

중류 공정의 고장 원인 탐색 자동화 시스템

박재웅, 김미희, 황규석*
 부산대학교 화학공학과
 (kshwang@pusan.ac.kr*)

Automatic detection system of deviation causes in distillation process

Jae Woong Park, Mi Hee Kim, Kyu Suk Hwang*
 Department of Chemical Engineering, Pusan national university
 (kshwang@pusan.ac.kr*)

서론

화학공업이 발달함에 따라 공정 운전 중에 이상상태가 발생하였을 때 공정 운전 상태가 위험상태로 발전 가능한지를 판단하기 위한 판별법과 고장원인 분석에 관한 연구가 계속 진행되어 왔다. 그러나 개발된 이론들은 매우 단순화된 공정모델과 비현실적인 조업조건이 적용되어 현장 조건에서의 이론이 무시된 여러 복합적 사항들의 영향을 받는 실제 현장에서 이용되는 경우는 매우 드물었다. 또한, 연구된 방법론은 실시간(Real-time) 이상 진단의 자동화가 이루어지지 않았기 때문에 실제 공정에 적용하기에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 극복하고자 정상 운전 중인 온라인 화학 공정(On-line chemical Process)에서 이탈 상황 발생 시 고장의 원인을 탐색하는 시스템(DCDS; Deviation Cause Detection System)을 개발하고자 한다.

고장 진단 방법론을 적용하는데 있어서 실시간 개념을 도입하여 공정의 센서(Sensor)로부터 읽혀지는 변수 값을 SFT(Signed Fault Tree) 탐색 모델을 사용하여 실시간으로 데이터를 분석하고 그 이탈의 원인을 도출하는 시스템을 개발하고자 한다. 또한, SFT 탐색 모델에서는 SFT CT(Constraint)을 이용하여 이탈 상황 발생 시 공정 변수들의 신호 크기를 실시간(Real-time)으로 분석하여 고장의 원인을 탐색함에 있어서 명확성을 증대시키고자 한다. SFT 탐색 모델을 이용한 DCDS 를 시뮬레이션(Simulation)하기 위하여 LabVIEW software 를 사용하여 탐색 모델을 구현하였다.

본론

1. 부호유향그래프(SDG, Signed Directed Graph)

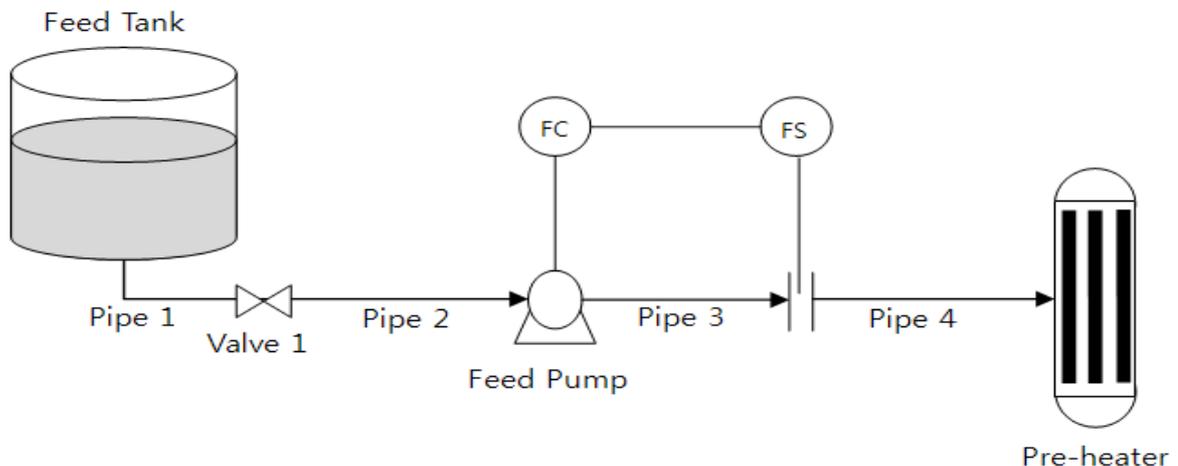


Fig.1. Feed stream process

SDG 는 Node 와 방향성이 있는 Branch 로 이루어져 있다. Node 는 상태변수, 경보 (alarm)의 조건, 이상 원인을 나타내고 Branch 는 Node 간의 원인-결과 관계를 나타내며 이 때 (+), (-)는 Node 간의 관계의 방향을 나타낸다. Fig. 1 은 대상 공정의 원료 탱크로부터 예열기(Pre-heater)까지의 원료 흐름 공정을 나타낸 것이다.

2. Signed Fault Tree (SFT)

정상 운전 중인 온라인 공정에서 이탈 상황 발생 시 그 이탈의 원인이 되는 고장 원인을 명확히 진단하기 위해서는 공정에서 발생하는 변수들을 적절히 다룰 수 있는 이상진단 지식 모델이 필요로 하게 된다. 본 연구에서 제시하는 SFT 탐색 모델은 공정 변수들을 다룸에 있어서 실시간(Real-time)의 개념을 살린 고장 원인 탐색 모델이다. SFT 탐색 모델은 기존의 위험성 평가 기법으로 많이 사용되는 FT(Fault Tree)의 각 사상 (Events)에 고장 발생률을 사용하는 대신에 공정에서 실시간 발생하는 변수들의 신호 크기(Signed Level)를 발생 시켜 고장의 원인을 찾아내는 것이다.(fig. 2)

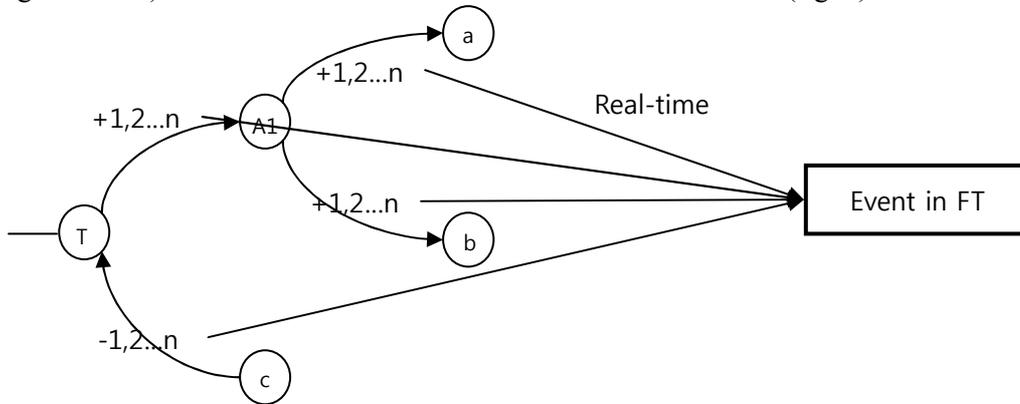


Fig.2. Construction of SFT detection model

SFT 탐색 모델에서 고장 원인 탐색에 사용되는 공정 변수들의 크기(Level)는 구축된 SDG 모델에서 발생하는 간선 이득(Gain)이 사용된다. SDG 모델에서 발생하는 간선 이득은 실시간 SFT 탐색 모델의 각 해당 사상에 전송 되며, 여기서 전송되는 간선 이득의 크기는 SFT 탐색 모델의 제약조건(Constraint) 범위를 만족 시켜야 하며, 제약조건을 벗어나 있을 때에는 공정 이탈 상황으로 간주되어 이탈을 발생 시킨 고장 원인의 탐색(Detection)이 시작된다.

본 연구에서는 DCDS 의 알고리즘을 구성하는데 있어서 다음과 같은 SFT 탐색 모델의 제약조건이 사용 되었다.

(1)Feedback 컨트롤 루프를 구성하고 있는 변수들은 조작변수의 LEVEL크기(LC)와 센서로부터 읽어 들이는 공정변수의 LEVEL 크기(LS)는 반비례 관계로 존재한다.

$$[CT 1]; \Delta LC = -\Delta LS$$

(2)노드(Node)로부터 출력되는 LEVEL 의 크기(LN)는 센서로부터 읽어 들이는 LEVEL 의 크기(LS)와 같다.

$$[CT 2]; LN = LS$$

(3)노드로부터 출력되는 LEVEL 의 크기(LN)는 조작 변수의 크기(LC)와 같다.

$$[CT 3]; LN = LC$$

(4)정상 사상(Top event)의 LEVEL(ΔLT) 크기는 센서(Sensor)로부터 읽어 들이는 LEVEL (ΔLS)와 컨트롤 루프를 제외한 미측정 변수들의 LEVEL(ΔVr)와 같다.

$$[CT 4]; \Delta LT = \sum_{r=1}^n \Delta Vr * \Delta LS$$

(5) 공정의 정상 운영 시 On-line SFT 탐색 모델의 LEVEL 변화는 Valve 와 컨트롤 루프를 제외하고 모두 0 이다[CT 5]. 즉, Valve 는 공정의 운전 전의 제약 조건에서 만족시킨 상태에서 가동한다고 가정하고 컨트롤 루프는 공정 변수의 신호에 따라 설정 포인트(Set point)를 유지 시키기 위해 실시간 제어되기 때문이다.

3. SFT 탐색 모델을 이용한 고장 원인 탐색 시스템

3.1 공정 데이터 처리 과정

본 연구에서는 DCDS 를 효율적으로 이용하기 위해서 데이터의 처리 과정을 총 3 개의 모듈(Modules)로 나누어서 구성 하였다. On-line process 에서 데이터를 전송하는 SIGNAL I/O module, Operator 가 데이터를 관리하는 MANAGEMENT module 그리고 이탈 발생 시 작동되는 MAIN DCDS module 로 구성된다.(Fig.3)

공정에서 발생하는 신호는 User interface 와 Data interface 를 거쳐 Operator 가 관리하는 Main computer 로 데이터를 실시간 전송 한다. 그리고 정상 운영 중인 공정에서 비정상 상태(Abnormal state)가 발생할 경우 공정 데이터는 Main DCDS module 로 전송되어 구축된 SFT 탐색 모델에 의해 이탈 상황을 야기시킨 고장 원인을 탐색한다

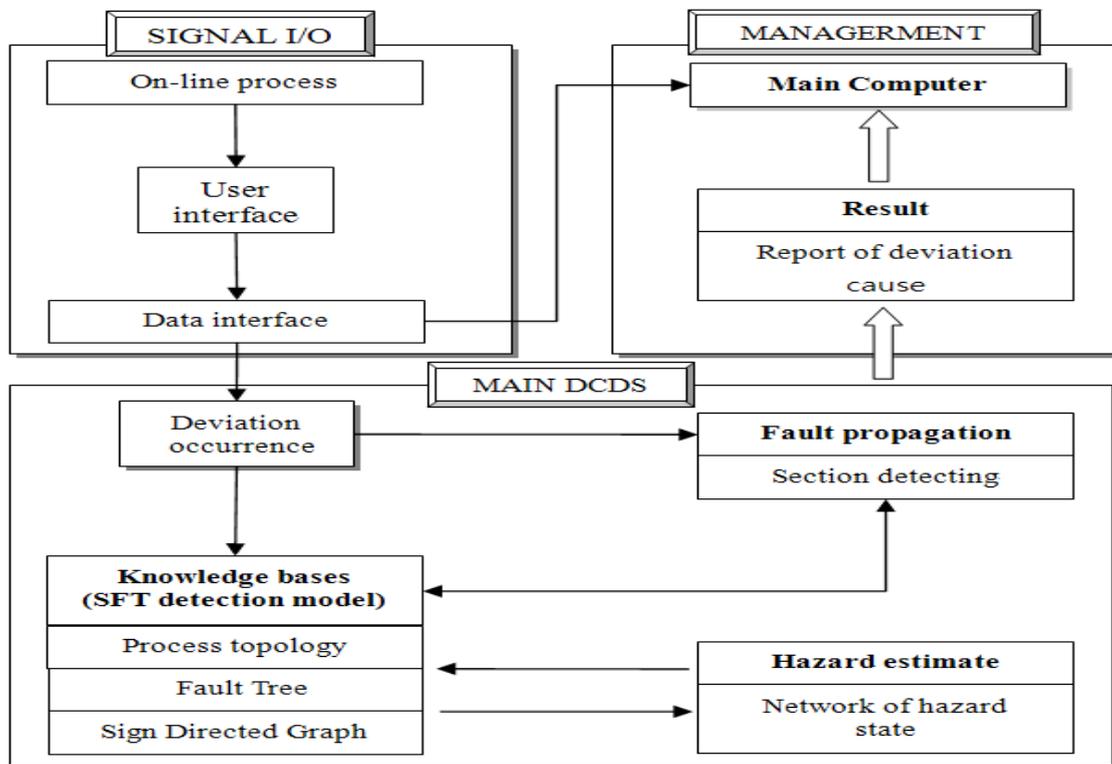


Fig.3 Construction of DCDS data processing

3.2 SFT 탐색 모델을 이용한 고장 원인 탐색 시스템

증류 공정에서 일어날 이탈 상황의 예로 어떤 이유로 인해 유속 감소라는 이탈 상황이 발생하여 경고음이 울리는 상황일 때, Fig. 4 는 이탈 상황인 유속 감소가 발생했을 시 SFT 탐색 모델의 SFT CT(constraint)를 사용하여 공정변수를 실시간 분석한 결과로써 고장 원인의 결과인 파이프 막힘(a)과 누출(b), 그리고 센서(c) 나 컨트롤러(d)의 오작동 등이 나타난 결과이다. 또한, Fig. 5 는 고장 원인 탐색 시스템(DCDS)의 전체적인 구조로 증류 공정의 P&ID 와 공정 데이터의 Total Monitoring 을 구성하였다.

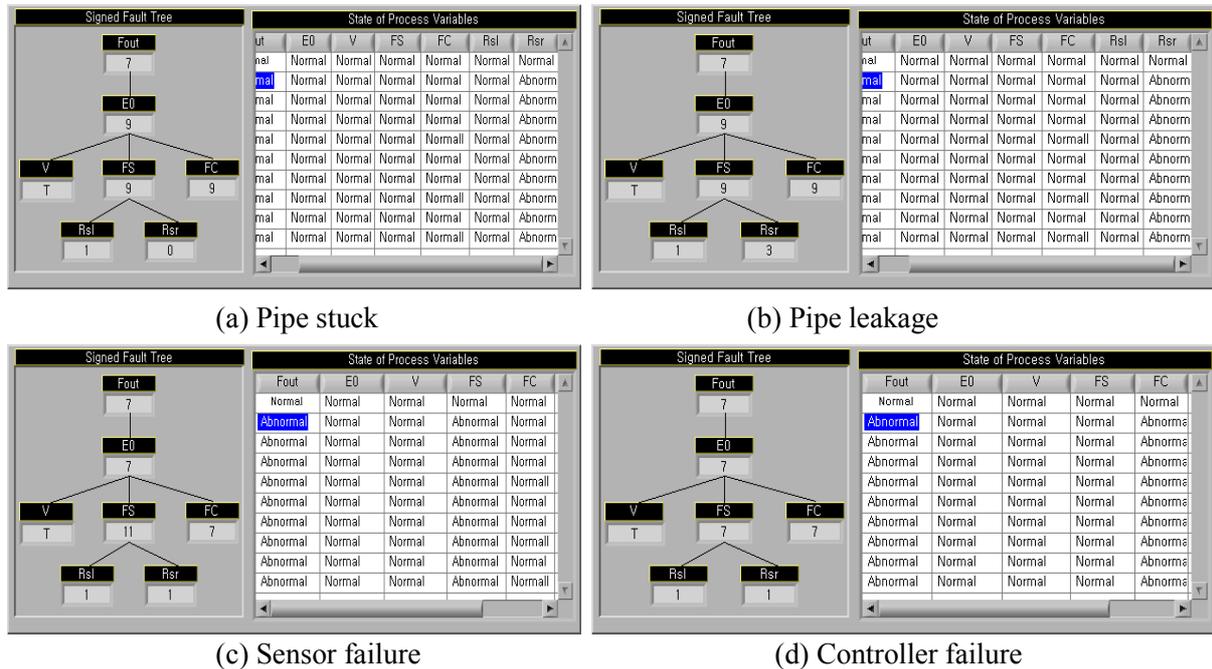


Fig.4 Results for deviation situations

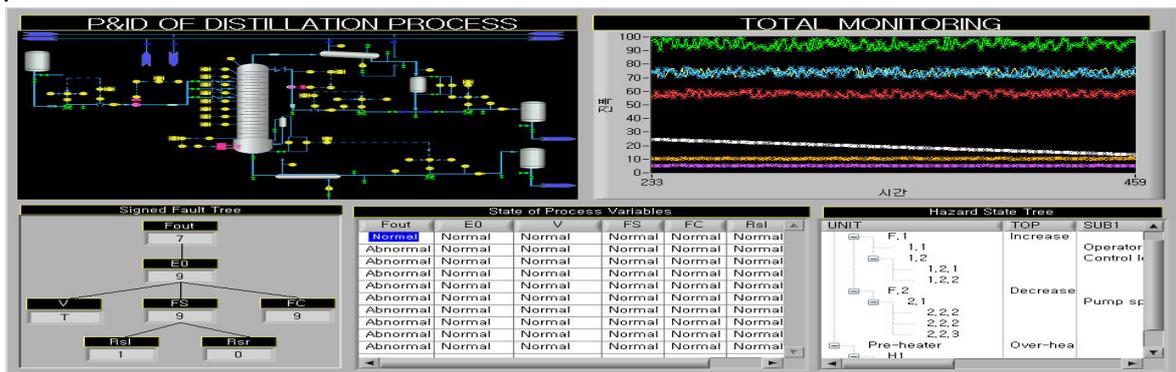


Fig.5 DCDS Total Monitoring

결론

본 연구에서는 실시간 온라인 공정에 고장 원인 탐색 시스템(DCDS, Deviation Cause Detection System)을 개발하기 위하여 부호 이상 트리(SFT, Signed Fault Tree)를 제안 하였다.

SFT 탐색 모델은 기존의 Fault Tree 모델에 고장 발생률을 대신하여 대상 공정에서 실시간으로 전송되는 변수들의 크기를 실시간 SFT CT를 사용하여 분석하여 이상 진단의 결과를 도출하는 탐색 모델이다. 10 단 단수의 증류 공정에 유속 감소에 대한 임의의 이탈 상황을 제안된 SFT 탐색 모델을 이용한 DCDS 적용 시 이탈 상황에 대한 여러 고장의 원인을 실시간으로 정확히 탐색됨을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 안대명 “화학공장의 비정상 운전에서 조업자 운전 지원 시스템에 관한 연구” 부산대학교 박사 학위 논문 (1999)
2. Lee, H. K., Hou, B. K., and Hwang, K. S., “A modeling for Automated Fault Synthesis of Chemical Process”, Journal of Korean Institute of Gas, vol.2, No.3, October, 1998