

FUZZY 이론을 이용한 전압·무효전력의 순시제어에 관한 연구

송길영* 김세영*[⊙] 조준우*
* : 고려대학교

STUDY ON THE REAL TIME VOLTAGE-REACTIVE POWER CONTROL USING THE FUZZY THEORY.

K. Y. SONG * S. Y. KIM * J. W. CHO *
* : KOREA UNIVERSITY

ABSTRACT

This paper shows real-time control technique of voltage-reactive power using the fuzzy theory. Here, major benefits of applying the fuzzy set theory as follow. First, heuristic knowledge of operator has been used in the operation and control of power system. Second, difficulties in traditional multi-objective numerical solution methods have been solved. Also, to achieve optimizing process on the voltage-reactive power control conventional search method have been used.

1. 서론

최근 전력수요의 급증에 따라 전력계통설비의 확충과 전력의 질적향상에 대한 요구가 높아져 가고 있다. 이에 따라 전압·무효전력제어의 문제는 그 중요성이 더욱 크게 인식되고 있다.

전력계통에서 전압·무효전력제어의 목적은 수용가의 부하모선 전압을 허용범위내로 유지시키고 동시에 계통의 손실을 감소시켜 계통운영비용의 최소화를 실현하는데 있다. 본 논문에서는 위와 같은 두가지 목적을 만족하면서 계통운영자의 경험과 의사를 반영하기 위해 FUZZY합조법(5,6,7)을 도입하여 보다 유연한 real-time 전압·무효전력제어방법을 제시했다. 여기서 FUZZY 이론의 membership 함수를 운영자의 경험에 의해 적당히 조정함으로써 모든 제약조건을 만족하면서도 계통운영자가 원하는 해를 얻을 수 있었고, 종리의 다목적 수리계획법에서는 복수개의 목적을 동시에 취급하여 바람직한 해를 얻기가 곤란하였는데 FUZZY 이론의 membership 함수를 이용하여 이것을 해결하였다. 한편, 해를 구하는 과정은 기존의 search법(2,3,4)을 사용하여 최적해를 결정하였다.

본논문에서 제안한 방법을 48-모선 계통에 적용하였고 기존의 search 법과 비교 검토하여 그 유용성을 확인하였다.

2. 본론

2.1 FUZZY 의 개념

FUZZY 만 사물과 사물과의 애매한 관계를 나타내는 것으로서 1965년 California대학 Zadeh에 의해 제창이 된 개념이다. 즉 이 개념을 사용해서 system의 복잡성과 데이터의 불완전성에 대처하는 인간의 인식, 판단, 사고등을 나타내려고 하는 것이다. 또한 이러한 FUZZY 관계는 많은 학자들에 의해 연구되었고 특히, Zadeh, Kaufmann, 그리고 Rosenfeld에 의해 더 많은 진전이 되고 있다.

한편, 인간은 어떤 행동을 할때, 그 상황에 관련 정보를 수집해서 그 정보에 기반을 둔 가능한 행동중에서 가장 적당한 행동을 선택한다.그와 같은 과정을 정식화하는 데 있어 수치적으로 취급하는 문제들을 의사결정 문제라고 한다. 이러한 의사결정문제에 FUZZY 이론을 적용시킨 연구가 활발히 진행되고 있는데 FUZZY 이론의 중요한 응용분야는 다음과 같다.

- a) 수리 계획 문제.
- b) 기대 효용 최대화 문제.
- c) 다속성 결정 문제.
- d) 복수의사 결정자에 의한 결정문제.

본 논문에서는 상호 결합하는 복수개의 목적함수를 주어진 제약조건하에서 최소화시키는 FUZZY 를 이용한 전압·무효전력의 순시제어법을 제안한다. 다수의 목적함수를 최소화시키는 문제는 다음과 같이 정식화된다.

$$\text{Min } f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))^T \quad [1]$$

제약조건

$$x \in X = \{ x \in R^n \mid g(x) \leq 0 \} \quad [2]$$

여기서

$$\begin{cases} x : n \text{ 차원 제어변수} \\ f : k \text{ 차원 목적함수} \\ g : m \text{ 차원 제약함수} \end{cases}$$

2.2 FUZZY 합조법의 최적화.

1) MEMBERSHIP 함수.

본 논문에서 제안하는 FUZZY 합조에서 다목적문제의 최적해 결정기법으로써, 각 목표에 대해서 그림 1 과 그림 2 와 같은 membership 함수를 설정한다. 이 함수는 목적함수값에 대한 운영자의 만족도를 정량화한 식이다. 여기서 목적함수가 나타내는 값은 운영자가 만족하는 정도로서 운영자의 의사를 수치적으로 나타낸다. 본 논문에서는 membership 함수를 간단한 형태인 1차(선형)함수로서 선택한다.

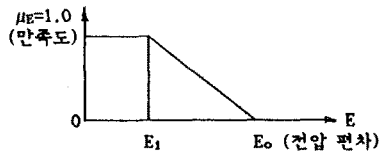


그림 1. 전압편차에 대한 membership 함수

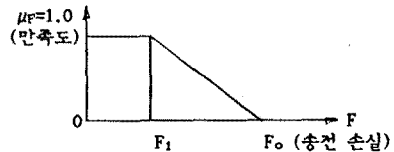


그림 2. 송전손실에 대한 membership 함수

먼저, 전압편차의 최소화에 대한 목적함수 E와 송전손실에 대한 목적함수 F의 membership함수 μ_E 는 다음 식 [3], [4]와 같이 나타낸다.

$$\mu_E = \begin{cases} 1 & (0 \leq E \leq E_1) \\ \frac{E - E_0}{E_1 - E_0} & (E_1 \leq E \leq E_0) \\ 0 & (E_0 \leq E) \end{cases} \quad [3]$$

$$\mu_F = \begin{cases} 1 & (0 \leq F \leq F_1) \\ \frac{F - F_0}{F_1 - F_0} & (F_1 \leq F \leq F_0) \\ 0 & (F_0 \leq F) \end{cases} \quad [4]$$

여기서, E_0, F_0 는 운용자가 완전히 만족하는 목적함수의 값이고 E_1, F_1 는 최저로 허용하는 목적함수의 값인데, 협조해를 구하기 전에 설정한다. 그러므로, membership 함수값이 1인 것은 가장 바람직한 목표함수 값이고 반대로 0 인것은 가장 바람직 하지 못한 목표함수값이다.

2) MEMBERSHIP 함수의 수정.

계통 운용자의 경험을 토대로하여 membership 함수를 변경해주면 여러개의 목적 가운데 원하는 목적에 중점을 두는 최적해가 구해질 것이다. 예를 들면, F_0 를 F_0' 로 수정하는 것은 membership 함수를 새로 설정하는 것이며 이와같은 경우에는 송전손실 보다는 전압편차에 더 중점을 둔 최적해가 얻어짐이 예상된다. 왜냐하면, F_0 점에서 membership함수를 그림 3과 같이 변경했을 때의 새로운 μ_F 가 더 크기때문이다.

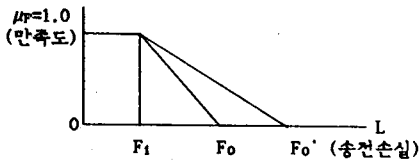


그림 3. membership함수의 변경에 대한 효과.

3) 정식화

목적함수에 대한 membership 함수를 정의한 후에 FUZZY 결정함수의 최대화 문제는 다음과 같이 정식화 될 수 있다.

$$\text{Maximize } \sum_{i=1}^k \mu_i(x) \quad [5]$$

$$\text{여기서, } x \in X = \{ X \in R \mid g(x) \leq 0 \} \quad [6]$$

위와 같은 최적화의 장점은 다음과 같다.

- a) 종래의 기법으로서는 취급하기 곤란한 개개의 지표에 대한 운용자의 만족도를 수치적으로 나타내어 모든 목적을 최적화할 수 있어, 경험에 의한 의사결정을 할 수 있다.
- b) 최적화에서 얻어진 해로 membership 함수를 결정하여 해의 평가를 객관적으로 할 수 있다.
- c) 운용자의 경험에 의해 membership 함수의 parameter를 변경함으로써 계통운용상태에 대해 유연하게 대처할 수 있다.

2.3 계산 알고리즘

FUZZY 이론의 선형 membership 함수를 이용한 제어효과 최대 변수 탐색법의 알고리즘은 다음과 같다.

- STEP 1 - 데이터를 읽어들인다.
- STEP 2 - 외란 (Disturbance)에 의해 벗어난 부하 모션 전압을 허용범위내로 끌어 들인다. (허용범위내로의 E 최소화) E 최소화 에 의해 새로운 초기상태가 설정된다.

STEP 3 - 초기 상태에 대해, 각 목적함수 E (전압편차)와 F (송전손실)을 개별적으로 최소화시킨다. (Search법) 결과치 Eoptimal 과 Foptimal을 각각 μ_E 와 μ_F 를 1로 만족하는 값으로 정한다. (membership 함수의 결정)

STEP 4 - STEP 2 에서 결정한 초기상태를 STEP 3 에서 결정한 membership 함수를 사용하여 FUZZY 협조해를 Search 법으로 구한다.

STEP 5 - $\sum_{i=1}^k \mu_i(x)$ 값이 이전 반복값보다 크다면 STEP 4 로 가

고 더이상 커지지 않는다면 STEP 6 으로 간다.

STEP 6 - 결과를 출력한다.

제한된 알고리즘의 순서도는 그림 4 와 같다.

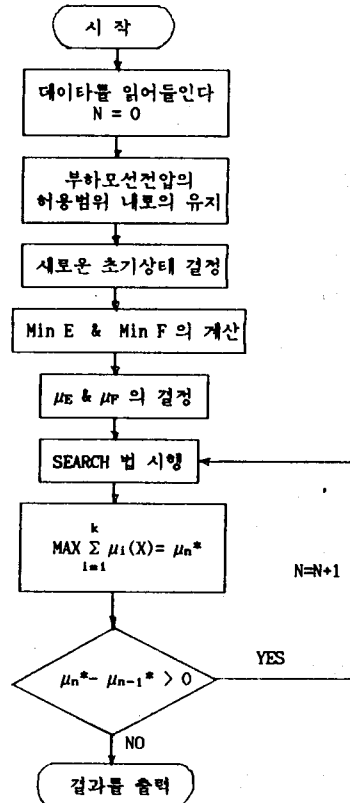


그림 4. 제한된 방법의 순서도

3. 적용 결과.

그림 5.는 48-모션 모델계통도 이다.

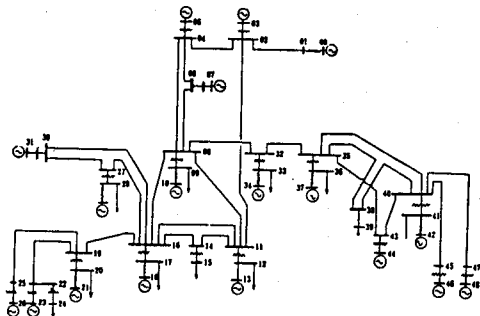


그림 5. 48-모션 계통도.

표 1 은 모델 계통에 적용한 외란(disturbance)의 종류이다.

표 1. 외란의 종류.

	CASE 1	CASE 2
Vd(1)	2.0	-2.0
Vd(5)	2.0	-2.0
Vd(9)	2.0	-2.0
Vd(10)	2.0	-3.0

Vd_i : i 지점의 전압 실속 (%) 값과 목표값의 차.

그림 6 와 그림 7 은 search법에 의해 계산된 최적해를 그래프로 나타낸 것이다.

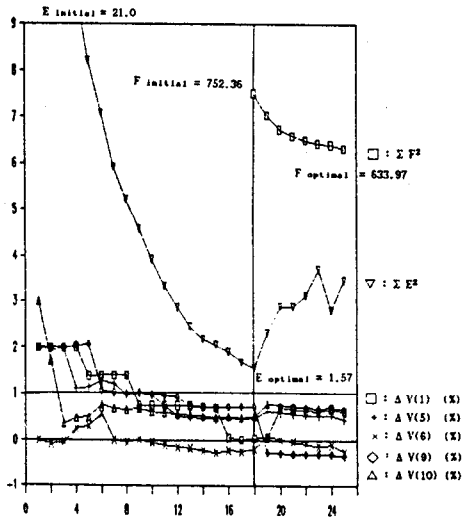


그림 6. case 1 (search법)

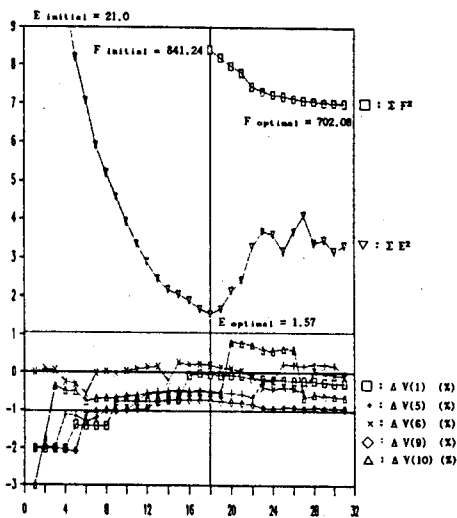


그림 7. case 2 (search법)

그림 8 과 그림 9 는 fuzzy 이론을 이용한 search법에 의해 결정된 최적해를 도표로 나타낸 것이다.

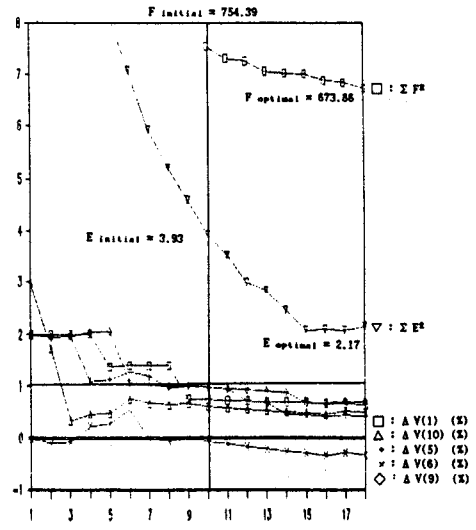


그림 8. case 1 (fuzzy 이론을 이용한 search법)

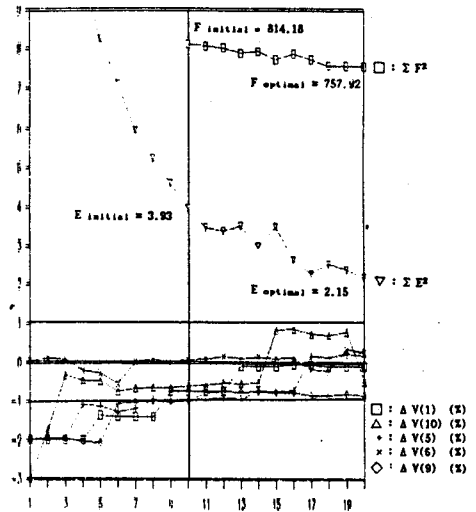


그림 9. case 2 (fuzzy 이론을 이용한 search법)

표 2는 기존의 search법과 제안된 방법간의 비교를 나타낸다.

표 2. 두 방법간의 비교.

	CASE 1		CASE 2	
	E	F	E	F
SEARCH 법	3.485	633.97	3.316	702.08
제안된 방법 (fuzzy이용)	2.167 ($\mu_E=0.75$)	673.86 ($\mu_F=0.82$)	2.151 ($\mu_E=0.75$)	757.92 ($\mu_F=0.78$)

위의 예에서 계통 운용자가 E(전압 편차 자승의 합) 또는 F(송전 손실의 합)중 어느 하나에 우선권을 주고싶다면 membership 함수의 값을 변경하여 원하는 최적해를 쉽게 구할 수가 있다. 이것이 표 3에 나타나 있다.

표 3. MEMBERSHIP함수를 변경했을 때의 영향.

	CASE 1		CASE 2	
	E	F	E	F
제안된 방법	2.167 (0.75)	673.86 (0.82)	2.151 (0.75)	757.92 (0.78)
E ₀ 의 10% 증가 ([E ₀ -E ₁]×0.10)	2.666 (0.58)	652.58 (0.98)	2.508 (0.63)	744.40 (0.97)
F ₀ 의 10% 증가 ([F ₀ -F ₁]×0.10)	2.167 (0.75)	673.86 (0.84)	2.151 (0.75)	757.92 (0.80)

4. 결론

fuzzy 합조이론을 이용한 본 전압-무효전력 순시 제어법을 모델 계통에 적용한 결과는 다음과 같다.

1. search법으로 문제를 최적화함으로써 간단하고 신속한 전압-무효전력 순시 제어법을 제시하였다.
2. 계통 운용자의 만족도를 수치적으로 표현함으로써 복수의 목적을 최적화 할 수 있었고 이미 모호한 평가의 의사 결정도 할 수 있었다.
3. 계통 운용자의 경험에의해 membership 함수를 변경함으로써 전력 계통 운전상태의 변화에 대해 유연한 제어를 가능하게 하였다.

참고 문헌

1. 송길영 : " 전력 계통의 해석 및 운용", 동일출판사, pp.417-478, 1987.
2. 송길영 : " 전압무효전력의 계산기제어에 관한 연구 ", 대한전기학회지, 1976.
3. 송길영 : " 전압무효전력 순시제어의 계산기제어 알고리즘 개발 ", 대한전기학회지, 1982.
4. 송길영, 이희영 : " 손실 감도 계수를 이용한 전압-무효전력 순시제어에 관한 연구", 고려대학교 생산기술 연구소 '생기연 논문집' 통권 제 18 호 1983.6.
5. L.A.Zadeh : " Fuzzy Set Theory and Its Applications ".
6. 田畑富郎, 藤智男, 安田恵一郎, 横山降一, 新村降英 : " 전압-무효전력 운용에 대한 FUZZY 합조법의 적용 ", PE-90-140, pp.61-70.
7. 寺澤順則, 岩本伸一 : " FUZZY 수리계획법을 이용한 최적 조류 계산법 ", 電學論, 108卷 5號, 昭 63, pp.197-204.