

화학공장의 안전운전 해석을 위한 동적거동의 모델링

안대명, 황규석
부산대학교 화학공학과

Modeling of dynamic behavior for Safety analysis in chemical plant

Dae Myung An, Kyu Suk Hwang
Dept. of Chem. Eng., Pusan National University

1. 서론

현재의 화학공정들은 경제적인 이유 등으로 열병합시스템의 도입 및 각종 제어 알고리즘의 도입으로 복잡한 구조를 하고 있다. 이러한 공정은 운전조작에 따른 단위공정간의 간섭이나 영향 등과 같은 공정 동특성을 이해하기가 어렵다. 일반적으로 공정의 동특성을 연구하기 위해서, 상세한 비선형 모델식을 사용하여 그 해를 구하는 미분방정식형의 모델링이 주류를 이루고 있다. 그러나 이러한 방법을 사용하여 공정의 상황이나 운전자의 운전조작 등을 미분방정식으로 표현하는데 그한계를 가진다.

최근들어 기본적인 공정의 정성적인 해석에 패턴인식을 이용하여 제공된 데이터를 해석하는 경우가 소개되고 있다. 패턴인식을 이용한 방법은 데이터의 경향을 보고 이를 적당한 패턴과 비교하여 봄으로써 많은 결정을 이끌어 낼 수 있다.

본 연구에서는 기존의 방법을 지양하고, 공정의 기본적인 동적거동의 패턴을 이용하여 동적거동을 모사하는 방법을 개발한다.

2. 공정의 동적거동 모델링을 위한 기본적인 전략

공정의 입출력관계는 각 단위공정이 가지는 기능 및 특성에 따라 달리 나타나며, 일반적으로 공정의 전달함수로 표현된다. 이러한 공정의 입출력관계를 나타내는 전달함수는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\hat{y}(z)}{\hat{c}(z)} = HG_P(z) \quad (1)$$

$$HG_P(z) = \frac{y_0 + y_1 z^{-1} + y_2 z^{-2} + \dots}{c_0 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \dots} \quad (2)$$

따라서 실공정의 입출력에 대한 기본적인 DATA를 사용하면, 복잡한 미분식을 사용하지 않고도 공정의 전달함수를 구할 수 있다. 이 때, 구해진 전달함수를 이용하면 입력변화에 대한 출력을 근사화하여 예측할 수 있다. 즉, 실제의 공정거동의 패턴을 이용하여 입력변화에 대한 출력변화를 모사할 수 있게 된다.

동적거동의 SIMULATION은 SIMULATION상의 시간의 경과에 대응하여 각 변수값의 변동을 구하는 것을 목적으로 한다. 이 때, SIMULATION의 구획점(시작점과 끝점)을 EVENT라 부른다. 또 한 EVENT으로부터 조작으로 인하여 공정상태가 변경되는 SIMULATION 과정을 PROCEDURE라 부른다.(Fig.1) 즉 EVENT 시점에서 밸브의 개폐, 설정치의 변경 등의 운전조작을 행하고, 조작에 따른 동적거동을 모사할 수 있는 PROCEDURE를 선택, 실행하여 공정의 상태를 변화시켜 최종적으로 또다른 EVENT를 생성한다.

따라서 기기장치의 결합구조 및 시간의 경과에 따라 상태를 변화시켜 전체 공

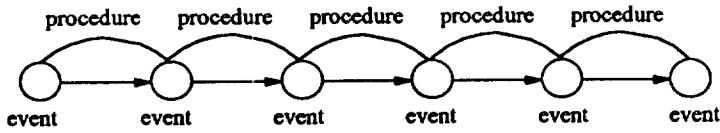


Fig.1 Event and procedure.

정의 시간별 상태를 구할 수 있게 된다. Fig.2는 시간변화에 따른 공정의 상태전이 과정을 표시하였다.

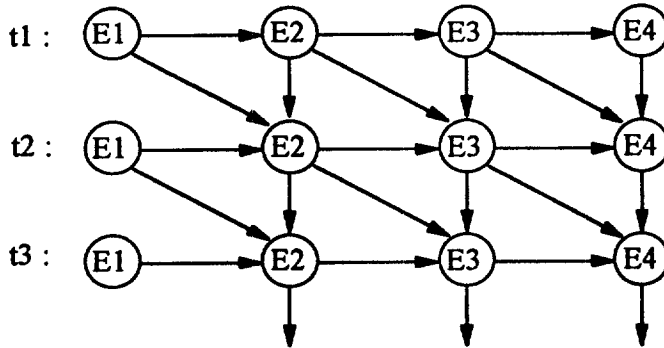


Fig.2 State transition of process for time

3. 동적거동 표현을 위한 DATA의 구조

3-1. 화학공정의 TOPOLOGY의 표현

화학공정의 TOPOLOGY는 NODE와 ARC의 유향그래프로 표현하였다. 즉, 밸브 이외의 기기장치를 NODE로, ARC는 기기장치에 연결되어 있는 파이프를 표시하고, 밸브는 대응하는 ARC상에 표시한다.

3-2 ARC와 NODE의 DATA구조

공정의 ARC와 NODE의 상태를 표시하기 위하여, 장치의 기동여부, 상태, 기능연산물을 포함하여 Table 1과 같은 DATA구조를 가진다.

3-3 동적거동 모델링을 위한 기능연산물의 구조

기능연산물은 크게 IF부, THEN부로 구분하여 다음과 같은 DATA 구조를 가진다.

1) IF 부

- ① 기능 UTILITY의 작동여부 : 각 공정이 가지는 고유의 기능을 수행하기 위하여 필요한 UTILITY의 작동여부(T/NIL)를 표시하여, 그 기능의 수행여부에 따른 공정의 상태가 달리 표현된다.
- ② 공정의 입력상태 : UNIT로 들어오는 유체의 입력상태(온도, 압력 등)로, 유체의 입력상태는 허용 운전범위(OP-CONSTRAINT에 정의)내의 정상 입력조건과 이를 벗어나는 비정상 입력조건으로 구분하여 정상일때는 "T", 비정상일때는 "NIL"로 표시하고, 각각 따로 상태변화를 실행한다.

2) THEN 부

THEN는 공정의 상태변화를 행하는 실행부로 입력조건에 따라 달리표현되지만,

그 구조는 동일하다.

- ① 운전상태 표시문 : 공정모사중의 상태의 유지 및 공정의 작동 여부를 표시
 STANDING : 공정의 상태가 계속적으로 동일하게 유지됨을 표시.
 OPERATING : SIMULATION이 진행중임을 표시
 STANDING, OPERATING의 상태를 조합하여 공정의 상태변화 진행과정을 표시한다.(Table 2)

Table 1. Data structure of ARC and NODE for state representation.

NAME	HEAT-EXCHANGER	unit name	N
APVAL	T/NIL	on/off(open/close) state	NA
ARC	(S1) (S2)	in-output ARCs list	N
FUNCUTIL	WATERO	functional utilities	N
VALVE	V1	valve list	A
TIME	t1	time of event	NA
PHASE	MIX	phase state	NA
TEMP	L3	temperature level	A
PRESS	L2	pressure level	NA
COMP	(C4,C3,C2,H2O)	materials in the unit	NA
PRE-OP-CONST	(OP-COND OIL0)	preoperating constraints before working	N
OP-CONSTRAINT	(TEMP OVER L5)	operating constraints	N
FUNCOP	IF-THEN RULE	functional operation rules of the unit	N

-- N : node only, A: ARC only, NA : NODE and ARC

Table 2. Simulation state by the value of STANDING and OPERATING.

STANDING	OPERATING	상 태
T	T	SIMULATION후 STEADY-STATE 도달에 의한 공정 상태 유지(이때, SIMULATION은 정지하나, 시간은 변화)
T	NIL	SIMULATION 직전의 상태유지(장치 미작동)
NIL	T	장치 작동에 의한 상태변화
NIL	NIL	존재없음

- ② 실행문 : 입력조작에 따른 공정의 상태변화 SIMULATION 실행을 지시한다.
 SOLVE : 입력변화에 따른 출력상태의 대수적인 정상해를 구한다.
 정상해는 SIMULATION이 필요없는 경우나 SIMULATION 도중 정상조건에 도달되어 불필요하게 SIMULATION을 행하는 것을 방지하는 등의 SIMULATION STOP조건으로 사용된다. 정상해를 구하는 방법은 각 공정의 입력조건에 따른 출력조건을 변화를 1대1 대응시켜 RULE BASE화하고, 이를 검색하여 해를 구한다.
 RUN : SIMULATION 실행부로 SIMULATION은 공정의 입력변화에 따른 출력의 동적거동에 대한 일반적인 패턴을 이용하여 공정의 상태를 표시한다.
- ③ 조건문(WHEN) : SIMULATION의 종료조건 및 종료후 처리를 표시한다.
 공정의 정상상태 조건(STEADY-STATE) 도달, SIMULATION 도중 허용운전범

위(OP-CONSTRAINT)의 이탈 및 타 조작이 가해 질 때 SIMULATION은 중단되며, 각 중단조건에 따른 처리과정을 표시한다.

4. 패턴인식을 이용한 운전조작에 따른 공정의 동적거동 예측방법

- 1) 공정의 운전조작을 입력한다. 이 때 입력된 조작에 대하여 직접적으로 영향을 받는 NODE를 중심으로 상태변화를 진행한다.
- 2) 선택된 NODE로 들어오는 유체의 입력상태가 정상 입력조건인지를 NODE의 OP-CONSTRAINT를 단순비교하여 판별한다.
- 3) 정상입력의 경우, 먼저 SOLVE에서 지시된 RULE을 검색하여 입력상태에 따른 정상해를 구한다. 정상해를 구한다음, NODE의 STANDING을 NIL로, OPERATING을 T로 전환하고, 다음의 RUN부를 실행한다.
- 4) RUN부에서 지시하는 동적거동의 패턴을 읽어 들인다. 동적거동의 패턴은 증가(+), 상태유지(0), 감소(-)로 표현하여, 시간 및 입력상태에 대한 출력의 경향을 1 STEP씩 변화시켜 나간다.
- 5) 각각의 변화단계에서 공정의 운전허용범위 및 위험상태 발생여부를 체크받게 된다. 이 때 위험조건이 발생되면, 공정의 상태를 SIMULATION 이전의 상태로 전환하고, 종료한다.
- 6) SIMULATION 도중 정상상태 조건에 도달되면, STANDING을 "T"로 전환한다. 이때 SIMULATION은 중단하나, 시간은 계속하여 변화시켜 나간다.
- 7) 모든 공정이 정상상태에 도달되면, SIMULATION을 종료하고 다음의 조작을 입력받는다.

5. 결

론 및 향후계획

실공정의 데이터를 사용하여 거동의 패턴을 정리하여, 입력변화에 대한 공정의 동적거동을 모사할 수 있는 방법을 개발하였다. 개발된 방법은 비정상조업의 자동화를 위한 운전지원 전문가시스템과 병행하여 조작중 발생할 수 있는 공정의 상태를 미리 감시할 수 있도록 시스템화를 진행중이다.

감 사

본 연구는 한국과학재단 지정 우수 연구센터인 공정산업의 지능자동화 연구센터의 일부 연구비지원으로 이루어졌으며, 지원에 감사함을 드립니다.

Reference

1. 정창욱, "화학공정의 이상진단을 위한 유향그래프와 패턴인식을 위한 동적모델의 개발", 공학박사논문 (1995)
2. J.T.-Y. Cheung and Stephanopoulos: Comput. Chem. Eng., 14, 495(1990)
3. J.T.-Y. Cheung and Stephanopoulos: Comput. Chem. Eng., 14, 511(1990)
4. B.R. Bakshi and Steptopoulos: Comput. Chem. Eng., 18, 267(1994)