

* 백 영식, 권 영 한, 추 진 부
 경북대학교 한국전기연구소 한전기술연구원

Constrained Economic Dispatch for Planning purpose

Young-Sik Baek Young-Han Kwon Jin-Boo Choo
 Kungpook Univ. KERI KEPCO Research Center

ABSTRACT

Optimal generation dispatch algorithm is developed using L.P and load dispatch method. The algorithm is composed with three steps. First phase, analytical algorithm is adopted to solve to minimize quadratic cost functions which fits well for planning purpose. Second phase uses L.P method for obtain economic redispatch that satisfies line constraints. When there is no solution which satisfy line constraints load shedding algorithm solves the problem.

1. 서론

전력계통의 운용 합리화에 의한 경제성 추구에 관한 연구는 1950 년대에 시작되어 많은 연구가 되어 왔다¹. 동중분법², 페널티법³, 등이 사용되었으며 OPF 법⁴,으로 이 분야의 연구가 절정을 이루었다.

OPF 법은 수학적으로 거의 완벽하게 계통이 모의되고 그 결과가 아주 정확하다는 장점이 있다. 그러나 복잡성에 따른 계산상의 부담이 크다는 점과 입력 데이터가 모델링에 알맞는 정확도를 갖기가 어려운 점등이 OPF 를 실용화 시키는 걸림돌로 작용하고 있다.

이에 비하여 초기의 경제성만을 고려한 경제급전 문제에 제약조건을 첨가시킨 "제약조건부 경제급전 (constrained economic dispatch) 문제"가 OPF 만큼은 정확도가 떨어지지만 실제 계통운용환경하 에서 개인용 컴퓨터로도 만족스러운 해를 구할수 있다는 점으로 그 중요성이 인정되어 활발한 연구가 이루어지고 있다.

본 연구는 제약조건부 경제급전에 관한 연구이다. 그

러나 본 알고리즘을 계획용 등에 사용하기 위하여는 사고시의 운전 해석이 가능해야 하며 특히 부하차단에 관한 연구가 필요하다. 본 연구는 부하차단 최소와 알고리즘을 도입한 경제급전 문제로서 전력계통 계획용으로 적합하다.

2. 본론

본 알고리즘은 3 단계로 이루어져 있다. 첫단계는 주어진 상태에 대하여 초기 운전 상태를 구한다. 이 계산은 많은 상태에 대해 구해야 하므로 간략하면서도 정확도가 높아야 한다. 두 번째 단계로는 선로 사고등의 계통 변화가 일어난 경우의 최적 운전상태의 계산이다. 이 경우에는 선로 과부하가 발생할 소지가 많고 이 경우 새로운 최적운전점을 찾아야 한다. 그리고 이 단계에서 발전력 배분만으로 과부하 해소가 불가능한 경우 세 번째 단계로 부하차단을 수행하도록 한다. 그림 1 은 본 연구 알고리즘의 흐름도 이다.

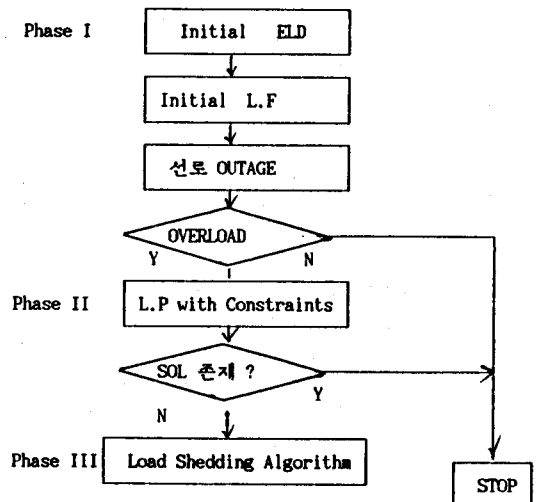


Fig. 1 Constrained Economic Dispatch

2.1 초기 최적 운전점 결정

Phase I 은 사고전의 초기상태로 경제성을 고려한 최적운용을 수행하도록 계통운전을 하여야 한다. 이 방법은 많은 연구결과가 발표되어 있고 그 방법도 계산정도 및 계산시간에 따라 다양하다. 본 연구에서 사용되는 최적운전은 모든 사고에 대해 계산하여야 하므로 정확도 면보다는 계산시간에 더 큰 비중이 주어져야 한다. 본 연구에서는 문헌[5]에서 개발한 방법을 사용하였으며 계산방법이 간단(analytically computed)하면서도 정확하다. 이 방법을 간단히 소개하면

$$\begin{aligned} \text{Min } \sum_i (\alpha_{2i} P_i^+ + \alpha_{1i} P_i^- + \alpha_{0i}) \dots (1) \\ \sum P_i = P_D + P_L \\ \text{Sol. } P_i = (\lambda - \alpha_{1i}) / 2\alpha_{2i} \end{aligned}$$

이 계산에서 상한을 벗어나는 발전기는 다음의 알고리즘에 따라 그 값이 고정된다.

- 1) 제약이 없는 경우의 문제를 푼다.
- 2) 제약을 모두 만족하면 최적해가 구해졌다.

만약 제약을 벗어나는 발전기가 존재 한다면 dh 를 구한다.

$$\begin{aligned} dh &= h_i^{\max} - h_i^{\min} \\ h_i^{\max} &= P_i - P_i^{\max} : \text{상한 이탈 발전기} \\ h_i^{\min} &= P_i^{\min} - P_i : \text{하한 이탈 발전기} \end{aligned}$$

- 3) $dh > 0$: 모든 상한 이탈 발전기를 상한에 고정
- $dh < 0$: 모든 하한 이탈 발전기를 하한에 고정
- $dh = 0$: 모든 이탈 발전기를 상한 및 하한에 고정

4) 총 부하량에서 고정된 발전량을 감안 값을 새로운 부하량으로 놓는다.

- 5) 1 번 으로 간다.

선로손실에 대한 고려는 총 부하량의 2% 정도를 계상하여 보정하므로, 계산시간 및 정확도를 증진 시켰다.

2.2 계통상태 변화에 따른 최적 운전점 계산

1 단계에서 계산된 초기치를 초기 운전조건으로 하여 다음 2 단계를 수행 한다. 사고가 발생하면 선로조류가 변화하고, 경우에 따라서는 선로 용량 또는 기기의 용량 한계를 초과하여 전력이 수송되며 이 경우 적절한 운전 및 제어에 의하여 정상운전이 가능하도록 ELD 를 수행하여야 한다. 본 연구에서는 선로 용량제약을 포함한 선형

계획법에 의해 최적운전을 수행하도록 하였다. 목적함수를 발전력의 변화를 최소화하도록 하였으므로 초기 운전이 최적 운용중이라고 한다면 선형계획으로도 비교적 정확한 해가 구해진다고 할수 있다. 그러나 선형 계획법은 해의 존재 여부에 따라 해가 구해지는 경우와 해가 없는 경우로 나누어지며 그 중간 상태에 대해서는 정보를 얻을 수가 없다. 본 알고리즘에서는 부하차단량을 최소화 하기 위해서 그 중간 값도 해가 구해지는 알고리즘을 개발하였다.

$$\text{Min } |dP_{\text{line}}| + k dC_1 \quad (2)$$

$$-\text{line cap.} - dC_1 < \text{line flow} < \text{line cap.} + dC_1 \quad (3)$$

여기서 dC_1 은 선로 과부하 량으로 비용계수 k 를 비교적 큰 값으로 설정하여 제약조건이 만족하는 해가 존재 할 경우에는 발전력 재배분만으로($dC_1=0$) 해가 구해지며, 만약 해가 없는 경우에는 선로 과부하 dC_1 값이 최소 되도록하는 해가 구해질 것이다. Phase 3 에서는 이 과부하량을 최소화하는 부하 차단을 행한다.

2.3 부하차단 알고리즘

본 알고리즘은 [7]에서 개발한 방법을 사용하였다.

선로 l 의 과부하량이 dC_l 로 결정되면 이 과부하량을 해소하기 위하여 부하차단이 수행되어야 한다. 이 부하차단량을 최소화하는 부하차단 모선 및 발전력 감발 모선의 위치가 탐색법으로 찾아지며, 최소 부하 차단량인 식 (3)으로 결정된다.

$$L_o = \frac{dP_l(l \rightarrow j)}{V_l V_j (P_l \sin(\theta_{lj}) + b_{lj} \cos(\theta_{lj})) (-Z_{lj} + Z_{li} + Z_{jj} - Z_{ji})} \dots (3)$$

3. 샘플계통 적용 결과

본 연구에서 개발한 알고리즘을 그림 2 의 IEEE 24 모선 계통에 적용시켜 본 결과는 다음과 같다.

표 1. 발전비용 계수 및 출력 상한

발전모선	A	B	C	하한	상한
1	12.1	184.4	6.8	1.0	1.9
6	18.2	210.0	2.3	3.5	4.0
8	21.7	134.3	19.8	0.4	1.9
9	21.3	196.3	2.5	0.4	1.9
11	17.4	200.1	50.8	3.0	4.0
15	21.8	33.1	46.8	1.5	3.0
17	57.6	161.3	5.8	1.5	2.5
19	42.2	76.0	44.1	1.3	3.5
24	38.1	189.2	3.9	1.5	3.0

PHASE 1 의 결과 표 2 과 같은 출력을 얻었고 이때의 총 발전비용은 3898.537 이었다. 이 발전력과 부하를 초기치로 하여 전력조류계산을 한 결과 모든 선로는 용량

한계를 만족하였다.

선로 3 이 사고시 1 번 선로가 과부하(용량 0.9 : 선로조류 0.32405 → 1.07671)가 되었다. 이 경우 PHASE 2 가 작동하고 이때 발전력의 재 배분은 표 2 와 같았으며 dC_1 은 0 가 되었다. 이것은 선로 과부하를 발전력의 재 배분으로 해소할수 있음을 뜻한다. 그러나 이때의 발전 비용은 3901.7026 으로 약 0.08 %의 증가를 가져 왔다.

선로 12 가 사고인 경우를 요약하면 다음과 같다. 이 사고로 선로 13 번이 과부하(용량 1.1 : 선로조류 -0.48046 → -1.19672)가 되었으며 PHASE 2 가 작동하여 표 2 와 같은 재배분 결과를 얻었다. 그러나 이 경우에는 dC_1 값이 0.065 로 나왔으며 이 결과는 발전력 재 배분으로는 선로 과부하를 해소시킬수 없다는 것을 의미한다. 이 발전력 재배분 결과로 구한 13 번 선로의 조류는 -1.1891 로 약간의 사고 직후보다는 약간의 감소가 되었으나 완전한 과부하 해소가 불가능 하였다. 이때의 발전 비용은 3927.114 로 약 0.73 % (선로 3 사고보다 9 배)나 증가하였으나 과부하를 해소할 수가 없는 경우이다. 이 과부하를 해소하기 위하여 PHASE 3 이 작동하였으며 이 과정을 간략히 설명하면 다음과 같다.

표 2 선로사고후의 발전력 재배분

발전모선	초기출력	3 번 사고	12 번 사고
1	1.18257	1.18257	1.18257
6	3.5	3.5	3.72487
8	1.67129	1.67129	1.67129
9	0.83659	0.83659	1.9
11	3.0	3.0	3.0
15	1.788279	1.95519	1.5
17	2.5	2.33309	1.5
19	1.5	1.5	1.5
24	1.5	1.5	1.5

부하차단 알고리즘에서 감발 발전기의 순서가 17, 19, 11, 8, 9 의 순서로 탐색되며 이 순서 및 감발가능 용량에 따라서 감발 즉 부하 차단이 수행된다. 그러나 17, 19, 11 의 발전기는 이미 하한으로 발전을 하고 있으므로 8 번 발전기에 대하여 감발이 수행 되어 최적 감발량 0.18919 이 결정되며 12 번 모선의 부하가 0.18919 만큼 부하차단이 수행된다. 이 결과에 의한 13 번 모선의 전력 조류는 -1.09477 로 과부하가 해소됨을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서 얻은 결론을 간략히 정리하면 다음과 같다.

- 1) 사고후의 발전력 최적 배분을 선형계획법으로 처리하여 계산속도를 높였다.
- 2) 목적함수에 선로 과부하의 값을 반영하여 어떤 경우에도 수렴이 되도록 하였다.
- 3) dC_1 의 계수를 크게 놓으므로써 선로 과부하가 최소화되도록 조정 가능하다.
- 4) 이미 개발 완료된 부하차단 알고리즘을 도입하여 부하 차단량을 최소화 하였다.
- 5) 본 알고리즘을 평시 운전뿐 아니라 선로 사고시에도 운용 가능토록 하였다.

5. 참고 문헌

1. Happ, H.H, "Optimal power dispatch- a comprehensive surveys", IEEE Trans. 1977, PAS-96, pp841-854
2. Steinberg, M.J, "The theory of incremental rates", Electrical Engineering, Mar. 1934
3. George, E.E, "Intrasystem transmissin losses", AIEE Trans. 1943, 62, pp153-158
4. Sun, D.I, et, "Optimal power flow by newton approach", IEEE Tras. 1984, PAS-103 pp. 2864-2880
5. K. Mohamaed-Nor, "Efficient economic dispatch algorithm for thermal unit commitment", IEE. Pr.-C, Vol. 138, No. 3., May, 1991
6. A.R. Fahmideh-Vojdani et, "Economic Dispatch with Generation Constraints", IEEE AC, Vol. AC-25, No. 2, Apr. 1980, pp. 213-217
7. Y.S. Baek, J.Y. Lee, "Load shedding algorithm based on heuristic search", 1991년도 하계학술대회 논문집 pp366-369