

저온저장고의 뉴로-퍼지 제어시스템 개발

Development of Neuro-Fuzzy Control System for Cold Storage Facility

양길모*
정회원
G. M. Yang

고학균*
정회원
H. K. Kho

홍지향*
정회원
J. H. Hong

1. 서론

국내 저온저장고의 문제점은 재래식 제어방식과 냉각방식으로 인한 온도분포의 불균일과 시스템 성능 저해, 청과물의 생리적인 특성을 고려하지 않은 냉기의 유속과 습도제어, 청과물의 저온저장 중 발생하는 환경가스 제거기술의 미흡으로 인한 많은 감모율 발생 그리고 청과물의 생리적인 특성을 고려하지 않은 저온저장고의 최적 설계기술 미흡 등을 들 수 있다.

이에 본 연구에서는 현행의 국내 저온저장고의 문제점을 인식하고 이를 해결하기 위해 청과물의 안전 저장환경을 제공할 수 있는 정밀제어가 가능한 저온저장고의 뉴로-퍼지 제어시스템을 개발하고자 한다.

뉴로-퍼지 제어시스템은 퍼지제어에 인공신경망의 학습 알고리즘을 결합한 제어이론이다. 퍼지제어는 정량적이고 정확한 수학적 모델링 대신 전문가의 경험적 지식을 기초로 한 언어적 유연성을 기계적인 시스템에 구현한 것으로서 인간의 사고에 근접한 제어 이론이다.

즉, 신경망을 이용하여 학습된 값으로 퍼지제어기의 출력층의 가중치를 변화시키면서 비선형요소를 보상해 주는 것이다. 결과적으로 퍼지제어기에 의한 수렴 오차는 신경망에 의해 감소되고 성능이 향상되게 된다.

이에 본 연구의 목적은 저온저장고의 뉴로-퍼지 제어시스템을 개발하여 현행의 온-오프 제어시스템, PID 제어시스템의 사용으로 유발되고 있는 불규칙한 온도분포, 부적절한 풍속과 습도의 제어 문제점들을 개선하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. Neuro-Fuzzy 제어기 개발

본 연구에서는 싱글 칩을 이용하여 Neuro-Fuzzy 제어기를 설계하였다. 제어 알고리즘이 이식된 제어기의 CPU는 미국 Atmel사의 AVR칩 시리즈 중 ATmega103(L) 칩을 선택 사용하였다.

그림 1은 제작된 Neuro-Fuzzy 제어기로서 ATmega103(L) CPU와 각각의 제어 입·출력 단자를 나타내며 그림 2는 제어기의 포트 구성도이다. 온도, 습도, 풍속센서를 통해 저온저장고의 환경상태가 실시간으로 입력이 된다. 입력된 상태 값들은 CPU에서 적절한 제어 출력값들을 압축기, 증발기 팬, 가습기, 히터, 솔레노이드 밸브, EEV 밸브의 스텝 모터에 각각 내 보내게 된다. CPU와 제어 대상사이에 6A, 1.5kw의 릴레이를 설치하였다. 프로그램과 컴파일러는 AVR GCC를 사

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

용하였으며 완성된 프로그램은 AVR ISP를 이용하여 어셈플러로 변환한 후 ISP 프린터 포트를 이용하여 CPU에 이식하였다. 설정값은 CPU 반대편에 있는 LCD 모니터를 이용하여 입력이 되도록 하였으며 총 10개의 서로 다른 설정값들을 저장할 수 있도록 프로그램하였다.

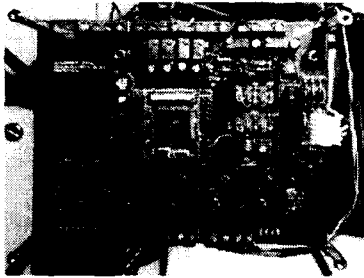


Fig. 1. Neuro-Fuzzy controller

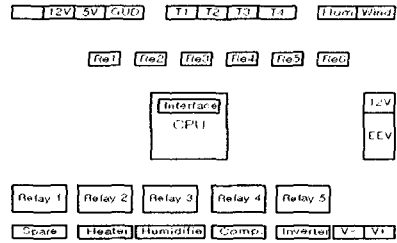


Fig. 2. The port formation of Neuro-Fuzzy controller

나. 실험장치

그림 3은 본 연구 주제인 뉴로-퍼지 제어시스템의 성능테스트를 위해 사용된 돔형 저온저장고이다. 저온저장고는 6m×6m×5m의 크기로 냉각팬과 증발기 및 제상히터가 내장된 유니트 쿨러와 7.5마력 용량의 압축기와 응축기, 수액기 그리고 이들을 제어하는 제어반으로 구성하였다. 특히, 천장부에 설치된 유니트 쿨러는 사면 토출형으로써 1.18m×1.18m×0.25m의 크기를 가지고 있다. 유니트 쿨러 맞은편 천장부에 풍속센서를 설치하여 모니터에 나타내었다. 양쪽 벽면에 가습기를 잇갈려 설치하였고 저장고 중앙에는 습도센서를 설치하여 가습기를 제어하는데 사용하였다. 측벽부 4면에는 각각 1개씩 총 4개의 온도센서를 설치하였고 각각의 지역에서 받은 온도값을 평균하여 제어에 적용하였다. 그림 4는 돔형 저온저장고의 현장 사진을 나타낸 것이다. 그림 5은 4면 토출형 유니트 쿨러를 아래에서 보여주는 그림이고 그림 6은 4면 토출형 유니트 쿨러의 개략도이다. 아래 팬을 통해 흡입되는 공기를 냉매가 흐르는 모세관 사이를 통해 4방향으로 냉기를 토출시켜 주는 구조로 되어있다.

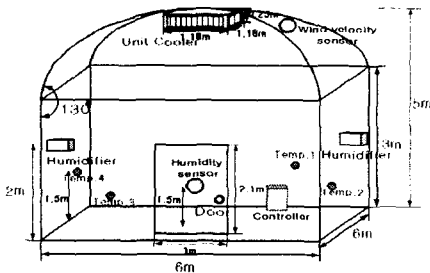


Fig. 3. Schematic for dome type of cold storage facility

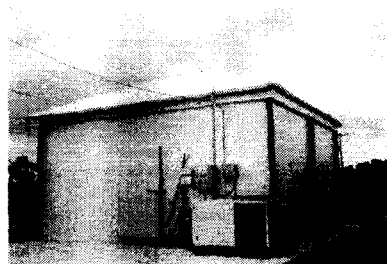


Fig. 4. Dome type of cold storage facility



Fig. 5. Unit cooler
(bottom view)

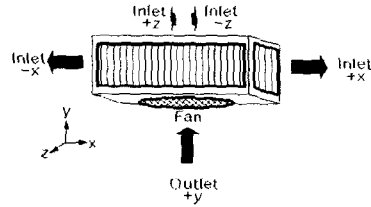


Fig. 6. Schematic for unit cooler

다. 실험방법

본 실험은 2002년 4월 초부터 5월 중순 사이에 외기온이 비교적 일정한 기간을 선택하여 실시하였다. 평균 외기온을 측정하고 설정한 온도와 습도 하에서 온도 하강 동특성을 실험하였다. 그리고 설정온도 도달 이후에 헌팅의 발생정도를 실험하였다. 기존의 온-오프 제어시스템, 퍼지 제어시스템, 개발된 뉴로-퍼지 제어시스템의 성능을 상호 비교하였다.

청과물 저장실험을 위해 2002년 4월 초순에 수확된 제주산 조생종 양파를 사용하여 뉴로-퍼지 제어시스템의 성능을 실험하였다.

양파의 안전 저장조건은 설정온도 0°C, 습도 90~95%이므로 이에 맞춰 저장환경을 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 제어시스템별 온도하강 동특성과 헌팅

그림 7은 온-오프, 퍼지, 뉴로-퍼지 제어시스템 상에서 동특성을 서로 비교 실험한 결과이다. 외기온이 평균 24°C였을 때 총 17개소에서 온도를 측정하여 설정온도 0°C에 도달했을 때까지의 시간을 측정하고 이후 헌팅 발생정도를 실험하였다.

최초 22.1°C에서 0°C에 도달할 때까지 걸린 시간은 온-오프, 퍼지, 뉴로-퍼지 제어시스템 순으로 2,820초, 1,725초, 1,265초씩 각각 소요되었다. 이는 뉴로-퍼지 제어시스템이 온-오프 제어시스템보다 1,555초, 퍼지 제어시스템 보다는 460초 빠른 동특성을 보여주었다. 결과적으로 뉴로-퍼지 제어시스템이 온도 하강 동특성 면에서 온-오프 제어시스템 보다 123%, 퍼지 제어시스템보다 36.4%의 성능개선을 가져왔다고 볼 수 있다. 특히, 뉴로-퍼지 제어시스템에서도 퍼지 제어시스템에서와 같이 정상상태에 도달했을 때 제어시스템의 빠른 동특성 때문에 일시적으로 오버슈트 구간이 발생하였다. 그러나 이 구간은 184초의 짧은 시간동안 발생하였기 때문에 시스템의 성능에는 영향을 미치지 않았다.

그림 8~그림 10은 온-오프, 퍼지, 뉴로-퍼지 제어시스템에서 헌팅분포를 보여주고있다.

헌팅은 온-오프 제어시스템에서 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 퍼지 제어시스템에서 ± 0.4 , 뉴로-퍼지 제어시스템에서

$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 로 뉴로-퍼지 제어시스템이 가장 정밀한 헌팅분포를 보였다.

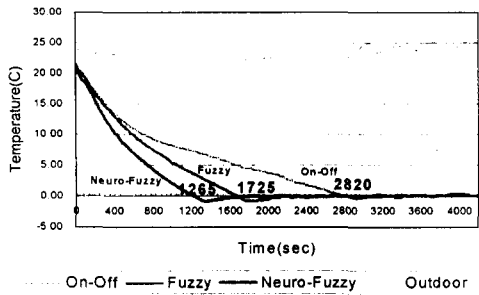


Fig. 7. Activation between the three systems

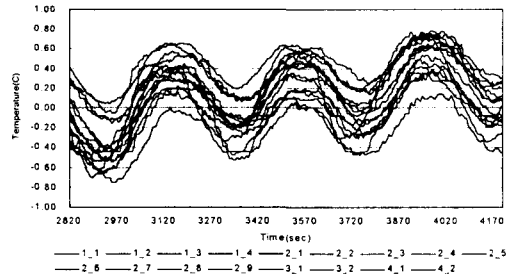


Fig. 8. Hunting profiles by On-Off control system

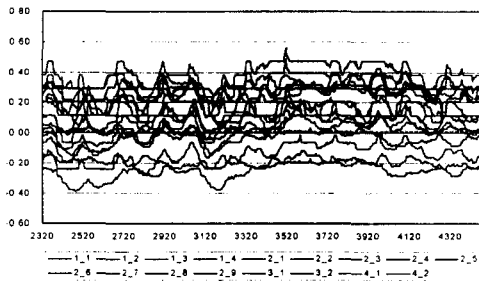


Fig. 9. Hunting profiles by Fuzzy control system

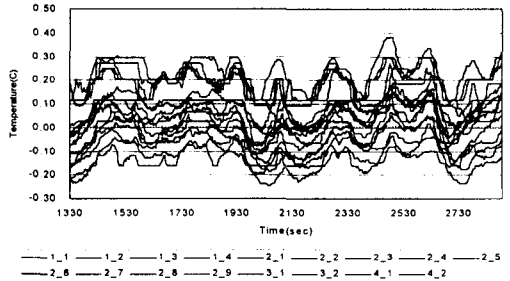


Fig. 10. Hunting profiles by Neuro-Fuzzy control system after learning

나. 제어시스템별 풍속제어

그림 11은 온-오프 제어시스템에서 풍속을 실험한 결과이다. 풍속은 설정온도에 도달할 때까지 다소 감소하다가 설정온도부터는 단속적인 운전을 계속하였다. 시스템 특성상 설정온도에 도달할 때까지 풍속은 일정하게 설계되어 있지만 냉매가 모세관을 순환할 때 주위의 공기가 증발잠열에 의해 모세관 주위에 성에를 맺히게 한다. 이들 성에는 팬(fan)에 의해 유도되는 찬공기의 흐름을 방해하여 저장고내의 풍속을 떨어뜨리고 동특성에도 영향을 미치게 한다. 그러므로 바람직한 제어방법은 이들 성에가 생기지 않도록 주위 공기와의 조화로운 증발잠열을 유지하는 것이 중요하다. 그러나 온-오프 제어시스템에서는 팽창밸브가 감온통을 이용하여 과열도로 제어를 하기 때문에 그 정밀도가 떨어진다고 할 수 있다.

그림 12와 그림 13은 퍼지와 뉴로-퍼지 제어시스템에서 풍속제어 상태를 보여주고 있다. 두 시스템 모두 정상상태에 도달한 후에도 유니트 쿨러 앞에서 측정된 풍속은 최초 4.72 m/s에서 2.5 m/s의 풍속을 유지하였다. 이와 같은 이유는 외부에서 유입되는 열 유입을 계속적으로 제거해주는 효과를 가짐으로써 시스템이 정상상태를 계속 유지할 수 있도록 해준다. 또한 저장물이 있어서 외란이 발생할 경우에도 능동적으로 대처할 수 있게 해줌으로써 시스템의 강인성을 증가시켜준다.

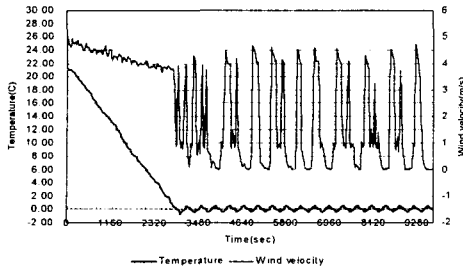


Fig. 11. Velocity profile by On-Off control system

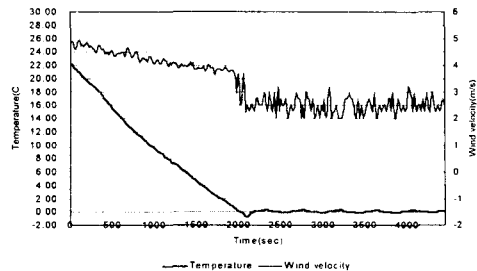


Fig. 12. Velocity profile by Fuzzy control system

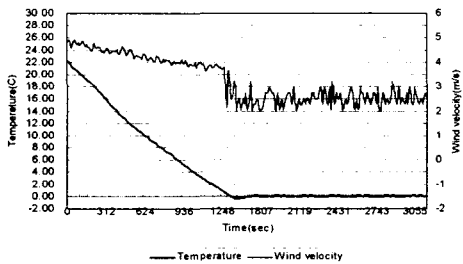


Fig. 13. Velocity profile by Neuro-Fuzzy control system

다. 제어시스템별 습도제어

건조양과의 적정 저장습도는 70~75%, 양과는 90~95%를 유지하는 것이 바람직한 저장방법으로 알려져 있다. 그러므로 본 실험에서는 이에 준해 저온저장고의 습도를 70%와 90%로 각각 설정하고 온-오프, 퍼지, 뉴로-퍼지 제어시스템의 성능을 상호 비교 실험하였다.

그림 14는 온-오프 제어시스템 상에서 습도를 제어하는 모습을 보여주고 있다. 온도제어와 마찬가지로 정상상태에 도달한 후에 단속적인 운전을 계속하는 것을 볼 수 있다. 가습기를 이용해 습도를 제어할 경우 미세한 물분자들이 공기중에서 계속적으로 확산되기 때문에 제어하기가 어려운 점이 있다. 이러한 이유로 정상상태이후 다소 진폭이 높은 헛팅을 발생하였다. 헛팅은 65%~75% 사이를 반복하였다.

그림 15는 퍼지 제어시스템에서 습도를 제어하는 모습을 보여주고 있다. 퍼지 제어시스템에서 습도는 67%~73% 사이로 제어가 되었다

그림 16과 그림 17은 뉴로-퍼지 제어시스템에서 습도를 제어하는 모습을 보여주고 있다. 퍼지 제어시스템에서와 같이 정상상태 70%와 90%일 때 각각 70%~72.5%와 90~92%의 변화를 보이며 동작하였다. 이는 세 가지 제어시스템과 비교해서 뉴로-퍼지 제어시스템이 온-오프 제어시스템보다 4배의 정밀도, 퍼지 제어시스템보다 2.4배의 정밀도를 보인 결과치이다.

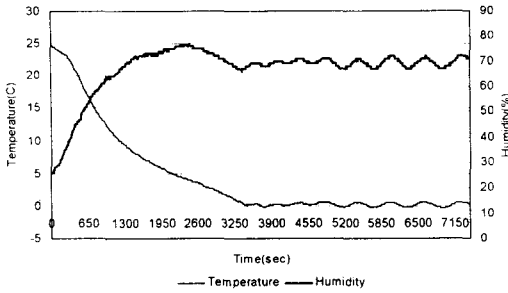


Fig. 14. Humidity profile by On-Off control system (humidity 70%)

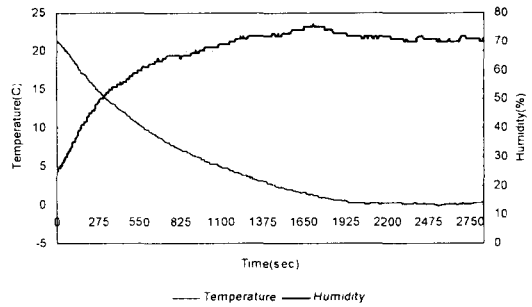


Fig. 15. Humidity profile by Fuzzy control system (humidity 70%)

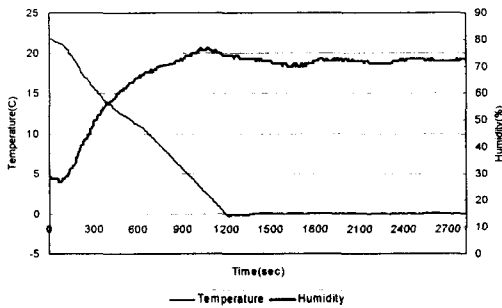


Fig. 16. Humidity profile by Neuro-Fuzzy control system (humidity 70%)

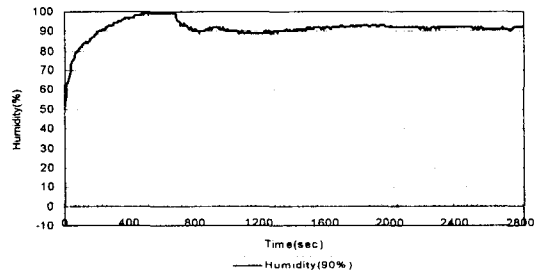


Fig. 17. Humidity profile by Neuro-Fuzzy control system (humidity 90%)

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 제레식 제어방식으로 운영되고 있는 저온저장고의 제어시스템 성능을 개선하여 저온저장고 운영 시 최적의 환경을 제공할 수 있도록 정밀제어가 가능한 뉴로-퍼지 제어시스템을 개발하였다.

온도하강 동특성과 헌팅, 풍속 그리고 습도제어면에서 모두 뉴로-퍼지 제어시스템이 우수한 성능을 보였다. 온도하강 동특성 면에서 뉴로-퍼지 제어시스템은 온-오프와 퍼지 제어시스템에 비해 각각 1.555초(123%)와 460초(36.4%) 빠른 동특성을 보였다. 헌팅은 온-오프, 퍼지 그리고 뉴로-퍼지 제어시스템에서 각각 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 그리고 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 보였다. 습도의 경우 뉴로-퍼지 제어시스템이 온-오프 제어시스템 보다 4배의 정밀도, 퍼지 제어시스템 보다 2.4배의 정밀도를 보였다.

5. 참고문헌

1. 고학균외. 1993. 농산가공기계학. 향문사
2. Fujimaki, S. 1988. Inverter Room Air Conditioners, Refrigeration. Vol. 61, No.701 : 253-257