

공조 시스템에서의 자동 이상 검출 및 진단 기술

이 원용*, 신 동열, *박 철

한국에너지기술연구소, *미국 국립표준기술연구원

Fault Diagnosis for a Variable Air Volume Air Handling Unit

Won-Yong Lee, Dong-Ryul Shin, and *Cheol Park

KIER, *National Institute of Standards and Technology, USA.

Abstract - Schemes for detecting and diagnosing faults are presented. Faults are detected when residuals change significantly and thresholds are exceeded. Two stage artificial neural networks are applied to diagnose faults. The idealized steady state patterns of residuals are defined and learned by ANNs using back propagation algorithm. The first stage ANN is trained to classify the subsystem in which the various faults are located. The first stage ANN could be also used to detect faults with threshold checking. The second stage ANNs are trained to discriminate the specific cause of a fault at the subsystem level.

없으며, 이에 따라 설비에 이상이 발생할 경우 신속한 복구 및 최적 운영이 불가능해진다. 따라서 현재 자동으로 운영되는 시스템에 자동 고장 진단 및 처리 시스템의 도입이 필요하다.

본 논문에서는 공조설비의 이상 검출 및 진단을 위해, 허용치 검사 및 2단 신경망을 이용한 방법을 제시하였다.

International Energy Agency의 연구분과인 ANNEX25 "Real Time Simulation of HVAC Systems for Building Optimization, Fault Detection and Diagnosis"에서 각국에서 개발한 이상 현상 검출 및 진단법의 장단점을 분석하기 위해 수행한 Joint Exercise의 결과를 바탕으로 기술하였다^[1].

1. 서 론

2. 본 론

공기조화 시스템을 비롯한 에너지 설비의 에너지 절약 및 운영비 절감을 위해서는 시스템의 효율적 운영 및 시스템 유지 관리의 최적화가 이루어져야 한다. 운전 효율을 항상 최적으로 유지시키기 위해서는 자동제어를 통한 성능 제어는 물론 에너지의 주요 낭비요인이 되는 설비의 성능저하 및 이상을 미리 검출하여 처리할 필요가 있다. 이와 같은 자동화 시스템 및 자동 고장 진단 시스템이 공조설비에 도입되면 쾌적한 실내 분위기의 조성은 물론 건물설비의 조작운전에 상당한 인력을 절감(약 30 - 50%)시킬 수 있으며, 에너지를 크게 절약(약 20%)시킬 수 있다.

본 연구에 사용된 가변 풍량 공조기(VAV AHU)의 schematic diagram은 [그림 1]과 같다. 이 시스템은 미국 표준기술연구원에 설치되어 있는 기준 시스템을 모델로 한 것으로 2개의 송풍기와, 3개의 혼합공기 댐퍼, 냉각코일, 각종 센서 그리고 제어기로 구성되어있다.

설비가 대형화 고도화되면서 종합적인 설비의 운영체계를 일반적인 운전자가 이해하기가 점점 어려워지고 있다. 따라서 복잡한 설비의 운전을 위하여 컴퓨터를 이용한 자동화 시스템이 도입이 일반화되고 있으며 시스템의 정상적인 상태와 효율 성능 등은 적절한 관리 소프트웨어에 의해 모니터링되고 있다. 그러나 현재까지의 이들 자동화 시스템은 운영 설비에 결함이 발생할 경우 적절하게 결함장소를 검출하여 원인 등을 진단을 할 수 있는 기능이

정상 및 고장상태의 자료를 산출하기 위해서 미국 국립기술 연구소에서 개발된 HVACSIM+ 프로그램을 사용하였으며, 고장 검출 및 진단을 위해서는 MATLAB^[2] 프로그램을 사용하였다.

HVACSIM+ 프로그램은 Fortran으로 작성되었으며, 3개의 실내온도를 제어할 수 있는 AHU를 해석할 수 있으며, 각기 3일 동안의 정상상태 및 고장상태의 자료를 산출할 수 있다.

2.1 RESIDUAL 정의

신경망의 학습 및 고장의 분류를 위하여 residual을 사용하였다^[3]. 신경망 입력을 위한 residual은 다음과 같다.

$R_{Tsl} = T_s - T_{s,Ev}$	급기 온도
$R_{Tm} = T_m - T_{m,Ev}$	혼합공기 온도
$R_{Ps} = P_s - P_{s,sp}$	급기덕트 압력
$R_{Trl} = T_{rl} - T_{rl,sp}$	실내 온도

하첨자 sp는 설정값, 그리고 ev는 정상상태의 예측값을 나타낸다.

2.2 검출 및 진단 방법

AHU의 고장을 검출하고 진단하기 위한 방법은 [그림 2]에 나타냈다. residual의 변화가 허용값(threshold)의 한도를 초과할 때 고장으로 간주하였다. 허용값은 품질관리(Quality control)에서 많이 사용하는 표준 편차의 3배로 정했다^[4]. 고장 진단을 위한 신경망은, 고장에 따른 현상을 If-Then rule에 의해 이상적인 패턴으로 정해 Back propagation 알고리즘으로 학습시켰다^[5]. 1단에서는 제어 시스템별로 고장을 분류하도록 하였으며, 2단에서 각 부시스템에서의 고장 원인과 위치를 진단하도록 하였다. 1단에서는 허용치를 이용한 고장 검출 결과를 병행하여 사용하여 진단의 정확도를 높이도록 하였다. 여기서 분류된 부 시스템은 냉각 코일 시스템, 급기 송풍기 시스템, 혼합공기 덤퍼 시스템, 그리고 VAV박스 시스템으로 분류하였다.

2.3 결과 및 토론

신경망의 학습을 위한 입력값은 정규화된 값으로 이차적으로 발생될 수 있는 적은 변화보다는 1차적으로 나타나는 큰 변화값만을 이용하여 패턴을 구성하였다. 1단에서의 입력값 예는 다음과 같다.

R_{Tsl}	R_{Tm}	R_{Trl}	R_{Ps}	
0	0	0	0	: Normal
1	0	0	0	: Cooling coil
1	0	1	0	: Cooling coil
0	1	0	0	: Mixing box
1	1	0	0	: Mixing box/cooling coil
0	0	1	0	: VAV box
0	0	0	1	: Supply fan

목표(Target)값은 다음과 같다.

1 0 0 0 0	: Normal
0 1 0 0 0	: Cooling coil
0 1 0 0 1	: Cooling coil
0 0 1 0 0	: Mixing box
0 1 1 0 0	: Mixing box/cooling coil
0 0 0 1 0	: VAV box
0 0 0 0 1	: Supply fan

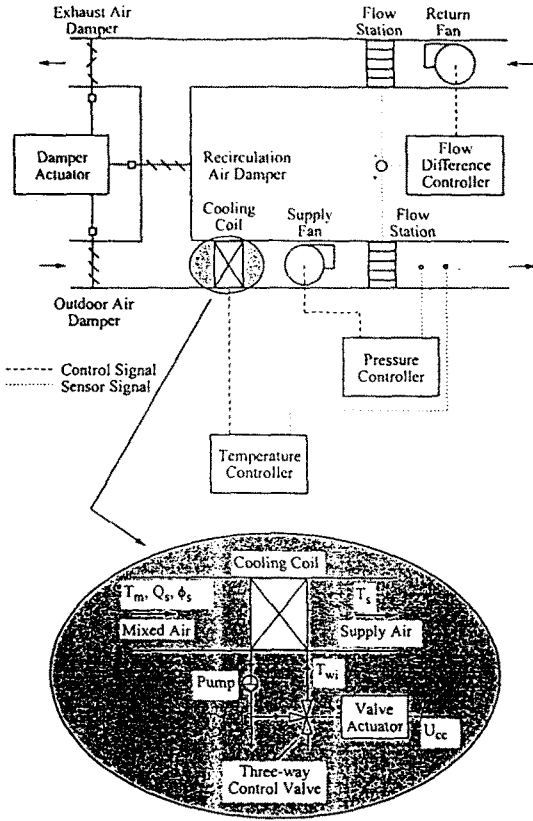
실제 데이터를 입력하여 진단한 예가 [그림 3]이다. [그림 3]은 급기 온도 센서의 성능이 AHU 시동후 10시간 이후부터 서서히 저하되어 3일후 70%로 정확도가 감소되었을 경우의 진단 예를 보여주고 있다. 고장이 발생된 초기 상태에서는 고장의 정도가 작아 외관과 구별하여 시스템에 미치는 영향을 검출하기가 불가능하나, 고장이 어느 정도 진행되어 성능이 3% 이상 저하된 시점인 16시 정도 부터 1단계 신경망에서 고장이 진단되는 것을 알 수 있으며, 2단계 신경망에서는 5% 정도 진행된 20시 정도에서 고장이 정확히 진단되고 있다. 고장 발생 시점은 실제값과 예측값의 비교에 의해 추정할 수 있다. 이 외에 밸브, 덤퍼 등 구동기와 시스템 자체 설비의 고장에 대해서도 정확히 진단할 수 있다.

3. 결 론

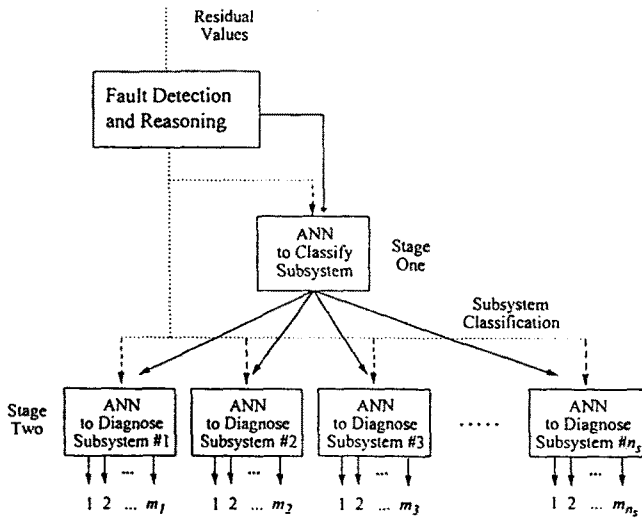
2단 신경망 및 허용치 검사를 공조시스템에 적용하여 고장 검출 및 진단의 타당성을 분석하였다. 1단 신경망에 비해 2단 신경망은 부분 시스템별로 학습 및 진단이 가능해 시스템의 확장 및 고장 정보에 대한 개선이 용이하며 진단을 위한 연산 시간 및 정확도를 개선시킬 수 있는 장점이 있다. 이 방법은 다수의 제어기 및 구동기로 구성되어 운영되는 실제 공정 및 에너지 설비에 효과적으로 사용될 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

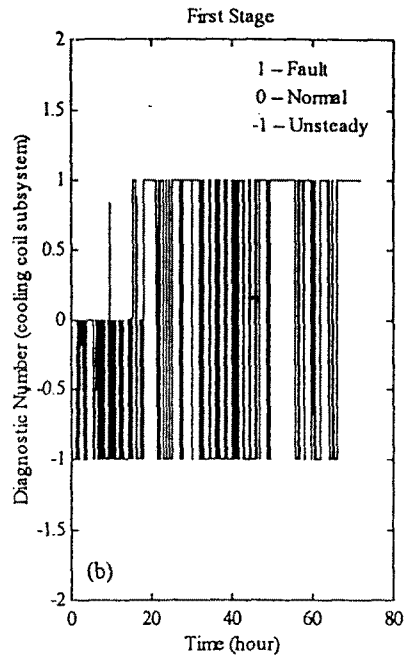
- [1] Park, Cheol, *IEA Annex 25 AHU group Report of Joint Evaluation Exercise #2 on Fault Detection and Diagnosis of A Building Air-Handling Unit System*, NIST, 1996
- [2] Demuth, H., and M. Beale, *Neural Network Toolbox: Users Guide*, Natick, The MathWorks, Inc., 1992
- [3] Lee, W.Y., C. Park, and G.E. Kelly, "Fault detection of an air-handling unit using residual and recursive parameter identification methods", *ASHRAE Trans* 102(1), 1996
- [4] Fasolo, P. and D.E. Seborg, "An SQC approach to monitoring and fault detection in HVAC control systems.", *Proceedings of the American Control Conference*, New York: IEEE, 1994
- [5] Lee, W.Y., J.M. House, C. Park, and G.E. Kelly, "Fault diagnosis of an air-handling unit using artificial neural network.", *ASHRAE Trans*, 102(1), 1996



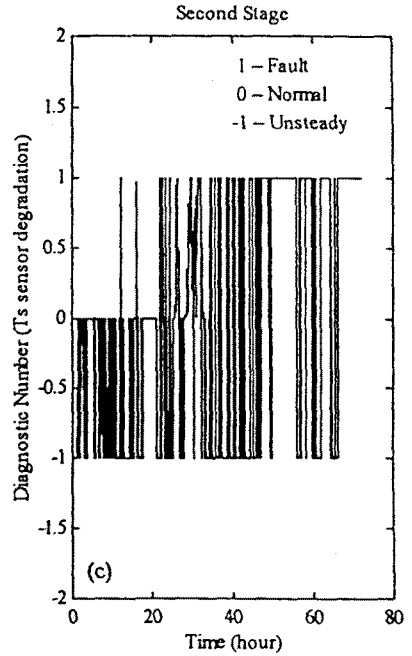
[그림 1] VAV AHU 개요도



[그림 2] 고장 검출 및 진단 방법



[a] 1단 신경망 진단 결과



(b) 2단 신경망 진단 결과

[그림 3] 급기 온도 센서 성능 저하 진단 결과