

온도차 감지 제상법과의 비교를 통한 광센서 제상법의 타당성 검증을 위한 연구

Feasibility of the Defrost Control by Photoelectric Technology via Comparison with the Temperature Differential Defrosting Method

전창덕(Chang-Duk Jeon), 김동선(Dong-Seon Kim)[†]

한국교통대학교 기계공학과

Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation, Chungbuk 380-702, Korea

(Received April 24, 2014; revision received July 7, 2014; Accepted: July 9, 2014)

Abstract Experiments were performed to verify if performance and characteristic curves obtained from the temperature differential defrosting method, where surface temperature is measured to judge defrosting condition, can be reproduced by the photoelectric technology where defrosting condition is judged by photoelectric sensors. The output voltage of a phototransistor and heating capacity, power consumption, and surface temperature of the outdoor heat exchanger are compared. The results showed that the photoelectric sensors can be used as a defrost control device. On-off control timings in temperature differential defrosting method are in good agreement with those predicted by the high and low threshold output voltages of the photoelectric sensor.

Key words Frost(서리), Temperature Differential Defrosting Method(온도차 제상 방법), Photoelectric Sensor(광센서), Mal-defrost Phenomena(오제상 현상)

[†] Corresponding author, E-mail: dongseonkim@ut.ac.kr

기호설명

\dot{Q} : 열전달률 [W]
 T : 온도 [K]
 \dot{W} : 동력 [W]

하첨자

cool : 냉각
DB : 건구
heat : 가열

1. 서 론

동절기 다습한 외기 온도 조건에서 공랭식 히트펌프를 사용하는 경우 실외 열교환기 표면에 서리가 달라붙는 착상현상을 종종 볼 수 있다. 열교환기에 형성된 서리는 열교환기 성능을 저하시키기 때문에 압력, 온도 등과 같은 시스템 변수가 제상 조건을 만족하거나 또는 일정시간 간격으로 제상 사이클을 가동시켜 서리를 제거한다. 제상은 히트펌프 사용자 편의성 및 에너지 절약과 밀접한 관계가 있으므로 최적의 시점에

서 제상이 시작되고 또한 종료될 수 있도록 정확하게 제어되어야 한다. 현재 다양한 제상 방법과 장치가 개발되어 사용 중에 있다.⁽¹⁾

가장 널리 사용되고 있는 제상 제어 방법으로는 실제 착상 유무에 상관없이 설정된 일정 시간 간격으로 제상을 반복 수행하는 일정시간 제어 방법과 실외 열교환기 표면(또는 냉매) 온도와 외기 온도 차를 이용하여 제상을 제어하는 온도차 제어 방법, 그리고 실외 열교환기 전·후 압력차가 설정한 압력조건을 만족할 때 제상을 수행하는 압력차 제어 방법 등이 있다. 시중에서 판매되고 있는 고효율 히트펌프의 경우 보다 완벽한 제어를 목적으로 두 개 이상의 제어방법을 결합하여 사용하는 복합 제상 제어 방법(complex defrost control method)을 적용하고 있다. 그럼에도 불구하고 열교환기가 착상되어 제상이 필요한 상황에서도 제상 사이클이 작동하지 않거나 착상이 전혀 존재하지 않은 상황에서 제상 사이클이 가동되는 오제상 현상(mal-defrost phenomena)이 빈번하게 발생한다고 보고되고 있다.⁽²⁾ 이러한 오작동 현상을 방지할 수 있는 방법으로 Wang 등⁽³⁾은 광센서를 이용하는 방법을 제안하였다.

착상감지 및 제상 목적으로 광센서를 이용한 첫 번째 연구는 변주석 등⁽⁴⁾에 의해 수행되었다. 그들은 실외 열교환기를 균등하게 9개 영역으로 구분하여 총 4개의 영역에서 광센서 출력전압이 제상 사이클을 작동시키는 문턱전압(threshold voltage)을 동시에 넘었을 때 제상하는 것이 가장 효과적이며 이때 전체 난방능력은 일정 시간 제어 방법을 사용하는 경우보다 5.5% 높다고 밝혔다. Wang 등⁽⁵⁾은 Fig. 1과 같이 광센서 출력 전압곡선이 세 개의 영역, 즉 초기영역(initial section), 반응영역(response section) 그리고 안정영역(stable section)으로 구분할 수 있어 단속(on-off)과 선형성(linearity)이라는 두 개의 특징을 갖기 때문에 직접적으로 서리 높이를 정확하게 측정할 수 있다고 주장하였다. 광센서를 제상 제어 수단으로 활용하기 위한 최초 연구 결과⁽⁴⁾가 발표된 지 7년이 넘었고 최근 들어 광센서를 제상제어 수단으로 사용하면 제상 오작동 현상을 최소화할 수 있다는 연구결과^(3, 5)들이 속속 공개되고 있지만 아직까지 광센서를 제상제어 장치로 채택하고 있는 히트펌프 제품을 시장에서 찾아볼 수 없다. 그 이유는 아마도 아직까지 내구성 및 신뢰성에 대한 확신을 심어줄만한 실증적 연구가 양적으로나 질적으로 부족하기 때문이라고 판단된다. 또 다른 이유로 광센서 설치 방법의 문제점을 생각할 수 있다. 광센서를 실외 열교환기에 설치하는 기존 방법은 Fig. 2(a)에서와 같이 열교환기를 가운데 두고 발광부와 수광부를 서로 마주보는 형식이었기 때문에 발광부와 수광부를 일직선상에 정렬하기 위한 부가적 구조물이 요구되고 흰(fin)이 조밀하고 관열(tube row)이 많을수록 광센서의 감도가 떨어지는 문제점이 존재한다. 한편 Fig. 2(b)에 본 연구에서 고려한 광센서의 설치 방법을 도시하였다. 본 연구에서는 발광부와 수광부를 열교환기 전방에 나란히 설치⁽⁶⁾하여 기존 방법의 문제점을 근본적으로 해결하려 하였다.

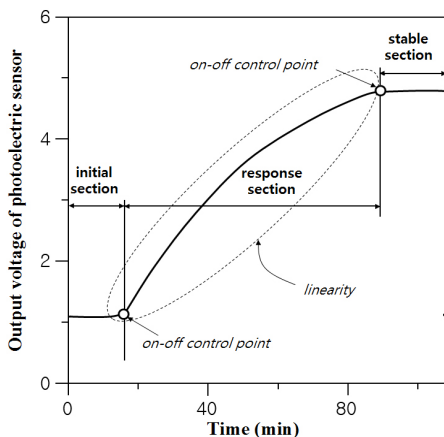


Fig. 1 Typical output voltage curve of photoelectric sensor according to the frost thickness.⁽⁵⁾

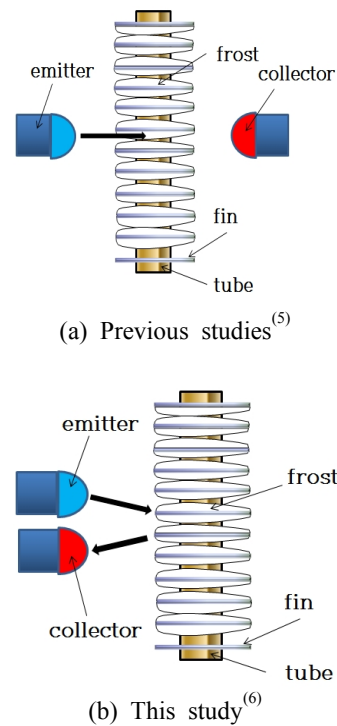


Fig. 2 Location of photoelectric sensors.

광센서와 같은 새로운 장치를 제상 제어 수단으로 사용할 수 있는지 검증하는 하나의 방법은 광센서의 출력 전압 곡선 상에 나타나는 문턱전압점이 일정시간 제어방법 또는 온도차 제어방법을 사용할 때 나타나는 단속 제어점과 일치하는 가를 확인해 보는 것이다.

일정시간 제어 방법 또는 온도차 제어방법을 제상 제어 방법으로 사용하였을 때 그 결과로 얻어지는 난방능력, 소비전력, 실외기 표면 온도 변화 그래프를 살펴보면 제상을 시작하고 제상을 종료하는 단속 제어점(on-off control point)과 제상 주기를 확인할 수 있다. 광센서의 출력 전압 곡선의 문턱전압점과 단속 제어점이 잘 일치하는 경우 일정시간 제어방법 또는 온도차 제어방법의 제어신호 대신 광센서의 문턱전압 신호를 이용하더라도 일정시간 제어방법 또는 온도차 제어방법을 사용하여 구한 것과 동일한 시스템 성능곡선을 재현해 낼 수 있다.

본 연구에서는 Fig. 2(b)의 광센서를 제상제어 수단으로 사용하는 경우 신뢰할만한 결과를 얻을 수 있는지 여부를 판단하기 위해 온도차 제어 방법으로 제상 제어를 하는 히트펌프 시스템의 소비전력, 난방능력 그리고 실외 열교환기 표면 온도와 광센서 수광부의 출력 전압을 동시에 측정하여 난방능력 같은 시스템 성능의 패턴 변화가 광센서 출력전압의 패턴 변화와 얼마나 일치하는 가를 확인함으로써 제상제어 수단으로서 광센서의 활용 적합성을 판단하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험장치의 전체적인 구성은 Fig. 3과 같으며 표준 난방(건구온도 7°C/습구온도 6°C) 조건에서 5,200 W의 정격난방능력을 갖는 히트펌프 냉온수기(Fig. 4)를 대상으로 하였다. 부하 측 열교환기는 2HP급의 용접형 판형 열교환기이며, 열원 측 열교환기로는 가로, 세로, 폭의 길이가 각각 660 mm, 400 mm, 70 mm인 3열, 9-pass 형식의 공랭식 열교환기이다. Table 1에 열교환기 관련 주요 제원을 나타냈다. 온도차 제어방법의 제상 제어신호로 이용되는 실외 열교환기의 표면온도를 측정하기 위해 정밀도 ±1.0K인 K-형 열전대를 열교환기의 세 번째 관열 중 냉매입구부에서부터 2번째에 위치한 리턴벤드(return bend)에 설치하였다. 또한 난방능력 계산에 필요한 냉각수 온도 측정을 위해 정밀도 ±0.1K의 Pt100Ω 온도센서를 수랭식 열교환기의 입·출구에 각각 설치하였다.

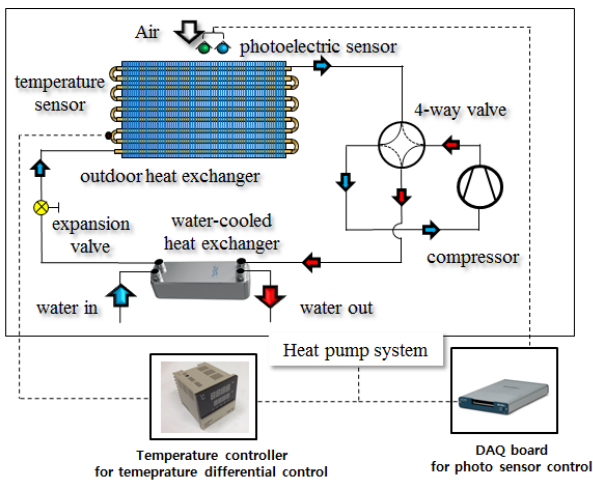


Fig. 3 Schematic of experiment setup.

Table 1 Specification of heat exchangers

Component	Specification
Water-cooled Hex	Manufacturer : Danfoss Model number : B3-052-26-3.0HQ Rated capacity : 2HP
Outdoor Hex	Fin type : corrugated plate Fin material : aluminum Fin coating type : hydrophilic Fin pitch : 2.1 mm Tube material : copper Tube diameter : 9.52 mm Number of tube row : 3

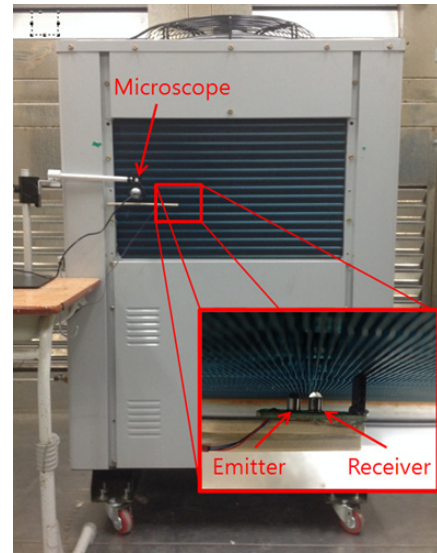


Fig. 4 Photoelectric sensors in the heat pump.

Table 2 Specification of the calorimeter

$\dot{Q}_{cool} (W)$	2,000 ~ 15,000	±2% accuracy
$\dot{Q}_{heat} (W)$	2,000 ~ 18,000	
$T_{DB} (°C)$	-20 ~ 60	
Humidity	5% ~ 90%RH(dew point above 0°C)	

냉각수 유량은 정밀도 ±0.25%의 전자식 유량계(Electromagnetic, Badger M2000, 0.03-12 m/s)를 사용하여 측정하였다. 서리 성장에 따른 광센서 출력 전압을 측정하기 위해 발광부(Kodenshi EL-1KL3)와 수광부(Kodenshi ST-1KLA)를 실외 열교환기 전방에 수평방향으로 나란히 설치하였다(Fig. 2(b)와 Fig. 4의 확대 그림 참조). 출력 전압 데이터 처리는 NI USB-6343을 사용하였다. 실험은 공기 엔탈피식 칼로리미터에서 수행하였으며 Table 2에 제원을 정리하였다.

2.2 실험방법

외기 온도 조건은 KS C 9306⁽⁷⁾에 규정된 난방제상 능력시험 조건(건구온도 2°C, 습구온도 1°C)에 맞추고 부하 측 냉각수 입구 온도는 항온수 공급 장치를 사용하여 KS B 6275⁽⁸⁾에 규정된 40°C로 조절한다. 소비전력, 시스템 압력, 냉매 배관 온도 등 시스템 성능 및 특성을 분석할 수 있는 변수를 입력받아 계산하는 칼로리미터 전용 프로그램을 작동시킨 후 칼로리미터실의 온도와 냉각수 입구 온도가 위에서 언급한 시험 조건으로 안정화되면 히트펌프 냉온수기를 가동한다.

본 연구에서 고려한 온도차 제상 제어법의 제어 전략은 다음과 같다.

- (1) 히트펌프 냉온수기의 실외 열교환기 표면온도가 -8°C 이하로 1분간 지속되면 제상 운전 모드로 전환하여 압축기를 2분간 정지시킨 후 사방밸브를 작동시켜 역사이클 제상 운전을 수행한다.
- (2) 제상과정을 통해 실외 열교환기 표면온도가 상승하여 4°C 이상으로 1분간 지속되면 서리가 제거되었다고 판단하여 압축기를 정지시킨다.
- (3) 5분간의 휴지기를 거친 후 다시 난방 운전을 수행함으로써 제상 사이클 운전을 완료한다.

열교환기 표면온도가 4°C 에 도달할 때까지 역사이클 운전이 계속되기 때문에 총 제상 사이클 운전 시간은 유동적이다. 또한 시험이 진행되는 동안 실외 열교환기 전방에 설치된 광센서를 통해 서리량(서리층 높이)에 대응하는 출력 전압을 시스템 변수(난방능력, 소비전력, 시스템 압력, 실외 열교환기 표면온도 등) 샘플링 시간과 동일한 간격으로 측정한다. 제상 운전의 한 사이클(one cycle operation)은 ‘착상감지-압축기정지-역사이클운전-압축기 정지’로 정의하며 총 3번의 사이클이 끝나면 시험을 종료한다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 난방능력과 표면온도

Fig. 5는 KS C 9306⁽⁷⁾에 규정된 난방 제상능력 시험 조건(건구온도 2°C , 습구온도 1°C)에서 시간에 따른 난방능력과 실외 열교환기 표면온도의 변화를 나타낸 그림이다. 첫 번째 사이클의 난방능력 곡선은 두 번째와 세 번째 사이클의 난방능력곡선과 약간 다른 양상을 보이는 반면 두 번째와 세 번째 사이클의 곡선은 서로

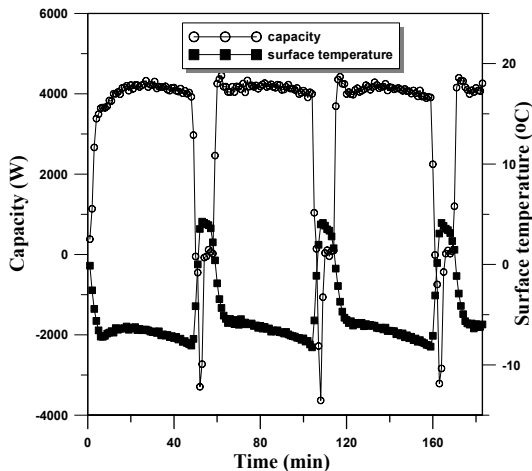


Fig. 5 Variation of heating capacity and power consumption as a function of time.

비슷한 패턴을 보인다. 일반적으로 히트펌프를 난방 운전하였을 때 볼 수 있는 전형적인 난방능력 곡선은 첫 번째 사이클과 같다. 두 번째와 세 번째 사이클의 초기 난방능력이 첫 번째 사이클과 달리 일시적으로 정점(peak)을 보이는 이유는 제상운전으로 서리가 녹는 동안 히트펌프 주변 공기의 습도가 국부적으로 높고 또 서리가 녹아 생성된 물이 열교환기 표면에 남아 있다가 난방운전 초기에 일시적으로 추가열원의 역할을 하기 때문이다.

장치 가동 후 약 48분이 경과하면 열교환기 표면에 착상된 서리가 냉매의 증발을 방해하여 열교환기 표면 온도가 -8°C 이하로 1분 이상 유지되는 제상 제어 점에 이른다. 1분간 -8°C 이하로 온도가 지속되면 역사이클 운전이 시작되며 역사이클 운전 중 난방능력은 상당한 크기의 “음의 난방능력”, 즉 냉방능력으로 전환된다(역사이클 평균 난방능력 $-2,799\text{ W}$). 실내 열교환기가 공랭식인 경우 송풍팬을 정지시켜 냉풍이 실내로 유입되는 것을 방지할 수 있지만 냉온수기와 같이 부하 측 열교환기가 수랭식인 경우 냉각수 펌프를 정지시키면 열교환기 내부에 정체된 냉각수가 결빙되어 열교환기가 파손될 수 있으므로 고스란히 냉수를 발생시킬 수밖에 없다. 그러므로 에너지 절약을 위해서 오제상(mal-defrost)을 줄이는 것이 매우 중요하다. 역사이클 운전 기간 동안 실외 열교환기는 응축기로 작동하므로 응축열에 의해 서리가 제거되고 열교환기 표면 온도는 상승한다. 열교환기 표면 온도가 4°C 이상으로 1분간 유지되면 역사이클 운전이 정지(압축기 정지)되어 난방능력은 0을 향해 접근하며, 열교환기 내 냉매는 주위 공기로 열을 빼앗겨 표면온도가 서서히 감소하는 것을 볼 수 있다. 난방운전이 재가동되면 난방능력은 난방 제상능력 시험조건(건구온도 2°C , 습구온도 1°C)에서 얻을 수 있는 정격능력을 향해 급격히 증가하고 열교환기 표면온도는 반대로 급격히 감소한다. 두 번째 사이클과 세 번째 사이클에 대한 제상 사이클 작동도 첫 번째 사이클의 제상 사이클 작동 과정과 유사하게 진행된다.

Table 3은 각 사이클의 난방운전 지속시간과 제상시간을 비교한 표이다. 큰 차이를 보이는 것은 아니지만 사이클이 진행될수록 난방지속시간은 짧아졌고, 제상 소요시간은 증가하였다. 그 이유를 살펴보면 첫째, 제상 제어 점으로 설정한 -8°C 의 표면온도가 너무 낮거나 둘째, 역사이클 종료 기준인 표면온도 4°C 가 너무 낮거나 셋째, 4°C 유지시간 1분이 너무 짧거나 넷째, 흰의 친수성 코팅 상태가 좋지 않다 등을 예상할 수 있다. 첫 세 가지 이유는 제상을 충분히 하지 못했다는 것이고, 넷째 이유는 코팅에 문제가 있어 서리가 녹은 물이 열교환기로부터 잘 배출되지 못하고 표면에 잔존하다가 더욱 단단한 서리로 재착상(refrost)되어 착상조건이 악화되는 것으로 생각할 수 있다.

Table 3 Comparison of total defrosting time

No. of cycle	Duration of heating mode	Duration of defrosting mode
1 st cycle	48 min 30 sec	9 min 10 sec
2 nd cycle	46 min 20 sec	9 min 20 sec
3 rd cycle	46 min 00 sec	9 min 40 sec

3.2 출력전압

Fig. 6은 Fig. 5의 결과에 해당하는 광센서 수광부의 출력전압을 나타낸 그림이다. 광센서 회로에 사용되는 저항 크기에 따라 수광부 최대 출력 전압이 변하는데 본 실험의 경우 5 V가 되도록 하였다. Wang 등의 연구 결과를 포함 기존의 연구^(3~5)와 유사하게 초기, 반응, 안정 영역의 세 개 영역으로 출력 전압 곡선을 구분할 수 있다. 따라서 광센서 발광부와 수광부를 Fig. 2(a)와 달리 Fig. 2(b)와 같이 열교환기 전면에 나란히 설치하여도 제상제어에 이용할 수 있는 특성을 갖는 출력 곡선을 얻을 수 있음을 보여준다. 또한 제상 시작점으로 사용할 수 있는 상위 문턱전압(high threshold voltage)을 약 4.7 V, 제상 종료점으로 사용할 수 있는 하위 문턱전압(low threshold voltage)을 약 1.3 V 근처에서 설정할 수 있음을 알 수 있다. 사이클에 따른 전압곡선의 차이는 Fig. 5에서와 같이 뚜렷하게 나타나지 않으며 특히 Fig. 5의 두 번째와 세 번째 사이클에서 초기 난방능력의 정점(peak)에 해당하는 모습은 볼 수 없다.

3.3 난방능력과 출력전압 비교

온도차 제상방법으로 얻은 난방능력 곡선의 변동 주기가 광센서 출력전압의 변동 주기와 얼마나 잘 일치하는가를 살펴보기 위해 Fig. 5의 난방능력 곡선과 Fig. 6의 광센서 수광부 출력 전압 곡선을 Fig. 7에 같이 나타냈다. 온도차로 제어되는 난방능력과 광센서 출력전압의 패턴을 비교함으로써 제상 제어 수단으로서 광센서 사용 가능성을 판단할 수 있을 것이다. 장치 가동 후 시간이 경과하여 열교환기 표면에 서리가 점차 성장되면 난방능력은 서서히 감소한다. 온도차 제상방법의 경우 장치 가동 후 48분 30초, 1시간 44분, 2시간 39분 20초가 경과되는 시점에 제상 사이클이 시작되면서 난방능력이 급격하게 감소한다. 한편 수광부 출력 전압은 서리 성장과 함께 가파르게 증가하다가 장치 가동 후 48분 30초, 1시간 44분, 2시간 39분 20초에 각각 4.79 V, 4.77 V, 4.77 V를 기록한 후 제상 사이클 가동에 따라 급격히 감소하기 시작하는 것을 볼 수 있다. 따라서 4.7~4.8 V의 광센서 출력전압을 제상 제

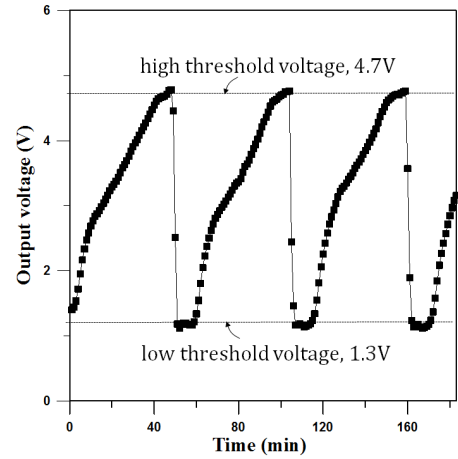


Fig. 6 Output voltage(V) as a function of time.

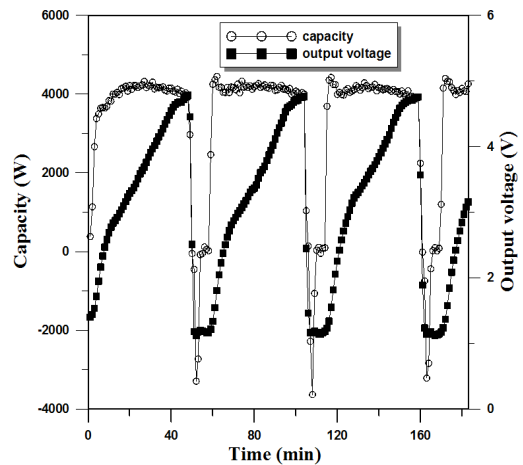


Fig. 7 Comparison of output voltage and heating capacity as a function of time.

어 신호전압(상위 문턱전압)으로 사용할 수 있다.

장치 가동 후 57분 40초, 1시간 53분 20초, 2시간 49분이 경과할 때 제상 사이클이 종료되면서 첫 번째, 두 번째, 세 번째 사이클이 각각 완료된다. 제상 사이클을 끝마치는 시점에 대응되는 출력 전압은 각각 1.17 V, 1.18 V, 1.16 V로 이보다 약간 큰 값인 1.3 V를 하위 문턱전압으로 사용할 수 있을 것이다. 따라서 제상제어 변수로 온도 대신 광센서 출력 신호 값을 사용하더라도 동일한 패턴의 난방능력 곡선을 얻을 수 있다고 말할 수 있다.

광센서 출력 전압을 제상 제어 신호로 사용할 때 출력전압의 기울기가 반응영역(response section)에 비해 상대적으로 완만한 안정영역과 초기영역에서의 출력전압 값 4.7 V와 1.3 V를 각각 상위 문턱전압과 하위 문턱전압으로 설정하여 제상 제어의 단속(on-off) 값으로 사용하면 된다. 그러나 측정 오차를 고려한다면 고

정된 두 개의 문턱전압 값만으로는 완벽하게 제상 제어를 하기는 어렵다. 예를 들어 4.7 V를 상위 문턱전압으로 설정하고 출력 전압이 이 값에 도달하면 제상 회로를 가동하도록 제상 제어 전략을 수립한 경우 측정오차범위가 $\pm 2\%$ 이면 4.6 V의 출력 전압(4.6 V에 대응되는 서리 두께)에서도 제상회로가 가동될 수 있다. 문턱전압 값 부근에서는 출력전압의 변화가 완만하기 때문에 0.1 V의 출력전압 변화라도 4~5분에 걸쳐 일어날 수 있으므로 이러한 경우 적정 제상 시작 시간보다 4~5분 일찍 제상회로가 작동할 수 있다. 같은 이유로 1.3 V의 출력전압에서 제상회로가 종료되도록 하위 문턱전압을 설정하면 역사이클 운전 중에 서리가 완전히 녹지 않았는데도 제상 사이클을 종료할 수 있다. 따라서 광센서를 제상제어 수단으로 사용하는 경우 문턱전압과 시간을 동시에 제어변수로 고려하는 것이 바람직하다.

수광부 출력전압이 상위 또는 하위 문턱전압에 도달한 후 일정시간 동안 이 값이 유지되는 경우에만 다음 제상 제어 단계로 넘어가는 방법을 생각할 수 있다. 그러나 궁극적으로는 고정 문턱전압 방식보다는 변동(floating) 문턱전압 방식을 적용하는 것이 바람직하다. 변동 문턱전압 방식은 광센서 성능변화 또는 주변 환경에 대응하여 문턱전압을 스스로 변동시키는 방법이다. 장시간 사용에 따른 광센서 성능의 자연스런 저하는 물론 먼지 등과 같은 오염물질이 부착되면 서리와 상관없이 출력신호 자체가 감소하는 등의 이유로 출력전압이 설정된 문턱전압 범위를 벗어나게 되면 오작동이 일어날 수 있다. 출력전압 절대치가 달라져도 곡선이 초기영역, 반응영역 그리고 안정영역으로 구분되는 특성을 그대로 유지한다면 변동 문턱전압 방식을 적용하여 문제를 해결할 수 있을 것이다. 변동 문턱전압 방식에 대해서는 추후 연구를 통해서 상세하게 논의하고자 한다.

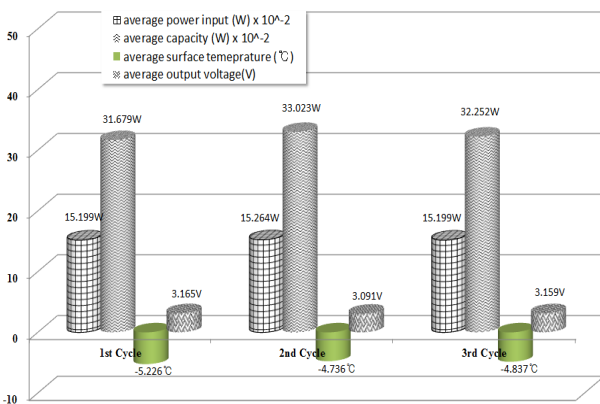


Fig. 8 Averaged power consumption, capacity, surface temperature and output voltage of the cycles.

3.4 각 사이클에서의 소비전력, 난방능력, 표면 온도 및 출력전압 비교

Fig. 8은 각각의 사이클에서 소비전력, 난방능력, 표면온도 그리고 출력전압을 사이클 평균값으로 비교한 그림이다. 사이클 평균 난방능력과 표면온도의 크기는 두 번째 사이클, 세 번째 사이클, 첫 번째 사이클 순이었으며 사이클 간 값의 차이가 분명하게 나타났다(난방능력 최대 4.2%, 표면온도 최대 0.5 K). 반면 소비전력의 경우에는 사이클에 따른 크기 차이가 작았다(최대 0.4%). 사이클 평균 출력전압 값의 경우 난방능력 또는 표면온도의 경우와는 달리 첫 번째 사이클이 가장 크고 두 번째 사이클 가장 작았으며 사이클 간 최대 2.4% 차이를 보였다. 광센서 출력전압 크기가 작다는 것은 사이클 동안 착상된 서리의 양이 적음 즉, 열저항이 작음을 의미하고 따라서 난방능력이 커진다는 결과를 그림에서 확인할 수 있다.

4. 결론

온도차 제상 제어 방법을 사용하여 얻은 시스템 특성 곡선을 열교환기 전방에 설치한 광센서를 사용하여 얻을 수 있는지를 판단하기 위해 KS C 9306⁽⁷⁾에 따른 난방 제상능력 시험조건(건구온도 2°C/습구온도 1°C)에서 실험을 수행하여 결과를 비교, 분석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 열교환기 전방에 발광부와 수광부를 함께 설치하여 발광부와 수광부를 열교환기 전방과 후방에 각각 설치하여 얻은 출력전압 곡선과 유사한 결과를 얻었다.
- (2) 온도차 제상방법의 제상주기는 광센서 제상방법의 제상주기와 잘 일치하였다.
- (3) 난방능력과 출력전압 비교(Fig. 7)로부터 출력전압이 상위문턱전압을 넘어서면 난방능력은 확연히 감소하는 경향을 보이며 따라서 제상이 요구되는 수준까지 서리층이 성장했음을 추정할 수 있다.

References

1. Wang, W., Feng, Y. C., Zhu, J. H., Li, L. T., Guo, Q. C., and Lu, W. P., 2013, Performances of air source heat pump system for a kind of mal-defrost phenomenon appearing in moderate climate conditions, Applied Energy, Vol. 112, pp. 1138-1145.
2. Wang, W., Xiao, J., Guo, Q. C., Lu, W. P., and Feng, Y. C., 2011, Field test investigation of the characteristics for the air source heat pump under two typical

- mal-defrost phenomena, *Applied Energy*, Vol. 88, No. 12, pp. 4470-4480.
3. Xiao, J., Wang, W., Guo, Q. C., and Zhao, Y. H., 2010, An experimental study of the correlation for predicting the frost height in applying the photoelectric technology, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 33, No. 5, pp. 1006-1014.
 4. Byun, J. S., Jeon, C. D., Jung, J. H., and Lee, J. H., 2006, The application of photo-coupler for frost detecting in an air-source heat pump, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 29, No. 2, pp. 191-198.
 5. Xiao, J., Wang, W., Zhao, Y. H., and Zhang, F. R., 2009, An analysis of the feasibility and characteristics of photoelectric technique applied in defrost-control, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 32, No. 6, pp. 1350-1357.
 6. Jeon, C. D. and Jung, K. S., 2011, Frost sticking sensing device and method, Patent No. 10-1085691, Korea.
 7. KS C 9306, 2002, Air conditioner.
 8. KS B 6275, 2002, Reciprocating water-chillers.