

저온저장고의 뉴로-퍼지 제어시스템 개발

Development of Neuro-Fuzzy System for Cold Storage Facility

양길모	고학균	홍지향
정희원	정희원	정희원
G. M. Yang	H. K. Koh	J. H. Hong

ABSTRACT

This study was conducted to develop precision control system for cold storage facility that could offer safe storage environment for green grocery. For that reason, neuro-fuzzy control system with learning ability algorithm and single chip neuro-fuzzy micro controller was developed for cold storage facility.

Dynamic characteristics and hunting of neuro-fuzzy control system were far superior to on-off and fuzzy control system. Dynamic characteristics of temperature were faster than on-off control system by 1,555 seconds(123% faster) and fuzzy control system by 460 seconds(36.4% faster). When system was arrived at steady state, hunting was $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ in on-off control system, $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ in fuzzy control system, and $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ in neuro-fuzzy control system. Hunting of humidity and wind velocity was also controlled precisely by 70 to 72.5% and 1m/s

For storage experiment with onion, characteristics of neuro-fuzzy control system were tested. Dynamic characteristics of neuro-fuzzy control system made cold storage facility conducted precooling ability and minimized hunting.

Keywords : Cold storage facility, Cold storage, Neuro-Fuzzy, Fuzzy, AI, AVR, EEV

1. 서 론

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

이에 저온저장고의 재래식 제어방법을 개선하고 최적제어를 위한 연구가 국내외 여러 연구자들에 의해 수행되어 왔다.

Higuchi 등(1992)은 증발기에서 EEV 사용에 관한 연구를 수행하였다. 과열도에 의해 제어되는 TEV보다 EEV를 사용하는 것이 더 좋은 제어성능을 보임을 증명하였다.

성시풍 등(1993)은 신경망을 이용한 가정용 공조기기의 PMV 쾌적제어에 관한 연구를 수행하였다.

김정훈 등(1996)은 냉동 공조용 증발기의 과열도

This article was supported by ARPC, Agricultural R&D Promotion Center and World System Co. and submitted for publication in September 2002; reviewed and approved for publication by editorial board of KSAM in February 2003. The authors are G. M. Yang Ph.D., H. K. Koh, Professor, J. H. Hong, Ph.D. School of Bioresources and Material Engineering, Seoul National University, Suwon, Korea, E-mail: <gilmoa@hanmir.com>.

및 증발온도의 퍼지제어에 관하여 연구를 수행하였는데 퍼지제어가 PID 제어 보다 빠른 동특성을 보임을 확인하였다.

본 연구에서는 온-오프 제어시스템, PID 제어시스템의 여러 단점을 해결하기 위하여 뉴로-퍼지 제어시스템을 개발하고 그 성능을 실험을 통하여 구명하였다.

2. 재료 및 방법

가. 뉴로-퍼지 제어시스템의 구조

퍼지제어기의 중요한 매개변수들은 신경회로망의 연결강도들로 표현된다. 학습은 오차 역전파 학습 알고리즘에 의하여 연결강도를 수정함으로써 퍼지 추론 과정의 규칙베이스와 멤버십 함수를 자동적으로 조절하게 된다.

그림 1은 적용된 저온저장고용 뉴로-퍼지 모델이다. [A]층부터 [D]층까지는 조건부로서 두 개의 입력 X_1 (오차)과 X_2 (오차의 변화량)가 있다.

W_{c1} , W_{c2} , W_{c3} , W_{c4} 및 1은 연결 가중치를 의미하며, 원과 사각형은 뉴런을 나타낸다. 아무런 기호가 없는 뉴런은 입력을 단지 다음 뉴런으로 전달

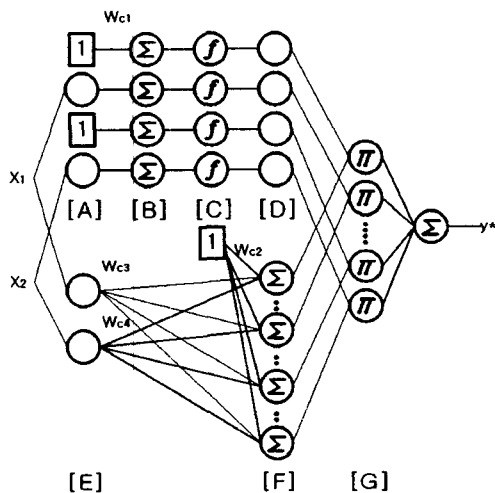


Fig. 1 Architecture of a neuro-fuzzy controller used in this study.

하는 역할을 한다. 기호 f , Σ , Π 를 갖는 뉴런은 입출력 관계를 나타낸다.

[B]층과 [C]층의 입력 및 출력은 각각 식 (1)과 식 (2)와 같다.

$$\Sigma : \begin{pmatrix} I_{cij} = \Sigma w_{cij} x_j \\ O_{ij}^{(B)} = I_{ij} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

$$f : \begin{pmatrix} I_{dij} = \Sigma w_{dij} O_{ij}^{(B)} \\ O_{ij}^{(C)} = f(I_{dij}) = \frac{1}{1 + \exp(-w_{dij} O_{ij}^{(B)})} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

여기에서, I_{ij} 와 $O_{ij}^{(n)}$ 는 n번째 층의 i와 j간 유니트의 입력과 출력이고, w_{ij} 는 직전층의 i번째 유니트와 현재 층의 j번째 유니트 사이의 연결강도이다.

[D]층의 출력은 멤버십 함수의 소속정도를 의미하며 식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$O_{ij}^{(D)} = \Sigma w^{(C,D)} O_{ij}^{(C)} \dots\dots\dots (3)$$

[E]층의 입력과 출력은 각각 식 (4)와 같다.

$$\Pi^{(E)} : \begin{pmatrix} I_k^{(E)} = \Pi w_k O_k^{(D)} = O_{a1}^{(D)} \times O_{b2}^{(D)} \\ O_k^{(E)} = \hat{\mu}_k = \frac{I_k^{(E)}}{\Sigma I_k^{(E)}} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

[F]층의 출력은 식 (5)와 같이 표현된다.

$$O_{ij}^{(F)} = \Sigma_k \hat{\mu}_k w_{bk} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 $i=1, 2, 3$, $j=1, 2$, $a=1, 2, 3$, $b=1, 2, 3$, $k=a+2b$ 이다.

나. 뉴로-퍼지 제어 알고리즘

그림 2는 저온저장고의 뉴로-퍼지 제어 알고리

증으로서 EEV(electrical expansion valve)의 개도를 조절함으로써 증발기에 공급되는 냉매의 압력을 조절하여 온도를 제어하고 풍속 및 가습기의 구동모터를 제어하여 저장고내 냉기의 유속과 습도를 조절하는 프로그램의 흐름도이다.

상단부에 입출력 퍼지변수의 귀속도 함수 형태를 정의하였는데 이는 제어대상들의 설정온도, 풍속, 습도, 각각의 시간에 따른 오차변화량, 샘플링 간격 등을 정의하였다. 실제 실험과 퍼지제어 이론에서 중요한 부분은 퍼지화 부분, 지식베이스를 바탕으로 한 퍼지추론 과정 그리고 비퍼지화 부분들이다. 퍼지변수는 계산이 편하고 연산 시간 및 처리 데이터량이 적어 효율적인 연속형의 삼각형을 사용하였다. 각각의 언어변수는 7등분하여 퍼지 멤버십 함수를 만들었다. 이는 통상의 방법과 같이 시스템을 제어하는데 있어서 충분한 제어 정확도를 확보하면서 불필요한 퍼지룰이 소속되는 것을 최소화하기 위함이다.

프로그램과 컴파일러는 AVR GCC(Alf Vergard Wollan Risk)와 GNU C Compiler를 사용하였고 제어를 위한 기계어는 AVR ISP(in system programmer)

를 이용하여 구현하였다. 뉴로-퍼지학습을 통해 구해진 퍼지룰과 제어량은 프로그램 상에 반영하였고 그 밖의 인터페이스 장치 구동 프로그램과 하드웨어 구동 프로그램들은 뉴로-퍼지 알고리즘과 연동해서 동작할 수 있도록 알고리즘을 개발하였다.

다. 뉴로-퍼지 제어기 개발

본 연구에서는 싱글 칩을 이용하여 뉴로-퍼지 제어기를 설계하였다. 제어 알고리즘이 이식된 제어기의 CPU는 미국 Atmel사의 AVR칩 시리즈 중 ATmega103(L) 칩을 선택 사용하였다. 특히, ATmega103(L) CPC는 flash ROM으로 되어 있어 전원이 꺼져도 저장된 내용은 소멸되지 않는 장점을 가지고 있다.

그림 3은 뉴로-퍼지 제어기의 전체적인 개략도를 보여주고 있다. 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. 이중 뉴로-퍼지룰에 의해 온도, 풍속, 습도를 제어하고 압축기, 히터, 솔레노이드 밸브는 온-오프로 동작되도록 시스템을 구성하였다.

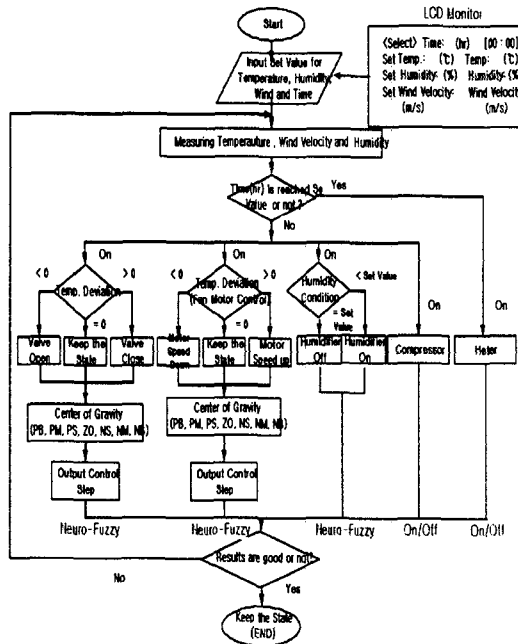


Fig. 2 Algorithm for neuro-fuzzy control.

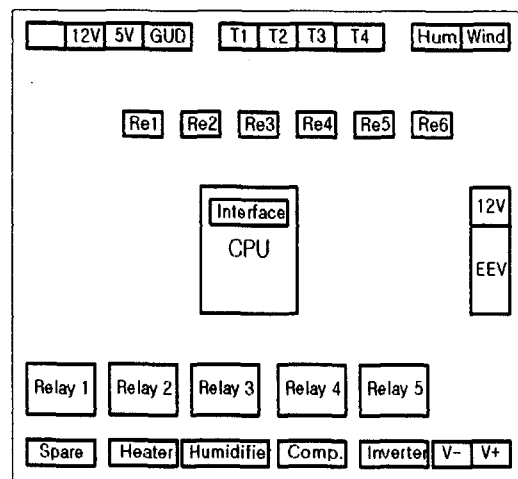


Fig. 3 The port formation of neurofuzzy controller.

3. 실험장치

그림 4는 뉴로-퍼지 제어시스템의 성능을 평가하기 위하여 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 구성되어 있다. 천장부에 설치된 유니트 쿨러는 4방향 토출형으로써 1.18m×1.18m×0.25m의 크기를 가지고 있다. 저장고는 전체가 두께 10cm의 폴리스틸렌과 안 밖으로 0.5cm 두께의 양면 철판으로 제작되었다. 천장부와 벽면부는 130도의 각도를 가지고 있고 유니트 쿨러 맞은편 천장부에 풍속센서를 설치하였다. 양쪽 벽면에 가습기를 잇갈려 설치하였고 저장고 중앙에는 습도센서를 설치하여 가습기를 제어하는 데 사용하였다. 측벽부 4면에는 각각 1개씩 총 4개의 온도센서를 설치하였고 각각의 지역에서 받은 온도값을 평균하여 제어에 적용하였다.

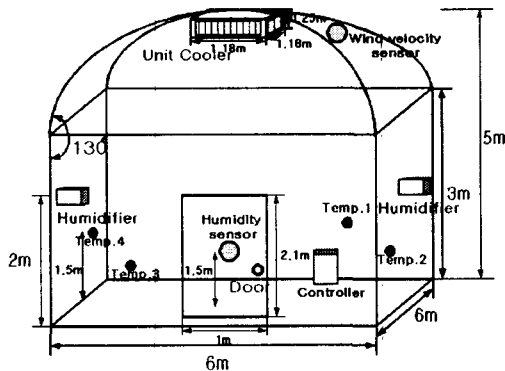


Fig. 4 Schematic for dome-type cold storage facility.

그림 5는 저장고 내의 온도를 제어하고 냉매의 압력과 유량을 측정하기 위한 실험장치로서 냉매의 유량을 제어하는 온도식 팽창밸브(TEV, 한국)와 전자식 팽창밸브(EEV, 일본) 그리고 냉매의 압력을 측정하는 압력게이지들과 유량을 측정하는 유량센서로 구성되어 있다. 기존의 온-오프 시스템에서

저장고내의 과열도를 이용하여 냉매의 유량을 제어하는 온도식 팽창밸브와 뉴로-퍼지제어 알고리즘에 의해 냉매의 유량을 제어하는 전자식 팽창밸브를 솔레노이드 밸브 후단에 각각 설치하여 비교 실험하였다. 온도변화에 따른 냉매의 압력과 유량을 측정하기 위하여 팽창밸브 전·후단에 각각 1개씩 압력게이지(한솔테크, 한국)를 설치하였고 팽창밸브 후단에 유량센서를 설치하였다.

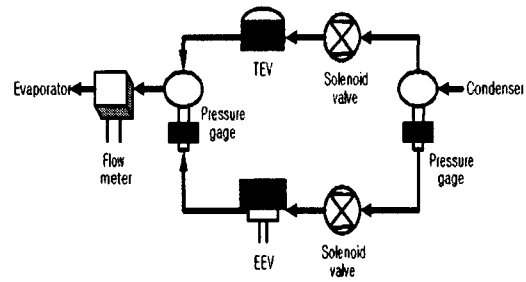


Fig. 5 Schematic of equipments for controlling temperature.

그림 6은 저장물이 없을 때 저장고내의 각 구간별 온도를 측정하기 위한 센서의 위치를 도시한 것이다. 온도를 측정하기 위하여 17개의 pt100Ω(NTC, 네덜란드) 온도센서를 3차원상으로 배열하였고 데이터 수집장치에 연결하여 데이터를 수집하였다. 이는 저장고 내에서 뉴로-퍼지 제어에 따른 저온저장고

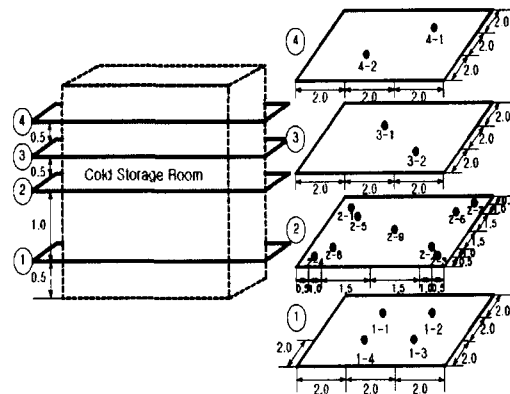


Fig. 6 Location of sensors when storage is empty(unit: meter).

내부의 온도분포를 측정하기 위하여 실시하였다.

그림 7은 청과물의 저장실험을 위한 실험장치의 구성도로서 팔렛 상태로 저장된 저장물 사이에 12개의 온도센서를 3차원 상으로 설치하여 데이터 수집장치에 연결하였다. 이는 청과물의 호흡열 제거에 따른 온도하강 동특성과 설정온도에서의 헌팅을 실험하기 위한 것이다.

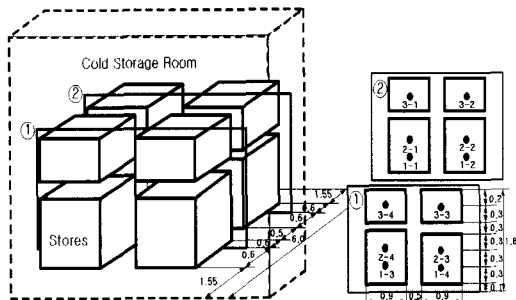


Fig. 7 Location of sensors when storage is full (unit : meter).

4. 실험방법

본 실험은 2002년 4월초부터 5월 중순 사이에 외기온이 비교적 일정한 기간을 선택하여 실시하였다.

평균 외기온을 측정하고 설정 온도와 습도 하에서 온도 하강 동특성을 실험하였다. 그리고 설정온도 도달 이후에 헌팅의 발생정도를 실험하였다. 이 같은 실험으로 기존의 온-오프 제어시스템, 퍼지 제어시스템, 개발된 뉴로-퍼지 제어시스템의 성능을 상호 비교하였다.

청과물 저장실험을 위해서는 2002년 4월 초순에 수확된 제주산 조생종 양파 3ton을 사용하여 뉴로-퍼지 제어시스템의 성능을 실험하였다. 양파의 안전 저장조건은 설정온도 0℃, 습도 70~75%(건조양파)와 90~95%(생양파)이므로 이에 맞춰 저장환경을 설정하였다. 온도측정은 온도센서가 양파에 직접 닿지 않도록 양파사이의 공간에 설치하여 온도를 측정하였다. 그림 8은 양파를 이용하여 저장실험한 모습으로 저장물은 그림 7과 같이 저장하여 실험을 실시하였다.

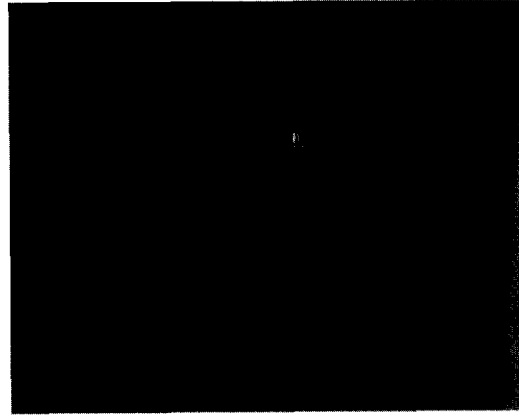


Fig. 8 Photograph of loaded onion.

5. 결과 및 고찰

각 시스템별 성능실험을 위해 제어시스템별 온도하강 동특성과 헌팅, 풍속과 습도제어 그리고 저장실험을 실시하였다. 실험은 시스템 별로 각각 5회 실시하였고 저장실험은 2회 실시하여 시스템 성능을 증명하였다.

가. 제어시스템별 온도하강 동특성과 헌팅

그림 9는 온-오프, 퍼지, 뉴로-퍼지 제어시스템 상에서 동특성을 서로 비교 실험한 결과이다. 외기

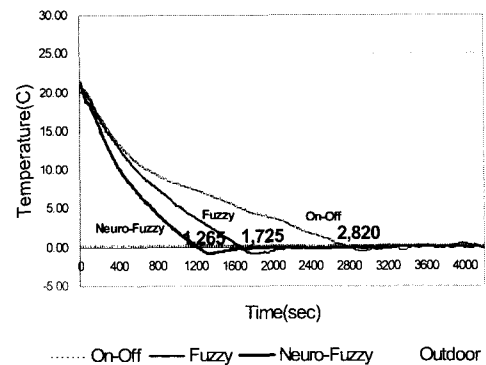


Fig. 9 Activation characteristic between the three systems.

온이 평균 24℃였을 때 총 17개소에서 온도를 측정하여 설정온도 0℃에 도달했을 때까지의 시간을 측정하고 이후 헌팅 발생정도를 실험하였다.

최초 22.1℃에서 0℃에 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 성능 개선을 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 10~12는 온-오프, 퍼지, 뉴로-퍼지 제어시스템에서 헌팅분포를 보여주고 있다.

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 작은 헌팅 진폭을 보였다.

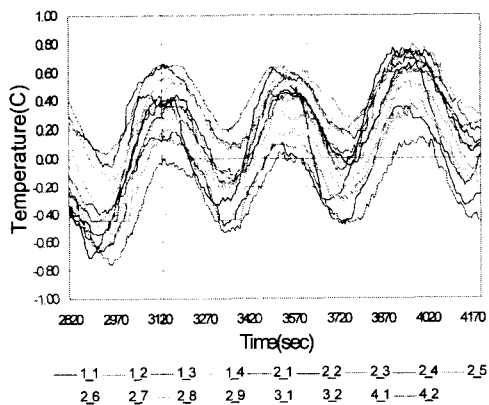


Fig. 10 Hunting profiles by on-off control system.

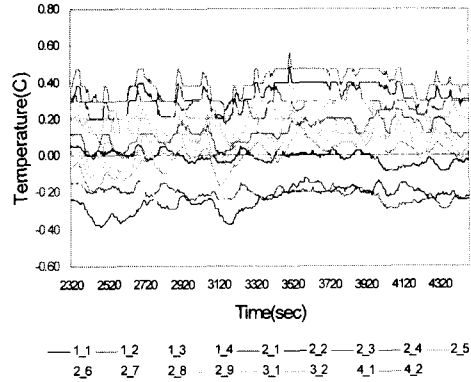


Fig. 11 Hunting profiles by fuzzy control system.

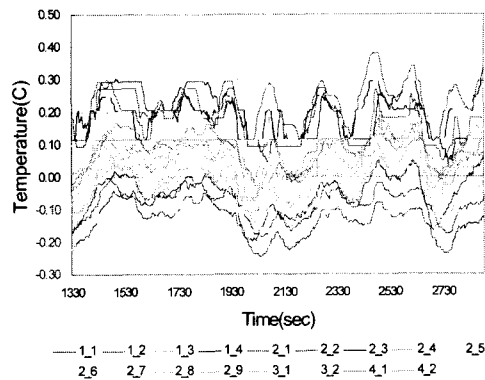


Fig. 12 Hunting profiles by neuro-fuzzy control system after learning.

나. 제어시스템별 풍속제어

그림 13은 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 성애를 맺히게 한다. 이들 성애는 팬(fan)에 의해 유도되는 찬공기의 흐름을 방해하여 저장고내의 풍속을 떨어뜨리고 동특성에도 영향을

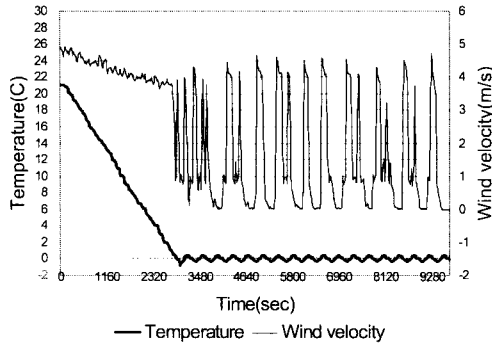


Fig. 13 Velocity profile by on-off control system.

미치게 한다. 그러므로 바람직한 제어방법은 이들 성애가 생기지 않도록 주위 공기와의 조화로운 증발잠열을 유지하는 것이 중요하다. 그러나 온-오프 제어시스템에서는 팽창밸브가 감온통을 이용하여 과열도를 제어하기 때문에 그 정밀도가 떨어지고 단속 운전으로 인한 풍속 현탕의 큰 진폭은 저장 청과물의 겉표면 진조나 온도분포의 불균일을 가져오게 한다.

그림 14와 그림 15는 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 열을 계속적으로 제거해 주는 효과를 가짐으

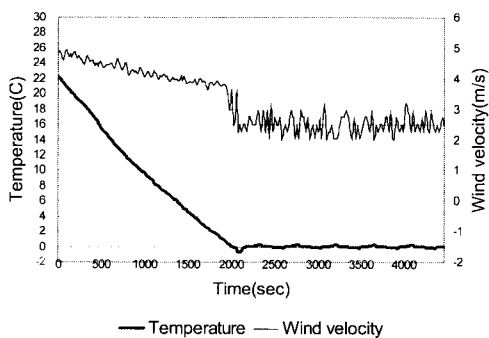


Fig. 14 Velocity profile by fuzzy control system.

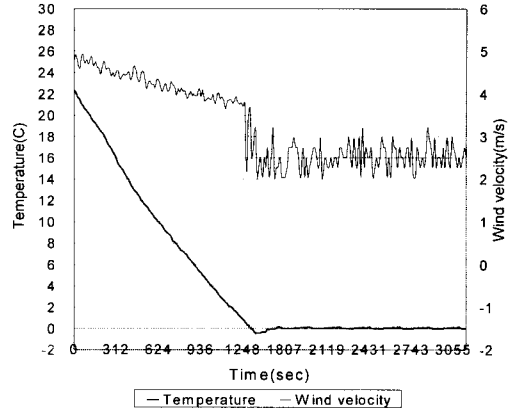


Fig. 15 Velocity profile by neuro-fuzzy control system.

로써 시스템이 정상상태를 계속 유지할 수 있도록 해준다. 그러나 퍼지제어의 경우 전문가의 지식정도에 따라 큰 차이를 보이기 때문에 제어 알고리즘을 구성하는데 문제점을 가지고 있다. 반면에 뉴로-퍼지 제어는 시스템의 학습 알고리즘에 의해 적절한 퍼지제어 함수를 도출해 주기 때문에 저장물의 호흡열과 같은 외란이 발생할 경우에도 능동적으로 대처할 수 있게 해 줌으로써 퍼지제어보다 시스템의 강인성을 증가시켜준다.

다. 제어시스템별 습도제어

건조양파의 적정 저장습도는 70~75%, 생양파는 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 16은 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 현탕을 발생하였다. 현탕은 65%~75% 사이를 반

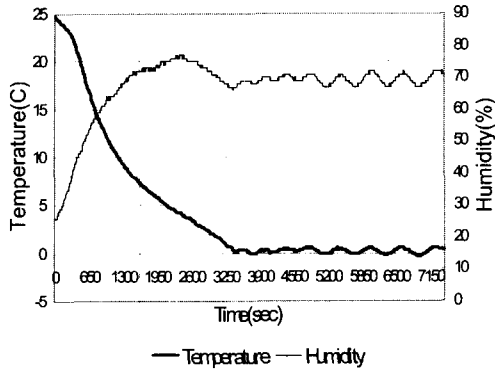


Fig. 16 Humidity profile by on-off control system(humidity 70%).

복하였고 정상상태가 90%일 때도 같은 특성을 보였다.

그림 17은 퍼지 제어시스템에서 습도를 제어하는 모습을 보여주고 있다. 퍼지 제어시스템에서 습도는 67%~73% 사이로 제어가 되었고 정상상태가 90%일 경우에는 86%~93%의 특성을 보였다.

그림 18과 그림 19는 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-퍼

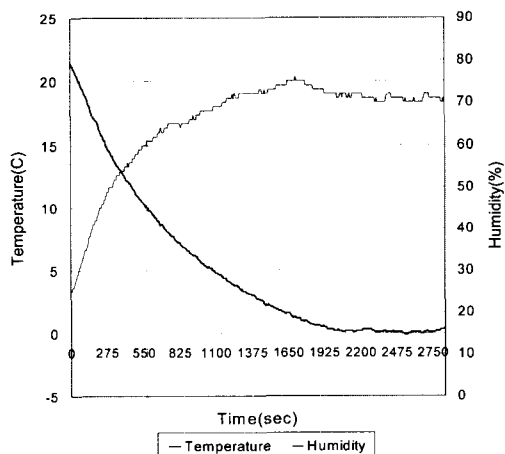


Fig. 17 Humidity profile by fuzzy control system(humidity 70%).

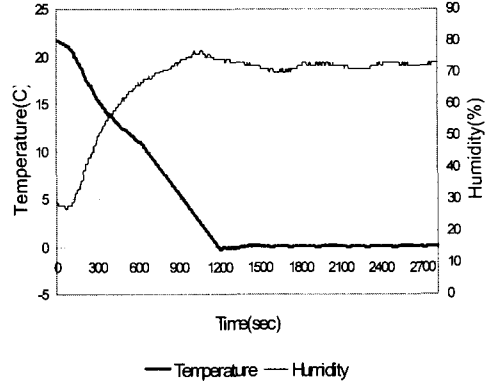


Fig. 18 Humidity profile by neuro-fuzzy control system(humidity 70%).

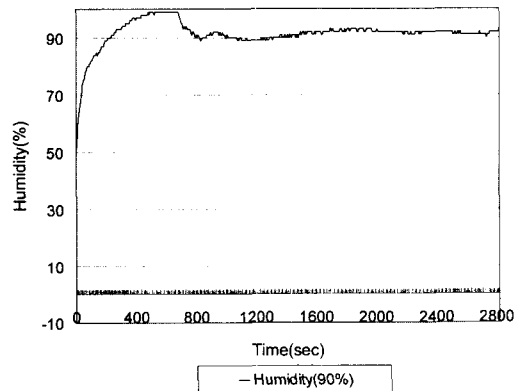


Fig. 19 Humidity profile by neuro-fuzzy control system(humidity 90%).

지 제어시스템이 온-오프 제어시스템 보다 4배의 정밀도, 퍼지 제어시스템 보다 2.4배의 정밀도를 보인 결과치이다.

라. 저장실험

본 실험은 뉴로-퍼지 제어시스템이 저장물이 있을 경우 즉, 외란이 작용했을 경우에도 저장물이 없을 경우와 마찬가지로 빠른 온도 하강 동특성과 작은 헌팅을 이용하여 저온저장고가 예냉 기능을 수행할 수 있고 저장단계에 있는 정과물간에 균일한 온도분포를 보이는 가를 확인하기 위하여 실시하였다.

그림 20은 낮 최고기온이 26℃로 균일한 상태에서 양파를 팔렛상태로 저장한 후에 저장실험을 실시한 결과이다. 예냉은 청과물의 안전 저장온도와 수확시 온도의 중간까지 2시간 이내로 냉각하는 것이 바람직하고, 또 이 둘의 온도차를 6시간 이내에 7/8까지 산지 냉각하는 것이 경제성과 기술적인 면에서, 또 신선도유지의 측면에서 바람직한 냉각으로 알려져 있다(농업기술대계). 이에 따라 본 실험에서는 수확시 품온이 20.5℃인 양파를 2시간 이내에 10℃ 이내로 떨어뜨리는 실험과 수확시 온도와 저온저장시 온도간의 7/8선인 2.6℃까지 떨어뜨릴 수 있는 가를 실험하였다.

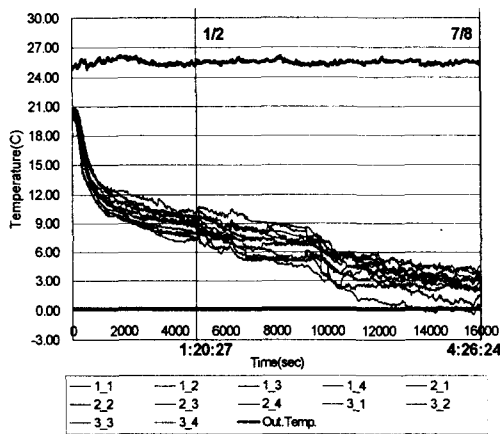


Fig. 20 Storage experiment by neuro-fuzzy control system.

그림에서 보는 바와 같이 뉴로-퍼지 제어시스템은 품온을 절반으로 떨어뜨리는 데 1시간 20분 27초가 걸렸고 7/8선인 2.6℃까지 떨어뜨리는 데 4시간 26분 24초의 시간이 소요되었다. 이는 뉴로-퍼지 제어시스템으로 동작한 강제순환식 저온저장고가 예냉기능을 수행할 수 있는 동특성을 제공할 수 있음을 보여준 실험결과라 할 수 있다.

그림 21은 저온 저장단계에 접어든 양파가 뉴로-퍼지 제어시스템 하에서 저장물간 균일한 저장온도를 유지할 수 있는 가를 보기 위한 저장실험이다. 저장물은 정상상태 온도에서 그 균일성을 유지하면서 외기온의 변화에 상관없이 그 강인성을 보여주었다.

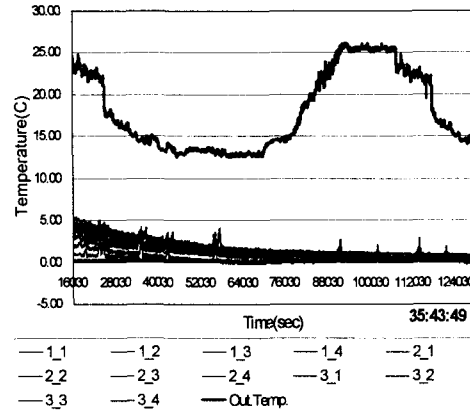


Fig. 21 Storage experiment on the steady state neuro-fuzzy control system.

저장물의 위치별 온도분포는 0.0~0.8℃를 보였고 아래에 저장된 저장물의 온도가 비교적 낮은 분포를 보였다. 각각의 센서위치에서 편차는 0.3℃로 빈저온저장고와 같은 허용오차를 보였다. 군데군데 일시적으로 급변한 온도변화는 저온저장고가 성예를 제거하기 위하여 제상장치를 동작시킬 때 나타나는 일시적인 온도변화이다. 그러나 온-오프 제어나 퍼지 제어에 비해 발생빈도수와 온도편차는 크지 않았다. 성예를 제거하기 위한 이러한 과정은 아직까지 국내외적으로 완전히 해소가 안 되고 있다. 그 만큼 이 부분이 기술적으로 어려운 문제로 남아있으며 향후 연구를 통해 해소해야 할 난제로 여겨진다.

6. 요약 및 결론

본 연구에서는 재래식 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 습도제어 면에서 모두 뉴로-퍼지 제어시스템이 우수한 성능을 보였다. 온도하강 동특성 면에서 뉴로-퍼지 제어시스템은 온-오프와 퍼지 제어시스템에 비해 각

각 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. 풍속은 온-오프 제어시스템의 경우 단속운전으로 인하여 시스템이 정상상태에 도달하였을 때 저장고내에 풍속이 없는 관계로 온도제어가 원활하게 제어되지 못한 반면 퍼지와 뉴로-퍼지 제어시스템은 정상상태에 도달 한 후에도 풍속을 적정선인 1m/s이하로 계속 유지하기 때문에 헌팅이 감소될 수 있었다.

양파를 이용한 저장실험을 통해 뉴로-퍼지 제어시스템의 성능을 검증한 결과 뉴로-퍼지 제어시스템의 빠른 동특성은 저온저장고가 예냉기능을 수행할 수 있도록 해 주었고 작은 헌팅은 정상상태에 있는 청과물간에 균일한 온도분포를 가지도록 해주었다.

참 고 문 헌

1. 고태균외. 1993. 농산가공기계학. 향문사.
2. 김정훈. 1996. 냉동 공조용 증발기의 과열도 및 증발온도의 퍼지제어. 부경대학교 박사학위 논문.
3. 성시풍, 심민섭, 고봉석, 고범석, 김종수. 1993. 신경망을 이용한 가정용 공조기기의 PMV 쾌적 제어. 공기조화냉동공학회 하계학술발표회: 126-129.
4. Higuchi K. 1992. Evaporator Control Systems. Refrigeration. Vol. 61, No. 701:223-230.