

## System Risk Analysis를 이용한 연속흐름반응기의 신뢰성 평가

윤동현\*, 한성민, 변윤섭, 안대명, 황규석  
한국산업안전공단\*, 부산대학교 화학공학과

A Reliability Estimation of Continuous Stirred Tank Reactors  
with System Risk Analysis

Dong Hyun Yoon, Sung Min Han, Yoon Sup Byun  
Dae Myung An, Kyu Suk Hwang  
Korea Occupational Safety & Health Agency,  
Department of Chemical Engineering, Pusan National University

**서론**

기존 화학공장의 장치 및 설비의 노후화로 인해 고장이 다발적으로 발생하고 있으며, 그 피해 정도도 커지고 있다. 따라서 위험성 평가에 대한 가치관이 달라지고 있고, 여러 분야에서 많은 위험성 평가 방법들이 개발되고 있다. 그러나 대부분의 위험성 평가 방법들이 결정론적 방법을 주로 사용하였으며, 그로 인해 장치가 시스템에 어느 정도 신뢰도를 가지고 있는지 그리고 그 신뢰도로 인한 위험성의 증가/감소의 효과를 정확하게 분석할 수 없었다. 이러한 문제점을 보완하여 확률론적 방법인 신뢰도 분석방법이 이용되기 시작하였으며, 더 많은 신뢰성 분석에 대한 방법들이 만들어져 사용되고 있다.

본 연구에서 사용할 신뢰성 분석 방법은 이러한 문제점을 보완하고, 시간이 지남에 따라 달라지는 장치의 신뢰성 및 설비의 누적된 신뢰성 값으로 시스템을 분석한다. 이런 분석을 통해 노후화로 인한 고장 발생을 미리 예방하고, 화학공정의 안전화에 많은 도움을 줄 것이다.

**1. 연속흐름반응기**

일반적으로 화학공장에서 널리 사용되고 있는 연속흐름반응기를 이용하여 반응기에 대한 신뢰성 평가를 해 보았다. 반응기는 Level Sensor와 Temperature Sensor가 달려 있다. Level Sensor로 밸브1을 조절하여 유량조절을 하며 Temperature Sensor로 일정 온도 이상이 되면 밸브2가 열려 냉각수로 온도조절을 한다. 두 Sensor의 측정값에 따라 두 밸브가 조절되기 때문에 중요성을 띄고 있다. 이번 연구에서도 이것을 중점으로 반응기의 신뢰성을 분석하였다.

각 설비의 신뢰도 값과 고장확률 값은 다음과 같다.

- E1 반응기의 정상적인 작동확률 : 0.9945
- E2 밸브와 E3 밸브의 운전중 신뢰성 : 0.9865

- E2 밸브와 E3 밸브의 고장발생확률 :  $5.50 \times 10^{-6}$
- E8 펌프의 가동중 고장발생확률 :  $1.04 \times 10^{-4}$
- Level Sensor의 고장발생확률 :  $1.05 \times 10^{-6}$
- Temperture Sensor의 고장발생확률 :  $3.70 \times 10^{-7}$

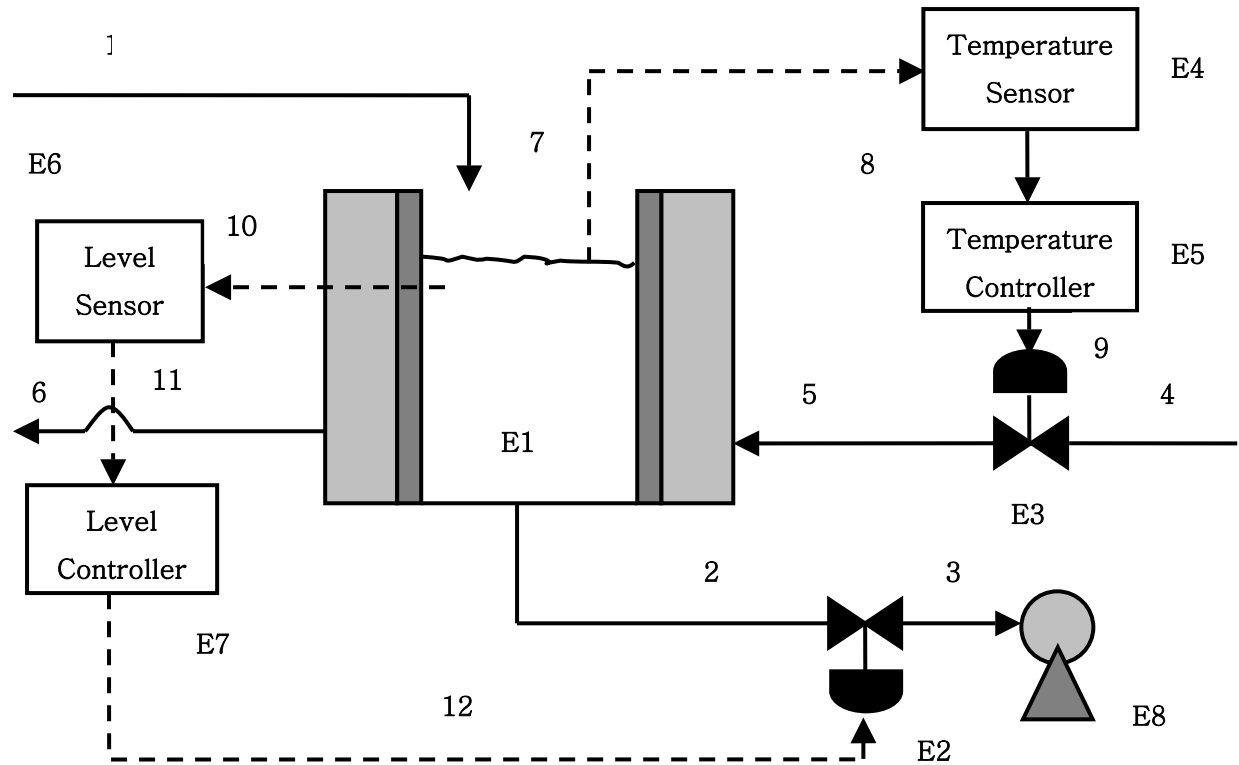


Fig 1. Model Process (CSTR)

## 2. 신뢰도 평가 방법

이 반응기에 사용된 각 장치에 대한 Operator를 설정하여 신뢰도 값을 대입하였다. 신호선은 각 장치의 흐름도를 나타내며, 각각의 Operator를 연결하여 각 장치의 신뢰성 값을 뿐만 아니라 누적된 신뢰성 값을 얻을 수 있다. 시간의 연속성에 대한 Time Point를 두어 매 1000시간마다 두 개의 Sensor에서 체크를 하며 유량과 온도를 일정하게 유지하도록 설정되었다. 누적된 신뢰성 값을 이용하여 이 반응기의 신뢰성을 분석하였다.

다음은 각각의 장치에 대한 Operator의 기능 정의이다.

- Operator 1번은 신호 발생기이다.
- Operator 2번은 반응기이며 값은 다음과 같다.

$$R(t) = S(t) * P_g$$

- Operator 3, 4번은 Sensor의 운전중 고장확률을 뜻하며, 9번은 펌프의 고장확률을 뜻한다.

$$R(t) = S(t) * \exp \left\{ - \lambda * \sum_t \sum_{t_k \leq t} P_i(t_k) \min[1.0, S(t_k) / S(t)] \right\}$$

- Operator 5, 7, 10번은 AND게이트이며 모든 입력신호가 존재할 확률을 구하는 것이다.
- Operator 6, 8번은 밸브를 뜻하며, 운전중 신뢰성 및 고장확률을 뜻한다.

$$R(t) = S(t) * \exp \left[ - \lambda * \sum_i \sum_{t_k \leq t} P_i(t_k) \right]$$

위의 Operator를 이용하여 Flow Chart를 작성하였다.

### 3. System Risk Analysis의 Flow Chart

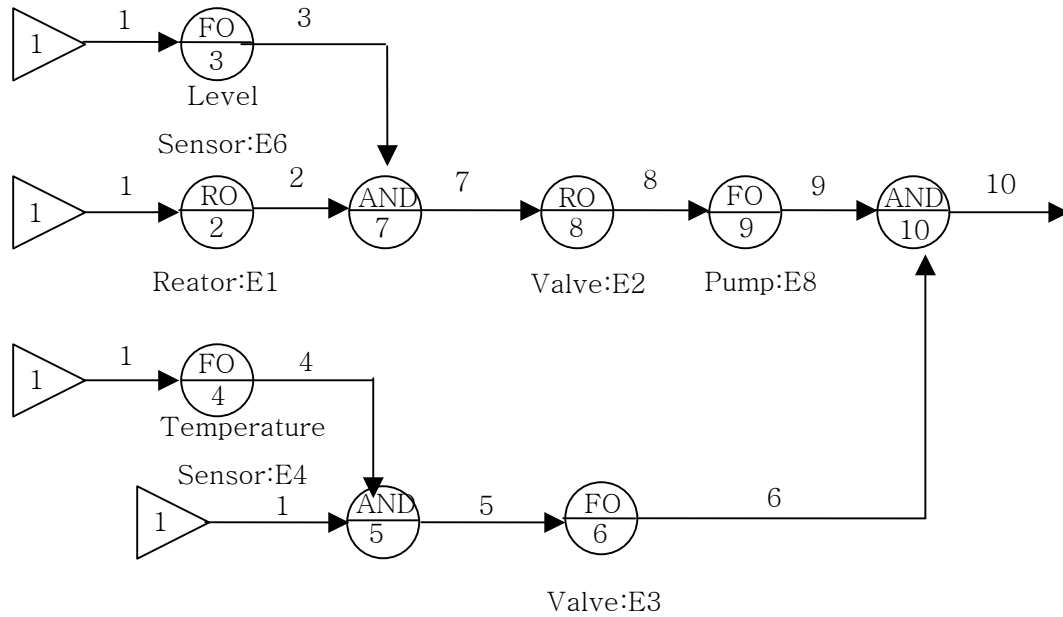


Fig 2. Flow Chart

< FO : 운전 중 고장확률 , RO : 운전 중 신뢰성, AND : AND 게이트 >

이 Flow Chart를 설명하면 1번 신호 발생기에 의해 일정량의 혼합물이 반응기에 들어간다. 동시에 두 Sensor가 작동을 하게되며, 온도와 레벨을 조절하게 된다. 모든 장치에 대해 신호선이 연결되어 있어 전후에 대한 신뢰도 값을 얻을 수 있다. 특히 Sensor에 작동 실패에 따른 반응기의 위험성에 많은 영향을 주므로, AND게이트를 사용하여 모든 고장확률에 대한 누적된 값으로 시스템을 분석하였다. 그리고 시간에 따른 신뢰성을 구하기 위해 연속적으로 반응기를 운전시켜 매 1000시간마다 신뢰도를 분석하였다. 특히 두 Sensor의 작동에 따라 시스템의 신뢰

화학공학의 이론과 응용 제8권 제2호 2002년

성의 변화를 분석하는데 주 목적을 두고 있다.

#### 4. 신뢰도 자료 분석 결과

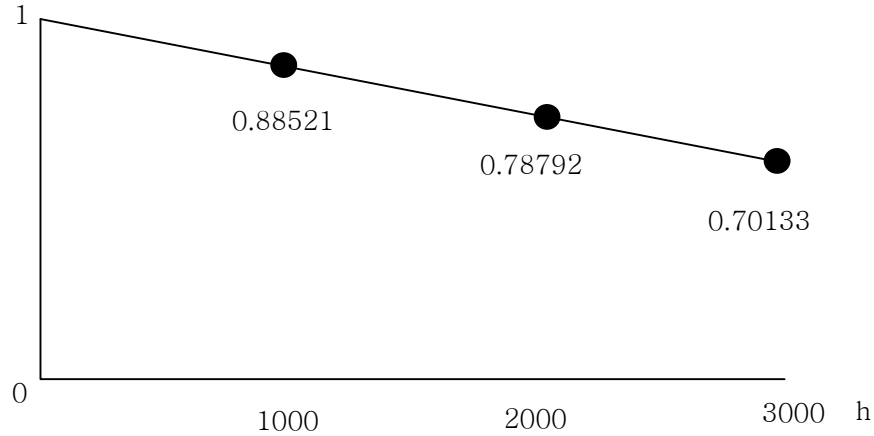


Fig 3. Result of Reliability Analysis

#### 결론

본 연구에서는 System Risk Analysis를 이용하여 반응기의 신뢰성 평가를 해 보았다. 각 장치에 대한 시간에 따른 신뢰성을 알 수가 있으며, 누적된 결과로 인해 시스템의 신뢰성을 분석할 수 있다. 결과치를 분석하면 시간의 연속성으로 인해 시스템의 신뢰성 값이 낮아짐을 알 수가 있다. 따라서 어느 정도 시간이 흐름에 따라 위험성을 미리 예방할 수 있으며, 누구나 이 시스템을 쉽게 분석할 수 있는 장점이 있다. 이러한 신뢰성 분석을 통해 장비에 대한 안전성을 측정하여 화학공정에 대한 위험성을 줄이는데 많은 도움을 줄 것이다.

#### 참고문헌

1. Shen Zupei, "An exact algorithm dealing with shard signals in GO methodology", Reliability Engineering and System Safety, 2001
2. Shen Zupei, "A new quantification altorithm for the GO methodology", Reliability Engineering and System Safety, 1999
3. Takeshi Matsuoka, "Go-Flow: a New Reliability Analysis Methodology" Nuclear Science and Engineering, 1988
4. Takeshi Matsuoka, "The GO-FLOW reliability analysis methodology-analysis of common cause failures with uncertainty", Nuclear Engineering and Design, 1997