

## 공조설비의 고장 진단 기술



이 원 용

공조 설비의 자동화된 고장 진단 시스템은 에너지 낭비요인을 미연에 방지할 수 있으며, 운전 보수비의 절감과 설비의 휴지 시간을 단축시킬 수 있다.

건물 공조설비의 규모가 커지고 구성이 복잡해짐에 따라 종합적으로 설비를 관리하기 위해 컴퓨터를 이용한 새로운 운전기술이 도입되고 있다. 건물의 복합적인 공조설비를 최적으로 운영하기 위해서는 자동제어를 통한 최적 운전은 물론 설비의 성능저하 및 고장을 검출하여 처리할 수 있는 유지 보전 기술이 필요하다. 시스템의 신뢰성 향상을 위한 고장검출 및 진단 기술은 그 동안 선진국에서 안정성이 요구되는 항공우주분야나, 원자력 발전분야 등에서 활발히 연구 개발되었으며, 최근에는 운영비 절감 등을 위해 일반 산업 공정이나, 열 설비 등으로 적용이 확대되고 있다. 특히, 민수용 에너지 다소비 설비인 건물 공조설비에 효과적으로 적용될 경우 고장에 따른 에너지 낭비요인을 미연에 방지하여 에너지 절약에 크게 기여할 수 있는 기술로 인식되고 있다. 현재 사용되는 건물의 에너지 관리 시스템(EMCS)은 운전 중에 나타날 수 있는 문제의 검출과 발견된 문제의 진단을 위한 기능이 결여되어서 종합적인 운전 및 관리 시스템으로서 EMCS의 기능 개선이 필요하다.

실시간 자동 고장 진단 시스템의 주목적은 설비의 상태를 감시하여 고장의 원인이 되는 결함의 존재를 미리 예측하고 진단하는 것이다. 이상적으로는 고장 검출 및 처리 시스템은 설비의 주요 결함이 검출되면, 고

장 진단은 물론 고장 분석을 통해 적절한 조치를 취할 수 있는 정보를 운전자에게 제공해야 하며, 고장에 따라서는 제어기 설정 변경이나 센서복원 등에 의해 고장 허용제어나 자기 복구 기능을 수행해야 한다. 그러나 현재까지의 기술로는 고장 진단 및 처리 시스템은 운전의 상태 정보를 이용해 고장의 검출 및 진단 결과를 운전자에게 제공하여 고장 판단과 처리를 하도록 도움을 주는 기능으로 인식되고 있다.

### 고장 진단

설비의 운영 최적화는 설비에 고장이 없는 상태에서의 최적 운전으로 실현시킬 수 있다. 이것은 시스템에 이상이 있는 경우 운영자가 원하는 성능이나 제한 조건들을 최적 상태로 유지할 수 없기 때문으로, 설비의 최적 운영은 자동 제어와 고장 검출을 통한 유지 보전 기술을 통해 이루어질 수 있다.

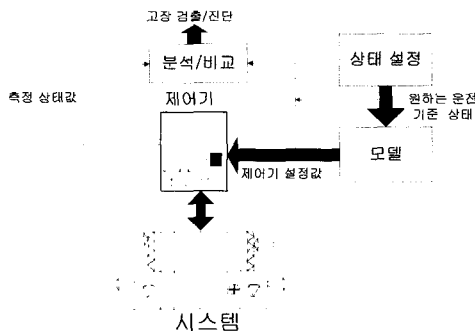
자동으로 운영되는 복잡한 시스템을 최적 상태로 유지시키기 위해서는 기존의 운전자의 감시와 조작만으로는 현실적으로 실현이 불가능하며, 새로운 운전 관리기술이 필요하다. 에너지 시스템의 고장 검출 및 진단 시스템은 시스템의 성능저하를 미리 예측하거나 부품 손상 등을 신속히 검출하여 운영자에게 정보를 제공함으로써 시스템을 항상 최적의 상태로 유지시키기 위한 것이다.

건물의 고장진단은 운전상태의 실시간 감시중이나, 감리중에 발견되는 시스템, 부위, 그리고 부품에 나타나는 문제들의 원인이나 위치를 조사 분석하는 행위이다.

고장 진단의 방법은 크게 두 가지로 능동적 개념의 감리 고장 진단방법과, 수동적 개념인 감시 고장 진단 방법으로 구분할 수 있다. 감리 고장 진단 방법은 제어 신호를 구동기, 즉 밸브, 펌프, 송풍기 등으로 보내, 이에 따른 설비의 운전 상태를 파악하는 것이다. 감시 고장 진단 방법은 적극적으로 시스템에 동작 신호를 주어 상태 변화를 감시하는 것이 아니고, 운전 중에 관측된 자료를 이용하여 정상 여부를 파악하는 것이다. 실시간 고장 검출 기술은 주로 감시 고장 진단 기술을 의미하게 되며, 여기서는 이에 대한 내용을 주로 다루기로 한다.

그림 1은 감리 고장 진단 방법을 나타낸 것으로 여기서는 실험값으로 원하는 상태값을 얻기 위한 설정값을 제어기로 출력시킨 후 실제 시스템의 구동을 통해 측정된 상태값과 주어진 설정값에서의 예측된 상태값을 비교하여 고장을 검출하는 방법의 예를 나타낸 것이다.

고장 검출 및 진단은 전체 건물이나 주요 시스템 수준인 톱다운(top-down)이나 부품



<그림 1> 감리 고장 검출 방법 개요도

을 위주로 한 보텀업(bottom-up) 방식으로 접근할 수 있다.

에너지 소비와 같이 전체 설비의 성능을 시작으로 하여 점점 자세한 성능을 파악하는 방법이 톱 다운방식이며, 자세하게 고장 등의 세부 결과에서 시작되는 접근 방법을 보텀업 방식이라 한다. 톱다운 접근 방식에서는 전체 시스템 수준에서 관측되고 있는 현상들이 그대로 성능지수들로 사용되며, 계속 성능이 감시되는 상태이므로 시동 순간부터 전체 시스템 차원에서 바람직하지 않은 상태들이 발견될 수 있다. 이런 측면에서는 보텀업 접근 방식보다는 톱다운 방식이 전체 시스템 성능 감시에 좀더 자연스러우며, 시스템 수준에서 고장의 발견에 적합하다. 건물 전체 수준의 에너지 사용 문제를 검출하기 위해 냉방모드의 경우 전체 건물의 전기에너지 사용량, 전체 건물의 열에너지 사용량, 냉방을 위한 공조시스템의 에너지 사용량 등이 이용될 수 있다. 보텀업 방식은 부위나 주요 부품의 고장을 진단하는데 효과적으로 사용할 수 있는 것으로 이에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

### 고장 분석

공조설비의 고장 검출 및 진단기술을 개발하기 위해서는 우선적으로 고장의 특성 및 중요도를 파악해야 한다. 파악된 결과는 진단을 위한 규칙 생성 및 훈련을 위한 지식 기반으로 사용할 수 있다. 고장은 건물의 건설 및 운영을 위한 모든 과정에서 다음과 같은 사항이 적절하게 수행되지 않았을 경우에 나타날 수 있다.

- 계획 : 실제 부하 예측이나 거주자의 적절한 예측
- 설계 : 주어진 설계 조건을 만족하는 기

## 집중 기획

### 제어기술을 통한 에너지 절약

#### 본 설계

- 설비 선정 : 설비의 선정 및 교체
- 설비 설치 : 정확한 위치의 설비 설치
- TAB : 부하에 따라 공기 유량의 적절한 배분
- 제어기 : 제어기 변수의 적절한 조절
- 설정 변경 : 운전자에 의한 운전 조건의 적절한 변경

또한 설치 과정에서 나타날 수 있는 충격에 의한 설비 손상, 운전 중 설비의 완전 고장 및 성능 저하등이 발생할 수 있다. 이와 같은 부적절한 설계나 운전 중에 나타나는 고장은 감리 단계나 실시간 운전 중에 발견할 수 있어야 한다. 이를 위해서 정상상태나 고장 상태를 대표할 수 있는 기준이 필요하며, 고장 진단 방법의 개발에 이러한 기준과 고장 특성이 유효하게 사용될 수 있다. 주요 고장에 대한 선정과 특성 정보를 위해서는 전문가의 지식이 매우 중요하며 이를 위하여 우선적으로 설문 등을 통한 조사가 필요하다. 이렇게 조사된 내용은 고장 진단 규칙의 정립은 물론, 고장 성능 해석을 위한 시뮬레이션 프로그램과 고장 실험에 효과적으로 이용될 수 있다. 여기서 대상으로 선택한 기준 공조시스템은 단일 덕트 가변풍량 방식 공조기로, 예로서 코일 부위에서 발생 가능한 고장의 종류를 정리하면 다음과 같다.

- 온도 및 습도 센서(급기 온도, 예열기 및 냉각 코일의 급배수온도, 급기 습도)
  - 완전 고장
  - 부정확한 출력(offset, wrong scale, drifting)
  - 과도한 노이즈
- 밸브 구동기(예열 및 냉각 코일 밸브)
  - 고정(기계적인 고장, 구동기 모터 고장)

- 밸브의 누수
- 부적절한 설치(밸브 및 연결관의 방향 잘못)
- 밸브 설치 잘못
- 밸브 막힘
- 배관
  - 막힘
  - 공급관의 수압이 너무 높거나 낮음
  - 공급관의 수온이 너무 높거나 낮음
  - 누수
- 코일(예열, 냉각 코일)
  - 코일 오염(fouling)
  - 부분적 막힘
  - 설치 잘못
  - 누수

발생 가능한 고장 중 중요도를 결정하기 위해 우리 나라와 실정이 유사한 일본을 중심으로 조사한 전형적인 공조기의 고장을 정리한 것이 표 1이다. 조사는 설계자와 시공자, 그리고 운영자로 구분하여 가장 중요한 고장에 대해 순위를 정하였으며 표 1은 종합적인 분석 결과이다.

가장 중요한 고장을 선정하기 위한 조사 결과에서 실내환경에 대한 이유가 가장 빈번하게 지적되었는데, 30%이상을 상회하고 있다. 그밖에 에너지 손실, 발생 빈도, 발견의 어려움이 각각 18%, 13%, 그리고 12%로 나타났다. 이차적인 고장 유발을 선택한 것은 5%이었다. 이외에도 장시간 수리와 고가의 수리비도 지적되었다. 따라서 자동 고장 진단 기술을 개발 할 때 가장 주안점을 두어야 할 것은 쾌적성의 유지와 에너지 절감에 대한 것임을 알 수 있다. 이것은 공조의 기본 목적과 일치하는 것으로 공조의 목적이 환경의 쾌적성을 유지하는 것으로 이것을 최소의 에너지로 실현시키는 것이다. 또한 공조시스템의 고장이 다른 시스템과는

## 집중 기획 제어기술을 통한 에너지 절약

〈표 1〉 전문가에 의해 선정된 중요한 공조기 고장

순위	점	부 위	변 수 변 화	부 품	부 품 결 함	단계*
1	39	실내	공기질 저하	거주자	공기 오염	U
2	38	배관	누수	배관	부적절한 단열로 인한 응축	F
3	37	실내	부적절한 실내온도	거주자	과도한 내부부하	U
4	35	실내	부적절한 실내온도	공기디퓨저	부적절한 공기 유량	F,E
5	31	VAV 유닛	과다 또는 과소 공기량	VAV유닛 댐퍼	조절 실패	F,M,C
6	29	AHU	필터의 과도한 차압	공기필터	막힘	M
7	27	공기덕트	비정상적인 소음이나 진동	배관공사	불충분한 소음 제어	D,F
7	27	실내	부적절한 실내온도	공기디퓨저	디퓨저의 부적절한 위치	D,F
7	27	DDC 제어기	VAV유닛의 부적절한 제어신호	실내써모스탯	부적절한 위치	D,F
10	23	배관	실내온도	배관	파이프내 오염으로 인한 불충분한 유량	F,E

\* 여기서 D는 설계단계에서의 잘못, F는 조립이나 시공단계, C는 감리단계, M은 운영 단계의 고장을, U는 사용자 문제, S는 제어기나 소프트웨어 문제, 그리고 A는 알고리즘의 문제를 말한다.

높은 안정성을 요구하는 것이 아니므로 빠른 고장 진단 과 처리가 가장 중요한 요소는 아니다. 따라서 자동 고장 진단 및 처리 시스템의 목적은 다음과 같아야 한다.

- 환경 요인을 저하시킬 고장 가능성을 예측할 수 있어야 한다.
- 에너지 낭비를 증가시키는 비효율적인 운전 상태를 조기에 발견할 수 있어야 한다.
- 자주 발생하거나, 운전자에 의해 발견이 어려운 고장을 자동으로 검출 할 수 있어야 한다.

### ● 실시간 고장 진단 및 처리 단계

공조설비를 위한 종합적인 고장 처리는 검출(detection), 진단(diagnosis), 평가(evaluation), 그리고 결정(decision)의 4단계로 구분하여 수행될 수 있다.

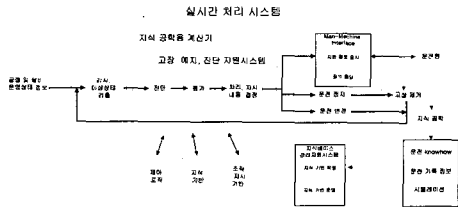
실시간 고장 검출 과정을 단순하게 표현하면 측정 가능한 변수나, 예측 가능한 변수

가 정상상태의 허용범위를 벗어나는 것을 검사하는 것이다. 만약 허용범위를 초과하면 고장 메시지를 출력하게 된다. 이와 같은 기능은 단순히 고장 검출을 위한 모니터링이라 한다. 다음 단계가 고장 진단 단계로 고장 검출 후 원인과 위치를 파악하는 단계로 분류 기술이 사용될 수 있다.

진단의 다음 단계는 고장 평가로 이것은 발생된 고장이 시스템이나 공정에 얼마나 큰 영향을 미칠 것인가를 파악하는 것이다. 고장의 정도가 정해지면, 다음 단계로 조치를 취해야 한다. 고장 평가 결과 허용할 만한 경우이면 운전은 당분간 정상적으로 계속될 수 있으며, 허용 범위를 넘어선 경우에는 시스템을 즉시 정지시키고 고장 부위를 제거시켜야 한다.

그림 2는 종합적인 감시제어 시스템에서의 고장 검출에서 처리를 위한 각 단계와 구성을 나타낸 예이다. 고장 검출 및 처리과정이 궤환 제어와 같은 방법으로 구성되는 것을 볼 수 있다. 그러나 궤환 제어와는 달리 상태에 따라 운전변환, 정지, 고장 제거 등 많은 시간 지연이 필요한 프로세스이다.

## 집중 기획 제어기술을 통한 에너지 절약



〈그림 2〉 고장 검출 및 처리 시스템

### 1) 고장 검출 및 진단 단계

이 단계에서 관측된 상태값을 이용하여 설비의 정상/비정상 상태를 판단하고(고장 검출), 고장의 위치와 원인 그리고 발생 시점(고장진단) 등을 분석하게 된다. 고장 검출과 진단을 위한 시스템은 일반적으로 독립적인 기능으로 구성될 수 있다. 앞에서 분석된 고장을 검출하기 위해서는, 즉, 관측된 상태가 정상인지 비정상인지를 파악하기 위해서는 실제 측정값과 비교할 수 있는 기준이 필요하다. 이들 기준을 정하기 위해 다음과 같은 자료가 이용될 수 있다.

- 설계 개요, 기준, 표준(code, standards)
- 운전자 경험
- 제작사의 부품 제원, 즉 칩러, 보일러, 그리고 송풍기 등의 특성값
- 비교 가능한 건물의 에너지 소비량
- 현장 실험 결과 및 해석 결과

고장 검출을 위해 사용될 기준은 검출해야 할 고장의 종류와 고장 정도에 따라 달라질 수 있으며 운전자 경험 등은 비교적 쉽게 얻어질 수 있으나 정밀한 고장 검출에는 적합하지 않으며, 각종 설비의 정밀한 고장 검출을 위한 기준 자료의 산출을 위해서는 많은 시간과 경비가 소요될 수 있다. 다음에 고장 검출과 진단을 위한 기본적인 접근 방법에 대해 기술하였다.

고장 검출과 진단 과정은 전처리와 분류

의 두 과정으로 세분될 수 있다. 전처리 과정에서 관측된 자료는 분류가 용이한 성능 변수들로 변환된다. 감시 제어 단계에서 이론적인 모델들이 사용될 경우 이들은 전처리를 위한 기준식으로 사용될 수 있다. 고장 검출과 진단을 위한 2단계 과정은 전처리(preprocessor)와 분류(classifier)의 2단계로 좀더 구체적으로 분화될 수 있다.

#### (1) 전처리

- 단순 변환: 시간 변화 산출, 정규화
- 모델 기반 변환
  - 성능 지수에 따른 분류: 상태 예측값의 변화, 계수 예측값 변화, 특성량 변화
  - 모델 구조에 따른 분류: 물리적 모델, 블랙박스 모델, 정성적 모델

#### (2) 분류기

- 지식 기반(knowledge-based) 분류기: 규칙 기반, 패턴 인식 방법
- 관련성 기반(association-based) 분류기

관측과정에서 성능지수가 생성되면 이들 지수들을 이용하여 쉽게 분류를 수행할 수 있다. 분류기는 이들 성능 지수를 이용하여 고장 검출이나 진단을 수행하는 것이다. 해석적 모델들은 관측과정에서 가장 유용하게 사용될 수 있는 도구이다. 상태 변수 잔차(residual)와 모델 계수 변화는 프로세스 모델식으로 구할 수 있는 중요한 성능지수이다. 특성 모델로부터는 특성값을 산출할 수 있다. 이들 성능지수들에 의해 분류가 좀더 쉽고 정확해질 수 있다.

모델은 물리적인 모델과 블랙박스 모델, 그리고 정성적 모델로 구할 수 있다. 물리적 모델은 시스템을 특성을 이론적으로 해석한

## 집중 기획 제어기술을 통한 에너지 절약

것으로 모델 자체에 물리적 의미를 포함하고 있어 고장진단에 유리하다. 블랙박스 모델은 단순하게 관측결과를 예측할 수 있는 가장 단순한 형태의 식을 사용하는 것으로 식 자체가 물리적 의미를 함유하고 있지 않지만, 계산이 단순하다는 장점이 있다. 정성적 모델은 전문가의 경험이나 시스템의 운영 상태 등을 지식 기반으로 하여 정성적으로 표현한 것으로 수식보다는 IF-THEN 등의 규칙으로 표현되며 퍼지(fuzzy) 이론 등에 의해 정량적인 상태값으로 변환될 수 있다. 모델식을 사용할 경우 상태 변수와 주어진 모델식의 계수를 예측할 수 있는데 이들 예측값의 잔차 변화를 이용하여 고장을 검출, 진단 할 수 있다. 그림 3이 모델식을 기준으로 하여 고장을 검출하는 방법을 나타낸 것이다.

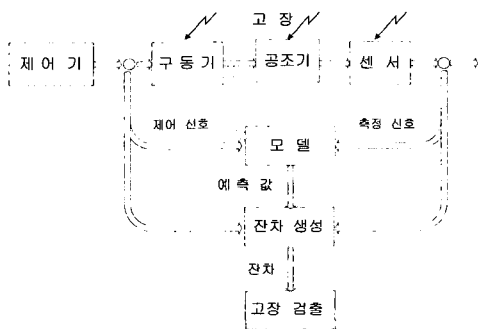
고장 검출과 진단의 두 번째 단계는 분류이다. 관측과정에 산출된 성능지수를 이용하여 검출과 진단의 결정을 내리는 과정이다. 분류과정에서 고장 검출의 경우 정상, 고장, 불확실한 상태로 결과를 나타낼 수 있으며, 진단의 경우 분류 결과로 특정 고장의 원인과 위치를 출력시킬 수 있다. 지식 기반에 의한 분류기가 일반적으로 사용될 수 있으며, 규칙기반 시스템과 패턴인식 방법이 분

류에 이용될 수 있다. 규칙기반 시스템은 IF-THEN과 같은 지식 기반 규칙을 이용하여 분류를 추론하게 된다. 패턴 인식방법은 주어진 지식이나 자료를 신경망이나 통계적 방법으로 훈련에 의해 인식시킨 후 유사한 패턴을 분리해내는 방법이다.

### 2) 평가 단계

그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 평가는 진단의 다음 단계로, 고장의 정도 및 전체 시스템에 미치는 효과를 파악하게 된다. 전체적으로 시스템에 미치는 파급 효과가 큰 급격한 손상 등은 평가가 단순하나, 성능저하와 같이 초기에 효과가 적은 고장은 전체 시스템 운영에 미치는 효과가 적어 평가가 어려우며, 장기적인 측면에서 예측과 예방 조치가 필요하다. 고장에 따른 전체 시스템에 미치는 영향은 고장이 발생한 부위나, 부품의 중요도와 일치한다. 시스템 계통상 상위 수준의 부품 고장은 우선적으로 처리해야 할 중요 고장으로 판단될 수 있다.

평가를 위한 기준으로는 에너지 사용량, 환경, 저해, 안정성 등 여러 가지가 있을 수 있으며, 이들 값이 주어진 허용 범위를 벗어날 경우 조치를 취하게 된다. 평가 과정의 일부는 이미 고장 검출에서 사용되고 있는데, 이것은 경보를 위한 허용값의 결정에 적용되고 있다. 경보의 한계값은 일반적으로 운전 상태를 통계적인 방법으로 분석하여 결정하는데, 경제적 요인과 환경요인으로도 기준을 정할 수 있다. 경제성을 위해서는 성능 저하시 사용 에너지와 보수비용을 합친 경비의 최소값이 판단 기준이 될 수 있으며, 안정성의 경우 시스템의 손상이나 예측되는 피해 정도를 판단하며, 환경요인의 경우 냉매의 누설 등과 같이 환경에 영향을 미치는 요인을 분석하게 된다.



〈그림 3〉 모델 기반 고장 검출 방법

## 집중기획

### 제어기술을 통한 에너지 절약

#### 3) 결정 및 조치 단계

고장 발견 후에 보수를 위한 결정과 조치는 일부를 제외하고는 자동으로 처리하기 어려운 과정으로, 일반적으로 컴퓨터를 이용한 처리과정은 검출에서 평가까지로 한정되며, 처리 과정인 결정 및 조치는 운영자의 판단 및 결정에 따르게 된다. 결정은 고장의 원인과 위치가 진단되고, 심한 정도가 평가되었을 때, 조치를 어떻게 해야 할 것인가를 정하는 것으로, 위험 수준인 고장들의 정보와, 상태 정보들을 기초로 수행된다.

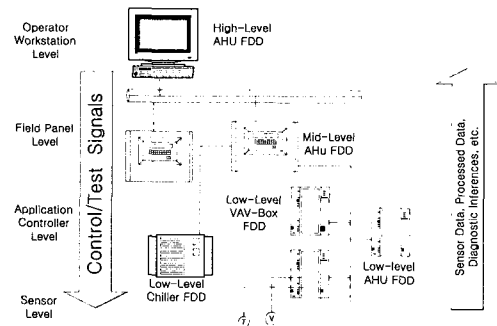
고장 평가 후 1)시스템 정지후의 고장 제거와, 2)경미한 경우 운전의 설정 상태 등을 바꾸는 조치가 취해질 수 있다. 고장의 정도가 심해 제거할 필요가 있는 경우에는 시스템을 정지시키게 되며, 시스템에 미치는 효과가 적어 당분간 운전이 가능한 경우나, 설정값 변경만이 필요한 경우는 운전모드를 수정하게 된다. 컴퓨터에 의한 결정은 최소한 운전자의 결정을 위한 보조 정보로 사용될 수 있어야 하며, 운영자는 고장 진단의 결과와 운전 상황 등을 파악하여 최종 조치 결정을 내리게 된다. 이를 위해서는 너무 많은 정보가 운전자에게 공급되어서는 안되며 관련된 신뢰성 있고 일관된 정보가 간결하게 전달되어야 한다.

할 수 있다.

첫 번째 방식은 에너지 관리시스템 기능의 하나로서 고장 진단 소프트웨어를 추가하는 것이다. 사용자 인터페이스와 추론을 상위 수준에서 감시제어 소프트웨어로 실현하는 것으로, 고장 검출 및 진단을 기존의 고장 정보 기능의 확장으로 간주할 수 있다. 다른 방식으로는 에너지 관리를 위한 자동제어 시스템과 고장 검출 및 진단을 위한 감시제어 시스템을 독립적으로 구성하는 것으로 시스템간의 인터페이스에 의해 정보는 서로 공유하게 한다. 이 방식은 기존의 에너지 관리시스템이 설치되어 있을 때 추가로 고장 검출 및 진단 시스템을 도입할 경우 유리하다. 궁극적으로는 건물 관리 제어시스템과 고장 진단 시스템이 일체형으로 구성되는 것이 제어시스템의 부가가치를 높일 수 있으며 기술 보급에 유리할 것이다. 여러 단계로 계층적으로 수행되는 운전 제어와 마찬가지로 고장 검출과 진단 역시 다단계로 수행할 수 있도록 그림 4와 같이 구성할 수 있다. 분산형 제어시스템에서 다단계로 설치된 진단기기는 사용되는 입력자료의 형태, 진단 알고리즘의 복잡성, 그리고 진단이 이용되는 빈도에 따라 적용 방법이 달라질

#### 시스템 구현

고장 검출 및 진단 시스템의 개발 목표는 정상적인 운전 제어만을 위한 EMCS에 고장 검출 및 진단 시스템을 추가하여 시스템 운영의 신뢰성 및 안정성 확보는 물론 고장에 의한 에너지 낭비를 막을 수 있는 운영 시스템을 구축하기 위한 것이다. 이를 구현시키기 위해서는 EMCS의 일부로 포함시키는 것과 별도로 병렬로 구성하여 제어 및 감시를 위한 정보를 공유하는 방법을 고려



〈그림 4〉 계층적 구조의 고장 검출 및 진단(FDD) 시스템

## 집중 기획

### 제어기술을 통한 에너지 절약

수 있다. 직접 부품과 연결된 하위 수준에서는 다루는 부품이 한정되어 있기 때문에 추론 과정이 많이 필요 없이 직접 부품의 특성 정보 등을 이용하여 고장 진단을 수행할 수 있으며, 상대적으로 유용한 자료가 포괄적이고 명확하지 못한 상위 시스템 수준에서는 지식에 기반을 지능형 진단 도구가 적용될 수 있다. 정보량이나 진단의 필요에 따라 시스템 수준의 상위 수준에서는 1시간당, 1일간, 1주일 단위와 같이 주기적으로 성능 진단을 수행할 수 있으며, 하위 수준에서는 자동 제어 동작과 같이 자료가 바뀌는 주기에 따라 계속적으로 진단 규칙을 적용시킬 수 있다.

#### 동향 및 전망

건물 설비의 고장진단을 위한 기술의 본격적인 연구는 International Energy Agency(IEA)가 ANNEX25 연구분과를 통해서 수행되었다. 10개국으로 구성된 ANNEX25 회원들은 “Real Time Simulation of HVAC Systems for Building Optimization, Fault Detection and Diagnostics”의 공동연구를 통해 여러 종류의 HVAC 시스템들의 공통적인 고장 규명, 고장 검출과 진단 기술 개발, 그리고 전산해석 자료를 이용하여 개발된 방법의 평가 분석 등을 수행하였다. 전산해석을 위주로 한 비교 분석만으로는 실제 건물과 공조 설비에 적용하는데 있어서의 이들 방법의 장단점을 파악하는 데는 한계가 있어, 1996년에 ANNEX25연구를 마치고 새로이 ANNEX34로 “Computer-Aided Evaluation of HVAC System Performance: The practical Application of Fault Detection and Diagnosis Technique in Real Buildings”에 대한 연구를 시작하였다. ANNEX34 회원들은 ANNEX25에서 개발된 방법들을 실

제 건물에 적용하기 위해 EMCS 제작업체, 건물 소유주와 운영자 등과 공동 연구를 수행하고 있다. IEA ANNEX34 연구분과의 주요 목적은 공조설비의 고장 검출 및 진단 기술의 적용 확산을 위해 현재까지 수행되어온 성능 최적화와 빠른 고장 검출 기술 개발 보다는 제어기 제작회사, 산업체, 그리고 건물 소유자나 운영자와의 공동 적용 연구를 통해 적용 기술 위주로 연구를 수행하고 있다. 이를 위한 연구 방향으로는 1) 성능 검증(performance verification) 시스템의 구성, 2) 성능 감시(performance monitoring) 시스템의 구성, 3) 건물 제어 시스템과의 인터페이스 시스템 연구, 4) 그리고 실제 건물에 성능 검증과 감시 시스템을 적용하여 실험하고 시범 운전을 하는 것이다. 이 연구를 통해 그 동안 선진 각국이 개발한 공조설비나 에너지 설비의 자동 고장진단 및 처리기술을 평가할 수 있는 성능 기준 및 적용시의 안정성 및 신뢰성을 위한 기술이 확립될 것이며 2000년대에 각국의 에너지설비나, 에너지 사용에 기반을 둔 스마트 건물 등에 실제로 적용될 것으로 예측된다.

지난 수년간 ASHRAE에서도 HVAC 시스템의 고장 검출과 진단 기술 개발을 위하여 지원을 해오고 있다. ASHRAE의 연구는 다음과 같은 목표로 진행되고 있다.

- 883-RP Small Scale On-Line Diagnostics for on HVAC System
- 1020-RP Demonstration of Fault Detection and Diagnostic Methods in a Real Building
- 1043-RP Fault Detection and Diagnostic(FDD) Requirements and Evaluation Tools for Chillers

이와 같은 노력들에 의해 전체 건물 시스템, 칠러, rooftop unit, 공조기, VAV 유닛에



## 집중기획

### 제어기술을 통한 에너지 절약

대한 표준화를 위한 진단 도구를 개발하였다. 현재까지 이들 각 진단 도구는 독립적으로 개발된 것으로 다른 진단도구와 정보교환이나 방법을 공유하고 있지 않다. 이들 방법들은 전산해석이나 실험실에서 실험을 통해 각각 설비에 대한 진단 성능이 검증된 것으로 광범위한 현장 적용을 통한 검증이 더 필요한 상태이다. 가까운 미래에 현재 독립적으로 개발된 진단도구들이 건물운영의 표준요소가 될 것이다. 진단 도구들은 제어 시스템에 포함되거나 BACnet과 개방형 통신 규약을 사용하여 EMCS와 접속될 수 있는 독립모듈로 구성될 수 있을 것이다. 어느 방법이 적용되는가에 관계없이 여러 시스템과 부위를 위한 진단도구를 통해 얻은 진단 정보는 전체 건물이나 건물군의 운영상태를 진단할 수 있는 형태로 종합화되어 운전자에게 제공되어야 할 것이다.

#### ■ 적용 효과

건물 진단 기술의 적용에 따른 효과는 정확하게 정량적으로 분석하기가 쉽지 않다. 고장 검출 및 진단 기술을 건물에 적용할 경우 에너지 낭비 요인과 운영비를 절감시킬 수 있어 에너지는 약 20-30% 정도 절감시킬 수 있으며 운영비 역시 크게 줄일 수 있을 것이다. 그러나 진단 시스템이 기존의 제어설비의 일부로 구현될 경우에는 하드웨어적으로는 크게 추가되는 비용이 없을 것이다. 고장 진단 시스템의 효과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 사용 에너지 절감 : 시스템의 고장 및 노후화에 따른 성능저하와 시스템의 부적절한 작동 등, 비효율적인 요인을 초기에 발견하여 에너지 낭비를 막을 수 있다.
- 2) 실내 및 작업 환경의 향상 : 공조 설비나 에너지 설비의 고장이나 성능저하로 인한 실내환경 및 기타 필요한 환경의 저하를 발견하여, 항상 적절한 환경을 유지시킨다.
- 3) 설치비, 운전 보수비의 절감 : 상태파악을 위한 실제로 필요한 측정값만을 선택하여 과도한 측정 장비로 인한 비용 낭비를 막을 수 있으며, 자동 고장 부위의 진단 및 성능저하 부위의 예측에 의해 운전 보수 작업을 효율적으로 수행할 수 있다.
- 4) 안정성 확보 및 재해 방지 : 초기에 설비의 이상을 발견하여 이로 인해 파급될 수 있는, 설비의 손상 및 인명 피해를 미연에 방지할 수 있다.

앞으로 공조설비에 있어서 에너지와 인건비 절감 등 운영비 절감을 위한 기술은 운전 관리 기술에서 찾게 될 것이다. 공조 시스템에 자동화 설비와 고장 검출 및 진단 시스템이 도입되면 작게는 건물내의 쾌적한 실내 분위기의 조성은 물론 설비의 조작성 전에 상당한 인력절감을 이룩할 수 있으며, 부적절한 운전과 고장으로 인해 발생할 수 있는 불필요한 에너지 낭비, 환경 저해, 부품의 손상 등을 막을 수 있는 장점이 있으며, 경제적으로 국가적인 에너지 사용량을 줄일 수 있으며, 사회적으로는 삶의 질 향상과, 재해 방지를 통한 생활의 안정성을 증대시킬 수 있으므로 앞으로 기술 개발을 통해 광범위하게 적용되어야 할 것이다.

본 연구는 과학기술부(과제번호98-I-01-03-A-079)의 지원으로 수행되었으며, 자료에 도움을 준 NIST의 John M. House에 감사드립니다. ●