

# 가변속 증기압축 냉동시스템에서 고장시의 성능변화와 고장 감지 및 진단에 관한 연구

김민성, 김민수\*  
서울대학교 기계항공공학부

## Studies on the Performance Variation of a Variable Speed Vapor Compression System under Fault and Its Detection and Diagnosis

Minsung Kim, Min Soo Kim\*

School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

(Received August 19, 2004; revision received October 28, 2004)

**ABSTRACT:** An experimental study has been performed to develop a scheme for fault detection and diagnosis(FDD) in a vapor compression refrigeration system. This study is to analyze fault effect on the system performance and to find efficient diagnosis rules for easy determination of abnormal system operation. The refrigeration system was operated with a variable speed compressor to modulate cooling capacity. The FDD system was designed to consider transient load conditions. Four major faults were considered, and each fault was detected over wide operating load range by separating the system response to the load change. Rule-based method was used to diagnose and classify the system faults. From the experimental results, COP degradation due to the faults in a variable speed system is severer than that in a constant speed system. The method developed in this study can be used in the fault detection of refrigeration systems with a variable speed compressor.

**Key words:** Fault detection and diagnosis(고장감지 및 진단), Variable speed system(가변속 시스템), Rule-based method(규칙기반법)

### 1. 서론

공조시스템의 이용범위가 넓어지고 복잡해짐에 따라 공조설비와 관련된 전체 시스템을 운용하기 위한 새로운 기술이 필요하게 되었다. 많은 최근의 연구들이 이를 위한 적절한 건물관리법의 개발을 목적으로 진행되었는데, 공조설비에 대한 고장감지 및 진단(FDD)도 한 부분으로 진행되고

있다. 시스템 요소에서 고장이 발생한다면 전체 시스템이 정상적인 기능을 발휘하지 못하며, 감지되지 못한 고장이나 장기간 방치된 고장은 심할 경우 전체 시스템을 교체해야 하거나 수리에 상당한 비용이 소요될 수도 있다.

고장감지 및 진단시스템은 안전성 향상과 비용 절감의 두 가지 측면 목적에 의해 연구가 진행되어 왔다.<sup>(1)</sup> 항공기나 원자력 발전소와 같이 극단적인 안전성이 도모되어야 하는 시스템에서는 시스템의 개발과 동시에 고장진단 시스템이 개발되었다. 초기 연구개발에 소요되던 비용 중 많은 부분을 고장진단을 위한 고가의 계측장비와 이에

---

Corresponding author  
Tel.: +82-2-880-8362; fax: +82-2-883-0179  
E-mail address: [mskim@snu.ac.kr](mailto:mskim@snu.ac.kr)

대한 연구에 투입하였다. 반면에 생산공정이나 화학공정에 있어서는 시스템 고장으로 발생하는 생산성저하나 비용증가의 방지를 목적으로 고장진단 시스템을 도입하였다. 고장진단 시스템과 생산성 향상의 양면을 동시에 고려하여 가장 경제적인 시스템을 구축하였다. 최근에는 이 같은 마이크로프로세서나 센서 등의 가격하락으로 인하여 이 외의 많은 영역에서 고장진단에 대한 연구가 진행되었으며, 공조설비에 대한 적용도 아울러 진행되고 있다.

공조설비에 대한 고장진단은 90년대부터 꾸준히 진행되어 왔는데, 초기에는 환기설비(air handling unit) 등에서 많이 진행되었다. 증기압축시스템에 대한 연구는 이보다 늦게 시작되었는데, Grimmeliuss et al. 은 대형선박이나 냉동플랜트 등을 위한 온라인 고장진단 시스템을 개발하였는데 다양한 증상행렬(symptom matrix)을 도입하여 고장진단에 이용하였다.<sup>(2)</sup> Stylianou and Nikanpour는 왕복동식 냉동기(chiller)에 대한 고장진단 시스템을 제시하였다. 정지, 기동, 정상상태 조건에 대한 각각의 모듈을 제시하였으며 진단에 있어서는 규칙기반법(rule-based method)을 이용하였다. Stylianou는 연속된 연구에서 개별적인 고장에 대한 예측모델을 제시하고 통계적 해석을 시도하였다<sup>(4)</sup>. Rossy and Braun은 베이저안 패턴인식(Baysian pattern recognition)을 이용하여 고장을 감지하고 규칙기반표와 독립시행가정을 통하여 고장을 진단하였다.<sup>(5)</sup> Castro and Remington은 냉동기(chiller)의 고장파악을 위해 최근접계산법(nearest neighbour method)를 사용하였다.<sup>(6)</sup>

많은 연구에서 시스템을 모니터링 하기 위한 감지센서로 온도센서를 주로 사용하였는데, 가격적 유리함을 장점으로 부각시켰다. 각각의 고장상태를 실험장치에 인가한 후 시스템 운전시 센서의 변화특성을 모니터링하고 고장을 감지, 진단하였다. 아울러 정속시스템이나 고정팽창변에 적용된 연구가 대부분을 차지하고 있어 가변속 시스템과 이에 맞는 팽창변을 구비한 시스템에 대한 연구가 부족하다. 본 연구에서는 부하변화에 대응할 수 있는 가변속 압축기와 전자팽창변이 설치된 증기압축 시스템의 고장특성을 관찰하였다. 실험실 규모의 시스템에 의한 고장 실험을 수행하였으며 고장 검출 및 진단 규칙을 도출하

기 위해 성능변화와 시스템 상태 변화를 분석하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 가변속 증기압축 냉동시스템의 구성

본 실험에서 사용한 가변속 증기압축 냉동시스템의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험 장치에 사용된 압축기는 R22용 공칭 1마력 개방형 왕복동식 압축기로 정격 5마력 3상모터로 구동된다. 용량제어를 위해 PC와 DA(Digital/Analog) 변환기를 이용하여 제어신호를 인버터에 인가하여 가변속 모터의 회전수를 제어하였다. 모터동력측정에는 토크미터를 사용하였고, 토크와 회전속도를 이용하여 압축일을 계산하였다.

응축기와 증발기는 모두 2중관 대향류 열교환기로 제작하였으며, 내관은 외경 9.53 mm, 외관은 외경 15.88 mm의 구리관을 사용하였다. 2차 유체로는 물을 사용하였다. 팽창장치로는 유량과 압력의 제어가 용이한 미터링 밸브를 사용하였다. 컴퓨터에 의한 정밀제어를 수행하기 위해 스텝핑 모터(steping motor)를 사용하였으며 별도의 구동회로가 연계되어 있다.

### 2.2 고장 실험부 구성

본 연구에서 모사하고자 한 증기압축 냉동시스템의 고장은 압축기 성능저하, 응축기 성능저하, 증발기 성능저하, 냉매누설의 4가지이다. 기준이 될 냉매충전량 및 냉매유량을 정하기 위하여 Table 1의 값을 기준조건(reference condition)으로 이용하였다.

#### 2.2.1 압축기 고장

압축기 고장의 원인으로는 흡배기 밸브의 이상, 모터효율저하, 피스톤이나 실린더블록의 마모등이 있다. 압축기 고장은 압축기 출구와 입구를 연결하는 바이패스를 만들고 미터링 밸브를 설치하여 바이패스 유량을 조절함으로써 구현하였다. 고장수준은 기준조건에 대한 냉매유량을 기준으로 한 유량감소비로 정하였으며, 해당하는 밸브의 개도를 다른 운전조건에서도 동일한 고장수준

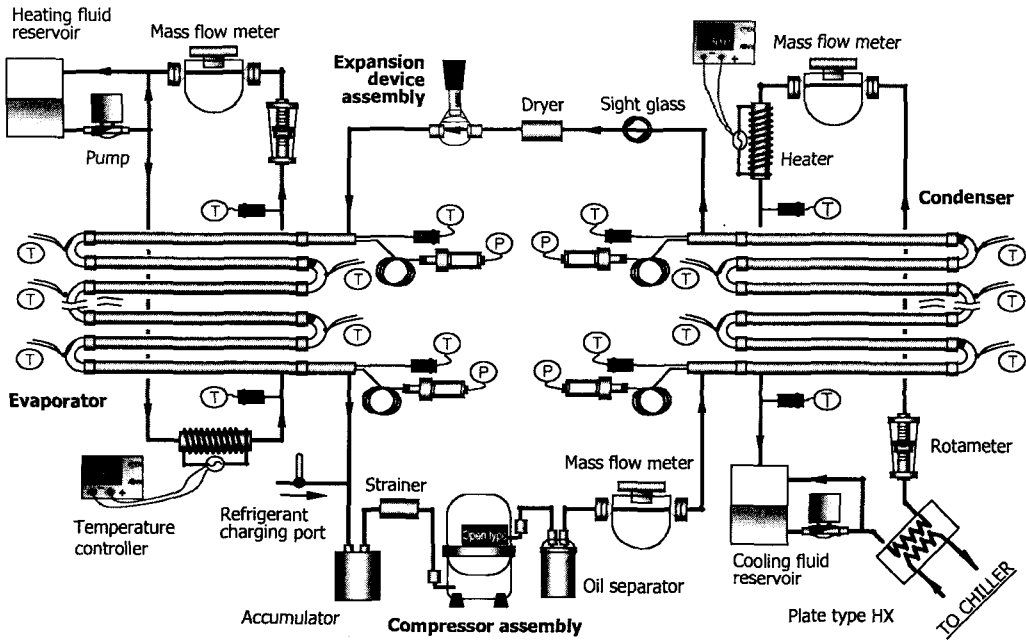


Fig. 1 Experimental setup for fault test of a variable speed system.

으로 적용하였다.

### 2.1.2 냉매 누설 및 과충전

냉매 누설 및 과충전 실험은 압축기의 기준 조건에서 과열도와 과냉도를 만족하는 냉매충전량을 최적충전량으로 설정하고 R22 냉매를 추가하거나 감소시키는 방법으로 구현하였다. 최적충전량을 기준으로 한 증감질량비를 고장수준으로 정하였다.

### 2.1.3 열교환기 고장

열교환기의 성능저하는 응축기와 증발기 공히 동일한 방법으로 구현하였다. 열교환기의 성능을 나타내는 지표로서 총괄열전달계수와 열교환면적의 곱(UA)이 이용되는데, 2차유체의 열교환 면적을 감소시키거나, 2차유체 유량을 감소시킴으로써 UA값의 감소를 모사할 수 있다. 그러나 본 연구에서와 같은 수열원 대향류 열교환기를 사용한 경우 2차유체 측의 열전달 계수가 냉매측보다 커서 유량감소만으로는 총괄열전달계수 U값이 크게 변하지 않는다. 따라서 본 실험에서는 충분

한 열교환기 성능변화를 확보하기 위하여 전열면적 A값을 변화시켜서 열교환기의 성능변화를 도모하였다. 대향류 열교환기의 각 부분에 2차유체의 입출구를 변화시킬 수 있도록 바이패스 밸브를 설치하여 유로를 변화시켰다. 각각의 고장수

Table 1 Reference experimental condition

Parameters	Values
Inlet temperature of secondary fluid of condenser, °C	35.0
Mass flow rate of secondary fluid of condenser, g/s	100
Inlet temperature of secondary fluid of evaporator, °C	6.7
Outlet temperature of secondary fluid of evaporator, °C	6.7
Mass flow rate of secondary fluid of evaporator, g/s	75
Degree of superheat at evaporator outlet, °C	5.0
Degree of subcooling at condenser outlet, °C	5.0
Rotational speed of a compressor, rpm	1185
Charge value of R22, kg	0.84

Table 2 Experimental condition

Parameters	Values
Inlet temperature of secondary fluid of condenser, °C	35.0
Mass flow rate of secondary fluid of condenser, g/s	100
Inlet temperature of secondary fluid of evaporator, °C	26.7
Outlet temperature of secondary fluid of evaporator, °C	16.7
Mass flow rate of secondary fluid of evaporator, g/s	60/75/90/105
Degree of superheat at evaporator outlet, °C	5.0
Rotational speed of a compressor, rpm	600~1600

준은 전체전열면적에 대한 전열면적 감소비로 설정하였다.

### 2.3 실험조건

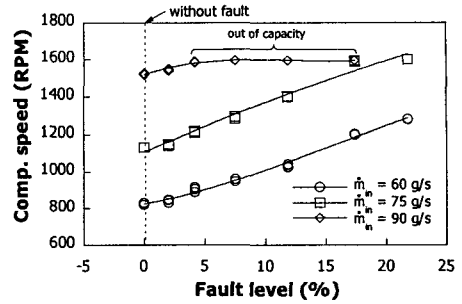
고장특성은 외기조건이나 부하조건에 따라 다르게 나타난다. 따라서 고장과 정상조건을 비교하기 위한 적절한 기준을 설정할 필요가 있다. 각각의 고장실험을 하기 위한 실험조건을 Table 2에 제시하였다. 압축기는 증발기 2차유체 출구온도를 설정값으로 유지시키도록 제어하였으며, 팽창밸브는 증발기 출구 과열도를 유지하도록 제어하였다. PID제어를 사용하였고 제어계수 Ziegler-Nichols 2차 튜닝 방법으로 구하였다.

증발기 2차유체 유량은 60, 75, 90 g/s로 변화시켰는데 현재 설치된 시스템에서 필요한 부하로 설정하였다.

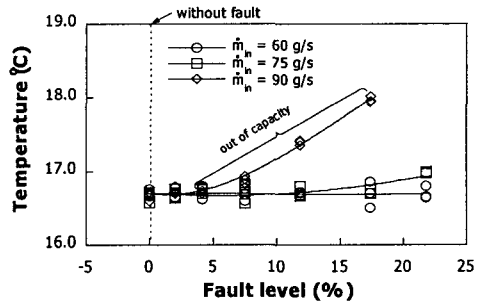
## 3. 고장실험 결과

### 3.1 압축기 고장

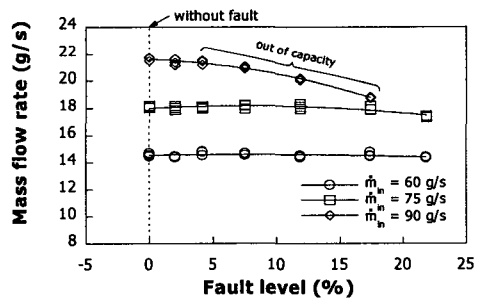
Fig 2(a)는 압축기 고장운전시 증발기 2차유체 유량 변화에 따른 압축기 회전수 변화를 나타낸다. 본 연구에서는 가변속 압축기의 최대제한속도를 1600 rpm으로 하였으며, 가변속 운전시의 최대제한 속도를 정속운전 시의 압축기 회전수로 간주하고 운전 특성을 고찰하였다. 각 그래프에서 'out of capacity'로 표시된 부분은 부하변동을



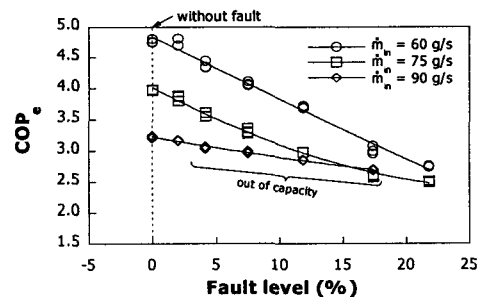
(a) Compressor speed



(b) Indoor water outlet temperature



(c) Mass flow rate of refrigerant



(d) COP

Fig. 2 Effect of compressor fault.

시스템이 따라가지 못하여 최대제한속도로 운전되는 경우를 나타낸다. 그래프에서 나타나듯이 압축기 회전속도는 고장수준의 증가에 따라 커지게 된다. 아울러 부하의 증가에 따라 압축기 회전속도가 증가하는 것도 알 수 있다. Fig. 2(b)는 2차유체 출구온도 변화를 나타낸다. 고부하조건을 제외하면 출구온도가 적절한 범위 내에서 잘 유지되는 것을 알 수 있다. 고부하조건에서 압축기 회전속도가 더 증가하지 못하여 증발기 출구온도가 상승하는 것을 알 수 있다.

Fig. 2(c)에서 냉매질량유량은 고장 수준에 관계없이 일정한 유량을 나타내는 것을 확인할 수 있는데, 이는 압축기 고장시의 각각의 다른 측정 부에서도 유사한 경향을 나타낸다. 압축기에서 발생하는 손실을 제거기에 의해 회전수를 증가시켜 보전하기 때문에 증발용량은 일정하게 유지된다.

성능계수(COP) 변화를 나타낸 Fig. 2(d)에서 알 수 있는 바와 같이 고장수준의 증가 및 부하 증가에 따라 전체적인 성능감소가 나타난다. 이때 부하가 설계범위를 벗어난 경우에 설계범위 내의 가변속 운전시보다 성능감소가 더 완만한 것을 확인할 수 있다. 이는 시스템 운전 상태가 저속에서 고속으로 변화하는 경우 더 많은 압축일을 필요로 하기 때문에 상대적으로 많은 성능감소를 유발하기 때문이다.

3.2 냉매 누설 및 과충전

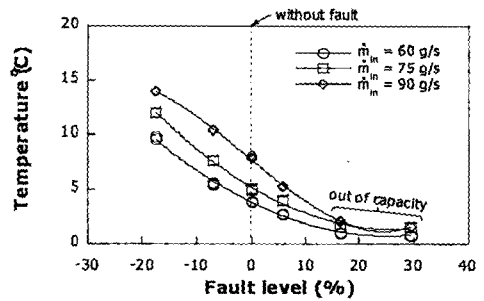
Fig. 3은 냉매누설 고장에 따른 성능변화를 나타낸다. 그래프의 세로 점선은 기준운전조건에 적합한 충전량을 나타낸다. 고장수준이 양수인 경우는 시스템으로부터의 냉매누설을 의미하며, 고장수준이 음수인 경우는 과충전을 나타낸다. 보통 대형 시스템에서는 감지되지 못한 냉매누설에 대비하여 액체선에 충분한 용량의 수액기(receiver)를 두어 과충전을 하는 것이 보통이다. 따라서 이와 같은 경우에 과충전을 고장으로 간주하기는 힘들지만 수액기가 없는 시스템의 경우에 과충전은 성능저하의 원인이 될 수도 있다.

냉매누설량이 증가할수록 액체선의 과냉도는 점차적으로 감소하여 포화상태가 되는 것이 Fig. 3(a)에 나타나 있다. 시스템의 부하가 증가하면(2차유체 유량이 증가하면) 과냉도가 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 부하가 증가할 경우 압축

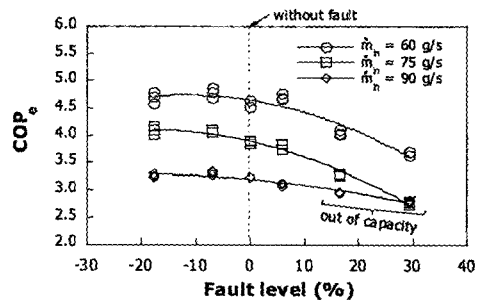
기 회전수가 증가하여 시스템의 압력비가 높아지고, 이에 따라 응축기의 압력도 높아져 과냉도가 증가한다. Fig. 3(b)에서 누설에 따라 COP는 감소하는데, 누설량이 적을 경우 성능감소의 폭도 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 누설량이 증가하면 이에 비례하여 성능저하의 폭도 훨씬 커지게 된다.

3.3 응축기 고장

Fig. 4는 고장수준의 증가에 따른 응축기 상태와 시스템 성능변화를 나타낸다. 고장수준이 올라감에 따라 열교환기 용량이 감소하여 이를 압축기에서 보상하기 위해 회전수가 증가되는 것을 알 수 있다. 증발용량이 압축기에 의해 조절되므로, 응축기에서의 소요 열전달량은 압축일의 증가에 따라 상승하게 된다. 즉, 고장으로 전열면적이 감소된 상태에서 응축 열전달량을 증가시키기 위해서는 유체간의 평균온도차가 증가되어야 한다. Fig. 4(a)에서의 응축압력의 증가는 이러한



(a) Degree of liquid line subcooling



(b) COP

Fig. 3 Effect of refrigerant leakage.

향을 반영하며, 이는 탈설계 운전조건에서도 일하게 적용됨을 알 수 있다.

Fig. 4(b)에서는 고장수준이 증가하면서 성능계수가 감소하는 경향을 보이는데, 압축기가 최대 속도로 운전되는 조건에서의 성능감소는 상대적으로 크지 않은 것을 알 수 있다. 또한 저부하운전일 경우 낮은 고장수준에서 성능감소는 크지 않음을 알 수 있는데, 이것은 부하가 클수록 열교환량이 커지므로 열교환기의 성능감소에 의한 영향이 뚜렷해지는 것을 의미한다.

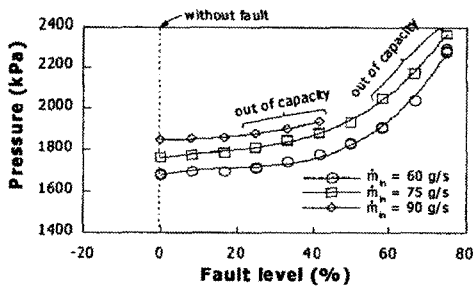
### 3.4 증발기 고장

Fig. 5(a)는 증발기 고장시의 증발압력 변화를 나타내는데, 제어기의 보상효과에 의해 고장수준의 증가에 따라 압축기 회전수가 증가하게 된다. 그러나 다른 고장에서와는 달리 부하에 따른 압력변화는 거의 없음을 알 수 있다. 이것은 2차유체 입출구가 부하에 관계없이 일정하기 때문에 냉매유량 증가가 곧 용량증가를 의미하기 때문이

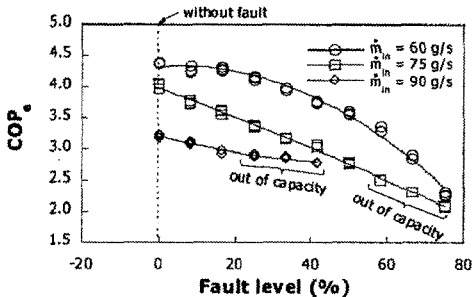
다. Fig. 5(b)는 증발기의 고장수준 증가에 따른 COP의 감소를 나타낸다. 증발기 고장에 따른 실험장치가 응축기와 동일한 크기로 고안되었지만, 성능감소는 응축기 고장에서와 같이 급격하지 않음을 알 수 있다. 실제로 증발기에서의 평균열전달계수가 응축기보다 크지만, 전달열량이 응축기에서 보다 적기 때문에 많은 실제 시스템에서는 증발기를 응축기보다 작게 설계하는 것이 보통이다. 본 연구에서 응축기와 증발기는 동일한 크기이므로 고장수준 증가에 따른 성능저하가 적게 나타난다.

### 3.5 고장에 의한 성능감소

Fig. 6에서는 정상운전시의 성능계수를 기준으로 각 고장에 대한 성능계수 변화율을 비교하여 나타내었다. 부하변동이나 고장수준, 고장종류에 따라 성능저하 특성이 상당한 차이를 나타낸다. 압축기의 고속운전시에 증발용량의 증가율보다 압축일의 증가가 큼을 알 수 있으며, 또한 고장이

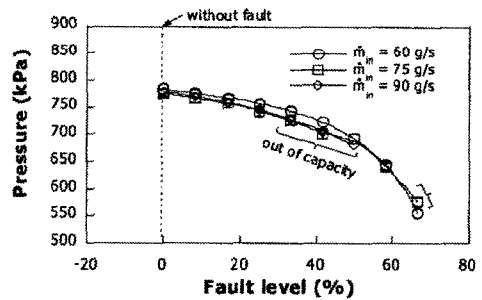


(a) Condenser inlet pressure

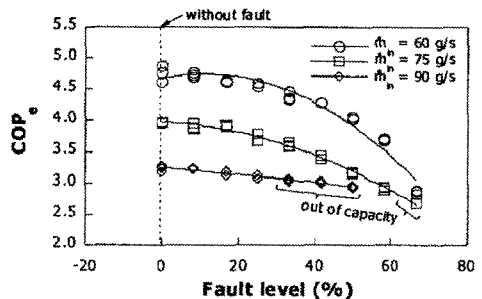


(b) COP

Fig. 4 Effect of condenser fouling.



(a) Evaporator outlet pressure



(b) COP

Fig. 5 Effect of evaporator fault.

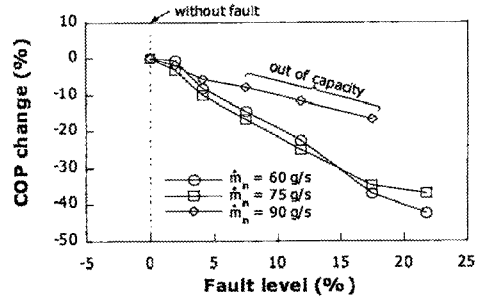
발생할 경우 가변속 운전시의 성능저하가 고정속에서의 성능저하보다 훨씬 큰 것도 알 수 있다.

Fig. 6(a)의 압축기 고장에서는 압축기 밸브에서의 누설만 존재하고 시스템의 다른 구성요소는 모두 정상적인 조건에서 작동되므로 성능감소율은 부하에 따라 거의 동일함을 알 수 있다. 그러나 Fig. 6(b)-(d)에서의 냉매누설이나 열교환기 고장에서는 부하가 증가함에 따라 성능감소의 경향이 크게 나타나며, 저부하일 때 상대적으로 성능감소가 작은 것을 알 수 있다. 부하에 의해 성능감소율이 달라지는 것을 알 수 있는데, 이것은 시스템이 보다 큰 부하를 기준으로 설계되었기 때문이며, 응축기보다 증발기가 더 크게 설계되었기 때문에 응축기의 성능감소가 더 뚜렷한 이유와 동일하다. 이러한 현상은 각 열교환기나 구성요소들의 성능변화에 의해 달라질 수 있는 공통적인 현상으로 간주할 수 있다.

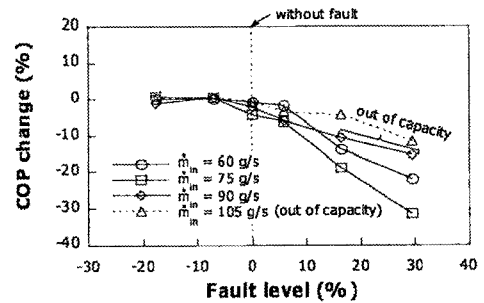
#### 4. 가변속 증기압축시스템에서의 고장감지 및 진단

현재의 운전상태를 고장으로 판단하기 위한 가장 바람직한 변수로는 성능계수를 들 수 있다. 그러나 성능계수 실제값을 측정하기 위해서는 압축일 등과 같은 변수의 측정이 필요하므로 경제적이 못하다. 따라서 압축일을 측정하는 대신에 인버터의 주파수를 측정하고 비교하여 고장기준으로 삼도록 하였다. 본 연구에서는 부하를 제어하는 가변속 운전과 고부하시에 제한속도에서 운전되는 고정속 운전을 모두 고려하였으며, 이를 구분하여 고장진단 시스템을 구성하는 것이 필요하다.

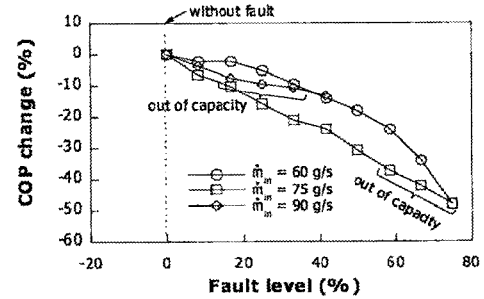
Fig. 7은 고장감지 시스템의 흐름도를 나타내었다. 열펌프 시스템의 고장 여부를 기준상태에 예측모델로부터 파악하여 잔차를 기준으로 고장을 판단하는 것은 다른 고장감지 연구에서와 거의 동일하다. 그러나, 가변속이나 고정속이냐에 따라 각 파라미터의 특성이 달라지므로, 압축기 회전수가 제한속도에 도달하였는지 여부로 운전 모드에 대한 구분을 하였다. 또한 증발기 출구온도는 증발기 부하가 운전조건 이내에 있을 때 일정한 값으로 유지되는 반면에 부하가 적정수준을 넘어서면 증발기 출구온도가 목표치를 벗어나게 된다. 즉 압축기 회전수와 함께 증발기 출구온도를



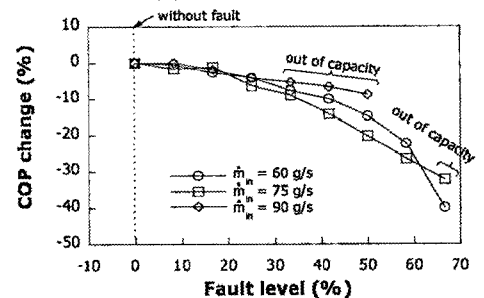
(a) Compressor fault



(b) Refrigerant leakage



(c) Condenser fault



(d) Evaporator fault

Fig. 6 The comparison of COP reduction ratio with respect to applicable faults

Table 3 Changes in parameters of a heat pump system with a upper limit constant speed drive

Fault type		$T_{evap}$	$T_{cond}$	$T_{sc}$	$T_{comp,o}$	$\Delta T_{cw}$	$\Delta T_{ew}$	N
Compressor fault		↑	↓	↓	↑	↓	↓	-
Refrigerant leakage	< 15%	-	-	↓	-	↓	↓	-
	> 15%	↓	↓	-*	-	↓	↓	-
Condenser fault		↓	↑	-	↑	↓	↓	-
Evaporator fault		↓	↓	↑	-	↓	↓	-

\* The exit of liquid line reached saturated liquid state.

Table 4 Changes in parameters of a heat pump system with a variable speed drive

Fault type		$T_{evap}$	$T_{cond}$	$T_{sc}$	$T_{comp,o}$	$\Delta T_{cw}$	$\Delta T_{ew}$	N
Compressor fault		-	-	-	↑	-	-	↑
Refrigerant leakage	< 15%	-	-	↓	↑	-	-	↑
	> 15%	Not applicable*						
Condenser fault		-	↑	↓	↑	-	-	↑
Evaporator fault		↓	-	↑	↑	-	-	↑

\* Compressor speed is limited at 1600 rpm when over 15% mass of charged refrigerant is leaked.

가변속, 고정속의 운전조건을 결정할 수 있는 중복변수(redundancy)로 이용할 수 있다. 현재상태가 파악된 이후에는 고장감지를 위한 변수를 수정하는데, 가변속 운전에서는 압축기 회전수를, 고정속 운전시에는 증발온도를 기준으로 고장을 판단하는 것이 바람직할 것이다. 고장이 판단된 이후에는 평가모듈(evaluation module)을 통하여 향후에 이루어져야 할 조치에 대하여 결정한다.

Table 3은 고정속 운전시의 규칙기반표(rule-based chart)이며, Table 4는 가변속 운전시의 규칙기반표이다. 각각 고장감지가 이루어지고 난 이후에 고정속 혹은 가변속 운전조건에서 진단에 사용될 수 있다. 모든 고장실험에서 고장의 정도가 심한 경우에는 압축기 회전수로는 용량을 맞출 수 없게 되어 한계속도에 도달하게 되면 정속 조건을 따라가게 된다. Table 3과 Table 4의 비교에서 고정속 운전조건에서는 각각의 변수의 상승과 하강이 뚜렷한 반면에 가변속 조건에서는 변수들의 증감이 뚜렷하지 않음을 알 수 있다. 이것은 고장이 있더라도 회전수와 팽창밸브 개도를 스스로 제어하여 시스템의 각 파라미터들을 정상값으로 유지하려는 보상효과 때문으로, 이에 따라 가변속 시스템의 고장 감지와 진단이 정속도 시스템에 비해 상대적으로 어려워 질 수 있다. 그러나 Table 4에서 알 수 있는 바와 4개의 주요 고장에 대해 서로 다른 패턴을 나타내고 있으며 이 패턴을 이용하여 규칙기반 방법이나 패턴 분류법등을 적용하여 고장을 효과적으로 분류할 수 있다.<sup>(4-6)</sup>

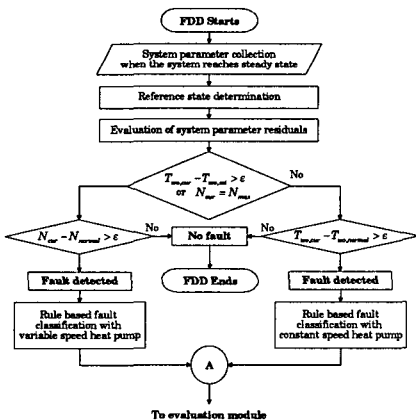


Fig. 7 Flow chart of FDD system.



## 5. 결 론

최근에 가변속 증기 압축 시스템이 성능향상과 용량조절을 목적으로 많이 응용되고 있어, 이들 시스템에 대한 신뢰성과 안정성 향상을 위해 고장감지 및 진단 시스템의 필요성이 증대되고 있다.

본 연구에서는 가변속 증기압축 냉동시스템에 대한 실험적인 연구를 수행하여 실시간 고장감지 및 진단 규칙을 구성하였다. 실험실 규모의 장치를 이용하여 고장특성을 파악하였으며, 부하에 의한 성능변화와 고장에 의한 성능변화를 구분하기 위해 특성을 비교하였다.

고장 특성 분석을 통해 고장으로 인한 성능감소는 가변속 운전조건이 고정속 운전조건에서보다 훨씬 큰 것을 확인할 수 있어 가변속 시스템의 고장 검출과 진단의 중요성을 확인할 수 있었다. 또한 가변속 운전 조건에서 고정속 운전조건보다 파라미터의 변화가 적게 나타나고 있으며 가변속 제어 등 제어모듈이 추가될수록 고장진단이 용이하지 않음을 확인할 수 있었다. 이에 따라 본 연구에서는 정속운전모드와 구별되는 가변속 시스템에 대한 별도의 고장 진단 규칙을 도출하였다.

실시간 고장진단을 위하여 우선 현재의 압축기 운전 모드를 판단하고 이에 따라 적절한 고장감지 및 진단모듈을 채택하도록 하였다. 판단기준으로는 증발기 2차유체 출구온도나 압축기 회전수를 사용할 수 있으며, 운전 모드 판단 후 본 연구를 통해 도출된 별도의 규칙기반표에 의해 고장을 진단할 수 있다. 고장 검출을 위해서는 COP 변화가 효과적으로 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

기기의 성능향상을 목적으로 다양한 제어장치를 부착하는 시도가 이루어짐에 따라 기존의 방법만으로는 적절한 고장진단이 어려우며 실제 적용되는 시스템의 사례와 특성을 이용하여 적절한 고장진단 방법을 개발하는 것이 바람직하며 이의 적용을 위한 새로운 기술개발이 필요하다. 향후

과제로는 고장의 감지를 위해 필요한 기준조건을 구하기 위한 적절한 모델식의 연구와 고장 종류 확대 그리고 각 센서의 민감도(sensitivity)를 고려한 실제적인 진단 기법에 대한 추가 연구가 수행될 필요가 있다.

## 후 기

본 연구는 마이크로열시스템 연구센터의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사하는 바이다.

## 참고문헌

1. Braun, J. E., 1999, Automated fault detections and diagnostics for vapor compression cooling equipment, *Diagnostics for Commercial Buildings: from Research to Practice Proceedings*, June 16-17, San Francisco.
2. Grimmeliuss, H. T., Woud, J., K., and Been, G., 1995, On-line failure diagnosis for compression refrigeration plants, *Int. J. of Refrigeration*, Vol. 18, No. 1, pp. 31-41.
3. Stylianou, M. and Nikanpour, D., 1996, Performance monitoring, fault detection, and diagnosis of reciprocating chillers, *ASHRAE Trans.*, Vol. 102, Pt. 1, pp. 615-627.
4. Stylianou, M., 1997, Application of classification functions to chiller fault detection and diagnosis, *ASHRAE Trans.*, Vol. 103, Pt. 1, pp. 645-656.
5. Rossi, T. M. and Braun, J. E., 1997, A statistical, rule-based fault detection and diagnostic method for vapor compression air conditioners, *HVAC&R Research*, Vol. 3, No. 1, pp. 19-37.
6. Castro, N. S. and Remington, G., 2002, Performance evaluation of a reciprocating chiller using experimental data and model predictions for fault detection and diagnosis, *ASHRAE Trans.*, Vol. 108 Pt. 1, pp. 889-903.