

## 상업용 냉장고의 상황 감지를 위한 인버터형 실외기 신호 분석

### Signal Analysis of Inverter-Type Outdoor Unit for Detecting Operation Changes of Commercial Refrigerator

임효준<sup>1</sup>, 이주경<sup>1</sup>, 황준현<sup>2</sup>, 이경창<sup>3</sup>, 이석<sup>1,✉</sup>  
Hyo Joon Lim<sup>1</sup>, Ju Kyoung Lee<sup>1</sup>, Jun Hyeon Hwang<sup>2</sup>, Kyung Chang Lee<sup>3</sup>, and Suk Lee<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup> 부산대학교 기계공학부 (Department of Mechanical Engineering, Pusan National University)

<sup>2</sup> LG 전자 시스템에어컨연구소 (SAC R&D Laboratory, LG Electronics)

<sup>3</sup> 부경대학교 제어계측공학과 (Department Control and Instrumentation Engineering, Pukyong University)

✉ Corresponding author: [slee@pnu.edu](mailto:slee@pnu.edu), Tel: +82-51-510-2320

Manuscript received: 2015.11.9. / Revised: 2016.1.12. / Accepted: 2016.1.20.

*Unlike household refrigerators, commercial refrigerators are composed of separate indoor and outdoor units. The outdoor unit of most commercial refrigerators is designed to run at a fixed speed, which results in low energy efficiency and loud fan noise. Moreover, it cannot respond flexibly to changing thermal load in the indoor unit. Inverter type outdoor units can address such problems through speed changes based on information obtained from the indoor unit. However, using two units from different manufacturers is often not a viable solution. If condition changes in the indoor unit can be detected without communication between the two units, it is possible to adjust the speed of the outdoor unit. This paper attempts to analyze the signal from the outdoor unit when the condition of the indoor unit changes by varying the thermal load.*

KEYWORDS: Outdoor-Unit (실외기), Inverter-Frequency (인버터 주파수), Compressor (압축기), Multi-Refrigeration system (멀티 냉장 시스템), Signal-Analysis (신호분석)

#### 기호설명

$P_{on}$  = Pressure of on standard  
 $P_{off}$  = Pressure of off standard  
 $R_o$  = Operating ratio  
 $t_{ave}$  = Average operating time  
 $t_{on}$  = Operating time  
 $t_{total}$  = Total time  
 $N$  = Power off count

#### 1. 서론

수퍼마켓이나 편의점에서 사용되는 상업용 냉장고는 가정용 냉장고와 달리 두개의 유닛으로 구성되어있다. 상품을 진열하는 실내기에는 팽창밸브와 증발기가 설치되어 있고 실외기에는 압축기와 응축기가 배치되어 있다. 실내는 식품의 냉장 및 보관 기능을 하며, 실외기는 냉매 순환 및 실내기에서 흡수한 열을 제거하는 역할을 한다.<sup>1</sup> 현재 상업용 냉장고의 실외기 유닛은 대부분 정속

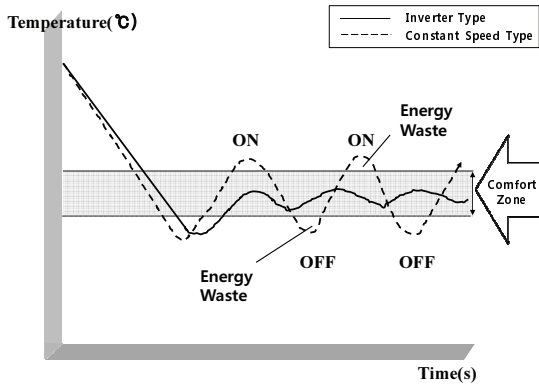


Fig. 1 Out-door unit type comparison

형이다. 정속형 실외기는 일정 속도로 작동하거나 멈추는 방식으로 작동하는데 실내기가 설정온도에 도달할 때까지 압축기와 Fan의 모터가 최고속도로 정속 운전하는 방식이다.<sup>2,3</sup> 이 때문에 초기 기동운전부터 높은 전류를 사용하며, 실내기의 변화하는 열부하에 유연하게 대응하지 못한다는 단점을 가지고 있다. 예를 들어 실내기의 열부하가 감소한 경우에도 실외기가 불필요하게 최대출력으로 운전되고 잦은 단속이 일어난다. 또한 최대출력으로 운전하는 만큼 모터의 소음도 큰 단점으로 작용한다. 이러한 정속형 실외기의 단점을 보완하기 위해 개발된 것이 인버터형 실외기이다. 인버터형 실외기는 운전속도를 조절할 수 있어서 기존 정속형 실외기와는 다르게 열부하에 따라 적절하게 운전하는 것이 가능하다. 이 때문에 Fig. 1과 같이 On-Off 방식보다 정밀한 제어가 가능해서 온도의 변동을 줄일 수도 있다. 또한 상황에 따라 압축기와 Fan의 속도를 낮추어서 운전을 하면 정속형의 단점인 잦은 단속 운전과 불필요한 최대속도 운전을 피할 수 있어서, 소비전력 절감효과 및 소음 저감 효과를 기대할 수 있다.<sup>4-7</sup> 이러한 장점을 최대한 이용하기 위하여 실내기와 실외기가 통신선을 통하여 실외기가 실내기의 상태에 맞추어 효율적으로 운전할 수 있는 모델이 개발되어 새로운 수요를 창출하고 있다.

하지만 많은 실내기가 전문제작 업체의 제품이기에 때문에 이러한 실내·외기의 통신이 불가능한 경우가 많다. 또한 기존의 실내기는 계속 사용하고 노후화된 실외기를 교체할 때에도 서로 통신이 불가능하기 때문에 실내기의 상태에 따른 효율적 운전이 불가능하다. 이 때문에 인버터형 실외기를

사용해도 에너지 절감이나 정밀한 온도 제어 효과가 기대에 미치지 못하는 경우가 많다. 따라서 실내기와 통신 없이도 실외기를 효율적으로 제어할 수 있는 방안이 필요하다. 이 논문에서는 인버터형 실외기와 실내기의 통신이 불가능한 경우에 실외기의 효율적 제어를 위한 기초연구로서 실내기의 상태변화를 감지하는 방법을 다루고 있다. 실외기의 여러 변수를 관찰하여 실내기가 기존의 정상상태를 벗어나 다른 정상상태로 이동한 것을 감지하는데 적합한 변수를 찾는 것이 이 연구의 목표이다.

본 논문은 서론을 포함하여 총 4절로 구성되어 있다. 2절에서는 실험분석을 위한 실험장치 및 실험방법에 대해 기술한다. 3절에서는 냉장 인버터 실외기의 운전 실험 결과를 제시한다. 마지막 4절에서는 결론과 향후 연구방향을 제안한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 멀티 냉장 시스템

본 논문에서는 상용 실내기 유닛들과 실외기를 실험장치로 사용하였다. 실내기 유닛은 총 3대로 12ft 런치케이스, 3ft 런치케이스, 워크인쿨러로 구성되어 있으며, 실외기는 인버터형 모델을 사용하였다. Fig. 2는 사용된 멀티 냉장 시스템을 나타낸 개략도이다. 한 대의 실외기에 3대의 실내기가 연결되어있으며, 냉매 배관은 연결되어 있지만 통신은 되지 않는 실험장치 연결을 보여주고 있다. 이 냉장 시스템은 첫 기동 시 각 실내기 유닛들이 Solenoid Valve를 열어 냉매가 흐르게 하고, 실외기에서는 압축기 이전에 설치되어 있는 압력센서를 통해 냉매 압력을 측정하게 된다. 측정된 현재 냉매압력 값이 미리 설정된 최대 기준값  $P_{om}$  이상이 될 경우, 압축기 직전의 Valve를 열어 실외기가 가동을 시작하게 된다. 기동 후 초반에는 낮은 속도로 압축기와 Fan을 운전하고, 2초마다 측정되었는 현재 압력 값과 목표로 하는 압력 값을 비교하여 압축기와 Fan 회전속도를 제어하게 된다.<sup>8</sup> 그 후 각 실내기 유닛들이 설정한 온도에 도달하게 되면 Solenoid Valve를 닫음으로서 냉매유량이 감소하게 되고, 실외기에서는 현재 냉매의 압력 값이 미리 설정된 최소 기준 값  $P_{off}$  이하가 될 경우, Valve를 닫아 실외기의 운전을 정지하게 된다. 이와 같이 냉장 시스템은 실외기가 실내기의 설정온도 및 현재온도 정보를 모르기 때문에 오직 냉매의 기준 압력 값을

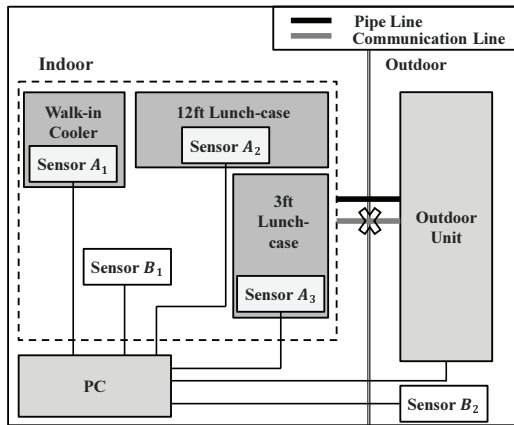


Fig. 2 Multi-refrigeration system



Fig. 3 Sensor for multi-refrigeration system: (a) Refrigerator temperature sensor, (b) Indoor and outdoor temperature and humidity sensor

통해서만 운전을 하고 있다. 그로 인해 인버터의 장점을 최대한 활용하기 어려운 상태이다.<sup>9</sup>

**2.2 데이터 획득 방법 및 실험 방법**

실내기의 상태 변화에 반응하는 실외기 신호를 분석하기 위하여, Fig. 2에서와 같이 실외기의 제어기와 계측용 PC가 연결되어 있고 PC에는 실외기의 제작회사가 개발한 모니터링 소프트웨어가 설치되었다. 또한 3대의 실내기 온도와 실내기가 설치된 건물내부의 온습도, 실외기가 설치된 건물밖의 온습도를 측정하였다. Fig. 2의 각 실내기에 설치한 Sensor A<sub>1</sub>, Sensor A<sub>2</sub>, Sensor A<sub>3</sub>는 Sparkfun사의 온도센서 (Fig. 3(a))를 사용하였으며, 실내·외에 설치한 Sensor B<sub>1</sub>, Sensor B<sub>2</sub>는 ㈜데키스트 사의 온·습도 센서 (Fig. 3(b))를 사용하였다.

실내기의 상태 변화를 일으키는 요인으로는 Table 1에 나열한 상황을 고려하였다. 첫 번째 상황은 3대의 실내기 유닛 중 워크인쿨러 1대의 작동을 정지시켰을 경우, 두 번째 상황은 3대의 실내기 유닛 중 워크인쿨러와 12ft 런치케이스 2대의

Table 1 Experiment scenarios

No.	Contents
1	1 unit off
2	2 unit off
3	Temperature up
4	Temperature down
5	Heat load supplement

Table 2 Ambient temperature & humidity for changing number of units

Exp.	Indoor		Outdoor	
	Temperature [°C]	Humidity [%]	Temperature [°C]	Humidity [%]
1	27.2	74.1	35.8	60.2
2	26.4	59.9	34.9	52.3
3	24.7	71.4	27.9	86.0

작동을 정지시켰을 경우이다. 세 번째 상황은 사용자가 워크인쿨러의 설정온도를 현재 설정온도보다 높게 변경할 경우, 네 번째 상황은 사용자가 워크인쿨러의 설정온도를 현재 설정온도보다 낮게 변경할 경우이다. 마지막으로 워크인쿨러의 내부에 열부하가 발생하였을 경우를 가정하여 진행하였다.

**3. 실험결과와 해석 및 고찰**

**3.1 일부 실내기의 작동 정지**

실험 당시의 높은 실외온도를 고려하여 각 실내기 유닛의 초기 설정온도를 20°C, 온도편차 2°C로 선정하였다. 실내기 유닛을 순차적으로 정지시키는 실험은 다음과 같이 진행되었다. 첫 기동 후 1시간은 3대 모두 운전을 하고 약 1시간 후에 워크인쿨러를 Off하였으며, 실험 시작 2시간 후에 추가로 12ft 런치케이스를 Off하여 실외기 신호 변화를 관찰하였다. 이 실험을 3회 반복하였는데 실험이 진행될 때의 실내·실외 온도와 습도는 Table 2와 같다.

Fig. 4는 Table 2의 첫 번째 실험 환경에서 첫 기동 후 3대 유닛을 약 1시간 가량 운전했을 때, 실외기 인버터의 주파수 값을 나타낸 것이다. 비교적 일정한 패턴을 보이고 있으며, Fig. 5와 같이 각 실내기 유닛의 온도도 일정한 온도 주변에서 2°C이내의 편차를 유지하는 것을 알 수 있다. 워크인쿨러의 경우 실내온도 측정위치가 공기가 토

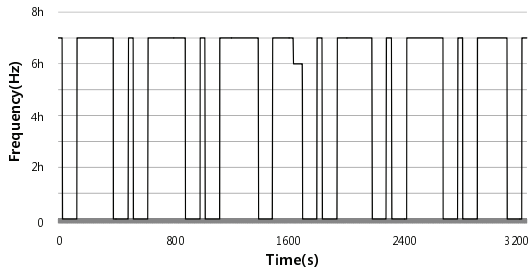


Fig. 4 Inverter frequency with all units running

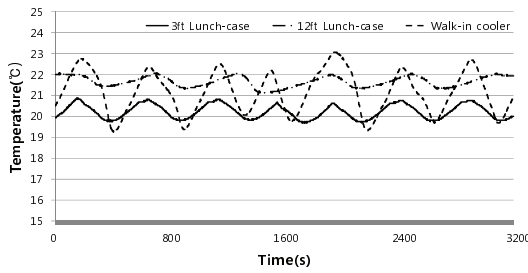


Fig. 5 Indoor-Unit temperature

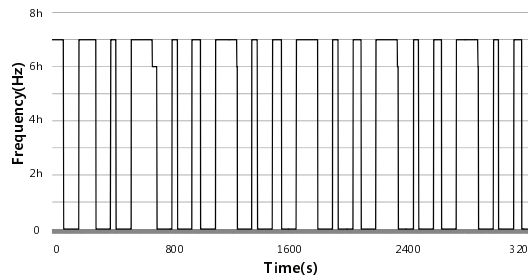


Fig. 6 Inverter frequency with walk-in cooler off

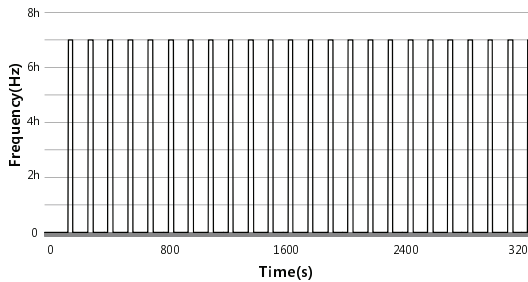


Fig. 7 Inverter frequency only with 3ft lunch case running

출되는 곳인 것 때문에 온도 편차가 크게 나타난 것으로 추정된다. 12ft 런치케이스는 3ft 런치케이스에 비해 실내 공간이 넓기 때문에 평균 온도 값이

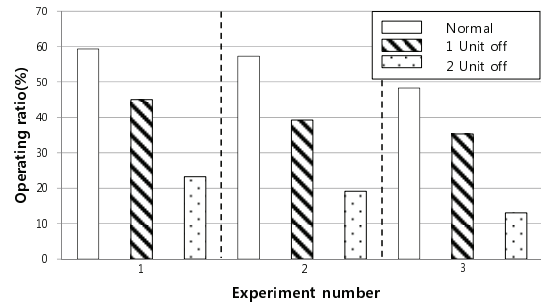


Fig. 8 Operating ratio with different number of units running

더 높게 나타난 것을 알 수 있다. Fig. 6은 워크인쿨러를 정지시킨 후 관찰된 실외기 인버터의 주파수를 나타낸 것이다.<sup>10</sup> 워크인쿨러가 off 됨에 따라 냉매유량의 감소로 인해, 최소 기준값  $P_{off}$ 에 도달하는 시간이 감소하여, 3대가 운전될 때보다 실외기의 단속 횟수가 증가한 것을 알 수 있다. Fig. 7은 추가로 12ft 런치케이스를 off 한 후 실외기 인버터의 주파수를 나타낸 것이다. 12ft 런치케이스가 추가적으로 off 됨에 따라 마찬가지로 냉매유량의 감소로 인해, 최소 기준값  $P_{off}$ 에 도달하는 시간이 더욱 감소하여, Fig. 4보다 실외기의 단속 횟수가 증가한 것을 알 수 있다.

이러한 인버터의 작동패턴을 수치화하기 위하여 일정한 시간 ( $t_{total}$ ) 동안 관찰된 주파수 파형에 대하여 운전율 (Operating Ratio)과 평균 운전시간 (Average Operating Time)을 식(1)과 식(2)로 정의하였다.

$$R_o = \frac{\sum t_{on}}{t_{total}} \quad (1)$$

$$t_{ave} = \frac{\sum t_{on}}{\sum N} \quad (2)$$

여기서  $t_{on}$ 은 인버터가 작동을 시작해서 꺼질 때까지의 시간이며,  $N$ 은  $t_{total}$  동안 관찰된 인버터의 작동 회수이다. 이렇게 정의된 운전율은 실외기가 처리해야 하는 열부하의 크기를 간접적으로 표현할 수 있을 것이라 생각되어 도입되었다. 평균운전시간은 운전율과 밀접한 관계를 갖고 있지만 동일한 열부하에 대해 요구되는 온도 편차가 다르게 설정된 것을 반영하기 위한 것이다. 즉 동일한 열부하에 대해 온도 편차가 작아지면 운전율은 변화가 없지만 평균운전시간이 짧아질 것으로 예상된다.<sup>11</sup>

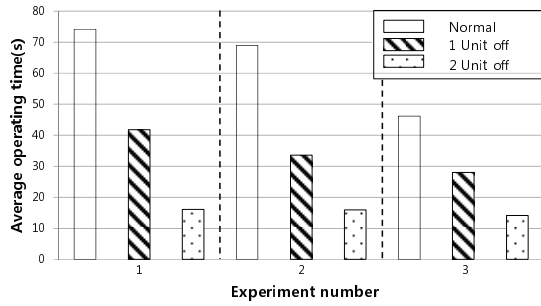


Fig. 9 Average operating time with different number of units running

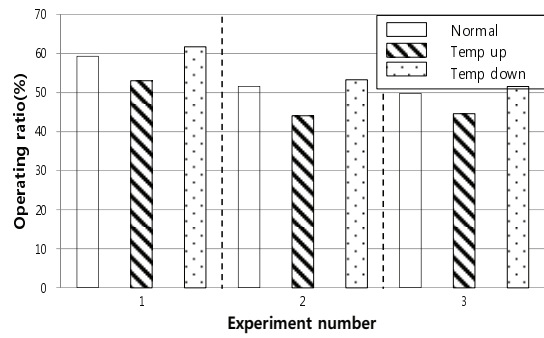


Fig. 10 Operating ratio with different target temperatures

Table 3 Ambient temperature & humidity with different target temperature

Exp.	Indoor		Outdoor	
	Temperature [°C]	Humidity [%]	Temperature [°C]	Humidity [%]
1	28	63.7	32.4	59.3
2	25.5	69.1	31.8	60.1
3	25.7	72.1	28.9	72.7

Figs. 8과 9는 작동하는 실내기의 대수 변화에 따른 운전율과 평균운전시간을 나타낸 것이다. 3회의 실험환경이 동일하지 않았음에도 운전율과 평균 운전시간이 감소하는 경향을 보이는 것을 확인하였으며, 두 변수를 통해 실내기의 운전상황이 변화한 것을 확인할 수 있다고 판단된다.

### 3.2 설정온도 변경

실내기 중 한 대의 설정온도를 변경하는 실험을 3번 실시하였으며, 실험이 진행될 때의 환경을 Table 3과 같다. 실험 당시 높은 실외온도를 고려하여 각 실내기 유닛의 초기 설정온도를 20°C 온도편차 2°C로 선정하였다. 첫 기동 후 1시간은 3대 유닛 모두 동일한 설정온도로 운전하고 약 1시간 후에 워크인쿨러의 설정온도를 22°C로 변경하였다. 또한, 실험시작 2시간 후에 워크인쿨러의 설정온도를 18°C로 변경하였고 실내기의 온도를 관찰하여 정상상태에 도달한 후 운전율과 평균 운전시간을 비교하였다.<sup>12,13</sup> Fig. 10과 Fig. 11은 워크인쿨러의 설정온도를 변경하기 전과 후의 운전율과 평균 운전시간을 나타낸 것이다. 설정온도를 올린 이후에는 운전율과 평균 운전시간이 감소하였고, 설정온도가 하강한 이후에는 운전율과 평균 운전시간이 증가한 것을 확인할 수 있다.

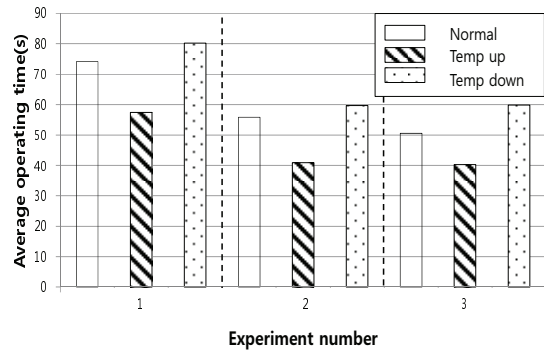


Fig. 11 Average operating time with different target temperatures

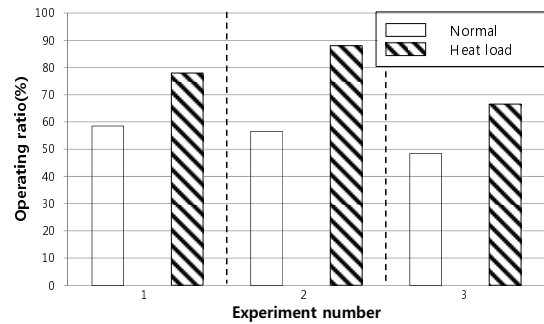


Fig. 12 Operating ratio with increased thermal load

Table 4 Ambient Temperature & humidity for increased thermal load

Exp.	Indoor		Outdoor	
	Temperature [°C]	Humidity [%]	Temperature [°C]	Humidity [%]
1	27.9	67.4	31.1	65.1
2	26.8	64.1	29.2	64.9
3	25.4	73.4	27.1	82.8

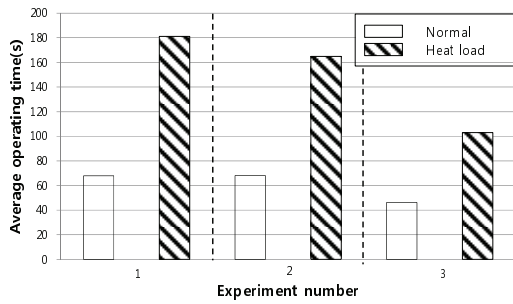


Fig. 13 Average operating time with increased thermal load

### 3.3 추가적인 열부하

상온에 있던 식품을 냉장고에 투입하는 것과 같은 상황을 모사하기 위하여 워크인쿨러에 1200W 용량의 라디에이터를 투입하였다. 이 실험을 Table 4에 보인 환경에서 3회 반복하였다. Figs. 12와 13은 워크인쿨러에 열부하를 투입하기 전후의 운전율과 평균 운전시간을 나타낸 것이다. 총 3번의 실험에서 각기 다른 온도와 습도 조건이었지만 열부하 투입 이후 운전율과 평균 운전시간이 상승한 것을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 실내외기 간 통신이 불가능한 멀티 냉장 시스템의 효율적 운전을 위해 실내기의 상태변화에 따른 실외기의 신호를 분석하였다. 이를 통하여 실외기 압축기의 운전율과 평균 운전시간을 정의하여 여러 상황에서 이들 변수의 변화를 측정하였다. 그 결과 일부 실내기 작동중지, 설정온도 상승 실험에서 실외기의 냉매 저압 최소 기준 값  $P_{off}$ 에 도달하는 시간의 감소로 인해 운전율과 평균운전시간이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 설정온도 하강, 추가적 열부하 실험에서는 실외기의 운전율과 평균 운전시간이 증가하는 경향을 확인하였다. 이를 통해 운전율과 평균 운전시간의 변화가 관찰되면 운전상황이 변화되었다고 추정할 수 있다고 판단된다.

향후에는 온도편차의 설정이 변화하면 평균 운전시간에 어떤 변화가 오는지를 확인하는 실험을 진행할 것이다. 또한 이 두 변수를 주기적으로 관찰하여 냉장 시스템의 운전상황이 변화한 것을 판단하는 기법을 구축하는 것과 주어진 정상상태에서 실외기를 효율적으로 운전하기 위한 제어 알고리즘의 개발이 필요하다.

### REFERENCES

- Gwon, J.-T., "Showcase and Refrigeration Systems," The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 14, No. 10, pp. 13-24, 2002.
- Baek, S.-M., "A Comparison of Operating Characteristics for Industrial Water Cooler with Variation of Control Methods," Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 18, No. 6, pp. 99-105, 2014.
- Baek, S.-M., Moon, C.-G., Kim, E.-P., Jeong, S.-K., Yoon, J.-I., et al., "The Characteristic Study of Capacity Control of and Industrial Cooler Using an Inverter Compressor with Varying the Ambient Temperatures," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 35, No. 2, pp. 238-243, 2011.
- Shin, T.-J., Lee, S.-K., and Jang, J.-U., "A Study on Health Monitoring of a Refrigerator Compressor Based on Higher Order Time-Frequency Analysis and Artificial Neural Network," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 29, No. 12, pp. 1313-1320, 2012.
- Chae, H.-M., Kim, C.-N., and Park, S.-K., "A Numerical Analysis with the FSI Mode on the Characteristics of Flow Field and Discharge Valve Motion in a Rotary Compressor," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 25, No. 5, pp. 112-120, 2008.
- Lee, S.-T., Kim, H.-J., and Kim, D.-K., "Development of Multi-Refrigerator Energy-Saving Power Converter and the Combined Control system," The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 17, No. 6, pp. 516-522, 2012.
- Ahn, J.-H., Jang, Y.-H., Kim, Y.-C., Choi, W.-S., Oh, S.-W., et al., "An Experimental Study on the Performance Characteristics of a Multi Type Refrigerator Using R600a," The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 21, No. 4, pp. 222-228, 2009.
- Son, J.-K. and Chun, T.-W., "Analysis and Efficiency Control of Linear Compressor System for Refrigerator Driven by PWM Inverter," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 62, No. 11, pp. 1544-1549, 2013.
- Han, D.-Y. and Shin, S.-C., "The Indoor Temperature Control Algorithm for a Bio-Cleanroom by Using a Fuzzy Logic," The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 23, No. 7, pp.



- 24-29, 2011.
10. Kwon, Y.-C., Jin, E.-S., Heo, S.-H., Kim, D.-H., Hong, J.-T., et al., "Performance of Compressor with Variable Capacity," *The Korea Society for Energy Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 214-218, 2004.
  11. Song, J.-Y., Ahn, B.-C., Ju, Y.-D., Kim, J., Baek, S.-J., et al., "A Study on Heating Performance with Feedforward and Feedback Control for Central Heating System," *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, pp. 1064-4069, 2010.
  12. Lim, D.-Y. and Ryoo, Y.-J., "Design of Intelligent Diagnostic System for Refrigerator," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 14, No. 3, pp. 267-272, 2004.
  13. Koh, T.-B., "The Study on Intelligent Cooling Load Forecast of Ice-Storage System," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 57, No. 11, pp. 2061-2065, 2008.