

퍼지를 이용한 해태건조기용 자동 온도·습도 제어시스템

김은석*, 주기세**

The Automatic Temperature and Humidity Control System for Laver Drying Machine Using Fuzzy

Eun-Seok Kim*, Ki-See Joo**

ABSTRACT

The look up table method conventionally applied to control the inner temperature and humidity of a laver drying machine has repeatedly occurred not only laver's damage but also inferior goods since the reaching time at the optimum state takes a long time.

In this paper, a fuzzy control theory instead of the look up table was proposed to reduce the reaching time at the optimum state. The proposed method used six input variables and four output variables for the fuzzy control, and a triangle rule for a fuzzifier. The Mandani's min-max method was applied to a fuzzy inference. Also, the mean method of maximum was applied to a defuzzifier.

The method applied to the fuzzy controller contributed to reduce the reaching time at the optimum state, and to minimize not only laver's damage but also inferior goods.

Key Words : Look up table (lookup 테이블), Laver drying machine (김 건조기), Fuzzy control theory (퍼지제어 이론), Optimum state (최적상태), triangle rule (삼각형법), Min-max (최대최소법), Fuzzifier (퍼지화), Defuzzifier (디퍼지화), Laver's damage (해태손상), Inferior goods (불량품)

1. 서론

김 제조업체에서의 가공공정을 살펴보면 먼저 바다에서 채취한 해태를 탱크에 주입하게 되고 해태를 부드럽게 교반한 후 색상을 향상시키기 위하여 2단계의 이물질 선별기를 통해서 바다풀, 늦대기, 진저리 등과 같은 이물질을 제거하게 된다.

이물질이 제거된 해태는 길이가 긴 상태이기 때문에 김 생산을 위해서는 잘게 절단되어야 한다. 해태를 저속으로 절단 시에는 업체의 손상이 발생하여 김의 품질에 영향을 미치므로 고속으로 절단하게 되며 절단기를 통해서 잘게 절단된 해태는 숙성기를 통하여 숙성된다.

숙성기를 거친 해태는 1차적인 탈수를 위하여

** 2002년 3월 6일 접수

* 아주대학교 산업공학과

** 목포해양대학교 해사정보통신학전공

탈수기를 거치게 되는데 고속으로 회전하는 모터를 이용한 탈수과정에서 많은 수분이 제거된다. 탈수기를 거친 해태는 김의 품질등급에 직접적인 영향을 미치는 단위 면적 당 해태의 농도를 결정하는 조합기를 거쳐서 농도가 결정된다.

조합기를 거친 해태는 혼합통을 통과한 후 다시 농도조절기를 통해서 건조기로 진입하게 되는데 건조공정은 김 생산시간의 50%를 차지하고 있기 때문에 생산성에 직접적인 영향을 미치고 구름 현상, 수축, 갈라짐 등의 불량품이 발생한다. 위와 같은 불량품에 영향을 미치는 요소는 주로 온도, 습도 등과 같은 요소가 있다.

먼저 온도가 미치는 영향을 살펴보면 건조 온도가 높으면 건조효율은 높아지지만 수축과 갈라짐과 같은 불량이 발생하기 쉬우며, 온도가 낮으면 건조시간은 길어지고 광택이 없어지게 된다. 일반적으로 부드러운 김은 온도를 낮게 하여 건조시간을 길게 하는 것이 좋으며, 뻣뻣한 김은 비교적 고온에서 정상적으로 건조되나 업체의 질과 산지, 혹은 시기에 따라 달라진다.

다음으로 습도가 일정하지 않으면 미 건조나 수축과 같은 불량이 생기기 쉽다. 또한 습도가 전반적으로 너무 높으면 건조 능력이 저하되고, 색 광택에 영향을 미친다. 반대로 습도가 너무 낮으면 김 표면부와 중층부에 건조차가 생겨 수축과 무리현상이라는 불량품이 발생하기 쉽다.

기존의 김 건조기에서는 해태의 여러 상태에 맞추어 온도와 습도를 조절하는 방법인 룩업(look-up) 테이블 방식을 이용하였다. 룩업 테이블 방식은 채취된 해태의 상태가 부드럽거나 뻣뻣한 정도, 업체의 질과 산지, 시기 등이 모두 다르므로 해태 각각의 환경조건이 변할 때마다 적절한 온도와 습도를 설정하고 그 조건에 도달할 수 있도록 만들어 놓은 것이다. 그러나 이 방식은 온도와 습도의 설정 후 최적 환경에 도달하는 시간이 길어지며 이로 인해 해태의 손상을 가져올 수 있다. 또한 여러 상태의 해태가 김 건조기에 들어왔을 경우 환경조건이 계속 달라지므로 이에 빠르게 대처하는 능력이 부족하다.

따라서 본 연구에서는 구름, 수축, 갈라짐 등의 불량요인을 제거하고 적정온도 설정 후 최적 환경에 빨리 도달할 수 있도록 기존에 사용되었던 방식을 탈피하여 퍼지^[1]를 이용하여 제어하였다.

2. 해태 건조기의 온·습도 제어기 구성

김 제조 공정 중에서 품질에 직접적인 영향을 미치는 건조기 내의 최적 온도와 습도를 유지하기 위해서는 가열장치, 냉각장치, 가습장치, 제습장치 등의 조절이 필요하다. 기존에는 온·습도를 조절하기 위해 록업테이블에 설정된 값에 의해 장치들이 조작되었다. 이 방식에서 일정온도를 유지하기 위해서 가열장치와 냉각장치의 조절이 필요하고 일정습도를 유지하기 위해 가습장치와 제습장치의 조절이 필요하다. 이 방식은 각각의 장치들에 부하를 많이 주며 일정 온·습도를 유지하는데 변화가 심하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 기존 시스템의 단점을 보완하기 위해 퍼지제어^{[2][3][4]}로 이들 장치를 제어하여 해태의 환경 조건에 맞는 일정상태의 온도와 습도를 유지하는 것을 목적으로 하고 있다. 그림 1은 해태 건조기 내의 온·습도 제어시스템의 구성을 나타내고 있다. 그림 1에서 온도 조절을 위한 가열밸브와 냉각밸브가 있으며 습도 조절을 위한 가습밸브와 제습밸브가 있다. 그리고 김 건조기의 환기를 위한 환풍기가 있다. 기본 원리는 김 건조기 내의 필요한 온도와 습도를 설정하면 그 상태를 유지하기 위하여 온·습도 제어가 작동하게 된다. 김 건조기 내에 설치된 온도와 습도센서가 온도와 습도를 감지한 후 온도의 변화가 생기면 가열기와 냉각기가 작동하여 온도를 조절하고 습도의 변화가 생기면 가습기와 제습기가 작동하여 습도를 조절한다.

그림 2는 온·습도의 일반적인 제어 흐름도를 나타내는 것으로 먼저 온도와 습도를 일정한 값으로 설정하면 현재 온도와 습도를 설정된 값으로 맞추기 위하여 가열, 냉각, 가습, 제습장치가 작동하게 된다. 그리고 현재 온도와 습도를 측정하게 되며 현재 온도와 습도값과 설정한 온도와 습도값을 비교하여 현재 온도와 습도 값이 높으면 냉각장치와 제습장치가 작동하게 되고, 낮으면 가열장치와 가습장치가 동작하게 되고, 같으면 현재의 상태를 유지하게 된다.

3. 퍼지 제어기 구성

본 연구에서는 김 건조를 위해 일정한 상태의

온도와 습도를 유지하기 위하여 퍼지 제어를 이용하였으며 퍼지제어 시스템의 추론과정은 그림 3과 같다. 초기에 온도와 습도를 설정하면 가열, 냉각, 가습, 제습장치가 동작을 하고 온도센서와 습도센서가 현재상태의 온도와 습도를 측정하게 된다. 그리고 연산부에서 현상태와 전상태의 온도와 습도를 비교하여 오차값의 온도와 습도값을 출력하게 되며 추론부에서 퍼지제어를 행한 후 새로운 출력 값인 가열장치, 냉각장치, 가습장치, 제습장치의 밸브조절량을 출력하게 된다. 이 흐름은 연산부에서 전상태와 현상태의 차가 '0'이 될 때까지 계속되게 된다.

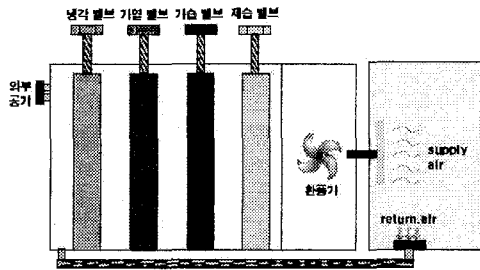


Fig. 1 The control system structure of humidity and temperature

그림 4는 퍼지제어 흐름도^[5]를 나타내고 있다. 퍼지제어는 크게 퍼지화, 퍼지추론엔진, 비퍼지화로 구분할 수 있다. 먼저 퍼지화를 하기 전에 퍼지제어에 필요한 입력변수와 출력변수를 만들어야 한다. 퍼지입력변수(X_k)는 6개($k=6$)가 사용되었으며, X_1 =온도상태, X_2 =습도상태, X_3 =가열장치밸브상태, X_4 =냉각장치밸브상태, X_5 =가습장치밸브상태, X_6 =제습장치밸브상태를 나타낸다. 그리고 퍼지출력변수(Y_j)는 4개($j=4$)가 사용되었고 Y_1 =가열장치 밸브조절량, Y_2 =냉각장치 밸브조절량, Y_3 =가습장치 밸브조절량, Y_4 =제습장치 밸브조절량을 나타낸다.

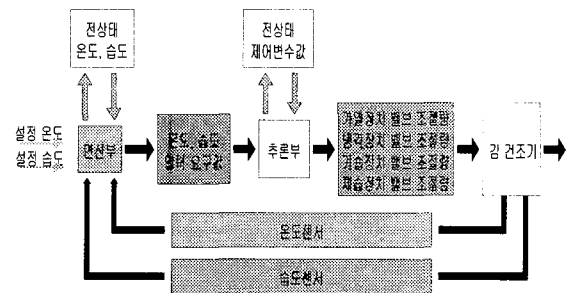


Fig. 3 The inference process of fuzzy control system

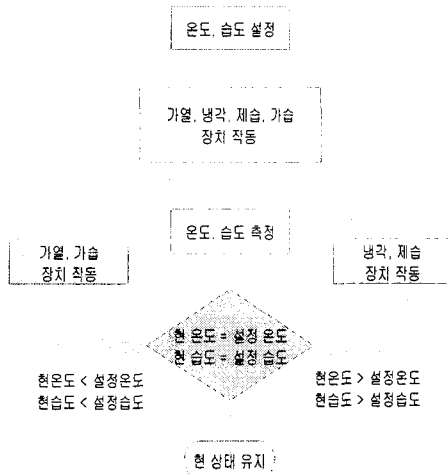


Fig. 2 The general control flowchart of temperature and humidity

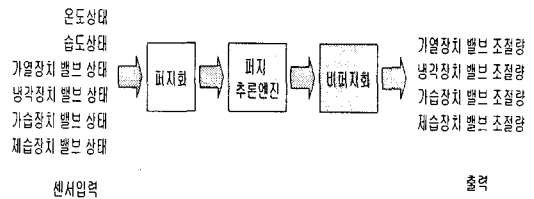


Fig. 4 A fuzzy control flowchart

3.1 퍼지화

퍼지화는 크리스프(crisp)한 입력 값을 측정하여 퍼지값으로 변환하는 것으로서 삼각형법을 이용하였다. 이 방법은 크리스프 입력에 대하여 소속함수가 삼각형 모양인 퍼지집합으로 변환시키는 방법이다.

먼저 퍼지 입력변수의 상태를 센서와 각각의 장치로부터 받아들이고 각 상태의 변화량의 범위를 그에 해당하는 전체 공간 값으로 변환한다. 이를 위하여 각 상태의 변화량을 -3에서 +3까지 6으로 양자화 하였으며 그림 5는 입력변수에 대한 멤버쉽 함수를 나타내고 있다. 그림 5에서 퍼지집합을 N(Negative), NZ(Between Negative and Zero), Z(Zero), ZP(Between Zero and Positive), P(Positive)로 분류하였다. 그림 6은 출력변수에 대한 멤버쉽 함수이며 퍼지집합을 Z(Zero), ZS(Between Zero and Small), S(Small), SM(Between Small and Medium), M(Medium), MB(Between Medium and Big), B(Big)으로 분류하였다.

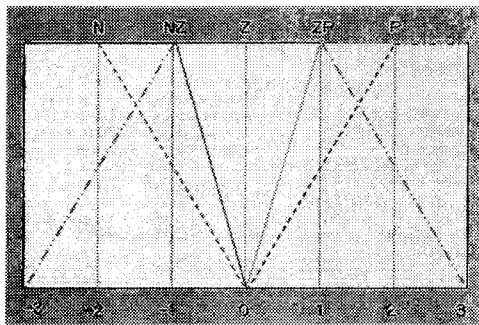


Fig. 5 A membership function by input variable

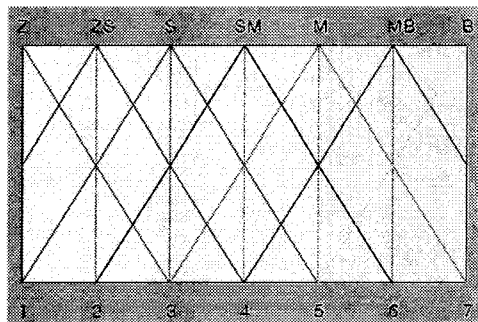


Fig. 6 A membership function by output variable

3.2 퍼지룰 및 퍼지추론방법

퍼지추론^{[6][7]}을 하기 위해서는 먼저 퍼지룰을 만들어야한다. 본 연구에서는 퍼지룰^[8]을 기존에 현장에서 사용되던 경험 데이터를 바탕으로 18개의

룰을 만들었다. 그리고 퍼지 추론은 맘다니의 Min-Max법을 이용하여 추론하였다. 식 (1)은 맘다니의 최대최소법을 나타내고 있다. 본 연구에서는 18개($i=18$)룰을 사용하였다. 그림 7은 첫 번째 퍼지출력을 위한 퍼지제어 시스템의 블록도를 나타내고 있다. 각각의 퍼지입력변수인 온도상태, 습도상태, 가열장치, 냉각장치, 가습장치, 제습장치 밸브상태와 그에 따른 퍼지관계변수(R_{kj})와 ‘ \circ ’연산을 행하면 입력에 대한 각각의 퍼지출력(Y_{kj})이 나오며 최종적으로 ‘ \wedge ’연산을 함으로써 첫 번째 퍼지출력 변수인 가열장치 밸브조절량(Y_1)이 출력되게 된다.

$$Y_j = \bigwedge Y_{kj} \quad (1)$$

$$Y_{kj} = X_k \circ R_{kj} = \bigvee_{i=1}^{18} [X_k \wedge R_{kj}]$$

$$R_{kj} = \bigvee_{i=1}^{18} [X_{ki} \wedge Y_{ji}]$$

여기서, X_{ki} = i 번째 추론규칙에 대한 k 번째 퍼지 입력변수
 Y_{ji} = i 번째 추론규칙에 대한 j 번째 퍼지 출력변수
 Y_{kj} = k 번째 퍼지입력에 대한 j 번째 퍼지 출력변수
 R_{kj} = k 번째 퍼지입력에 대한 j 번째 퍼지 출력에 대한 퍼지관계
 X_k = 퍼지 입력변수 Y_j = 퍼지 출력 변수

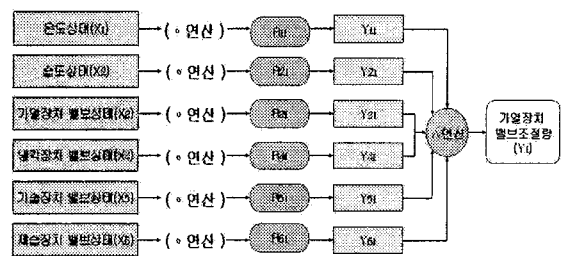


Fig. 7 The block diagram of fuzzy control system

3.3 비퍼지화

퍼지 추론부의 퍼지출력 신호값을 실제 시스템

에 적용하기 위해 명확한 비퍼지 제어 조작량으로 바꾸어 주는 비퍼지화 작업은 식 (2)를 이용한 최대 평균법을 사용하였다.

$$Y_{j \text{ def.}} = \sum_{b=0}^a \frac{U_b}{a} \quad (2)$$

여기서, $Y_{j \text{ def.}}$: j 번째 퍼지출력에 대한 비퍼지화

U_b : 소속함수값들이 최대가 되는 제어값

a : 최대값이 되는 제어값의 개수

3.4 일정한 온습도 유지를 위한 퍼지 알고리즘

일정한 온도와 습도를 유지하기 위하여 사용되는 퍼지제어 알고리즘^{[9][10][11][12]}은 다음과 같다. 먼저 1단계에서는 퍼지 추론을 하기 위하여 퍼지 입력변수 6개와 퍼지출력변수 4개, 그리고 퍼지 룰 18개를 만든다. 다음으로 2단계에서는 퍼지 입력변수와 퍼지 출력변수와의 관계를 나타내는 퍼지관계 (R)를 구한다. 3단계에서는 실제 퍼지 입력변수를 대입한다. 4단계는 3단계에서 대입한 퍼지입력변수와 2단계에서 구한 퍼지관계를 합성연산을 이용하여 퍼지입력에 대한 퍼지출력을 계산한다. 5단계에서는 4단계에서 구한 퍼지출력값에서 최소연산법을 이용하여 최종적인 퍼지출력값을 계산한다. 6단계는 퍼지출력값을 실제 시스템에 적용하기 위하여 비퍼지화를 한다.

단계 1 : 룰 베이스(18개 규칙) 작성

단계 2 : 퍼지관계 R 값을 구한다.

$$(R_{kj} = \bigvee_{i=1}^{18} [X_{ki} \wedge Y_{ji}])$$

단계 3 : 퍼지입력변수 대입 ($INPUT X_k$)

단계 4 : 퍼지입력에 대한 출력계산

$$(Y_{kj} = X_k \cdot R_{kj})$$

단계 5 : 퍼지출력계산 ($Y_j = \bigwedge Y_{kj}$)

단계 6 : 퍼지출력값을 비퍼지화

$$(Y_{j \text{ def.}} = \sum_{b=0}^a \frac{U_b}{a})$$

4. 실험결과

본 연구에서는 김 건조기 내의 온도와 습도가 설정되었을 때 그 상태를 유지하고 여러 종류의 해태가 들어와서 온·습도 변화가 심해도 빠르게 그 조건을 유지시키기 위하여 퍼지 제어를 이용하였다. 다음은 룰업 테이블을 이용한 기존 제어방식과 퍼지 제어를 사용했을 때 설정 값에 얼마나 빨리 도달하는지를 테스트한 결과이다. 테스트는 건조기 내에 들어오는 해태의 조건을 일정하게 놓고 50회 반복 실시하여 평균값을 이용하였다.

건조기 온도를 일정한 값으로 설정하면 두 가지 경우의 온도변화 결과가 발생한다. 먼저 그림 8과 같이 초기온도가 설정치 온도보다 낮은 경우로써 기존 제어방식과 퍼지 제어를 이용했을 때의 온도 변화이다. 기존 제어방식을 이용했을 때는 설정치 만큼 온도를 올리기 위해서 가열장치를 작동시킴으로써 온도가 급상승하게 되어 설정치 온도보다 높아지게 되고 온도를 다시 설정치로 내리기 위해서 냉각장치를 작동시켜서 온도를 하강시킨다. 이와 같이 가열장치와 냉각장치의 작동에 의한 상하 곡선이 2-3번 반복하게 되면 설정치의 온도에 도달하게 된다. 그때의 설정치 도달시간은 7분이었다. 퍼지 제어를 이용했을 때는 기존 제어방식과 거의 비슷하나 설정치의 도달시간이 5분으로 2분 정도 적게 걸리고 기존 제어방식보다도 초기 상승치가 낮아서 설정 치에 도달하는 시간이 줄어 들게된다. 두 번째는 그림 9와 같이 초기온도가 설정치 온도보다 높은 경우로써 기존 제어방식과 퍼지 제어를 이용했을 때의 온도변화이다. 기존 제어방식을 이용했을 때를 살펴보면 온도를 설정치로 내리기 위해서 냉각장치가 작동되며 그로 인해 온도가 설정치보다 내려가게 된다. 온도를 다시 설정치로 높이기 위해서 가열장치가 작동하며 온도는 바로 설정치에 도달하지 못하고 설정치보다 높아진다. 이러한 상하곡선은 5분까지 계속하게 된다. 이에 반해 퍼지제어를 이용한 경우는 초기 하강곡선이 기존 제어방식보다 낮으므로 설정치에 도달하는 시간이 3분 20초로 낮아지게 된다.

김 건조기내의 습도를 설정 값으로 셋팅할 경우 습도변화 결과는 온도의 경우와 마찬가지로 두 가지 결과가 발행한다. 첫 번째로 그림 10과 같이 초기습도가 설정치 습도보다 낮은 경우로써 기존 제어방식을 이용했을 때는 습도를 설정치로 올리기

위해서 가습기가 작동하면 습도가 급상승하여 설정치보다 높아지게 된다. 그리고 다시 습도를 설정치로 내리기 위해서 제습기가 작동함으로써 습도가 내려가게 된다. 이와 같이 가습기와 제습기가 반복 작동하게 되며 그때 습도변화는 상하곡선이 생기게 되며 4분 30초경에 설정치에 도달하게 된다. 퍼지 제어는 기존 제어방식과 비슷한 특성을 가진 그래프가 그려진다. 하지만 초기 설정 습도 치에 도달하는 상승곡선이 기존 제어방식보다는 완만하게 나타나며 설정치에 도달하는 시간도 기존 제어방법보다 1분 15초 정도 빠른 3분 15초경에 도달하였다. 두 번째는 그림 11과 같이 초기습도가 설정치 습도보다 높은 경우로써 기존 제어방식의 경우 습도를 설정치로 내리기 위해서 제습기가 최대로 작동하게 되며 그로 인해 설정치보다 내려가게 된다. 이 습도를 설정치로 올리기 위해 가습기가 작동하게 되며 설정치와 일치하지 않을 경우 다시 제습기가 작동하게 된다. 이러한 상하곡선은 4분 50초 정도에 멈추게 되며 설정치에 도달하게 된다. 이에 반해 퍼지를 이용한 경우는 기존 제어방식보다는 천천히 하강했다가 상승하는 곡선을 보였다. 그리고 설정치 도달시간은 3분 30초 정도 걸렸다.

5. 결론

본 연구에서는 김 건조기내의 온도와 습도를 그 환경에 맞게 유지시키기 위하여 기존의 방식과 달리 퍼지제어를 이용함으로써 기존 제어방식보다도 설정치에 도달하는 시간을 줄일 수 있도록 하였다. 연구결과 기존의 제어방식보다도 설정치에 도달시 급변화하는 경우가 적으므로 각 장치의 기계적인 부하가 적게 걸렸으며 온도의 경우 퍼지제어를 이용함으로써 2분 정도의 설정온도에 도달하는 시간이 빨랐으며 습도의 경우 1분 15초 정도 설정습도에 도달하는 시간이 빨랐다. 그리고 기존제어기보다 설정치에 도달하는 시간이 빠르므로 여러 가지 해태에 의한 온·습도 변화가 심해도 잘 적용하였다. 향후 연구에서는 해태 건조기 내의 적합한 환경을 유지해줄 수 있도록 온도와 습도뿐만 아니라 다른 환경변수도 적용하여 상호 교호작용을 고려한 최적의 환경을 구성할 수 있는 연구가 필요하다.

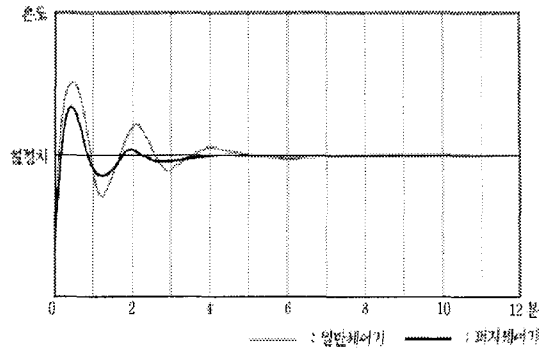


Fig. 8 A temperature variation by the changing times (A beginning temperature < A setting temperature)

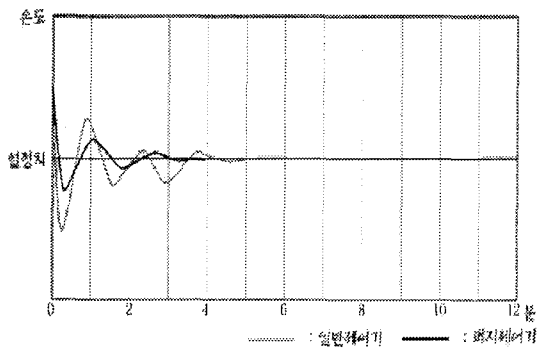


Fig. 9 A temperature variation by the changing times (A beginning temperature > A setting temperature)

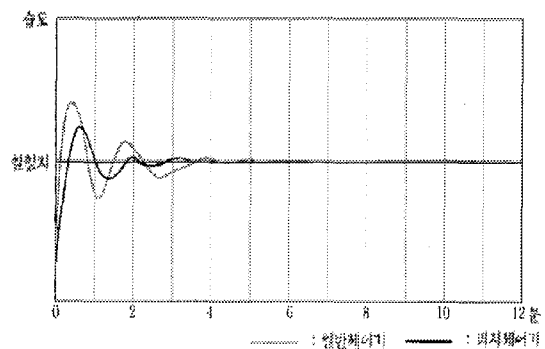


Fig. 10 A humidity variation by the changing times (A beginning humidity < A setting humidity)

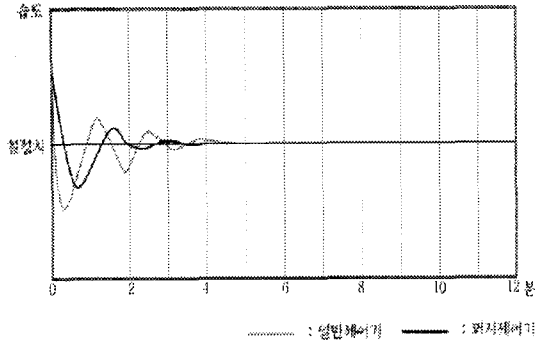


Fig. 11 A humidity variation by the changing times
(A beginning humidity > A setting humidity)

참고문헌

1. Kwang Bang Woo and Hee Soo Hwang, "Current Application of Fuzzy Systems in Korea," Plenary Lecture Presentation at Confuse '92, Seoul, 1992.
2. Z. Bien, Y.-T. Kim, Y.-J. Lee, S.-H. Lee, and T.-S. Lim, "Development of a fuzzy control systems for industrial processes," in Proc. of the Asian Control Conference(ASCC), Tokyo, Japan, pp. 489-492, 1994.
3. Chen Wei Ji, Fang Lei and Lei Kam Kin, "Fuzzy Logic Controller for An Inverted Pendulum Systems," IEEE, Int. Conf. on intelligent Processing systems, pp. 185-189, 1997.
4. 지성철, "퍼지논리 제어에 의한 CNC 서보기구의 마찰보정에 관한 연구," 정밀공학회지, Vol. 15, No. 9, pp. 56-67, 1998.
5. S.G.Cao, N.W.Rees and G.Feng, "Analysis and Design for a Class of Complex Control Systems, Part I: Fuzzy Modelling and Identification," Automatica, Vol. 33, No. 6, pp. 1017-1028, 1997.
6. Seung ha Lee and Zeungnam Bien, "Design of expandable fuzzy inference processor," IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 40, No. 2, pp. 171-175, 1994.
7. 류시열외, "Fuzzy Rule optimization using a Multi-population Genetic Algorithm," 전자공학회 논문지-C, Vol. 36, No. 8, pp. 54, 1999.
8. L.X. Wang and Jerry M. Mendel, "Generating Fuzzy Rules by Learning from Examples," IEEE Trans. on Syst., Man, Cybern., Vol. 22, No. 6, pp. 1414-1427, 1992.
9. 김은태외, "A Study on the Relaxed Stability of Fuzzy Control Systems," 전자공학회논문지-CI, Vol. 37, No. 5, pp. 11, 2000.
10. C.-T. Lin and C.S. George. Lee, "Neural network based fuzzy logic control and decision system," IEEE, Trans. Comput., Vol. 40, pp. 1320-1336, 1991.
11. Branson, Jeremy Steven, "A trainable fuzzy system incorporating dynamically variable asymmetric spreads and negative rule defuzzification," UNIVERSITY OF LOUISVILLE, pp. 199, 2000.
12. 강성남, "퍼지신경망을 이용한 성형성 평가 시스템에 관한 연구," 정밀공학회지, Vol. 1, pp. 300-304, 2001.