

가스 공정의 안전을 위한 공정 시스템 공학의 응용

이 기 백 / 조 현 우 / 윤 인 섭 / 한 중 훈

머리말

최근 국내 가스 사용량이 급격히 증가함과 함께 몇 번의 대형 가스 관련 사고들이 발생하면서 각종 가스 시설의 위험성을 관리하고자 하는 많은 노력이 기울여지고 있다. 이런 노력 중에서 95년부터 시행되고 있는 SMS(Safety Management System) 제도는 가장 중요한 부분이 되고 있는데 이 제도는 기업활동 전반을 하나의 시스템으로 하여 시스템 운영 규정의 작성과 반복적인 시스템 평가를 통해 안전 관리 효율을 향상시키고자 하는 관리 제도이다. 이런 접근법은 시스템 공학, 즉 "많은 부시스템들 또는 부분적 요소들로 구성되는 시스템에 있어서 주어진 제약 조건들과 목적들을 최적으로 만

족시키는 의사 결정을 위한 방법론들을 연구하는 분야"와 매우 흡사하다. 또한, 가스 공정을 화학 공정의 하나로 고려한다고 볼 때 화학공정을 대상으로 시스템 공학을 적용하는 분야인 공정 시스템 공학(process systems engineering)이 가스 공정의 안전과 밀접한 관련이 있다고 볼 수 있다.

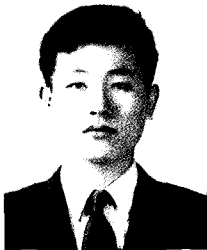
따라서, 본고에서는 공정 시스템 공학적인 측면에서 가스 공정의 안전성을 향상시키기 위해 어떠한 기술들을 적용할 수 있는지 살펴 보고자 한다.

1. 공정 시스템 공학과 가스 공정

공정 시스템 공학은 그림 1과 같이 시스템의 입력에서

출력을 얻기 위해 필요한 일련의 과정을 의미하는데 이때 화학적, 생물학적 반응 및 열과 물질 전달을 동반하기 때문에 특별히 공정 시스템 공학이라고 정의한다[3].

공정 시스템 공학은 다루게 되는 내용에 따라 화학 및 정유 공장의 설계, 제어 및 안전을 위한 체계적이며 안전하고 효율적이며 종합적인 학문으로 정의할 수 있다. 주요 연구 분야로는 설계(design), 제어(control) 및 조업(operation)이 있으며 응용 분야로 안전, 환경 등을 포함한다. 이런 연구를 위한 도구는 다음과 같이 크게 두 가지로 나누어지며 이를 효율적으로 구현하기 위해 컴퓨터 시스템이 사용된다.



이 기 백

- 1968년 생
- 서울대학교(석사)
- 서울대학교(박사과정)



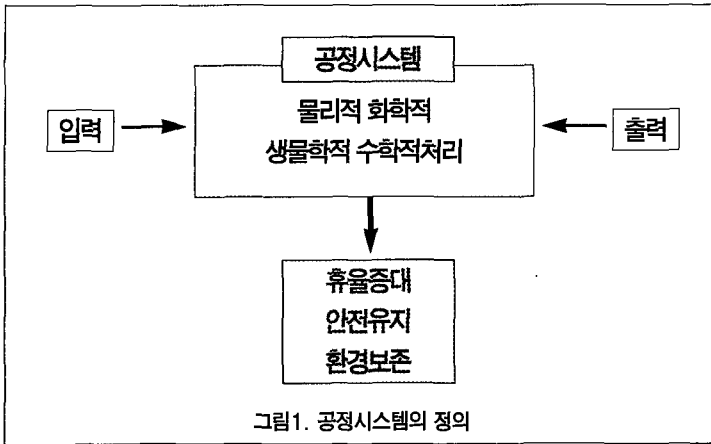
조 현 우

- 1969년 생
- 홍익대학교(학사)
- 포항공과대학교(석사과정)



한 중 훈

- 1961년 생
- M.I.T.(공학박사)
- 포항공과대학교 화학공학과 조교수



(1) 정량적 방법

모사(simulation), 최적화(optimization), 통계 처리

(2) 정성적 방법

그래프 이론(graph theory), 경험 법칙(heuristics), 인공지능(artificial intelligence) 본고의 2장에서는 이 중에서 가스 공정에 대한 적용이 용이할 것으로 판단되는 모사 기법과 전문가 시스템 기법에 대해 자세히 설명하고 가스공정의 안전을 위해 적용 가능한 분야에 대해 알아본다. 또한, 3장부터는 공정 시스템 공학의 연구 분야중에서 가스 공정의 안전과 밀접한 관계가 있다고 판단되는 공정 설계 및 공정 조업에 대해 상세히 알아본다.

먼저, 가스 공정이 화학 공정과 어떤 차이가 있는지 알아보면 가스 공정은 단순한 화학 공정에 속한다는 것이다. 일반적인 화학 공정은 대개 복잡하

고 다루기 어려운 반응기, 증류탑 등이 많고 특히 경제적인 여러 가지 이유로 많은 순환 흐름(recycle)과 복잡한 제어 알고리즘에 의해 운전되고 있다. 그러나, 가스 공정은 그림 2에서 보이는 LPG 시설의 경우에서 보듯이, 펌프, 열 교환기, 건조기, 탱크 등과 배관망으로 구성되어 화학 공정에 비해 단순하다고 할 수 있다. 따라서, 가스 공정은 기존의 많은 화학 공정과는 달리 모델링이 쉽기 때문에 다른 공정 시스템 공학에서의 많은 연구 성과를 적용하기에 용이할 것으로 판단된다.

2. 공정 시스템 공학의 도구

2.1 공정 모사

공정 모사란 공정의 최적 조업 조건 결정, 최적 설계, 위험성 분석 및 안전 평가, 조업자 훈련 등을 위하여 컴퓨터를 사용하여 공정의 물질 수지 및

에너지 수지의 계산, 규모의 결정, 비용 산출 등을 수행하는 것을 말한다(7). 또한, 공정 계획, 공정 개발, 공정 설계, 공정 조업 및 개선 등의 대부분의 공정 관련 분야에 응용되기 때문에 공정 시스템 분야에서 가장 기본적인 기술에 속한다. 공정 모사는 공정의 입출력에 대한 물질 및 에너지 수 지식과 공정 내부에서 발생하는 물리적, 화학적 현상들을 나타낸 수학적 모델을 세우고 이를 이용하여 수행되는데 그 방법과 응용면에서 크게 정상상태모사와 동적 모사로 나누어진다. 정상상태모사(steady-state simulation)는 주어진 조건에서 공정변수가 시간에 따라 변화하지 않는 상태, 즉 공정이 도달하게 되는 최종 상태를 보여주며 동적 모사(dynamic simulation)는 주어진 조건에서 공정 변수가 시간에 따라 변하는 과정을 보여준다. 즉, 동적 모사는 공정의 과도 거동(transient behavior)을 해석하는 도구이다.

공정의 안전성을 고려하는 경우에는 동적 모사가 더 적합하므로 본고에서는 동적 모사에 대해 좀 더 자세히 알아본다. 그동안 많은 발전이 이루어지면서 공정 엔지니어의 필수적인 도구가 된 정상상태 모사에 비해 동적 모사는 상대적으로 발전이 늦었다고 할 수 있다. 그러나, 80년대부터 많은

결과가 얻어지고 SPEEDUP, g-PROMs, HYSYS 등의 상용 동적 모사기들이 많이 발표되면서 점차 공정 시스템 공학에 서의 큰 위치를 점하고 있다.

동적 모사는 공정이 비정상 상태, 비평형 상태에 있을 때 이를 해석하는 도구로 사용된다. 예를 들어, 입력의 변화, 제어변수의 영향, 공정의 외란 등이 공정 설계나 조업에 미치는 영향 등을 분석할 수 있게 하며 공정이 건설되기 전에도 설계된 공정에 대한 정보를 얻을 수 있게 한다. 동적 모사가 공정 시스템 공학에서 응용될 수 있는 분야를 살펴보면 다음과 같다.

(1) 공정 설계 (process design)

단위 공정간의 복잡한 간섭이나 영향 등에 의한 공정의 상호 작용에 대한 정보, 외란이나 기타 다른 공정변수가 공정에 미치는 영향 등을 분석함으로써 안정성(stability)이나 민감도(sensitivity) 해석을 할 수 있게 한다. 따라서, 이를 통해 공장이 건설되기 전에 설계단계에서 미리 필요한 많은 정보를 얻을 수 있게 된다.

(2) 공정 조업(process operation) 및개선(modification)

동적 모사는 매우 복잡한 공정의 경우에도 다양한 공정 변화에 대해서 전반적인 조업

조건을 알 수 있게 한다. 예를 들어 특정 장치가 고장으로 작동 중단되면 공정에 어떤 영향을 미치는지, 또는 그 장치의 작동 중단으로 공정이 위험한 수준에 도달하는 시간 등을 예측할 수 있다. 이런 부분은 공정의 조업성(operability) 연구와 병행된다. 또한, 공정 조업에 있어 가장 어렵고 위험성이 큰 부분인 운전개시(startup) 및 정지(shutdown) 절차나 조업 전환(switching) 등의 절차나 전략을 시험할 수 있게 한다.

(3) 공정 자동화 (process automation)

공정 자동화의 많은 분야에도 동적 모사는 매우 중요한 역할을 할 수 있다. 첫째, 공정에 적합한 제어 전략이나 제어 계수를 시험하고 평가하기 위해 사용될 수 있다. 둘째, 최적화 시스템을 적용하기 전

에 기법이나 모델을 검증하는데 사용함으로써 그 유용성을 확인할 수 있다. 셋째, 이상 모사(fault simulation)를 통해 공정에 발생할 수 있는 결함이나 고장하에서의 데이터를 생성함으로써 이상 진단 시스템의 테스트를 할 수 있으며 진단시스템과의 통합을 통해 진단 시스템이 내려야 할 결정을 지원할 수도 있다.

이와 같은 동적모사기술의 응용 분야는 가스 공정에서도 거의 유사하게 활용할 수 있으며 이외에도 다음과 같은 응용 분야가 있다.

(1) 안전 설비의 평가

가스 시설로부터 가스가 누출되었을 때 사고가 미치는 영향, 즉 사고의 피해가 어떻게, 어디까지 미칠지를 분석하기 위해 피해영향을 평가하는 모델을 통해 위험과 손실 정도

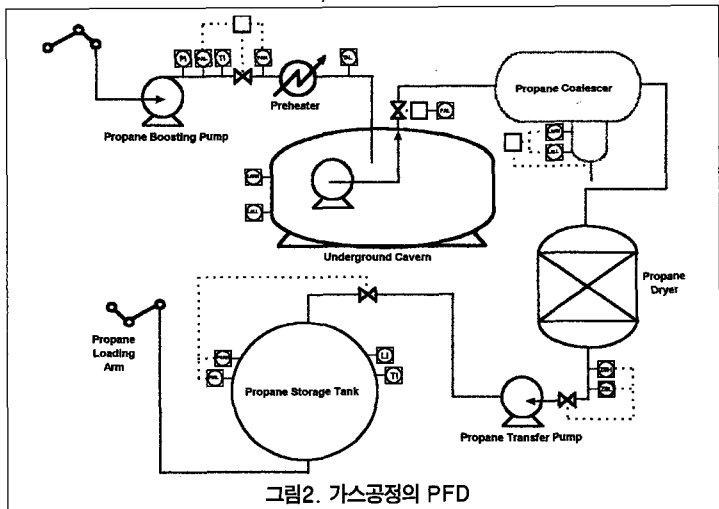


그림2. 가스공정의 PFD

를 계산하고 있는데 이는 사고의 진행과정을 모델로 만들어서 결과를 예측하므로 정상 상태 모사와 유사하다고 할 수 있다. 이와 같은 사고 영향을 분석하여 얻은 결과가 위험 판단기준보다 높은 경우에는 안전 조치를 강화하여야 한다. 이와 같은 안전 조치에는 방호벽이나 차단막을 도입하거나 위험 시설 주변의 인구 밀도를 줄이는 방법이 있고 pressure safety valve 등의 안전장치(safeguard)를 이용하여 사고 빈도를 낮추는 방법이 있다. 이때 가스 공정과 배관망에 대한 동적 모사를 수행함으로써 이런 안전 설비의 종류, 개수, 규격을 구하거나 배치할 위치를 결정할 수 있다. 이를 위해서는 가스 공정의 단위 장치에 대한 동적 모사 모델이 필요하고 특히 각 안전 설비는 매우 짧은 시간 동안 작동되는 경우가 대부분이므로 매우 정교한 모델이 요구된다. 이런 과정을 통해 위험성이 있는 부분에 대해 적절한 조치를 취할 수 있게 한다. 따라서, 기존에 발표된 사고 영향 분석

을 위한 모델(또는 code)과 공정의 동적 모사를 결합한 분석 방법을 강구하는 것이 바람직한 방향이라고 하겠다.

(2) 조업자 훈련

대부분의 화학 공정에는 해당 공정에서 발생 가능한 사건들을 조업자가 미리 경험하여 대처할 수 있도록 하는 조업자훈련기(operator training simulator)가 설치되어 있다. 가스 공정에도 조업자훈련기는 많은 도움을 줄 수 있다. 먼저, 가스 사고의 원인 중에서 상당 부분을 차지하는 취급 부주의를 줄일 수 있게 되며, 둘째 실제 공정으로는 결코 교육할 수 없는 가상의 사건 또는 긴급 사태에 대해 필요한 조치를 미리 연습할 수 있다. 특히 잘 훈련된 조업자일지라도 이전에 경험하지 못한 사고가 발생한 경우에는 대처하기 어려운 경우가 많은데, 조업자 훈련기는 이런 사태에 대비하여 조업자에게 반복 훈련을 시킬 수 있게 한다.

2.2 전문가 시스템 (expert system)

전문가 시스템은 특정 분야의 전문가로부터 그 분야에 대한 지식을 얻고 이를 재구성하여 컴퓨터의 추론 엔진으로부터 문제에 대한 해답을 제시하기 위한 컴퓨터 프로그램이다[9]. 전문가 시스템을 구축하기 위해서는 분야 전문가(domain expert), 지식 엔지니어(knowledge engineer), 시스템 개발 툴(tool)이 필요하다. 지식 엔지니어는 분야 전문가나 다른 자료로부터 필요한 지식을 얻고 개발툴을 사용하여 시스템을 구축하며, 분야전문가와 함께 개발된 시스템을 테스트하고 그 결과를 이용하여 시스템을 개량한다.

전문가 시스템은 수치 해석이나 알고리즘을 이용하여 풀기 어려운 문제들을 경험에 기반하여 풀기 때문에 쉽고 더 실제적이라고 할 수 있다. 따라서, 전문가시스템의 많은 규칙들은 경험적인 형태를 띠는데 이런 지식들을 통틀어 지식 베이스(knowledge base)라고 한다. 또한, 지식 베이스를 이용하여 문제를 해결하기 위해 추론 엔진(inference engine)이 사용된다. 이와 같은 전문가 시스템의 일반적인 구조는 그림 3과 같다.

전문가 시스템의 성능은

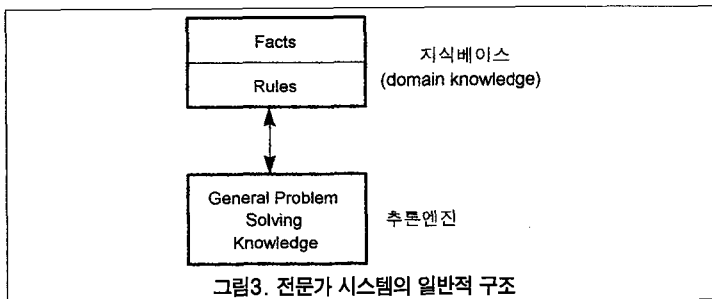


그림3. 전문가 시스템의 일반적 구조

지식의 질에 따라 결정된다. 즉, 전문가 시스템이 가진 지식의 품질이 우수할수록 더 좋은 결과를 제시할 수 있다. 지식을 표현하기 위한 방법은 크게 절차법 (procedural method), 규칙 기반법, 의미망(semantic network)과 프레임으로 나뉘어진다. 절차법은 기존의 컴퓨터 프로그램 처럼 한 번에 하나의 명령을 처리하도록 지식을 표현하므로 조업 절차 같은 지식을 표현하는데 적합하다.

규칙 기반법은 'if-then'의 형태를 갖는 규칙을 이용하여 지식을 표현하므로 해당 분야의 전문가 경험을 표현하기에 용이하다. 또한, 규칙을 빼거나 더함으로써 지식 베이스를 고치거나 확장하기가 쉽다. 주어진 상태가 규칙의 조건부를 만족시키면 술어부의 행위(action)가 실행된다. 이때 이 규칙이 'fired' 또는 'executed' 되었다고 하며, 이 실행의 결과로 다른 규칙이 실행되는데 이것은 전향 추론(forward chaining)과 후향 추론(backward chaining)의 두 가지 방식으로 나뉘어진다. 전향 추론은 알려져 있는 조건으로부터 기대되는 행위로 이르는 방식이고 후향 추론은 기대되는 행위로부터 필요한 조건에 이르는 방식인데 후향 추론이 많이 쓰이고 있다.

의미망은 심리학에서 인간

의 기억에 대한 모델을 위해 개발된 것으로 정점과 간선으로 구성되는데 간선은 정점 사이의 관계를 나타낸다. 정점은 객체, 개념, 사건 등을 나타내며 간선은 표현된 지식에 따라 다르게 정의되는데 정점과 정점사이의 벡터로 표현된다.

프레임은 객체(class)의 계층 구조에서 정점과 정점사이의 망으로 지식을 표현한다. 계층 구조에서 상부에 위치한 계층은 상대적으로 일반적인 개념을 표현하고 하부에 위치한 것일수록 더 특정한 인스턴스(instance)를 나타낸다.

잘 알려져 있듯이 전문가 시스템은 위험성 평가 기법의 자동화를 위해 많이 사용되고 있다. 위험성 평가 기법은 평가 과정 중에 필요한 안전 및 공정 관련 지식의 복잡성 및 방대함 때문에 이의 자동화가 요구되어 왔으며 90년대 들어서 자동화에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 연구의 대상이 되는 위험성 평가 기법 들로는 HAZOP(HAZard and OPerability study), FMEA(Failure Mode and Effects Analysis), FTA(Fault Tree Analysis) 등이 있다. 서[5]는 최근까지 진행된 위험성 평가 기법의 자동화에 대해 정리하였는데 그중 중요한 시스템은 다음과 같다.

(1) 이상 전파(propagation of faults)에 의한 위험성 분석

이 방식은 공장을 한 세트의 단위 모델들로 표현하고 이 모델들에 계속 질의를 가함으로써 이상 전파를 수행한다. 이때 사용된 모델들은 규칙들의 집합들이므로 이상 전파 기술의 향상을 전문가 시스템에 적용하는데 가장 적합하다고 판단된다.

각 공정 장치의 이상 전파에 필요한 지식을 정성 전파식과 이상의 시작과 종결의 사건 명령문(event statement)을 사용하여 구현하였다. 시작 사건 명령문은 고장난 장치에서의 이상의 시작을 묘사하며, 전파식은 정상 운전 중인 장치를 통한 이상의 전파를, 그리고 종료 사건 명령문은 그 장치의 고장을 유발시킨 장치에서의 이상의 종료를 나타낸다. 시작과 종료 명령문이 각각 원인과 결과이며 이들의 결정이 HAZOP 분석 과정의 목표이다.

(2) HAZOPEX 전문가 시스템

이 시스템은 공정 엔지니어들이 체계적인 HAZOP 분석을 하는데 필요한 노력을 감소시키고 신뢰할만한 결과들을 얻을 수 있게 있도록 지원하기 위해 개발되었으며 정상적인 공정 조건으로부터 벗어난 현상들이 분석되어지며 그것의 원인과 결과들이 확인되

고 그 대책이 계획된다.

HAZOPEX는 체계적으로 공정의 가능한 모든 이탈들을 검토하고 그 분석 결과를 보장하고 사용자를 위한 제안을 한다. HAZOPEX의 지식은 HAZOP 방법, 이탈들의 잠재적 원인과 결과들, 이탈이나 그것의 결과들을 막기 위한 방법의 제안들, 분석을 조정하는 경험 법칙들로 구성된다. HAZOPEX는 타당한 원인들을 찾기 위해서 규칙 기반법으로 체계적인 경험 법칙들을 사용한다.

(3) 조업성 검토(Operability Study) 전문가 시스템

이 시스템은 조업성 연구를 위한 프로토 타입의 전문가 시스템으로 공장 특정 지식 베이스, 일반적 지식 베이스와 추론 엔진으로 구성되어 있다. 공장 구조 정보와 반응 형태가 전문가 시스템에서 특정 지식 베이스의 입력이 된다. 공정 변수들, 지시어는 일반적 지식 베이스를 형성한다. 장치의 각 공정 변수가 이탈을 설명하는 주요어를 이용하여 지식 베이스를 탐색하면서 순서대로 검토된다. 공정 단위 결정 테이블들은 인과 입출력(casual input-output) 변수 관계, 이상전파 모델들이다.

(4) HAZOPEXpert

이 시스템에서는 시스템의

범용성을 유지하면서도 HAZOP 분석의 공정 특정한 면을 표현하기 위하여 HAZOP 지식을 공정 특정한 성분과 공정 독립적인 성분으로 나누어 고려하였다. 단위 공정에서의 공정 변수 이탈에 대한 플랜트의 모든 비정상적 원인(abnormal cause)들이 단위 공정과 모든 상류 단위 공정(upstream process unit)의 원인 탐색 방법(find-cause method)과 전파를 수행함으로써 구해지고 마찬가지로 모든 결과들도 공정 장치와 모든 하류 단위 공정(downstream process unit)의 결과탐색 방법(find-consequence method)과 전파를 통해 구하여진다. 지식 기반 시스템으로부터의 HAZOP 결과는 단위공정이나 라인에서의 공정 변수 이탈에 대한 플랜트의 모든 원인과 결과를 나열하는 형식으로 제공된다.

3. 공정 설계 기술

공정 시스템 공학에서의 설계 문제는 크게 새로운 공정의 설계와 기존 공정의 개선으로 나누어진다(3). 설계를 위한 주요 결정은 (0) 반응 경로 결정, (1) 연속식 혹은 회분식 공정 결정, (2) 입출력구조 결정, (3) 재순환 구조 결정,

(4) 분리 구조 결정, (5) 열교 환기 합성망 구축의 순으로 이루어진다. 각 단계에서는 경험 법칙이나 공정 모사 또는 최적화 기술이 사용된다. 최근에는 축적된 경험과 이론적인 배경에 근거하여 공정 소프트웨어, 특히 CAD(Computer-Aided Design)의 도움을 많이 받고 있다.

안전을 고려한 설계 문제는 위의 각 단계와는 별도로 고려되어야 하는데 이것은 재해가 발생하기 전에 설계단계에서부터 그 위험을 예방하는 것으로 이것은 "본질적으로 안전한 플랜(ISP: Inherently Safer Plant)라는 개념의 원리이다(1.4).

이 개념은 모든 가능한 위험들을 방지하는 것이 불가능하다고 할지라도, 기본공정이나 그 공정의 조업 환경을 바꿈으로써 사고의 발생 가능성 또는 그 사고의 영향을 줄이는 것은 가능하다는 것이다. 이런 개념은 크게 5가지로 나누어진다.

(1) 대체(substitution)

단위 공정이나 저장 설비로부터의 물질의 누출에 의한 위험은 그 공정의 조건을 만족시키면서도 덜 위험한 물질로 대체함으로써 줄어들 수 있다.

(2) 재고의 감소 (inventory reduction)

누출될 가능성이 있는 물질을 제한함으로써 유독성 물질에 의한 오염의 손실을 제한하는 방법으로 가장 효과적이라고 할 수 있다.

(3) 장치와 공정의 개선

다루는 물질이나 공정의 조건 또는 형태를 위험성이 적은 조건 또는 형태로 개선한다.

(4) 공정 조업성

본질적으로 조업하기가 쉬워서 조업 가능 영역이 높도록 장치를 설계한다. 조업 가능 영역이 매우 좁은 공정의 경우에는 조업자에게 조급의 허점도 허용하지 않는다.

(5) 2단계 설계 (second-chance design)

플랜트가 사람의 실수나 장비의 허점으로부터 덜 영향을 받도록 설계해야 한다. 이것은 장치의 설계와 조업에 여분의 안정성과 안전 요소를 도입하도록 하는 개념이다. 이 개념은 제어 장치, 안전을 위한 인터록 설비, 비상 정지 시스템 등을 사용하여 공정의 이탈을 감지하고 조치하는 것과 조업 순서의 결정에 매우 중요하다.

4. 공정 조업 기술

4.1 공정 감시 기술

공정 조업에 있어서 안전 관리 기술은 크게 공정 감시기술 (monitoring)과 이상 진단기술 (fault diagnosis)로 나눌 수 있다. 공정 감시 기술은 공정이 정상적인 상태에서 벗어나는 것을 신속하고 정확하게 파악하는 기술인 반면 이상 진단 기술은 이상 상태에 있는 공정을 진단하여 그 원인을 파악하고 해소하여 공정을 안전 상태로 가계하는 기술이라 할 수 있다.

가스 공정에서의 사고는 직접적인 피해는 말할 것도 없고 사회적인 영향도 크기 때문에 공정의 안전을 위한 상시 감시가 필요하다. 이의 감시를 위해서는 온도, 압력, 유량 뿐만 아니라 위험한 상태로 이르기 전에 성분 농도 및 기타 관련 변수들을 실시간으로 감시하고 이상이 발생할 징후가 있을시 즉각적인 경보를 필요로 한다. 이를 위해서 누출 가스의 감지를 위한 센서(sensor)에 대한 연구가 활발히 이루어지면서 많은 발전이 이루어졌다. 그러나, 가스 센서를 잘못 설치하면 그 오작동에 의해 공정을 정지시키는 결과를 가져오고 또 센서로부터의 경보가 나왔는데도 사고를 미연에 방지하지 못하는 결과를 가져

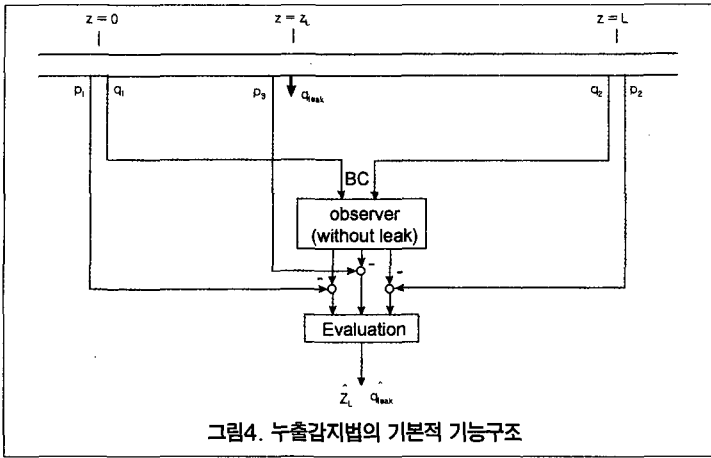
오게 된다. 따라서, 최근에는 이런 잘못된 오작동을 줄이기 위해 복수의 센서를 사용하는 신뢰도 높은 감시 시스템을 제안하고 있다.

4.2 공정 진단 기술

공정 시스템 공학에서는 공정의 안전한 조업을 확보하기 위한 위험 관리 작업(risk management)을 위해 크게 두 가지의 방법을 제시하는데 온라인으로 수행되는 이상 진단과 오프 라인으로 이루어지는 위험성 평가(hazard analysis)가 있다.

두가지 방법을 쉽게 구분한다면 오프라인의 위험성 평가는 공장의 설계 단계나 기존 공장에 변화가 있을 경우에 사용되고, 온라인 이상 진단은 공정의 조업 단계에서 발생한 이상이 사고로 발전하는 것을 예방하는데 사용된다. 따라서, 이상 진단은 발생한 이상 현상에 대한 원인을 규명하는 것이 목적이고 위험성 평가는 공정 내에 존재하는 잠재적인 위험요소를 찾아내는 것이 목적이다. 그러나, 이 두 작업은 표현 방식을 달리할 뿐 주어진 이상의 원인을 찾는다는 점에서는 동일하며 상호 보완적인 위치에 있다고 할 수 있다.

최근에 가스 공정에서 발생한 큰 사고의 영향으로 위험성 평가가 강제 규정으로도 입되면서 공정 안정 분석을 위



해 HAZOP, FMEA, FTA, Failure Mode Effect Criticality Analysis(FMECA) 등의 다양한 기법들이 폭넓게 알려지고 있다[2]. 본고에서는 다른 논문이나 서적에서 상세히 설명되고 있는 이런 기법에 대한 설명은 생략하고 이상 진단에 대해 자세히 알아본다.

1973년 이후 많은 공정의 사고 사례들을 분석한 결과 반수 이상이 조작 및 판단의 오류에 의한 것이어서 이상시에 조업자의 판단을 지원하는 시스템 개발이 많은 주목을 받게 되었다. 이상 진단 시스템은 온라인으로 공정 정보를 분석, 관리하고 공정의 상태를 감시하여 이상이 발생하였을 때 이상의 원인을 진단하고, 이상의 계속적인 전파를 방지하여 손실을 줄일 수 있도록 조업자의 판단과 의사결정에 필요한 정보를 제공하여 공정 이상에 효율적으로 대처할 수 있도록 도

와주는 역할을 수행한다.

공정 시스템 공학에서의 이상 진단 방법은 크게 다음 5가지로 나누어진다[6].

(1) 규칙 기반 전문가 시스템

앞에서 설명한 전문가 시스템 기법을 이용한 것으로 이상 진단 방법으로는 처음 시도된 것이다. 이 방법은 구현하거나 이해하기가 쉬워 많은 산업체에서 이를 이용한 진단 시스템을 개발하였다. 그러나, 지식 베이스를 체계적으로 유지, 관리할 수가 없고 새로운 이상의 경우는 진단할 수 없다는 단점이 있다.

(2) 관측자/필터(observer/filter) 등을 이용한 추정 기법

대표적인 정량적 진단 방법으로 공정을 잘 표현하는 수학적 모델이 필요하고 이를 표시하는데 필요한 상태 변수(state) 및 파라미터

(parameter)값의 변화를 관찰하여 변화를 근거로 판단하는 방법으로 정확한 이상의 진단이 가능하다. 따라서, 관측 값 및 여러 입력 값으로부터 상태 변수 및 파라미터를 추정할 필요가 있으며 이를 위해 칼만 필터(Kalman filter)나 관측자(observer) 등의 추정자들이 사용된다.

(3) 부호 유향 그래프(signed digraph)이용법

이 방법은 공정 변수 사이의 미시적인 인과 관계를 공정의 수학적 모델이나 공정 지식 및 데이터로부터 유향 그래프로 표현한 모델이다. 각 공정 변수는 정점으로 표현되고 정점 사이에는 공정 변수간의 인과 관계를 나타내는 간선과 부호가 사용된다. 부호는 인과 관계의 부호를 나타내며, 입력된 변수값으로부터 모든 정점의 상태, 즉 패턴을 만족시키는 정점을 구하게 되면 그 정점이 이상 원인으로 제시된다.

(4) 정성적 모사(qualitative simulation)방법

부호 유향 그래프와 같이 정성적 모델에 기반한 방법으로 정량적 모사에서 사용되는 수학적 모델을 사용하는 대신 정성적인 제약식(qualitative constraint)을 이용하여 정성적인 모사 기법에 따라 해를 제

시한다. 이 방법에서의 이상 진단은 어떤 이상이 발생하였을 때 공정 변수들의 변화를 시간의 진행에 따라 일어날 수 있는 가능성을 조사하여 그 결과를 해석하는 방법으로 이루어진다.

(5) 인공 신경망 (neural network) 기법

인공 신경망을 이용하여 공정에 발생한 변화에서 이상을 진단하는 방법으로 최근에 인공 지능 기법의 하나로 각광 받고 있다. 신경망은 일반화의 능력이 있고 진단에 필요한 시간이 적다는 장점이 있다. 신경망을 이용하여 이상 진단을 수행할 때는 입력 값으로 공정의 센서값과 경보 상태를 사용하며 출력 값으로 특정 이상의 존재 여부가 얻어진다.

가스 공정과 배관망은 화학 공정에 비해 단순하고 수학적 모델링이 어렵지 않으므로 정량적 방법을 이용한 이상 진단 시스템을 개발하는 것이 좋다고 할 수 있다. 특히 최근에 국내 가스 배관망에서는 가스 누출에 의한 사고가 많이 일어

나고 있으므로 국내에서도 이와 같은 가스 누출 진단 시스템에 대한 연구를 추진할 필요가 있다. 전통적으로 가스 누출을 감지하는 방법에는 수압 측정법(hydrostatic pressure testing), 초음파 검사법(sonic pig testing), 직접 조사법 등이 있으나 외국에서는 많은 연구자들이 더 진보된 모델 기반 진단법을 개발하고 있다. 이런 방법들의 기본 아이디어는 간단하다. 즉, 직접 측정된 값(또는 측정 값에서 계산된 값)과 모델이나 추정자(estimator)에서 제공된 값을 비교해서 그 차이가 미리 설정된 경계 값보다 커지면 이상이 발생했다고 하는 것이다. 이런 목적을 위해 전술한 관측자나 칼만 필터를 이용하는 방법이 많이 제시되었으며(8) 그림 4는 이런 방법 중의 하나를 보이고 있다.

5. 결론

최근 국내의 여러 가스 관

련 시설들에서 많은 사고들이 발생하여 국민의 생활을 위협하게 되면서, 정부 주도로 많은 단체에서 가스 안전을 도모하기 위한 활동을 벌이고 있다. 본고에서는 이런 상황에서 공정 시스템 공학이 가스 공정의 안전을 위해 어떤 도움을 줄 수 있는지를 살펴보기 위해 공정 시스템 공학을 위한 기본 도구와 응용 분야에 대해 개괄적으로 알아보았다.

가스 공정과 가스 배관망을 화학 공정의 하나로서 고려할 때 공정 시스템 공학이 화학 공정에서 적용했던 다양한 기술들을 가스 공정에서도 충분히 이용될 수 있으리라 생각된다. 또한, 본고에서 제시된 다양한 기술이 국내 가스 공정의 안전한 운전에도 조금이나마 도움이 되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 포항공과대학교 공정 산업의 지능 자동화 연구 센터를 통한 한국과학 재단 우수 연구 센터 지원금에 의한 것입니다. ㉠

참고 문헌

1. 김순중, "화학 공장의 안전 설계," 화학 기술, 4월호, pp. 73-79, 1997.
2. 김연중, 안상현, 조현준, "가스 시설의 위험성 평가 기법 및 적절한 기법의 선택을 위한 고려 사항", 화학 공업과 기술, 14(4), pp. 351-359, 1996.
3. 문일, 이인범, "공정 시스템 공학의 현황", 제어·자동화·시스템공학지, 1(2), pp. 63-67, 1995.
4. 박원희, 한국 화학 공학의 과제, 금빛 출판사, pp. 147-194, 1997.
5. 서정철, 화학 공정의 안전성 분석을 위한 다중 모델 접근 방법, 서울대학교 화학공학과, 1997.
6. 윤인섭, 이기백, 화학 공정을 위한 이상 진단의 방법과 과제, 화학 기술, 4월호, pp. 80-85, 1997.
7. 이강주, 유연한 모듈 접근법에 의한 공정 동적 모사에 관한 연구, 서울대학교 화학공학과, 1993.
8. Singh, M.G., Fault Detection and Reliability, pp. 105-112, Pergamon Press, 1987.
9. Waterman, D.A., A Guide to Expert Systems, Addison-Wesley, Reading, 1986.