

1999년도 대한전기학회 정기총회 및 추계학술대회 논문집 1999. 11. 20  
 퍼지 디맨드 예측제어기법 연구

성기철\*, 윤상현\*\*, 강민규\*\*\*, 유인근\*\*\*  
 \*한국전기연구소, \*\*(주)프로컴시스템, \*\*\*창원대학교

A Study on the Fuzzy Demand Control Technique

Ki-Chul Seong\*, Sang-Hyun Yoon\*\*, Min-Kyu Kang\*\*\*, In-Keun Yu\*\*\*  
 \*KERI, \*\*PROCOM System Co., \*\*\*Changwon National University

**Abstract** - This paper presents a new demand control technique using fuzzy logic. Generally, predictive demand control method often brings about a large number of control actions and undesirable alarm during the beginning stage of the demand period. To solve this problem, a fuzzy predictive algorithm is proposed. The main idea of the method is the determination of sensitivity factor by using fuzzy logic. The performance of the proposed algorithm is tested through a case study.

## 1. 서 론

우리나라는 에너지 자원의 대부분을 해외에 의존하고 있고 에너지 자원은 고갈될 수밖에 없는 상황을 고려한다면, 범국가적 차원에서의 성에너지 대책이 경주되어야 할 것이다.

이와 관련하여 에너지의 사용합리화 및 전기요금 절감에 기여할 수 있는 디맨드(최대 수요전력) 제어장치가 개발되었다 [1~5]. 이 장치는 각 수용자의 최대전력을 Cut 또는 Shift해 줌으로써 국가적으로도 전력에 비율 증대증면에서 중요성이 인식되어 최근 확대보급을 위한 노력이 경주되고 있다. 그러나, 이 장치의 핵심인 예측방법은 현재의 전력 변화량으로부터 시한 종료 시 전력을 예측하기 때문에 부하의 일시적 변동이 예측전력에 많은 영향을 미치며 특히 시한전반에서는 불필요한 경보 및 제어가 행해질 수밖에 없다는 것이 문제점으로 지적되고 있다 [6].

본 연구에서 개발된 퍼지 디맨드 예측제어기법은 과거의 전력변화와 현재의 전력변화의 경향으로부터 퍼지추론하여 효과적으로 예측전력을 산출하기 때문에 불필요한 경보나 부하차단을 제거함으로써 보다 확실하고 안전성이 높은 전력관리를 할 수 있음을 사례연구를 통해 검토하였다.

## 2. 종래의 디맨드감시·제어 방식

디맨드감시·제어방식은 70년대에 최초 개발된 이후 80년대 후반에는 MMI기능 및 제어·기록기능을 갖는 형태로 발전되고 있으며, 지금도 새로운 예측·제어 알고리즘 개발에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

디맨드감시·제어의 원리는 전력사용량에 대해 시시각각의 변화량을 상시 감시하여 시한 종료시의 최대전력을 연속적으로 예측하여 계약전력 혹은 관리 목표전력을 초과할 우려가 생기면 경보를 발하며, 미리 설정되어 있는 제어방식에 따라 자동적으로 부하를 차단하며, 최대전력의 여유가 있는 경우에는 자동으로 차단된 부하를 복귀시킨다. 이와 같이 시한 내에 있어 계약전력을 초과하지 않도록 하여 제설비를 효율적으로 제어운용 함으로써 합리적인 전력관리를 할 수 있다. 따라서 전력피크의 저

감을 통해 부하율을 항상시켜 전력을 효과적으로 관리한다. 지금까지 사용되고 있는 디맨드 예측방식은 다음의 그림 1에서와 같이 샘플링 시간내의 전력량 증가로부터 시한종료시의 전력을 예측할 수 있도록 함으로써 현재시점에 제어해야 할 전력(조정전력)을 예측연산하여 사전에 정해진 부하를 감시 및 제어하도록 함으로써 시한 종료 시 목표전력을 넘지 않도록 하는 것이다.

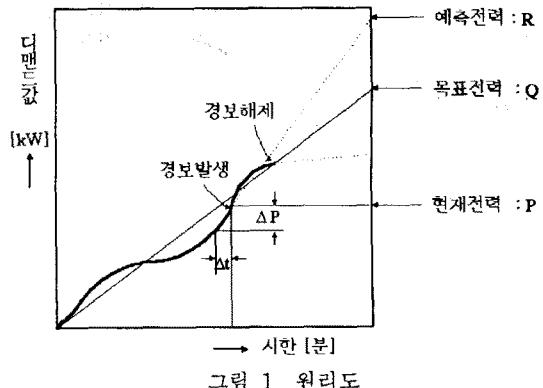


그림 1 원리도

현재 사용되는 디맨드감시·제어 장치는 거의 대부분이 방식이 주로 사용되고 있으며 종래의 디맨드감시·제어 장치의 동작 원리는 다음과 같다. 즉, 전기요금 계량용계기 또는 발신장치가 있는 전력량계로부터 측정된 전력을 펄스변환기로 변환하여 이를 디맨드감시·제어 장치에 입력하면 이로부터 아래의 디맨드 예측제어 연산처리 항목에 따라 예측전력 및 조정전력량을 연산한다.

① 잔여시한 ( $15 - t$ )

15분 시한의 경우 14분59초로부터 1초씩 감소

② 현재디맨드 ( $P$ )

'0000'부터 Start해서 입력Pulse에 대응적산

③ 잔여디맨드

목표디맨드 ( $Q$ ) - 현재디맨드 ( $P$ )

④ 예측디맨드 ( $R$ )

$$R = \frac{\Delta P}{\Delta t} \times \text{잔여시한} \quad (1)$$

여기서,  $\Delta P$  :  $\Delta t$  분간의 증분  
 $\Delta t$  : pulse 적산시간

⑤ 조정전력 ( $U$ )

$$U = \frac{R - Q}{\text{잔여시한}} \times (\text{디맨드시한}) \quad (2)$$

⑥ 평균전력 ( $P_{aver}$ )

$$P_{aver} = \frac{\Delta P}{\Delta t} \times \text{디맨드시한} \quad (3)$$

## ⑦ 허용전력(A)

$$A = \frac{Q - P}{(\text{디맨드시한}) - t} \times (\text{디맨드시한}) \quad (4)$$

그 다음 예측전력이 수용가에서 임의로 설정한 목표전력을 초과하게 되면 1단 경보를 발하며 조정전력량이 차단전력량보다 크면 2단 경보를 발함과 동시에 설정된 부하를 차단하는 방식이다.

그러나 종래의 연산처리 방식은 아래의 그림 2에서와 같이 디맨드시한 초기인  $t_1$ 에서 큰 전력이 측정되면 예측전력이  $R_1$ 으로 되기 때문에 목표전력  $T_1$ 보다 크게 예측되므로 실제로는 시한 종료 시 최종전력(PL)은 목표전력(T1)보다 작아 경보 및 차단을 하지 않아야 함에도 불구하고 불필요한 경보나 또는 제어가 행해지고 있다는 것이 문제점으로 지적되고 있다.

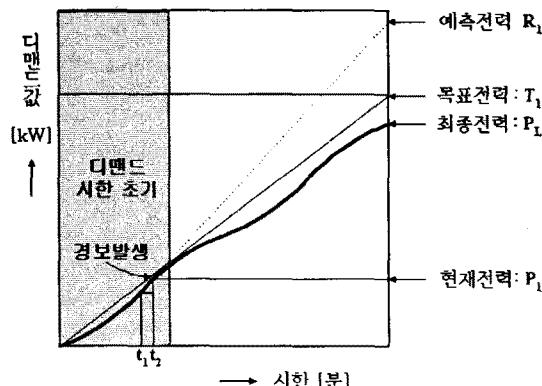
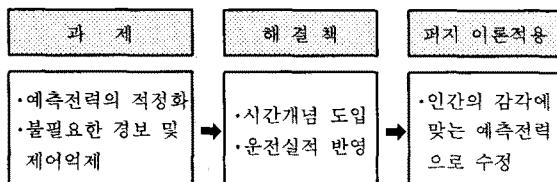


그림 2 종래의 연산처리 방식의 문제점 설명도

## 3. 퍼지 디맨드감시·제어 방식

기존의 예측연산에서의 문제점을 해결하기 위하여 퍼지이론을 적용하기 위해 아래에서와 같이 예측전력을 보다 인간의 감각에 맞도록 수정함으로써 예측전력의 적정화를 이루고 이에 따라 불필요한 경보 및 제어를 억제하도록 하는 것을 목적으로 하였다.



이를 보다 자세히 설명하면 본 퍼지 디맨드 예측연산 알고리즘은 기존의 예측연산 방법으로부터 계산된 예측전력에 퍼지추론 Block에서 출력된 보정계수( $K_f$ )를 곱한 값으로 예측전력을 보정한다. 즉, 이  $K_f$ 가 1보다 크면 고감도화, 1보다 작으면 저감도화, 1이면 원래의 값과 같은 감도로 보정되는 것을 의미한다. 퍼지 예측연산 방법은 예측전력의 수정을 위한 보정계수를 선정하기 위해 퍼지제어 Rule은 IF ~ THEN 형식의 Production Rule로 표시하여, 이 Rule에 대응한 Membership함수를 결정하고, 퍼지추론에 의해 보정계수( $K_f$ )를 시간에 따라 구한다.

이러한 추론을 정식화하면 다음과 같다.

IF  $x$  is A THEN  $y$  is B

규칙 : 전건부 후건부

사실 :  $x$  is A'

결론 :  $y$  is B'

여기서,  $x$  : 입력변수

A : 입력변수를 표시하는 퍼지변수

y : 출력변수

B : 출력변수를 표시하는 퍼지변수

A : 입력변수의 입력 값

B : 출력변수의 결정 값

퍼지 Rule의 전건부 명제를 결정하기 위해 입력변수( $x$ )를 선정하기 위해 표 1과 같이 분할하였다.

표 1 입력변수의 예

주 기	입력변수	특 징
시한전반 (시작~5분 미만)	예측전력-목표전력	경보 및 제어의 억제
시한중반 (5분~10분 미만)	"	보통
시한후반 (10분~15분까지)	"	경보 및 제어의 활성화

즉 그림 3에서와 같이 수용가에서 실제 측정된 전력을 참조하여 분석한 결과를 토대로 시한초기에 예측전력의 변동범위가 클 경우 불필요한 경보 및 제어를 행하게 되므로 예측전력을 저 감도화하여 이를 억제하려는 것이다.

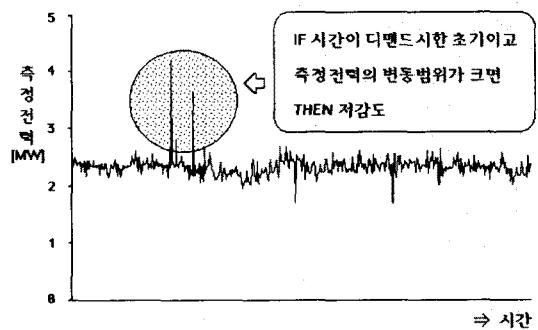


그림 3 본 방식의 예측제어원리 설명도

그림 4는 디맨드 예측연산 입력변수의 Membership 함수를 나타낸다.

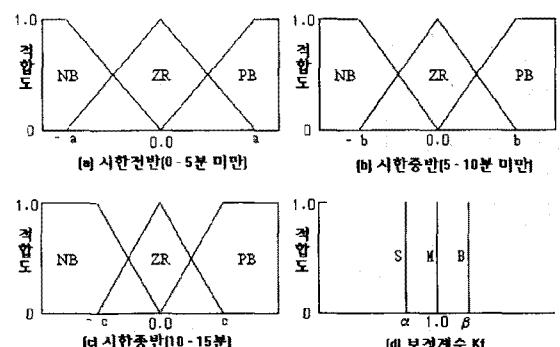


그림 4 입력변수의 Membership함수 예

여기서, (a)~(c)는 전전부 (d)는 후전부이다. 즉, 페지변수는 퍼지추론의 연산을 간단하게 하기 위해 전전부는 3개로 분할한 사다리형 및 삼각형 형태로 하고, 후전부 역시 3개로 분할한 단일형태(Singleton Type)로 하였다. 또한 제어 Rule의 형태를 예로 들면 다음과 같이 IF ~ THEN 형식을 취하였다.

IF(예측전력-목표전력)이 PB(Positive Big)이면  
THEN 출력보정계수 K는 S(Small)

IF(예측전력-목표전력)이 NB(Negative Big)이면  
THEN 출력보정계수 K는 L(Large)

IF(예측전력-목표전력)이 ZO(Zero)근방이면  
THEN 출력보정계수 Kf는 M(Medium)

비 퍼지화는 여러 가지 방식이 있으나, 현재 가장 많이 사용되고 있는 무게중심법(Center of Area Method)을 사용하였다.

#### 4. 사례연구

본 방법의 타당성을 입증하기 위해 실측된 부하데이터를 사용하여 종래의 방식과 본 퍼지방식을 상호 비교한 결과, 다음의 그림 5 및 6에서와 같이 Simulation되었다.

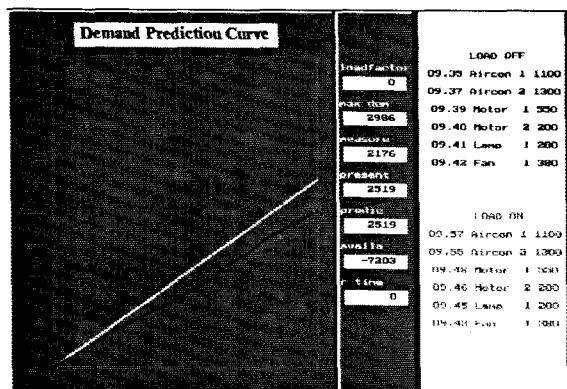


그림 5 종래의 예측제어방식에 의한 결과

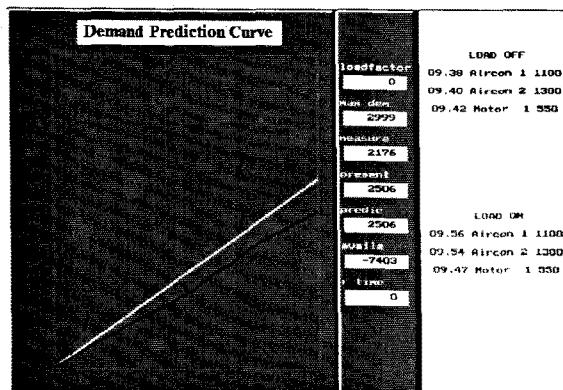


그림 6 퍼지 예측제어방식에 의한 결과

표 2 종래방식과 퍼지 예측제어방식의 결과비교

구분 항목	제어부하	제어시간	용량 [kW]	비고
종래방식	에어콘#1	차단:09:35 복귀:09:57	1,100	▶제어횟수 차단 : 6회 복귀 : 6회
	에어콘#2	차단:09:37 복귀:09:55	1,300	
	동력모터#1	차단:09:39 복귀:09:48	550	▶제어시간 총 51분
	동력모터#2	차단:09:40 복귀:09:46	200	
	전등부하	차단:09:41 복귀:09:45	280	▶제어전력량 총 921kWh
	Fan	차단:09:42 복귀:09:43	380	
퍼지예측 제어방식	에어콘#1	차단:09:38 복귀:09:56	1,100	▶제어횟수 차단 : 3회 복귀 : 3회
	에어콘#2	차단:09:40 복귀:09:54	1,300	▶제어시간 총 37분
	동력모터#1	차단:09:42 복귀:09:47	550	▶제어전력량 총 679kWh

즉, 종래의 방식과 비교하여 제어횟수가 절반에 불과하면서도 목표전력량을 초과하지 않았으며, 총 제어시간도 14분 줄일 수 있었다.

#### 5. 결 론

본 논문에서는 보다 효율적인 디맨드 제어가 가능한 퍼지 디맨드 예측제어기법에 대해 연구하였다. 사례연구를 통해 분석한 결과, 종래의 예측제어방식과 비교하여 제어횟수가 절반에 불과하면서도 목표전력량을 초과하지 않았으며, 총 제어시간도 줄일 수 있어 보다 효과적인 전력관리가 가능함을 입증하였다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 수용가 전력관리시스템 개발(I), 과학기술처, 1993. 8.
- [2] 수용가 전력관리시스템 개발(II), 과학기술처, 1994. 9.
- [3] 電力管理テクニツス, 電氣書院, 1985.
- [4] 省エネルギー技術のノウハウ, 電氣書院, 1984.
- [5] Humberto Jorge, A. Martin and Alvaro Gomes, "Maximum demand control : A Survey and comparison of different methods", IEEE Trans. on PS, vol.8, no.3, pp1013-1019, August 1993.
- [6] 퍼지제어형 다기능 종합전력관리시스템 기술개발에 관한 중간보고서, 통산산업부, 1997. 4.