

경험적 법칙을 사용한 부하 차단에 관한 연구

백 영식 권 영한 정 태호
 경북대학교 전기과 한국전기연구소 한전기술연구원

Load shedding algorithm based on heuristic search

Young-Sik Baek Young-Han Kwon Tae-Ho Jung
 Kungpook Univ. KERI KEPCO Research Center

ABSTRACT

Load shedding algorithm has been developed using heuristic search and D.C flow method. The line flow error with a D.C method was improved in this paper. Minimization of load shedding was obtained with heuristic search method. Although analytical method have been mixed with expert algorithm the C language fitted well for this purpose.

1. 서 론

전력 계통의 사고 발생시 나타나는 과부하를 해소하기 위하여, 발전력 재배분에 의한 새로운 운용 상태가 결정되며, 이 방법으로도 계통의 정상적인 운용이 불가능 할 경우 부하 차단이 행해진다. 부하차단은 수용가에게 미치는 영향이 지대하므로 신중하게 또한 최소한도로 수행되어야 한다. 그러나 부하차단이 수행되는 과정은 계통 운용자의 순간적인 판단에 의해 수행되고 있으므로 개선의 여지가 많은 분야이다.

이럼에도 불구하고 이 분야의 연구가 미진한 것은 부하차단이 극부적으로 행하여 지는 것이 효과적이라는 것과, 부하차단의 우선 순위 및 부하차단량 등 부하차단시 고려해야 할 많은 문제점 때문에, 문제의 수식화 및 알고리즘화가 난해하기 때문이다. 그러나 최근 개발되어 응용되고 있는 전문가 시스템은 이런 문제점의 해결에 적합하다. 본 논문은 전문가 시스템을 사용하였으며, 특히 수치계산 기능을 필요로 하는 전력 계통에 적합한 C 언어를 사용한 부하차단 전문가 시스템을 개발하였다.

2. 직류전력 조류법

본 연구에서 개발된 부하차단 시스템은 C 언어로 계

발된 전문가 시스템을 이용하였으며, 여기에 계통의 전력 흐름을 알수 있는 직류 전력 조류를 함께 사용하여, 경험적 법칙과 수치계산 기능을 동시에 이용하는 효율적인 부하 차단 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 사용된 중요 부분에 대해 설명하면 다음과 같다.

2.1 '전력 조류 분배 이론 (Flow distribution)

과거에 연구되어진 부하 차단은 모두 전력조류 분배 이론을 사용하였다. 이 이론은 임의의 모선의 부하를 차단 할 경우 이 차단 부하가 이 모선에 유입되고 있는 선로들에 분배되기 때문에, 과부하된 선로를 적정 용량이 내로 끌어 내리기 위하여는 이 값 이상의 차단을 행하여야 한다는 것을 의미 한다. 한예로「1」 선로 9 및 선로 2 에 4.9MW 및 5.6 MW 의 과부하량에 대한 부하 차단량이 모선 4 와 모선 6 에서 각각 17MW 및 10MW 이다. 이것은 적정 부하차단량에 대한 개선의 여지가 있음을 뜻한다. 이것은 계통 선로의 연결 및 발전력 감소 위치에 따른 고려를 해주지 않았기 때문이다. 본 연구에서는 계통의 직류 전력조류 법을 사용하여 계통의 연결성을 정확히 반영하여 부하차단량을 최소화하였다.

$IL_k = AF_k \times IL_l / AF_l$, $k=1, \dots, m$ (한 모선에 유입되는 m 선로)

IL_k : 선로 k 의 조류 감소 분

IL_l : 선로 l 의 과부하전력 AF_l ; 선로 l 의 전력 조류 (최대의 과부하 factor 사용)

2.2 직류 전력 조류법

$$p = A \theta$$

- 1) 최적 배열 (optimal ordering) 사용
- 2) 스퍼시티 기법 사용
- 3) 삼각 인수화법 사용

* 직류전력 조류법은 교류 전력조류와 비교하여 선로 조류가 10% 이내의 오차가 있으나, 이 오차는 부하 차단 목적에는 허용 할수 있는 값이며 안전률(95%)의 사용도 한 방법이 된다. 본 연구에서는 선로조류 값의 계산에 교류 전력 흐름의 식을 사용하여 그 정도를 개선하였다. 또한 본 연구에서 사용된 D.C 조류법은 최적 배열을 사용하였으며 계통 스펙터티 특성 및 삼각 인수화법을 사용하여 적은 기억량 및 계산시간으로도 가능하였다 (실시간 이용도 가능).

2.3 부하차단량 결정 알고리즘

선로 과부하 해소를 위한 발전기 및 부하 차단량 계산 과부하 선로를 k (i → j), 이 선로의 최대 용량을 U(k) 라고 할때 선로 조류 I_{ij} 는

$$I(k) = (\theta_i - \theta_j) / X(k)$$

이며, 이 값을 U(k) 로 낮추기 위해 다음 식을 만족하는 새로운 θ_i 및 θ_j 를 구해야 한다.

$$U(k) = (\theta_i - \theta_j) / X(k)$$

d 모선의 부하를 dp 만큼 차단하고 g 모선의 발전력을 dp 만큼 감소하여 조절하였다면 그 값은

$$dp = (I(k) - U(k)) * X(k) / (B_{id} - B_{ig} - B_{jd} + B_{jg})$$

로 구 할수 있다.

여기서 B_{id} 는 행렬 A 의 역행렬 B 의 i 행 j 열에 해당되는 값이다.

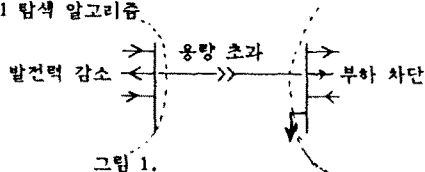
위와 같은 방법을 사용하였을 경우 직류 전력 조류법으로 계산한 새로운 선로 조류는 정확히 U(k) 값으로 감소 되나, 실제로 계산한 값(교류 전력조류 계산 값)과는 상당한 오차가 발생 된다. 이것을 보정하기 위하여 다음 식을 사용하였다.

$$dp = (I(k) - U(k)) * X(k) / ((B_{id} - B_{ig} - B_{jd} + B_{jg}) * AC)$$

$$\text{단, } AC = -V(i) * V(j) * (g_k \sin(\theta_i - \theta_j) + b_k \cos(\theta_i - \theta_j))$$

3. 부하차단 전문가 시스템

3.1 탐색 알고리즘



부하 탐색

- 1) 과부하 방향과 같은 방향에 있는 부하 탐색 (길이 설정 가능)
- 2) 과부하 방향과 같은 조류 흐름에 따른 탐색
- 3) 주어진 탐색 깊이에 따른 나비 탐색

발전기 탐색

- 1) 과부하 방향과 반대 방향에 있는 발전기 탐색
- 2) 과부하 방향과 반대 방향의 조류 흐름에 따른 탐색
- 3) 주어진 탐색 깊이에 따른 나비 탐색

3.2 부하 차단

- 1) 감도에 따른 부하 차단 모션 선택

$$\begin{bmatrix} p+ dp \\ -dg \end{bmatrix} = A \theta$$

dg : 탐색에 의해 선택된 발전기에 대한 발전력 감소

dp : 모든 선택 모션에 대한 미소 부하차단 량

로부터 과부하 선로의 선로 조류를 계산하고 그 크기에 따라 모션 차단 순서 배열

- 2) 미리 입력된 모션 중요도 순서 고려
- 3) 미리 입력된, 한 모션에서의 부하 차단 가능 % 고려

3.3 발전력 감소

- 1) 감도에 따른 발전 감소 모션의 선택

$$\begin{bmatrix} p+ dp \\ -dg \end{bmatrix} = A \theta$$

dp: 가장 영향이 많은 모션 부하의 미소 차단량

dg: 탐색에 의해 선택된 각 발전 모션에서의 미소 전력 감소량

로부터 과부하 선로의 선로조류를 계산하고 그 크기에 따라 발전기의 감소 모션 순위 결정

- 2) 부하차단량의 최소화가 목적이므로 발전력의 경제성의 고려는 안함.

- 3) 발전 전력의 상하한 고려
- 4) 순간 발전 감소 용량 고려 가능

3.4 과부하 선로가 여러개 일 경우

- 1) 과부하 선로가 직렬로 중첩된 경우(탐색에 의해 과부하 해소 순위 결정)

말단 선로로부터 해소(중첩 정리 적용)

예)

- 2) 같은 방향의 과부하 선로 탐색시 깊이를 고려함
탐색 시간의 단축, 연관성의 반영

4. 부하차단 시스템

본 연구에서의 부하차단 전문가시스템은 그림 2 과 같다.

선로 과부하가 발생 되면, 이의 해소를 위하여 최적 조류 계산이 구동되며, 이 방법으로 선로 과부하의 해

소가 불가능 할 경우 부하차단 전문가 시스템이 구동되며 그 과정에서 Data Base 가 이용되고, D.C. 조류계산이 이용된다. 이 D.C. 조류계산은 초기에 한번만 계산되고 그때 저장된 삼각 인수화된 테이블을 사용하므로 계산시간은 전혀 들지 않으므로 고속 계산이 가능하다. 본 알고리즘의 도입으로 부하 차단량의 최소화를 기할수 있다.

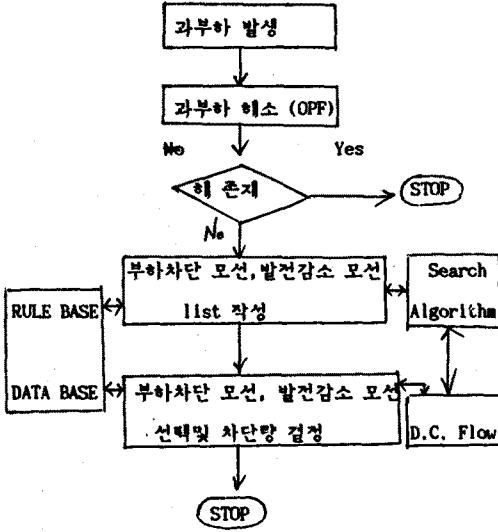


그림 2. 전체적인 흐름도

5. 전문가 시스템에 사용된 법칙

위에서 고려된 여러가지 생각들을 경험적 법칙으로 표현하면 다음과 같다.

법칙 1) 선로의 유효전력 조류가 선로 용량을 초과하는 선로가 존재한다면, 그 계통은 과부하 상태에 있다.

법칙 2) 존재하지 않는다면 부하차단 알고리즘을 멈추어라.

법칙 3) 과부하 상태에 있다면, 말단의 과부하 선로를 선택하라.

법칙 4) 과부하 선로가 선택되었다면, 그 선로의 과부하 해소를 가능하게 하는 부하 및 발전기를 탐색하여 부하차단 모션 리스트 및 발전감소 모션 리스트를 구성하라.

법칙 5) 모션 리스트가 처음 구성되었다면, 모션의 중요도 순위를 반영하여 리스트를 재배열하고 각 모션에서의 차단 %를 결정하라.

법칙 6) 선택된 발전모션 리스트의 용량이 한계치에 미달 되면, 가용 용량에 대해 부하 차단을 하라.

법칙 7) 선택된 발전모션 리스트의 용량이 한계치에 달한 경우, 다음 발전 감소 모션을 선택하라.

법칙 8) 선택된 부하차단 모션의 차단 용량이 한계치에 달한 경우, 다음 부하차단 모션을 선택하라.

법칙 9) 모든 부하차단 모션의 차단 용량이 한계치에 달한 경우, 각 모션에서의 차단 용량 %를 올려라.

법칙 10) 모든 리스트 상의 발전모션 용량이 한계치에 달한 경우, 각 발전모션의 발전 감소 용량을 재 조정하라.

6. 사례 연구

그림 3 의 계통에 본 시스템을 적용한 결과를 요약하면 다음과 같다. 이 계통의 발전능력 부하의 초기치는 표 1과 같고, 그 순서는 최적배열 후의 순서이다.

선로 4의 용량을 0.33 p.u 라고 하였을때 초기 전력 조류가 0.38257 이기 때문에 부하 차단이 행해진다. 탐색에 의해 찾아진 발전기와 부하 모션은 각각 15, 14 이다. '차단 전력 0.19657 에 의하여 계산된 선로 조류는 0.32863 으로 만족스러운 결과가 얻어 졌다.

다음 예로써 선로 21 의 용량을 1.65 라고 주었을 경우 초기 조류 -1.73623 이 부하 차단에 의해 -1.64313 으로 임을 확인 하였다. 이때 탐색된 발전 모션은 11 이고, 부하모션은 13,20,12,14,18 이며 주어진 차단량 조건에 따라 같은 방법을 적용 할수 있다.

ps[1]=	0.50000	pl[1]=	-1.00000
ps[2]=	0.00000	pl[2]=	-0.22400
ps[3]=	0.00000	pl[3]=	-1.44800
ps[4]=	0.00000	pl[4]=	0.00000
ps[12]=	0.00000	pl[12]=	-1.36800
ps[13]=	0.00000	pl[13]=	-1.08800
ps[5]=	0.00000	pl[5]=	0.00000
ps[17]=	1.92000	pl[17]=	-0.86400
ps[14]=	0.00000	pl[14]=	-0.59200
ps[6]=	4.00000	pl[6]=	0.00000
ps[15]=	1.92000	pl[15]=	-0.77600
ps[7]=	0.00000	pl[7]=	-1.55200
ps[8]=	0.50000	pl[8]=	-0.80000
ps[9]=	0.50000	pl[9]=	-1.73600
ps[18]=	0.00000	pl[18]=	-1.44000
ps[10]=	0.00000	pl[10]=	0.00000
ps[19]=	2.83300	pl[19]=	-2.12000
ps[20]=	0.00000	pl[20]=	-1.56000
ps[16]=	0.00000	pl[16]=	-0.56800
ps[23]=	0.00000	pl[23]=	0.00000
ps[22]=	0.00000	pl[22]=	0.00000
ps[21]=	0.00000	pl[21]=	0.00000
ps[11]=	6.60000	pl[11]=	0.00000
ps[24]=	2.00000	pl[24]=	-1.86400

표 1. 초기 발전력 및 부하

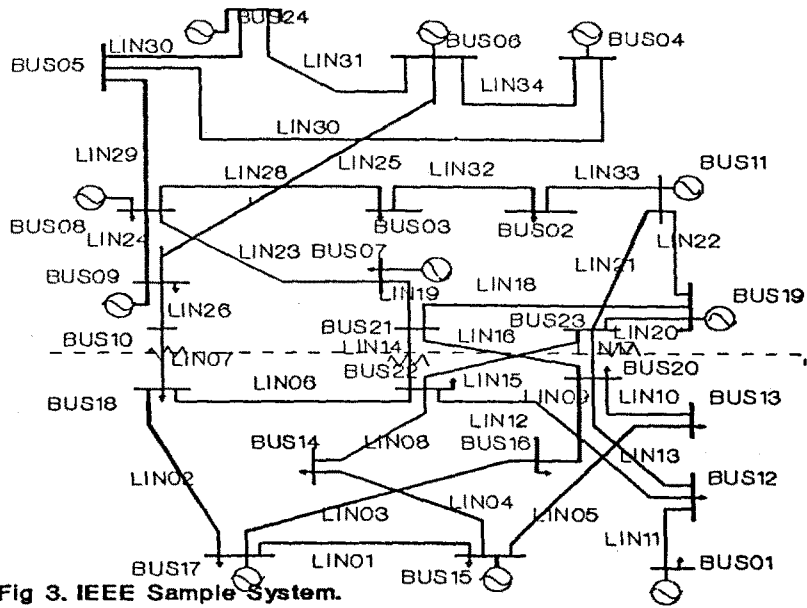


Fig 3. IEEE Sample System.

7. 결론

본 논문에서는 부하차단량을 최소화하는 부하차단 전문가 시스템을 개발하였다. 전력 계통의 부하 차단과 같은 문제는 전문가의 판단에만 전적으로 의지 할수 없는 문제로 계통 상태의 정확한 계산이 필요한 분야이다. 그러나 계통부하의 차단 순서, 차단량등 복잡한 문제로 알고리즘에 의한 해결도 문제점이 있고, 차단 시간의 중요성때문에 빠른 계산도 요구되는 분야이다. 본 연구에서는 이 문제에 적합한 C 언어를 사용한 전문가 시스템을 사용하여 문제를 해결하였다.

참 고 문 헌

1. S.S.Shah,S.M.Shahidehpour,"A Heuristic Approach to Load Shedding Scheme", IEEE Trans. PAS. Vol.4, No.4, pp.1421-1429, Oct. 1989
2. M.M.Adibi,D.K.Thorne,"Local load Scheduling",IEEE Trans. PAS. Vol.3, No.3, pp.1220-1229, Aug. 1988.
3. Chan,S.M. et al., "A Generation Re-Allocation and Load Scheduling Algorithm", IEEE Trans. PAS. Vol.PAS-98, No.1, Jan/Feb 1979, pp 26-34

4. Medicherla,T.K.P. et al., " Generation Rescheduling and Load Shedding to Alleviate Line Overloads - Analysis", IEEE Tran. Vol. PAS-98, No.6, NOV/DEC 1979, pp 1876-1884.
- 5.Subramanian, D.K., " Optimum Load Scheduling through Programming Techniques", IEEE Trans. Vol. PAS-90, No. 1, JAN/FEB 1971, pp.89-85.