

## 증류공정의 비정상상황 발생시 조업지원을 위한 FDS에 관한 연구

정승배, 박창원, 박재웅, 김미희, 황규석\*  
부산대학교 화학공학과  
([kshwang@pusan.ac.kr](mailto:kshwang@pusan.ac.kr))

### A Study on FDS for Abnormal Situation of Distillation Process

Seung Bae Jung, Chang Won Park, Jae Woong Park, Mi Hee Kim, Kyu Suk Hwang\*  
Department of Chemical Engineering, Pusan national university  
([kshwang@pusan.ac.kr](mailto:kshwang@pusan.ac.kr))

#### 서론

화학공정의 안전 운전을 위한 안전관리의 향상을 위해 많은 연구자들은 interlock system, 위험성 예측 System, 이상진단 system 등의 분야에서 성과를 보이고 있으며, 현재까지 상당한 발전을 이루어 왔다. 또한, 이상진단을 효율적으로 하기 위해서는 우선적으로 화학공정에 상태를 나타내는 공정 데이터를 효과적으로 처리할 수 있어야 함은 물론이고, 그 수많은 변수들을 정확히 판단하여 공정의 해석을 해야 한다.

본 연구에서 이상진단을 위해 사용된 기법으로는 복잡한 화학공정의 구조분석을 위한 국부적 유향그래프(PDG)를 합성하였고, 공정의 정상운행 중 비정상상황(Abnormal situation) 발생시 이탈유닛(Deviation unit)을 확인 하기 위해 전파식(Propagation Rule)과 FTA(Fault Tree analysis)를 합성을 통하여 비정상상태를 유발 시키는 원인을 확인 하였다.

#### 본론

##### 1. 국부적 유향그래프(Partial Directed Graph, PDG)에 의한 대상공정의 표현

화학공정을 쉽게 표현하기 위해 공정의 장치 유닛(Unit)을 노드(Node)로, 파이프(Pipe) 등의 흐름방향을 유향아크(Arc)로, 표현한 유향그래프로 모델화 할 수 있다. 이 유향그래프에서 파이프 내의 유체는 방향성을 가지는 것으로 물질의 이동은 단일방향으로 보는 것으로 하며, 입구노드와 출구노드가 동일한 아크나, 동일한 입구와 출구 노드를 가진 2개의 아크는 존재하지 않는 것으로 한다. 본 연구에서는, 이상진단을 실시 하기 위해서 이탈(Deviation) 증상이 발생했을 때, PDG를 합성하고 결합구조를 확인하여 이상진단을 더

효율적으로 실행 하였다(Fig 1).

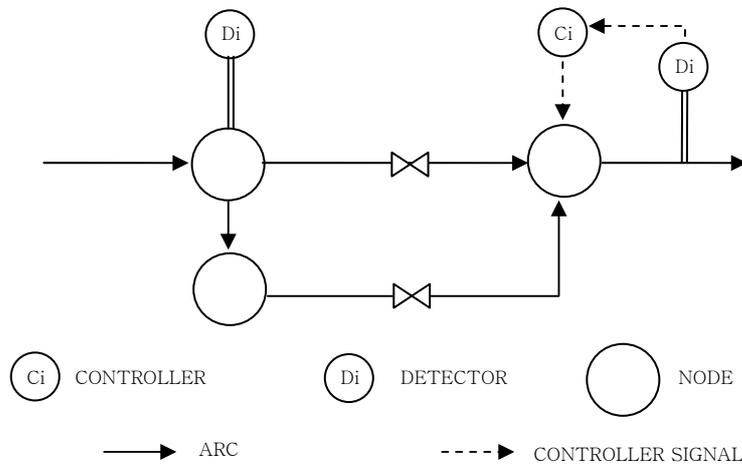


Fig 1. Partial Directed Graph of Process structure

2. 이상진단 시스템

화학공정은 수많은 변수들이 존재 하고 있으며, 그 공정변수(Process Variables)들은 크게 온도, 유량, 압력, 액위 등으로 나눌 수 있으며, 이 외에도 조업자가 실시간 계측을 할 수 없는 변수들이 무수히 많이 존재 하고 있다. 본 논문에서는 이러한 공정변수들을 계측이 가능한 측정변수와 계측이 불가능한 미측정변수로 구분하여 이상 진단을 실시 하였다.

2.1 Propagation Rule

공정의 정성적인 이상진단을 위해서, 먼저 공정 유닛(unit)들과의 관계를 노드(Node)와 간선(Arc)으로 표현한 국부적 유향그래프(Partial Directed Graph, PDG)를 합성하였다. PDG를 통해 대상공정의 결합구조를 확인하고 Propagation Rule을 적용하여 정성적인 이상진단을 실행하였다 (Fig 2).

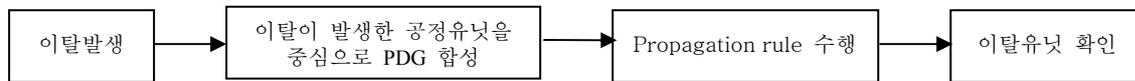


Fig 2. Procedure of propagation rule

2.2 FTA (Fault Tree Analysis)

FTA는 공정의 이상진단의 분야에서 연역적이고 정량적으로 해석하여 이상의 원인을 정확히 도식화할 수 있으며, 컴퓨터를 이용하여 원인의 분석과 대책방안을 과학적이고 체계적으로 처리함으로써 효율적인 이상진단을 추진할 수 있다. 본 연구에서는 미계측변수(Unmeasured Variables) 영역에서 FTA를 사용하여 원인 분석을 실시 하였다.

Fault Tree의 작성은 먼저 공정에서 일어날 수 있는 Fault Event의 Top 사건의 설정을 시작으로 하부조직으로 전개된다. 하부 사상들은 정상사상에 대한 원인을 더 이상 분할할

수 없는 기본사상(Basic Event)까지 반복 분석한다. 각 사상들 사이는 상·하부 사상들의 관계를 논리적인 구조로 표현하기 위하여 논리 게이트(gate)를 사용하여 구성한다 (Fig 3).

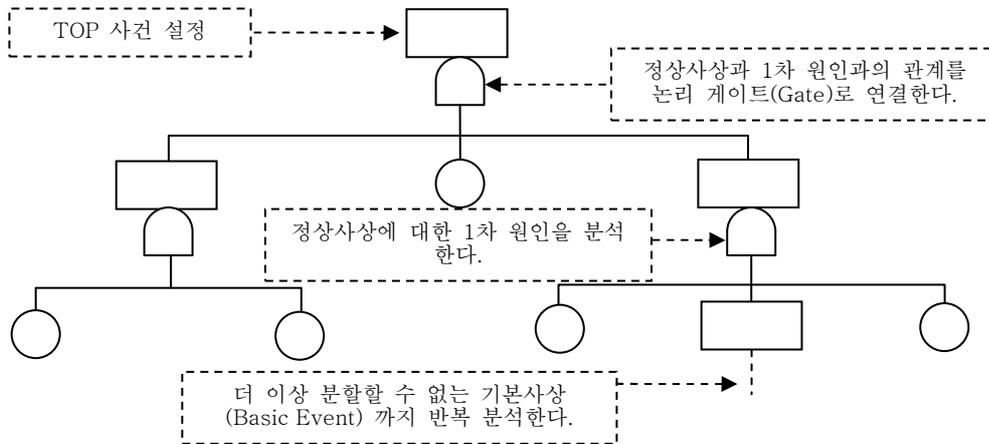


Fig 3. FTA의 작성단계

2.3 Synthesis of Propagation Rule and FTA

화학공정은 계측유닛(measured units)과 미계측유닛(unmeasured units)들이 상당수 존재하는데, 실시간 계측이 가능한 곳에서는 Propagation Rule을 사용하여 이탈(Deviation)이 발생한 유닛을 확인할 수 있지만, 실시간 계측이 안 되는 화학반응, 공정과 공정 사이의 Pipe Line나 ON/OFF Valve, 외적인 요소 등에는 이상진단의 범위가 미치지 못하므로 미계측 영역에서는 FTA의 사용으로 이상진단을 실시하였다 (Fig 4).

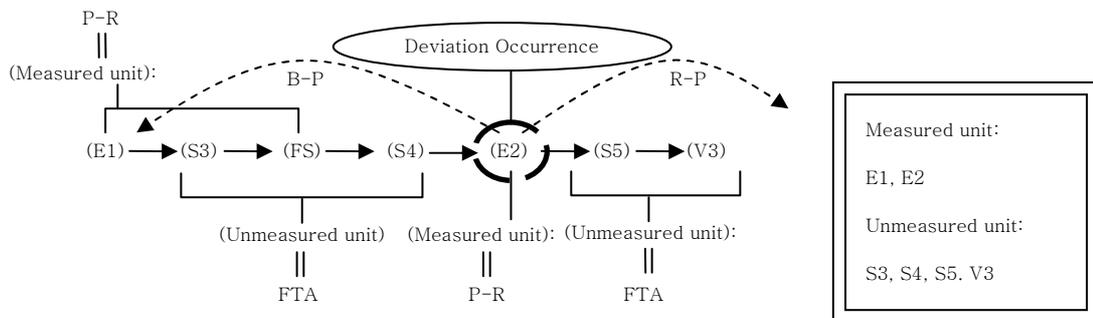


Fig 4. Synthesis of Propagation Rule and FTA

3. 이상진단 수행

본 연구에서의 대상공정은 10단 단수의 Pilot-scale의 Distillation process로써 물과 메탄올을 분리하는 공정이다. 공정을 제어하기 위해 11개의 Sensor와 7개의 Controller가 설치되어 있으며, Sensor가 설치되진 공정을 계측유닛(Measured unit)으로 두고, Sensor가 설치되어 있지 않은 부분인 Pipe line이나 Open/Close Valve, 공정중의 화학반응 등을 미계측유닛(Unmeasured unit)으로 두고 이상진단을 수행 하였다. 이상진단을 수행하기 위하여 공정내의 임의의 이탈(Deviation)을 발생시켰으며, 그 이탈(Deviation)은 예열기관(Pre-heater)에서

의 Over-heating으로 설정하고 FDS를 수행 하였다 (Fig 5).

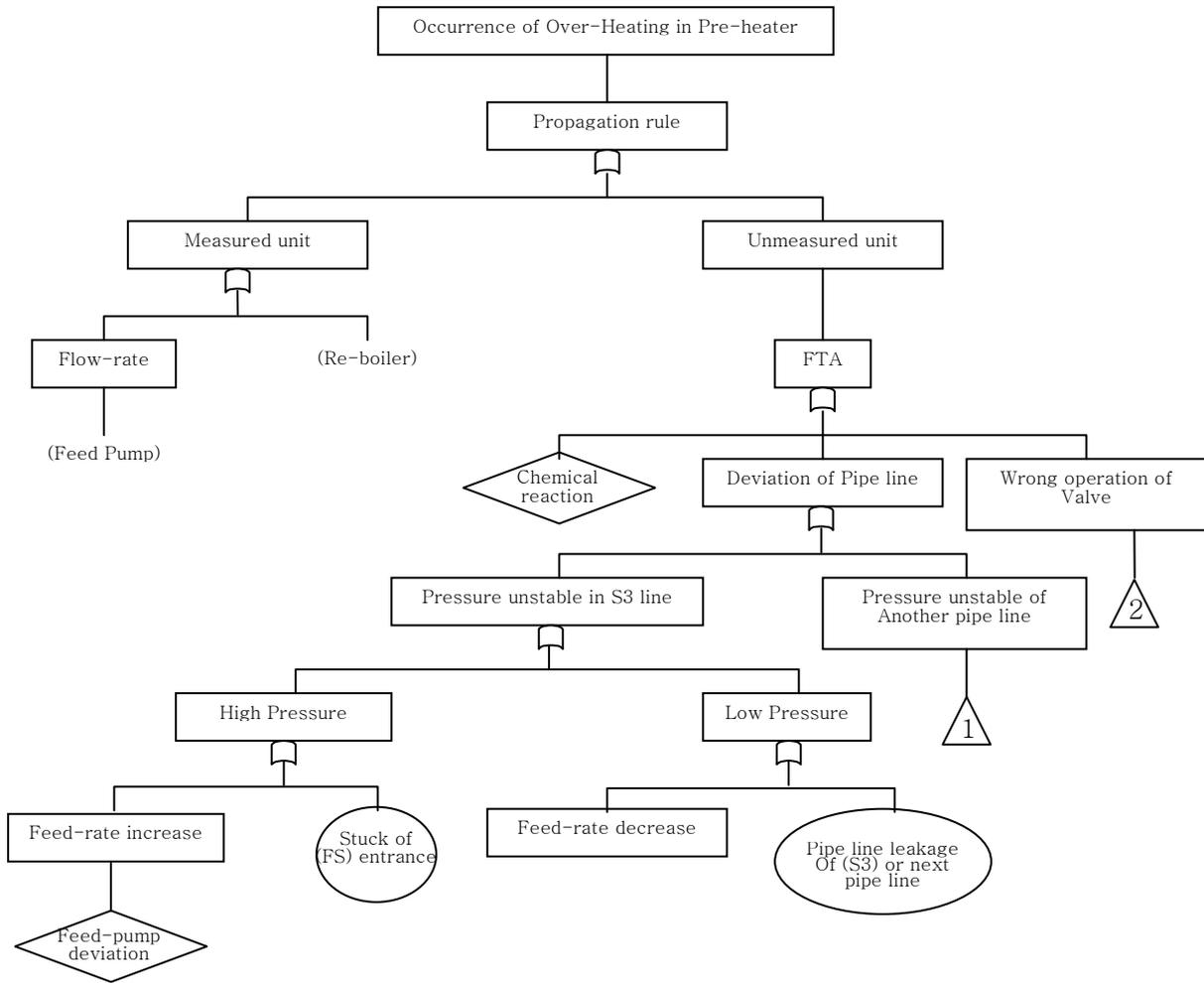


Fig 5. Fault Diagnosis using Synthesis of Propagation Rule and FTA

**결론**

본 연구에서는 화학공정의 유향그래프를 기반으로 전파식(Propagation Rule)과 FTA(Fault Tree analysis)을 합성 통하여 FDA(Fault Diagnosis System)을 연구 하였다. 또한, FDS는 Pilot-Scale의 Distillation Process에 적용하여 신뢰성이 평가 되었으며, 공정의 측정·미측정 유닛(units)들에 대한 이상진단의 수행함에 있어서 높은 효율성을 보여 주었다.

**참고문헌**

1. 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