

## 룰 베이스를 이용한 공조기의 고장검출 및 진단

한 도 영<sup>†</sup>, 주 명 재<sup>\*</sup>

국민대학교 기계·자동차공학부, <sup>\*</sup>국민대학교 기계공학과 대학원

### Fault Detection and Diagnosis of an Air Handling Unit Based on Rule Bases

Doyoung Han<sup>†</sup>, Myoungjae Joo<sup>\*</sup>

Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

<sup>\*</sup>Graduate School of Mechanical Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received March 4, 2002; revision received May 13, 2002)

**ABSTRACT:** The fault detection and diagnosis (FDD) technology may be applied in order to decrease the energy consumption and the maintenance cost of the air conditioning system. In this study, rule bases and curve fitting models were used to detect faults in an air handling unit. Gradually progressed faults, such as the fan speed degradation, the coil water leakage, the humidifier nozzle clogging, the sensor degradation and the damper stoppage, were applied to the developed FDD system. Simulation results show good detections and diagnoses of these faults. Therefore, this method may be effectively used for the fault detection and diagnosis of the air handling unit.

**Key words:** FDD(고장검출 및 진단), Rule base(룰 베이스), Air handling unit(공조기), Curve fitting model(곡선 적합 모델), Residual(잔차), Parity relation(기우관계)

#### 기 호 설 명

$\dot{m}$  : 질량유량 [kg/s]  
 $P$  : 압력 [kPa]  
 $R$  : 잔차  
 $T$  : 온도 [°C]

#### 하첨자

$a$  : 공기  
 $CC$  : 냉수코일  
 $ev$  : 예측값  
 $HC$  : 온수코일

$HUD$  : 가습기  
 $in$  : 입구상태  
 $out$  : 출구상태  
 $r$  : 실제값  
 $RF$  : 환기팬  
 $set$  : 설정값  
 $SF$  : 급기팬  
 $w$  : 물

#### 1. 서 론

최근 자원부족에 따른 에너지 절약에 대한 문제가 심각하게 도래함에 따라 공조 시스템에도 가능한 적은 에너지로 최대의 효과를 얻기 위한 제어에 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 공조 시스템의 고장을 자동으로 검출하여 사용자가 적절히 대처할 수 있는 정보를 제공할 수

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-910-4675; fax: +82-2-910-4839

E-mail address: dyhan@kookmin.ac.kr

있는 고장검출 및 진단 시스템은 에너지 절감 및 유지보수 비용절감에 효과적으로 적용될 수 있는 기술로 인식되고 있다. 고장검출 및 진단방법의 개발을 위하여 Peitsman et al.<sup>(1,2)</sup>은 ARX와 인공신경망을 사용한 블랙박스 모델을 이용하여 공조시스템의 고장을 검출하였고, Ngo and Dexter<sup>(3)</sup>는 퍼지 매칭기법을 사용하여 고장검출을 수행하였으며, 국내의 경우 Lee et al.<sup>(4)</sup>은 공조기를 4개의 하부 제어시스템으로 구분하고 인공신경망을 사용하여 하부 시스템별 고장을 진단하였고, Han and Lee<sup>(5)</sup>는 곡선 적합 모델을 사용하여 멀티형 냉방기의 응축기 오염과 증발기 오염에 관한 고장을 검출하였으나 대부분의 연구결과는 시스템의 고장을 검출하고 위치만을 진단하는 데 그치고 설비운영자에게 유용한 정보가 될 수 있는 고장진행 정도의 진단에 대한 연구는 수행되지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 공조기를 대상으로 물 베이스와 간단한 곡선 적합 모델을 사용하여 고장별 변수변화 경향을 통해 고장을 검출하고, 각 변수의 잔차분석을 통하여 고장의 정도에 따라 10~50%까지 단계별 진단이 가능한 고장검출 및 진단 알고리즘을 개발한 후 동적 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 개발된 알고리즘의 유효성을 확인하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 공조기

고장검출에 대상이 되는 Fig. 1과 같이 정풍량 방식을 선택하였으며, 여기서 고장검출 및 진단에 사용된 감지기를 점선원으로 표시하였다. 본

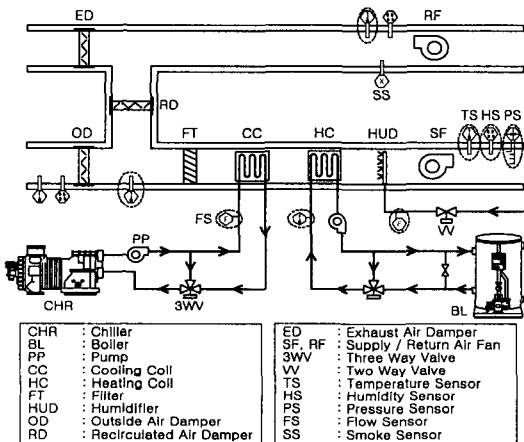


Fig. 1 Air handling unit.

연구에 고려된 제어방식은 실내온도를 감지, 급기온도 설정 알고리즘을 통하여 급기온도를 설정하고 또한 급기온도를 감지하여 냉수코일과 온수코일의 삼방밸브 개도를 조절함으로써 설정 급기온도를 유지하고, 난방시 실내습도를 감지, 급기습도 설정 알고리즘을 통하여 급기습도를 설정하고 또한 급기습도를 감지하여 가슴기 밸브 개도를 조절함으로써 설정 급기습도를 유지하도록 하였으며, 댐퍼는 환기 온·습도와 외기 온·습도를 감지하여 엔탈피 차를 이용하는 외기 냉방제어 및 신선 외기도입을 위하여 CO<sub>2</sub> 제어 알고리즘이 적용된다고 가정하여 외기, 환기, 배기 댐퍼가 각각 연동되어 작동하도록 구성하였다.

## 3. 적용된 고장유형

일반적으로 공조기에 발생할 수 있는 고장은 상당히 많으며 이러한 모든 고장을 고려한 고장검출 및 진단 시스템을 구현하기는 상당히 어렵기 때문에 고장검출 및 진단 시스템의 구현목적에 따라 고장의 종류를 선정하고 적용하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 고장검출 및 진단의 가장 중요한 목적인 에너지 절약에 초점을 맞추어 공조기에서 발생할 수 있는 대표적인 몇 가지 고장을 선정하여 Table 1에 나타내었으며 냉방모드와 난방모드로 구분하여 냉방모드시 급기팬 성능저하, 환기팬 성능저하, 외기댐퍼 정지, 환기댐퍼 정지, 배기댐퍼 정지, 냉수코일 누수, 급기온도 감지기 감도저하의 고장을 적용하였으며, 난방모드시 급기팬 성능저하, 환기팬 성능저하, 외기댐퍼 정지, 환기댐퍼 정지, 배기댐퍼 정지, 온수코일 누수, 가슴기 막힘, 급기온도 감지기 감도저하, 급기습도 감지기 감도저하에 대한 고장을 적용하였다. 급기팬과 환기팬 성능저하는 팬을 구동하는 모터의 성능이 저하되어 회전수가 줄어드는 현상에 대하여 적용하였고, 댐퍼 정지의 경우 댐퍼 구동시 외기, 환기, 배기댐퍼가 각각 고장으로 인하여 상대적으로 연동하지 않고 정지한 경우를 고려하였으며, 냉수코일 및 온수코일 누수의 경우 코일의 노화로 인하여 코일 입구에서 온수 혹은 냉수가 누수되는 현상에 대하여 고려하였고, 가슴기 막힘의 경우 가슴기 노즐이 막힘으로 인하여 실제 가슴되어야 하는 양보다 더 적게 가슴되는 현상에 대하여 고려하였으며, 급기 온도 감지기의 경우 감도저하시 실제값보다 더 낮

Table 1 Selected faults

Fault No.	Faults	
	Cooling mode	Heating mode
10	Supply air fan speed degradation (SFF)	
20	Return air fan speed degradation (RFF)	
30	Outside air damper stoppage (ODF)	
40	Recirculated air damper stoppage (RDF)	
50	Exhaust air damper stoppage (EDF)	
60	Cooling coil leakage (CCF)	Heating coil leakage (HCF)
70	Supply air temperature sensor negative degradation (TSF-)	Humidifier nozzle clogging (HUDF)
80	Supply air temperature sensor positive degradation (TSF+)	Supply air temperature sensor negative degradation (TSF-)
90	×	Supply air temperature sensor positive degradation (TSF+)
100	×	Supply air humidity sensor negative degradation (HSF-)
110	×	Supply air humidity sensor positive degradation (HSF+)

은 값을 출력하는 경우(-)와 더 높은 값을 출력하는 경우(+ )를 모두 고려하였고, 급기 습도감지기의 경우 온도감지기의 감도저하와 같은 방법으로 고장을 적용하였다.

4. 고장검출 및 진단 알고리즘

4.1 룰 베이스

고려된 각각의 고장에 대한 룰 베이스 구축을 위하여 먼저 고장발생시 공조 시스템 내부에서 발생하는 현상을 관찰할 수 있도록 동적 시뮬레이션 프로그램<sup>(6)</sup>을 사용하여 무고장상태의 표준 외기조건에서 공조기 내부 위치에 대한 압력, 온도, 유량 등의 데이터를 획득하였고, Table 1에서 고려된 각각의 고장에 대해서도 데이터를 획득하여 이를 비교 분석하고 각 고장의 패턴을 규칙화하여 룰 베이스를 구축하였다.<sup>(7)</sup> 룰 베이스 구축 과정에서 변수의 선정은 실제 시스템의 설치되어야 하는 감지기로 연결되기 때문에 가능한 기존 공조기에 일반적으로 설치되어 있는 감지기 위치의 변수만을 사용하여 고장을 검출하는 것이 바

람직하지만 검출해야 하는 고장의 종류가 많아질수록 또한 고장 위치를 정확히 검출하려고 할수록 추정해야 될 변수가 증가하므로 검출하려고 하는 고장에 대한 분석을 통하여 가능한 최소의 변수를 선정하는 것이 요구된다. 본 연구에서는 룰 베이스의 비교 분석을 통하여 냉방모드의 경우 8가지 고장을 검출하기 위하여 기존 제어감지기 위치 외에 1개의 위치를 추가, 총 5가지 변수를 선정하여 Table 2에 나타내었고, 난방모드의 경우도 11가지 고장을 검출하기 위하여 기존의 제어를 위한 감지기 위치 외에 3개의 위치를 추가, 총 7가지의 변수를 선정하여 Table 3에 나타내었으며, 여기서  $P, T, \dot{m}, H$ 는 각각 압력, 온도, 유량, 습도를 의미하며, 하첨자  $SF, RF, CC, HC, HUD$ 는 각각 급기팬, 환기팬, 냉수코일, 온수코일, 가습기를 의미하고,  $a, w, s$ 는 각각 공기, 물, 증기를 의미하며,  $in, out$ 은 입구 혹은 출구의 상태를 의미한다. 따라서, 냉방모드시 선정된 5가지 변수 중  $P_{SFa,out}$ 은 급기팬 출구 공기압력,

Table 2 Rule bases on cooling mode

Faults	SFF	RFF	ODF	RDF	EDF	CCF	TSF	
							-	+
$P_{SFa,out}$	↓	↑	↓	↑	↑	-	-	-
$\dot{m}_{CCw,in}$	↓	↓	↑	↑	↑	↑	-	↓
$T_{CCa,in}$	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑	↓
$T_{RFA,out}$	↑	↑	↑	↓	↑	-	↑	↓
$T_{SFA,out}$	-	-	-	-	-	-	↑	↓

Table 3 Rule bases on heating mode

Faults	SFF	RFF	ODF	RDF	EDF	HCF	HUDF	TSF		HSF	
								-	+	-	+
$P_{SFa,out}$	↓	↑	↓	↑	↑	-	-	-	-	-	-
$T_{RFA,out}$	↓	↓	↓	↑	↓	-	-	↑	-	↓	-
$T_{HCa,in}$	↓	↓	↓	↓	↓	-	-	↑	-	↓	-
$T_{SFA,out}$	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	↓	-
$T_{HCw,in}$	↓	↓	↑	↑	↑	↑	-	↑	-	↓	-
$\dot{m}_{HUDs,in}$	↓	↓	↓	↑	↓	-	↑	-	-	↑	↓
$H_{HUDa,out}$	-	-	-	-	-	-	-	↓	-	-	↑

$\dot{m}_{CCw, in}$ 은 냉수코일 입구 냉수유량,  $T_{CCa, in}$ 은 냉수코일 입구 공기온도,  $T_{RFa, out}$ 은 환기팬 출구 공기온도,  $T_{SFa, out}$ 은 급기팬 출구 공기온도를 의미하며, 난방모드시 7가지 변수 중  $T_{HCa, in}$ 은 온수코일 입구 공기온도,  $T_{HCw, in}$ 은 온수코일 입구 온수온도,  $\dot{m}_{HUDs, in}$ 은 가습기 입구 증기유량,  $H_{HUDa, out}$ 은 가습기 출구 절대습도를 의미한다. Table에 표시된 ↑와 ↓는 고장이 적용되었을 경우 각 변수의 증가와 감소를 의미하며, ↑-는 고장이 계속적으로 적용될 경우 초기에는 증가하다가 한계를 넘어서면 증가된 상태를 유지하는 것을 의미한다.

4.2 곡선 적합 모델

물 베이스를 통해 선정된 변수 중 외기온도에 의해 영향을 받는 변수는 난방모드시  $\dot{m}_{CCw, in}$ ,  $T_{CCa, in}$ 이고, 난방모드시  $T_{HCa, in}$ ,  $T_{HCw, in}$ ,  $\dot{m}_{HUDs, in}$ 이므로 다양한 외기조건에서 변수의 변화를 예측할 수 있도록 곡선 적합 모델을 구성하기 위해서 저온조건부터 고온조건까지 2℃ 간격으로 외기온도를 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 2는 외기온도 변화에 따른  $\dot{m}_{CCw}$ 의 변화를 나타내며, Fig. 3은  $T_{CCa, in}$ 의 변화를 나타내고, Fig. 4는  $T_{HCa, in}$ 의 변화를 나타내며, Fig. 5는  $T_{HCw, in}$ 의 변화를 나타낸다. 그림에서와 같이 외기온도의 변화에 따라 각각의 파라미터 모두가 선형적으로 변화함을 알 수 있다. Table 4는 외기온도 변화에 따른 4가지 변수의 곡선 적합 모델을 나타낸다.

4.3 잔 차

잔차는 예측값과 측정값과의 차이를 의미하며 고장검출 및 진단에 있어 생성된 잔차를 무고장 허용범위와 비교하여 고장을 검출할 수 있다. 또한 생성된 잔차의 크기를 분석하여 활용하면 단순히 고장의 위치만을 검출하는 것보다 고장의 정도를 단계별로 진단할 수 있기 때문에 보다 효과적인 고장검출 및 진단 시스템을 구축할 수 있다. 난방모드시 선택된 5개의 변수와 난방모드시

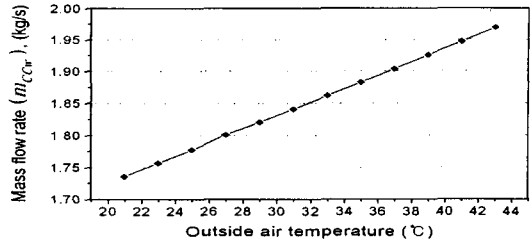


Fig. 2 Water flow rate at cooling coil inlet.

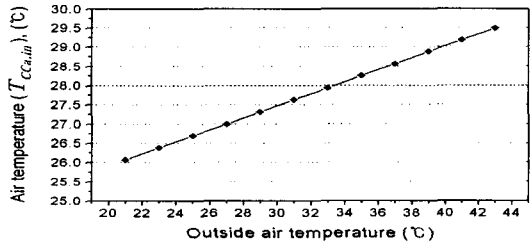


Fig. 3 Air temperature at cooling coil inlet.

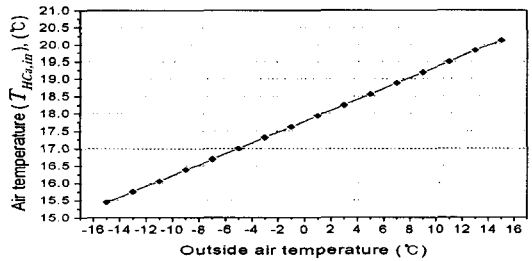


Fig. 4 Air temperature at heating coil inlet.

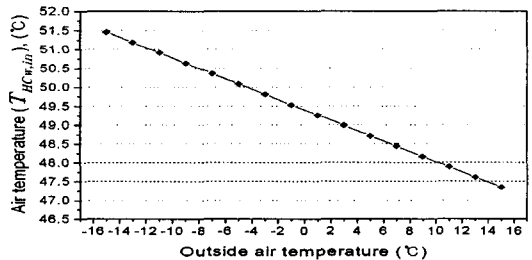


Fig. 5 Water temperature at heating coil inlet.

Table 4 Curve fitted equations

		$y = A + Bx$			
		$(y : \text{Output}, x : \text{Outdoor air temp., } ^\circ\text{C})$			
$y$	Cooling mode		Heating mode		
	$\dot{m}_{CCw, in}$	$T_{CCa, in}$	$T_{HCa, in}$	$T_{HCw, in}$	
$A$	1.51	0.01	17.79	49.40	
$B$	22.79	0.16	0.16	-0.14	

선택된 7개의 변수에 대한 잔차는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있으며

$$R_{P, SFa, out} = P_{SFa, out, r} - P_{SFa, set} \quad (1)$$

$$R_{m, CCw, in} = \dot{m}_{CCw, in, r} - \dot{m}_{CCw, in, ev} \quad (2)$$

$$R_{T, CCa, in} = T_{CCa, in, r} - T_{CCa, in, ev} \quad (3)$$

$$R_{T, RFa, out} = T_{RFa, out, r} - T_{RFa, out, set} \quad (4)$$

$$R_{T, SFa, out} = T_{SFa, out, r} - T_{SFa, out, set} \quad (5)$$

$$R_{m, HUDs, in} = \dot{m}_{HUDs, in, r} - \dot{m}_{HUDs, in, ev} \quad (6)$$

$$R_{T, HCa, in, r} = T_{HCa, in, r} - T_{HCa, in, ev} \quad (7)$$

$$R_{T, HCw, in} = T_{HCw, in, r} - T_{HCw, in, ev} \quad (8)$$

$$R_{H, HUDa, out} = H_{HUDa, out, r} - H_{HUDa, out, set} \quad (9)$$

여기서  $R$ 은 잔차를 의미하고, 하첨자  $r$ 은 건물 자동제어 시스템으로부터 측정되는 변수,  $ev$ 는 곡선 적합 모델을 통하여 예측되는 변수,  $set$ 은 설정된 변수를 의미한다. 무고장상태의 설정값으로  $P_{SFa, out, set}$ 은 냉/난방모드 모두 289.2 Pa로 설정하였으며,  $T_{RFa, out, set}$ 은 냉방모드의 경우 27℃, 난방모드의 경우 21℃로 설정하였고,  $T_{SFa, out, set}$ 은 냉방모드의 경우 12℃, 난방모드의 경우 35℃로 설정하였으며,  $H_{HUDa, out, set}$ 은 0.0078 kg/kg로 설정하였다. 고장검출에 사용된 잔차는 동적 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 표준 외기조건에서 10~50%까지 10%씩 단계별로 고장을 적용하여 산출하였다. SFF의 경우 정상상태 급기팬 모터 회전수를 기준으로 10%씩 단계적으로 감소시켜 고장을 모사하였으며, RFF의 경우도 SFF의 경우와 동일한 방법으로 적용하였다. ODF, RDF, EDF의 경우는 다른 2개의 댐퍼가 연동할 때 나머지 한 개의 댐퍼가 정지하고 있는 경우를 의미한다. CCF의 경우

는 냉수코일 입구에서 냉수의 유량이 정상상태 냉수유량을 기준으로 10%씩 감소되어 냉수코일로 들어간다고 가정하여 적용하였으며, HCF의 경우에도 CCF의 경우와 동일한 방법으로 적용하였다. HUDF의 경우 정상상태 증기분사유량을 기준으로 10%씩 증기가 분사되지 않는다고 가정하였다. TSF-와 TSF+는 정상상태 급기온도를 기준으로 10%씩 감소 혹은 증가되어 감지된다고 가정하였으며, HSF-와 HSF+의 경우에도 급기온도센서 감도저하와 동일한 방법으로 적용하였다. Table 5는 냉방모드시 SFF에 대한 잔차를, Table 6는 냉방모드시 CCF에 대한 잔차를 나타낸다. Table 5에서  $T_{SFa, out}$ 의 잔차가 0인 것은 Table 2의 물 베이스에서 알 수 있듯이 급기팬의 성능이 저하되더라도 제어기의 작동으로 설정온도가 유지되기 때문이다. Table 6의 CCF 경우도 물 베이스와 비교해 볼 때 고장의 정도가 10%까지는 초기 누수현상으로 파악되었으며, 20~50%까지는 포화누수현상으로 파악되었다. 적용된 나머지 고장의 경우도 각각 같은 방법으로 잔차를 계산하였다.

#### 4.4 고장검출 및 진단방법

곡선 적합 모델과 계산된 각 고장에 따른 잔차를 사용하여 고장검출을 수행하였다. 고장검출은 각 변수별로 곡선 적합 모델을 사용하여 예측된 값 혹은 설정값과 감지기를 통하여 실시간으로 입력된 값의 차를 실시간으로 비교하여 무고장 허용 범위를 넘어서면 고장으로 인식하도록 하였으며 고장검출에 중요한 무고장 허용범위로는 설정값 혹은 예측값의 1%로 하였다. 따라서 선정된 변수 모두가 각 잔차의 허용범위를 넘어서게 되면 고장으로 인식하고, 변수가 무고장상태를 기준으로 증가하였으면 1, 변화하지 않았으면 0, 감소하였으면 -1을 출력하고 이를 조합하여 각 고장별로 구축된

Table 5 Residuals of SFF

Fault level (%)	$P_{SFa, out}$ (Pa)	$\dot{m}_{CCw}$ (g/s)	$T_{CCa, in}$ (°C)	$T_{RFa, out}$ (°C)	$T_{SFa, out}$ (°C)
10%	72.5	167.2	0.7	0.9	0
20%	137.1	339.4	1.6	1.9	0
30%	194.2	493.8	2.5	3.0	0
40%	244.1	638.9	3.6	4.3	0
50%	287.4	784.6	4.7	5.7	0

Table 6 Residuals of CCF

Fault level (%)	$P_{SFa, out}$ (Pa)	$\dot{m}_{CCw}$ (g/s)	$T_{CCa, in}$ (°C)	$T_{RFa, out}$ (°C)	$T_{SFa, out}$ (°C)
10%	0	209.3	0	0	0
20%	0	338.2	0.2	0.2	0.3
30%	0	338.2	0.6	0.7	1.1
40%	0	338.2	1.0	1.2	2.1
50%	0	338.2	1.6	1.9	3.2

룰 베이스의 조합과 기우관계를 비교하여 고장을 검출하고, 각 변수별 잔차의 범위를 비교하여 모든 변수가 설정된 단계별 고장범위를 넘어서면 10~50%까지 10%씩 고장을 진단하도록 구성하였다.

### 5. 시뮬레이션 결과

#### 5.1 냉방모드시 고장검출 및 진단결과

개발된 고장검출 알고리즘의 유효성을 확인하기 위해서 고장모사에 의한 시뮬레이션을 수행하였다. 실제의 경우와 유사한 조건에서 고장을 검출

하기 위하여 Fig. 6(a)와 같은 일반적인 여름철 외기조건을 오전 8시부터 오후 6시까지 적용하였다. 단계별 고장검출이 이루어지는지를 알아보기 위해서 댐퍼 정지를 제외한 모든 고장에 대하여 공조기 가동 후 3시간 후인 오전 11시부터 오후 6시까지 0%에서 50%까지 연속적으로 고장을 적용하였다. Fig. 6의 (b)~(f)는 각각의 적용된 고장에 대하여 선정된 변수의 변화를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 외기조건의 변화에 대하여도 각각의 적용된 고장에 대한 변수의 변화가 Table 2의 냉방모드시 룰 베이스와 같은 경향임을 확인할 수 있다. 각 고장에 대하여 Fig. 7은

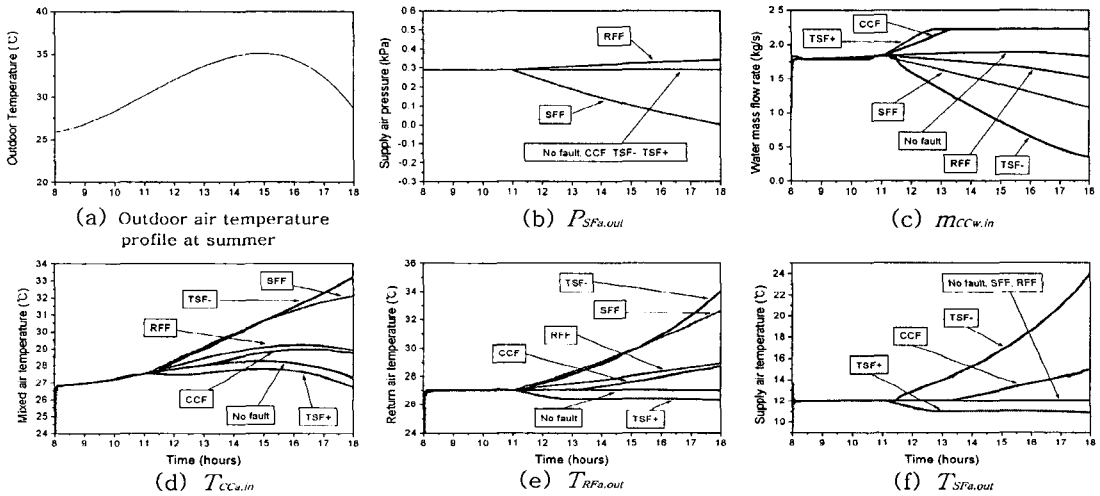


Fig. 6 Out door air temperature profile at summer and the results of faults application.

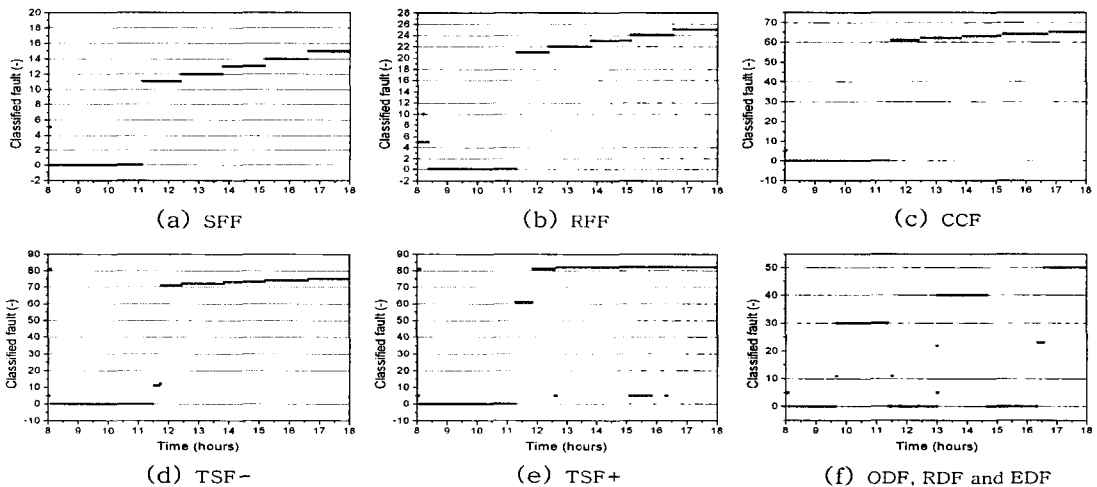


Fig. 7 Fault detections and Diagnoses at cooling mode.

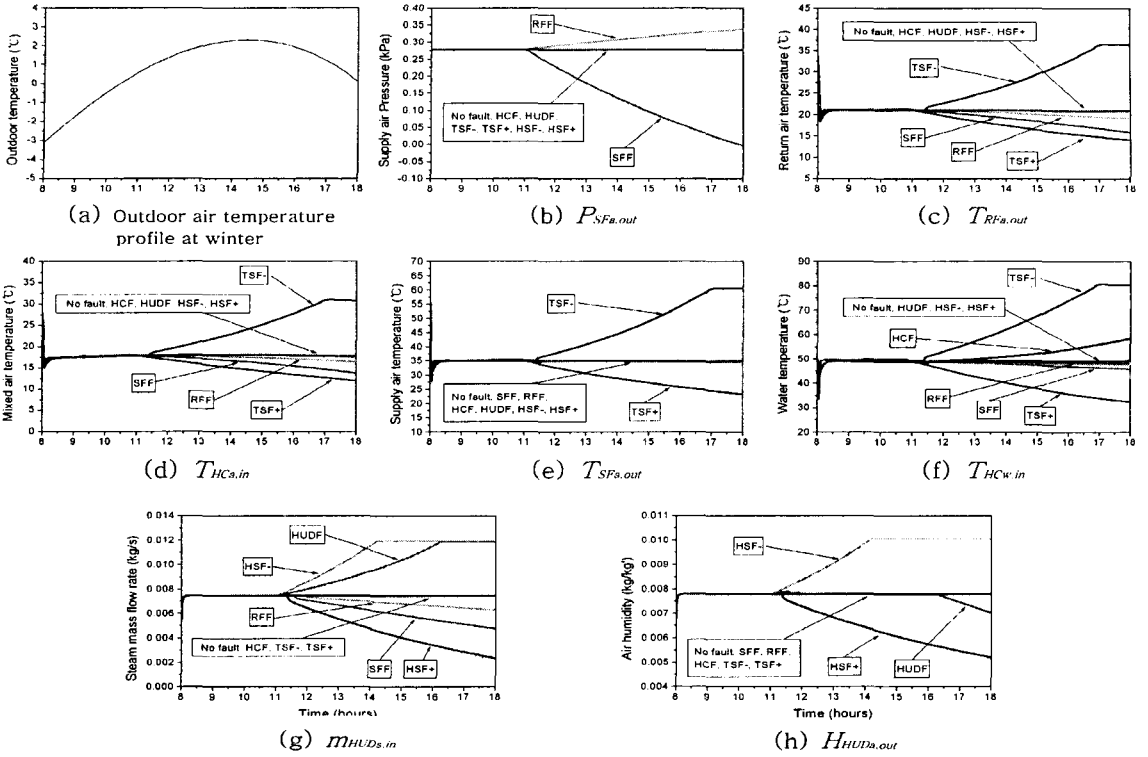


Fig. 8 Outdoor air temperature profile at winter and the results of faults application.

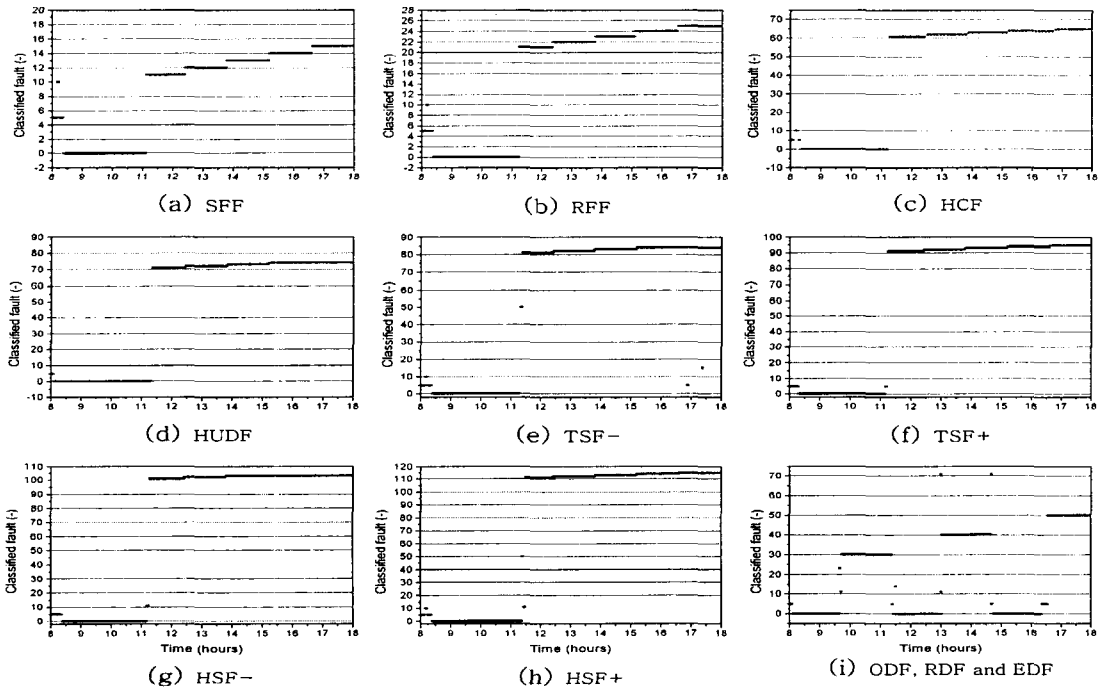


Fig. 9 Fault detections and Diagnoses at heating mode.

적용된 고장에 대한 검출 및 진단결과를 나타낸다. 고장검출시 분류기를 사용하여 무고장의 경우에는 0, 알 수 없는 고장의 경우에는 5를 출력하도록 하였으며, 적용된 고장에 대해서는 Table 2의 고장번호로 출력하되 일단위 숫자는 고장의 정도를 나타내도록 분류하였다. 예를 들어 Fig. 7(a)의 SFF의 경우 11시 이후 11, 12, 13, 14, 15로 검출되는 것은 급기팬이 10%, 20%, 30%, 40%, 50%로 성능저하가 되고 있다는 것을 의미한다. 고장이 적용된 후 검출이 약 30분 후에 되는 것은 초기에 고장의 정도가 매우 미약하여 무고장의 오차범위에 포함되는 것으로 파악되었다. ODF, RDF, EDF 경우 공조기 가동 후 1시간 40분 간격으로 무고장, ODF, 무고장, RDF, 무고장, EDF를 적용한 결과를 Fig. 7(f)에 나타내었다. 뎀퍼는 단계적 고장이 없으므로 ODF는 30, RDF는 40, EDF는 50으로 고장이 검출되는 것을 확인할 수 있다.

### 5.2 난방모드시 고장검출 및 진단결과

난방모드시에도 냉방모드시와 동일한 방법으로 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 8(a)와 같은 일반적인 겨울철 외기조건을 오전 8시부터 오후 6시까지 적용하였다. 단계별 고장검출이 이루어지는 지를 알아보기 위해서 뎀퍼 정지를 제외한 모든 고장에 대하여 공조기 가동 3시간 후인 오전 11시부터 오후 6시까지 0%에서 50%까지 연속적으로 고장을 적용하였다. Fig. 8의 (b)~(h)는 각각의 적용된 고장에 대하여 선정된 변수의 변화를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 외기조건 변화에 대하여도 각각의 적용된 고장에 대한 변수의 변화가 Table 3의 물 베이스와 같은 경향임을 확인할 수 있다. 각 고장에 대하여 Fig. 9는 적용된 고장에 대한 검출 및 진단결과를 나타낸다. 냉방모드시와 동일하게 정확하게 고장을 검출하고 진단함을 알 수 있다.

### 6. 결 론

공조기에서 발생할 수 있는 여러 가지 고장에 대한 검출 및 진단을 위해 물 베이스를 이용한 고장의 변수변화 경향과 외기온도변화에 따른 변수의 간단한 곡선 적합 모델을 사용하여 고장검출 및 단계별 진단 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘을 사용하여 실제와 유사한 외기조건

하에서 급기팬, 환기팬, 냉수코일, 온수코일, 가습기, 온도센서, 습도센서의 점진적인 고장을 0%에서 50%까지 연속적으로 적용하고 각 뎀퍼의 고장으로 인한 정지현상에 대하여 시뮬레이션한 결과 고장 정도에 따라 고장을 검출하고 단계적으로 진단할 수 있었으며 따라서 개발된 알고리즘은 공조기에서 발생하는 점진적인 고장에 대한 검출과 단계별 진단에 효과적으로 적용될 수 있음을 확인할 수 있었으며, 향후 보다 효과적인 고장검출 및 진단 시스템을 개발하기 위해서는 공조 시스템 전반에 걸쳐 더 많은 고장을 검출하고 진단할 수 있도록 최소한의 감지기를 사용하여 고장의 특성을 나타낼 수 있는 최적의 위치를 선정하는 것과 관련된 연구가 계속되어야 할 것이다.

### 참고문헌

1. Peitsman, H. C. and Bakker, V. E., 1996, Application of black-box models to HVAC systems for fault detection, ASHRAE Transactions, pp. 628-640.
2. Peitsman, H. C. and Soethout, L. L., 1997, ARX models and real-time model-based diagnosis, ASHRAE Transactions, pp. 657-671.
3. Ngo, D. and Dexter, A. L., 1999, A robust model-based Approach to diagnosing faults in air-handling units, ASHRAE Transactions, pp. 1078-1086.
4. Lee, W. Y. and Kyong, N. H., 2001, Fault detection and diagnosis for an air-handling unit using artificial neural networks, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1288-1296.
5. Han, D. and Lee, H., 2001, Partial fault detection of the air conditioning system by using curve fitting model, Proceedings of the SAREK, pp. 670-674.
6. Han, D. and Joo, M., 2000, Dynamic models of the air handling unit for the development of real time fault detection and diagnosis system, Proceedings of the SAREK, pp. 201-207.
7. Han, D. and Joo, M., 2001, Rule bases for the development of the real time fault detection and diagnosis system of the air handling unit, Proceedings of the SAREK, pp. 659-664.