

퍼지논리를 이용한 저온저장고의 온도제어시스템 개발

Development of Temperature Control System for Cold Storage Room Using Fuzzy Logic

양길모*	고학균*	조성인*
정회원	정회원	정회원
G. M. Yang	H. K. Koh	S. I. Cho

SUMMARY

Low temperature storage method is to increase the value of agricultural products by reducing quality loss and regulate consignment time by controlling respiration rates of agricultural products.

Respiration rate of agricultural products depends on several factors such as temperature, moisture, gas composition and a microbe inside the storage room. Temperature is the most important factor among these, which affects respiration rate and causes low or high temperature damage.

Fuzzy logic was used to control the temperature of a storage room, which uses information of uncertain fact and mathematical model for room temperature control. Room temperature was controlled better by using fuzzy logic control method rather than on-off control method.

Refrigerant flow rates and temperature deviations were measured for on-off system using TEV(Temperature Expansion Valve) and for fuzzy system using EEV(Electrical Expansion Valve). Temperature of the storage room was lowered faster by using fuzzy system than on-off system.

Temperature deviation was $-0.6 \sim +0.9^{\circ}\text{C}$ for on-off system and $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ for fuzzy system developed.

Temperature deviation and variation of temperature deviation were used as input parameters for fuzzy system. The most suitable input and output value were found by experiment. Cooling rate of the storage room decreased while temperature deviation increased for the sampling time of 20sec.

주요용어(Key Words) : 저온저장고(Cold storage room), 퍼지논리(Fuzzy logic), EEV, TEV, 온도편차(Temperature deviation), 온도 동특성(Temperature activation)

1. 서론

저온 저장은 상하기 쉬운 계절적인 농산물(seasonal product)의 상품성을 연장시키기 위한 기술이다. 수확된 농산물은 유통과 저장 중에 호흡에 의한 대사작용으로 향기·조직·색상 등의 변화와 손실이 발생되고 이는 농산물의 품질을 저하시키는 주된 원인이 된다. 따라서 호흡 등의 대사작용을 억제시키는 온도범위에서 농산물을 저장하여

출하시기 조절 및 품질손실을 최소화하여 농산물의 부가가치를 최대로 하는데 저온저장의 목적이 있다. 이러한 저온저장의 이점 때문에 과수 및 채소류를 생산하는 농가와 단체(농협)를 중심으로 저온저장고가 급속하게 보급되고 있다.

농림부가 가장 최근에 집계한 '95 농산물 저온저장고 시설현황'에 따르면 1983년도의 국내 총 저온저장고 면적은 5만3천5평에서 95년말까지 23만9천7백32평으로 꾸준히 증가되어 왔다. 95년 이

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

후 저온저장고 시설에 대한 더 이상의 공식조사는 이루어진 바 없으나 98년말 현재 전국적으로 약 300,000평의 저온저장고가 보급된 것으로 추정하고 있다. 양적인 면에서 보면 저온저장고 시설이 산지에서는 상당히 확보되어 있으나 도매시장이나 소비지에서는 매우 부족하다. 더구나 저장 농산물의 특성을 고려하지 않는 설비 및 운영으로 저장 중 농산물의 품질변화에 나쁜 영향을 주고 있다.

채소나 과일과 같은 농산물은 수확 이후에도 호흡작용을 계속하게 된다. 따라서 수확 후의 농산물이 부패나 건조 등에 의한 변질을 제외하면, 영양 성분의 감소나 시듦 등의 품질 저하의 원인은 호흡 작용에 있다. 따라서 농산물의 품질유지를 위해서는 호흡작용을 억제하는 것이 중요하다.

호흡 작용은 온도, 습도, 가스 환경, 미생물 등의 요인에 따라 좌우된다. 이중 온도에 의한 영향

이 가장 크며 온도분포와 그 변화정도는 농산물의 호흡량 변화 및 저온 또는 고온장애의 원인이 된다.

온도의 상승에 따라 호흡 속도는 지수 함수적으로 상승하고 농산물의 종류에 따라 차이는 있지만 대개 온도가 10℃ 증가할 때마다 호흡 속도는 2~4배 증가한다.

호흡 작용에 의해 생명을 유지하고 있는 농산물은 체온이 높아지게 되면 발열이 늘고, 그것이 다시 호흡 속도를 빠르게 하여 체내 성분의 분해가 가속되면서 수분의 증산이 증대된다. 이들 생리 작용에 따른 품질의 변화는 저온에서 억제되기 때문에 저장기간 동안 저온으로 유지되어야 한다. 또한 장기간 저장할 경우 저온저장고 내의 온도 분포가 저장 농산물의 품질 유지를 위해 중요하므로 저장기간 중 균일한 온도분포를 유지하도록 기

Table 1 Fuzzy rules

Rule #1	If [Temp. Error = ZO] and [Delta Temp. Error = PB] Then [Valve Openness = NB].
Rule #2	If [Temp. Error = ZO] and [Delta Temp. Error = PM] Then [Valve Openness = NM].
Rule #3	If [Temp. Error = ZO] and [Delta Temp. Error = PS] Then [Valve Openness = NS].
Rule #4	If [Temp. Error = ZO] and [Delta Temp. Error = ZO] Then [Valve Openness = ZO].
Rule #5	If [Temp. Error = ZO] and [Delta Temp. Error = NS] Then [Valve Openness = PS].
Rule #6	If [Temp. Error = ZO] and [Delta Temp. Error = NM] Then [Valve Openness = PM].
Rule #7	If [Temp. Error = ZO] and [Delta Temp. Error = NB] Then [Valve Openness = PB].
Rule #8	If [Temp. Error = PB] and [Delta Temp. Error = ZO] Then [Valve Openness = NB].
Rule #9	If [Temp. Error = PM] and [Delta Temp. Error = ZO] Then [Valve Openness = NM].
Rule #10	If [Temp. Error = PS] and [Delta Temp. Error = ZO] Then [Valve Openness = NS].
Rule #11	If [Temp. Error = NS] and [Delta Temp. Error = ZO] Then [Valve Openness = PS].
Rule #12	If [Temp. Error = NM] and [Delta Temp. Error = ZO] Then [Valve Openness = PM].
Rule #13	If [Temp. Error = NB] and [Delta Temp. Error = ZO] Then [Valve Openness = PB].
	PB: Positive Big, PM: Positive Medium, PS: Positive Small, ZO: Zero, NB: Negative Big NM: Negative Medium, NS: Negative Small

술적인 연구가 필요하다.

이에 본 연구의 목적은 퍼지제어를 이용 저온저장고의 온도 하강 동특성을 향상시키고 기존의 시스템보다 작은 헌팅(hunting)을 유발시켜 농산물의 장기 저장을 위한 균일한 온도 분포를 가지게 함으로서 결과적으로 시스템의 성능 향상을 가져오게 하는 것이다.

본 연구의 세부목적은 아래와 같다.

- ① 퍼지논리를 이용한 저온저장고의 온도 제어 시스템을 개발한다.
- ② 온도 하강 동특성을 향상시키고 기존의 On-off 시스템과 퍼지시스템의 동특성을 비교 분석한다.
- ③ 농산물의 저장 기간에 영향을 주는 저장고내 헌팅(hunting)을 줄여 기존의 On-Off 시스템과 상호 비교 분석한다.

2. 실험장치 및 방법

가. 실험장치

(1) 퍼지제어기

저온저장고의 냉매 조절에는 압력 변화에 입각한 조절, 온도 변화에 입각한 조절, 분량이나 양의 변화에 따른 조절 그리고 이와같은 조절의 혼합이 있다.

본 연구에서는 저온저장고의 온도를 제어하기 위해 퍼지논리를 이용하여 냉매의 유량을 조절하였다.

다음은 퍼지논리를 이용 저온저장고의 온도를 제어하기 위한 퍼지 제어기의 설계에 관한 내용이다.

표 1의 규칙들에서 IF절의 조건들은 퍼지제어에 사용되는 언어변수를 의미한다. 예를 들어 저온저장고의 온도편차가 0보다 조금 작고 온도편차의 변화량이 없으면 팽창밸브를 조금만 열라는 것을 의미한다.

(가) 퍼지 멤버십 함수 및 규칙

본 연구에서 사용한 퍼지제어기는 입력변수로 저온저장고내 온도편차(Temp. Error)와 온도편차의 변화량(Delta Temp. Error)을 사용하였으며 출력변수로 팽창밸브의 개도(Openness)를 조절하는 제어기의 전압으로 하였다. 온도편차와 온도편차 변화량의 언어변수를 7등분하였고 팽창밸브 개도의 언

어변수는 4등분하였다.

본 연구에서 사용된 총 규칙 수는 13개로 이를 표 1에 나타내었다. 규칙의 형태는 'IF <조건>, THEN <결론>' 형식을 취하며 조건부에는 2개의 퍼지변수와 결론부에는 1개의 퍼지변수를 가지도록 구성하였다.

(나) 퍼지제어 알고리즘

저온저장고내에 3차원상으로 설치된 14개의 온도센서로 측정된 온도의 평균값을 현재온도로 하였다. 그리고 현재온도와 설정온도의 차를 온도편차로 하였고 이것과 온도편차의 변화량을 퍼지제어기의 입력변수로 사용하여 퍼지추론 과정을 거친다. 퍼지제어기의 출력은 팽창밸브의 개도를 조절하는 전압으로 하였다. 저장고내 온도가 설정온도에 이르게 되면 프로그램이 실행을 종료하고 그렇지 않을 경우 설정온도에 이를 때까지 반복하게 된다. 개발된 프로그램은 Borland C++ 언어로 작성하였다. 본 연구에서 사용된 퍼지제어 알고리즘을 그림 1에 나타내었다.

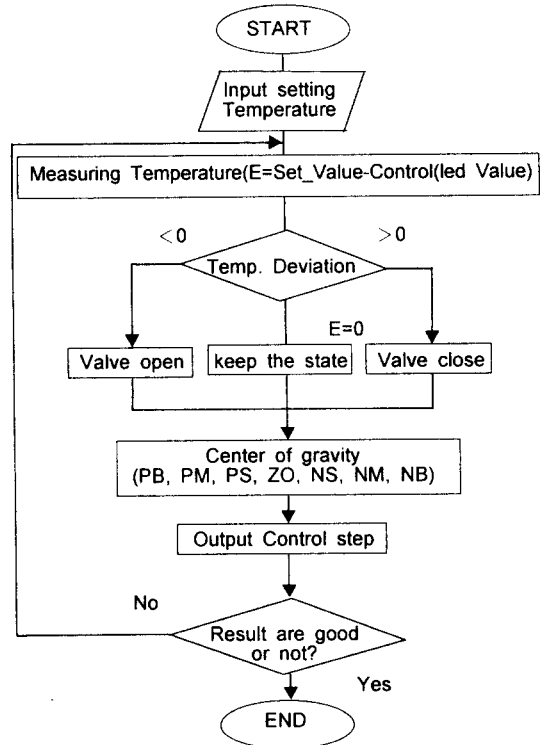


Fig. 1 Algorithm for the temperature control of cold storage room.

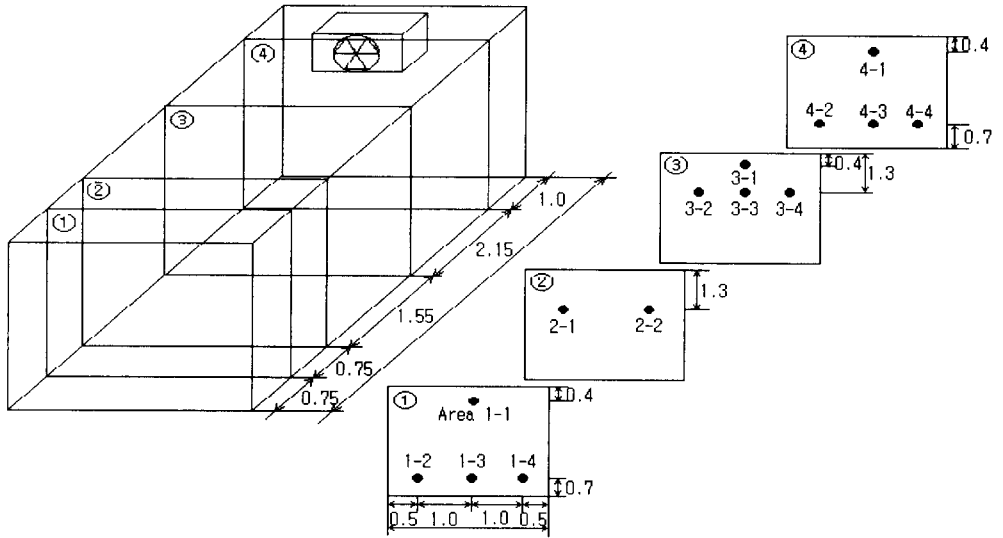


Fig. 2 Location of sensors. (unit: meter)

(2) 강제환기 저온저장고

실험에 사용된 저장고는 냉각팬과 증발기 및 제상히터가 내장된 유니트 쿨러와 3마력 용량의 압축기, 응축기, 수액기 그리고 이들을 제어하는 제어반으로 구성하였다. 저장고내의 온도를 측정할 수 있는 14개의 온도센서가 가로·세로 1미터 간격으로 3차원상으로 설치되어 있고 농산물을 저장할 수 있는 단열된 저장실로 구성되어 있다. 저장고는 전체가 모두 10cm의 폴리스티렌과 안밖으로 0.5cm 두께의 양면 철판으로 제작되었다.

공급되는 냉기의 방향성을 향상시키기 위해 유니트 쿨러의 팬 앞에 폭 10cm의 방향 보조 장치를 제작하여 부착하였다

저장고내 각 구역별 센서의 위치는 그림 2에 나타내었다.

(3) 실험장치의 개요

그림 3은 실험장치의 전반적인 개략도를 보여주고 있다.

실험장치는 기본 냉동 사이클을 이루고 있으며 On-Off 시스템에 의해 냉매의 유량을 제어하기 위한 기존의 온도식 팽창밸브(TEV) 외에 퍼지논리를 이용 냉매의 유량을 제어하기 위한 전자식 팽창밸브(EEV)를 설치하였다. 그리고 이 두 밸브의 전단에 전자변(Solenoid Valve)을 설치하여 필요에

따라 냉매의 흐름 방향을 변경할 수 있도록 하였다. 또한 냉매의 흐름 경향을 분석하기 위해 유량센서를 밸브 후단에 장치하였다. 그림 4는 제어방식에 따라 냉매가 제어되도록 한 팽창밸브, 유량센서 그리고 전자변을 보여주고 있다. 저온저장고내의 온도를 측정하기 위하여 14개의 온도센서를 3차원상으로 배열하였고 풍속을 측정하기 위한 풍속센서 1개를 유니트 쿨러 앞쪽에 설치하여 샘플링 시간마다 PC에 연결된 데이터 로거에 전송되도록 하였다. 외부 온도를 실시간으로 측정하기 위해 건물 천장에 온도센서 1개를 설치하였다.

퍼지논리를 이용 EEV를 제어하기 위해 EEV 제어기를 장치하였고 제어반을 퍼지제어화 하기 위해 SSR(Solid State Relay)을 설치하여 PC내의 AD/DA Converter에 연결하였다. 유량센서를 구동하고 유량센서를 통해 들어오는 신호를 처리하기 위해 Power Supply를 설치하였다. 소프트웨어를 제작하여 저장고내 온도 변화를 실시간으로 볼 수 있도록 하였다. 그림 5는 팽창밸브 제어장치, 각종 센서의 값을 읽을 수 있는 데이터 로거 그리고 저장고내 온도변화를 모니터에 도시해 주고있는 PC를 보여주고 있다.

저장고 측면에 3개의 구멍을 뚫고 각 구멍당 4~5개의 온도센서 케이블을 집어 넣은 후 실리콘으로 밀봉하였다. 풍속센서를 설치하기 위해 저장

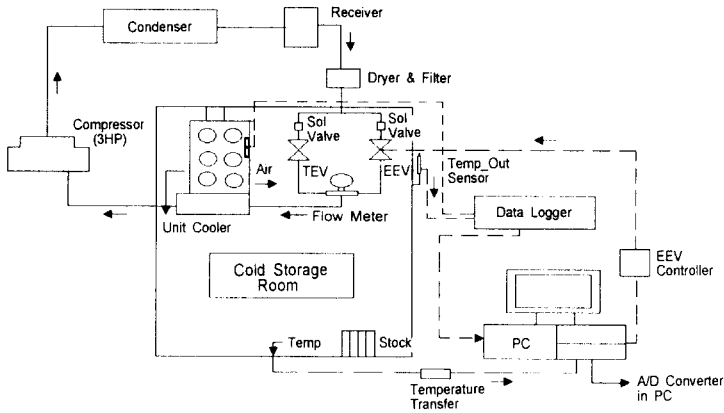


Fig. 3 Schematic of experiment equipment.

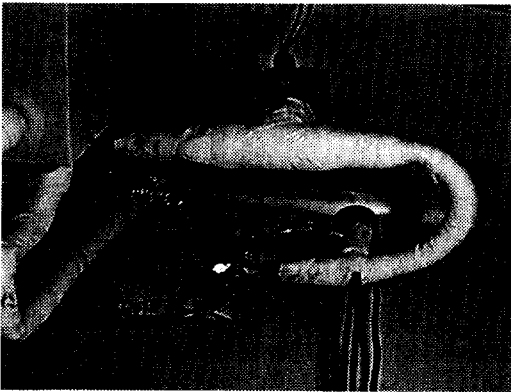


Fig. 4 TEV, EEV and Flow meter.

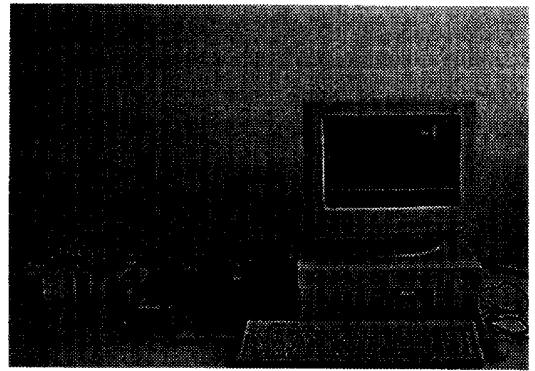


Fig. 5 controller and PC.

압축기의 용량은 3마력이다.

냉매의 유량에 따라 온도를 조절하기 위해 그리고 On-Off 시스템과 퍼지 시스템을 상호 비교하기 위해 그림 4와 같이 실험장치를 구성하였다.

나. 실험방법

본 실험은 1998년 9월초부터 10월초 사이에 외기온이 비교적 일정한 기간을 선택하여 실행하였다.

평균 외기온이 $28.5 \pm 0.4^\circ\text{C}$, 습도는 77~81%, 압축기 압력 3hp, 저온저장고 최초 온도 $23.5 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 에서 설정온도 0°C 에 이를 때까지 동특성을 실험하였다. 그리고 설정온도 도달 이후에 저온저장고 내의 각 구간별 온도분포의 균일성을 측정하기 위

해 편차의 변화량을 실험하였고 기존의 On-Off 시스템과 상호 비교하였다.

기존의 과열도를 이용한 간접적인 제어방식인 On-Off 제어대신에 Fuzzy 논리를 이용 각 구간별 저장고내의 온도를 입력으로 사용하여 제어하는 직접적인 방식을 사용하였다.

설정온도를 0°C 로 한 이유는 저온저장고를 가장 많이 사용하는 양파의 최적 저장 온도가 0°C 이기 때문에 이에 맞춰서 설정하였다.

실험은 다음과 같은 순서에 의해 진행되었다.

- ① On-off 제어에서 저온저장고내 각 구간별 온도 분포, 헌팅 그리고 풍속을 실험하였고 퍼지제어에서
- ② Output Membership Function의 변화에 따른 동

특성과 헌팅 비교,

- ③ Input Membership Function 중 Temperature Error의 변화에 따른 동특성과 헌팅 비교,
- ④ Input Membership Function 중 Delta Temperature Error의 변화에 따른 동특성과 헌팅비교,
- ⑤ Sampling Time의 변화에 따른 동특성과 헌팅비교 그리고
- ⑥ 설정온도 변화에 따른 변화를 각각 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 최적 멤버쉽 함수를 적용한 Fuzzy System과 On_Off System 비교

퍼지 시스템의 최적 멤버쉽 함수는 실험을 통하여 구하였다. 표 2는 시행착오법에 의해 구한 최적 멤버쉽 함수를 나타낸다. 시행착오법은 수 차례의 실험을 통해 멤버쉽 함수를 변화시켜가면서 그 최적의 값을 찾는 방법이다. 온도편차(Temp. Error)와 온도편차의 변화량(Delta Temp. Error)이 PB에서 ZO로 감소하는 것은 저장고내의 온도가 떨어지고 있음을 나타낸다. 특히 온도편차와 온도편차의 변화량이 이보다 크거나 작을 경우 시스템의 성능이 하락함을 알 수 있었다. 온도편차와 온도편차의 변화량에 의해 스텝핑 모터에 의해 구동되는 전자식 팽창밸브의 개도를 조절하게 되며 실험을 통해 얻어진 최적의 값을 표 2에 나타내었다. 사용된 스텝핑 모터는 팽창밸브를 완전히 개방하는데 3.7회전을 한다.

그림 6은 On-Off와 퍼지 시스템의 동특성을 비교한 것이다. 실험은 각 시스템 별로 같은 환경조건에서 10회씩 반복 실험하였고 각 구간별 측정값을 평균한 것이다. On-Off 시스템일 경우 최초 23.5℃에서 0℃까지 도달시간이 3,020초였으나 Fuzzy System에서는 2,063초 걸린 것으로 나타났다. 이는 두 시스템간 동특성을 비교해 볼 때 Fuzzy 시스템이 On-Off 시스템보다 향상된 성능을 가져왔음을 보여주고 있다. 이는 TEV를 이용하는 On-Off 시스템의 경우 과열도를 이용하는 간접적인 방식으로 인해 주위 공기에 따른 냉매의 압력 제어에 비효율성을 내포하고 있음을 보여주고 있

Table 2 Membership function

Classification	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
Temp. Error (℃)	21	14	7	0	-7	-14	-21
Delta Temp. Error(℃)	4.5	3.0	1.5	0	-1.5	-3	-4.5
Openness (revolution)	2.3	1.82	1.63	1.36	1.63	1.82	2.3

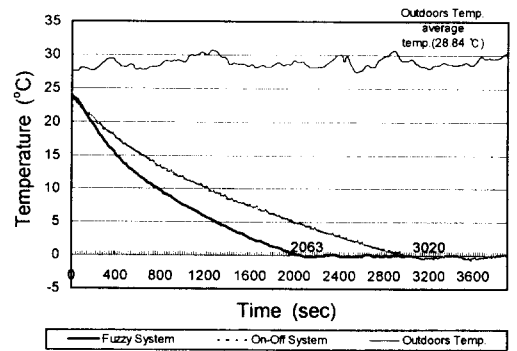


Fig. 6 Comparison of temperature activation between fuzzy system and on-off system.

다. 반면에 EEV를 이용하는 Fuzzy System의 경우 순환하고 있는 저장고 내의 공기의 온도에 따라 제어를 함으로써 보다 효율적인 냉매 압력제어가 되는 것으로 나타났다.

나. Fuzzy System과 On_Off System의 헌팅 비교

그림 7은 On-Off 시스템에서 헌팅이 발생하는 모습을 나타낸 것이다. 이는 저장고 내에 설치된 온도센서를 통해 얻어진 데이터로서 설정온도 0℃에 대해 각 구역에서의 온도분포를 나타낸다. 설정온도 0℃ 지점에서 일시적으로 시스템이 정지하다가 곧바로 헌팅이 발생하는 것을 볼 수 있다. 저온저장고내의 위치에 따라 온도의 최대·최소값이 많은 차이를 보이고 있으며 헌팅이 Fuzzy 시스템에서 보다 불규칙적으로 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

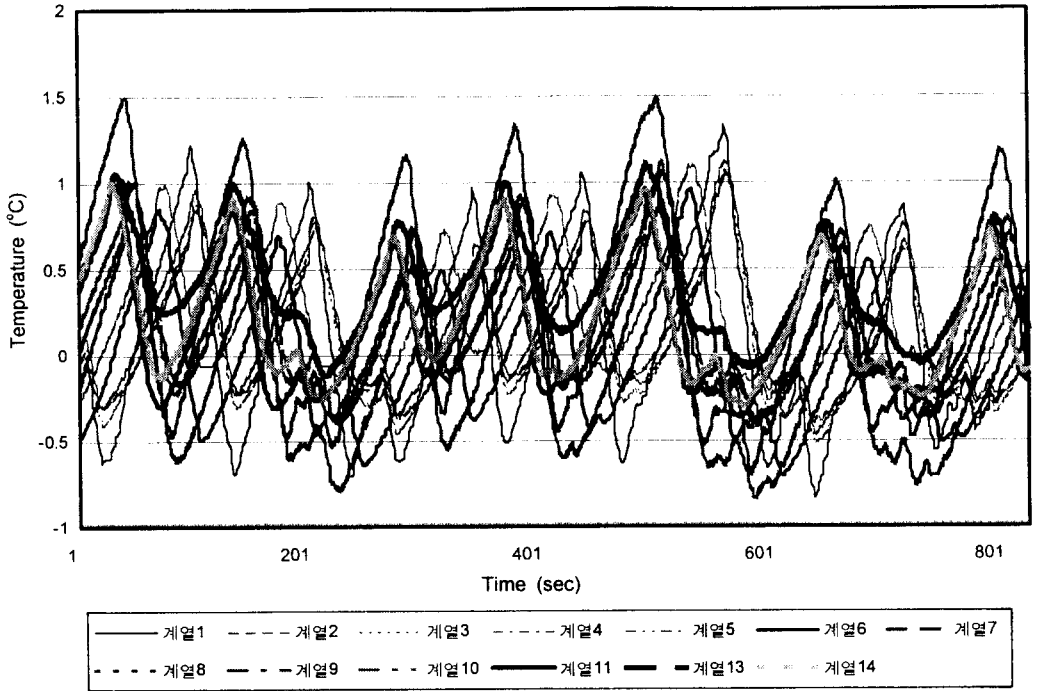


Fig. 7 Hunting variation at each point of thermocouple for on-off system.

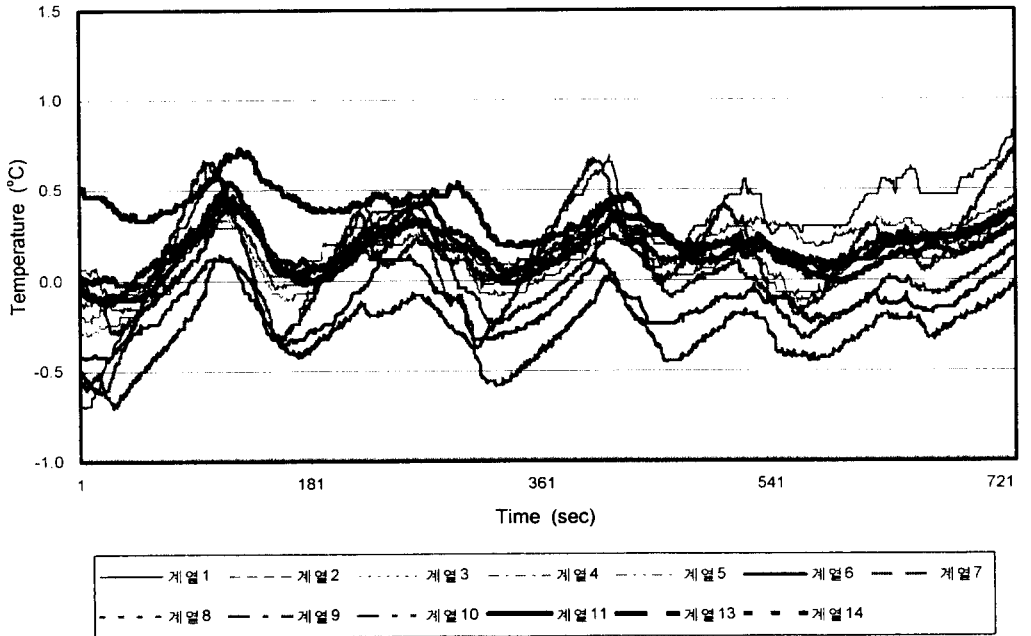


Fig. 8 Hunting variation at each point of thermocouple for fuzzy system.

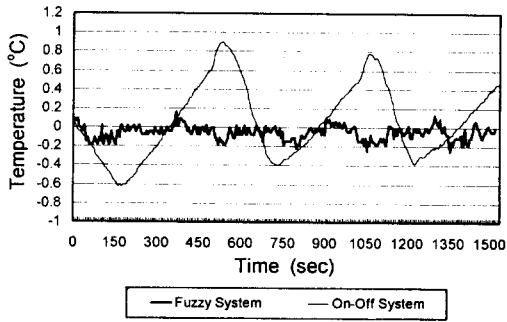


Fig. 9 Comparison of hunting between fuzzy system and on-off system.

그림 8은 Fuzzy 시스템에서 저온저장고 내에 설치된 온도센서를 통해 얻어진 데이터로서 설정온도 0°C에 대해 각 구역에서의 온도분포를 나타낸다. 헌팅이 시작되는 설정온도 부근에서 최초 헌팅이 약간 크게 나는 이유는 설정온도까지 도달하는데 동특성이 빠르기 때문에 나타나는 일시적인 현상이다. 저온저장고내의 위치에 따라 온도의 최대·최소값이 약간의 차이를 보이고 있으나 대부분 구역에서 헌팅이 균일하게 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

그림 9은 On-Off 시스템과 퍼지 시스템에서 각 구역별 온도를 측정 그 헌팅을 평균하여 비교한 그림이다. 실험은 각 시스템 별로 같은 환경조건에서 10회씩 반복 실험하였다. On-Off 시스템에서는 -0.6°C ~ +0.9°C 범위에서 불규칙하게 헌팅이 발생한 반면 퍼지 시스템에서는 ±0.2°C에서 균일하게 헌팅이 발생하였다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 증발기 출구의 냉매 과열도나 증발온도 제어시에 종래부터 사용되어온 On-Off 제어 방식 대신에, 이들 제어 방식들에 비해 보다 간편하게 제어 규칙을 표현할 수 있고, 인간의 감각에 보다 가까운 뛰어난 제어 효과를 기대할 수 있는 Fuzzy 제어를 온도 제어에 효과적으로 적용시킴으로서 좀더 성능이 향상된 저온저장고를

경제적으로 구현할 수 있게 되었다.

이상 연구 결과를 항목별로 요약하면 다음과 같다.

① TEV를 사용하는 On-Off 시스템과 EEV를 사용하는 Fuzzy 시스템에서 냉매의 흐름분포와 온도편차를 상호 비교 실험하였다. 그 결과 On-Off 시스템에 비하여 Fuzzy 시스템의 온도하강 동특성이 보다 빠르게 나타났다. 온도편차는 각각의 영역에서 On-Off 시스템의 경우 -0.6 ~ +0.9°C 범위였으나 개발된 Fuzzy 시스템의 경우 온도편차가 ±0.2°C 내에서 균일하게 발생하였다.

② 퍼지 입력변수로 온도편차와 온도편차의 변화량을 사용하였고 출력변수로 팽창밸브의 개도를 사용하였다. 가장 적합한 입력변수와 출력변수는 실험을 통하여 구하였다. 샘플링 타임이 20sec를 지나면서 온도 하강 동특성이 감소하고 온도편차도 점점 커지는 것을 관찰할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 고학균외. 1993. 농산가공기계학. 향문사.
2. 김정훈. 1996. 냉동 공조용 증발기의 과열도 및 증발온도의 퍼지제어. 부경대학교 박사학위 논문.
3. 농림부. '95 농산물 저온저장고 시설현황.
4. 박호석외. 1997. 농산가공 유통시설. 농협전문대학.
5. 변중남. 1997. 퍼지논리 제어. 홍릉과학출판사.
6. 조병관. 1997. $x-\epsilon$ 난류모델을 이용한 저온저장고 내부의 온도분포 및 공기유동에 관한 연구. 한국산업식품공학회지 1-3.
7. A. D. Althouse 외. 1998. 냉동공학. 원화출판사.
8. Nowotny S. 1991. Recent Progress in Micro Electronics and Their Applications in Refrigeration and Air Conditioning. International Journal of Refrigeration 14:140-147.
9. Yasuda H. 1992. Evaporate Superheat Control by An Electrically Driven Expansion Valve. Trans. of the JAR 9(2):1470-156.