

선로사고를 고려한 간략화 운전비 계산 알고리즘

A Fast Approximation Algorithm for Calculating Operating Cost Considering Transmission Line Outage

과	영	문	적	용	공	대
내	영	식*	방	적	대	
사	고	고	경	부	대	

1. 서론

계통의 운전비용 계산은 계통계획을 하는 과정에서 필요하며, 장기계획이 고려의 대상인 경우에는 운전비용 계산을 간략히 하여야 할 필요성이 있다. 본 논문은 이 점에 착안하여 간략화한 운전비용 계산 알고리즘을 개발하였다.

우선 간략화하기 위하여 몇 가지의 가정을 하였다.

- 1 송전선로 고장은 고려하였으나 발전기의 고장은 고려하지 않았다.
- 2 발전기의 운전비용과 출력과의 관계는 선형이라고 놓았다.
- 3 공급지장비용은 공급지장 전력에 비례한다고 가정하였다.
- 4 선로의 송전손실은 무시한다.

위의 4 가정하에서, 우선 운전비에 해당하는 함수를 출력비용과 공급지장비용과의 합으로 놓고, 이 값을 최소화하는 값을 운전비로 구하였다. 그러나 이 함수값은 선로에 사고가 발생했을 경우, 선로용량을 초과하는 조류가 흐를 수 있으므로, 안전한 운전을 위해서는 전력공급을 차단하거나 재분배하여야 한다. 그리고 선로사고는 어떤 일정 확률을 가지고 랜덤하게 발생하므로, 몬테칼로시뮬레이션 방법을 사용하여 계산하여야 한다. 이 방법에 의하면, 선로사고 케이스를 많이 고려할수록 실제에 근사한 것으로 나왔으며, 계통에 따라 다르나 1000 회 이상의 계산을 요한다. 본 논문에서는 선로사고 중요도 선택 알고리즘을 도입하여 10 회 정도의 계산으로도

운전비용 계산이 가능한 것으로 입증되었다.

2. 문제의 설정

목적함수를 식 (1) 과 같이 놓는다.

$$\text{최소화 } \psi = \sum_{j=1}^N C_j P_j + \lambda \sum_{i \in N} (P_i - P_i^*) \dots (1)$$

$$\text{제약조건 ; } 0 < P_{j1} < \bar{P}_{j1}, \sum_{j \in N} (P_{j2} - P_{j2}^*) = 0$$

$$P_i = A(P_j - P_i), \quad 0 < P_{i2} < P_i^*$$

$$-P_i^M \leq P_i \leq P_i^M$$

단,  $P_{j1}$ :  $j$  절점에서의 발전력

$P_{i2}$ :  $i$  절점에서의 공급전력

$P_i^*$ :  $i$  절점에서의 부하

$C_j$ :  $j$  절점 발전기의 평균 발전 비용

$\lambda$ : 공급지장 비용

$\bar{P}_{j1}$ :  $j$  절점 발전기의 최대가능 출력

$P_{i2}$ :  $i$  선로의 전력조류

$P_j, P_i, P_i^*$ : 발전력, 공급전력 및 선로조류의 벡터값

식 (1) 의 최소값은 어떠한 케이스에 대해 선형계획법을 풀어서 구할 수 있고, 모든 선로 사고의 경우에 대해 구하여, 그 기대치를 구하면, 계통 운전비의 최소값을 구할 수 있다. 그러나 식 (1) 의 제약조건의 수가 많으므로 이것은 시간이 걸리며 듀알 심플렉스법 (dual simplex method) 과 릴렉세이션법 (relaxation method) 을 이용하면 빨리 구할 수 있다.

3. 선로사고 중요도 선택 알고리즘

(Contingency Selection Algorithm)

선로사고의 중요도를 선택하는데 사용되는 목적함수는 식 (2) 와 같이 주어지는 것이 일반성있고 널리 사용되어지고 있다.

$$J_{MW} = \sum_{i=1}^N \frac{W_i}{2n} \left( \frac{P_i}{P_{i0}} \right)^{2m} \dots (2)$$

단  $P_i$ : 선로  $i$ 의 조류,  $P_{i0}$ : 선로  $i$ 의 용량

NL: 계통의 선로수  
 위 값의 계산은, 교류전력조류법으로 정확하게 계산할수 있으며, 또 직류전력조류법으로 간략히 계산할수도 있다. 또 감도법을 사용하여 계산할수도 있다. 논문(2)에 의하면 직류 조류법에 의한 방법이 가장 유력한 것으로 입증되었다. 그런데 여기서 한가지 문제가 되는 것은, 계산시간이며, 이것을 계산한 것이 논문(3)에 나와 있다. 본 논문에서는 계통이 스퍼스(Sparse)하다는 특성을 이용하여(4) 계산을 대폭 단축시켰다.

#### 4. 간략화한 운전비계산

선로 사고를 고려한 경우의 운전비 계산은 식(3)에 의하였다.

$$J = \left\{ 1 - \sum_{i=1}^{ICON} Pr(i) \right\} \text{Min } J^N + \sum_{i=1}^{ICON} \text{Min } J^i * Pr(i) \dots (3)$$

단  $J^N$ : 송전선로 사고가 안 일어난 경우의 운전비

$J^i$ : 선로 사고가 일어난 경우의 운전비

$Pr(i)$ :  $i$  선로 사고 확률

ICON : 순위에 의한 선로 사고의 개수

#### 5. 사례 연구

선로수 50, 모선수 22인 (논문5) 계통에 대해 적용해 본 결과는 다음과 같다. 표-1에 선로의 순위가 나와 있으며, 표-2에 순위에 의한 선로 사고의 개수를 증가한 경우의 발전력, 공급 저장 및 이들의 표준편차 및 운전비-1. 순위선택 알고리즘에 의한 순위

순위	선로번호	$J_{MW}$	순위	선로번호	$J_{MW}$	순위	선로번호	$J_{MW}$
1	31	6.7485	10	10	6.2020	19	40	5.7992
2	30	6.7485	11	41	6.1706	20	42	5.7068
3	49	6.6950	12	15	6.1706	21	16	5.7068
4	48	6.6950	13	6	6.1215	22	9	5.6203
5	24	6.4207	14	5	6.1215	23	4	5.5859
6	23	6.4207	15	39	5.8537	24	3	5.5859
7	47	6.3825	16	14	5.8537	25	27	5.5540
8	22	6.3825	17	46	5.8012	26	26	5.5540
9	35	6.2020	18	20	5.8012	27	50	5.5060

전 비용이 나와 있다.

표-2. 순위선택에 의한 비용 계산

(P.U.) = 100 (MW)

ICON	발전전력	발전력 표준편차	공급 저장 전 력	공급 저장 표준편차	운전비
문제발표 방법	112.19	14.34	3.1	1.201	203.0125
5	112.66	98.57	2.61	2.123	201.309
10	112.4798	93.0166	2.79	2.247	201.8317
15	112.3366	86.9794	2.93	2.287	202.3676
20	112.2089	81.213	3.06	2.323	202.8699
25	112.1812	73.6234	3.09	2.181	202.9789
30	112.1812	68.0233	3.09	2.063	202.9789
35	112.1812	61.203	3.09	1.923	202.9789

#### 6. 결론

본 논문은 계통의 운전비를 계산하는데 있어서 목적함수를 선형화함으로써 선형계획법을 이용하였다. 그리고 선로순의 선정방법에 있어서 계통의 스퍼스티를 이용하여 계산시간을 단축하였다. 또 이 순위를 이용하여 계통의 운전비를 계산한 결과 적은 계산량으로 본태 알고리즘에 비견할 만한 결과를 얻었다.

이 결과는 앞으로 장기송전선로 계획문제에 이용 가능 할 것으로 생각된다.

#### 7. 참고 문헌

1) J.C.Dodu and A.Merlin, "Some Applications of Linear Programming Methods to the Study of Large-Scale Power System", IFAC 8th Triennial World Congress, August 24-28, 1981.

2) G.Irisarri, A.M.Sasson and D.Levner, "Automatic Contingency Selection for On-line Security Analysis-Real-time Tests", IEEE Trans. Vol.PAS-98, No5, pp 1552-1556, Sep/Oct 1979.

3) G.D.Irisarri and A.M.Sasson, "An Automatic Contingency Selection Method for On-line Security Analysis", IEEE Trans. Vol.PAS-100, No.4, pp1838-1844, April, 1981.

4) 박 영문, 백 영식, "전력조류 계산의 개선에 관한 연구", 대한전기학회지, 3월, 1977.

5) F.Aboytes, "Stochastic Contingency Analysis", IEEE Trans. Vol.PAS-97, No. 2, pp340, March/April 1978.