

## 광센서를 이용한 서리높이 예측 상관식 개발

전창덕\*

<sup>1</sup>한국교통대학교 기계공학과

# A Development of the Correlation for Predicting the Frost Height in Applying Photoelectric Sensors

Chang-Duk Jeon<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation.

**요약** 본 연구에서는 KS C 9306에 따른 난방 제상능력 시험조건(건구온도 2°C/습구온도 1°C)에서 확대모형이 아닌 실제 열교환기의 전방에 디지털 현미경과 광센서의 발광부와 수광부를 나란히 설치하여 광센서 출력전압과 서리 높이간의 연관성을 규명하기 위한 실험을 수행하였다. 150개의 실험 데이터로부터 서리높이를 예측할 수 있는 선형 상관식을 개발하여 계산한 결과, 측정값의 54%가 상관식으로 예측한 값의  $\pm 10\%$  이내에서 일치하였으며 서리 높이가 0.3mm 이상의 실험데이터에서는 데이터의 90% 이상이  $\pm 10\%$  이내에서 일치하였다. Xiao 등의 상관식과 비교하였을 때 출력전압 변화에 따른 서리 높이의 변화를 나타내는 기울기는 2.3% 오차 범위에서 일치하였으나 Xiao 등의 상관식은 실제 열교환기가 아닌 모사 열교환기를 사용한 이상적인 조건에서 개발되었기 때문에 절편 값에서는 큰 차이를 보였다.

**Abstract** In this study, experiments were conducted to investigate the correspondence between the output voltage of the photoelectric sensor and the frost height under heating and defrosting capacity test condition (dry bulb temperature 2°C, wet bulb temperature 1°C) described at KS C 9306, where a real heat exchanger was used as a test rig instead of a large-scale model. A digital microscope and a photoelectric sensor unit consisting of an emitter and a transistor (receiver) were installed in the front of it. A linear correlation is proposed to predict the frost height based on 150 experimental data, approximately 54% of the measured data are consistent with the predicted frost heights within a relative deviation of  $\pm 10\%$ , it yields good agreement with 90% of the measured data when the frost height larger than 0.3mm with in a relative deviation of  $\pm 10\%$ . Compared with Xiao's correlation, the slope namely, the change of frost height in accordance with the change of output voltage is consistent within the error of 2.3%. But vertical intercept shows big difference with Xiao's correlation, because it was developed with a large scale model instead of a real heat exchanger.

**Keywords** : Correlation, Defrosting, Frost, Frost Height, Photoelectric Sensor

### 1. 서론

공랭식 히트펌프를 사용하여 난방을 하는 경우 외기가 실외 열교환기를 통과할 때 공기 중에 포함되어 있는 수증기 일부가 열교환기 표면에 얼어붙는 착상(frost)이 일어난다. 열교환기 표면에 형성된 서리는 공기와 냉매

사이의 열저항 및 공기 유동 저항을 증가시켜 난방 능력과 효율의 감소를 초래하기 때문에 주기적으로 서리를 제거하는 제상운전이 요구된다. 가장 일반적인 제상 방법인 역사이클 운전을 사용하여 제상하는 경우 제상 기간 동안 난방이 중단되기 때문에 착상을 최대한 억제하거나 지연시켜 제상운전 시간과 회수를 가능한 한 줄이

\*Corresponding Author : Chang-Duk Jeon(Korea National Univ. of Transportation)

Tel: +82-43-841-5134 email: cdjeon@ut.ac.kr

Received July 17, 2015

Revised August 6, 2015

Accepted October 8, 2015

Published October 31, 2015

는 것이 요구된다. 제상을 제어하는 방법으로는 설정된 시간 주기로 제상을 수행하는 일정시간 제어방법, 실외기 냉매 온도와 외기 온도 차를 이용하는 온도차 제어방법 그리고 실외 열교환기 공기측 압력차를 이용하는 압력차 제어방법 등이 있다. 정확한 제상 제어를 원하는 경우 두 개 이상의 제어방법을 결합한 복합 제상 제어방법 (complex defrost control method)을 사용하기도 한다. 그러나 서리 형성에 영향을 미치는 공기 온도, 공기 상대습도, 공기속도, 공기청정도, 열교환기 표면온도 및 표면물성치를 포함하는 여섯 개의 인자를 감시하여 제상 제어를 하는 것은 매우 어렵게 때문에 실제 냉동시스템에서는 제상 오작동 현상(mal-defrost phenomena)이 빈번하게 발생한다고 보고되고 있다[1].

변주석 등[2]은 최초로 제상 제어 수단으로 광센서를 이용한 연구를 수행하였다. 그들은 서리 성장 정도를 감지하여 실외기 전체면적의 50% 이하, COP 감소가 15%에 도달하기 전에 제상을 시작하는 것이 가장 효과적이라고 주장하였다. 또한 서리 두께를 측정하기 위한 다양한 방법의 연구가 수행되었는데 Besant 등[3]과 Mao 등[4]은 레이저 빔과 광도계를 사용하여 서리 두께를 측정하였다. Liu 등[5]은 서리두께를 측정하기 위한 수단으로, Kwon 등[6]은 서리층의 구조를 관찰하기 위한 방법으로 현미경 영상 수집 장치(microscopic image collection system)를 사용하였다. Na와 Webb[7]은 마이크로미터를 사용하여 냉각면 위에서의 서리 성장을 측정하고 수치 해석 모델과 비교하였다.

최근 들어 Xiao 등[8]과 Wang 등[9]은 제상제어 수단으로 광센서를 사용하는 것이 제상 오작동 현상을 방지할 수 있는 최상의 방법이며 광센서 출력 전압곡선을 사용하여 효과적인 제상 제어 전략을 수립할 수 있다고 주장하였다. 그러나 그들의 연구에서는 발광부와 수광부를 Fig. 1(a)에서와 같이 열교환기를 가운데 두고 서로 마주보는 형태로 설치하였기 때문에 센서 정렬에 많은 주의를 기울여야 함은 물론 핀(fin)이 조밀하고 관열(tube row)이 많을수록 센서의 감도가 감소하여 측정이 어려워지는 단점이 존재한다. 또한 확대모형을 서리측정용 열교환기로 사용하였기 때문에 히트펌프에 사용되는 실제 열교환기 형상과는 많은 차이가 있다. Jeon 등[10]은 일정시간 주기 제상법을 광센서를 이용한 제상법과 비교하여 일정시간 주기 제상법의 제상주기와 광센서 제상법의 제상주기가 잘 일치함을 보임으로서 광센서 제상법의

타당성을 검증하였다.

본 연구에서는 Fig. 1(b)에서와 같이 발광부와 수광부를 열교환기 전방에 나란히 설치[11]하여 센서 정렬이 주는 불편함을 해소하고, 확대모형이 아닌 실제 열교환기를 사용하여 착상된 서리 성장에 따른 광센서의 출력 전압을 측정하였다. 측정된 출력전압의 값으로부터 서리 높이를 예측할 수 있는 상관식을 도출하였으며 기존의 상관식과 비교, 검토하였다.

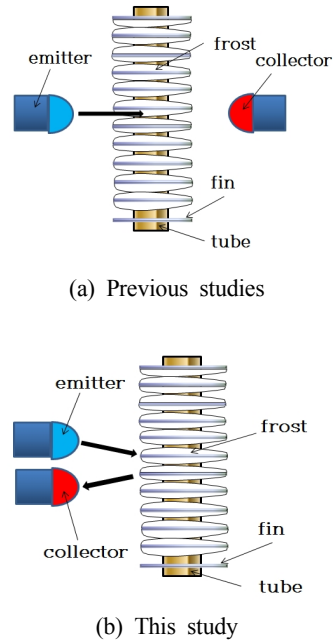


Fig. 1. Location of photoelectric sensors

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

실험 장치의 전체적인 구성은 Fig. 2와 같다. 표준난방(건구온도 7°C/습구온도 6°C) 조건에서 5.2kW의 정격 난방능력을 갖는 공기열원 히트펌프 냉온수기를 사용하였다. 서리가 생성되는 실외 열교환기는 가로, 세로, 폭이 각각 660mm, 400mm, 70mm인 3열, 9패스 구조이며 주요 제원은 Table 1과 같다.

시험 기간 동안 열교환기 표면에 형성되는 서리의 성장 및 제상되는 모든 과정을 Dino-Lite사 디지털 현미경을 사용하여 촬영, 기록하였으며 Table 2에 주요 제원을

표시하였다. 또한 제상 시작과 종료 시점을 제어하기 위해 Arduino Mega 2560 마이크로컨트롤러 보드를 사용하였다. 열교환기에 착상된 서리의 높이를 광센서 출력 전압으로 나타내기 위해 발광부(Kodenshi사, EL-1KL3)와 수광부(Kodenshi사, ST-1KLA)를 열교환기 전방에 수평방향으로 나란히 설치하였으며, 광센서 출력전압은 NI USB-6343 데이터 수집장치를 사용하여 처리하였다. 발광부에 전원이 공급되면 발광부는 적외선을 발광한다. 열교환기에 서리가 착상되어 있지 않은 경우 열교환기 표면에 반사되어 수광부로 들어오는 적외선 량은 Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 매우 적고 따라서 수광부 출력 전압도 작은 값이 된다. 서리가 형성되어 성장하기 시작하면 Fig. 3(b)에 도시한 것처럼 열교환기 표면에서 반사되어 수광부로 들어오는 적외선 량이 증가하기 때문에 수광부 출력 전압 또한 상승한다. Fig. 3(c)에서와 같이 서리가 더욱 성장 발달하면 대부분의 적외선은 열교환기를 통과하지 못하고 열교환기에서 반사되어 수광부로 유입되며 수광부 출력 전압은 최대 출력 전압 값에 근접한다. 그러므로 이러한 현상으로부터 열교환기에 착상된 서리량, 즉 서리 높이를 광센서 출력 전압으로 표현하는 것이 가능하다.

실험은 Table 3과 같은 제원의 공기 엔탈피식 칼로리 미터실에서 수행함으로써 열교환기 표면에 형성되는 서리의 성장, 발달이 일관성 있게 재현될 수 있도록 환경을 조성하였다.

## 2.2 실험방법

열교환기에 서리가 착상되어 성장, 발달할 수 있는 조건을 조성하기 위해 KS C 9306[12]에 규정된 난방제상 능력 시험조건(외기 건구온도 2℃, 외기 습구온도 1℃)을 적용하였으며 냉각수 입구 온도는 항온수 공급장치를 사용하여 KS B 6275[13]에 명시된 40℃로 조절하였다.

본 실험에서는 일정시간 주기 제상법을 사용하여 착상 및 제상을 제어하였는데[10] 일정시간 주기 제상법의 시나리오는 다음과 같다. 시험 시작 후 50분이 경과하면 실제 착상 유무에 관계없이 압축기와 송풍팬을 정지시킨다. 압축기 정지 후 2분이 경과하면 사방밸브(4-way reversing valve)의 유로 방향을 바꿔 역사이클 운전방법(reverse cycle operation method)으로 제상 사이클을 작동시킴으로써 열교환기 표면에 형성된 서리를 제거한다. 제상운전을 3분간 수행한 후 다시 압축기 전원을 차단하

여 5분간 압축기를 휴지시킨 다음 난방운전을 재시작함으로써 일정주기 제상법의 시나리오를 완성한다. 그러므로 총 10분의 시간이 제상 사이클에 소요된다. 모든 실험은 위와 같은 일정시간 주기 제상 시나리오를 3번 연속해서 반복 수행한 후 종료된다. 서리높이는 디지털 현미경을 사용하여 시험 전구간 동안 1분단위로 촬영하며 촬영된 디지털 영상은 컴퓨터 저장장치에 디지털 영상으로 저장한 후 Dino-Lite사에서 제공하는 DinoCapture 2.0 소프트웨어와 CAD 프로그램을 사용하여 Fig. 4와 같이 측정하였다.

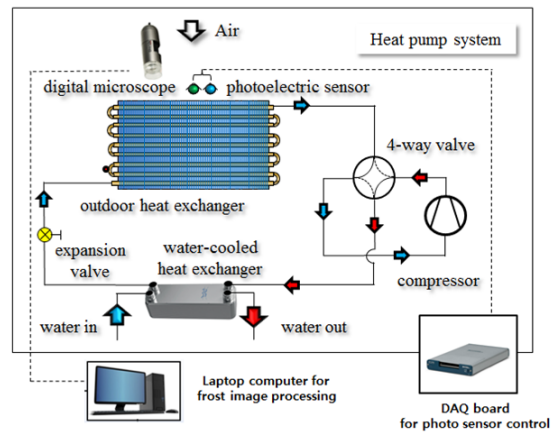


Fig. 2. Schematic of experiment setup

Table 1. Specification of outdoor heat exchangers

Size(mm)	660(L)x400(H)x70(D)
Fin Type	corrugated plate
Fin material	aluminum
Fin coating	hydrophilic
Fin pitch(mm)	2.1(12FPI)
Tube material	copper
Tube outside diameter(mm)	9.52
Number of tube row	3

Table 2. Specification of digital microscope

Interface	USB 2.0
Resolution	1.3M pixels (SXGA)
Magnification rate	20x-50x, 200x
Sensor	Color CMOS
Frame rate	Up to 30fps
Measurement function	Yes

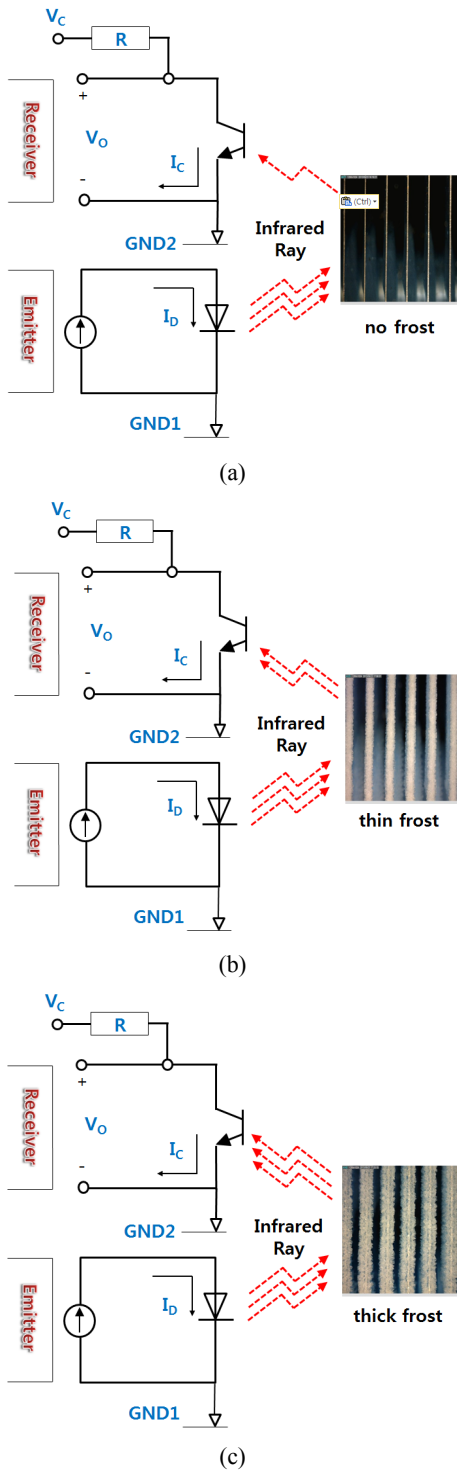


Fig. 3. Principle of Photoelectric technology (a) no frost (b) thin frost (c) thick frost

Table 3. Specification of psychrometric calorimeter

Cooling capacity	2,000~15,000W	±2% accuracy
Heating capacity	2,000~18,000W	
temperature range	-20~60℃	±0.2% accuracy
humidity range	5%~90%RH	±3% accuracy

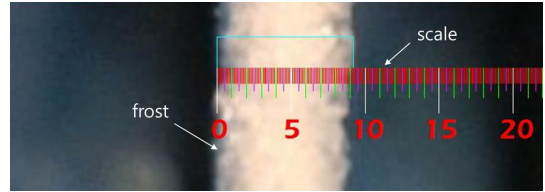


Fig. 4. Measurement of frost height

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 운전시간과 서리성장 모습

Fig. 5는 착상조건에서 열교환기 흰 표면에 형성되는 서리의 모습을 운전시간에 따라 촬영한 사진이다. 난방을 목적으로 히트펌프를 운전할 때 실외 열교환기는 증발기로 작동하기 때문에 냉매 증발에 필요한 열을 외기로부터 용이하게 흡수할 수 있도록 실외 열교환기를 통과하는 냉매의 증발 온도를 외기 온도보다 8~10℃정도 낮게 제어한다. 습기가 많은 외기가 차가운 열교환기 표면과 접촉을 하게 되면 공기 중에 포함된 수분이 응축하여 서리 결정(핵)이 열교환기 표면에 형성되기 시작한다. 난방운전이 지속되면 서리 결정끼리 상호 간섭을 통해 서리층이 3차원으로 성장하는 서리층 성장기에 도달하여 점차 서리층이 발달함으로써 서리가 두꺼워진다[14].

서리가 전혀 생성되지 않은 시점(히트펌프 운전 시작 시간)의 열교환기 모습을 나타낸 Fig. 5(a)에서부터 50분 주기 제상이 시작되는 시점인 Fig. 5(g)까지의 이미지를 통해 서리가 지속적으로 성장해 가는 모습을 볼 수 있다. 또한 제상 시작 직전보다 압축기에서 토출된 고온 냉매가 열교환기에 공급되어 제상이 시작된 지 1분이 경과한 시점의 서리 모습을 나타낸 Fig. 5(h)를 보면 응축열에 의해 열교환기 표면과 접촉하고 있는 서리가 녹아서 투명해지기 때문에 보다 명확하게 서리 결정 모습을 관찰할 수 있다.

Fig. 5(j)는 제상사이클이 종료된 시점의 열교환기 표면에 대한 이미지로 히트펌프 운전이 시작된 Fig. 5(a)의

이미지처럼 서리가 완전히 제거된 모습을 볼 수 있다.

$$H = 0.13708U - 0.21468 \quad (1)$$

### 3.2 출력전압과 표면온도

Fig. 6은 수광부 출력전압과 열교환기 표면 온도 변화를 나타낸 그림으로 사이클에 따른 변화를 쉽게 비교할 수 있도록 3개의 사이클을 겹쳐서 표시하였다. 열교환기 표면 온도는 앞선 연구[10]에서와 같이 열교환기 세 번째 관열 중 바닥에서 2번째에 위치한 리턴벤드(return bend)에서 측정하였다.

첫 번째 사이클에 대한 광센서 출력 전압 곡선은 두 번째 및 세 번째 사이클 곡선과 확연히 구분되는 모습을 보이고 있다. 첫 번째 사이클 출력전압은 두 번째 및 세 번째 사이클 곡선보다 사이클 전구간에 걸쳐 약 0.5V 정도 낮게 측정되었는데 그 원인으로는 첫 번째 사이클의 경우 열교환기가 완전한 건표면 상태에서 서리가 생성되기 시작하는데 반해 두 번째 사이클부터는 착상-제상 사이클이 한 번 이상 수행된 상태로서 열교환기 표면 상태가 서리의 성장, 발달에 상대적으로 좋은 조건을 유지하고 있기 때문으로 판단된다. 또한 시스템이 안정화된 구간(10~50분)에서 각 사이클의 표면온도 곡선은 출력전압의 경우와는 달리 매우 비슷한 양상을 보이고 있다. 이로부터 출력전압으로는 사이클에 따른 상대적인 서리 성장 정도를 판단하는 것이 가능하지만 표면 온도로는 변별력이 없다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 이러한 분석을 뒷받침할 수 있는 실험 결과로서 시간에 따른 서리 높이를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 출력전압 곡선의 경향과 유사하게 첫 번째 사이클의 서리 높이는 두 번째 및 세 번째 사이클의 서리 높이보다 낮게 측정되었으므로 서리 높이와 출력전압 거동 사이에는 유사성이 존재함을 확실하게 알 수 있다. 그러므로 광센서 출력전압으로 서리 높이 예측이 가능하다는 사실을 다시 한 번 설명할 수 있다.

### 3.3 서리높이 상관식

Fig. 8은 광센서 출력전압과 서리 높이의 상관 관계를 나타낸 그림으로 출력전압과 서리 높이 간의 상관식을 수립하기 위해 150개의 데이터를 기초로 서리높이(H)와 출력전압(U)의 선형적 상관식을 최소자승법을 사용하여 아래와 같은 상관식 (1)을 얻었으며 표준편차  $\sigma$ 는 0.1433이다.

Xiao 등[15]의 연구에서 언급된 바와 같이 초기 단계에서 서리가 랜덤하게 형성되기 때문에 편차가 가장 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 실험데이터의 54%만이 상관식으로 예측한 값의  $\pm 10\%$  안에 포함되므로 상관 정도가 약하다고 생각할 수도 있으나 편차가 크게 나타나는 데이터의 대부분은 제상시점 결정에 사용하지 않는 서리 발생 초기 값들이다. 제상시점 판단에 이용할 목적으로 지속적인 모니터링이 요구되는 서리 높이를 0.3mm 이상으로 선정하면 실험데이터의 90% 이상이 상관식으로 예측한 값의  $\pm 10\%$  범위 안에 들어오기 때문에 본 연구에서 제시한 상관식을 사용하여 제상시점의 서리 높이를 비교적 정확하게 예측할 수 있다.

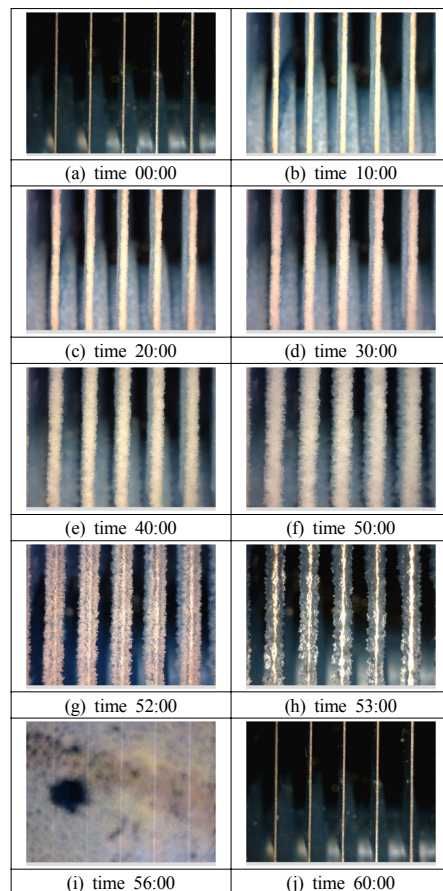


Fig. 5. Images of frost accumulation on the heat exchanger. Defrosting cycle starts at time 50 min and finishes at time 60 min



### 3.4 상관식 검증

광센서 출력전압의 값으로 서리 높이를 예측하기 위해 Xiao 등[15]이 제시한 상관식은 식(2)와 같다. 본 연구에서 제시한 상관식 (1)과 비교해보면 기울기 차이는 약 2.3% 정도로 비교적 잘 일치하지만 절편은 상대적으로 큰 차이를 보이고 있다.

$$H = 0.14036U - 0.00155 \quad (2)$$

Xiao 등[15]의 연구에서는 열교환기 표면에 서리가 존재하지 않는 경우, 즉 서리 높이(H)가 0인 경우 출력 전압(U) 또한 0에 근접하는데 서리가 없을 때 광센서 수광부 전압이 0이 되도록 출력보정작업을 수행하였다는 설명은 없다. 그러나 본 연구에서처럼 광센서를 사용하여 서리량 변화에 따른 출력 전압을 측정하는 경우에는 열교환기에 서리가 착상되어 있지 않더라도 출력 전압은 0이 되지 않는다. 2절의 실험 장치와 방법에서 설명하였듯이 광센서 발광부에서 발광된 적외선은 서리량이 많을수록 반사되는 양도 증가해 수광부에서 흡수가 많이 되므로 출력 전압 값 또한 증가한다. 그러나 서리가 전혀 없더라도 항상 발광된 적외선의 일부는 열교환기 표면에 반사되어 수광부로 들어오기 때문에 출력전압이 0이 되지 않는다는 이유도 있다. 이러한 이유로 인해 Xiao[15] 등이 제시한 상관식의 절편보다 큰 값을 갖게 되며 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 착상이 없는 경우 수광부의 출력전압은 1.2~1.3V 정도가 되었다.

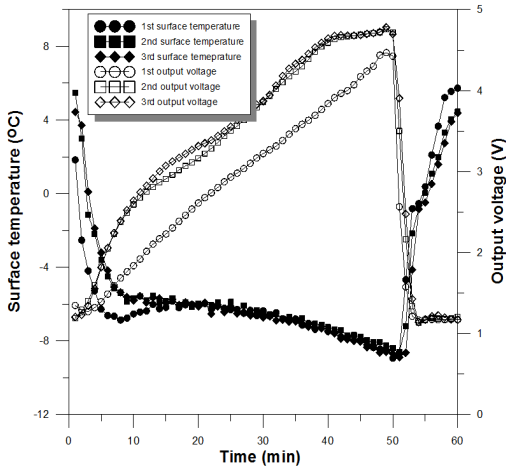


Fig. 6. The variation of surface temperature & output voltage as a function of time

Fig. 9는 본 연구에서 제시한 상관식(1)의 타당성 검증에 위해 상관식 개발에 사용한 것과 동일한 실험조건에서 추가 실험을 수행하여 얻은 실험 데이터를 상관식(1)에 적용하여 계산한 서리 높이 예측치와 비교한 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 서리가 얇게 형성된 경우 상관식을 사용하여 계산한 서리높이는 실제 측정된 서리 높이보다 과다하게 예측되었다. 서리 높이 측정값의 약 82% 정도만이 상관식을 사용하여 예측한 서리 높이 값의 ±10% 범위 내에서 일치하였지만 서리가 점차 두꺼워질수록(서리높이 0.25mm 이상) 상관식으로 계산한 값의 ±10% 범위 내에 모든 실험 데이터가 들어왔다.

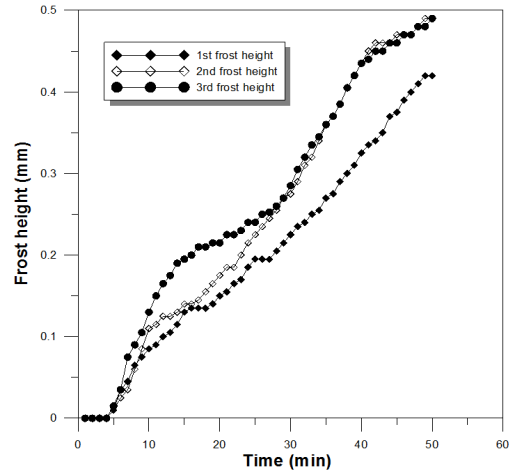


Fig. 7. Comparison of the frost height variation in accordance with the cycle

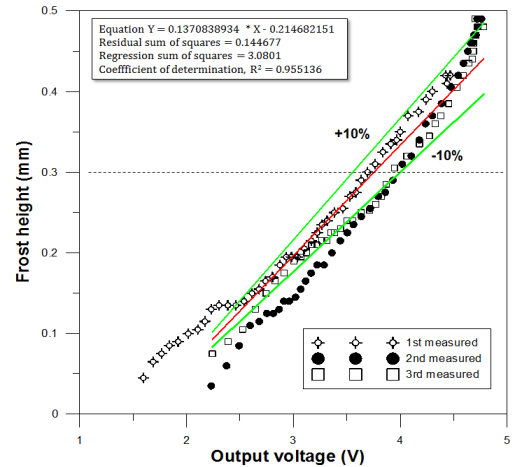


Fig. 8. Linear fit of the experimental data

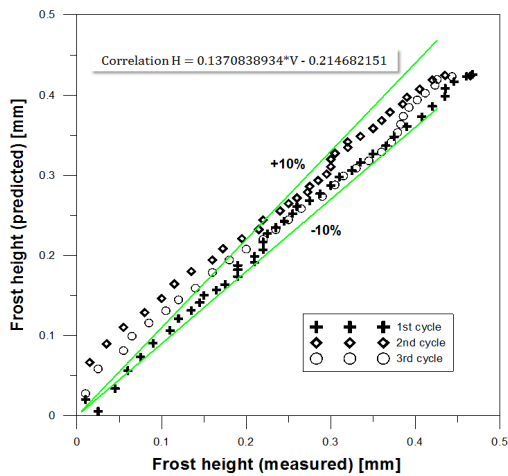


Fig. 9. Comparison of the measured and predicted frost height

#### 4. 결론

KS C 9306에 따른 난방 제상능력 시험조건(건구온도 2℃/습구온도 1℃)에서 광센서 출력전압과 서리 높이 간의 관련성을 연구하기 위한 실험을 수행하였으며 실험 결과의 비교, 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 착상-제상 사이클이 한 번 이상 수행된 표면에서의 서리 성장 속도는 건표면 상태에서의 서리 성장속도보다 빠르게 나타났다.
- (2) 광센서 수광부 출력전압의 값으로 서리 높이를 예측할 수 있는 선형 상관식을 개발하였으며 측정값의 54%가 상관식으로 예측한 값의 ±10% 이내에서 일치하였다. 그러나 서리 높이가 0.3mm 이상의 실험데이터는 데이터의 90% 이상이 ±10% 이내에서 일치하였다.
- (3) 개발된 상관식을 Xiao 등의 상관식과 비교하였을 때 출력전압 변화에 따른 서리 높이의 변화(기울기)는 비교적 잘 일치하였으나 Xiao의 상관식은 실제 열교환기가 아닌 모사 열교환기를 사용한 이상적인 조건에서 개발되었기 때문에 절편 값에서는 큰 차이를 보였다.

#### 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] 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. Journal of Refrigeration*, Vol. 29, pp. 191-198, 2006.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2005.06.008>
- [3] R. W. Besant, K. S. Rezkallah, Y. Mao, J. Falk, "Measurement of frost thickness using a laser beam and light meter", *ASHRAE Trans.* Vol. 96 (1), pp. 519-522, 1990.
- [4] Y. Mao, R. W. Besant, H. Chen, "Frost characteristics and heat transfer on a flat plate under freezer operating conditions", *ASHRAE Trans.* Vol. 99 (1), pp. 231-251, 1999.
- [5] Z. L. Liu, H. Y. Wang, X. H. Zhang, S. Meng, C. F. Ma, "An experimental study on minimizing frost deposition on a cold surface under natural convection conditions by use of a novel anti-frosting paint. Part I. Anti-frosting performance and comparison with the uncoated metallic surface", *Int. Journal of Refrigeration* Vol. 29, pp. 229-236, 2006.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2005.05.018>
- [6] J. T. Kwon, H. J. Lim, Y. C. Kwon, S. Koyama, D. H. Kim, C. Kondou, "An experimental study on frosting of laminar air flow on a cold surface with local cooling", *Int. Journal of Refrigeration* Vol. 29, pp. 754-760, 2006.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2005.12.009>
- [7] B. Na, R. L. Webb, "New model for frost growth rate", *Int. Journal of Heat Mass Transfer* Vol 47, pp. 925-936, 2004.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2003.09.001>
- [8] 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. Journal of Refrigeration*, Vol. 32, pp. 1350-1357, 2009.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2009.02.014>
- [9] 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>
- [10] C. D. Jeon, D. S. Kim, S. J. Lee, "Feasibility study on a defrost control method by using a photoelectric sensors", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society* Vol. 15, No. 6 pp. 3389-3395, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.6.3389>
- [11] C. D. Jeon, K. S. Jung "Frost sensing device and method", Korean Intellectual Property Office, Patent No. 10-1085691
- [12] KS C 9306, Air conditioner, 2002.
- [13] KS B 6275, Reciprocating water-chillers, 2002.

- [14] K. S. Lee, "Frosting and defrosting characteristics of a fin-tube heat exchanger", Vol. 41, No. 10, pp. 36-43, 2012
- [15] 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. Journal of Refrigeration, Vol. 33, pp. 1006-1014, 2010.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2010.03.002>

전 창 덕(Chang-Duk Jeon)

[정회원]



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

<관심분야>

냉동 및 공기조화, 열교환기 설계, 히트펌프