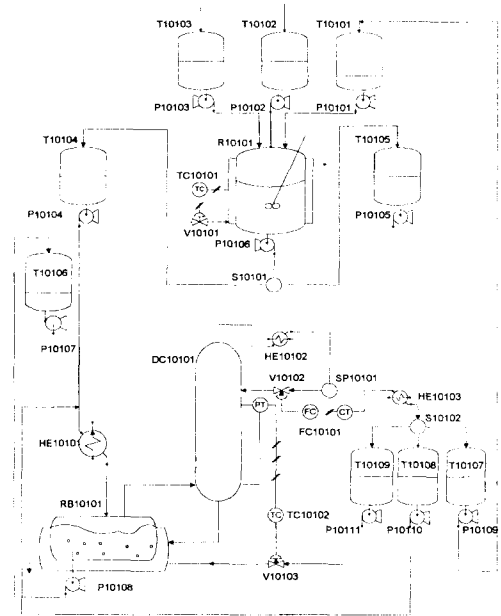


그림 3. YOTS 대상 회분 공정

Fig. 3. Batch process applied to YOTS

6.2 사용자 화면 구성 및 서버와의 연결

정상조업 훈련단계 및 이상상황대처 훈련단계를 위한 사용자 화면을 아래 그림과 같이 구성한 후 정상조업 훈련단계일 경우에 서버 Workstation에 있는 OM과 연결을 시도하여 일련의 조업작업에 해당하는 자료를 서버에 전달하고 계산된 결과를 화면에 출력하게 된다. 그림 4는 정상조업 단계에서 서버와 연결된 상태를 보여주는 화면이다.

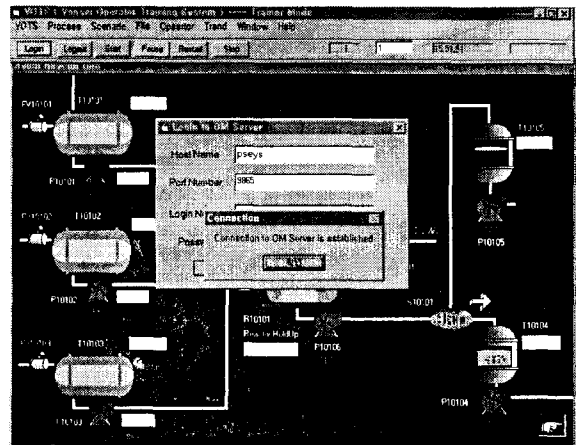


그림 4. 서버에 연결된 화면

Fig. 4. Server connection display

6.3 정상조업 훈련단계

정상조업 훈련단계에서는 조업자가 주어진 운전 조건을 고려하여 실제 공정을 운전할 수 있다. 다음 화면은 훈련시 제공되는 사용자 인터페이스이다.

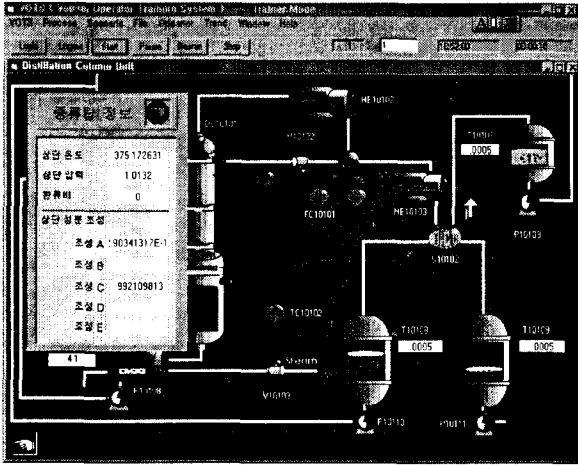


그림 5. 정상조업 훈련단계 화면

Fig. 5. Normal operation training session display

6.4 조업작업 분석

정상조업 훈련단계에서 조업자의 공정 운전에 대해서 표준 조업작업을 토대로 하는 조업분석 알고리즘에 조업작업이 바른 것 인지 분석하고 그 결과를 화면에 나타낸다. 그림 6은 일련의 조업작업에 대한 순서적인 도시와 이 작업들에 대해서 알고리즘에 의한 분석 결과를 보여준다.



그림 6. 조업작업 분석 화면

Fig. 6. Task analysis display

7. 결론

OTS를 통하여 조업자를 효과적으로 교육시키기 위해서는 실시간 훈련이 가능해야 하며 이를 위해서는 수행속도가 빠른 서버급 컴퓨터에서 공정 모사를 수행하고 전체 시스템 관리에 필요한 OM을 이용하여 각 모듈간 통신을 원활하게 유지하는 것이 필수적이다. YOTS는 이러한 조업자교육시스템의 요구조건을 만족시킬 수 있도록 전체 시스템 수행속도에 영향을 미치는 모사기와 OM을 Workstation에 위치시키고 사용자들 PC에 위치시키

는 분산시스템을 구축하였다. 분산시스템의 이점을 최대한 살리기 위해서는 두 시스템 사이의 통신이 원활해야 하며 YOTS는 소켓을 이용하여 통신을 구현하였다. 이 시스템을 회분 공정에 적용해 보았으며 그 결과 실시간 훈련이 가능하였으며 교육 내용에 있어서도 조업자의 운전 능력을 향상시킬 수 있는 조업작업 분석이 효과적으로 이루어졌다.

8. 감사의 글

본 연구는 (주)LG-Caltex정유 프로젝트의 일부로 진행되었으며 지원에 감사드립니다.

8. 참고문헌

- [1] 박선용, 문 일, "조업자 교육 시스템의 특성 및 개발", 화학공업과 기술, Vol 12(6), pp. 512, 1994
- [2] 박선용, 문 일, "회분반응 공정의 조업자 교육 시스템 개발", 한국자동제어학회, pp. 1141-1144, 1995
- [3] 조성일, 박선용, 오 민, 문 일, "조업자교육시스템에서 Solver의 구동과 모듈화", 화학공학의 이론과 응용, Vol. 2, No. 1 pp. 117-120, 1996
- [4] W. Richard Stevens, "Unix Network programming," prentice-hall, pp. 132-164, 1995
- [5] 박선용, 조성일, 문 일, "조업자교육시스템의 사용자 모듈과 OM모듈간의 전송 데이터 구조", 화학공학의 이론과 응용, Vol. 2, No. 1 pp. 157-160, 1996