

송전선로 용량 및 발전계통의 신뢰도를 고려한 전력계통의 정적확충 계획에 관한 연구

A Study on Static Expansion of Power System considering with Transmission Line Capacity and Generation System Reliability.

송길영 고려대학교

최재식\* 고려대학교

1. 서론

전력계통의 확충 계획은 정책결정의 문제로서 여러가지 측면에서 다루어져야 할 어려운 문제이다.

본 연구에서는 '송전선로 용량을 고려하고 목표년도에서의 발전계통에 대한 신뢰도 목표값과 증가된 부하를 만족시켜 주면서 건설비를 최소로 하기 위하여 얼마의 설비를 어디에 건설해야 하는가?' 하는 일종의 최적화 문제를 연구 대상으로 삼고 이를 분기 한정법으로 해석하여 보았다.

2. 문제의 설정

(1) 비용 특성

실제와 부합된 계단상 비용 특성으로 하였다.<sup>(5)</sup>

(2) 신뢰도 계산

신뢰도 계산을 위한 용량 모델 및 부하 모델을 다음과 같이 설정하고 이에 의하여 신뢰도 지수로서 보편적으로 사용되고 있는 LOLP 를 계산하고 이를 제약조건으로 도입하였다.

1) 용량 모델

현존 발전기 및 건설후보 발전기 각각에 대하여 FOR 이 주어지는 것으로 가정하였다.

2) 부하 모델

목표년도 중 첨두부하가 존재하는 한달의 부하 변동곡선을 택하여 이 중 매일의 최대부하 만을 가장 크기순으로 정렬한 일최대 부하지속 곡선을 이용하였다.

(3) 최적화 기법

분기 한정법을 사용하되 분기과정에서 Upper bound 와 Lower bound 효과를 이용한 퍼스민분기 한정법을 적용시켜 계산소요시간 단축에도 중점

을 두었으며<sup>(11)</sup> 이의 적용을 위한 선형계획법 알고리즘으로는 그 우수성이 입증된 Ford-Fulkerson 알고리즘을 사용하였다.

(4) 조류 계산

네트워크 유량계산으로 대처하였다.

이는 송전손실을 무시한 것이지만 개략적인 확충 계획을 세워 나가기에 이 방법으로도 충분하다.<sup>(9)</sup>

3. 정식화

(1) 신뢰도 계산을 위한 정식화<sup>(4)</sup>

1) 용량 모델

다음식에 의하여 사고용량에 대한 확률 분포를 작성하였다.

$$P(X_i) = (1-r)P'(x) + rP'(X_i - C)$$

단, C : 추가되는 발전기의 용량 (MW)

r : 추가되는 발전기의 FOR

$X_i$  : i 사고 상태의 사고용량 (MW)

$P'(X_i), P(X_i)$ : 발전기가 추가되기 전 및 후의 사고용량 상태  $X_i$  (MW)가 발생할 확률

2) 부하 모델

일최대 부하지속곡선  $L=f(t)$  에서 일최대 역 부하 지속곡선 즉,  $t=f^{-1}(L)$  을 작성하고 이의 값을 보간법 (interpolation method) 으로 구하였다.

3) LOLP: j 확충 계획시 공급지장 기대치는

$$LOLP^{(j)} = \sum_i \frac{t_i^{(j)}}{T} P^{(j)}(X_i) = \sum_i \frac{f^{-1}(T - X_i^{(j)})}{T} P^{(j)}(X_i)$$

단,  $I_c^{(j)}$  :  $j$  확충 계획시 총발전설비량 (MW)

4. 흐름도

(2) 정수 계획법 (IP) 을 위한 정식화

목적 함수 :

$$\min CT = \sum_{(x,y) \in B} \left[ \sum_{i=1}^{m(x,y)} C_{(x,y)}^{(i)} U_{(x,y)}^{(i)} \right]$$

제약조건 :

$$\sum_{(x,y) \in (X_k, \bar{X}_k)} \left[ P_{(x,y)}^{(0)} + \sum_{i=1}^{m(x,y)} P_{(x,y)}^{(i)} U_{(x,y)}^{(i)} \right] \geq L$$

$$LOLP [ P_{(x,y)}^{(i)} ] \leq TGLOLP$$

단,  $C_{(x,y)}^{(i)} = \sum_{j=1}^k \Delta C_{(x,y)}^{(ij)}$

$$P_{(x,y)}^{(i)} = \sum_{j=1}^k \Delta P_{(x,y)}^{(ij)}$$

$$\sum_{i=1}^{m(x,y)} U_{(x,y)}^{(i)} = 1$$

$$U_{(x,y)}^{(i)} = \begin{cases} 1, & P_{(x,y)} = P_{(x,y)}^{(0)} + P_{(x,y)}^{(i)} \text{ 일때} \\ 0, & P_{(x,y)} = P_{(x,y)}^{(0)} + P_{(x,y)}^{(j)} + P_{(x,y)}^{(i)} \text{ 일때} \end{cases}$$

$$P_{(x,y)} = P_{(x,y)}^{(0)} + \sum_{i=1}^{m(x,y)} P_{(x,y)}^{(i)} U_{(x,y)}^{(i)}$$

L : 총부하

$\Delta C_{(x,y)}^{(ij)}$  : 지로 (X,y) 의 j번째 병렬요소 의 건설비

$\Delta P_{(x,y)}^{(ij)}$  : 지로 (X,y) 의 j번째 병렬요소 의 용량

k : 컷셋번호 (=1, 2, 3 ..... n)

B : 전지로의 집합

m (X,y) : 지로 (X,y) 의 신증설 요소 의 수

LOLP [  $P_{(x,y)}^{(i)}$  ] : 확충 계획  $P_{(x,y)}^{(i)}$  를 실행 했을때의 공급지장확률기대치

TGLOLP : 목표년도의 신뢰도 목표치

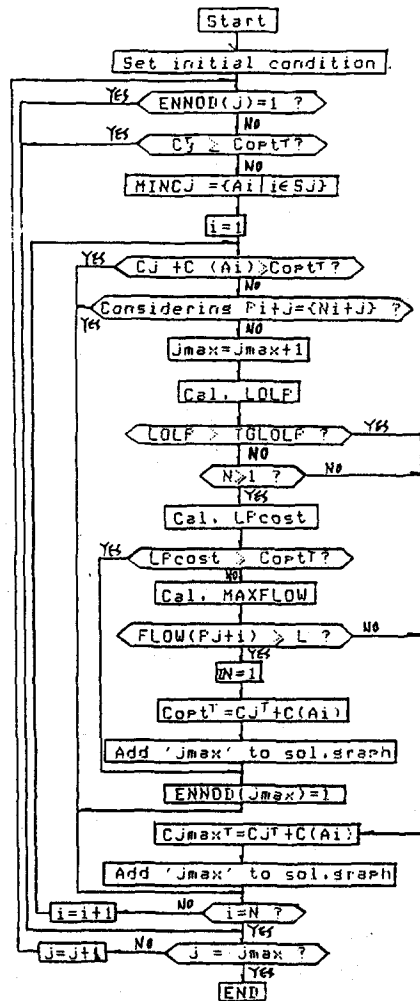


그림 1. 확충 계획 흐름도

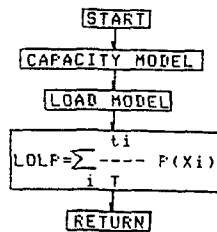


그림 2. LOLP 계산 흐름도

5. 적용에

본 알고리즘을 그림 3과같은 6모선, 7선로 규모의 간단한 모델 계통에 적용하여 목표년도의 부하 및 신뢰도 목표치를 여러가지로 변화시켜 가면서 얻은 확충 계획 결과를 상호 비교 검토하여 보았다. 이때 입력자료는 표.1과 같다.

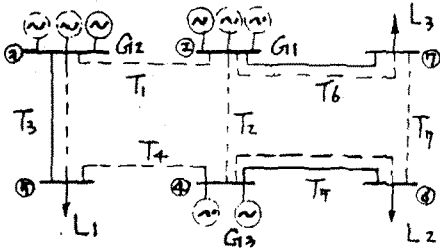


그림 3. 모델 계통

표.1 입력 자료

(1) 설비들의 용량 및 비용

	CAPACITY (MW)			COST (M\$)		
	기설	후보 1	후보 2	기설	후보 1	후보 2
G1	300	300	300	0	21.8	24.5
G2	250	250	250	0	18.4	18.8
G3	200	200	---	0	13.0	---
T1	0	210	---	0	10.5	---
T2	0	400	---	0	8.0	---
T3	300	150	---	0	1.5	---
T4	0	200	---	0	4.0	---
T5	200	100	---	0	2.0	---
T6	180	110	---	0	4.4	---
T7	0	200	---	0	6.0	---

(2) 각 발전기의

	CAPACITY (MW)			F D R		
	기설	후보 1	후보 2	기설	후보 1	후보 2
G1	300	300	300	0.06	0.06	0.06
G2	250	250	250	0.07	0.07	0.07
G3	200	200	---	0.08	0.08	---

표.2는 각 부하가 15% 증가할 경우에 목표년도의 공급 지장 확률을 변화시켜 가면서 얻은 몇가지 결과를 상호 비교한 것이다. (PDP-11 사용)

표.2 몇가지 결과

신뢰도목표치	전선 설비	총비용	분기수	계산시간
(신뢰도목) 0.7	T4 <sup>(1)</sup> , T6 <sup>(1)</sup> , T7 <sup>(1)</sup>	14.4	14	10
0.7 목표	G2 <sup>(1)</sup> , T6 <sup>(1)</sup>	22.8	12	4
0.1 목표	G2 <sup>(1)</sup> , G2 <sup>(2)</sup> , T6 <sup>(1)</sup>	41.6	27	4

(M\$) (Sec)

6. 결론

(1) 발전계통의 신뢰도 지수로서 확률적 개념인 LOLP를 도입하였으므로 더욱 현실적인 확충 계획 알고리즘을 세웠다.

(2) 발전기 대수가 적은 경우에는 신뢰도를 고려치 않는 경우보다 분기수는 많아도 계산소요 시간은 오히려 줄어들음을 알수 있었다.

(3) 최적화 과정에서 분기수를 소거시킬수 있는 퍼스망 분기한정법을 적용함으로써 계산소요 시간을 단축시킬수 있는 기틀을 마련하였다.

(4) 송전계통의 공급능력을 감안하였으므로 앞으로 이의 신뢰성까지 포함한 알고리즘 개발이 가능하리라 여겨진다.

7. 참고 문헌

- (1) 宋吉永 著; "電力系統工学", 동명사 1977년
- (2) 宋吉永 著; "系統解析理論의 基礎와 應用", 동일출판사. 1981년
- (3) B.E Gillett 著; "Introduction to operation research", McGraw-Hill 1976년
- (4) R.Billington 著; "Power System Reliability Evaluation" Gordon & Breach, Science pub. 1977년
- (5) 宋吉永, 崔花錫; "分岐限定法에 의한 電力系統의 最小費用拓充計劃에 대한 研究", 대한전기학회지 pp9-16, 1984년 1월.
- (6) R.J.Ringlee and B.F.Wollenberg; "Overview of optimization methods" IEEE Tutorial course, pp5-18, 1976년
- (7) J.P.Stremel; "Reliability Model: the influence of model specification in generation expansion planning", IEEE, PAS-101, pp 3669-3678, 1982,10