

퍼지제어형 최대수요전력 관리시스템

Fuzzy Demand Control System

*안준식°, *조성원, **윤상현, **신성철, ***성기철, ****한홍석
 *Joonsik An°, *Seongwon Cho, **Sanghyun Yoon, **Sungcheol Shin,
 *** Keechul Chung, ****Hongseok Han

*홍익대학교 전자·전기공학부, *(주)프로컴시스템,
 한국전기연구소, *충남전문대
 *School of Electronic and Electrical Engineering, Hong Ik University
 PROCOM Systems Corp., *Korea Electrotechnology Research Institute
 ****Chungnam Junior College

요 약

본 논문에서는 사용이 편리하여 산업 발전의 원동력이 되고 있는 전기에너지의 이용 합리화의 수단 중 하나인 디맨드 감시/제어 장치에 대한 퍼지제어의 적용에 대해 제안한다. 이 장치는 전력사용이 많은 300KW이상의 수용가에 있어서 피크(Peak)시 전력이 계약전력을 초과하지 않도록 감시/제어하여 에너지 사용의 합리화 및 전기요금 절감효과를 도모할 수 있는 에너지 기기의 개발에 기여할 수 있다.

본 연구에서는 효율적인 디맨드 감시/제어를 위해 지수평활법을 이용한 부하예측과 퍼지제어기를 제안하고자 한다.

$$\text{디맨드[kW]} = \text{시한내의 사용전력량[kWh]} / 4$$

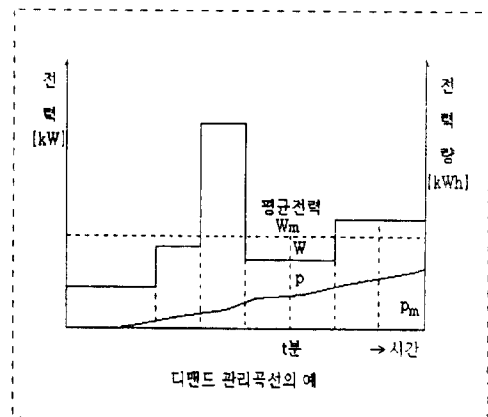
1. 서 론

최대수요전력을 예측하고 이를 조정하여 주는 디맨드 감시/제어는 효율적 에너지관리 및 전력기기의 보호와 경제적 이득을 위해 매우 중요하다.

디맨드의 개념을 정확히 파악하기 위해서는 디맨드(수요전력)-전력량-사용전력(부하의 전력값)의 관계를 이해해야 한다. 디맨드란 정해진 시한(디맨드 시한)내의 평균전력을 말하며 다음 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{디맨드[kW]} &= \text{시한내 사용전력량[kWh]} / \text{시한[h]} \\ &= \text{시한내의 사용전력량[kWh]} \times 60 / \text{시한[분]} \end{aligned}$$

우리 나라의 경우는 디맨드 시한이 15분이므로 디맨드는 다음과 같다.



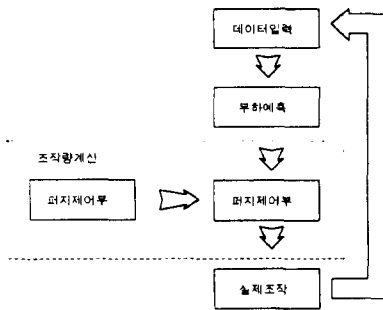
<그림 1>

즉, 그림1 에서와 같이 디맨드시한 15분내에서의 전력과 전력량의 관계를 알 필요가 있다. 그림에서 W는 시각 t에서의 전력계의 표시치이고 P는 0분에서 t분까지의 기간에 전력량계에서

본 연구는 통상산업부의 지원에 의하여 수행되었음.

발산된 pulse 적산 수에 비례한다. 디맨드시한 15분내에 소비한 전력량[kWh]을 4배한 것이 15분간의 평균전력[kW]과 같고 이를 디맨드라 부른다. 이중 과거 1년간에 발생한 최대치를 최대 수요전력이라 하고 이를 근거로 기본요금을 적용 받게 된다. 디맨드 감시/제어의 목적은 이 최대수요전력이 목표전력을 초과하지 않도록 단위시간에 걸쳐서 사용전력량을 감시/제어하는 것이다[1].

본 연구에서 제안된 디맨드 감시/제어시스템은 <그림 2>에 나타난 바와 같이 부하예측 모듈과 조작량을 계산하기 위한 모듈로 표현된다.



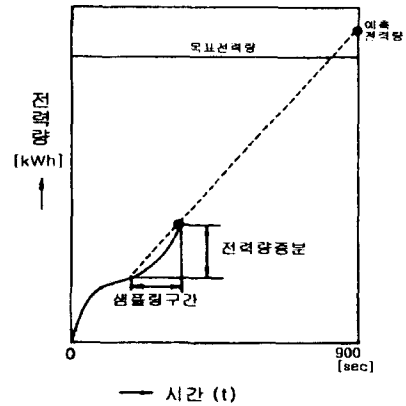
<그림 2> 전체 구성도

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 부하예측을 위한 방법론을 제시하였고, 3절에서는 기존 최대수요전력을 위한 퍼지제어방법과 다른 새로운 퍼지제어방법을 소개하였으며, 4절은 기존 방법과 제안된 퍼지제어기의 비교실험에 대하여 논하였고, 마지막으로 5절은 본 연구의 결론으로 기술하였다.

2. 부하예측방법

2.1 기존예측방법

부하예측을 위한 기존의 방법들 중 가장 보편적인 것은 샘플링 시간내의 전력량 증가로부터 시한종료시의 디맨드를 예측함으로써 현재 시점에 제어해야 할 전력(조정전력)을 계산해서 감시 및 제어를 하는 방법이다(그림3 참조).



<그림 3> 기존예측방법

이 방법은 단순히 샘플링구간을 적용해서 각 시점의 전력의 증분값을 그래프상의 기울기로 산출하여 선형적으로 남은 시간을 곱해서 예측전력값을 구하게 된다. 즉,

예측전력량 =

$$(\text{현재전력량}) + \frac{(\text{전력증분})}{(\text{샘플링시간})} (\text{잔여시간})$$

이 방법은 알고리즘적으로는 간단하다는 장점이 있지만 전력의 변동이 심한 곳에서는 안정적이지 못한 예측값을 유도해낼 수 있다는 단점을 가지고 있다[1].

2.2 MLSF 알고리즘

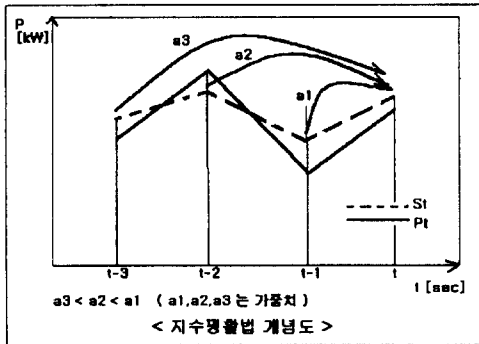
이동최소자승예측법(MLSF : Moving Least Square Forecast)은 초기 데이터부터 현재 시간까지 데이터를 계속 저장하고 이를 변동해 가면서 추정을 하게 된다. MLSF 부하예측은 Sampling 구간 내에서의 분산(variance)과 공분산(covariance)을 고려하여 서로의 자기관련도를 계산하여 예측하는 방법을 말한다. 이 방법은 다른 예측방법에 비하여 비교적 부하변동이 심한 곳에서 보다 안정적인 예측을 제공하지만 Sampling 구간내에 동일한 가중치로 인하여 신

되성이 떨어질 수 있다[2][3].

2.3 지수평활법(Exponential Smoothing Method)

지수평활법은 MLSF가 구간내의 관측값들에게 똑같은 가중값을 부여하며 그 이전의 관찰값을 사용하지 않는다는 문제점을 보완하는 예측방법이다.

MLSF법에 의한 예측치를 구할 때는 최근의 과거치 몇개의 평균에 기준을 두며 각 관찰치는 같은 가중치로 주어진다. 반면 지수평활법에서 사용된 가중방법은 분석상 오래된 관찰치를 포함시키며 최근 관찰치에 비례적으로 더 큰 가중치를 부여하려는 특성을 갖고 있다.



<그림 4> 지수평활법 개념도

시점 t에서의 들어온 실제전력을 P_t 라고 놓으면 이는 사용전력량 W_t 의 계차분이 되는 계열을 나타내게 된다. 이를 이용해서 보면 W_t 의 그래프보다 변동이 더 심한 계열을 나타내게 되어 추세성이 없는 보다 정확한 예측을 할 수 있는 데이터를 얻을 수 있게 된다[3][4].

실제전력을 P_t 에서의 기대되는 예측전력을 S_t 라 나타내기로 하고, 지수평활법을 이용한 P 와 S_t 의 관계를 생각해 보기로 한다.

시점 t에서의 지수평활값을 S_t 로 표시하면 다음 식이 성립한다.

여기서 m은 지수평활할 구간의 데이터의 개수를 의미한다.

$$S_{t+1} = S_t + \frac{1}{m}(P_{t+1} - P_{t+1-m}) \quad (1)$$

정상시계열 데이터의 경우 시점 $(t+1-m)$ 에서 y_{t+1-m} 이 알려져 있지 않으면 시점 t에서의 지수평활값 S_t 가 P_{t+1-m} 의 좋은 근사값이 된다.

P_{t+1-m} 대신 S_t 를 대체하면

$$S_{t+1} = \frac{1}{m} P_{t+1} + (1 - \frac{1}{m}) S_t \quad (2)$$

S_t : 지수평활값

P_t : 실제전력값 [kW]

m : 구간내의 데이터 수

1/m 대신 α 를 적용하면

$$S_{t+1} = \alpha P_{t+1} + (1 - \alpha) S_t \quad (0 < \alpha < 1) \quad (3)$$

(α : 평활계수)

시점 t에서 미래시점 (t+1)의 예측값으로 지수평활값 S_t 를 사용한다. 즉 미래시차 1의 지수평활예측값은 다음과 같다.

$$\hat{P}_{t+1}(1) = S_t \quad (4)$$

실제로 지수평활예측값은 과거시점의 시계열 데이터값들의 가중평균이라는 것을 다음 식에서 보여준다.

$$\begin{aligned} S_t &= (1 - \alpha) S_{t-1} + \alpha P_t \\ \frac{S_t}{(1 - \alpha)^t} &= \frac{S_{t-1}}{(1 - \alpha)^{t-1}} + \frac{\alpha}{(1 - \alpha)^t} P_t \\ \Rightarrow \frac{S_t}{(1 - \alpha)^t} &= \frac{S_0}{(1 - \alpha)^0} + \alpha \sum_{\tau=1}^t \frac{1}{(1 - \alpha)^\tau} P_\tau \\ \Rightarrow S_t &= \alpha \sum_{\tau=0}^{t-1} (1 - \alpha)^\tau P_{t-\tau} + (1 - \alpha)^t S_0 \\ &= \sum_{\tau=0}^{t-1} \alpha (1 - \alpha)^\tau + (1 - \alpha)^t \quad (5) \\ &= \frac{\alpha}{1 - (1 - \alpha)} (1 - (1 - \alpha)^t) + (1 - \alpha)^t = 1 \end{aligned}$$

따라서, 지수평활값 S_t 는 $S_0, P_1, P_2, \dots, P_t$ 의 가중평균값이 된다. 여기서 S_0 는 초기값인

데 0이전의 관찰값이 있으면 이 관찰값들의 평균을 S_0 로 하고, 시점 0이전의 관찰값이 없으면 시점 1의 관찰값 P_1 이나 시점 1에서 시점 m 까지의 관찰값들의 산술평균을 사용한다.

앞의 식에서 볼 수 있듯이 S_t 는 P_t, P_{t-1}, \dots, P_1 의 가중평균값이고 가중값이 지수적으로 감소하므로 지수평활값이라고 하며 다음과 같이 쓸 수 있다[4].

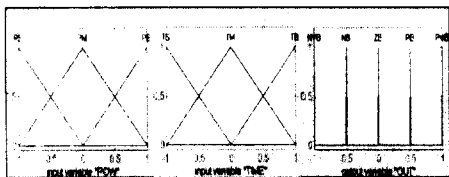
$$s_t = s_{t-1} + \alpha(P_t - s_{t-1}) \quad (6)$$

3. 최대수요전력 퍼지제어 알고리즘

퍼지제어기는 일반적인 PID제어에 비하여 특 정의란에 보다 강인하며 안정된 결과를 얻는 장점이 있지만 설계상의 어려움이 따른다. 본 논문에서는 가장 잘 알려진 Mandani법과 무게 중심법을 이용하여 시뮬레이션을 하여 기존 퍼지제어 방법과 비교하였다[2][5][6].

3.1 기존 퍼지방법

퍼지제어기의 입력으로는 앞의 예측전력량 W 와 현재의 시간 T 를 가지며 목표전력량값은 초기설정값으로 제어기의 입력값으로 들어가지는 않는다. 퍼지함수의 형태와 퍼지규칙은 <그림 4>와 <표 1>과 같다. 입력퍼지집합은 삼각형 형태를 가지며 출력퍼지집합은 singleton값을 가지며 퍼지규칙은 9개를 사용한다.



<그림 4> 기존퍼지함수

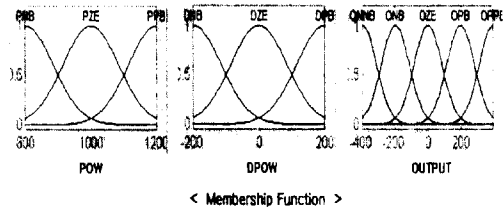
		T		
		TS	TM	TB
W	WS	NVB	NB	ZE
	WM	NB	ZE	PB
	WB	ZE	PB	PVB

NB : Negative Big ZE : Zero PB : Positive Big
<표 1> 기존 퍼지규칙

3.2 제안된 퍼지알고리즘

퍼지제어기의 입력으로는 앞의 예측전력량 W 와 오차분 ΔW 를 가지며 목표전력량값은 위와 동일하게 들어가지 않는다. 입력되는 예측전력량은 지수평활법의해 생성된 값을 이용한다.

다음은 퍼지함수의 형태와 퍼지규칙을 나타낸다. 퍼지함수로는 입출력 모두 가우스함수형태를 가지며 각각 입력 3개 출력 5개의 퍼지함수를 갖는다.



<그림 5> 제안된 퍼지함수(Gaussian Function)

		DW		
		NB	ZE	PB
W	NB	NNB	NB	ZE
	ZE	NB	ZE	PB
	PB	ZE	PB	PPB

NB : Negative Big ZE : Zero PB : Positive Big
<표 2> 제안된 퍼지규칙

4. 실험

4.1 부하예측, 비교실험

본 연구에서 사용된 지수평활법의 효용성 검증을 위하여 MLSF(Moving Least Square Forcast)법과 비교하였다.

실험은 임의의 전력값(P_t)을 설정하여 이를 MLSF방법과 지수평활법을 동시에 적용하여 이를 비교하였다. 그래프상의 데이터는 각 시간대에 들어오는 전력(P_t)을 나타내며 이는 앞절의 전력량(W_t)의 변화분에 해당한다. 지수평활법의 경우 α 는 0.3을 전후로 실험하였으며 데이터를 각각 1초의 간격으로 40개의 데이터를 설

정하였다. 그리고 MLSF의 경우 앞의 구간의 데이터를 필요로 하므로 비교대상에서 제외시켜 초기의 5개의 데이터는 쓰레기값(0)으로 처리되었다.

다음의 <그림 6> 데이터의 그래프출력을 보여준다.

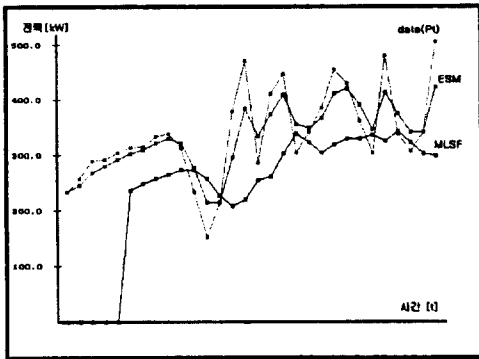
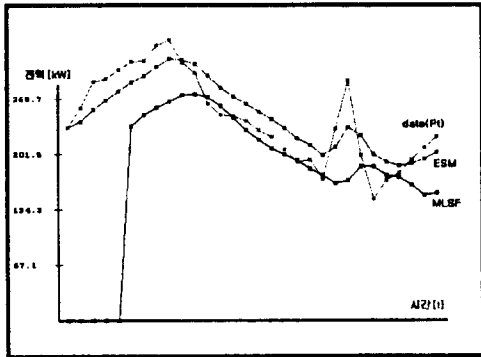


그림 6 MLSF와 지수평활법의 실험 비교

지수평활법(ESM)과 MLSF 모두 원계열에 비하여 비슷한 추세를 보이지만 비교적 MLSF보다 피크(Peak)전력에 대하여 잘 따라가는 경향을 보이며 전체적인 오차값(Mean Square Error)도 줄어들었음을 알 수 있다.

4.2 퍼지제어 알고리즘의 성능비교

변동이 심한 가상데이터를 이용하여 본 연구에서 제안된 디맨드 퍼지제어방법을 기존 퍼지제어방법과 비교하기 위한 시뮬레이션을 하였

다. Sampling Time은 3초로 두어 15분 동안의 전력제어량과 부하절환빈도를 측정하였다.

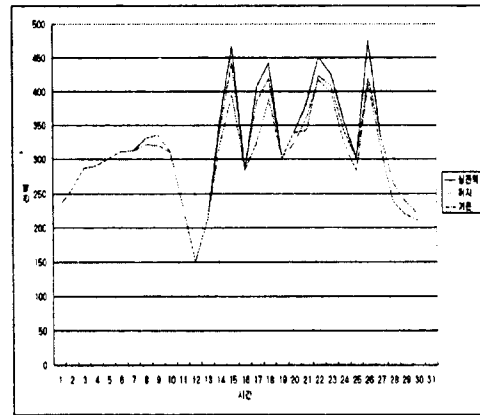
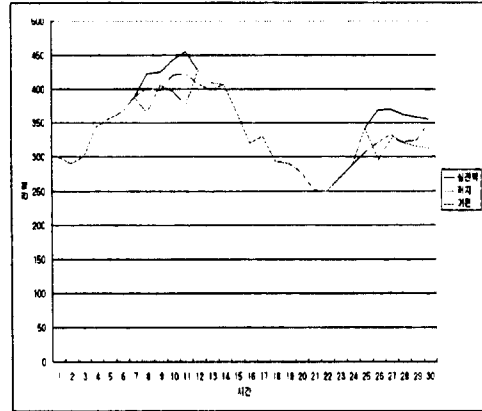


그림 7 기존방법에 대한 비교

그림에서 보듯이 제안된 퍼지제어기의 절환회수가 기존제어기에 비해 적어져 수용가 입장에서의 과다 절환을 막을 수 있으며 전체적인 제어전력 또한 적어져 안정된 전력공급을 할 수 있다고 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 몇가지의 예측기법과 퍼지제어 알고리즘을 이용한 최대전력수요의 효율적인 제어에 대하여 살펴보았다. 부하예측 알고리즘의 경우는 지수평활법을 이용한 경우가 다른 예측방법들에 비하여 가장 우수함을 보였으며

제안된 퍼지제어 알고리즘을 적용한 경우 기존 방법보다 안정된 제어를 할 수 있었다. 최대전력수요의 제어는 수용가의 입장에서 전력비용의 절감효과와 더불어 국가적 관점에서 에너지 절감효과까지 얻을 수 있으므로 보다 적극적인 연구가 필요하겠다.

참고문헌

- [1] 조성원의 3인, 퍼지 제어형 다기능 종합전력 관리 시스템 기술개발에 관한 보고서, 통상산업부, 1997.
- [2] W. William, Time Series Analysis, Bartlett Press, 1989.
- [3] 윤용운, 예측방법론의 이해, 자유아카데미, 1995.
- [4] 조진섭, 황선영, 시계열 분석, 한국방송통신대학교, 1995
- [5] Arnold Kaufmann and Madan M. Gupta, Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science, North Holland, New York, 1988.
- [6] Chin-Teng Lin and C. S. George Lee, Neural Fuzzy Systems, Prentice Hall, 1996
- [7] 채 석, 오영석, 퍼지이론과 제어, 청문각, 서울, 1995.