

회분식 공정의 HAZOP 분석 자동화를 위한 이탈전파 모델

옥 유 영 · 허 보 경 · 황 규 석

부산대학교 공과대학 화학공학과
(1999년 6월 15일 접수, 1999년 8월 31일 채택)

Deviation-Propagation Models for Automating HAZOP Analysis of Batch Processes

You-Young Ok, Bo-Kyeng Hou, Kyu-Suk Hwang

Department of Chemical Engineering, Pusan National University, Pusan, 609-735,
Korea

(Received 15 June 1999 ; Accepted 31 August 1999)

요 약

회분식 공정의 HAZOP 분석 기법은 연속 공정의 HAZOP 분석 기법과는 달리 time과 sequence라는 이산적인 변수들을 고려해야 한다. 회분식 공정의 time과 sequence 해석은 연속 공정의 HAZOP 분석 기법으로는 설명될 수 없으므로, 이산 변수들과 연속 변수들의 관계를 이용하여 회분식 공정의 HAZOP 분석을 수행하는 방법을 개발하였다. 본 연구에서는 이 방법을 Latex 제조 공정에 적용하여 그 실효성을 검토하였다.

Abstract - The discrete variables such as time and sequence must be considered for automating HAZOP analysis of batch processes in contrast with continuous processes. Because these variables can not be explained by the method used in the HAZOP analysis of continuous processes, we have developed the methodology for HAZOP analysis of batch processes on the basis of the relation between discrete variables and continuous ones. In this study, we have discussed the performance of the methodology on a Latex batch process to evaluate its effectiveness.

Key words : HAZOP analysis, Batch process, Propagation methodology

1. 서 론

규모가 크고 복잡한 화학 공장의 산업 재해 원인들은 복잡적으로 작용하기 때문에 위험성 평가 작업은 많은 분야의 전문가와 많은 시간과 노력을 필요로 한다[1]. 이러한 문제점을 해결하고자 HAZOP 분석 자동화를 위한 연구가 지금까지 활발히 전개되었으나 대부분이 연속 공정에 국한된 것이었다[2, 6].

회분식 공정의 HAZOP 분석 기법은 연속

공정의 HAZOP 분석 기법과는 달리 time과 sequence라는 불연속적인 변수들을 고려한다 [4, 5]. 회분식 공정의 특징인 time과 sequence의 해석은 연속 공정의 HAZOP 분석 기법으로는 설명될 수 없기에 이러한 불연속적인 변수들과 연속 변수들의 관계를 제시하여 불연속적인 변수의 이탈을 연속 변수의 이탈로 전이시킴으로써 연속 공정의 HAZOP 분석 기법으로 회분식 공정의 HAZOP 분석을 수행할 수 있도록 하였다. Venkatasubramanian(1998)은 페트

리 넷(petri net)로 레시피(recipe)와 각 장치의 특성을 각각 표현하여 회분식 공정의 HAZOP을 실행하는 방법을 제안하였으나 페트리 넷의 구성이 복잡하고 어렵다는 단점을 가지고 있다[7]. 따라서 본 연구에서는 회분식 공정의 HAZOP 분석을 위해 쉽고 적절한 modeling 방법을 제시하고자 한다.

2. 회분식 공정의 HAZOP 분석

HAZOP 분석 기법은 공정 진행 중 발생할 수 있는 모든 문제점과 위험성을 사전에 인지하여 적절한 보완을 거쳐 설계를 확정하며, 현재 운전중인 공정에 적용하여 공정을 개선함으로써 생산성과 안정성을 높이는 작업이다.

HAZOP 분석 기법은 공정의 위험성과 운전성의 분석·평가를 위해 우선 가이드워드(guide word)와 공정변수(process parameter)의 조합으로 임의의 이탈(deviation)을 생성한다(식 1).

$$\text{Deviation} = \text{Guide word} + \text{Process parameter} \quad (1)$$

이와 같이 생성된 이탈이 선택된 임의의 장치에 발생하면 이탈 전파(propagation) 방법에 의해 다음 장치로 이탈의 전파가 수행된 후, 그에 따른 모든 발생 가능한 이탈의 결과가 도출된다. 또한 생성된 이탈을 이탈 역전파(reverse propagation) 방법에 의해 앞 장치로 역전파시킴으로써 그에 따른 모든 발생 가능한 이탈의 원인이 도출된다(Fig. 1).

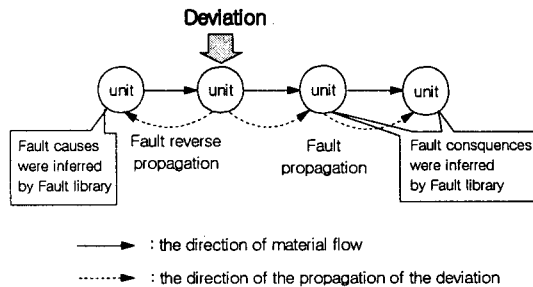


Fig. 1. The overview of HAZOP analysis.

Table 1. Definitions of Guide words

Guide word	Definition
No	Negation of the design intent
More	Quantitative increase
Less	Quantitative decrease
Part of	Qualitative decrease
As well as	Qualitative increase
Reverse	Logical opposite of the design intent
Other than	Complete substitution
Wrong	Unpredictable action
Too early	Step-on conditions met late, due to fault
Too late	Step-on conditions met early, due to fault
Left out	Operator forgets a step
Backward	Fault causes incorrect transfer to an earlier step
Part of	One sub-action in a step is missed
Extra action included	Operator includes an action from another step
Wrong action taken	An aberration

HAZOP 분석 기법에서 사용되는 가이드워드의 정의를 Table 1에 제시하였으며, 회분식 공정의 특징인 시간 변수(time)에 이러한 가이드워드를 적용시킨 예를 Table 2에 제시하였다[4, 5].

Table 2. Deviations of time in batch process

Deviation	Definition
NO TIME	The event or action is missed
MORE TIME	The event or action is continued longer than could be expected
LESS TIME	The event or action is continued shorter than could be expected
WRONG TIME	The event or action occurred when it should not occurred

3. 공정 topology의 표현

Topology는 대상공정의 P&ID를 code화한 data로써, 대상 공정을 중추 장치(key unit)를 중심으로 물질의 종류와 흐름에 따라 장치(unit), 파이프(pipe), 중추 장치들로 구성되어 있는 라인(line)들로 세분화하고, 구체화된 장치 정보를 라인별로 표현하였다. 여기서 중추 장치는 라인의 양 끝점을 구성하며 라인 내에서 소스 장치(source unit)나 종결 장치(terminal unit)의 역할을 수행하는 장치를 말하며, 라인은 중추 장치들 사이에 존재하는 모든 장치나 파이프들의 집합을 말한다.

각 라인은 장치, 파이프, 중추 장치로 구성되어 있으며, 각 구성 성분들은 고유한 이름(reactor-1, pump-1 등)을 가지고 있다. 또한 라인 상에서의 장치 위치를 표현하기 위해 다음과 같은 명명법을 사용하여 지정한 후, 해당 장치의 속성변수로 저장한다. 장치는 0000으로 명명되는데 처음 두 자리는 라인 번호를 나타내고, 나머지 두 자리는 라인내의 장치의 위치를 나타낸다. 파이프는 00000000으로 8단위로 명명되는데 앞의 네 자리는 입력 장치(inlet unit)의 번호를, 나머지 네 자리는 출력 장치(outlet unit)의 번호를 나타낸다. 중추 장치는, 그 장치가 소스 장치로 사용되는 라인들을 나타내는 source 속성(attribute)과 그 노드가 종결 장치로 사용되는 라인들을 나타내는 terminal 속성을 가지고 있다. 다음은 Latex 공정의 일부인 KPS charging line을 이러한 방법으로 표현한 예를 보여준다(Fig. 2).

예> KPS charging line

→ LINE #05

unit 0502

→ LINE #05의 두 번째 장치

pipe 05010502

→ 입력 장치로 unit 0501, 출력 장치로 unit 0502를 가지는 연결 장치

unit 0504

→ source attribute ⇒ LINE #18

→ terminal attribute ⇒ LINE #01, LINE #05, LINE #09, LINE #11, ...

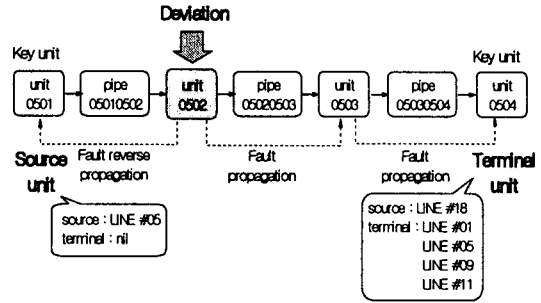


Fig. 2. The presentation of process topology.

4. 장치 분류와 precondition의 정의

4.1. 장치 분류(Unit classification)

모든 장치는 그 기능에 따라 다음과 같은 5가지 속성을 가진다. 그 속성에 따라 장치를 분류하여 제시함으로써 이탈의 전파 방법을 결정할 수 있다.

- 1) Source unit : 물질의 흐름이 시작되는 장치
- 2) Control unit : 수동, 자동으로 구분되며, 물질의 흐름을 제어하는 장치
- 3) Terminal unit : 물질의 흐름이 끝나는 장치
- 4) Transfer unit : 물질 흐름의 통로가 되는 장치
- 5) Key unit : 라인의 양 끝점을 구성하며, 라인 내에서 소스 장치나 종결 장치의 역할을 수행하는 장치

4.2. precondition의 정의

일반적인 규칙들과 몇 가지 타당한 제약조건들이 precondition으로 주어진다.

- (1) 이탈은 물질의 흐름에 따라 전파되므로 reverse flow인 경우를 제외한 일반적인 흐름이 형성된 경우, 물질은 소스 장치에서 종결 장치로 흐른다. 따라서 이탈의 결과를 찾기 위한 이탈의 전파는 항상 종결 장치 방향으로 이루어지고, 이탈의 원인을 찾기 위한 이탈의 역전파는 항상 소스 장치 방향으로 이루어진다.
- (2) reverse flow인 경우, 물질의 흐름 방향은 일반적인 흐름의 방향과는 반대 방향이므로 종결 장치 방향에서 소스 장치 방향으로 물질의 흐름이 형성된다. 따라서 이탈

은 물질의 흐름에 따라 전파되므로 이탈의 결과를 찾기 위한 이탈의 전파는 소스 장치 방향으로 이루어지고, 이탈의 원인을 찾기 위한 이탈의 역전파는 종결 장치 방향으로 이루어진다.

- (3) loop가 있는 곳에서의 이탈의 전파는 한번만 실행한다(HAZOP 분석은 이상 유무의 판별만으로 충분하기 때문에 loop의 이탈 전파는 한번만 행하면 된다).

5. 공정 장치의 recipe

회분식 공정에서 제품 생산을 위한 각 조작 단계를 step으로 구분하고, 각각의 step이 가지고 있는 정상 조작을 표현하기 위해 step 내에 존재하는 라인들의 상태를 open, closed 상태들의 조합으로 구성함으로써 각 step의 수행 상태를 표현한다.

여기서, 각 step의 수행 상태는 line recipe(per step)와 unit recipe(per line)로 분류한 matrix로 표현되며, 이러한 matrix로써 물질의 흐름 여부를 나타낸다. line recipe(per step)는 라인의 open, closed 상태를 matrix로 나타낸 것으로, 라인의 open은 라인 내에 물질의 흐름이 있음을 나타내고, closed는 라인 내에 물질의 흐름이 없음을 나타낸다. unit recipe(per line)는 topology data에 의해 제시된 라인에 속해 있는 세부 장치들의 정상 상태에 관한 정보를 보여준다. 7절에 있는 case study에 적용할 경우, line recipe와 unit recipe는 각각 Table 3과 Table 4와 같다.

Table 3. Line recipe(per step)

step \ line	AN	ST	BD	NH ₃	Latex
AN Charging	O	C	C	O	C
Reaction	C	C	C	O	C

C: closed/off, O: open/on

Table 4. Unit recipe(per line)

line \ unit	0101	0102	0103	0104	0105
AN line open	O	O	O	O	C
AN line closed	C	C	C	O	C

6. 이탈의 전파 방법

Control loop은 공정의 이탈을 소멸시키는 특별한 기능을 하므로, 이탈 전파식에서 이를 제외한 다른 장치들과는 다른 양상을 보인다. 그러므로 두 가지 경우를 구분하여 각각에 적합한 이탈 전파 방법을 제시하였다.

6.1. Control loop를 제외한 장치에서의 이탈 전파 방법

이탈의 전파를 위해 공정 변수들을 연속 변수(Q, P, T, ...)와 불연속 변수(sequence, time)로 구분하였고(Table 5), 이탈의 전파는 이러한 변수들을 중심으로 구분하여 각기 다른 방법으로 수행하였다.

Table 5. Definitions of process parameters

Process parameter	Definition
Q	Flow rate
P	Pressure
L	Level
T	Temperature
R	Reaction
C	Composition
S	Step
Ti	Time
M	Mixing
A	Action
Signal	Signal

6.1.1. 연속 변수의 이탈 전파

간단한 부호 유형 그래프(SDG) 기법으로 도출된 전파식(propagation equation)에 의해 장치들 사이의 각 공정 변수간에 연속적인 이탈의 전파를 수행한다. 사용되는 전파식은 다음과 같다.

- (1) $T = f(T_{in})$: reactor, tank, vessel에서의 온도는 열량을 공급받는 유체의 온도에 비례한다.
- (2) $L = f(Q_{in}, -Q_{out})$: reactor, tank, vessel에서의 level은 유입되는 유체의 유속과 유출되는 유체의 유속의 차에 비례한다.

- (3) $P = f(L, T, P_{in})$: reactor, tank, vessel에서의 압력은 기체인 경우 이상 기체 방정식($PV=nRT$)을 적용하여 level, 온도, 유입되는 유체의 압력에 비례한다.
- (4) $Q_{out} = f(L, P, Q_{in})$: 유출되는 유체의 유량은 reactor, tank, vessel의 level, 압력, 유입되는 유체의 유량에 비례한다.
- (5) $P_{out} = f(P_{in}, P)$: 유출되는 유체의 유압은 reactor, tank, vessel의 압력과 유입되는 유체의 압력에 비례한다.
- (6) $T_{out} = f(T, T_{in})$: 유출되는 유체의 온도는 reactor, tank, vessel의 온도에 비례하고, 열량을 공급받는 유체의 온도에 비례한다.

6.1.2. 불연속변수(Sequence, time)의 이탈 전파

sequence와 time은 불연속 변수이며 이러한 불연속 변수의 이탈 전파는 전파식을 적용시킬 수 없다. 연속변수의 이탈전파 방법을 불연속 변수의 이탈 전파에 적용시키기 위해 불연속 변수의 이탈을 연속 변수의 이탈로 전이시키는 전이식(transformation equation)을 생성하였다. 따라서 불연속 변수의 이탈이 선택되면 전이식을 적용하여 연속 변수의 이탈로 이탈을 전이시킨 후 전이된 연속 변수의 이탈에 전파식을 적용하여 연속적으로 이탈을 전파시킨다.

공정 step에 따라 적용되는 전이식이 다르므로 먼저 공정 step을 mass의 흐름에 따라 세 step으로, heat의 흐름에 따라 두 step으로 분류하였다. 이와 같이 분류된 각 step에 따른 전이식은 다음과 같다.

여기서, “/” 기호는 연속된 step임을 나타낸다(즉, ‘charging step/reaction step’은 charging step 다음에 reaction step이 실행됨을 나타낸다). 또한, 전이식을 적용시키기 위해 가이드 워드 ‘too late’와 ‘less’는 ‘-’로 ‘too early’와 ‘more’는 ‘+’로 인식되게 한다.

- (1) Mass의 흐름에 따라 세 step으로 분류한다.
 - Charging step / reaction step : $f(Q) = f(s), f(Q) = f(ti)$
 - Reaction step / reaction step : 발열 반응과 흡열 반응인 경우로 나누어진

다.

- A. 발열반응 : $f(T) = f(s), f(T) = f(ti)$
- B. 흡열반응 : $f(-T) = f(s), f(-T) = f(ti)$

- Reaction step / discharging step : 발열 반응과 흡열 반응인 경우로 나누어진다.

- A. 발열반응 : $f(T) = f(s), f(T) = f(ti)$
- B. 흡열반응 : $f(-T) = f(s), f(-T) = f(ti)$

(2) Heat의 흐름에 따라 두 step으로 분류한다.

- Heating step : 고온 steam이나 전기로써 유체를 가열시키는 단계이다.

$f(T) = f(s), f(T) = f(ti)$

- Cooling step : coolant로써 유체를 cooling시키는 단계이다.

$f(-T) = f(s), f(-T) = f(ti)$

각 전이식의 이해를 돕기 위해 sequence에서의 이탈 중 하나인 ‘step too late’가 발생하였을 경우를 예로써 설명한다.

- (1) Charging step에서 step too late는 reaction step에 less flow를 발생시키고, step too early는 more flow를 발생시킨다.
- (2) Reaction step에서
 - A. 발열 반응인 경우 : Initial reaction에서 step too late는 주변의 cooling 시간은 정상이므로 less temp.를 발생시키고, 반면에 step too early는 more temp.를 발생시킨다.
 - B. 흡열 반응인 경우 : Initial reaction에서 step too late는 주변의 열 공급 시간은 정상이므로 제시간에 흡열되어야 할 양과 공급 열량의 차이에서 열량이 남으므로 more temp.를 발생시키고, 반면 step too early는 less temp.를 발생시킨다.
- (3) Heating step에서 step too late는 열량을 받는 유체에 less temp.를 발생시키고, step too early는 more temp.를 발생시킨다.

Sequence와 time의 이탈은 시간적인 개념의 이탈이므로 이러한 이탈이 발생하는 원인은 조작자의 실수 밖에 없다. 따라서 이탈의 역전파는 수행될 필요가 없다. 그러나 reaction step은 charging step에 따라 조작의 유무가 결정

되므로 전이식을 적용시켜 이탈의 역전파를 수행한다.

6.2. Control loop에서의 이탈 전파

Control loop은 공정에서 이탈을 소멸시키는 역할을 하는 부분이므로 control loop에서의 이탈 전파는 다른 장치에서의 이탈 전파와는 다른 방법으로 다루어져야 한다. HAZOP 분석에서는 이탈의 원인과 결과를 모두 추론하여야 하기 때문에 이탈의 전파뿐 아니라 역전파도 고려하여야 한다. control loop을 제외한 다른 장치에서는 이탈의 전파와 역전파는 단지 전파 방향만 다를 뿐 같은 전파식을 적용하여 같은 방법으로 해석할 수 있었다. 하지만 control loop은 그 기능의 특성으로 인해 이탈의 역전파 방법을 해석하는 과정에서 특이한 현상이 발견된다. 따라서 본 연구에서는 이탈의 전파 방법을 먼저 제시한 후, 이탈의 역전파 방법을 제시하고자 한다.

Control loop의 이탈은 크게 control loop boundary 내에서 이탈이 발생하는 경우와 control loop boundary 외에서 이탈이 발생하는 경우로 나누어진다(Fig. 3). Control loop boundary 내의 이탈을 우선 고려해 보자. Control loop은 controller(set point), sensor, control valve, pipe들로 구성되어 있고, control loop boundary 내에서 발생한 이탈은 이러한 장치들의 이상으로 인해 발생한다. control loop내에 존재하는 장치들 사이에는 물질의 흐름이 아닌 signal의 흐름에 따라 이탈이 전파된다. 따라서 이러한 signal을 변수로 가지는 전파식을 적용함으로써 signal의 이탈 전파를 수행할 수 있다. 다음은 control loop 내에 존재하는 장치들의 전파식을 보여준다.

- (1) Sensor : $signal = f(Q_{in})$
- (2) Controller : $signal = f(signal)$
- (3) Control valve : $Q_{out} = f(-signal)$
- (4) Control loop(in reverse propagation) : $Q_{out} = f(Q_{in})$

Fig. 3의 control loop의 sensor에 'more flow'라는 이탈이 발생한 경우(즉, 정상 흐름인데 sensor 고장으로 인해 'more flow'라는 이탈이 발생한 것으로 감지되는 경우)를 예로써 control loop 내에 존재하는 장치들의 전파식을 적용하여 보면 다음과 같다.

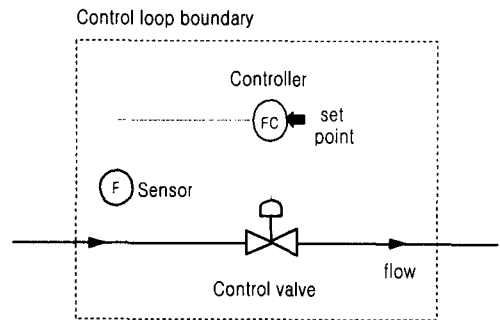


Fig. 3. Feedback flow control system.

sensor에 'more flow'라는 이탈이 발생하면 sensor는 출력부로 'more signal'을 생성하여 controller에 보낸다. 'more signal'이 입력된 controller는 다시 'more signal'을 출력부로 생성하여 control valve에 보내게 되고, control valve는 이러한 이탈을 소멸시키기 위해 valve를 닫음으로써 'less flow'를 생성한다. 따라서 'less flow'가 control loop 다음에 존재하는 장치로 전파되어진다.

다음으로 control loop boundary 외의 장치에서 이탈이 발생하였을 때를 고려해 보자. 이때 이탈은 한 장치에만 발생하고, 나머지 장치들은 모두 정상 작동을 한다는 가정 하에 HAZOP 분석이 행해지기 때문에 controller는 정상 작동 중이라는 가정이 적용된다.

Control loop가 정상이라 하더라도 이탈의 크기로 인해 다음과 같은 두 가지 경우가 발생한다.

(1) Control 가능 : Control loop가 제어 가능한 제어 한계 내의 이탈이 control loop boundary 내로 들어오면 controller는 이러한 이탈을 모두 소멸시킨다. HAZOP 분석의 목적은 발생 가능한 모든 이탈의 규명에 있으므로 이와 같이 이탈이 소멸하는 경우는 고려하지 않는다. Control loop가 제어 가능한 이탈로 'more' 이탈이 있다. 모든 control loop의 최종 제어 장치는 control valve이며 control valve는 밸브의 개폐 정도로 유량을 조절함으로써 제어 변수를 제어한다. 따라서 'more' 이탈이 control loop 외에서 발생하여 control loop 내로 들어오면, 아무리 큰 이탈이 들어온다 할지라도 밸브를 닫아줌으로써 제어가 가능하다. 따라서 'more' 이탈인 경우, 이탈은 소멸되고 더 이상의 이탈 전파는 수행되지 않는다.

(2) Saturation : 이탈의 크기가 너무 커서 control loop에 의해 제어가 불가능한 경우이다. 이와 같은 경우로 'less'나 'no' 이탈이 있다. 'more' 이탈이 아닌 'less'나 'no' 이탈은 아무리 밸브를 열어주더라도 이탈이 소멸하지 않는 경우가 발생한다. 이와 같은 경우를 saturation이라 하고, 이러한 경우의 이탈은 control loop를 하나의 장치로 생각하여 제시한 전파식을 적용시켜 이탈을 전파시킨다. 특이한 경우로 'no' 이탈과는 달리 'less' 이탈은 control 가능한 경우와 saturation되는 경우 둘다 발생할 가능성이 있지만 HAZOP study는 발생 가능한 모든 이탈을 고려하는 작업이므로 control 가능하여 이탈이 소멸하는 경우는 고려하지 않고 saturation 되는 경우만을 고려한다.

다음으로 이탈의 역전파를 고려하자.

이탈의 역전파 방법도 전파에서와 마찬가지로 control loop boundary 내의 이탈과 control loop boundary 외의 이탈로 나누어 제시된다. Control loop boundary 내의 이탈 역전파는 전파에서 사용되었던 control loop 내에 존재하는 장치들의 전파식을 그대로 적용시킨다. Control loop boundary 외의 이탈은 control loop는 정상 작동한다는 가정 하에 제시된다.

전파에서 보았듯이 control loop가 정상 작동을 하면 'more' 이탈은 소멸된다. 따라서 control loop boundary 외의 이탈은 'less'나 'no' 이탈만을 역전파에서 고려하고, 'more' 이탈은 control loop boundary 내의 이탈로만 존재한다. 이탈의 역전파에서 'less'나 'no'가 발생하는 이유는 control loop가 saturation 되었을 때이므로 보통의 장치들의 경우에서 이탈을 역전파시키는 방법과 같은 방법으로 이탈을 역전파시킨다.

7. Case study

Latex 제조 공정은 현 산업체에서 사용되고 있는 전형적인 회분식 공정으로, 작업 manual에 따라 styrene, butadiene 등의 monomer에 유화제, 중합 개시제, 전해질, 분자량 조절제 등을 투입하여 radical 중합을 하는 방법이다. AN(AcryloNitrile), BD(ButaDiene), 그리고 ST(STyrene)와 같은 monomer들과 그 외의 다양한 chemical들이 유화 중합 반응을 위한 물질들로 이용되고, liquid NH₃로써 온도를 제

어한다. 반응 조건으로 온도는 85°C 이하, 압력은 5.0kg/cm²G 이하로 유지해야한다(Fig. 4).

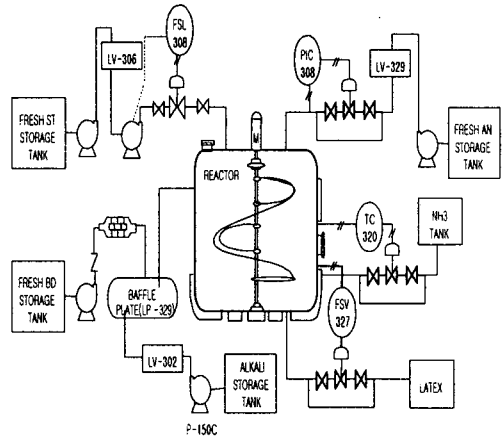


Fig. 4. Latex process.

Latex 제조 공정 중 일부인 initial polymerization step에 'step too late' 이탈이 발생하였을 경우, 전이식을 적용시켜 HAZOP study를 수행해 보았다(Fig. 5).

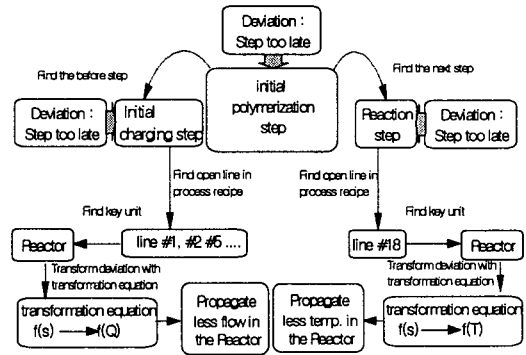


Fig. 5. Deviation propagation in Latex process.

Latex 공정은 initial charging step, 예열 step, initial polymerization step, cooling step, reaction step, discharging step 등 다양한 step으로 구성되어 있다. Latex 제조 공정 sequence상 initial charging step 다음에 initial polymerization step이 수행되며 그 후에 reaction step이 뒤따른다. 각 step에서 장치의

작동상태는 Table 3과 Table 4와 같은 line recipe와 unit recipe에 의해 결정된다.

따라서 이러한 sequence에 따라 이탈의 전과는 다음 step인 reaction step으로, 이탈의 역전과는 initial charging step으로 이루어진다. 먼저 이탈의 전과 과정을 설명하면 다음과 같다.

Initial polymerization step에 'step too late' 이탈이 발생하면 sequence상 다음 step인 reaction step이 이탈을 전과 받는 step으로 정해진다. 정해진 reaction step에서 process recipe를 탐색함으로써 open되어 있는 라인(여기서는 line #18이라는 이름을 가진 cooling line)들이 도출되며, 이러한 라인들의 중추 장치(reactor)가 결정되어진다. 전이식에 의해 sequence의 이탈은 연속 변수의 이탈로 전이되어 지는데 전이된 이탈(reaction/reaction step이므로 전이식에 의해 'step too late' 이탈은 less temp.로 전이된다.)이 중추 장치에 생성된다. 이러한 과정에 의해 연속 변수의 이탈이 중추 장치에 생성되었으므로 전과식에 의해 다음 장치로 이탈의 전과가 이루어진다. 또한, "no-flow"라는 이탈이 "alkali charging step"의 "P-150c"에 발생하였을 경우의 이탈의 전과 과정은 다음과 같다. 공정 구조(process topology) 데이터베이스에 정의되어 있는 장치와 라인의 기능적인 관계를 이용해서 이탈이 발생한 장치가 속한 라인을 탐색하면, 그 라인은 alkali storage tank, P-150c, LV-302, LP-329, reactor의 구성 요소를 가진다. 이탈이 발생한 장치에 대한 해석이 완료되면, 이탈의 전과가 수행되는데 이탈이 발생한 장치의 라인에서 다음 장치인 "LV-302"를 탐색한 후, $Q_{out} = f(Q_{in})$ 라는 전과식을 이용하여 "no-flow"의 이탈을 다음 장치인 "LV-302"에 전과시킨다. 이와 같은 방법으로 라인 위에 존재하는 모든 장치에 적용하여 해당 이탈을 전과시킨다.

이탈의 역전과 과정은 initial polymerization step의 앞 step인 initial charging step에 이탈의 역전과가 이루어진다는 것과 charging step/reaction step이므로 less flow로 이탈의 전이가 이루어진다는 것을 제외하고는 이탈의 전과 과정과 같은 과정을 수행한다.

이러한 방법으로 불연속 변수의 이탈을 연속 변수의 이탈 전과 방법으로 해석할 수 있으며 연속 공정의 HAZOP 분석 기법을 회분식

공정의 HAZOP 분석에 적용할 수 있었다.

8. 결 론

본 연구의 목적은 회분식 공정의 HAZOP 분석을 위해 이탈을 전과하는 방법을 제시하는 것이다.

먼저 대상 공정을 표현하기 위해 공정의 topology를 표현하는 방법을 정의하였으며, 공정의 정상 상태를 묘사하는 process recipe를 line recipe(per step)와 unit recipe(per line)의 2가지 형태의 matrix로 분류하여 정리하였다.

다음으로 이탈의 전과를 위해 공정 변수를 불연속 변수(time, sequence)와 연속 변수로 구분하여 각각의 이탈 전과 방법을 제시하였다. 연속 변수의 이탈은 간략화된 부호 유향 그래프 기법을 사용하여 생성된 전과식을 제시하여 적용함으로써 다른 장치로 이탈의 전과와 역전과를 수행하였으며, 또한 control loop와 같은 이탈을 소멸시키는 기능을 가진 특정 장치에 적합한 전과식을 제시하여 이탈의 전과 방법을 설명하였다.

불연속 변수(sequence, time)에 관한 이탈은 전이식에 의해 연속 변수의 이탈로 전이가 이루어지며, 전이된 연속 변수의 이탈이 다른 장치로 전과된다. 이러한 방법으로 불연속 변수의 이탈 전과를 연속 변수의 이탈 전과 방법과 같은 기법으로 실행할 수 있었다.

감 사

본 연구는 포항공과대학교 공정산업의 지능 자동화 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

1. Kramer, M. A. and Palowitch, B. L.: AICHE J., 33, 7(1987).
2. Vaidyanathan, R. and Venkatasubramanian, V.: AICHE J., 40, 496(1994).
3. Winston, P. H.; "Artificial intelligence", 3rd ed., Addison-wesley Pub. Co., 353(1992).
4. Lee, M. S., Song, J. Y. and Lee, K. W.: Theories and Applications of Chem. Engng., 2, 2, 3107(1996).

5. Kang, S. J. and Kwon, H. M.: Theories and Applications of Chem. Engng., 2, 2, 3111(1996).
6. Center for Chemical Process Safety(CCPS); "Guideline for Hazard Evaluation Procedures", AICHE, New York(1985).
7. Srinivasan, R. and Venkatasubramanian, V.: Computers chem. Engng. 22, 9, 1345(1998).