

퍼지적응온도모델을 이용한 냉기집중제어 Refrigerator Temperature Control Using Fuzzy Adaptive Temperature Model

김 지관*, 이 정용*, 이 홍원*

Jickwan Kim, Jungyong Lee, Hongwon Lee

* 삼성전자 기술총괄 기반기술센터
** 삼성전자 가전본부 가전개발실
경기도 수원시 팔달구 매탄3동416
Email : jkkim@rnd.sec.samsung.co.kr

Abstract : 본 연구는 새로운 부하(고온의 저장물)가 냉장실 내부에 인입됨에 따라 발생하는 온도불균형을 해소하기 위해 채택된 집중냉각 방식에 있어서의 회전날개 정지각도 결정 알고리즘 관한 것으로, 특히 냉장실내의 온도에 직접적인 영향을 미치는 압축기(Compressor) 및 냉기팬(냉기를 냉장실내에 불어넣기 위한 팬)의 운전상황을 입력으로 냉장실내 여러 영역에서의 온도를 추정하는 퍼지적응모델을 이용하여 온도불균형 영역을 검지하고, 이에따라 회전날개의 각도를 제어함으로써 냉장실내부의 온도평형을 신속히 이루게하는 특징을 가지고 있다.

1. 서론

냉장고는 냉장실내의 온도를 일정하게 유지함으로 식품들을 신선하게 보관한다는 목적을 가지고 있으나, 실제로 냉장실내부의 온도분포를 측정해보면, 선반에 의한 구역분리, 냉기의 정체등에 의하여 그 분포가 일정치 않음을 쉽게 확인할 수있다. 이러한 냉장실내의 온도분포의 불균형은 주로 상온의 새로운 냉장물이 냉장실내에 인입됨에 따라 발생되거나 가중되는데, 냉장실의 과냉현상 및 에너지효율을 나쁘게하는 요인이 되고있다. 따라서, 최근에는 상온의 저장물이 냉장실에 인입되어 온도가 상승하는 경우, 냉기 유출구의 날개 각도를 부하 발생 영역으로 고정시켜 냉기를 몰아줌으로 부분적인 온도 상승을 막고 빠른 시간내에 냉장실내의 온도분포를 평형화시키는 냉기 집중제어 방식이 제안되어, 저장물의 빠른 냉각과 소비전력의 감소에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(강근택외[2]).

이러한 과냉현상의 방지 및 집중냉각방식에 있어 냉장실내 온도분포의 추정은 필수적인데, 지금까지의 연구에서는 냉장실 내부벽면에 부착된 센서로부터 얻어진 측정데이터의 현재값 및 과거값과의 차분을 이용하여 냉장실내의 온도분포를 추정하는 TSK 퍼지 모델이 제안되어 있는 정도이다(강근택외[2]). 그러나, 이 퍼지모델은 정적시스템(Static System)으로 구성되어 있고, 냉장실의 온도분포에 직접적인 영향을 미치는 압축기 및 냉기팬의 운전상황을 고려하고 있지 않다. 즉, 센서의 측정치만을 이용하여 미리 선택한 영역의 온도를 추정하고 있으나, 이것은 온도를 변화시키는 요인이 모델에 포함되어 있지 않기 때문에 온도추정에 있어서의 오차가 크다는 단점이 있다. 또한 오프라인으로 파라미터를 결정하기 때문에 냉장고 개개의 특성에 대응할 수 없다.

본 연구에서는 압축기 및 냉기팬의 운전상황을 입력값으로 갖는 퍼지적응 온도모델을 이용하여 냉장실 내부의 센서부근 영역의 온도를 모델링한뒤, 냉장실 내부에 새로운 저장물이 인입됨으로 발생하는 온도불균형을 센서의 측정치와 모델의 출력치의 차에 의해 검지하여, 빠른 시간내에 온도분포가 고르게 되도록 냉장실에 공급되는 냉기의 최적토출 방향을 결정하

는 퍼지제어알고리즘을 제안한다. 본 연구에서 제안하는 온도모델은 동적시스템으로 퍼지블 감대를 적용함으로 외란에 대해서도 시스템의 안정성을 상실하지 않는 강건성을 가지고 있다.

2. 퍼지적응 온도모델

냉장실 내부에 설치한 i 번째 온도센서를 다음과 같은 비선형 시스템으로 가정하자.

$$\begin{aligned} s_i(k+1) &= f(s_i(k), u(k),) \\ &\cong a_{i1}s_i(k) + a_{i2}s_i(k-1) + b_{i1}u(k) + b_{i2}u(k-1) + \omega_i(k) \\ &= \theta_i^T \phi_i(k) + \omega_i(k) \end{aligned}$$

여기서 $\omega(k)$ 는 선형화 오차를 포함한 주위부하등에 의한 외란을 의미하며, $u(t)$ 는 Compressor 및 냉기팬의 운전상황으로 다음과 같이 정규화 하였다.

$$u(k) = \begin{cases} 0.4 & \text{Comp. On R-fan On} \\ 0.2 & \text{Comp. On R-fan Off} \\ 0.0 & \text{Comp. Off R-fan On} \\ -0.2 & \text{Comp. Off R-fan Off} \end{cases}$$

상기 시스템에 대한 동정모델(Identification Model)로 다음과 같은 선형시스템을 정의한다.

$$\begin{aligned} \hat{s}_i(k+1) &= \hat{a}_{i1}(k)s_i(k) + \hat{a}_{i2}(k)s_i(k-1) \\ &\quad + \hat{b}_{i1}(k)u(k) + \hat{b}_{i2}(k)u(k-1) \\ &= \hat{\theta}_i^T(k)\phi_i(k) \end{aligned}$$

여기서, θ 는 a, b 를 요소로 갖는 미지(unknown)의 시스템 파라미터벡터이다.

센서 i 의 실측치와 동정모델의 출력치와의 오차를

$$\begin{aligned} e_i(k) &= s_i(k) - \hat{s}_i(k) \\ &= (\theta_i - \hat{\theta}_i(k))^T \phi_i(k) \end{aligned}$$

로 정의하면, 우리는 $\lim_{k \rightarrow \infty} |e_i(k)| \leq \varepsilon$ 를 만족하도록 다음과 같은 퍼지블감대를 이용하여 동정모델의 파라미터를 수정해 나감으로서 실제 시스템과 유사한 거동을 하는 모델을 얻을 수가 있다. 여기서 ε 는 설계자가 설정하는 오차의 허용 범위이다.

우선, 다음과 같은 퍼지 집합을 정의한다.

$$D = \{x / \mu_D(x)\} \quad x \in R$$

$$\mu_D(x) = \begin{cases} 1 & |x| \leq \delta \\ 0 & |x| \geq 2\delta \\ \frac{2\delta - |x|}{\delta} & \delta < |x| < 2\delta \end{cases}$$

이때 실측치와 모델 출력간의 오차가 이 퍼지 집합에 속하는 정도를 다음과 같이 나타낸다.

$$\alpha_i(k) = \mu_D(e_i(k))$$

위의 멤버쉽값을 이용하여 다음과 같은 함수를 정의한다.

$$p_i(k) = 1.0 - \alpha_i(k)$$

$p_i(k)$ 는 구간 $[0,1]$ 의 값을 취하는 연속함수임을 알수있으며, 이 점이 일반적으로 제안되고 있

는 불감대와 다른 점이다.

이 $p_i(k)$ 를 이용해 다음과 같은 적응알고리즘을 구성한다.

$$\begin{aligned}\hat{\theta}_i(k) &= \hat{\theta}_i(k-1) + p_i(k)G_i(k)e_i(k) \\ G_i(k) &= \phi_i(k-1) / (\lambda + \phi_i^T(k-1)\phi_i(k-1))\end{aligned}$$

이 퍼지불감대를 이용한 적응알고리즘에서는 다음과 같은 특성이 일어난다.

- i) $\|\hat{\theta}_i(k) - \theta_i\| \leq \|\hat{\theta}_i(k-1) - \theta_i\| \leq \|\hat{\theta}_i(0) - \theta_i\|$
- ii) $\limsup_{k \rightarrow \infty} \|\hat{\theta}_i(k) - \hat{\theta}_i(k-1)\| \leq \frac{\delta}{\sqrt{\lambda}}$
- iii) if $\phi_i(k)$ is bounded, $\limsup_{k \rightarrow \infty} |e_i(k)| \leq \delta$

이 결과는 일반불감대를 이용했을 때의 특성과 비교했을 때, 불감대내에서도 적응동작으로 인해 실측치와 모델출력과의 오차가 최대 50%까지 감소되는 것을 알 수가 있다.

3. 세트 실험에 의한 온도모델링과 제어 알고리즘

제1도와 같은 실험장치에서 무부하시의 온도데이터를 수집하고, 이를 학습용 데이터로 사용하여 두개 세트에 대해 다음과 같은 온도모델이 결정되었다.

Set 1

$$3/4h \text{ Sensor : } x(k+1) = 0.4986x(k) + 0.4986x(k-1) + 0.0015u(k) - 0.0135u(k-1)$$

$$1/3h \text{ Sensor : } x(k+1) = 0.4985x(k) + 0.4984x(k-1) - 0.0074u(k) - 0.0113u(k-1)$$

Set 2

$$3/4h \text{ Sensor : } x(k+1) = 0.4998x(k) + 0.4998x(k-1) - 0.0165u(k) + 0.0035u(k-1)$$

$$1/3h \text{ Sensor : } x(k+1) = 0.4978x(k) + 0.4977x(k-1) - 0.0104u(k) - 0.0113u(k-1)$$

이 모델들을 이용하여, 각 영역에서 부하가 발생(즉 냉장실 문을 열고 30℃의 물이 차 있는 얼음그릇(부하)을 넣어두는 것) 한후 4분과 5분위의 모델에서 추론한 온도와 각 센서의 측정치와의 오차를 비교해보면 표1과 같다. 이러한 데이터들에 기초해 오차의 크기에 대해 다음과 같은 5개의 퍼지집합(Zero(0.0-0.25), Small(0.26-0.5), Medium(0.51-0.75), Large(0.76-1.0), Huge(1.1이상))을 정의한다.

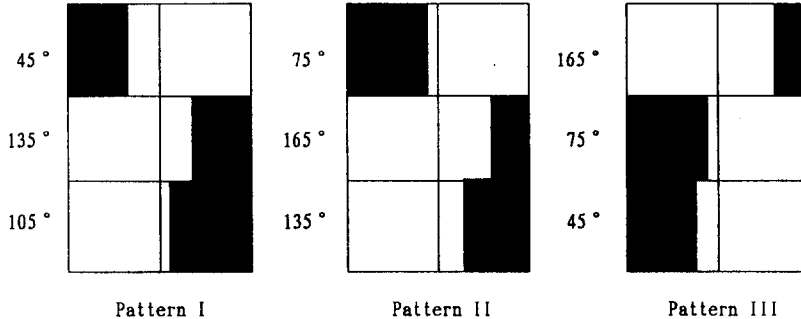
한편, 이와같이 정의된 집합을 이용하여 퍼지제어율을 만든뒤 정리하면 다음과 같은 형태의 Look-Up 테이블로 구성된다.

회전날개 제어용 Look-up Table

		센서 1				
		Zero	Small	Medium	Large	Huge
센서2	Zero	Pattern 1	Pattern 3	Pattern 3	Pattern 1	Pattern 1
	Small	Pattern 1	Pattern 3	Pattern 3	Pattern 1	Pattern 1
	Medium	Pattern 3	Pattern 3	Pattern 3	Pattern 3	Pattern 1
	Large	Pattern 3	Pattern 3	Pattern 3		
	Huge	Pattern 2	Pattern 2	Pattern 2		

이 테이블이 의미하는 것은, 예를들어, 센서1과 추정치와의 오차가 Large이고 센서2와 추정

치와의 오차가 Small이면 회전날개를 패턴1의 형태로 제어하라는 것을 의미한다. 여기서 제어 패턴은 다음과 같은 세종류이며, 이는 회전날개를 정지시켰을 때 냉기가 집중적으로 토출되는 지역을 나타낸 것으로, 회전날개의 구조를 고려하여 냉장실내부의 전 지역을 커버할 수 있는 회전날개의 정지위치를 선정한 것이다.



상기의 룰을 적용하여 냉장실내 6영역(상단 좌/우, 중단 좌/우, 하단 좌/우)에 대한 60개의 부하실험 데이터에 대한 제어시뮬레이션을 실시한 결과를 87%의 정확도를 보였다. 모의실험 내용을 다음에 나타낸다.

(正)판정		52개	52/60=87%
판정 오류	Pattern1을 Pattern3으로 판정	7개	8/60=13%
	Pattern2을 Pattern3으로 판정	0개	
	Pattern3을 Pattern1로 판정	1개	
	Pattern3을 Pattern2으로 판정	0개	
	Pattern1을 Pattern2로 판정	0개	
	Pattern2을 Pattern1로 판정	0개	

4. 결론

과거의 회전날개 제어 알고리즘들이 단순히 센서값의 변동만을 가지고 회전날개의 제어를 실현하는 것과는 달리, 본 제어알고리즘에서는 압축기(Compressor)와 냉기팬의 운전상황을 입력변수로 하는 모델을 기초로 부하의 위치를 파악하므로 좀더 효과적인 집중냉각을 실현할 수가 있다는 차이를 가지고 있다. 이것은 빠른시간내에 냉장실 내부의 온도를 평형화시키는 것을 의미하며, 따라서 전력소비등에도 영향을 미칠것으로 생각된다.

<참고문헌>

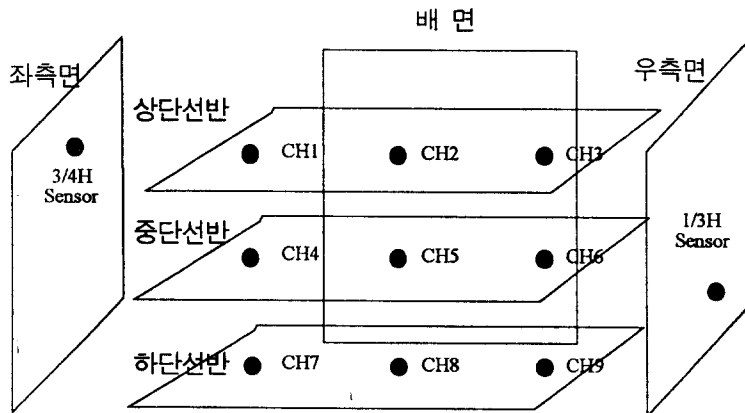
[1] G.C. Goodwin & K.S. Sin, Adaptive Filtering, Prediction and Control. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984.
 [2] 강근택외 4명, “감성공학기법을 이용한 냉장고온도제어”, ‘96한국퍼지 및 지능시스템학회 춘계학술대회, pp160-164, 1996. 3.
 [3] 김지관외 4명, “퍼지동정알고리즘을 이용한 냉장실 온도분포추정에 관한 연구”, ‘96한국퍼지및지능시스템학회 춘계학술대회, pp. 194-197, 1996. 11.

표1: 각종 부하시의 모델출력과 센서 측정치와의 차이 1

	SET A				SET B			
	SENSOR 1		SENSOR 2		SENSOR 1		SENSOR 2	
	4분	5분	4분	5분	4분	5분	4분	5분
부하 1	0.741	0.808	0.192	0.194	0.898	1.054	0.056	0.013
부하 2	0.316	0.383	0.029	0.025	0.881	0.926	0.209	0.017
부하 3	0.479	0.572	0.317	0.303	0.400	0.418	0.324	0.399
부하 4	0.196	0.287	0.428	0.504	0.203	0.272	0.352	0.433
부하 5	0.371	0.356	0.544	0.615	0.167	0.336	0.287	0.368
부하 6	0.191	0.225	0.073	0.023	0.372	0.320	0.409	0.496
부하 7	0.427	0.518	0.416	0.497	0.175	0.131	0.694	0.820
부하 8	0.170	0.081	0.06	0.05	0.262	0.235	0.555	0.676
부하 9	0.268	0.352	1.723	1.990	0.431	0.499	0.969	1.150

실 험 방 법

- 실험용 세트 : 2대 (570리터급)
- 온도센서 : a. 냉장실 내부 : 기존 3/4H SENSOR, 1/3 SENSOR, 신설 9CH/SET
b. Compressor(1ch/set), R-Fan(1ch/set)
- 실험 종류 :
a. 무부하 실험
b. 부하실험 (9 Area, 30 ° C 물이 담긴 용기)
- 부하실험 방식 : 20분 무부하 운전후 부하 발생, 부하발생후 20분간 샘플링
- 샘플링시간 : 30sec
- 실험횟수 : 각부하위치당 5회/SET, 총 90회



제1도 실험장치 도면과 실험방법