

머신러닝을 활용한 저온저장고의 제상시간 조절에 관한 연구

윤창형, 노동건

승실대학교

yoon501@hanmail.net

A study on the control of defrosting time in cold storage using machine learning

Yoon Chang Hyung, Noh dong Kun

Soongsil Univ.

요약

본 논문은 다양한 분야에서 필수 기반시설이 되어 있는 저온저장고 관리시스템을 운용하는 데 있어서 반드시 발생하는 착상과 제상에 관하여 알아보하고자 한다. 또한, 제상 작업의 시작과 동작하는 시간을 머신러닝의 시계열 데이터 분석을 통하여 예측하고 적용하고자 한다. 이를 통해 저온저장고의 환경을 최적의 상태를 유지할 수 있는 저온저장고 관리 플랫폼을 제안하고 불필요하게 발생할 수 있는 손실을 최소화하고자 한다.

I. 서론

낮은 온도로 제품을 보관하는 저온저장고는 국내에 약 150만 대 정도 설치된 것으로 추산되며, 작게는 2~3평형부터 크게는 수천 평대로 동결, 냉동, 냉장 등 온도 조건도 다양하고 보관 품목도 식자재부터 화훼류, 약품, 혈액 등 다양하다.

저온저장고 내부에 장착된 증발기(쿨러)는 바람을 순환시키기 위한 팬(FAN)과 열 교환을 위한 코일이 합쳐진 형태이다. 6~10mm 간격으로 촘촘하게 배치된 코일에는 차가운 냉매가 흐르고, 팬이 가동되어 코일 사이로 공기가 통과하며 내부의 온도가 떨어지는 원리이다.

증발기에 상이 생기는 이유는 차가운 금속(코일)에 수증기가 달라붙기 때문이다. 달라붙은 수증기는 낮은 온도로 인해 얼어붙게 되고, 누적되어 상(얼음)이 된다. 서리 형성에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 냉각면의 온도와 공기 중 습도로서, 냉각면 온도가 낮고 공기 중의 습도가 높을수록 서리층을 성장시키는 구동력이 증가하여 더 활발한 서리성장을 보인다.^[1] 상은 누적되어 저온저장고 온도를 상승시킨다. 또한, 냉각관 내부에서 액냉매가 증발하지 못하고 압축기로 유입되는 소위 액백(liquid back) 현상이 발생 되어 압축기의 고장을 초래할 수 있다. 그러므로 냉각기 전열관에 부착된 서리를 제거하는 작업, 즉 제상(defrost)이 필요하다.^[2]

전열 제상은 증발기 코일에 봉 형태의 히터가 삽입되어 직접적인 전기 히팅 방식으로 상을 녹여 제거하는 방식으로 가장 보편적인 제상 방법이다. 장점으로는 가장 저렴하고 보편화 되어 있어 유지 관리가 쉬우나, 단점으로는 낭비하는 에너지가 크고, 온도 상승 폭이 커 제품 보관 품질에 영향을 준다는 것이다.

제상 시점을 판단하는 데에는 타이머 방식과 센서 방식 사용되고 있다. 타이머 방식은 정해진 주기에 의해 정해진 시간 동안 제상 한다. 센서 방식으로는 적외선 센서, 풍량 센서, 압력 센서 등을 사용하여 제상 시점을 판단하는데 이물질과 노후화에 취약하다.^[3]

적절한 시기에 필요한 시간만큼 제상 작업을 수행하기 위하여 설정온도, 현재온도, 습도, 응축기 및 증발기 팬의 동작 시간을 데이터 수집하여 현재 온도를 예측하고 실제 온도가 예측한 온도에 도달하는데 걸리는 시간을 측정하여 착상 여부를 예측하고, 제상의 시작과 적용 시간을 조정하여 효율적인 제상을 구현하고자 한다.

II. 연구

1. 선행 연구

착상은 습공기 중에 포함된 수증기가 공기로부터 냉각면으로 이동하여 다공성의 서리층을 형성하는 것을 말한다. 착상이 일어날 때 공기와 냉각면 사이에는 온도 차로 인한 현열 전달과 수증기압 차로 인한 물질전달(수증기의 이동)이 동시에 일어난다.^[4]

증발기에서 성장한 서리는 공기 유로를 차단하여 증발기를 통과하는 공기 유량을 감소시키고, 서리층은 부가적인 열저항으로 작용하여 증발기의 성능저하를 유발한다. 착상에 따른 증발기 성능저하를 막기 위해 서리층을 녹이는 작업을 제상이라 한다.

서리성장은 크게 3단계로(결정 생성기, 서리층 성장기, 서리층 성숙기) 분류할 수 있으며, 각각 단계의 특징은 다음과 같다.

가. 결정 생성기

결정 생성기에는 공기 중의 수증기가 냉각면에 응축 후 서리 결정(핵)이 생성되는 시기이다.

나. 서리층 성장기

서리층 성장기에서는 결정 생성기에 형성된 서리 결정의 상단부에 가스가 생성되고, 결정끼리 상호간섭을 통해 서리층이 3차원으로 성장하는 기간이다. 공기 중의 수분이 다공성의 서리층 내부로 침투하여, 기동 형태의 서리 결정은 서리층으로 변화하고 서리층 밀도가 점차 증가한다.

다. 서리층 성숙기

서리층 성숙기는 열저항으로 작용하는 서리로 인해 서리층 표면 온도가 0℃ 이상으로 상승하였을 때 나타난다. 서리층 성숙기에서는 서리층 표면 일부가 융해되어 수막이 형성되고, 수막 형태의 융해수는 다공성의 서리층 내부로 침투한다. 서리층 내부로 침투한 수막으로 인해 서리층 두께는 감소하고, 서리층 밀도는 많이 증가한다. 서리층 밀도증가에 따라 열저항도 다시 감소하고, 서리층 표면 온도가 0℃ 이하로 하강하면 다시 서리가 성장한다. 이렇게 서리층으로 인한 열저항 증가, 수막 형성, 융해수 침투, 서리층 밀도증가에 따른 열저항 감소, 결빙, 서리층 성장의 일련의 과정이 주기적으로 반복되면서 서리층 두께가 성장하고 밀도도 증가하게 된다.^[4]

서리층 성장에 영향을 주는 주요한 운전 인자는 냉각면 온도, 공기습도, 공기 온도, 공기 유속이며, 각각 인자의 영향은 다음과 같다. 먼저 냉각면

은 온도가 낮을수록 서리 성장구동력(drivingpotential)이 증가하여 서리층 두께 성장이 더 활발하게 일어나고, 저온 냉각면에서의 빠른 서리성장은 서리층의 다공도를 증가시켜 상대적으로 저밀도의 서리층이 성장한다.

공기습도의 경우 절대습도가 증가할수록 서리층 성장에 필요한 구동력인 포화 습증기 분압차이가 증가하므로, 서리성장이 더 활발해진다. 냉각면 온도와 공기습도는 서리층 성장 및 서리층 구조에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 반면, 공기 온도와 공기 유속은 상대적으로 적은 영향을 주는 것으로 알려져 있다.^[2]

수분이 가지고 있는 높은 부하 때문에 서리 성장률과 이에 따른 냉동용량 감소는 가속된다. 수분이 가진 부하의 정도는 열비(SHR, sensible heat ratio)로 표현될 수 있다. 현열비는 공간의 현열 부하와 전체 부하(현열과 잠열 부하의 합)의 비로 표현될 수 있다.

온도를 제어하려는 공간의 수분 또는 잠열 부하가 증가함에 따라, 현열비는 감소하고 증발기는 잠열 부하를 만족하게 하려고 수분을 제거해야 하는 어려운 작동조건에 놓이게 된다. 이러한 현상은 특히 증발기가 0°C 이하의 온도에서 작동하는 경우 두드러지게 나타난다.^[5]

냉동 냉장 및 저온창고의 냉각관 코일에 있어서 제상의 유무와 횡수는 장치의 운전 및 성능특성에 상당한 영향을 미치며, 실제 연중 운전되고 있는 냉동장치의 경우 이와 같은 영향은 더 클 것으로 판단 된다.^[2]

2. 관련 연구

RNN (recurrent neural networks)은 과거 데이터를 저장하고 시간의 흐름에 따라 전달하여 출력 값 계산에 반영하는 특징을 가지고 있으며 새로운 데이터가 입력될 때마다 반복 적용되기 때문에 순환신경망이라고 한다. 신경망에서 새로운 출력 값을 계산하는 함수를 활성화 함수라고 한다. 하지만 RNN은 그림5에서 보이는 것처럼 tanh 함수의 값은 -1~1 사이의 값을 가지기 때문에 연산이 반복되면 기울기가 0으로 수렴하는 기울기 소실 문제가 발생하여 과거의 정보를 제대로 전달할 수 없게 된다.

LSTM (long short term memory)은 RNN의 기울기 소실 문제를 극복하기 위해 제안된 알고리즘이다. 기울기 소실 문제를 해결하기 위해 LSTM은 과거 데이터를 저장하는 메모리 셀을 도입했다. 계산 과정에서 RNN과 다르게 합 연산(+)이 존재하여 기울기가 0으로 수렴하는 기울기 소실 현상을 어느 정도 방지한다.

GRU(gated recurrent unit)에서는 현재시간 t에서의 정보 후보 값을 계산하게 되는데 이전 시간 t-1의 은닉층의 정보에 리셋 게이트의 결과를 곱하여 이용한다. 마지막으로 업데이트 게이트의 값과 후보 값을 결합하여 현시점의 은닉층을 계산한다.

3. 연구문제

작상에 따른 열교환기 성능저하를 막기 위해 서리층을 녹이는 작업을 제상이라 하고, 제상과정에는 서리층을 녹이기 위한 에너지가 추가로 소비가 될 뿐만 아니라, 냉동사이클 작동이 중단되므로 사용자에게 큰 불편함을 초래한다. 따라서 작상과 제상은 냉동사이클로 운전되는 제품에 있어서 가장 큰 문제 중 하나이다.

제상 시점은 타이머 또는 센서를 사용하여 판단하고 있으나 타이머 방식은 필요하지 않은 시기에 이루어지는 제상으로 인해 에너지를 낭비와 함께 저온저장고 온도가 상승한다. 올라간 온도를 정상적인 낮추기 위해 저온저장고는 더 많은 시간을 가동하게 된다. 또한, 필요한 시기에 제상 작업이 이루어지지 않아서 흡입 압력 저하, 온도의 상승 등 다양한 문제점 발생하게 되고 결국에는 저온저장고의 고장을 유발한다. 이러한 문제 때문에 제상 주기와 제상 작업의 시간을 과학적 설정하게 된다. 적절한 시기

에 시작되고 최적의 시간 동안 수행되는 제상 작업은 보관물의 품질저하를 막고 에너지 효율을 높이며 저장고의 고장을 예방할 수 있다.

4. 연구방법

본 연구에서는 시계열 데이터에 대한 분석이 가능한 세 가지 인공신경망인 RNN, LSTM, GRU중에서 LSTM, GRU를 사용하여 예측을 수행하고 성능 평가를 통해 가장 적절한 신경망을 선정하고자 한다.

선정된 신경망을 이용하여 설정온도, 현재온도, 응축기, 쿨링팬의 동작 등 수집된 데이터를 적용하고 머신러닝을 통하여 제상 동작을 예측하고자 한다.

본 연구에 사용할 데이터는 6개의 저온저장고에서 2018년 11월 1일부터 2022년 4월 20일까지 1분 간격으로 센서를 통해 수집하였으며 총 데이터 개수는 1,756,800개이다.

수집된 데이터의 구조는 설정온도, 현재온도, 응축기 동작여부, 쿨링팬 동작여부, 제상 동작여부, 조절기의 동작여부를 포함하고 있다.

전체 데이터 중 70%를 학습용 데이터로 30%를 테스트용으로 이용하여 모델 개발을 진행하고자 한다.

본격적인 실험에 앞서서 데이터의 일부를 사용하여 기능구현 실험을 하고자 한다. 신경망 알고리즘이 데이터를 학습할 때 입력 값과 출력 값을 사용하여 출력 값에 영향을 주는 가중치를 업데이트하는 최적화 기법을 사용할 예정이며, Adam 기법에서 사용하는 학습률(learning rate)은 0.001로 적용하였으며 각 신경망의 히든 유닛은 20개로 설정하여 학습을 진행하고자 한다.

5. 연구결과

본 연구에서는 시계열 데이터에 대한 분석이 가능한 인공 신경망인 LSTM, GRU를 사용하여 제상 동작 예측을 수행하고 성능 평가를 통해 가장 적절한 신경망을 선정하고자 한다.

본 연구의 예측 대상은 제상 작업의 실행 여부이며 입력 데이터는 설정 온도, 현재 온도, 압축기 상태, 증발기 상태, 제상 동작 여부이다.

III. 결론

LSTM 예측에 사용한 데이터의 양이 매우 일부분이고, GRU 예측을 실행하지 못하여 아직까지는 이러한 결과가 유의미하다고 볼 수 없다. 앞으로 미진한 부분에 관하여 보완하면서 실험을 계속 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Gwan Soo Lee, "Implantation and defrosting characteristics in heat exchangers", 2012.
- [2] Jae Dol Kim, "Effect of Frost and Defrost on the Operating Characteristics of Refrigeration System", 2010.
- [3] Hyoung Su Kim, Ji Hoon Seung, Sung Goo Yoo, and Kil To Chong, "Design of Auto-Defrosting System using Sensor Optimizing", 2018.
- [4] Gwan Soo Lee, Tae Hee Lee, "What is Frost Formation", 1995.
- [5] Douglas T. Reindl, Tood B. Jekel, "Frost on Air-Cooling Evaporators", ASHRAE Journal, February 2009.