

광센서를 이용한 제상제어 방법에 대한 타당성 검토

전창덕¹, 김동선^{1*}, 이승준²

¹한국교통대학교 기계공학과, ²한국교통대학교 대학원 기계공학과

Feasibility Study on a Defrost Control Method by Using a Photoelectric Sensors

Chang-Duk Jeon¹, Dong-Seon Kim^{1*}, Seung-Jun Lee²

¹Dept. of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation,

²Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School Korea National University of Transportation

요 약 제상제어 수단으로 사용하고 있는 일정 시간 제어방식, 온도차 제어방식 등은 종종 제상 오작동과 에너지 낭비를 가져오므로 좀 더 정확하게 제상을 제어할 수 있는 방법이 요구되고 있다. 수광부와 발광부로 구성된 광센서를 실외 열교환기 전방에 설치하여 서리의 유무에 따른 출력전압의 변화를 관찰함으로써 정확하게 제상제어를 할 수 있다. 본 연구에서는 기존의 일정시간 제상 방법을 사용하는 경우 나타나는 시스템 성능 및 특성 곡선을 광센서를 사용하여 재현가능한지 판단하기 위해 KS C 9306에 따른 난방 제상능력 시험조건(건구온도 2°C/습구온도 1°C)에서 실험을 수행하였다. 실험을 통해 측정된 난방능력, 소비전력, 열교환기 표면온도와 광센서 수광부 출력전압을 비교, 분석한 결과 제상 제어수단으로 광센서의 사용 가능성을 확인하였다. 일정시간 제상방법을 통해 구한 제상 제어 단속 주기는 광센서를 통해 측정된 출력 전압의 단속 주기와 잘 일치하였다.

Abstract Conventional methods, such as the clock time control method and temperature difference control method, for defrost control often encounter mal-defrost and a waste of energy. Therefore, a more efficient method is needed to control defrosting precisely. A photoelectric sensor unit consisting of an emitter and a collector was installed in the front of outdoor heat exchanger. Accurate defrost control was performed by monitoring and using the change in output voltage according to the presence of frost. In this study, experiments were performed to determine if the performance and characteristic curves obtained using the clock time control method can be reproduced using a photoelectric sensor under the heating and defrosting capacity test condition described at KS C 9306. The output voltage of the phototransistor (receiver) and heating capacity, power consumption, and surface temperature of the outdoor heat exchanger, were compared. The results showed that photoelectric sensors can be used as a defrost control method. On-off control timing of the clock time defrosting method was in good agreement with those predicted by the output voltage of the photoelectric sensor.

Key Words : Defrosting Method, Frost, Mal-defrost Phenomena, Photoelectric Sensor

1. 서론

겨울철 난방을 목적으로 공랭식 히트펌프를 다습한 외기온도조건에서 사용하면 습공기가 노점 온도 이하의 실외 열교환기 표면을 지나가면서 수증기 일부가 열교환

기 표면에 얼어붙어 착상(frost) 현상이 일어난다. 이렇게 형성된 서리는 점차 성장하여 열교환기의 성능을 저하시키기 때문에 제상(defrost)이 요구된다. 제상은 서리 성장을 정확하게 추적, 관찰하여 최적의 시점에서 제상의 시작과 종료이 이루어질 수 있도록 제어되어야만 불필요한

*Corresponding Author : Dong-Seon Kim(Korea National University of Transportation)

Tel: +82-43-841-5125 email: dongseonkim@ut.ac.kr

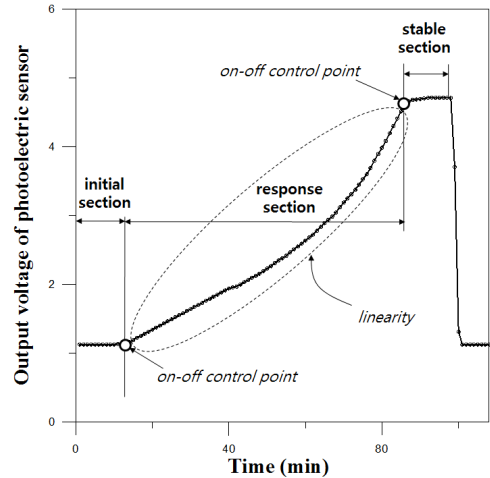
Received February 7, 2014

Revised March 25, 2014

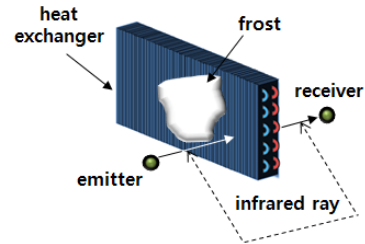
Accepted June 12, 2014

에너지 낭비를 줄일 수 있다. 현재 다양한 제상 방법과 장치[1]가 사용되고 있지만, 제상 시간 동안 난방 중지로 인한 불편함과 제상에 따른 부가적 에너지 소비 증가 등 해결해야 할 문제점들이 있다. 가장 널리 사용되고 있는 제상 제어 방법으로는 시스템 온도, 압력과 같은 시스템 변수와 상관없이 정해진 시간 주기로 제상을 반복 수행하는 일정시간 제어 방법, 실외기 배관(또는 냉매) 온도와 외기 온도 차를 이용하여 제상을 제어하는 온도차 제어 방법, 실외 열교환기 전·후 압력차를 이용하는 압력차 제어 방법 등이 있으며 보다 완벽한 제어를 목적으로 두 개 이상의 제어방법을 결합하여 사용하는 복합 제상 제어 방법(complex defrost control method)이 이용되고 있다. 그럼에도 불구하고 하고 부정확한 착상 판단으로 불필요한 제상을 수행하는 제상 오작동 현상(mal-defrost phenomena)이 빈번하게 발생한다고 보고되고 있다[2]. 이러한 오작동 현상을 방지할 수 있는 방법으로 Wang 등[3]은 광센서를 이용하는 방법을 제안하고 있다. 제상 제어 목적으로 광센서를 이용한 첫 번째 연구는 변주석 등[4]에 의해 수행되었는데 그들은 실외기 전체면적의 50% 이하, COP 감소가 15%에 도달하기 전에 제상하는 것이 가장 효과적인 제상제어전략(defrost control strategy)이라는 결과를 발표하여 광센서를 이용한 착상 감지 방법의 이용 가능성을 보였다. Wang 등[3, 5]은 Fig. 1과 같이 광센서 출력 전압곡선을 세 개의 영역, 즉 초기단계(initial section), 반응단계(response section) 그리고 안정화단계(stable section)로 구분할 수 있으며 또한 단속(on-off)과 선형성(linearity)이라는 두 개의 특징을 갖기 때문에 직접적으로 서리 높이를 정확하게 측정할 수 있다고 주장하였다. 그러나 기존의 연구에서는 발광부와 수광부를 Fig. 2에서와 같이 열교환기를 가운데 두고 서로 마주보는 형태로 설치하였기 때문에 센서 정렬에 많은 주의를 기울여야 하고 핀(fin)이 조밀하고 관열(tube row)이 많을수록 센서의 감도가 감소하는 단점이 존재한다. 본 연구에서는 기존의 제상 제어 장치처럼 광센서를 제상제어 수단으로 사용하는 경우 신뢰할만한 결과를 얻을 수 있는 지 여부를 판단하기 위해 일정시간 제어 방법으로 작동하는 히트펌프 시스템에 광센서를 부가적으로 설치하여 소비전력, 난방능력 그리고 실외 열교환기 표면 온도와 광센서 수광부의 출력 전압을 동시에 측정하여 그 거동을 비교하고자 한다. 일정 시간 주기로 제상을 수행할 때 나타나는 시스템 변수의 패턴

(pattern) 변화가 광센서 출력전압의 패턴 변화와 얼마나 일치하는가를 확인함으로써 제상제어 수단으로서의 광센서 사용 가능성을 판단할 수 있다.



[Fig. 1] Typical output voltage curve of photoelectric sensor according to the frost thickness



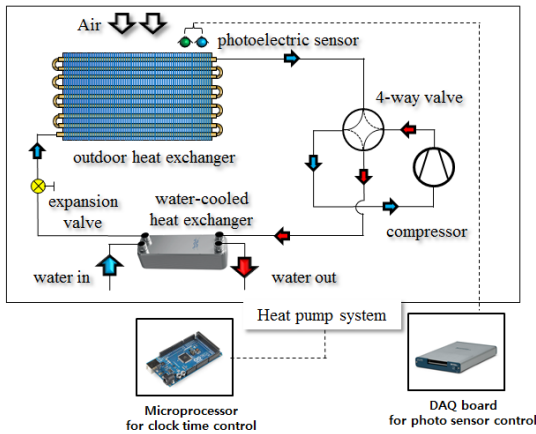
[Fig. 2] Location of photoelectric sensors installed in case of the previous studies

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험 장치의 전체적인 구성은 Fig. 3과 같다. 사용된 히트펌프 냉온수기는 표준난방(건구온도 7°C/습구온도 6°C) 조건에서 5,200W의 정격난방능력을 갖는다. 부하 측 열교환기로는 2HP급의 판형 열교환기(plate heat exchanger)를 사용하였으며, 열원 측 열교환기는 가로, 세로, 폭이 각각 660mm, 400mm, 70mm인 3열, 9-pass 구조의 공랭식 열교환기를 사용하였다. 주요 제원은 Table 1과 같다. 실외 열교환기의 표면온도를 측정하기

위해 정밀도 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 인 K-형 열전대를 열교환기의 세 번째 관열 중 냉매입구부에서부터 2번째에 위치한 리턴벤드에 설치하였다. 또한 냉각수 온도 측정을 위해 정밀도 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 의 Pt100 Ω 온도센서를 수랭식 열교환기의 입구와 출구에 각각 설치하였다.

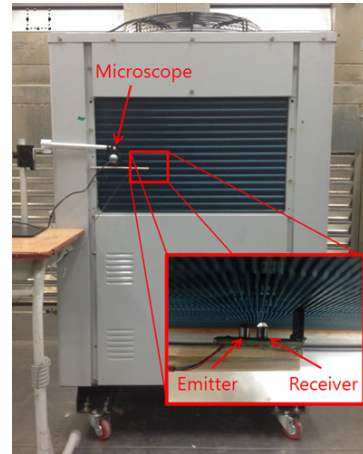


[Fig. 3] Schematic of experiment setup

[Table 1] Specification of heat exchangers

Component	Specification
Water-cooled heat exchanger	Manufacturer: Danfoss Model number : B3-052-26-3.0HQ Rated capacity : 2HP
Outdoor heat exchanger	Size: 660(L)mm*400(H)mm*70(D)mm Fin type: corrugated plate Fin material : aluminum Fin coating type: hydrophilic Fin pitch : 2.1mm Tube material: copper Tube diameter: 9.52mm Number of tube row: 3

냉각수 유량은 정밀도 $\pm 0.25\%$ 의 전자식 유량계 (electromagnetic flow meter)를 사용하여 측정하였다. 제상 주기를 정확하게 제어하기 위해 Arduino Mega 2560 마이크로컨트롤러 보드를 사용하여 시간을 제어하였다. 서리 성장에 따른 광센서 출력 전압을 측정하기 위해 발광부와 수광부를 Fig. 4와 같이 실외 열교환기 전방에 수평방향으로 나란히 설치하였다[6]. Kodenshi EL-1KL3와 ST-1KLA를 발광부와 수광부로 각각 사용하였으며 출력전압 데이터 처리는 NI USB-6343을 사용하였다. 실험은 Table 2와 같은 제원의 공기 엔탈피식 칼로리미터실에서 수행되었다.



[Fig. 4] Photo of photoelectric sensor installation

[Table 2] Specification of psychrometric calorimeter

Cooling capacity	2,000~15,000W(load)	$\pm 2\%$ accuracy
Heating capacity	2,000~18,000W(load)	
temperature range	-20~60 $^{\circ}\text{C}$	
humidity range	5%~90%RH(dew point 0 $^{\circ}\text{C}$ above)	

2.2 실험방법

외기 온도 조건은 KS C 9306[7]에 언급된 난방제상능력시험 조건(건구온도 2 $^{\circ}\text{C}$, 습구온도 1 $^{\circ}\text{C}$)에 맞추고 부하측 냉각수 입구 온도는 항온수 공급장치(constant temperature water supply system)를 사용하여 KS B 6275[8]에 언급된 40 $^{\circ}\text{C}$ 로 조절한다.

본 실험에 적합한 제상제어 전략은 다음과 같다. 시험장치를 위에 언급한 시험 조건으로 50분간 운전한 후 압축기와 송풍팬을 정지시킨다. 압축기 전원 차단 후 2분이 경과하면 사방밸브를 전환하여 역사이클 운전방법(reverse cycle operation method)으로 3분간 제상 사이클을 가동한다. 이 때 실외 열교환기는 응축기로 작동하므로 열교환기 표면에 형성된 서리가 녹게 된다. 3분간의 제상운전이 종료되면 압축기를 5분간 휴지 시킨 다음 다시 난방운전을 시작한다. 그러므로 제상 사이클에 소용되는 총 시간은 10분이 된다. 시험은 위와 같은 방법을 3번 연속해서 수행한 후 종료된다. 즉 50분 난방운전-10분 제상운전-50분 난방운전-10분 제상운전-50분 난방운전-10분 제상운전 시나리오를 따른다. 시스템 시간 제어는 앞서 언급한 Arduino Mega 2560 마이크로프로세서를 이용한다. 시험기간 동안 시스템 소비전력, 난방능력, 열교

환기 표면 온도 등을 측정하며 동시에 광센서를 사용하여 서리 두께 변화에 따른 출력전압을 위의 시스템 변수와 연계하여 측정한다.

3. 실험결과 및 고찰

광센서를 제상제어수단으로 사용하면 제상 오작동 현상을 최소화할 수 있다는 기존의 연구결과[3, 5]에도 불구하고 아직까지 광센서를 제상제어 장치로 채택하고 있는 히트펌프가 시장에 출시되지 않고 있다. 그 이유로는 10년 이상 고장 없이 사용할 수 있는 내구성은 물론 주위 빛 강도 변화와 광센서 오염에 기인하는 출력 전압 변화에 무관하게 제상 제어에 이용할 수 있는 출력 신호를 안정적으로 확보할 수 있는가에 대한 확신이 부족하기 때문이다. 따라서 히트펌프 설계자가 광센서를 제상 제어 장치로 채택하기 위해서는 타당성 검토가 충분히 이루어질 수 있도록 많은 실증적 연구 결과를 제시, 제공하는 것이 필요하다.

서리 존재 유무에 상관없이 일정 시간 간격으로 제상 사이클을 작동시키는 일정시간 제상법은 에너지 낭비가 가장 큼에도 불구하고 확실하게 제상 제어를 할 수 있기 때문에 온도차 제상법과 더불어 아직도 널리 사용되고 있다. 그러므로 광센서가 새로운 제상 제어 장치를 인정받을 수 있는 한 가지 방법은 기존 제상 제어 수단의 제상 시작점과 제상 종료점에 대응되는 출력신호 값을 새로운 제상제어 장치를 사용하여 구할 수 있는가를 보여주는 것이다.

3.1 난방능력과 소비전력

Fig. 5는 난방 제상능력 시험조건(건구온도 2℃, 습구온도 1℃)에서 시간에 대한 소비전력과 난방능력의 변화를 나타낸 그림이다. 일정시간 제상방법을 사용하는 일반적인 히트펌프에서 볼 수 있는 전형적인 패턴을 볼 수 있다. 난방운전이 시작된 후 일정시간(50분)이 경과하면 서리유무에 상관없이 제상 사이클이 가동된다. 역사이클 운전 제상 방법을 사용하였으므로 실외 열교환기는 응축기로, 부하 측 열교환기는 증발기로 작동한다. 그러므로 제상운전 기간 동안 실외 열교환기 표면에 착상된 서리를 녹일 수 있지만 난방열량 생산 또한 중단됨은 물론 상당한 양(1분 평균 -3,489W)의 냉방열량이 발생한다. 이

것이 제상 사이클이 불필요하게 작동되는 제상 오작동 현상을 최소화해야 하는 이유가 된다. 10분간의 제상 사이클 운전으로 서리를 제거한 후 다시 50분간의 난방 운전이 수행된다. 첫 번째 사이클의 난방능력 곡선과 달리 두 번째와 세 번째 사이클 초기에 난방능력이 부분적으로 증가한 것을 볼 수 있다. 이러한 원인은 제상운전 과정 동안 서리가 녹아서 발생한 물이 열교환기 표면에 잔존하다가 난방운전 시 증발이 원활하게 일어날 수 있도록 열원으로 작용하기 때문이다. 난방능력 증가에 상응하게 소비전력 또한 유사한 패턴으로 증가하는 것을 볼 수 있다.

3.2 출력전압

Fig. 6은 난방 제상능력 시험조건(건구온도 2℃, 습구온도 1℃)에서 시간에 대한 수광부 출력전압의 변화를 나타낸 그림이다. Wang 등의 연구 결과를 포함 기존의 연구[3-5]처럼 광센서 출력 전압 곡선은 초기단계, 반응단계, 안정화단계의 세 개 영역을 구분할 수 있음을 보여준다. 그러므로 광센서 발광부와 수광부를 Fig. 2와 같이 열교환기를 가운데 두고 서로 마주보는 형태로 설치하지 않고 Fig. 4와 같이 열교환기 전면에 나란히 설치하여도 Fig. 1에서 언급한 특성을 보이는 출력 곡선을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

광센서 회로에 사용하는 저항 크기에 따라 수광부 출력 전압이 달라지지만 본 실험의 경우 출력 전압은 0~5V 범위 내에서 제상 시작점으로 사용할 수 있는 약 4.7V의 상위 문턱 전압(high threshold voltage)과 제상 종료점으로 사용할 수 있는 1.3V의 하위 문턱 전압(low threshold voltage)이 형성되는 것을 알 수 있다.

3.3 난방능력과 출력전압 비교

Fig. 7은 난방능력과 광센서 수광부 출력 전압을 동시에 나타낸 그림이다. 난방능력 또는 소비전력과 출력전압의 패턴을 비교함으로써 광센서를 제상 제어 수단으로서 활용이 가능한지를 알 수 있다. 장치 가동 후 시간이 경과하여 열교환기 표면에 서리가 점차 성장되면 난방능력은 서서히 감소한다. 50분 일정시간 주기 제상방법의 경우 장치 가동 후 50분이 경과되는 시점에서 제상 사이클이 시작됨으로 난방능력이 급격하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 한편 수광부 출력 전압은 서리 성장과 함께 가파르게 증가하다가 4.7V로 넘어서는 45분 이후부터 완만

하게 증가한다. 제상 사이클이 작동하는 50분 이후에는 서리가 녹기 시작하기 때문에 서리에 반사되어 수광부로 들어오는 빛의 양이 큰 폭으로 감소하여 출력전압이 급격하게 감소한다. 즉 난방능력의 급격한 감소와 광센서 수광부 출력전압의 급격한 감소가 동시에 발생한다. 그러므로 제상 시작을 알리는 시스템 제어 변수로 시간 대신 광센서 출력 신호 값을 사용하더라도 동일한 난방능력 곡선을 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 마이크로프로세서에 입력된 프로그램에 따라 제상 시작 후 10분이 경과하면 제상 사이클이 종료되고 난방운전을 시작한다. 그러므로 난방능력은 시간에 따라 빠르게 증가한다. 한편 광센서 수광부 출력전압은 역사이클 운전이 작동되는 기간 동안(제상 사이클 시작 후 2~5분 사이)에 1.3V 값에 도달하며 이후 난방운전이 시작될 때까지 큰 변화 없이 일정하게 유지된다.

이러한 결과로부터 시간에 대한 출력전압의 기울기가 반응단계(response section)에 비해 상대적으로 작은 두 영역에서의 출력 전압 값 4.7V를 상위 문턱전압으로, 1.3V를 하위 문턱전압으로 설정하여 제상 제어의 단속(on-off) 값으로 사용할 수 있다.

그러나 측정 오차를 고려한다면 고정된 두 개의 문턱전압 값만으로는 완벽하게 제상 제어를 할 수 없다. 예를 들어 4.7V를 상위 문턱전압으로 설정하고 출력 전압이 이 값에 도달하면 제상회로를 가동하도록 제상 제어 전략을 수립한 경우 측정오차범위가 $\pm 2\%$ 이면 4.6V의 출력전압(4.6V에 대응되는 서리 두께)에서도 제상회로가 가동될 수 있다. 문턱전압 값 부근에서는 출력전압의 변화가 완만하기 때문에 0.1V의 출력전압 변화라도 4~5분에 걸쳐 일어날 수 있으므로 이러한 경우 적정 제상 시작 시간보다 4~5분 일찍 제상회로가 작동하는 것이 된다. 유사하게 1.3V의 출력전압에서 제상회로가 종료되도록 하위 문턱전압을 설정하면 역사이클 운전 중에 서리가 완전히 녹지 않았는데도 제상 사이클을 종료할 수 있다.

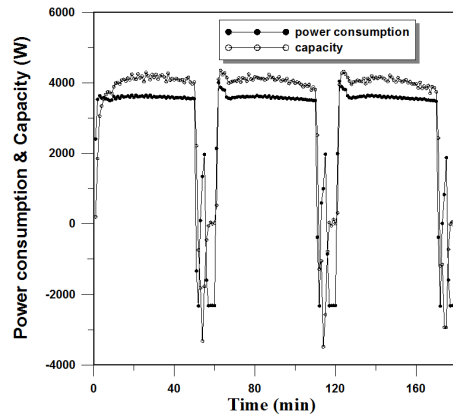
따라서 문턱전압을 고정하는 방식으로 광센서를 제상 제어 수단으로 사용하는 경우 문턱전압과 시간을 제어변수로 고려해야 한다. 광센서 수광부 출력전압이 상위 또는 하위 문턱전압에 도달한 후 일정시간 동안 이 값이 유지되는 경우에만 다음 제상 제어 단계로 넘어가는 전략이 수립되어야 한다.

그러나 궁극적으로 제상 제어 수단으로 광센서를 이용하기 위해서는 고정 문턱전압 방식보다는 유동 문턱전

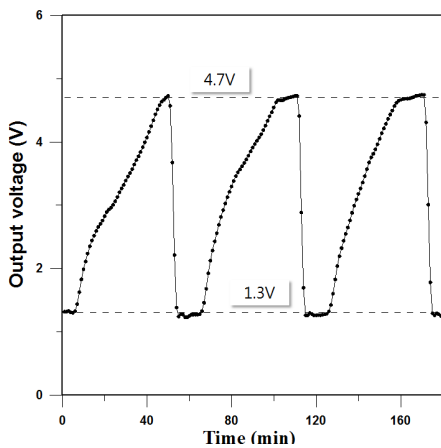
압 방식을 적용하는 것이 바람직하다. 장시간 히트펌프를 사용하면 광센서의 성능도 자연스럽게 저하 되고 또한 먼지 등과 같은 이물질이나 오염물질이 부착되면 출력신호가 많이 감소할 것이다. 따라서 이러한 요인으로 인해 출력전압 값이 설정된 문턱전압 범위를 벗어나게 된다면 오제상 현상이 발생할 것이다. 유동문턱전압방식은 광센서 성능변화 또는 주변 환경에 대응하여 문턱전압을 스스로 변화시켜가는 방법이다. 광센서의 성능변화나 주변 환경이 달라져도 광센서 출력전압 곡선이 초기 단계, 반응단계 그리고 안정화단계로 구분되는 특성을 보인다면 유동문턱전압방식을 적용하는데 문제가 없을 것이다. 유동문턱전압방식에 대해서는 추후 연구를 통해서 상세하게 논의하고자 한다.

3.4 표면온도와 출력전압 비교

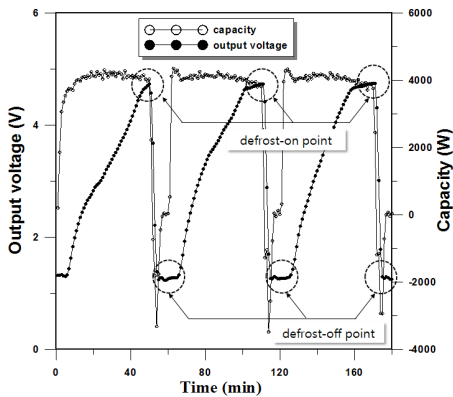
Fig. 8은 앞서 언급한 것처럼 열교환기의 세 번째 관열 중 냉매입구부에서부터 2번째에 위치한 리턴벤드 표면온도와 광센서 수광부 출력 전압을 동시에 나타낸 그림이다. 서리가 성장하면 열교환기 증발능력이 감소하기 때문에 냉매의 온도는 점차 낮아지므로 리턴벤드 온도 또한 시간이 경과할수록 강하하는 경향을 보인다. 온도차 제상 방법에서는 이와 같은 열교환기 표면온도 변화를 이용하여 제상 제어를 한다. 일정시간 제상방법 시나리오(50분 난방운전-10분 제상운전)에 따라 표면온도와 광센서 출력전압 역시 같은 주기 패턴으로 변하는 것을 볼 수 있다. 따라서 앞 절에서 설명한 난방능력과 출력전압 곡선처럼 표면온도와 출력 전압 곡선 또한 동일한 제상 제어 단속(on-off) 주기 하에서 변화하고 있음을 알 수 있다.



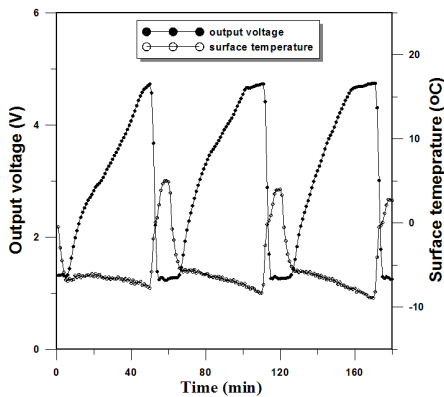
[Fig. 5] The variation of heating capacity & power consumption as a function of time



[Fig. 6] The output voltage(V) variation of receiver (phototransistor) as a function of time



[Fig. 7] The comparison of output voltage and heating capacity as a function of time



[Fig. 8] The comparison of output voltage and surface temperature as a function of time

4. 결론

기존의 일정시간 제상 방법을 사용하는 경우 나타나는 시스템 성능 및 특성 곡선을 광센서를 사용하여 재현 가능한지 판단하기 위해 KS C 9306에 따른 난방 제상능력 시험조건(건구온도 2°C/습구온도 1°C)에서 실험을 수행하여 난방능력, 소비전력, 열교환기 표면온도를 광센서 수광부 출력전압과 비교, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 광센서의 발광부와 수광부 모두를 열교환기 전방에 설치한 경우에도 열교환기를 가운데 두고 서로 마주보는 형태로 발광부와 수광부를 설치하는 경우와 유사한 출력 전압 곡선을 얻을 수 있었다.
- (2) 일정시간 제상방법을 통해 구한 난방능력 및 표면온도 곡선의 제상 제어 단속 주기는 광센서를 통해 측정된 출력 전압의 단속 주기와 잘 일치하였으며 따라서 광센서를 제상제어 수단으로 사용할 수 있는 가능성을 확인하였다. 그러나 광센서 수광부 출력전압과 시간을 제상 제어 변수로 함께 고려해야만 정확하게 제상제어를 할 수 있다.
- (3) 제상회로 단속을 위해 사용되는 문턱전압 값을 고정하는 경우 오제상 현상이 발생할 수 있기 때문에 향후 유동 문턱전압 방식을 적용한 추가 실험을 통해 방법의 신뢰성을 확실하게 구축하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] W. Wang, Y.C. Feng, J.H. Zhu, L.T. Li, Q.C. Guo, W.P. Lu, "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, 2013.,
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.12.054>
- [2] W. Wang, J. Xiao, Q.C. Guo, W.P. Lu, Y.C. Feng, "Field test investigation of the characteristics for the air source heat pump under two typical mal-defrost phenomena", *Applied Energy*, Vol. 88, pp.4470-4480, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.047>
- [3] J. Xiao, W. Wang, Q.C. Guo, Y.H. Zhao, "An experimental study of the correlation for predicting the frost height in applying the photoelectric technology", *Int. J. of*

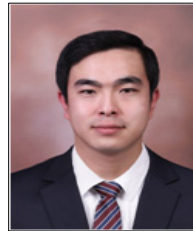
Refrigeration, Vol. 33, pp.1006-1014, 2010.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2010.03.002>

- [4] J.S. Byun, C.D. Jeon, J.H. Jung, J. Lee, "The application of photo-coupler for frost detecting in an air-source heat pump", Int. J. of Refrigeration, Vol. 29, pp.191-198, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2005.06.008>
- [5] J. Xiao, W. Wang, Y.H. Zhao, F.R. Zhang, "An analysis of the feasibility and characteristics of photoelectric technique applied in defrost control", Int of Refrigerations, Vol. 32, pp.1350-1357, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2009.02.014>
- [6] C.D. Jeon, K.S. Jung "Frost sensing device and method", Korean Intellectual Property Office, Patent No. 10-1085691
- [7] KS C 9306, Air conditioner, 2002.
- [8] KS B 6275, Reciprocating water-chillers, 2002.

이 승 준(Seung Jun Lee)

[정회원]



- 2014년 2월 : 한국교통대 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : ㈜오택캐리어

<관심분야>

컴팩트 열교환기, 냉동시스템

전 창 덕(Chang-Duk Jeon)

[정회원]



- 1985년 2월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 2월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1985년 3월 ~ 1992년 4월 : 현대모비스 마북리연구소 연구원
- 1995년 9월 ~ 현재 : 한국교통대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

냉동 및 공기조화, 열교환기 설계, 히트펌프

김 동 선(Dong-Seon Kim)

[정회원]



- 1993년 2월 : 고려대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2007년 9월 : Delft University of Technology (공학박사)
- 2005년 7월 ~ 2009년 8월 : Senior Scientist, Austrian Institute of Technology
- 2009년 9월 ~ 현재 : 한국교통대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

열 및 물질전달, 흡수(작) 냉동, 컴팩트 열교환기