



가스 시설의 조기 경보 시스템에 대한 연구

†이정우 · 유진환 · 고재욱

광운대학교 화학공학과

(2005년 9월 2일 접수, 2005년 9월 12일 채택)

A Study of Early Warning System for Gas Facilities

†Jeong Woo Lee · Jin Hwan Yoo · Jae Wook Ko

Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul, Korea

(Received 2 September 2005, Accepted 12 September 2005)

요 약

화학공장들을 비롯한 수많은 가스 이용 시설들에서는 방대한 양의 운전 변수들을 감시하면서 운전 상태 및 부하에 따라 설비를 제어하고 있다. 이러한 공정에서 운전자가 인식할 수 있는 공정의 이상(fault)은 물리적인 고장(physical failure)이나 외부 교란, 운전자의 오류(human error) 등과 같은 원인으로 인하여 공정의 운전 조건이 정해진 상태를 벗어난 비정상(abnormal) 상태가 지속적으로 누적되면서 발생한다. 이러한 공정의 이상이 발생하기 전부터 비정상 상태가 지속됐다는 것에 기초하여, 운전 변수들을 실시간으로 감시하여 공정 상태의 판단을 도와주고, 공정의 이상이 발생하기 전에 조기 경보를 해주는 조기 경보 시스템에 대해 연구하였다.

Abstract – There is monitored amount operation variables and controlled by operating conditions and loads at many facilities using gas also chemical plants. The process fault which can be indicated by operators, is occurred when the abnormal state was accumulated continuously owing to physical failure, external disturbance or human error. This is studied a Early Warning System which is to estimate process status by real-time monitoring operation variables and to early warning before it will be occurred process fault.

Key words : Early warning system, Predictive safety system, Operation status monitor

I. 서 론

화학공장들을 비롯한 수많은 가스 이용 시설들에서는 방대한 양의 운전 변수들을 감시하면서 운전 상태 및 부하에 따라 설비를 제어하고 있다. 이러한 공정에 이상이 발생한 경우, 운전자가 짧은 시간 내에 올바른 원인을 찾아서 적절한 대응 조치를 취하는 것은 쉬운 일이 아니다. 실제로 운전자가 인식할 수 있는 공정의 이상(Fault)은 물리적인 고장(Physical Failure)이나 외부 교란, 운전자의 오류(Human Error) 등과 같은 원인으로 인하여 공정의 운전 조건이 정해진 상태를 벗어난 비정상(Abnormal) 상태가 지속적으로 누적되면서 발생한다.

이러한 공정의 이상이 발생하기 전부터 비정상 상태가 지속됐다는 것에 기초하여, 운전 변수들을 실시간

으로 감시하여 공정의 상태를 판단하고, 공정의 이상이 발생하기 전에 조기 경보를 해주는 여러 시스템들이 소개되고 있다. 일반적으로 공정 변수 자체의 변화에 관심을 두고 있는 통계적인 공정 감시 기법을 사용하고 있는데, 이는 평균이나 표준 편차 같은 통계적인 값들에 변화가 생긴 경우에 대해서 비정상 상태로 판단을 하는 기법이다. 그러나 통계적인 공정 감시 기법들은 공정 변수 각각을 따로 감시하기 때문에, 실제로 여러 공정 변수들이 상호작용을 하면서 발생하는 비정상 상태를 판단하기에는 무리가 있다.

그래서 본 연구에서는 서로 상호작용을 하는 공정 변수들을 묶어서 감시하는 기법들을 사용하여 공정의 이상을 조기에 경보해주는 조기 경보 시스템에 대해 연구하고, 이와 관련된 예방안전시스템을 구축할 수 있는 방안을 마련하고자 한다.

II. 공정 감시 기법

2.1. 공정 감시 기법의 개요

전통적인 제어/모니터링 시스템은 비정상적인 공정 운전 조건에 의한 이상이 발생하기 전에 정해진 범위를 벗어나는 경우에 경보를 하고, 그 이상의 2차 범위를 벗어나는 경우에는 가동을 중지시켜 최대한 사고가 일어나는 것을 방지하고 있다.

그러나 이러한 시스템들은 대상 운전 변수들을 각각 따로 감시하며 관리를 하고 있으며, 대상 설비에 이상이 발생했을 경우 갑작스런 운전 정지 및 계획되지 않은 정비를 해야 된다.

이런 상황에서 가용성을 극대화하기 위한 노력의 일환으로 심층적인 예방 차원의 유지 보수 프로그램을 도입해서 실시하고 있다. 그러나 예방 차원의 유지보수가 과도할 경우의 문제점은 유지보수비용이 증가한다는 것이다.

또한 Fig. 1에서 Sensor B를 수많은 운전 변수들 중에서 중요 운전 변수로 선택하여 감시, 관리했다면 전혀 이상 징후 없이 공정 이상이 발생한 것처럼 이해할 수 있으나, 관련 모든 운전 변수를 감시하고 있었다면 공정의 이상을 미리 예측할 수 있었을 것이다.

이러한 공정의 이상이 발생하기 전부터 비정상 상태가 지속되고 있으며, 여러 운전 변수에서 이러한 현상이 발생된다. 이에 기초하여 운전 변수들을 실시간으로 감시하여 공정의 상태를 판단하고, 공정의 이상이 발생하기 전에 조기 경보를 해주기 위한 여러 가지 기법들이 소개되고 있다.

2.2. 해석적 모델링에 의한 공정 감시 기법

해석적 접근에 의한 설비의 Modeling은 공정 감시를 위한 가장 이상적이며 대표적인 방법이라고 할 수 있다. 많은 경우에 있어 해석적 Modeling의 신뢰성은 전

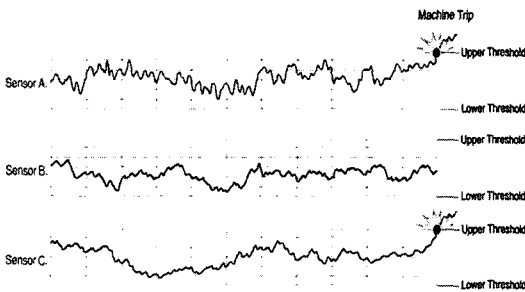


Fig. 1. Regulation monitoring and example of early warning system.

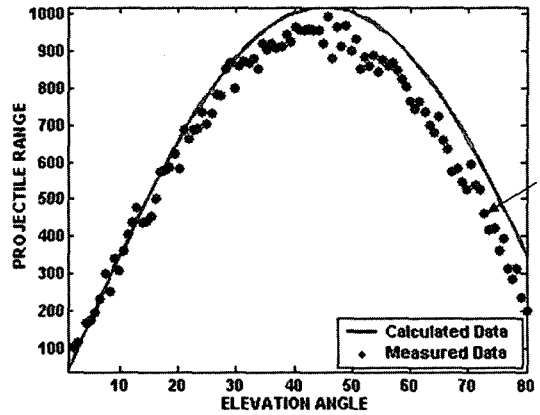


Fig. 2. Example of the offset with calculated data and measured data.

적으로 대상 설비의 정교한 해석적 Modeling에 달려 있다.

그러나 대부분의 가스 이용 시설에서는 수많은 운전 변수와 공정 변수가 존재할 뿐 아니라 수많은 보조 설비와 복잡하게 연결되어 있어 이 모든 파라미터를 포함하는 정교한 해석적 모델을 구축하는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 또한 생산성이나 설비의 안전성에 크게 영향을 주지 않는 운전 변수의 경우, 그 계측기 자체가 설치되어 있지 않기 때문에 설비 전체에 대하여 모든 운전 변수를 반영하는 모델을 구축하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 대부분의 경우 결과 값에 미치는 영향이 상대적으로 적은 운전 변수들을 생략하고 Mass Balance와 Energy Balance도 단순화하여 기준 Property에 대한 특정 Property의 특성곡선을 구함으로써 그 추세(Trend)를 파악하게 된다.

2.3. 경험적 모델링에 의한 공정 감시 기법

대상 설비의 해석적 Modeling을 통하지 않고 경험적 방법을 이용하여 현재의 플랜트 운전 상태를 명확히 규정하고 이에 따른 대상 운전변수와의 관계를 정립한다면 설비에 대한 모델을 정형화시킬 수 있다.

가장 간단히 구현할 수 있는 기법은 다차원 근사 모델링이다. 이를 위해서는 현재 운전 상태를 가장 잘 나타내는 기준 운전변수를 x축으로 하고 대상 운전변수를 y축으로 하는 함수의 근사(Curve Fitting)를 해야 하는데 여기에서 얻어지는 Curve의 신뢰성을 확보하기 위해서는 과거의 데이터가 충분히 존재해야 하며, 저장되는 데이터가 많아질수록 얻어지는 Curve의 신뢰성도 높아질 것이다. 또한 대상 운전변수의 특성에 따라 Curve의 형태가 달라질 수 있으므로 Curve Fitting을 통

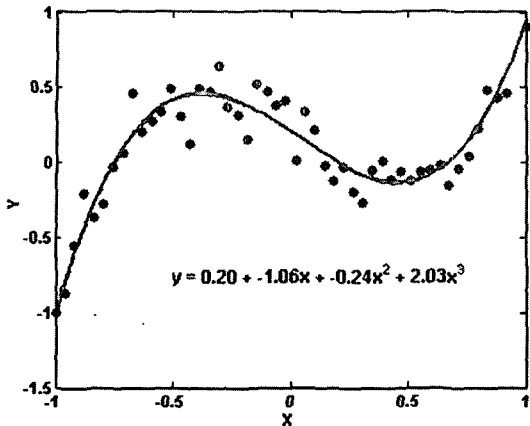


Fig. 3. Example of polynomial approximation modeling.

하여 구하는 다항식은 경우에 따라 다양한 차수의 함수로 나타낼 수 있어야 하며 가장 일반적인 최소자승법(Least Square Method)을 이용한다. 많은 데이터가 축적되는 경우, 다양한 운전 상태에 따라 각각의 특성 Curve를 작성할 수도 있을 것이다.

그러나 위의 기법은 많은 부분에서 선형화를 가정하고 이뤄지나 대부분의 가스 시설들은 매우 복잡하고 비선형적인 특성을 갖고 있고, 또한 물리적 해석이 어렵기 때문에 기존의 통계적인 방법으로 만족을 얻기에 부적합하다. 이러한 이유로 신경망이 새로운 방법으로 부각되고 있으며, 신경망 알고리즘으로 Feed Forward Error Back Propagation (BP) 알고리즘이 가장 널리 사용되고 있다. 신경망 모델링은 생물의 신경전달 과정을

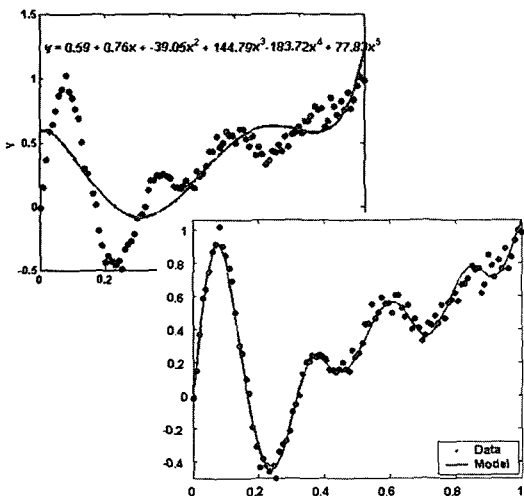


Fig. 4. Example of neural network modeling.

단순화하고 이를 수학적으로 해석한 모델이다. 이것은 복잡하게 얽혀있는 뉴런(Neuron-신경세포)을 통과시키면서 뉴런끼리의 연결 강도를 조절하는 일종의 학습(Training) 과정을 통해 문제를 분석한다.

이러한 과정은 사람이 학습하고 기억하는 과정과 비슷하며 이를 통해 추론, 분류, 예측 등을 수행할 수 있다.

비선형적인 입력과 출력의 관계를 잘 해석하는 능력을 갖고 있는 신경망을 이용하면 제한된 데이터를 갖고도 더 정확한 관계를 알아낼 수 있으므로 신경망을 이용한 모델링이 기존의 통계적 기법보다 우수하다.

III. 경험적 모델링에 의한 공정 감시 기법의 구현

3.1. 다차원 근사 모델링

다차원 근사 모델링 기법에 의한 실시간 조기 경보 시스템을 복합 화력에 적용해 보았다. 복합 화력의 경우, 최근에 지어진 발전소가 대부분이어서 강력한 Data Historian 기능을 가지고 있으며, 기저부하가 아닌 첨두부하(Peak Load)용으로 설계되어 부하의 변화가 많기 때문에 필요한 Data를 쉽게 구할 수 있는 장점이 있다. 다차원 근사 모델링 기법에 의한 공정 감시 기법의 구현에서 고려해야 할 요소는 여러 가지가 있겠지만 가장 중요한 요소라고 할 수 있는 것이 기준 운전변수의 선정이다.

기준 운전 변수가 되기 위한 요건을 생각해 보면 다음과 같다.

- 다양한 플랜트 운전상태를 표시할 수 있을 것.
- 다른 주요 운전변수와 긴밀히 연관되어 있을 것.
- 동일한 운전 상태에 대해 그 값의 재현성이 뛰어난 것.
- 상대적으로 오차가 아주 적을 것.
- 플랜트 상태에 따라 연속적으로 변하는 값일 것.

이 밖에도 여러 가지가 있겠지만 대체로 위의 조건을 만족한다면 기준 운전변수로서 가치가 있다고 판단된다. 본 실험의 대상이 되는 가스 사용 시설은 발전 플랜트이며, 발전 플랜트에서 위의 조건을 만족하는 운전 변수는 여러 가지가 있지만 가장 잘 부합하는 것은 바로 출력(Load, MW)이다. 발전 플랜트의 출력은 바로 최종 생산물인 전력으로서, 온도나 압력, 유량 등의 다른 물리량과 달리 전기 신호를 직접 변환하므로 오차가 발생할 소지가 적다. 따라서 기준 운전 변수를 전력으로 설정하였다.

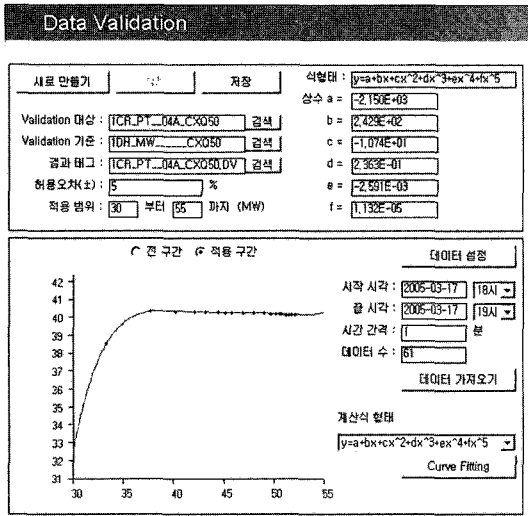


Fig. 5. Modeling for pressure of main steam pump.

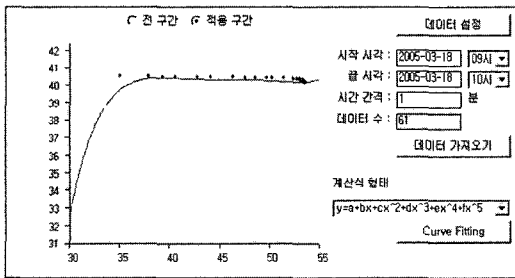


Fig. 6. Apply above model for pressure.

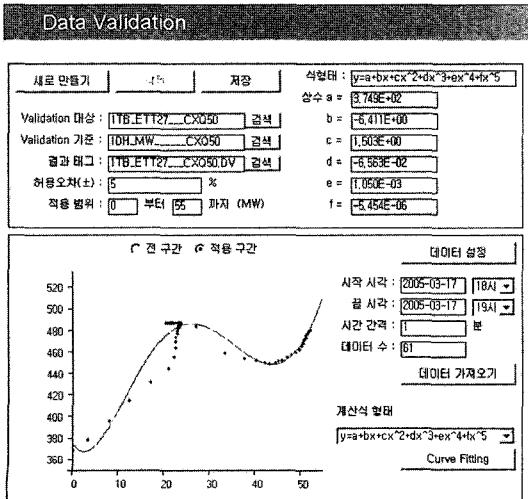


Fig. 7. Modeling for temperature of main steam pump.

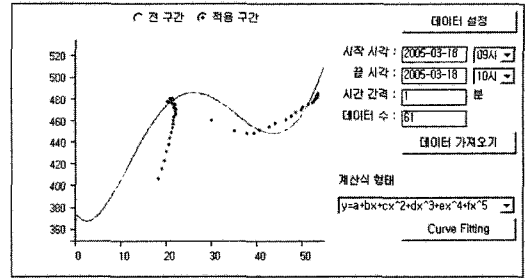


Fig. 8. Apply above model for temperature.

Fig. 5는 개발한 다차원 근사 모델링 기법에 의한 실시간 조기 경보 시스템을 복합 화력의 Main Steam Pump의 운전 변수 중에서 압력을 30~55 MW 구간에 대해 다차원 근사 모델을 만든 것이며 그림에서 보는 것처럼 다차원 근사 모델에 있어서 양호한 특성을 나타낸다(5차 함수). Fig. 6은 이를 이용하여 이후의 압력 Data를 실시간 조기 경보 시스템에 적용한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 Main Steam Pump의 압력을 감시하였을 경우에는 정상운전으로 나타났다.

Fig. 7은 Main Steam Pump의 운전 변수 중에서 증기 온도와 출력과의 관계를 전 구간에 대하여 다차원 근사 모델을 만든 것이다. Fig. 8은 이를 이용하여 이후의 압력 Data를 실시간 조기 경보 시스템에 적용한 것이다.

Main Steam Pump의 압력을 감시하였을 경우에는 이상이 없는 것처럼 보였던 설비에서 운전 변수를 달리 해서 증기의 온도를 감시하면 비정상 운전을 감지할 수 있었으며, 이로 인해 조기 경보가 가능해졌다.

3.2. 신경망 모델링

그러나 보다 비선형계인 Vacuum Pump인 경우에는 위와 같은 다차원 근사 모델링 기법으로는 충분히 신뢰할 만한 예측이 이뤄지지 않기 때문에 실시간 조기 경보 시스템으로 사용하기에는 문제가 있었다. 이에 신경망 모델링 기법을 이용한 실시간 조기 경보 시스템을 개발하였다.

또한 다차원 근사 모델링 기법에서는 기준 운전 변수에 대해서 각 운전 변수의 관계를 찾아 비정상 운전을 감시하였지만, 신경망 모델링 기법에서는 하나의 운전 변수를 예측하기 위해서 해당 설비의 나머지 운전 변수를 이용하였으며, 다른 운전 변수를 예측하기 위한 모델을 만드는데도 참여한다. 이를 통해 각 운전 변수들이 모두 상호 체크를 하면서 설비의 비정상 운전을 감시할 수 있었다.

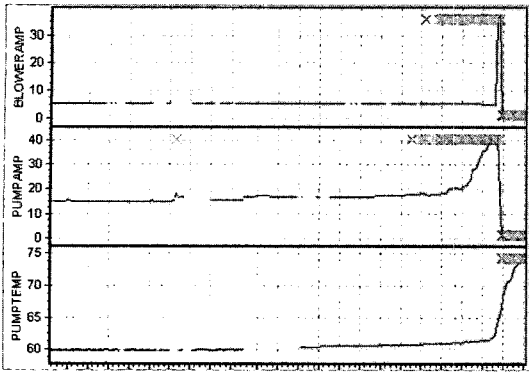


Fig. 9. Apply a neural network model to vacuum pump.

Vacuum Pump의 온도, 압력을 포함한 4가지 운전 변수를 가지고 신경망 모델링 기법을 이용하여 모델을 만들고, 설비의 Trip이 일어났던 시간 부근의 데이터로 실시간 조기 경보 시스템에 적용하였다. 다음 그림 Fig. 9에서 Trend의 End Time에서 Trip이 발생했으며, 그 이전에 Pump의 Ampere 운전 변수에서 조기 경보가 있었다. Fig. 9에서 실제 운전 변수의 값과 신경망 모델에서 예측한 값이 차이가 나는 부분을 별도의 표시를 하여 나타냈다. 각 값의 차이를 가지고 표시하는 기준은 신경망 모델을 만들 때 사용했던 데이터에서 각 운전 변수들의 표준 편차를 구해서 그 2배의 범위를 기준으로 하였다.

이상과 같이 다차원 근사 모델링 기법과 신경망 모델링 기법을 이용하여 실시간 조기 경보 시스템을 개발하여 실제 설비에 적용하여 보았으며, 설비의 Trip이 발생하기 전에 충분히 조기 경보를 해줄 수 있었으며, 이를 활용하여 예방 안전 시스템의 구축 방안을 마련하고자 한다.

3.3. 예방 안전 시스템 구축 방안

실제, 가스 이용 시설들에서는 각 설비의 이상이 전체 공정에 미치는 영향을 간과할 수 없기 때문에 미리 정비를 위한 설비들을 다량 보유하고 있으며, 정기적으로 보수를 하고 있다. 그럼에도 예상치 못한 설비의 이상이 생기며, 이로 인해 전체 공정에 영향을 미쳐 생산물의 품질의 저하뿐만 아니라 사고를 가져올 수도 있을 것이다.

이에 각 설비의 운전 변수들을 실시간으로 감시함으로써 적절한 정비 계획을 세울 수 있을 뿐 아니라 예상치 못한 설비의 이상을 미리 감지하여 전체 공정에 영향을 주지 않도록 정상적인 조업 정지(Normal Shutdown)를 하여 사고를 미연에 방지할 수 있다.

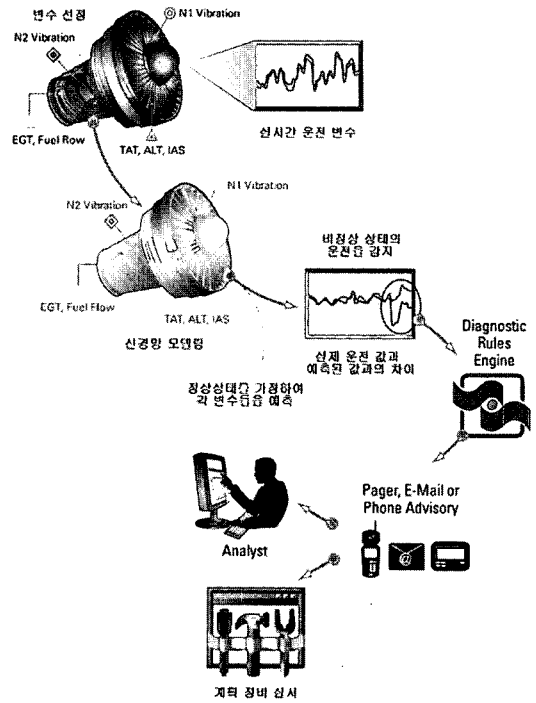


Fig. 10. Predictive safety system.

Fig. 10은 실제 설비의 운전 변수를 성정하여 신경망 모델링을 통해 가상의 설비를 마련하고, 실제 설비의 운전 변수와 가상의 설비의 예측 값을 비교하여 설비의 이상을 감지하여 이를 운전원 뿐 아니라 관련 부서 엔지니어들에게 알림으로써 보다 체계적인 계획 정비를 할 수 있다는 것을 보여준다.

IV. 결 론

공정의 이상이 발생하기 전부터 비정상 상태가 지속됐다는 것에 기초하여, 운전 변수들을 실시간으로 감시하여 공정의 상태를 판단하고, 공정의 이상이 발생하기 전에 조기 경보를 해주는 여러 시스템들이 소개되고 있다. 일반적으로 공정 변수 자체의 변화에 관심을 두고 있는 통계적인 공정 감시 기법을 사용하고 있는데, 이는 평균이나 표준 편차 같은 통계적인 값들에 변화가 생긴 경우에 대해서 비정상 상태로 판단을 하는 기법이다. 그러나 통계적인 공정 감시 기법들은 공정 변수 각각을 따로 감시하기 때문에, 실제로 여러 공정 변수들이 상호작용을 하면서 발생하는 비정상 상태를 판단하기에는 무리가 있다.

그래서 본 연구에서는 서로 상호작용을 하는 공정 변수들을 묶어서 감시하는 기법들 중에서 두 개의 변수

를 다차원 함수로 근사시켜서 만든 모델로 감시하는 기법과 Neural Network을 이용해서 여러 개의 변수를 묶어 하나의 모델을 만들고 이 모델을 이용하여 감시하는 기법을 살펴보았다. 이상 살펴본 기법들을 사용하여 공정의 이상을 조기에 경보해주는 조기 경보 시스템에 대해 연구하였으며, 이와 관련된 예방안전시스템을 구축할 수 있는 방안을 마련하였다.

감사의 글

이 연구 결과는 소방방재청의 인위재해방재기술사업의 지원결과로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Andow, P.K., "Real-Time Analysis of Process Plant Alarms Using a Mini-Computer", *Comput. Chem. Eng.*, **4**, 143 (1980)
- [2] Dalle Malle, D.T. and Himmelblau, D.M., "Fault Detection in a Single-Stage Evaporator via Parameter Estimation using the Kalman Filter", *Ind. Eng. Chem. Res.*, **26**, 2482-2489 (1987)
- [3] 오영석, 김구희, 이원보, 강경욱, 윤인섭, "가스저장 시설의 이상감지를 위한 모니터링 시스템 구축에 대한 연구", *화학공학의 이론과 응용*, **2(2)**, 3051-3054 (1996)