

휴리스틱 기법을 이용한 비통신 인버터형 냉장시스템의 성능개선 알고리즘 개발

Heuristic Algorithm for Performance Improvement of Non-Communication Inverter Type Refrigerator

민선규¹, 김형준¹, 이주경¹, 황준현², 이 석^{1,#}
Seon Gyu Min¹, Hyung Jun Kim¹, Ju Kyoung Lee¹, Jun Hyeon Hwang², and Suk Lee^{1,#}

¹ 부산대학교 기계공학부 (Department of Mechanical Engineering, Pusan National University)

² LG전자 시스템에어컨연구소 (SAC R&D Laboratory, LG Electronics Co., Ltd.)

Corresponding Author | Email: slee@pnu.edu, TEL: +82-51-510-2320, FAX: +82-51-516-7688

KEYWORDS: Outdoor-Unit (실외기), Compressor (압축기), Heuristics (휴리스틱), Multi-Refrigeration system (멀티 냉장 시스템), Inverter (인버터)

Inverter-Type refrigerators are known to consume less energy by varying the inverter frequency according to indoor temperatures and refrigerant pressure through indoor-outdoor communication. However, many commercial operators cannot afford to replace indoor units with ones capable of communication. In a non-communication configuration, indoor units are connected with an inverter-type outdoor unit without intercommunication abilities. The research goal is finding appropriate operating parameters to achieve energy efficiency. Thus, an operation algorithm with two modes is proposed, i.e., one to search the best operating parameters and one for normal operation with the best parameters. The experimental evaluation showed 11.27% reduction in energy consumption, indicating a good applicability of the algorithm.

Manuscript Received: November 30, 2016 | Revised: January 18, 2017 | Accepted: January 19, 2017

NOMENCLATURE

- $W_{standard}$ = Standard electric power consumption
- $W_{comparison}$ = Electric power consumption to be compared
- $H_{standard}$ = Standard refrigerating effect
- $H_{comparison}$ = Refrigerating effect to be compared
- h_1 = Enthalpy at evaporator entrance
- h_2 = Enthalpy at evaporator exit
- M_f = Mass flow
- P_T = Target low pressure
- T_D = Temperature error
- P_{on} = Refrigerant pressure to turn on the compressor
- P_{off} = Refrigerant pressure to turn off the compressor
- P = Performance index
- P_H = High pressure of refrigerant
- P_L = Low pressure of refrigerant
- T_i = Compressor inlet temperature

1. 서론

영업용 냉장고는 가정용 냉장고와 달리 에어컨처럼 증발기와 팽창밸브가 배치된 실내기와 압축기와 응축기로 구성된 실외기로 이루어져있다. 증발기에서 냉매가 증발할 때 흡수하는 잠열로 인해 냉장고의 온도가 떨어지며, 증발기에서 열을 흡수하여 증발한 냉매를 압축기에서 고온 고압의 기체로 만든다. 고온 고압의 기체는 응축기를 통해 잠열을 실외로 방출하며, 응축기에서 응축된 냉매는 팽창밸브를 통하여 증발기로 보내진다.¹

냉장고는 음식물의 부패를 막기위해 반드시 24시간 작동이 되어야하기 때문에 다른 제품들에 비해 소비전력이 높다. 그 중에서도 압축기는 전체 소비전력의 80% 이상을 차지하기 때문에 압축기의 에너지 효율을 높이기 위해 다양한 방법으로 연구가 진행되어 왔다. 대표적인 연구로 냉각 용량 가변형 인버터 압축기 개발을 통해 약 14.3%의 에너지 절감을 달성한 Shin et al.의 연구와² Choi et al.의 에너지 소비효율은 압축기 회전수에 무관한

냉매보입량이 존재한다는 것을 증명한 연구가 있다.³ 그리고 Lee et al.의 연구에서는 절감형 전력변환기, 통합제어기, 단일제어기를 개발을 통해 멀티 냉장시스템의 소비전력을 약 7.5% 개선하였으며,⁴ Son et al.은 PWM인버터로 구동되는 선형압축기의 기계적·전기적 공진주파수 분석을 바탕으로 압축기 효율을 약 6.8% 증가시키는 제어 방법을 제안하였다.⁵ 여러 가지 개선 방법 중 냉각 용량 가변형 인버터 압축기가 가장 좋은 효과를 보였으며 이에 따라 최근에 출시되는 실외기에는 인버터형 압축기를 주로 사용하고 있다.

인버터형 모델의 장점은 주변환경과 고내 열부하를 측정하여 압축기 회전수를 조절해 불필요한 에너지 소모를 줄일 수 있다.⁶ 하지만 고내의 열부하를 측정하기 위해서는 실외기와 실내기 사이의 통신이 가능해야 한다. 인버터형 냉장기기의 원활한 통신을 위해서는 실내기와 실외기의 통신 규격을 맞추는 작업이 필요하며, 이에 많은 시간과 비용이 소모된다. 또한, 영업용 냉장고를 사용하는 대부분의 상점들은 구형 모델을 사용하고 있으며 인버터형 모델을 적용하기 위해선 큰 비용을 투자해 실내기도 교체해야 하는 문제점이 있다.

이 문제를 회피하기 위하여 기존의 실내기에 인버터형 실외기를 결합하는 방법이 많이 사용되고 있다. 실내기와 실외기의 통신이 불가능하기 때문에 비통신형 모델 실외기에서 측정할 수 있는 정보만으로 운전하고 있어서 에너지 효율이 통신형 모델에 비해 떨어진다. 이를 보완하기 위해 본 논문에서는 탐색구간과 운전구간으로 나누어 운전하는 알고리즘을 제안한다. 탐색구간에서 운전 변수의 변화에 따른 성능을 비교하여 외부환경에 적합한 변수를 찾아 운전구간에서 이를 이용해 운전하는 방식이다. 알고리즘 적용 전과 후의 성능을 비교하여 알고리즘의 효과를 검증하였다.

본 논문은 서론을 포함하여 5장으로 구성되어 있다. 2장에서는 시스템 구성과 데이터 측정 방법에 대해서 기술한다. 3장에서는 운전 변수의 변화에 따른 성능을 비교하기 위한 성능지표를 정의하고, 4장에서는 실험을 통해 제안하는 알고리즘의 효과를 검증한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

2. 실험환경 및 실험방법

2.1 멀티 냉장 시스템

실외기 한대와 실내기 세대를 연결한 멀티 냉장 시스템을 실험 장치로 사용하였다. 실외기는 상용 인버터형 모델을 사용하였으며, 실내기는 12 ft 런치케이스, 3 ft 런치케이스, 워크인쿨러로 구성되어 있다. Fig. 1은 전체 시스템 구성도를 나타내며, 실외기와 실내기 사이에 냉매 배관은 연결되어 있지만 통신은 불가능한 것을 보여주고 있다.

실외기와 실내기의 통신이 가능한 시스템에서는 기본적으로 T_D (설정온도차), P_L (현재 저압), 외기 온도를 제어 변수로 사용한다. T_D 는 실내기 설정온도와 고내 온도의 차이이며 실내 열부하를

의미한다. T_D 가 클수록 실외기 인버터 주파수가 높아지며 T_D 가 작을수록 인버터 주파수가 낮아진다. P_L 은 증발기 출구의 Gas Valve에서 측정되는 압력으로 인버터 전원의 On/Off 기준이 되며, 미리 정해진 P_{or} 과 P_{off} 를 넘으면 전원이 On/Off 된다. 외기 온도는 응축기에서의 냉매가 가진 잠열 방출에 큰 영향을 미치기 때문에 제어 변수로 사용하며, 계절별로 제어를 다르게 하기 위한 기준이 된다.

인버터 주파수 제어는 Fig. 2와 같이 크게 세 구간으로 나눌 수 있다. 인버터가 켜진 후 Phase 1에서는 낮은 주파수로 정해진 시간 동안 정속 운전을 하게 된다. Phase 2에서는 구간 진입 시의 T_D 에 따라 주파수가 바뀌며 이 구간에서 T_D 가 클수록 높은 주파수로 정속 운전하게 된다. 마지막으로 Phase 3에서는 T_D 에 의해 P_T (목표저압)가 선정되고, P_L 이 P_T 에 도달하게끔 주파수를 실시간으로 조절하게 된다. 그리고 T_D 의 크기 및 변화율에 따라 주파수 변화폭이 달라진다.

위의 설명은 실내기의 정보가 실외기에 전달될 수 있는 통신형 모델에 대한 것이다. 이 논문에서 다루는 비통신형 모델에서는 실내기의 정보를 모르기 때문에 기존의 알고리즘을 사용하려면 임의의 T_D 값을 선정해야 한다. 또한 냉장고 설치 시 설정되는 목표저압도 적절하리라는 보장이 없는 형편이다. 따라서 비통신형 모델은 열부하에 따라 효과적인 주파수 제어에 어려움이 있으며 에너지 효율도 통신형 모델보다 낮을 수 밖에 없다.

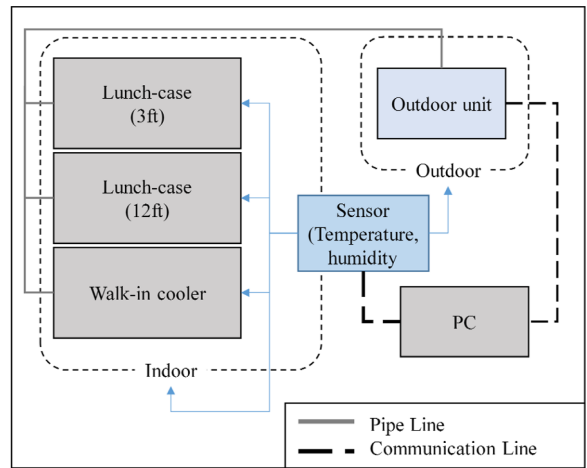


Fig. 1 Multi-Refrigeration system

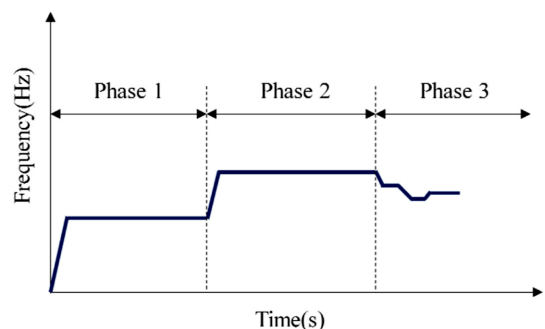


Fig. 2 Inverter operating phases

만약 주어진 상황에 적합한 T_D 와 P_T 를 선정할 수 있다면 냉장시스템의 성능을 향상시킬 것으로 기대된다.

2.2 데이터 획득 방법

주변환경에 따라 변화하는 실외기 신호를 분석하기 위하여 Fig. 1에서와 같이 모니터링 PC와 실외기를 연결하였고 모니터링 프로그램을 설치하였다. 본 실험에 사용한 멀티 냉장 시스템에서는 실외 온도를 제외한 환경정보를 알 수 없기 때문에 데이터 비교를 위하여 온습도 센서를 추가로 설치하였다. 센서는 (주)테크스트 사의 UA10을 사용하였으며 실외기 케이스 외부, 건물 내부, 실내기 내부에 각각 설치하였다. 구성된 시스템에서 실외기 신호는 2 sec, 온도 및 습도는 1 sec의 주기로 기록되도록 설정하였다.

3. 운영 알고리즘과 성능지표

3.1 운영 알고리즘

비통신행 모델에서 주변환경에 맞춰 인버터 주파수를 변경하기 위해서는 실외기에서 나오는 신호만으로 고내의 열부하를 유추해야 한다. 이상적으로는 T_D 의 변화에 따라 발생하는 여러 신호를 분석하여 상관관계를 찾아야 하지만 온도, 습도, 실내기 내부의 상태, 조명, 실외기의 위치 등 신호에 영향을 미치는 요인이 많아 열부하를 유추하기에는 어려움이 있다. 따라서 시행착오 방법과 같이 경험적으로 성능을 개선할 수 있는 방법을 찾는 휴리스틱 기법을 적용하여 주변 환경 변화에 따라 적절한 변수를 선택하는 알고리즘을 제안한다.

제안하는 알고리즘의 핵심은 Fig. 3과 같이 탐색구간과 운전구간을 반복적으로 실시하는 방법으로 탐색구간에서 T_D 와 P_T 를 변화시켜서 최선의 값을 선정하고, 운전구간에서는 탐색구간에서 선정한 값으로 운전한다. 탐색구간에서는 두 변수를 차례대로 변경하며 일정시간 운전한 후, 성능을 비교하여 가장 성능이 좋은 값을 찾는다.⁷

T_D 는 7단계를 조절할 수 있으며 P_T 의 경우에는 인버터 구동이 가능한 주파수를 기준으로 10단계 조절이 가능하다.

3.2 성능지표

탐색구간에서는 주어진 환경에 적합한 변수 값을 찾기 위해

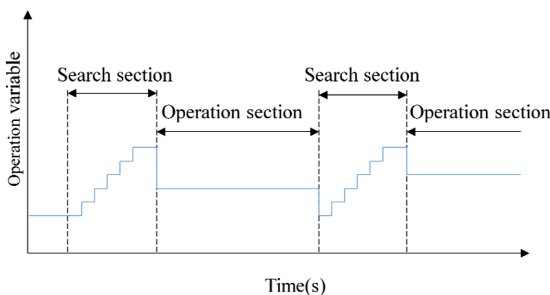


Fig. 3 Timing chart for inverter control

T_D 와 P_T 를 차례대로 변경하며 성능을 측정하고 서로 비교한다. 이때 성능 P 를 식(1)과 같이 정의한다. P 는 두 가지 항으로 구성되는데 냉장시스템의 소비전력과 흡열량이다. P 를 무차원화하기 위해 기준을 정하고 비교하는 방식을 취했다.

$$P = \alpha \cdot \frac{W_{standard}}{W_{comparison}} + (1 - \alpha) \cdot \frac{H_{comparison}}{H_{standard}} \quad (1)$$

여기서, $W_{standard}$ 와 $H_{standard}$ 는 기준이 되는 운전의 소비전력과 흡열량이며 $W_{comparison}$ 와 $H_{comparison}$ 는 비교하고자 하는 운전의 소비전력과 흡열량이다. α 는 소비전력과 흡열량의 비중을 결정하는 계수이며 본 논문에서는 0.3으로 선정하였다. 기준이 되는 Standard 값은 탐색구간의 가장 첫 번째 운전에서 측정된 데이터를 사용하며 비교를 위한 Comparison 값은 변수 값을 변경할 때마다 측정된 데이터를 사용한다. 탐색구간에서 최초 운전시 소비전력과 흡열량의 Standard와 Comparison 값이 같기 때문에 P 는 1이 되며 두 번째 운전부터 P 의 변화가 생긴다. 따라서 P 가 1보다 클수록 성능이 좋다고 판단할 수 있다.

소비전력은 측정된 실외기의 소비전력 데이터를 합산하여 계산하며, 흡열량은 압축기 입구에 설치된 센서를 통해 냉매 상태를 측정하여 계산한다. 식(2)는 흡열량 계산 식이다.

$$H = (h_2 - h_1) \cdot M_f \cdot t \quad (2)$$

여기서, M_f 는 냉매의 질량 유량이며 t 는 운전시간이다. 냉동효과 ($h_2 - h_1$)는 r410a 냉매의 $p-h$ 선도를 사용하여 계산한다. h_1 은 증발기 입구에서의 엔탈피이며 응축기에서 측정된 압력과 포화곡선의 교점을 찾아 계산한다. h_2 는 압축기 입구에서의 엔탈피이며 증발기에서 측정된 압력과 압축기 입구에서 측정된 냉매 온도의 교점을 찾아 계산한다. 이 변수들은 식(3)과 식(4)를 통해 실시간으로 계산된다. 식(3)은 냉매의 물성치 계산 소프트웨어인 Refprop에서 제공하는 포화증기표와 회귀분석 도구인 Datafit을 사용하여 추세선 공식으로 정의하며, 식(4)과 식(5)는 Refprop로 온도와 압력별로 과열증기표를 만든 후 추세선 공식으로 정의한다.⁸ 오차를 줄이기 위해 같은 형태의 추세선 공식을 사용하며 계산 속도를 빠르게 하기 위해 가장 짧은 형태를 사용하여 정의한다. Table 1은 식(3)-식(5)의 계수 a, b, c를 나타낸다. 아래 식에서 P_H 는 응축기 압력, P_L 은 증발기 압력, T_i 는 흡입 압력을 의미한다.

$$h_1 = a \times b^{P_H} \times P_H^c \quad (3)$$

$$h_2 = a \times b^{T_i} \times P_L^c \quad (4)$$

$$density = a \times b^{T_i} \times P_L^c \quad (5)$$

M_f 는 압축기 입구에서의 냉매 상태를 측정하여 계산한다. 본 논문의 실험에 사용된 실외기는 회전 압축기가 설치되어 있으며

회전 압축기의 M_f 계산식은 식(6)과 같다.

$$M_f = \frac{\pi}{4} \cdot (A^2 - B^2) \cdot L \cdot \frac{rpm}{60} \cdot density \quad (6)$$

여기서 L 은 실린더 길이이며 A 는 실린더 내경, B 는 Rolling Piston 외경이며 Fig. 4에 나타나있다.

Fig. 5는 탐색구간에서의 순서도를 나타낸다. P 는 인버터가 켜진 후 정해진 시간 동안 센서 데이터를 받아 계산된다. P 의 계산이 끝났을 때 인버터의 On/Off상태를 확인하여 On이면 강제로 주파수를 높여 Off시킨 후 다음 단계를 진행하고, Off면 바로 다음 단계로 넘어간다. 인버터 전원 상태를 확인한 후 운전 변수를 차례대로 변경하며 각각의 P 를 계산한다. 모든 변수에 대한

Table 1 Coefficients of trend line

	a	b	c
h_1	47.586263	1.0000326	0.2108494
h_2	460.73583	1.001912	-0.0108407
Density	0.0218	0.9573412	1.07911035

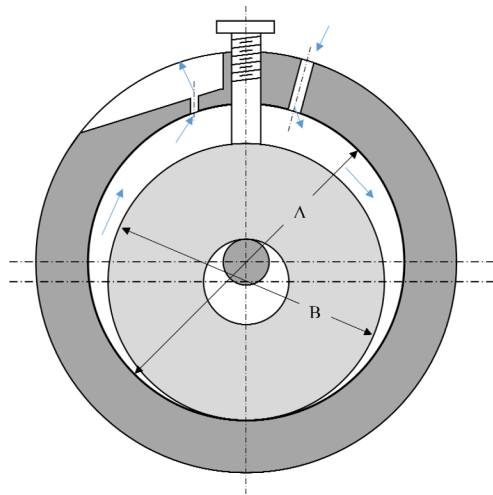


Fig. 4 Cross-Sectional diagram of the compressor

운전이 끝난 후 각각의 P 를 비교하여 가장 성능이 좋았던 변수를 선정하여 운전구간에서 사용한다.

4. 실험결과

제안하는 알고리즘의 효과를 검증하기 위해 Fig. 5의 내부 루프(탐색구간)에 해당하는 실험과 외부 루프(운전구간)에 해당하는 실험을 진행하였다. 첫번째 실험은 탐색구간에서 P 를 계산하기 위한 실험으로 T_D 는 세 구간, P_T 는 다섯 구간으로 총 여덟 구간을 측정하였다. 변경 가능한 모든 구간을 사용하지 않고 절반만 사용한 이유는 탐색구간의 길이를 줄이기 위함이다. 한 단계씩 변경했을 경우 인버터 주파수나 센서에서 받는 데이터의 변화가 미미할 수 있고, 탐색구간이 길어질 경우 첫 운전과 마지막 운전의 외부환경 변화가 커지기 때문이다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 실내기의 설정온도에 빠르게 도달하는 방법이 아니라 설정온도 도달 후 고내온도 유지를 위해 소비되는 에너지를 절감하는 방법이다. 따라서 냉장고 기동 후 한 시간 동안은 고내온도 안정화를 위해 데이터를 수집하지 않는다. 변수를 변경할 때마다 약 40분씩 측정하며 인버터 첫 기동 이후부터 25분 동안의 데이터로 P 를 계산한다. 실내기 설정온도는 14°C, 허용 온도 편차는 2°C로 통일하였다. 본 실험은 Chamber 실험이 아니기 때문에 주변환경의 변화를 최소화하기 위해 이틀간 온도변화가 적은 주간에 실시하였다.

T_D 와 P_T 를 동시에 변경하면서 성능을 비교하면 어떤 요인에 의해서 성능이 변했는지 알 수 없다. 따라서 T_D 를 변경하며 성능을 검토할 때는 P_T 를 변경하지 않고, 반대로 P_T 를 선정할 때는 T_D 를 변경하지 않는다. T_D 를 선정할 때는 P_T 를 항상 최소 값으로 입력하여 인버터 단속 횟수를 늘린다. 단속 횟수가 늘어나면 T_D 의 영향을 받는 구간 데이터가 증가해 성능 비교의 오차를 줄일 수 있기 때문이다. P_T 를 선정할 때는 위와 같은 방법으로 선정된 T_D 를 고정 값으로 입력한다.

Fig. 6은 설정온도차 T_D 의 변화에 따른 P 의 변화를 보인다. 첫번째 값인 2를 기준으로 삼았기 때문에 P 의 값이 1로 표시되었다.

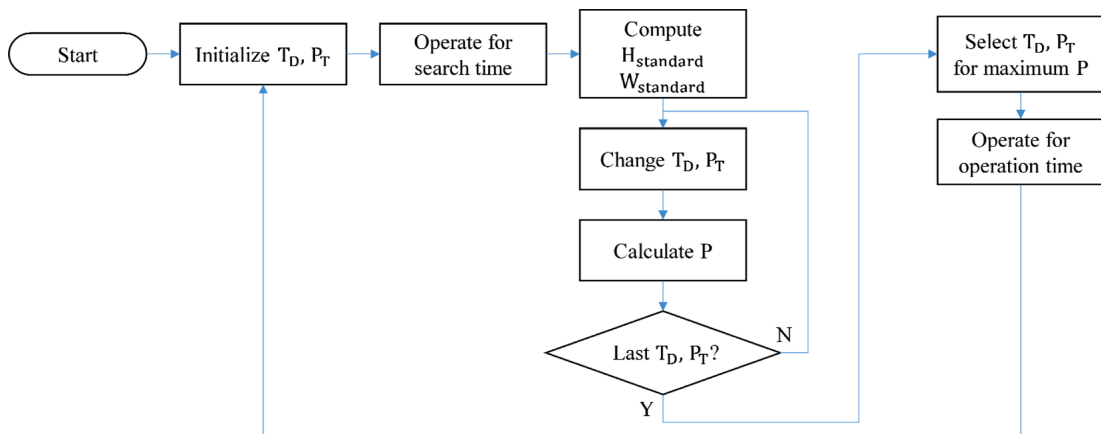


Fig. 5 Flow chart for refrigerator operation

설정온도차 T_D 를 4로 설정하여 운전했을 때 P 의 값은 0.94로 성능이 저하되었음을 보여주고 있다. T_D 를 더 증가시켜서 6으로 설정한 경우에도 P 가 0.88로 나타나서 T_D 를 높게 설정할수록 성능이 나빠진다고 판단할 수 있다. 이러한 결과는 T_D 가 클수록 인버터의 주파수가 높아져서 압축기가 빠르게 회전하는데 실험 환경에서는 압축기를 낮은 속도로 운영하는 것이 보다 좋은 성능을 얻을 수 있다는 점을 보여준다.

Fig. 7은 목표저압 P_T 를 변화시켰을 때 총 다섯 성능지표의 변화를 보여주고 있으며 32부터 40까지 다섯 가지 값을 이용하였다. 첫 번째 값인 32에서의 P 는 1로 비교 기준이 된다. 34, 36, 38에서 P 는 약 0.98로 거의 동일하며 40에서 P 는 0.96이다. P_T 가 높아질수록 P 가 감소하는 형태이며 32일때 성능이 가장 우수함을 알 수 있다.

두 번째 실험은 알고리즘 적용 전과 후의 성능을 비교하기 위한 실험이다. 환경 오차를 최소화하기 위해 연속해서 실험을 진행했으며 기동 후 처음 한시간은 데이터 수집을 하지 않았다. 알고리즘 적용 전과 후 모두 약 1시간 30분 동안 측정하였으며 정상상태 도달 후 1시간 동안의 소비전력을 계산하여 비교하였다. 알고리즘 적용 전의 P_T 는 37, T_D 는 7이며, 적용 후는 탐색구간에서 P 가 가장 높았던 P_T 와 T_D 인 32와 2로 운전을 한다. Fig. 8은 알고리즘 적용 전과 후의 소비전력 비교 그래프이다. 적용 전의 소비전력은 4168 kJ이고 적용 후는 3698 kJ로 적용 전과 비교해 소비전력을 약 11.27%절감하였으며, 흡열량의 경우 각각 22308 kJ과 20966 kJ로 약 6.02%감소하였다. 실내기 성능을 의미하는 흡열량도 감소하였지만 흡열량 감소율보다 소비전력 절감율이

더 크기 때문에 시스템의 전체적인 효율은 증가하였다고 할 수 있다. Table 2는 실험 당시 주변환경 데이터이다.

5. 결론

본 논문에서는 비통신 인버터형 냉장 모델의 에너지 효율을 높이기 위해 탐색구간과 운전구간으로 나누어 주기적으로 반복하는 알고리즘을 제시하였고, 성능지표 P 를 기준으로 가장 좋은 성능을 나타내는 목표저압 P_T 와 설정온도차 T_D 를 탐색하였다. 성능지표 P 는 소비전력과 흡열량으로 계산되며 소비전력은 실외기의 성능을, 흡열량은 실내기 상태를 나타내는 변수이다. 인버터 주파수에 가장 큰 영향을 미치는 변수 T_D 와 P_T 를 선정하였고, 탐색구간에서 변경하면서 P 를 측정 및 비교하였다. 그 결과 주변 환경에 따라 가장 좋은 성능의 변수 값이 존재한다는 것을 확인 하였으며, 알고리즘 적용 전과 비교하여 소비전력을 11.27% 절감할 수 있었다.

이 연구에서 진행한 실험은 환경을 완벽하게 통제된 상태에서 이루어진 것이 아니기 때문에 연구결과의 신뢰성을 높이기 위하여 환경이 통제된 Chamber에서 실험을 진행하는 것이 필요하다. 또한, 탐색구간에서 변수 값을 선정하는데 소요되는 시간을 줄이기 위한 효율적인 탐색 방법이 필요하며, 반복 실험을 통해 가중치 ω 와 탐색구간과 운전구간의 시간을 재정의할 필요가 있다. 탐색구간에서는 시스템 구동 중에 변수 값이 계속 변동되어 에너지효율이 좋지 않으므로 최소한의 시간으로 가장 좋은 성능지표를 계산할 수 있는 변수 값들을 탐색해야 한다. 하지만 탐색구간이

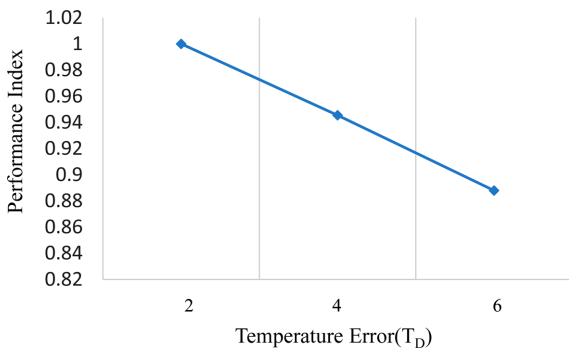


Fig. 6 Performance index with different temperature errors

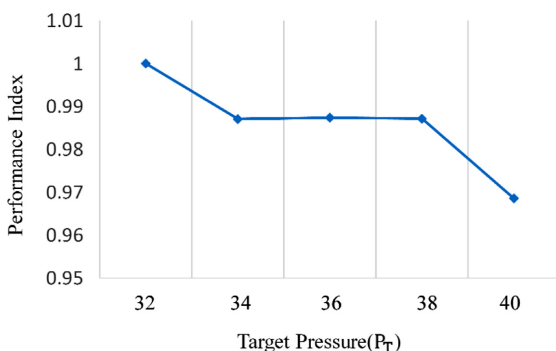


Fig. 7 Performance index with different target low pressures

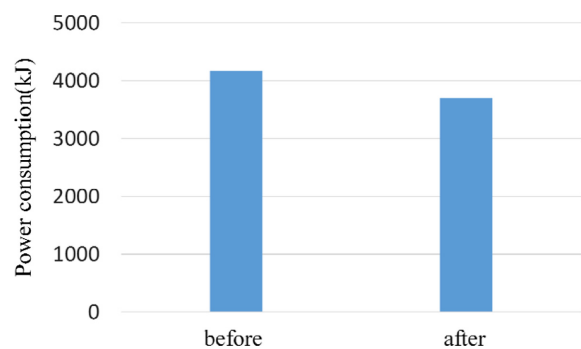


Fig. 8 Comparison of power consumption

Table 2 Environmental conditions of experiments

	Test 1	Test 2
Outdoor temperature (°C)	27.1	28.3
Outdoor humidity (%)	75.5	67.5
Indoor temperature (°C)	24.3	24.4
Indoor humidity (%)	74.4	68.7
3 ft-lunch-case humidity (%)	96.0	94.3
12 ft-lunch-case humidity (%)	92.8	95.0
Walk-in-Cooler humidity (%)	79.6	88.7

너무 짧아지면 성능지표 P 의 신뢰성이 낮아지므로 이를 고려한 효율적인 탐색방법을 모색할 필요가 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

1. Lim, H. J., Lee, J. K., Hwang, J. H., Lee, K. C., and Lee, S., "Signal Analysis of Inverter-Type Outdoor Unit for Detecting Operation Changes of Commercial Refrigerator," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 33, No. 6, pp. 517-523, 2016.
2. Shin, D.-S., Kim, H.-J., Lee, B.-M., and Lee, B. M., "Development of the Inverter Freezer and Refrigerator with a Variable Cooling Capacity Compressor," Symposium of the Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 1877-1882, 2002.
3. Choi, D.-G., Kim, K.-C., and Kim, J.-S., "An Experimental Study on the Performance of an Inverter Heat Pump with a Variation of Frequency and Refrigerant Charging Amount," Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 66-72, 2001.
4. 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 Korean Institute of Power Electronics, Vol. 17, No. 6, pp. 516-522, 2012.
5. 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.
6. McQuiston, F.-C. and Parker, J.-D., "Heating, Ventilating and Air Conditioning: Analysis and Design," John Wiley & Sons, 5th Ed., pp. 517-523, 2000.
7. Amari, S.-I., "Backpropagation and Stochastic Gradient Descent Method," Neurocomputing, Vol. 5, No. 4, pp. 185-196, 1993.
8. Smith, R., Inomata, H., and Peters, C., "Introduction to Supercritical Fluids: A Spreadsheet-Based Approach," Newnes, 2013.