

Loop검증과 지식 기반 접근법을 이용한 Digraph 자동합성에 관한 연구

이성근, 안대명, 황규석
부산대학교 화학공학과

A Study on the Automatic Synthesis of Digraph Using Loop Verification and Knowledge-based Approach

Sung-gun Lee, Dae-Myung An, Kyu Suk Hwang
Dept. of Chemical Engineering, Pusan National University

서론

운전 중인 화학플랜트에서 정상조업상태 및 플랜트의 안전은 공정의 물리량을 나타내는 공정변수를 제어함으로써 유지되어진다. 그러나 화학플랜트에서 이상이 발생할 경우, 최종적으로 운전자가 플랜트를 정상운전으로 회복시키는 조치를 취하거나, Shut Down 절차를 행하게 된다. 그러므로 운전자는 공정의 고장원인을 알아야 한다. 그러나 이상원인을 운전자가 진단하는 것은 쉬운 일이 아니다. 왜냐하면 이상을 발생시키는 운전조작에는 많은 인자들이 관련되어 있기 때문이다. 그래서 운전자의 부담을 경감시키고, 공정의 생산성과 안전성을 증대시킬 뿐만 아니라, 짧은 시간 내에 정확하게 이상을 진단하기 위해서 자동이상진단(Automatic fault diagnosis)에 관한 연구가 활발히 이루어져 왔다.

화학 공정의 이상진단을 위한 여러방법 중 Digraph는 이상진단기술을 발전시키기 위한 도구로서 오랫동안 이용되어 왔으며, 이상전파거동을 모델링하기 위해서도 사용해 왔다.(Kramer and Palowitch, 1987) 또한 Digraph는 공정변수, 장치이상사이의 명확한 관계를 제시할 수 있으며, Control loop를 가진 System을 Modeling하는데 적합한 구조적인 방법을 제공한다. 그러나 Digraph의 구축은 수작업으로 이루어지며, 화학공정의 대형화, 복잡화는 Digraph를 더욱 복잡하게 만들었다. 이러한 것들은 Digraph작성시 논리적인 실수의 가능성을 증가, 또한 많은 작성시간의 소요를 초래하였다. 그래서 본 연구에서는 Digraph를 자동으로 합성하는 연구를 수행하였다.

본론

1. Topology와 Knowledge Base의 구축

Topology는 공정의 정적인 관계, 즉 공정을 구성하고 있는 장치간의 결합관계에 대한 정보를 가지고 있다. 공정구조는 표현방법에 따라서 장치를 E로 나타내었고, Line은 물질이 흐르는 Pipe-Line과 신호가 흐르는 Signal-Line으로 구분하

였다. 여기서 다시 Pipe-Line과 Signal-Line은 장치를 중심으로 해서 Input-Pipe-Line(**Plin**)과 Output-Pipe-Line(**Plout**), Input-Signal-Line(**Slin**)과 Output-Signal-Line(**Slout**)로 각각 구분하였다. 대상공정(Fig.7)에서 Temperature Control Valve의 Topology을 나타내면 Fig.1과 같으며, 여기서 Pass는 원인이 되는 Input Line이 Control Valve를 통해서 들어오고, 이 Input Line에 영향을 받는 Output Line도 Control Valve를 통해서 나감을 나타낸다. 본 연구에서 Knowledge Base는 장치별로 Input-Line의 공정변수와 Output-Line의 공정변수사이의 관계를 IF-THEN-RULE의 형태로 표현한 Variable-Relation-Data이다. Fig.2에서 IF-THEN-RULE의 형식은 아래와 같다.

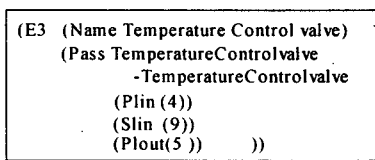


Fig.1 Topology의 표현

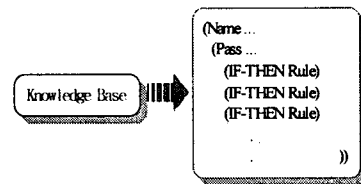


Fig.2 Knowledge Base의 표현

■ IF-THEN-RULE의 형식

(**IF** ((number <Input Line> <Process Variable>)between (number <Output Line> <Process Variable>)) **THEN** (<Relation Between Process Variable>))

■ RULE의 의미

(만일 ((어떤 입력라인의 공정변수)와 (어떤 출력라인의 공정변수)사이에 관계가 있다면) 그러면 (두 공정변수 간의 관계는 임의의 경향값으로 표현된다.))

■ 속성값

•<Input Line> Plin, Slin. •<Output Line> Plout, Slout.

•<Process Variable> Temp(Temperature), Pressure(Press), Mass(Mass Flow), Signal, Level. •<Relation Between Process Variables> +, 0, -.

여기서 “+”는 Input Line의 공정변수가 증가(감소)할 때, Output Line의 공정변수도 같이 증가 (감소)할 경우이고,“-”는 반대의 경우이며, “0”은 관계가 없음을 나타낸 것이다.

■ 구체적인 예

((**IF** ((number Plin Temp) between (number Plout Temp)) **THEN** (+)

(**IF** ((number Plin Temp) between (number Plout Mass)) **THEN** (0)

(**IF** ((number Plin Temp) between (number Plout Press)) **THEN** (0)

)

본 연구에서는 Digraph를 자동으로 생성시키기 위해서, 먼저 각각의 장치에 해당하는 Topology와 Knowledge Base를 차례로 호출하여야한다. 따라서 수많은 장치들로 조합된 화학플랜트를 Fig.3와 같이 기능별로 계층화하여 Topology와 Knowledge Base를 관리할 필요가 있다.

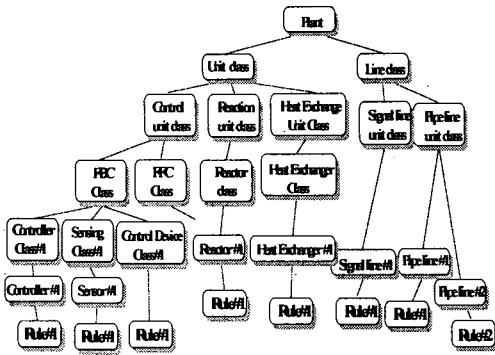


Fig.3 화학플랜트에서 장치의 기능별 계층화

■ Symbolic Pattern Matching

Symbolic Pattern Matching이란 어떤 문제를 해결하기 위해서 사용하는 방법의 하나로서, Pattern Expression (① Search하고자 하는 대상을 일정한 형식으로 표현한 것. ② (? Sign)과 같은 Pattern Variable을 포함)과 Ordinary Expression (① Knowledge Base에 해당. ② Pattern Variable를 포함하지 않음.) 과 비교해서 똑같은 것이 있는지 Search하는 과정이다. 여기서 각각의 장치에 대한 Pattern Expression은 Topology에 의해서 자동으로 생성된다. 이렇게 자동생성된 Pattern Expression과 Ordinary Expression을 matching함으로써, Pattern Expression자리에 경향값 "+", "0", "-"들 중에서 하나의 값이 들어가게 된다. 이러한 결정은 Pattern Expression과 Ordinary Expression의 Symbolic Character ("Plin", "Plout", "Slin", "Slout", "Temp", "Press", "Mass", "Level", "Signal")를 Matching함으로써 결정되어 진다.(Fig.4)

■ Digraph의 표현

이렇게 장치별로 구축된 모든 공정변수사이의 관계를 이용해서 Digraph가 자동 생성되며, 아래의 그림에서와 같이 모든 공정변수를 세로축과 가로축에 나열하고 공정변수사이의 관계를 나타내었다. 이때 공정변수 다음의 숫자는 공정변수의 위치를 나타내며, 가로축과 세로축은 각각 화살표의 머리부분(결과 Node)과 화살표의 꼬리부분(원인 Node)를 나타낸다. (Fig.5)

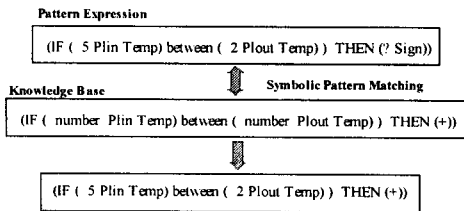


Fig.4 Matching에 의한 변수관계 자동생성

2. Digraph자동합성을 위한 방법론

Digraph를 자동으로 생성시키기 위해서는 장치를 중심으로 해서 입력라인에 관련된 공정변수와 출력라인에 관련된 공정변수사이의 관계를 생성시켜야 한다. 본 연구에서 이러한 변수사이의 관계를 생성시키기 위해서 Symbolic Pattern Matching을 사용하였다.

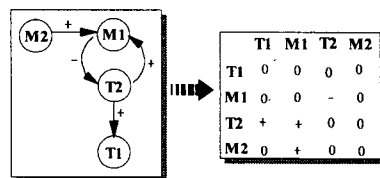


Fig.5 Digraph의 표현

3. Digraph의 Loop 검증

■ Loop검증의 필요성

장치를 중심으로 해서 Input Line과 Output Line으로 구분한 다음, 각 Line의 공정변수를 관계지으므로써, 두변수사이의 인과관계를 표현할 수가 없는 경우가 FBL(Feed Back Loop)에서 발생하게 된다. -- Digraph상에서 이러한 FBL는 동일한 Node에서 출발하여, 동일한 Node에서 끝나는 경로를 가진다. (Loop를 형성한다) -- 즉, 변수관계에서 Loop가 발생하지 않는다. 본 연구에서는 Level Control Loop 공정에서 이러한 것이 발생한다. (대상공정 Fig.7)

Level Control Loop는 $L10 \rightarrow (+) \rightarrow S11 \rightarrow (+) \rightarrow S12 \rightarrow (+) \rightarrow M2 \rightarrow (-) \rightarrow L10$ 이다. 그러나 실제로 $L10 \rightarrow (+) \rightarrow S11 \rightarrow (+) \rightarrow S12 \rightarrow (+) \rightarrow M2$ 까지만 인과관계가 표현되며, M2 Node와 L10 Node 사이의 Negative 인과관계가 생성되지 않는다.(NFBL이 자동생성 안됨) 그러므로 이러한 것을 자동으로 Search해서 인과관계를 자동생성해야 한다.

■ Incomplete Loop를 발생시키는 장치의 구조적인 특징

Negative FeedBack Control Loop를 생성시키지 못하는 경우는 Sensor의 Slin과 연결된 장치와 Control Device(Valve)의 Plout와 연결된 장치가 다른 경우이다.(Fig.7에서 Level Control Loop) 그리고 위에서 설명한 것 처럼 공정변수들 사이에서 인과관계가 생성되지 않는 경우는 두 공정변수사이의 관계가 Negative(-) 관계이다.

3-1. Complete Loop의 자동생성알고리즘

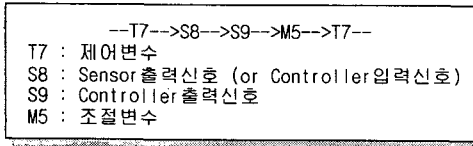


Fig.6 NFBL에서 제어변수와 조절변수의 위치

Fig.6에서 보는 바와 같이 Digraph상에서 제어변수(T7)의 위치는 Sensor출력신호(S8)의 Input(원인)에 위치해 있고, 조절변수(M5)의 위치는 Controller출력신호의 Output(결과)에 있음을 알 수 있다. 이러한 제어 변수와 조절변수를 Search하기 위해서는 Topology의 정보를 이용한다.

먼저 Topology에서 Sensor와 Controller들을 찾고, Sensor의 Output Line Number와 Controller의 input Line Number를 저장한다. 이때 Number들은 각각 Sensor출력신호(or Controller의 입력신호)와 Controller출력신호의 Number가 된다. 이러한 Number와 동일한 Number를 Pre-Digraph (검증을 하지 않은 Digraph)에서 Search함으로써, Sensor출력신호와 Controller출력신호가 Search된다. 이렇게 Topology를 이용해서 Sensor출력신호(or Controller입력신호)을 찾은 후, Sensor출력신호에 영향을 주는 원인노드를 Search함으로써 제어변수가

■ Search방법

Incomplete-NFBL에서 인과관계가 생성되지 않는 변수들은 조절변수(Manipulated Variable)와 제어변수(Controlled Variable)사이의 관계이다. Digraph에서 조절변수와 제어변수의 위치는 Fig.6에 나타내었다.

Search된다. 또한 조절변수를 Search하는 방법도 동일하게 Controller의 출력신호에 영향을 받는 결과노드 Search하면된다.

■ 변수관계생성방법

이렇게 조절변수와 제어변수를 Search한 후, 이 조절변수와 제어변수의 관계가 존재하는 지를 Pre-Digraph에서 Search한다. 만약 조절변수와 제어변수사이의 관계가 존재하지 않는 경우에는 Negative관계를 자동생성시킨다. 그런 다음 두 변수 사이의 관계를 Pre-Digraph상에 추가함으로써 Digraph 자동합성이 완료된다.

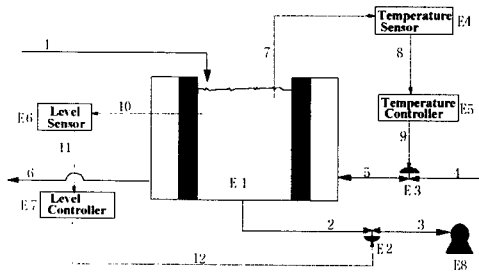


Fig.7 C.S.T.R

결론

본 연구에서는 Fault Diagnosis와 이상전과거동의 모델링에 널리 사용되는 Digraph을 자동합성하기 위해서 지식기반접근법과 Loop검증을 이용했으며, 이를 위해 지식을 표현하는 기법과 Loop검증알고리즘에 관하여 연구했다.

그리고 이것을 Level Control과 Temperature Control를 가지고 있는 C.S.T.R을 대상공정(Fig.7)으로 선정하여 적용시켜 봄으로써, 타당성을 검증하였다.

참고문헌

[1]Chung-Chien Chang and Cheng-Ching Yu, "On-Line Fault Diagnosis Usingthe Signed Directed Graph," American Chemical Society (1990)
 [2]Gary J. Powers, and Frederick C. Tompkins, JR., "Fault Tree Synthesis for Chemical Processes," AIChE Journal Vol. 20, No. 2, (1974)