

최대 원리를 이용한 장기 송전 계획
Long Term Transmission Planning using Maximum Principle

박 영 단
김 건 중*

서울대학교 공과대학
충남대학교 공과대학

1. 서 론

산업의 발달은 더욱 많은 전력 에너지를 요구 하고 이것은 곧 바로 전력 계통의 확장으로 연결되 게 된다. 이러한 계통의 확장은 크게 다음과 같 이 분류될 수 있다.

- . 전원 계획 (Generation Planning)
- . 송 전 계획 (Transmission Planning)
- . 무효전력설비 계획 (VAR Planning)

본 연구에서는 전원 계획이 확정된 경우의 송전 계획 문제를 폰트리아기의 최대원리에 의해 해결하 고자한다.

이 분야의 연구는 1970년 초 부터 미국과 불 란서를 중심으로 연구가 진행되어 왔으나 아직까 지 이렇다할 확실한 이론이 정립되어 있지 않다. 미국에서는 웨스팅하우스에서 분지한정법(1)(2)(3)을 사용하여 송전 계획을 연구한 이택로 멩기프(4), 가렛트(5), 랍트(6), 빌라스나(7) 등에 의해 많은 연구가 진행되었으나 모두가 이론이 정립 되어있지 않았으며 또한 시간외상의 문제를 처리 하는 데 실패를 하였다. 불란서에서는 EDF를 중심으로 많은 연구가 진행되어 왔으며 여기서는 멕시코 모델(8) 이라는 독자적인 운전비 모델을 개발하여 이를 기본으로 한 송전 계획이 연구되어 왔다. 그러나 이 경우의 결점은 운전비 모델 로 부터 선로투자 에 따른 감도(Sensitivity) 를 유도할 수 없고 또한 운전비 모델을 최대유량 문제(9)로써 다루었기 때문에 연립방정식의 차이점이 있다. 그리고 시간외상의 문제를 해석적으로 처리하지 못하였기 때문에 바람직한 방법이랄할 수 없다.

본 연구에서는 멕시코 모델을 수정하여 새로 운 형태의 운전비 모델을 개발하고, 이로부터 선

로 투자에 따른 감도를 해석적으로 유도하여 최 대 원리를 이용한 장기 투자 모델을 세우고자한 다. 즉 운전비 모델에서 전압외상 값을 변수 로 취하였다. 이 결과 모션 어드미턴스 행렬 의 역행렬 계산이 불필요하게 되었으며, 또한 손 싹계 선로투자에 대한 감도를 해석적으로 유도 할 수 있게 되었다. 그리고 전력수급 방정식이 불필요하게 되어 운전비 계산이 용이하게 되었다. 새로운 운전비 모델에서의 선로투자에 대한 감도 함수를 사용하여 최대원리를 이용한 장기투자 모 델을 세우고, 이를 해밀톤 함수의 최적화 문제로 변환함으로써 장기투자 모델을 선형화하였다. 따라서 운전비 모델의 계산과 장기투자 모델의 계산이 모두 선형모델의 계산이기 때문에 선형 계획법을 손쉽게 사용할 수 있게 되었다.

2. 본 론

계통의 최적 운전비란 모든 조건하에서 운전비 를 최소가 되도록 하는 것을 말한다. 즉 발전기 용량과 선로 조류 용량등을 만족하면서 발전연료 비와 공급 장치비의 합이 최소로 되도록 하여야한 다. 이 경우의 최적 운전비 모델을 다음과 같 이 유도하였다.

$$\text{Min } \{C^T(A)[S]\theta - \alpha^T R^d\} \quad (1)$$

$$\text{s.t } \underline{R} \leq [A][S]\theta \leq \bar{R} \quad (2)$$

$$-\bar{S} \leq [S]\theta \leq \bar{S} \quad (3)$$

단, θ ; 전압 외상각 벡터

$[A]$; 모션 접속 행렬

$[S]$; 선로 접속 행렬

R^d ; 모션 요구 전력 벡터

C ; 모션비용 벡터

\bar{b} : 모신전력 상한치 벡터
 \underline{b} : 모신전력 하한치 벡터
 \bar{r} : 신로조류 상한치 벡터

$$\frac{\partial f(b, \theta^*)}{\partial b_k} = \{ [C + M_1 - M_2]^T [A] + [M_1 - M_2] \}_k \{ [A]^T \theta^* \}_k + [-M_1 - M_2]_k \cdot \rho_{cap, k} \quad (9)$$

식 (1), (2), (3)으로 주어지는 운전비 모델은 부하상태와 신로상태에 따라서 값이 다르다. 따라서 모든 부하상태와 신로상태에서의 운전비는 운전비 기대치로서, 나타나게 되면 년간의 운전비 기대치를 표시하면 다음 과 같다.

$$F_0 = \sum_{i=1}^{NM} T(i) \sum_{j=1}^{N_j} t(j) \sum_{k=1}^{K} \text{Prob}(u_k) \cdot f_{i,j}(b(u_k)) \quad (4)$$

단, NM : 년간의 월수
 N_j : 부하지속 곡선의 구간수
 $t(j)$: j 구간 지속시간
 $T(i)$: 년간반복 월수
 $\text{Prob}(u_k)$: u_k 경우의 확률
 $b(u_k)$: u_k 경우의 신로상태
 $f_{i,j}(b(u_k))$: u_k 경우의 신로상태에서의 i 월 j 구간 운전비
 F_0 : 년간 운전비 기대치

이러한 년간 운전비 기대치와 신로 투자에 따른 투자비의 합을 총비용 함수로 정의하면, 장기투자 모델은 매년의 총비용과 마지막 년도에서의 잔존가치의 합이 최소로 되도록 신로 투자를 결정하는 문제가 된다.

$$\text{Min } \{ F_0^{NM} + \sum_{i=1}^{NY} F_i[\Delta b^i] \} \quad (5)$$

$$\Delta b \in U \quad (6)$$

$$\text{s.t. } b^{i+1} = b^i + \Delta b^i, \quad b^1 \text{ given} \quad (7)$$

단, Δb^i : i 년도 투자신로 벡터
 F_0^{NM} : 마지막 년도에서의 잔존 가치
 F_i : i 년도 Δb^i 투자시 총비용
 이때 허용 제어집합 U 는 다음과 같다.

$$U = \{ \Delta b^i \mid U_{min} \leq \Delta b^i \leq U_{max}, \quad I^T \Delta b^i \leq E_{max} \mid i = 1, \dots, NY \}$$

단, I^T : i 년도 투자비 계수 벡터
 E_{max} : i 년도 투자액 상한치
 U_{min} : i 년도 투자 하한치 벡터
 U_{max} : i 년도 투자 상한치 벡터

식 (5), (6), (7)은 최대원리를 도입하여 손쉽게 풀 수 있는 형태이다. 이때 물론 투자에 대한 한계비용과 설비에 대한 한계비용이 필요하게 되는데 이것은 식 (1), (2), (3)으로 부터 다음과 같은 값 도출을 유도함으로써 해결할 수 있다.

$$L[\theta, \mu] = C^T [A] [S] \theta + \mu^T [(A) [S] \theta - \bar{r}] + \mu^T [- (A) [S] \theta + \underline{b}] + \mu_2^T [- \bar{r} - [S] \theta] + \mu_3^T [- \bar{r}_0 + [S] \theta] \quad (8)$$

단, θ^* : 현재의 최적운전점
 M : 상대편수 벡터
 $\rho_{cap, k}$: K 신로 조류용량

이상과 같은 연구 결과를 샘플 계통에 적용하여 상당의 만족할 만한 결과를 얻었다.

3. 결론

전압와상각을 변수로 하는 새로운 형태의 운전비 모델을 개발하고 이로부터 신로 투자에 따른 감도 함수를 해석적으로 유도하여 최대원리를 적용한 장기 승전 계획을 수행하였다. 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

전압와상각을 변수로 한 운전비 모델은 사용되어 기존의 텍스코 모델보다 더러가지 계산상의 잇점을 얻었다. 특히 전류수급 방정식이 불필요하며, 모신어도 미연스 행렬의 역행렬 계산이 필요없고 해석적인 투자에 대한 감도를 유도할 수 있었다. 신로 사고에 따른 운전비 기대치 계산식에 신로 사고 확률을 해석적으로 유도하여 문턱 카드로법보다 계산속도를 향상시킬 수 있었다. 장기투자 모델에 최대원리를 도입함으로써 선형화 함수 있었으며 또한 선형 계획법으로는 스파시티를 응용한 경사투영법을 개발 사용하여 대영계통에의 적용을 가능하게 하였다.

이상의 결과를 샘플 계통에 적용하여 본 결과 상당의 만족할 만한 수준이었다. 그러나 본 연구에서 다루지 않은 전원 계획, 무효전력설비 계획, 투자의 시간지연문제, 부하관제 등의 연구가 추후 부가되면 보다 완전한 장기투자 계획이 실현될 수 있을 것이다.

4. 참고문헌

(1) Stephen T.Y. Lee, Kenneth L. Hicks, Esteban Hnyilicza, "Transmission Expansion by B/B Integer Programming with Optimal Cost Capacity Curves", IEEE PAS-93, 1974
 (2) Billy E. Gillett, "Introduction to Operations Research : A Computer-Oriented Algorithmic Approach", McGraw-Hill, 1976
 (3) G.V. Reklaitis, A. Ravindran, K.M. Ragsdell, "

Engineering Optimization", John Wiley & Sons, 1983

(4) C. Meckiff, J. T. Boardman, I. Richards, J. R. Green, "Comparative Analysis of Heuristic Synthesis Methods for Electricity Transmission Networks", IEEE PES Winter Meeting, New York, NY, Jan. 29-Feb. 3, 1978

(5) Gary P. Garrett, Atsushi Fukutome, Mo-Shing Chen, "Expansion Planning of Radial Subtransmission Systems", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-96, No. 5, September/October, 1977

(6) Ralph S. Gens, Edward H. Gehrig, Robert B. Eastvedt, "BPA 1100KV Transmission System Development Planning, Program and Objectives", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-98, No. 6, Nov/Dec, 1979

(7) R. Villasana, L. L. Garver, S. J. Salon, "Transmission Network Planning using Linear Programming", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-104, No. 2 Feb. 1985

(8) J. C. Dodu, A. Merlin, "An Application of Linear Programming to the Planning of Large Scale Power Transmission Systems : The Mexico Program", Electricite DE FRANCE-PARIS (FRANCE), 1976

(9) A. Merlin, C. Santucci, "Application of Probabilistic Models to the Long-term Planning of Large Power Transmission Systems", The Example of E.D.F. ELECTRICITE DE FRANCE-CLAMPT-FRANCE, 1975