

電力系統의 最適擴充計劃에 관한 研究

PART I - 계단상 비용특성을 고려한 최소비용 확충 계획

"A STUDY FOR OPTIMAL EXPANSION PLANNING OF POWER SYSTEM".

PART I - Minimum cost expansion planning with considering stepwise cost characteristics.

송길영 (고려대학교)
최재석* (고려대학교)

1. 서론

최근, 우리나라에서 GNP 증가와 산업시설의 발달에 따라 전력수요가 급증하고 있는바 충분한 전력을 공급하기 위해서는 계통확충을 장기적인 안목아래 적절한 계획에 의거해서 추진해야 할 것으로 본다. 그런데 이러한 확충 계획을 실시함에 있어서는 고려해야 할 변수가 많으나 이들 모두를 동시에 만족시켜 최적계획을 구한다는 것은 현실적으로 거의 불가능하다고 보아지며 단지 경제성이나 신뢰성 또는 계통특성 등의 조건 중 일부만을 고려하여 계획을 실시할 것을 제시하고 있을 뿐이다 (4)(5)(6). 그러나 앞으로는 이러한 조건을 동시에 고려한 복합적인 측면에서의 확충 계획이 필요하다고 예상되므로, 본연구에서는 이러한 조건들중 특히 상호 배타성을 띤 경제성과 신뢰성 양자를 함께 고려하여 경제적인 비용으로 신뢰성이 높고 조화 있는 계통을 구성하기 위한 알고리즘 개발을 목적으로 하였다.

그러나, 연구 성격상 이 문제는 경제성과 신뢰성이란 두 가지 주요내용을 포함하게 되는 바 여기서는 그 1단계로서 경제적인 면에 입각한 최소비용 확충 계획에 대해서만 논하고자 한다.

2. 본론

(1) 최소비용 확충 계획의 개요

본래 전력계통 확충 계획이란 최소의 비용으로 최대의 효과를 얻자는 경제원칙에 따른 것으로 계통 구성요소가 갖는 특성 모두를 고려함이 마땅하나 계통 임피던스를 무시한 네트워크 유량법(Network flow method)을 사용하여도 대국적인 확충 계획을 하기에는 충분한 것으로 알려져 있으므로 (4) 여기서는 우선 건설비가 설비용량에 비례하는 것으로 가정한 방법과 (2), 건설비와 설비용량과의 관계가 계단상 특성으로 나타내어지는 것으로 가정한 방법 (4)의 2가지 측면으로 접근하여 보았다.

(2) 선형 비용특성으로서의 해석

본 해석은 최대유량문제(Maximum flow problem)와 최단경로문제(Short path problem)를 혼합한 문제의 응용으로서 Ford-Fulkerson에 의하여 제시된 알고리즘으로 풀 수 있는바 이것은 선형계획법(LP)의 주문제(Primal problem)와 쌍대문제(Dual problem)에 대한 목적함수들의 관계에 기초를 두고 있으므로 각각의 목적함수를 정식화 하면,

$$\text{Min } f = - \sum_{(ij) \in B} d_{ij} x_{ij} \quad \dots \dots (1)$$

단, f : 주문제의 목적함수

d_{ij} : ij 지로의 단가

x_{ij} : ij 지로의 흐름량

로 되며, 이에 대한 쌍대문제의 목적함수 g 에 대해서는,

$$\text{Max } g = -k(\alpha_s - \alpha_t) + \sum_{(ij) \in B} c_{ij} \gamma_{ij} \dots (2)$$

단, k : 요구하는 부하량

c_{ij} : ij 지로의 용량

α_s, α_t : 유입점, 유출점에 대한 쌍대변수

γ_{ij} : ij 지로에 대한 쌍대변수

가 된다.

식(1)과 식(2)의 변수에 최적해를 대입한 각각의 목적함수 값을 f^* , g^* 라 하면,

$$g^* - f^* = 0 \dots \dots \dots (3)$$

가 된다는 것에 착안하여, 역으로 $g-f=0$ 를 만족하는 변수값이 최적해라는 것을 골자로 한

Kuhn-Tucker 최적조건에 의하여

$$(-\alpha_i^* + \alpha_j^* + \gamma_{ij}^* + d_{ij}) \cdot x_{ij}^* = 0 \dots (4)$$

$$\gamma_{ij}^* \cdot (c_{ij} - x_{ij}^*) = 0$$

단, *표시는 그 변수가 최적상태임을 나타낸다.

가 유도된다. 여기서 최소비용의 경로는 Potential의 정도를 나타내는 α_i, α_j 의 성질을 이용하여 해당되는 지로를 선택하면 될 것이다.

이것은, 계통의 현실적인 조건에 위배되는 것이긴 하나 실제 28개 모선 35개 선로 규모의 실계통에 적용해본 결과 만족할만한 계산 속도를 얻었으므로 (IBM 4341로 1분 10초) 여기에 정수해 조건을 넣어 정수 계획법 (IP)으로 수정시킨다면 보다 현실과 부합된 계단상 특성을 해결할 수 있을 것으로 전망된다.

(3) 계단성 비음특성으로서의 해석

본 해석 방법으로는 정수 계획법과 분기한계법 (Branch & Bound method)이 유효한 것으로 밝혀져 있다(2),(4).

여기서는 초기상태로 발전소 및 송전선의 건설후보지점은 미리 정해져 있는 것으로 잡고 최대유량(Max. Flow) 계산에서 최소용량절단지로 (Min. cut-set branch)를 선택하여 해당지로 용량 A_j (단, j 는 최소용량절단지로 증설 가능한 지로의 번호임)를 하나씩 증가시키면서 확충 계획량 E_i 를 구했다. 그때의 최대 유량을 F_{mi} , 공급 가능량을 f_i^T , 총설비비를 C_i^T 라 하면,

$$\left. \begin{aligned} f_i^T &\geq L, (\text{실행가능해}) \\ \text{또는, } f_i^T &< L, (\text{실행불가능해}) \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

$$\left. \begin{aligned} C_i^T &\geq Copt^T \\ \text{또는 } C_i^T &< Copt^T \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

$$E_i = \{Ak \mid K \in Ni\} \dots \dots \dots (7)$$

단, L : 총부하량

$Copt^T$: A_j 를 증가하기 전까지의 최적해의 총비용

Ni : 확충 계획량 E_i 를 얻는데 있어서의 건설할 지로번호의 집합

로 된다.

그림-1은 이 분기한계법의 알고리즘을 흐름도 (Flow chart)로 정리하여 보인 것이다.

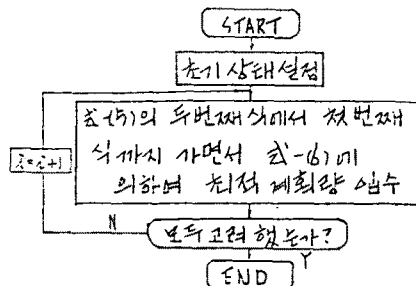


그림-1 FLOW CHART

(4) 적용 예

위의 흐름도에 의하여 해석되어지는 과정을 간단한 모델계통에 적용시켜 나타내었다.

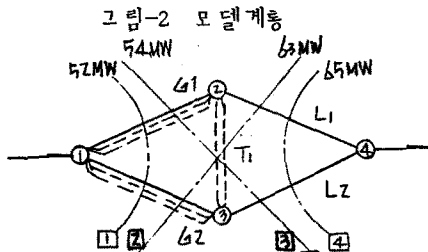
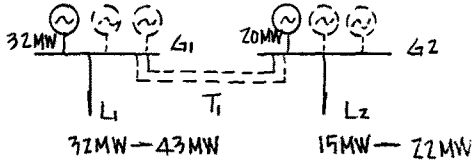


그림-2 모델계통

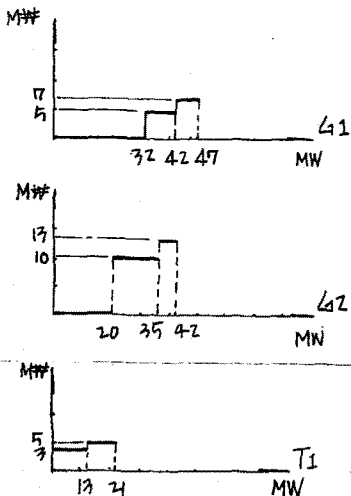


그림-3 초기상태 절단용량

그림-4 계단상 비용특성

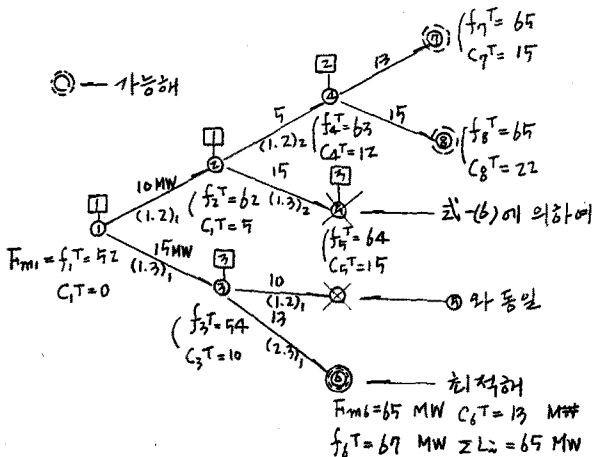


그림-5

즉, G_2 의 15MW 와 T_1 의 13MW 2개의 장비를 신·증설하면 된다. (이때 소요되는 총비용은 13×10^6 원 이다)

전술한 실계통에 적용시켜 본 결과 역시 만족할 만한 답을 얻을 수 있었다.

3. 결론

- (1) 비용특성을 보다 현실에 부합된 계단상으로 설정해서 실계통에 적용해 본 결과 실지 계획에 충분히 활용할 수 있음을 밝힐 수 있었으며
- (2) 계통 요소를 증가시킬 때 마다 최대유량 계산에서 최소용량절단지도를 직접 찾게 하므로서 계산속도와 기억용량을 감축시킬 수 있었다.
- (3) 앞으로 이상의 결과를 토대로 해서 신뢰성까지 고려한 전력계통 최적확충 계획을 추진할 방침이다.

참고 문헌

- (1) 송길영 저 : "계통 해석이론의 기초와 응용" 동일출판사, 1981년
- (2) 高橋-弘 저 : "전력시스템공학" 코로나사, 1977년
- (3) L.R. Ford, D.R. Fulkerson 저 : "Flows in Networks", Princeton University Press. 1974, p 96
- (4) 岡田隆夫, 河合羊一 : "계단상 비용특성을 갖는 전력계통의 확충 계획의 계산수법", 일본전기학회 잡지, 1969, p 1602
- (5) T.A.M. Sharaf, G.J. Berg : "Reliability Optimisation for Transmission expansion planning" IEEE, 1982. 7, p 2243
- (6) R. Billington, A.V. Jain, C. MacGowan "Effect of partial outage representation in generation system planning studies" T 74 134-3, p 1252