

HVAC 시스템의 중복고장 검출을 위한 실험적 연구

조 성 환[†], 홍 영 주^{*}, 양 훈 철, 안 병 천^{**}

한국에너지기술연구원, ^{*}충남대학교 기계설계공학과 대학원, ^{**}경원대학교 건축설비공학과

An Experimental Study on Multi-Fault Detection and Diagnosis Analysis of HVAC System

Sung-Hwan Cho[†], Young-Ju Hong^{*}, Hooncheul Yang, Byung-Cheon Ahn^{**}

Building Energy Research Center, KIER, 71-2 Jang-Dong Yousung-Gu, Taejeon 305-343, Korea

^{*}Graduate School of Mechanical Design Engineering, ChungNam National University, Taejeon 305-764, Korea

^{**}Department of Building Equipment System Engineering, Kyungwon University, Kyunggi-Do 461-701, Korea

(Received April 6, 2004; revision received June 23, 2004)

ABSTRACT: The objective of this study is to detect the multi-fault of HVAC system using a new pattern classification technique. To classify the effect of single-fault in determining the pattern, supply air temperature, OA-damper, supply fan, and air flowrate were chosen as experimental parameters. The combination of supply temperature, flow rate, supply fan and OA-damper were chosen as multi-fault conditions. Three kinds of patterns were introduced in the analysis of multi-fault problem. To solve multi-fault problem, the new pattern classification technique using residual ratio analysis was introduced to detect the multi-fault as well as single-fault. The residual ratio could diagnose single-fault or multi-fault into several patterns.

Key words: Fault detection and diagnosis(고장검출 및 진단), Variable air volume(가변풍량), Neural network(신경망), HVAC system(공조시스템), Multi-fault(중복고장)

기 호 설 명

DB : 건구온도

F : 유량센서

Heat : 히터 소비전력 [kW]

OD : 외기덤퍼개도 [%]

OT : 외기온도 [°C]

R : 잔차

RR : 잔차율

SF : 급기팬값 [%]

SFR : 급기유량값 [CMH]

ST : 급기온도 [°C]

T : 온도센서

VAVD : VAV 뎀퍼개도 [%]

하첨자

F : 고장

MAX : 최대값

N : 무고장

† Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3236; fax: +82-42-860-3202

E-mail address: shcho@kier.re.kr

1. 서 론

건물 공조설비를 비롯하여 에너지 설비들의 규

모가 커지고 구성이 복잡하게 구성될 경우, 설비 시스템의 일부분에 고장발생시 이에 따른 원인과 발생지점 및 전체 시스템에 미치는 영향을 파악하는 것이 상당히 어렵다. 또한 시스템 내부에 고장이 발생하면 에너지 사용량의 증가와 장비수명의 감소 및 생활환경의 저하 등 건물에 악영향을 미치게 된다. 따라서 시스템의 신뢰성과 안전성, 쾌적한 환경을 위해서 성능저하를 적절하게 감지하고 고장발생시 신속하게 처리하는 고장검출 기술이 필요하다.

공조시스템의 고장진단에 대한 초기연구는 Liu and Kelly⁽¹⁾에 의한 규칙기반 진단방법을 적용한 것이 있으며, Anderson et al.⁽²⁾에 의한 규칙기반과 통계적인 방법을 공기조화시스템의 모니터링과 진단에 적용한 것이 있다. Pape et al.⁽³⁾은 최적 제어 이론에 의한 고장진단법을 제시하였고, Norford⁽⁴⁾는 사용전력 모델을 이용하여 고장진단법을 제시하였다. Chen and Braun⁽⁵⁾은 단순 FDD 기법을 적용하여 패키지 에어컨에 대한 고장검출 및 진단시스템을 개발하였다.

Katipamula et al.⁽⁶⁾ House et al.⁽⁷⁾은 공조기를 위한 지식기반 방법을 실제 건물에 적용하여 연구하였다. 또한 Lee et al.⁽⁸⁾은 AHU 고장을 검출하기 위한 예측방식을 사용하였으며, 신경망 회로의 패턴 인식법을 적용하여 고장진단을 실험적으로 확인하였다.

최근에는 외란에 둔감하고 고장에 민감한 잔차 발생기를 설계하는 방법과 인공신경망, 퍼지이론⁽⁹⁾을 사용하여 보다 신뢰성 있는 고장검출 방법도 활발히 연구되고 있다. 시스템에서 패턴분석에 관한 대부분의 연구는 단일고장에 국한되어 있다.

그러나 시스템에서는 고장이 중복되어 발생할 가능성이 많다.

본 연구는 모델기반(model-based) 고장검출 및 진단법을 이용하여 HVAC 시스템을 이루는 각 요소에서 발생할 수 있는 단일고장 혹은 중복고장을 검출하기 위한 수단인 패턴진단 방법을 인공기후 실험동 장비를 이용하여 실험적으로 연구하였다. 이를 위하여 HVAC 시스템을 구성하는 주요 요소인 외기덤펀, 급기온도센서, 유량센서, 급기송풍기의 고장에 대해 잔차를 이용한 패턴진단 방법을 연구하였다. 또한 급기온도센서 고장시 외기덤펀개도, 유량센서, 급기송풍기의 중복고장에 대한 고장진단을 위해 요소에서 측정되는 잔차의 비율을 이용한 패턴진단 방법을 개발하였다.

2. 실험장치

본 연구의 실험을 위해서 사용된 인공기후 실험동은 건물의 외기조건을 인공적으로 재현시켜 계절과 무관하게 건물관련 실험연구를 수행할 수 있는 복합건축물이다. 인공기후 실험동은 철근·콘크리트조로서 건물의 3층 높이에 해당하는 공간 내부에 2층 규모의 시험주택이 설치되어 있다. 인공기후 실험동의 규모 및 개요는 Table 1과 같고, 인공기후 실험동의 최대운전 성능은 Table 2와 같다.

인공기후 실험동 내부에 설치된 시험주택은 건물의 냉난방부하, 냉난방설비의 효율, 열환경, 에너지절약, 건물구조체의 열전달현상 등의 HVAC 시험에 관한 종합적인 실험을 수행할 수 있도록 4개의 실험실로 구성되어 있다. 실시간 고장진단

Table 1 Specification of the environmental chamber and house

Environmental chamber			Environmental house	
Parameter	Capacity		Parameter	Capacity
Size	Chamber	136.08 m ²	Area	3.0 m × 2.1 m = 6.3 m ²
	Attached facility	3 Over ground (1~3 floor)	Story/Room	2 Story building / 4 Rooms
		3 Over Ground	Construction	Concrete
Capacity	249.48 m ²	1st floor : 4.5 m	Air conditioning	Central and local air conditioning
Structure	Steel-frame. Ferro-concrete	2nd floor : 3.6 m	Control method	Computer based automatic control
		3rd floor : 3.6 m		
Air conditioning	1,428.8 m ³			
Control method	Central air conditioning			
	Computer based automatic control			

Table 2 Capacity of the environment chamber

Parameter	Capacity
Temperature control range	-25~50℃ (DB)
Temperature decrease rate	0℃ to 8℃/h Decrease
Temperature increase rate	20℃ to 10℃/h Increase
Humidity control range	Dew point temperature 6±1℃ at 15℃ (DB)
	Dew point temperature 10±22℃ at 24℃ (DB)
	Dew point temperature 20~30±1℃ at 15℃ (DB)
	Chamber
	Experimental house
	40~80% (RH)

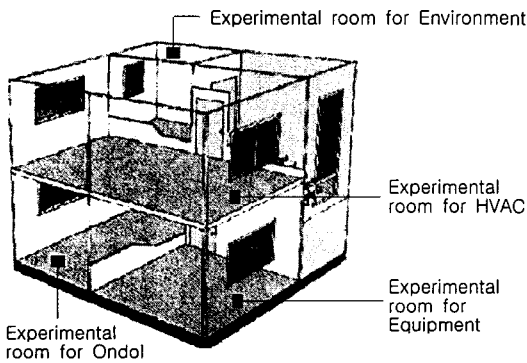


Fig. 1 Schematic diagram of experimental house.

시스템의 적용대상인 2층의 HVAC 실험실은 Fig. 1 과 같은 구조이며 이곳에 적용된 가변풍량(VAV) 방식의 공조시스템 구성도는 Fig. 2와 같다. 공조 시스템은 가변풍량 공조기를 채택하여 실내의 부하변동에 따라 급기온도를 일정하게 유지시키고 실별, 구역별 풍량을 변화시켜서 실온을 제어하고 있다.

HVAC 실험실에 대한 급기온도 제어용 냉난방 코일, 정압 제어용 급기송풍기, 풍량차 제어용 순

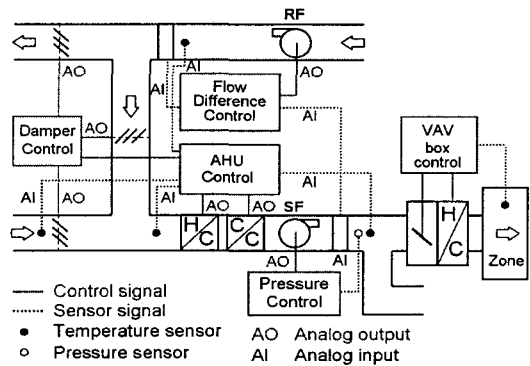


Fig. 2 Schematic of HVAC system.

환송풍기, 혼합공기 댐퍼와 실내온도 및 풍량 제어에 사용되는 가변풍량 제어용 VAV 박스로 구성된 시험주택의 주요한 재원과 가변풍량 공조기의 운전범위와 설계조건은 Table 3과 같다.

3. 실험방법

일반적인 건물의 HVAC 시스템에서 중요한 요소는 외기댐퍼, 급기온도, 급기유량, 급기팬 등이

Table 3 Operating range of component

Component	Operating range
Indoor condition	Summer : 24℃, Winter : 20~24℃
Outdoor condition	Summer & Winter condition
Supply fan	Max : 1,000 CMH (0.278 m ³ /sec), Min : 200 CMH (0.055 m ³ /sec)
Return fan	Max : 900 CMH (0.25 m ³ /sec), Min : 200 CMH (0.055 m ³ /sec)
Cooling coil	Capacity : 13,608 kcal/h (4.5 HP), Condenser : 9,072 kcal/h (3 HP), 4,536 kcal/h (1.5 HP), Inlet cooling water temp. : 7℃, Outlet cooling water temp. : 13℃
Heating coil	Max. electric demand : 10 kW, Control method : P, PI, PID and manual
Damper	Control method : P, PI, PID and manual
Supply set pressure	45 mmAq (448 Pa)

Table 4 Type of fault

Type	Variable	Description
Single fault	OD	Outdoor damper
	SFR	Supply fan flowrate
	ST	Supply temperature sensor
	SF	Supply fan
Multiple fault	ST+OD	Multiple occurrence
	ST+SFR	Multiple occurrence
	ST+SF	Multiple occurrence

다. 건물의 운전상황에서 이들 요소들은 단독으로 고장이 발생할 수도 있지만 실제적인 상황에서는 중복되어 고장을 발생할 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 외기온도의 조건을 5℃, 즉 동절기 조건으로 고정하고 가열코일을 통한 온풍 공급시 급기팬의 공기압 설정치를 441 Pa, 급기온도의 설정치를 36℃, 외기유입 댐퍼의 개도는 30%로 설정하고 실험실 내부에 설치된 HVAC 댐퍼에 의하여 실내온도가 22℃로 유지되도록 운전하였다.

본 연구에서는 단독고장 인자로서 외기댐퍼(OD), 급기온도(ST)센서, 급기유량(SFR), 급기팬(SF)을 선정하였다. 그리고 중복고장 인자로서는 중복고장시 서로 연관 관계가 있을 수 있는 ST+OD, ST+SFR 및 ST+SF를 선정하였다. 이때 고장 발생방법은 건물관리 프로그램의 중앙제어 프로그램을 조정하여 고장과 유사한 현상을 발생시키도록 하였다. Table 4는 본 연구에서 시험한 단일고장과 중복고장에 대한 분류가 각각 나타나 있다. 이들 요소들의 고장은 정상운전을 기준으로 10%의 고장이 발생하도록 하였다. 이때 외기댐퍼 및 급기온도센서는 정상운전을 기준으로 10% 증가된 값을 적용하여 고장상태를 모사하였으며 급기유량센서 및 급기팬은 출력신호를 10% 증가시킴으로써 고장상태를 모사하였다.

여기서 정상운전 조건의 측정값은 특정한 요소의 고장이 없는 상태에서 얻어진 각 요소의 값을 나타낸다. 그리고 고장상태는 정상운전 조건에서 한 요소 혹은 두 개의 요소가 고장을 일으키게 되는 상태이며 고장에 따라 각 요소들의 온도, 유량과 같은 값들이 변화하게 된다.

단일고장과 중복고장이 발생하는 경우 데이터의 수집은 각 고장의 발생 후 나타나는 데이터를 시험시작 이후 90분 동안 1분 간격으로 데이터를 수집하면서 결과 및 패턴을 비교 분석하였다.

4. 고장진단 이론

4.1 고장진단 이론

공조시스템의 고장진단방법은 고장을 검출하는 부분과 고장을 진단하는 부분으로 나눌 수 있다. 고장을 검출하기 위하여 잔차, 파라메타 예측치, 특성치를 이용하여 분류결정을 수행하고 고장을 진단한다. 고장진단방법은 규칙기반, 통계적 패턴 인식, 인공지능 네트워크, 퍼지 논리를 이용할 수 있다. 본 논문에서는 고장검출을 위한 방법으로 모델기반 잔차를 이용하였다. 잔차는 무고장 상태의 값과 각 고장상태의 값의 차로 나타났다. 즉 고장상태에서 각 요소가 나타내는 값과 정상운전 조건에서 각 요소가 나타내는 평균값과의 차이가 잔차이다. 잔차의 최대값은 이 잔차에서 구해진 가장 큰 값에 해당한다. 온도센서, 유량센서 등의 성능저하, 팬 성능저하 등의 고장발생시 잔차에 대한 정규화 값으로 얻은 패턴을 이용하여 고장을 진단하게 된다.

$$R_{OD} = OD_N - OD_F \quad (1)$$

$$R_{SFR} = SFR_N - SFR_F \quad (2)$$

$$R_{ST} = ST_N - ST_F \quad (3)$$

$$R_{SF} = SF_N - SF_F \quad (4)$$

$$R_T = \frac{T_N - T_F}{|T_N - T_F|_{MAX}} \quad (5)$$

식(1)~(4)는 외기댐퍼, 급기유량센서, 급기온도센서 및 급기팬에서 정상상태와 고장상태에 대한 잔차를 나타내며 식(5)는 정규화식을 나타낸다. 하첨자 OD 는 외기댐퍼, SFR 은 급기유량, ST 는 급기온도, SF 는 급기팬의 출력을 나타내며, N 은 무고장상태, F 는 고장상태의 값이다. 정규화 식에서 잔차의 최대값으로 나누어준 값을 사용하여 패턴을 생성할 수 있다. 분류기는 패턴을 이용한 신경망 이론을 적용하였다.

4.2 인공지능망 알고리즘

인공지능망 알고리즘은 학습에 의해 가중치(weight)와 편차(bias)를 구하여 고장을 진단한

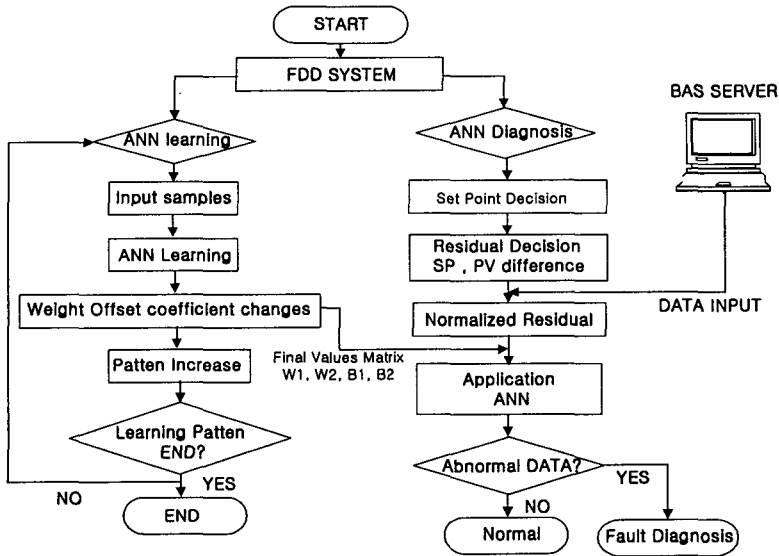


Fig. 3 Flowchart of fault detection diagnosis.

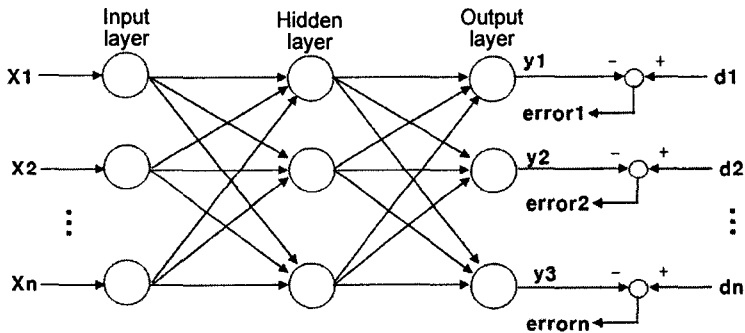


Fig. 4 Two-layer feedforward neural network.

다. Fig. 3은 고장진단 알고리즘에 대한 흐름도를 나타낸다.

Fig. 4는 고장검출에서 사용되는 신경망의 구조를 나타낸다. 이는 데이터를 정규화하고 고장모델의 잔차는 설정값과 실제 측정값의 차이를 통해 구할 수 있다.

신경망의 구성은 입력층과 은닉층 그리고 출력층으로 구성되며, 5×4×6구조의 다층 퍼셉트론을 사용하여 고장을 검출하도록 구성되어 있다.

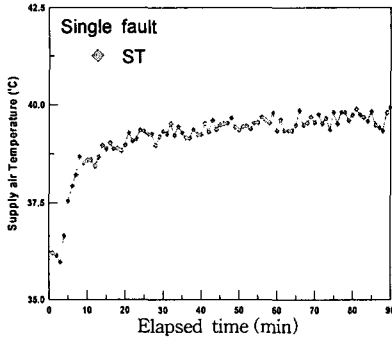
5. 실험결과

5.1 시스템 성능특성

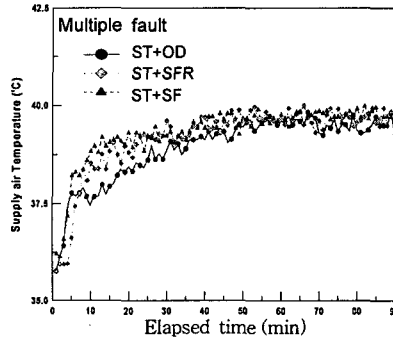
Fig. 5는 HVAC 시스템 운영시 주요 요소인 외

기덤편, 급기유량센서, 급기온도센서 및 급기팬의 고장이 단독으로 발생하는 경우와 급기온도센서, 외기덤편, 급기유량센서 및 급기팬의 고장이 중복되어 발생하는 경우 히터 소비전력, 급기유량, 덤편 개도율 등의 각 요소별 출력값을 시간별로 수집하여 나타낸 것이다.

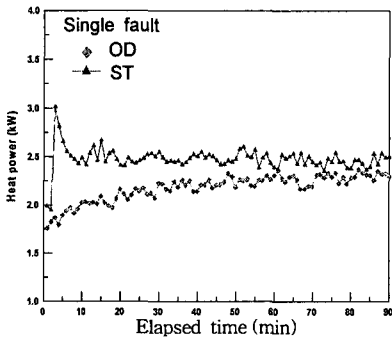
Fig. 5(a, b)는 급기온도센서의 단독고장인 경우와 ST+OD, ST+SFR 및 ST+SF의 중복고장인 경우를 나타낸다. 두 경우 모두 고장발생 초기에 급기온도가 증가되어 10분경과 후 거의 일정한 급기온도를 나타낸다. 이는 급기온도센서와 함께 외기덤편, 급기유량 및 급기팬의 중복된 고장이 발생되더라도 이들 고장의 영향이 급기온도센서 고장의 영향에 중첩되어 효과를 미치지 못하는 것으로 판단된다.



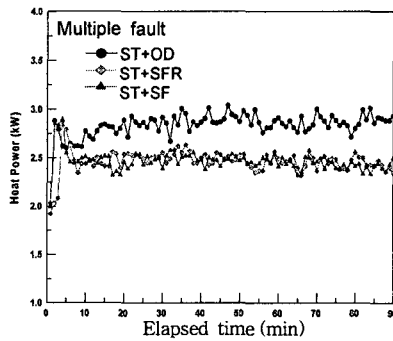
(a) Supply temperature in single fault



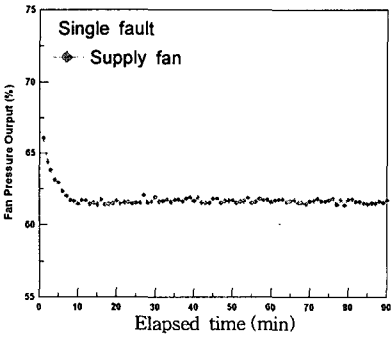
(b) Supply temperature in multiple fault



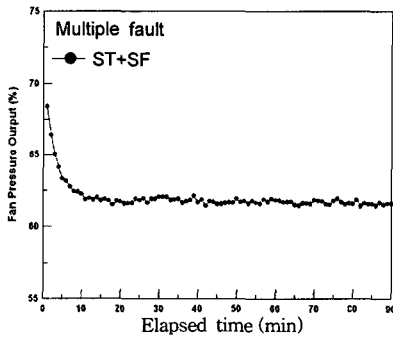
(c) Heater power in single fault



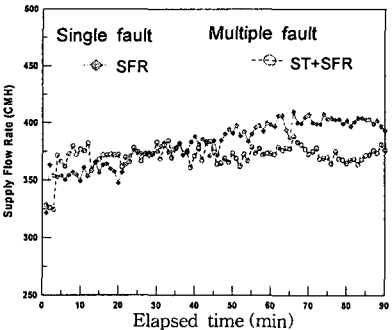
(d) Heater power in multiple fault



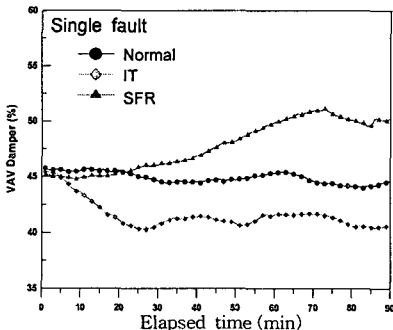
(e) Fan pressure in single fault



(f) Fan pressure in multiple fault



(g) SFR in single fault and multiple fault



(h) VAV Damper in single fault

Fig. 5 Pattern analysis in single fault and multiple fault.

Fig. 5(c, d)의 경우에는 급기온도센서와 외기온도센서의 단일고장 경우와 ST+OD, ST+SFR 및 ST+SF의 조합으로 중복고장이 발생한 경우 히터 소비전력을 나타낸다. 단일고장시 발생한 히터 소비전력은 ST+OD, ST+SFR 및 ST+SF의 중복고장으로 발생한 히터 소비전력에 중복되어 히터소비전력이 증가하는 경향을 나타낸다.

Fig. 5(e, f)는 급기팬의 단독고장인 경우와 ST+SFR의 중복고장인 경우 급기팬의 압력을 나타낸다. 이는 급기온도 센서와 급기팬이 중복고장인 경우라도 급기온도센서에 의한 단독고장인 경우와 연관관계가 없는 것을 알 수 있다.

Fig. 5(g)는 급기유량센서의 단일고장과 ST+SFR의 중복고장에 대한 급기유량의 변화를 나타낸다. 급기유량센서의 단일고장인 경우에는 ST+SFR의 중복고장의 경우보다 큰 급기유량을 나타낸다.

Fig. 5(h)는 급기유량센서의 단일고장에 대한 VAV 뎀퍼의 출력을 나타낸다. 급기유량센서의 단일고장인 경우에는 VAV 뎀퍼개도가 서서히 증가한다.

이상의 결과로부터 중복고장이 발생하는 경우에 나타나는 유형을 3가지로 나눌 수 있다. 첫 번째, 임의의 요소에서 고장이 발생될 때 나타나는 측정값이 다른 요소의 고장에서 발생하는 측정값과 중복되기 때문에 최종 측정값이 거의 유사한 경우(case 1), 두 번째, 어떤 요소에서 고장이 발생될 때 나타나는 측정값이 다른 요소의 고장에서 발생하는 측정값에 중첩되어 최종 측정값이 단일고장의 측정값보다 큰 경우(case 2), 세 번째, 어떤 요소에서 고장이 다른 요소의 고장에 영향을 미치지 못하는 경우(case 3)로 나누어질 수 있다.

Case 1은 중복고장과 단일고장이 유사하며 ST+OD의 중복고장이 이 유형을 따른다. Case 2는 중복고장이 단일고장의 중첩된 값으로 나타나며 ST+SFR의 중복고장이 이 유형을 따른다. Case 3은 단일요소 고장이 중복고장에 영향을 주지 않으며 ST+SF의 중복고장이 이 유형을 따른다.

5.2 중복고장시 진단분석

Table 5는 외기뎀퍼, 급기유량, 급기온도센서 및 급기팬이 단독고장인 경우와 ST+OD, ST+SFR 및 ST+SF의 중복으로 고장이 발생한 경

우에 대하여 모니터링 각 고장별 원시데이터, 잔차, 정상화 값 및 패턴을 나타낸다.

원시 데이터는 고장별 각 요소의 출력값이며 잔차는 각 고장상태와 정상상태의 차이를 나타낸다. 즉 각 요소별 고장 시 측정된 순시 최대값에서 정상운전 조건에서 90분간 측정된 평균값의 차이로 나타낸다. 정규화 값은 정규화식을 이용하여 각 요소별 잔차값을 최대 잔차값으로 나눈 값을 나타낸다. 패턴은 정규화 값 중에 0.5 이상의 값을 1로 표현하고 그 미만은 0으로 표현하여 고장패턴을 생성하였다. 단일고장과 중복고장의 경우 나타나는 패턴은 각각 Table 6과 Table 7에 나타나 있다. 여기서 나타난 데이터는 각 요

Table 5 The raw, residual, normalized value and patterns in single & multi fault

Data	Fault	Heater (kW)	VAVD (%)	ST (°C)	SF (%)	SFR (CMH)
Raw data	Normal	1.820	45.01	36.29	68.18	317.53
	OD	2.325	47.02	35.95	68.42	330.92
	SFR	1.764	48.51	36.34	67.86	391.50
	ST	2.457	44.71	39.58	68.13	312.85
	SF	1.754	45.05	35.86	61.71	316.02
	ST+OD	2.803	44.45	39.86	68.37	317.97
	ST+SFR	2.440	45.76	39.76	68.33	375.43
Residual	ST+SF	2.351	44.63	39.66	61.58	321.64
	OD	0.505	2.01	-0.34	0.25	13.40
	SFR	-0.056	3.50	0.05	-0.32	73.97
	ST	0.638	-0.30	3.29	-0.05	-4.68
	SF	-0.066	0.04	-0.42	-6.47	-1.51
	ST+OD	0.983	-0.56	3.57	0.19	0.44
	ST+SFR	0.620	0.76	3.47	0.16	57.90
Normalized value	ST+SF	0.531	-0.37	3.37	-6.59	4.16
	OD	0.514	-0.47	-0.09	0.04	0.18
	SFR	-0.056	-0.82	0.01	-0.05	1.00
	ST	0.649	0.07	0.92	-0.01	-0.06
	SF	-0.067	-0.01	-0.12	-0.98	-0.02
	ST+OD	1.000	0.13	1.00	0.03	0.01
	ST+SFR	0.631	-0.18	0.97	0.02	0.78
Pattern	ST+SF	0.541	0.09	0.94	-1.00	0.06
	OD	1	0	0	0	0
	SFR	0	1	0	0	1
	ST	1	0	1	0	0
	SF	0	0	0	1	0
	ST+OD	1	0	1	0	0
	ST+SFR	1	0	1	0	1
ST+SF	1	0	1	1	0	

Table 6 Normalized input patterns for AHU single fault diagnosis for ANN training

Neural network input					Neural network output					Fault diagnosis
Heat	VAV	ST	SF	SFR						
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	Normal
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	Outdoor damper fault
0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	Supply flowrate sensor fault
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	Supply temperature sensor fault
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	Supply fan fault

Table 7 Normalized input patterns for AHU multi fault diagnosis for ANN training

Neural network input					Neural network output								Fault Diagnosis
Heat	VAV	ST	SF	SFR									
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Normal
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	Outdoor damper fault
0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	Supply flowrate sensor fault
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	Supply temperature sensor fault
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	Supply fan fault
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	ST+OD fault
1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	ST+SFR fault
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	ST+SF fault

소별로 정상상태 대비 10%의 이상을 가진 고장의 경우에 해당하며 고장정도가 변경되면 패턴형상은 변경될 수 있다.

ST+OD의 중복고장에서 나타나는 히터 소비전력의 잔차는 급기온도센서의 단일고장에서 나타나는 히터 소비전력의 잔차보다 증가된 값을 갖는다. ST+SFR의 중복고장에서 나타나는 히터 소비전력의 잔차는 급기유량센서의 단일고장에서 나타나는 히터 소비전력의 잔차보다 증가되는 경향을 나타낸다. 또한 ST+SF의 중복고장인 경우 히터 소비전력의 잔차는 급기팬의 단일고장인 경우에 나타나는 히터 소비전력의 잔차보다 증가되는 경향을 나타낸다. 그러나 잔차들을 기반으로

하여 정규화 시키면 ST+OD의 중복고장인 경우에는 급기온도센서의 단일고장인 경우와 동일한 결과를 나타내는 반면 ST+SFR의 중복고장인 경우에는 급기온도센서보다 급기유량센서에서, ST+SF의 중복고장인 경우에는 급기온도센서보다 급기팬에서 추가적으로 1의 정규화 값을 갖는다. 즉 ST+OD의 중복고장이 발생된다면 급기온도센서에 의한 단일고장과 구별할 수 없는 경우가 발생한다. 패턴이 중복되는 경우에는 히터 소비전력과 급기온도의 출력값의 비율을 사용하여 중복고장을 검출할 수 있다. Table 8은 급기온도센서의 단일고장인 경우와 ST+OD의 중복고장인 경우에 각각의 고장률을 10%, 15%, 20%로 변화하면

Table 8 Residual, residual ratio in the case of single and multi fault

Fault	Fault rate	Heater (kW)	VAVD (%)	ST (°C)	SF (%)	SFR (CMH)	Residual ratio
ST single fault	10%	0.638	-0.30	3.29	-0.05	-4.68	5.75
	15%	0.769	-2.28	5.29	-0.70	-40.34	6.88
	20%	0.851	-1.09	7.03	-0.38	-34.44	8.26
ST+OD multi-fault	10%	0.983	-0.56	3.57	0.19	0.44	3.63
	15%	1.304	-2.74	5.00	-0.15	-51.28	3.83
	20%	2.406	-1.09	7.30	2.37	-39.34	3.30

서 측정한 히터 소비전력과 급기온도의 출력값을 나타낸다. 중복고장이 발생한 경우에는 같은 고장률에 대해서 히터 소비전력이 증가하는 것을 알 수 있다.

패턴이 중복되어 나타날 때 히터 소비전력과 급기온도의 비율은 급기온도센서의 단일고장인 경우에는 5.75~8.26의 값을 가지며, ST+OD의 중복고장인 경우에는 3.30~3.63의 값을 나타내므로 고장비율에 의한 구분이 가능하다. 예를 들어, 10%의 고장에 대한 잔차비율을 보면 단일고장인 경우 히터 소비전력의 잔차는 0.638 kW이며 급기온도의 잔차는 3.29°C이다. ST+OD의 중복고장인 경우 히터 소비전력은 0.983 kW이며 급기온도의 잔차는 3.57°C이다.

단일고장과 중복고장의 경우 히터 소비전력과 급기온도의 잔차비율을 계산하면 식(6)과 같이 표현된다. 단일고장과 중복고장의 경우 잔차의 비율은 각각 5.75와 3.63이 된다. 따라서 단일고장과 중복고장에 대한 구분이 가능하다. 중복고장의 패턴과 단일고장의 패턴이 같은 경우 중복고장을 판단할 수 있는 있는 방법은 식(7)에서 계산된 잔차의 비율을 특정한 값과 비교하는 것이다.

$$RR|_{ST\ fault} = \frac{R_{ST}}{R_{POWER}} \Big|_{ST\ fault} = \frac{3.29}{0.638} = 5.75$$

$$RR|_{ST+OD\ fault} = \frac{R_{ST}}{R_{POWER}} \Big|_{ST+OD\ fault} \quad (6)$$

$$= \frac{3.57}{0.983} = 3.63$$

이와 같이 고장의 발생시 고장률에 따라 다소 차이를 보이지만 중복고장과 단일고장의 패턴을 잔차비율을 사용해 구분할 수 있다. 고장패턴이 동일한 경우 히터소비전력과 급기온도의 잔차비율인 RR_{ST} 가 5.0보다 큰 경우에 단일고장으로 판단할 수 있으며 RR_{ST+OD} 가 5.0보다 작은 경우에 중복고장으로 판단할 수 있다.

$$RR|_{ST\ fault} = \frac{R_{IT}}{R_{POWER}} \Big|_{ST\ fault} > 5.0$$

$$RR|_{ST+OD\ fault} = \frac{R_{IT}}{R_{POWER}} \Big|_{ST+OD\ fault} < 5.0 \quad (7)$$

시스템 운전 중에 잔차비율을 이용하여 고장을

진단하는 방법은 단일고장이나 중복고장에서 나타날 수 있는 동일한 고장패턴을 구분할 수 있는 기준으로 작용한다.

6. 결 론

본 연구는 HVAC 시스템을 이루는 각 요소에서 발생할 수 있는 단일고장 및 중복고장을 검출하기 위한 모델기반의 패턴진단방법을 제시하였다. 이를 위하여 실내기후 실험동에서 시스템의 주요 요소인 외기덤펌, 급기온도센서, 유량센서, 급기팬의 신호에 대한 단일고장 실험을 수행하였으며 급기온도센서와 외기덤펌, 급기온도센서와 급기유량, 급기온도센서와 급기팬의 중복고장에 대한 실험을 수행하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) VAV 방식의 HVAC 시스템에서 각 요소의 10% 고장시 잔차를 이용한 모델기반방식의 고장검출 및 진단실험을 수행하여 각 요소의 단일고장 및 중복고장 모사에서 나타나는 고장을 유형화하였다. 유형별 3가지 패턴은 중복고장과 단일고장의 패턴이 동일한 경우, 중복고장이 단일고장의 패턴이 중첩된 경우, 단일고장과 중복고장의 패턴상 연관성이 없는 경우이다.

(2) 동일한 패턴으로 표현되는 급기온도센서를 포함한 단일고장과 중복고장의 경우에는 시스템에서 소요되는 히터 소비전력과 측정된 급기온도간의 잔차의 비율을 계산하여 시스템의 특성치보다 큰 경우에는 단일고장으로 진단하고 작은 경우에는 중복고장으로 진단한다.

후 기

본 연구는 NRL의 재정적 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Liu, S. T. and Kelly, G. E., 1989, Rule-based diagnostic method for HVAC fault detection, Proceeding of building simulation 89, Vancouver, pp. 319-324.
2. Anderson, D., Grave, L., Reinert, W., Kreider, J. F., Dow, J. and Wubbrna, H., 1998, A

- quasi-real-time expert system for commercial building HVAC diagnosis, ASHRAE Transactions, 95, pp. 954-960.
3. Pape, F.L.F., Mitchell, J.W. and Beckman, W.A., 1991, Optimal control and fault detection in heating, ventilating, and air-conditioning systems, ASHRAE Transactions, Vol. 97, No. 1, pp. 792-745.
 4. Norford, L.K., Rabl, A. and Soadaro, G.V., 1987, Energy management systems as diagnostic tools for building managers and energy auditor, ASHRAE Transactions, Vol. 93, No. 2, pp. 2360-2375.
 5. Chen, B. and Braun, J.E., 2000, Simple fault packaged air conditioners, Proceedings of the Purdue University, West Lafayette, USA, July 25-28, pp. 321-328.
 6. Katipamula, S., Pratt, R.G., Shassin, D.P., Taylor, Z.T., Gwwiri, K. and Brambley, M. R., 1999, Automated fault detection and diagnosis for outdoor-air ventilation systems and economizer, ASHRAE methodology and results from field Transactions, Vol. 105, pp. 555-567.
 7. House, J.M., Lee, W.Y. and Shin, D.R., 1999, Classification techniques for fault detection and diagnosis of an air-handling unit, ASHRAE Transactions, Vol. 105, pp. 1087-1097.
 8. Lee, W.Y., House, J.M., Park, C. and Kelly J.E., 1996, Fault diagnosis of an air-handling system unit using artificial neural network, ASHRAE Transaction, Vol. 102, pp. 540-549.
 9. Lin, C.T. and Lee, C.S.G., 1996, Neural Fuzzy Systems, Prentice-Hall International, Inc., p. 236.