

송전 선로의 과부하를 고려한 복합 전력계통의 공급능력평가

강성록\* 최재석\* 차준민\*\* 노대석\*\*\* 도대호\*\*\*\*  
 \*경상대학교 \*\*대진대학교 \*\*\*한국기술교육대학교 \*\*\*\*포항1대학

Adequacy Evaluation of Composite Power System considering Overload of Transmission Lines

Sungrok Kang\* Jaeseok Choi\* Junmin Cha\*\* Daeseok Rho\*\*\* Daeho Do\*\*\*\*  
 \*Gyeongsang National University \*\*Daejin University \*\*\* Korea University of Technology \*\*\*\*Pohang 1 college

**Abstract** - This paper proposes a new methodology for adequacy evaluation of composite power system considering an ambiguity of overload of transmission lines. Nodal arrival powers under considering an ambiguity of overload of transmission lines can be evaluated using the proposed method. Fuzzy set theory has been used in order to consider the permission level of overload of transmission lines. The problem of adequacy evaluation has been formulated using fuzzy linear programming. The effectiveness of the proposed method considering permissible overload of transmission lines has been demonstrated on the IEEE RTS.

1. 서 론

최근 전력산업이 발전경제체제로 변하게 되고 앞으로 보다 효율적이고 경쟁력 있는 방향으로 강도 높은 구조개편이 요구되고 있어 도매경쟁형을 거쳐 소매경쟁형 체제로 구조개편이 가속화 될 것으로 보인다. 이러한 자유경쟁체제 하에서는 과거에 경험하지 못하였던 다양한 문제점들과 직면할 것으로 예상되어 지고 있는데 특히 송전계통의 공급능력평가의 필요성이 더해가고 있다. 본 연구에서는 당면할 문제점들 중 전력공급자, 계통운용자 그리고 전력수요자들 간에 전력가격결정방법에 있어 중요하게 고려될 것으로 기대되는 공급능력평가 문제에서 송전선로의 과부하 운전상태까지 고려한 송전계통의 공급능력정도를 평가하는 방법을 제시한다. 송전선로의 과부하상태는 애매성을 지니므로 이를 퍼지집합이론을 이용하여 퍼지선형계획법으로 정식화하여 해석하도록 하였다. 본 연구에서 개발한 방법을 IEEE-RTS에 적용하여 그 유용성을 살펴보았다.

2. 공급능력평가

2.1 송전선로 과부하를 고려하지 않을 경우

송전선로의 과부하를 고려하지 않을 경우란 엄격한 송전운용 제약조건하에서 전력조류의 흐름이 허용되는 것으로 가정하여 해석하는 경우로서 허용정도를 나타내는 함수(이하 '허용수준 함수'라 한다) 그림1과 같이 생각하는 경우이다. 여기서  $CT_l$ 는  $l$  번째의 송전선로의 용량이다.

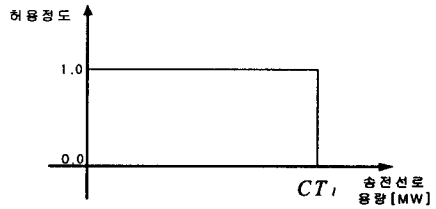


그림 1. 송전선로의 과부하허용을 고려하지 않는 경우의 허용수준 함수

또한 공급용량평가에서는 각 부하지점별 도달전력이 최대가 되도록 전력계통이 운용되고 있다고 가정할 경우이므로 목적함수로서는 최소 도달전력율을 갖는 부하지점의 도달전력율을 최대화시키는 것으로 삼을 수 있다. 그러므로 다음 식(1)과 같이 정식화될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize} && Z_o \\
 & \sum_{j=1}^{NB} a_{ij}x_j \leq CG_i && i \in B_B \\
 & -CT_l \leq x_l \leq CT_l && l \in B_T \\
 & \frac{x_k - L_{pk}}{L_{pk}} \geq Z_o && k \in B_L
 \end{aligned} \quad (1)$$

- 단,  $a_{ij}$ : 절점-지로 접속행렬
- $B_B$ : 모든 모선번호의 집합
- $B_L$ : 부하 모선번호의 집합
- $n$ : 지로의 수(부하지점 및 송전선로의 수)
- $CG_i$ : 모선  $i$ 에서의 발전기의 용량
- $B_T$ : 송전선로 번호의 집합
- $x_j$ :  $j$ 번째 선로의 전력조류[MW]

2.2 송전선로 과부하를 퍼지함수로 고려한 경우

송전계통의 운용시 송전선로에 과부하가 발생하는 것은 피할 수 없는 상황이다. 그러므로 식(1)과 같이 송전용량을 엄격히 제한하여 공급능력정도를 평가하는 것도 현실과 다소 떨어진다. 본 연구에서는 이와 같은 애매성을 수학적으로 처리할 수 있는 기법중 하나인 퍼지집합이론을 이용하여 식(2)와 같이 정식화하여 평가한다.

Maximize  $\lambda$

$$\left. \begin{aligned} \text{subjective to} \\ \sum_{j=1}^{NB} a_{ij}x_j \leq CG_i & \quad i \in B_B \\ -CT_l \leq x_l \leq CT_l & \quad l \in B_T \\ \frac{x_k - L_{pk}}{L_{pk}} \geq Z_o & \quad k \in B_L \\ Z_o \geq Z_o^* \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

단,  $Z_o^*$ : 최소 도달전력율을 갖는 부하지점의 도달전력율의 지망수준

한편, 송전선로의 과부하허용을 어느 정도 고려하는 경우 이때의 '허용수준 함수'를 그림2와 같이 생각할 수 있다. 이를 송전선로의 과부하허용에 대한 멤버십 함수로 이용할 수 있다.

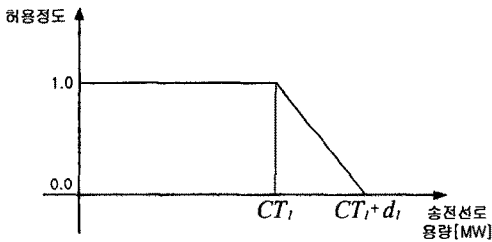


그림 2. 송전선로의 과부하허용을 고려하는 경우의 허용수준 함수

여기서  $d_l$ 은  $l$ 송전선로의 과부하 허용폭을 나타내는 것으로 장시간 또는 단시간 과부하 허용 운용기준에 따라 그 크기가 다르다.

나아가 최소 도달전력율의 지망수준에 대한 허용폭을  $d_2$ 라고하면 이의 최소도달전력율을 갖는 부하지점의 도달전력율의 지망수준  $Z_o^*$ 의 멤버십 함수는 그림3과 같이 된다.

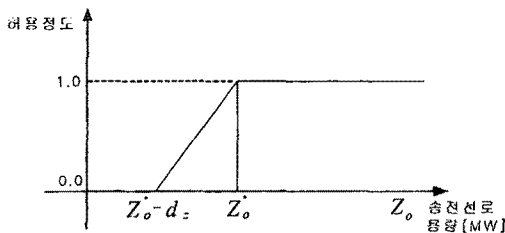


그림 3. 최소 도달전력율의 멤버십 함수

그러므로 식(2)를 이 허용정도 함수를 멤버십 함수로 놓을 수 있으며 이를 이용하여 의사결정 만족도 수준을 의미하는 매개변수  $\lambda$ 를 도입하면 식(3)과 같이 정식화할 수 있다.

Maximize  $\lambda$

$$\left. \begin{aligned} \text{subjective to} \\ \sum_{j=1}^{NB} a_{ij}x_j \leq CG_i & \quad i \in B_B \\ x_l + d_l \leq CT_l + d_l & \quad l \in B_T^{nm} \\ -x_l + d_l \leq CT_l + d_l & \quad l \in B_T^{nm} \\ \frac{x_k - L_{pk}}{L_{pk}} \geq Z_o & \quad k \in B_L \\ Z_o - d_2 \geq Z_o^* - d_2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

단,  $d_z$ :  $Z_o^*$ 의 허용폭

### 3. 사례연구

본 연구에서 제안하는 송전선로의 과부하 허용정도를 고려한 복합전력계통의 공급능력평가 방법을 그림4와 같은 IEEE - RTS에 적용하여 보았다.

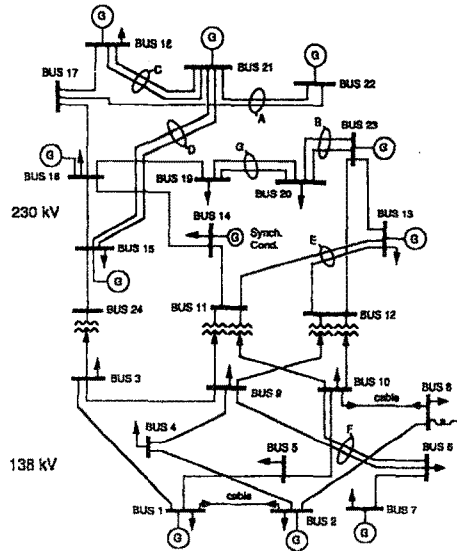


그림 4. IEEE - RTS

표 1은 송전선로 과부하를 고려한 경우(Fuzzy)와 하지 않은 경우(Crisp)의 도달 여유율을 비교하여 본 것이며 그림 5는 두가지 경우의 각 송전선로의 계산결과 중 여유율을 비교한 것이다.

표 1. 송전선로 과부하를 고려하지 않은 경우(Crisp)와 고려하는 경우(Fuzzy)와의 결과비교

	Arrival Power Rate
고려하지 않은 경우 (Crisp)	2.78%
고려한 경우 (Fuzzy)	2.99%

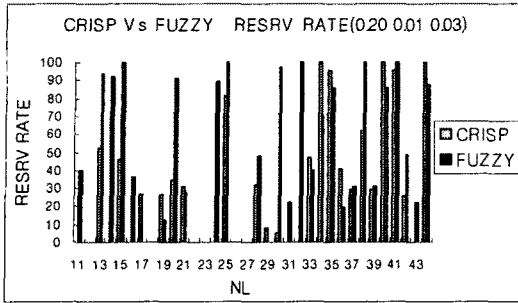


그림 5. 송전선로 과부하를 고려한 경우(Fuzzy)와 하지 않은 경우(Crisp)의 송전선로 여유력 비교

표 2은 송전선로 과부하를 고려하지 않을 경우 즉, Crisp 경우의 목적함수값인 각 부하지점의 최소 도달전력율( $Z_o^*$ )의 값을 3%, 4%, 5%로 변화시킬 경우에 얻어진 여유력 평가결과를 비교한 것이다. ( $Z_o^*$ )의 값이 클수록 도달전력여유력은 커지지만 의사결정자의 만족도수준은 떨어지는 것을 알 수 있다.

표 2. 최소도달전력율( $Z_o^*$ )의 변동에 따른 여유력 평가

$Z_o^*$	3%	4%	5%
SUPPLY RESERVE	19.47	19.47	19.47
ARRIVAL MARGIN	2.99	3.92	4.85
DEL.ADQ OF TRANS. SYS.	469.92	443.30	416.68
SATISFACTION LEVEL	0.98523	0.91922	0.85321

( $d_z = 0.01$   $d_T = 0.20$ )

표 3는 송전선의 과부하 허용폭( $d_i$ )값을 변화시킬 경우 얻어진 여유력 평가결과를 비교하여 본 것인데 이 값이 클수록 도달전력여유력은 의사결정자의 만족도수준도 증가함을 알 수 있다. 이는 송전선의 과부하허용을 어느 정도로 볼 것이냐에 대하여 정량적으로 평가치를 얻을 수 있음과 이에 따라 계통운용측면에서 송전선의 과부하 허용폭을 얼마로 하는 것이 합당한가하는 기준 설정시 어느 정도 근거자료의 토대를 마련할 수 있으리라 사료된다.

표 3. 송전선의 과부하 허용폭변동( $d_i$ )

$d_i$	0.20	0.40	0.60	0.80
SUPPLY RESERVE	19.47	19.47	19.47	19.47
ARRIVAL MARGIN	2.99	2.99	2.99	4.92
DEL.ADQ OF TRANS. SYS.	469.92	469.72	469.65	414.76
SATISFACTION LEVEL	0.98523	0.99236	0.99485	0.99612

( $d_z = 0.01$   $Z_o^* = 0.03$ )

한편, 표 4은 최소도달전력율( $Z_o^*$ )의 애매성의 허용폭( $d_z$ )을 변화시켜 본 경우에 얻어진 여유력 평가의 결과를 비교한 것이다. 본 표로부터 의사결정자가 이 허용폭을 크게 할수록 도달여유력은 작아지고 의사결정자의 만족도수준은 높아짐을 알 수 있다.

표 4. 최소도달전력율( $Z_o^*$ )의 허용폭특성( $d_z$ )의 변동에 따른 여유력 평가

$d_z$	0.01	0.02	0.03	0.04
SUPPLY RESERVE	19.47	19.47	19.47	19.47
ARRIVAL MARGIN	2.99	2.97	2.96	2.95
DEL.ADQ OF TRANS. SYS.	469.92	470.29	470.62	470.91
SATISFACTION LEVEL	0.98523	0.98615	0.98695	0.98767

( $d_T = 0.20$   $Z_o^* = 0.03$ )

## 4. 결 론

본 연구에서는 근대 중요시되고 있는 송전계통의 송전선로 과부하를 고려한 공급능력을 평가하는 한 가지 방법을 제시하였다. 송전선로 과부하 허용정도는 애매성을 지니고 있으므로 이를 수학적으로 제거할 수 있는 퍼지 집합이론을 이용하여 퍼지선형계획법으로 정식화하여 해석하였다. 본 연구에서 개발된 방법을 IEEE-RTS에 적용하여 그 유용성을 살펴보았다.

## 감사의 글

본 연구는 2001년도 한국전력공사지원 기초전력공학연구소 지원과제(01-004) 연구결과의 일부임.

## [참 고 문 헌]

- [1] R.N. Allan, R. Billinton, N.M.K. Abdel-Gawad. "The IEEE Reliability Test System -Extensions to and Evaluation of the Generating System", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. PWRS-1, No. 4, November 1986.
- [2] W.S Read, W.K. Newman, J.J. Perez-Arriaga, H.Rudnick, M.R. Gent & A.J. Roman. "Reliability in the New Market Structure (Part2)" IEEE Power Engineering Review, January, 1999, p.10-16.
- [3] CEA, *Industry Restructuring - News & Info*: CEA connections online news, March 2000.
- [4] Jaeseok Choi, Seougpil Moon, Hongsik Kim, Byongjun Lee and Roy Billinton; "Development of ELDC and Reliability Evaluation of Composite Power System Using Monte Carlo Method", IEEE, PES, SM2000, Seattle, USA.
- [5] Jaeseok Choi, Daeho Do, Seungpil Moon, & Roy Billinton; "Development of a Method for ELDC Construction in a Composite Power System" Large Engineering Systems Conference on Power System, June 20-22, 1999, Halifax, Canada.
- [6] Jaeseok Choi, Seougpil Moon, Hongsik Kim, Jinjung Kang, Hoyong Kim and Roy Billinton; "Development of an Analytical Method for Outage Cost Assessment in a Composite Power System", PowerCon 2000, Perth, Australia.
- [7] 김 홍식, 문승필, 최재석, 노대석, "각 부하지점별 확률론적 발전비용 산정을 위한 수치해석적 방법" 2001년 대한전기학회 전력기술부문회 춘계학술대회 논문집, pp.112-115.
- [8] Luonan CHEN, Hiroshi SUWA and Junichi TOYODA; "Power Arrival Evaluation of Bulk System Including Network Constraints based on Linear Programming Approach" IEEE Trans. on Power System, Vol.6, No.1, February 1991, pp.37-42.