

# 퍼지 알고리즘을 이용한 온실의 환기제어\*

## Ventilation Control of Greenhouse by Fuzzy Algorithm

민영봉**	정태상***	문경규**
정회원	정회원	정회원
Y.B.Min	T.S.Chung	G.K.Moon

### 1. 서론

온실의 실내온도가 작물의 생육적온의 범위를 벗어날 때 냉방을 필요로 하며 이때 온실의 온도강하를 위해 창문을 개폐하는 방법이 에너지 절약면에서 유리하다. 종래의 환기제어 방법은 단순 On-Off제어였으나 최근에는 PID제어 등이 실용화되고 있다.<sup>(1)(5)</sup> 선진외국 특히 네덜란드의 온실에 사용되는 자동제어의 경우 대부분 비례제어와 PID제어를 사용하고 있으며, 바람이 영향을 고려하여 각 제어개인을 조정하므로 빈번한 작동을 방지하고 정밀 온도제어가 가능케 하고 있다.<sup>(2)(6)</sup> 일반적으로 환기에 대한 제어계 모형은 비선형으로 나타나며 바람에 의한 영향을 고려하면 PID 및 적응제어의 개인조정이 불가피 해진다. 비선형의 경우 퍼지제어 알고리즘을 도입하면 효과가 좋을 것으로 알려져 있지만, 온실의 환기제어에 퍼지 알고리즘의 간편한 도입을 위해서는 필요한 퍼지 변수와 제어규칙을 적합하게 구성하여야 한다.

본 연구는 온실의 환기에 따른 온실내 온도변화를 실내외 기상변화와 함께 조사하여 그 결과로서 적합한 Fuzzy 알고리즘을 수립하고, 대상유리 온실에 제어 실험을 실시하여 선행연구<sup>(1)</sup>에서 비교적 우수한 제어 결과를 보인 PID제어와 비교하여 향후 온실의 환기냉방제어의 가장 유리한 제어 기법을 확립할 수 있는 기초자료를 얻고자 수행하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 대상온실

본 연구에 사용한 온실은 단동식 철골유리 온실로서 가로×세로×높이가 9.4m×2.4m×3.75m이다. 대상 온실의 천창은 전동식 랙 앤 피니언 방식이며 측창은 권취식 개폐형으로 되어있다. 천창은 폭 1.2m이고 길이 22.5m이고 천창을 모두 열거나 닫는데 걸리는 시간은 180초이며 일정한 속도로 움직인다. 측창은 길이 22.5m로 개폐구간이 92cm이며 모두 개방할 경우 비닐을 감아 올리는데 부하가 걸리므로 181초가 소요되며 모두 닫히는데 걸리는 시간은 153초가 소요된다. 창문의 열림량은 제어모터의 작동시간에 따라 무단으로 움직이며,

\* 본 연구는 '98년도 한국학술 진흥재단의 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

\*\* 경상대학교 농업기계공학과

\*\*\* 진주산업대학교 기계공학과

완전열림과 닫힘단계에서 충분한 여단음 시간을 주어 오차를 보정하여 창문개폐제어의 정확성을 기할 수 있었다.

자동화된 대상 온실은 외부의 일사량, 풍향, 풍속 및 외기 온도를 측정할 수 있는 센서가 대상 온실 지붕에서 1m이상의 높이에 설치되어 있으며, 실내의 온도를 측정하기 위해서 6곳의 지점에 온도센서를 설치하였다.

#### 나. 실험장치

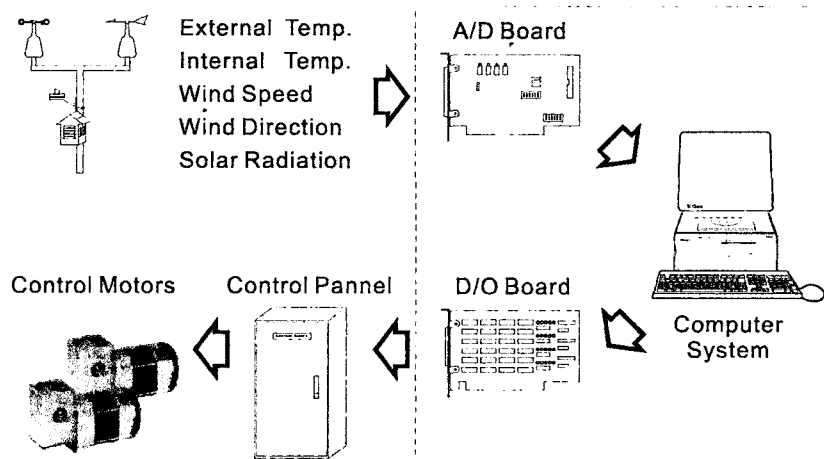


Fig. 1. Experimental equipment.

실험장치의 구성은 Fig. 1과 같이 하였으며 대상 유리온실에 설치한 센서의 신호를 A/D Board를 통하여 입력을 받는다. 그리고 프로그램에 의한 출력값으로 D/O Board를 제어하여 천창과 측장의 모터를 정회전, 역회전, 정지등으로 제어한다.

D/O Board는 Reed relay로 구성되어 있으며 Reed relay가 On되면 조작반의 24V DC relay를 구동시키고 다시 마그네틱 스위치를 구동시켜 모터를 움직이게 하므로 유해전류로부터 Computer system을 보호하여 동작오차가 없게 설계되어 있다. 온실에 설치되어 본 실험에 이용한 계측과 제어장치의 사양은 Table 1, 2와 같다.

Table 1. Specifications of measurement

Equipments	Specifications
Computer	intel 80486 DX4 - 100MHz, RAM 16Mb
OS, Language	Windows 95, Boland C++ ver 4.5
A/D Converter	Resolution : 12bit 32 channel single-ended Reference voltage : $\pm 5V$ bipolar
Digital Out board	32 channel Reed Relay output

Table 2. Specifications of control equipments

Sensors	Specifications
Temperature sensor	'T' type Thermocouple Range : -130℃ ~ 400℃ max
Solar Radiation sensor	Range : 0 ~ 1500 W/m <sup>2</sup> Element : Photo silicon diode Error : ±30W/m <sup>2</sup>
Wind direction sensor	Range : 0 ~ 360° Element : Potentio meter(5kΩ)
Wind speed sensor	Range : 0.5m/sec ~ 45m/sec Element : Photo coupler(0 ~ 500Hz pulse) Error : ±0.6m/sec

다. 실험방법

(1) 제어알고리즘의 구성

(가) 퍼지제어

1) 퍼지변수와 소속함수

퍼지함수는 전건부 입력 변수로서 E(실내온도-설정온도)와 ΔE(실내온도 증분) 후건부 조작변수로서 ΔU(창문 열림량 증분)으로 결정하였다. 각 변수값의 범위와 적합도를 결정하기 위하여 실외풍속, 실내의 온도차 및 창문 열림량 변화에 따른 실내온도변화 관계를 시험하였다. 9월의 진주지역에서 시험결과 창문 열림량( 열림폭/창문개폐폭, %)의 크기에 따라

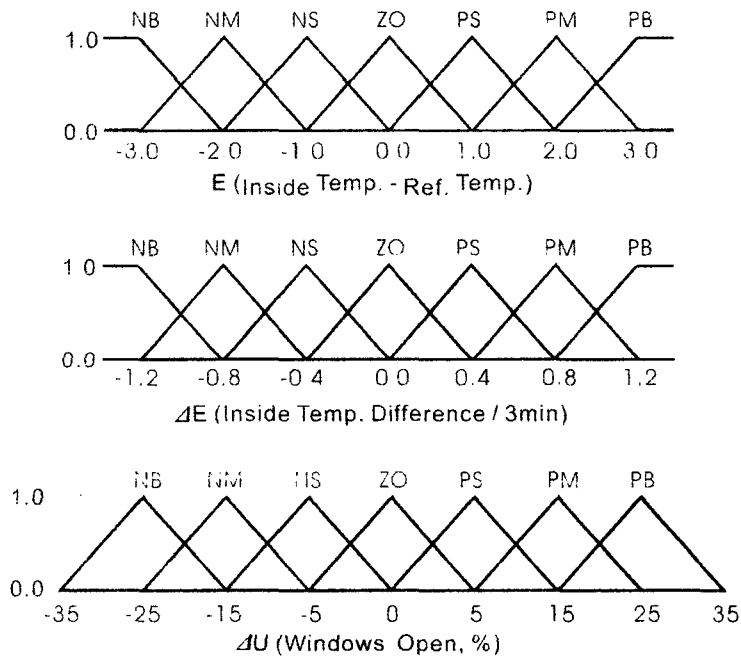


Fig 2. Fuzzy variables

실내외 온도차의 범위내에서 실내온도 강하가 이루어지며, 실내온도강하 속도는 창문 열림 폭에 관계없이 일정하게 지수감쇄 하는 것으로 나타났다. 동일 창문열림 조건에서 풍속이 높을수록 실내온도 수렴값이 낮아지며 수렴속도도 빨라졌다. 이와 같은 온도변화를 제어주기 동안의 변화폭으로 환산한 결과 제어주기 3분에서 최대실내온도 강하가 3℃, 실내온도 증분이 1.2℃로 나타났다. 또한 이 제어주기 3분내에서 실내온도 최대강하는 수렴치의 약 65%까지 강하하므로 퍼지 및 PID제어주기는 3분으로 하였다. 이상에서 외기풍속과 외기온도는 실내 온도의 변화곡선의 기울기에 영향을 미치는 것으로 조사되어 퍼지 변수로  $\Delta E$ 를 선택할 경우 풍속과 외기온도 변화를 고려한 제어 알고리즘이 됨을 알 수 있었다.

Fig. 2는 퍼지제어를 위하여 입출력 변수와 범위 및 적합도를 구성한 결과이다.

## 2) 제어규칙

퍼지변수가 2개이고 소속함수값을 7구분하였을 경우 제어규칙은 49개로 되지만 규칙의 이용도가 낮거나 규칙의 적용 가능성이 없는 부분을 삭제하여 Table 3.와 같이 제어규칙을 19개로 정하였다.

Table 3. Fuzzy rule

$\Delta E \backslash E$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB			PM	PB			
NM				PM			
NS	NM		ZO	PS			
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS				NS	ZO		PM
PM				NM			
PB				NB	NM		

### 나) PID제어

PID제어는 다음과 같은 수식에 의해 제어량을 결정하는 일반적 방법을 이용하였다. 제어량 증분  $\Delta U(k)$ 는

$$\Delta U(k) = U(k) - U(k-1) = K_P \{E(k) - E(k-1)\} + K_I e(k) + K_D \{E(k) - 2E(k-1) + E(k-2)\} \quad \text{----- (1)}$$

위 식에서  $K_P=0.0194$ ,  $K_I=0.0479$ ,  $K_D=0.0338$ 로서 기존실험을 실시한 결과자료로부터 高橋씨의 방법<sup>(4)</sup>에 의하여 계산한 값을 이용하였다.

### (2) 제어출력

Fuzzy 제어의 출력(창문열림량 증분)은 Max-Min합성중심법<sup>(3)</sup>에 의하였으며, PID제어는 (1)식의 결과를 이용하였다. 모든 제어프로그램은 Boland C를 이용하였다.

### (3) 제어출력과 창문조작

9월에 실시한 기초실험에서 천창과 측창의 완전개방시 환기효과비율은 천창이 25%, 측창이 75%로 나타났다. 따라서 Fuzzy 및 PID출력의 결과 30% 창문열음이면 천창 100%, 측창 7% 열음으로 창문이 조작되도록 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

전반적 실험결과, 디지털제어의 성능은 일사량, 실내외 온도차, 풍속의 변동량에 주로 영향을 받는 것으로 나타났다. 퍼지제어와 PID제어의 성능을 비교하기 위하여는 비교하고자 하는 환경요인 외의 환경은 일정한 상태를 유지하는 기간에 성능시험을 하여야 하는데 자연환경상태에서는 일정한 상태를 유지하기가 어려웠다.

전체실험은 9월과 10월 사이에 수차례 실시하였는데, 퍼지제어와 PID제어의 비교를 위한 자연환경이 일치된 데이터는 얻을 수가 없었다. Fig. 3과 Fig. 4는 외기 풍속의 변화가 있고, 다른 환경요인은 비슷할 때 퍼지제어와 PID제어의 결과를 나타낸 것이다. 두 경우 모두 제어목표 설정온도는 34℃로 하였다. 제어량인 실내온도의 변화만을 고려할 때 퍼지제어와 PID제어는 비슷한 결과를 나타내었다. 제어가 안정된 상태에서 제어오차는 퍼지제어와 PID제어 모두 1℃ 이내로 나타났다. 외기풍속은 퍼지제어가 실시될 때 평균4m/s이고, PID제어가 실시될 때 2.5m/s이며 풍속변동폭은 퍼지제어에서 4m/s, PID제어에서 2.5m/s로 퍼지제어에서 풍속의 영향을 많이 받을 것으로 예상된다. 그러나 실제제어 성능에서는 비슷한 결과를 나타냈기 때문에 퍼지제어의 경우가 풍속의 영향을 적게 받는 것으로 판단된다. 이것은 퍼지제어의 경우 풍속의 영향에 의한 실내온도 증분을 고려한 제어출력을 계산하는 반면 PID제어에서는 고정된 계인을 사용하기 때문으로 생각된다.

제어출력에 의한 창문의 조작량 변동은 퍼지제어의 경우 초기의 실내외 온도차가 클 때 조작량이 크고 그 외 구간에서는 적게 나타나며 그 현상은 PID제어의 경우도 같았다. 그러나 PID제어의 경우 실내외 온도차에 의한 초기 열림조작량이 너무 크고 열림과 닫힘 반복 동작이 일어났다. 높은 실내온도를 낮추어야할 때 창문조작을 단계적으로 열어가야 창문조작 에너지가 적게 들어가고, 또한 바람 등에 의한 실내온도 기울기가 크게 될 때에도 창문의 조작변동이 심하지 않게 하여야 바람직한 제어라 볼 때 PID제어는 약간의 문제점이 있다고 판단된다.

실제로 농가온실에서의 환기제어는 설정온도가 1개인 경우가 없으며 창문을 열어야 할 상한 온도, 닫아야하는 하한온도로 설정되는 것이 일반적이다. 따라서 환기의 설정온도가 상한과 하한으로 구분된다면 창문조작량의 변동은 퍼지제어에서는 창문을 점차적으로 열음 또는 닫음 조작이 되는 반면 PID제어는 창문열음 구간에서도 여닫음 반복조작이 일어나는 문제점이 있을 것으로 판단된다.

이상에서 퍼지제어는 PID제어에 비해 바람, 실내외 온도차의 변동에 유연하게 대처되며 온실의 창문에 의한 환기제어의 기법으로서는 대단히 유용하며 제어오차를 1℃ 이내로 제어

가능함을 알 수 있었다.

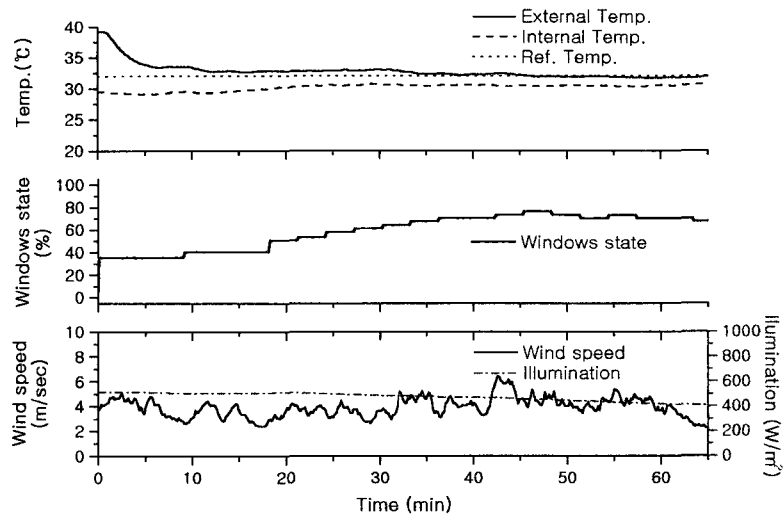


Fig 3. Fuzzy control

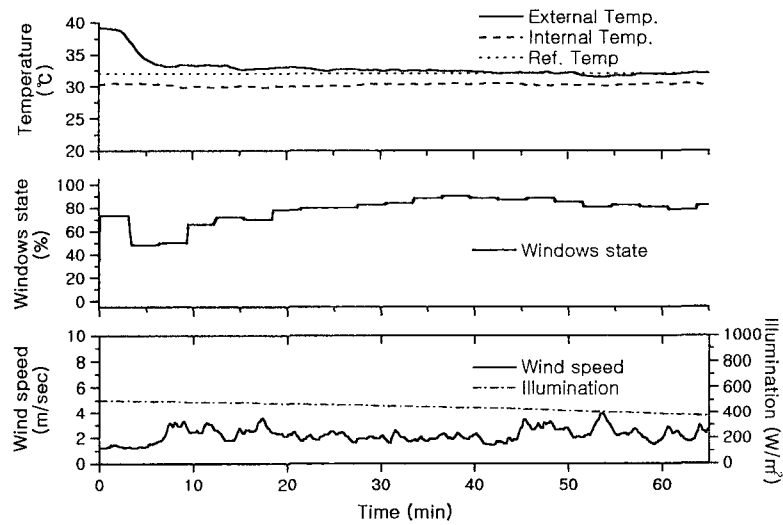


Fig 4. PID control

#### 4. 요약 및 결론

온실의 환기제어시 외기의 온도와 풍속변화에 보다 유연하게 대처하기 위하여 Fuzzy 알고리즘을 도입한 제어실험을 실시하였다. Fuzzy변수의 수와 소속함수값 범위는 기초환기시험을 통하여 결정하였고, Fuzzy 규칙은 각 제어인자를 충분히 고려한 19개의 규칙을 적용하였다. 천창과 측창의 개폐를 계단입력 하였을 때 1~5m/s의 풍속변화와 8°C 이내의 실내외 온도차 변화가 발생한 기초실험으로부터 퍼지변수를 결정하였다. Fuzzy변수는 전건부에서

제어편차  $E$ (설정온도-실내온도)와  $\Delta E$ (제어편차증분)로 결정하고, 후건부에서  $\Delta U$ (창문열림량 증분)로 결정하였고, 각각의 소속함수 한계는  $+3^{\circ}\text{C} \sim -3^{\circ}\text{C}$ ,  $+1.2^{\circ}\text{C} \sim -1.2^{\circ}\text{C}$  및 35%로 결정하여 퍼지제어 알고리즘을 구성하였다.

자동화 유리온실에 컴퓨터 계측장치를 설치하여 제어주기 3분으로 실험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 퍼지제어와 고정계인 PID제어의 실내온도 제어 성능은 비슷한 결과를 나타내었고, 각각의 제어오차는  $1^{\circ}\text{C}$ 미만이였다.
- 2) 퍼지제어는 PID제어에 비해 바람, 실내외 온도차의 변동에 유연하게 대처하며 창문의 점진적 여닫음 조장이 가능하였다.
- 3) 창문여닫음 조장에 의한 온실의 환기제어에 퍼지제어를 적용할 때 전건부 변수는 제어편차와 제어편차증분으로 그 범위는 각각 예상오차의 3배 및 1.5배로 하고 후건부인 창문조작량 증분은 최대 조작량의 30% 정도로 하였을 때 안정된 제어가 가능할 것으로 판단된다.

## 5. 참고문헌

1. 정태상. 1995. 디지털제어방식에 의한 온실의 환기제어. 경상대학교 대학원 박사학위논문
2. 菅野道夫. 1988. ファジイ 制御 日刊工業新聞社. 東京. p.67~96.
3. 廣田薫. 1990. ファジイ 活用事例集. 工業調査會. 東京. p.6~10.
4. 高橋安人. 1983. デジタル 制御. 岩波書店. 東京. p.91~95.
5. Kamp P.G.H. and G.J. Timmerman. 1996. Computerized Environmental Control in Greenhouses, IPC-Plant, Ede, The Netherlands. p. 176~192.