

最適負荷遮断量決定과 發電力再分配에 관한硏究

A Study on Optimal Load Shedding and Generation Rescheduling

宋 吉 永
權 世 赫
李 喜 永*

高麗大學校
高麗大學校
高麗大學校

1. 서론

전력계통에 있어서 중요한 급전 기능의 한 가지는 발전력과 부하의 평형을 유지하도록 하는 것이다.

대전원 할락이나 송전선로 단선 등의 수급평형을 잃게 하는 극한 사고가 발생했을 경우 계통이 더이상 악화 되는 것을 방지하기 위해 부하의 강제제한 및 계통 분리 등의 비상제어방식에 의해 계통의 안정운용을 도모하고 있다.

주어진 비상조건 하에서 부하제한을 최소화 시키는 문제는 계통운용과 설비의 여력까지 제약조건이 수반되는 동적 문제로 해석할 수 있으나 부하차단의 최적화당으로 공급중단비용을 최소로 하는 수급조정 에 의한 안정평형상태(a steady-state stable equilibrium)를 구하는 정적최적화(static optimization) 문제의 영역으로 전환시키므로써, 비상시에 있어서, 계통 안전상태의 선행결과와 급전계획에 유용한 정보를 제시하고저 하는 연구활동이

계속되고 있다. (2)(4)(5)

본 논문에서는 계통 동요가 발생한 후에 이루어지는 새로운 정상상태 해석이 가능하도록 주파를 변수로 참가 시킨 조류계산법(4)을 이용하여 대전원 할락사고시 각 모선의 전압과 계통주파수를 안정범위로 유지하도록 하는 데 필요한 최소의 부하차단량을 결정하는 알고리즘을 제시하고 모선 유효전력과 의상각에 있어서 중분간의 선형성으로 대로 선로과부하를 고려, 선로양단모선의 상차각을 허용범위로 유지하도록 하는 제약조건을 추가하여 차단량을 결정할수 있도록 개선 하였다.

2. 문제의 정식화

부하차단 문제는 규정주파수로 부러의 주파수 편차와 각 모선에서의 전압편차 그리고 선로양단모선의 허용상차각으로 부러의 편차를 평가함수로 나타낸다.

$$\begin{aligned} \text{Min } F = & \alpha \left(\frac{1 - f(\Delta P)}{B_F} \right)^2 + \beta \sum_i \frac{P_{Li}}{\sum_j P_j} \left(\frac{1 - V_i(\Delta P)}{B_V} \right)^2 \\ & + \gamma \sum_{i=1}^k \left\{ (\theta_k(\Delta P) - \theta_m(\Delta P))^2 - C_{km}^2 \right\} \\ & \begin{matrix} k = SB(i) \\ m = EB(i) \end{matrix} \quad (1) \\ & \text{if } C_{km} < \theta_{km} \text{ 3항 포함} \end{aligned}$$

f: 계통 주파수

P_{Li}, V_i : i 모선의 유효전력부하와 전압

ΔP_i : i 모선 부하 제한량

α, β, γ : Weiting

C_{km} : k와 모선사이 최대허용상차각

θ_k, θ_m : k, m 모선의 위상각

$SB(i), EB(i)$: i 선로의 시단과 종단모선

B_F, B_V : 주파수와 전압의 허용 편차

평가함수 F는 피제어 변수 f, V, θ 에 관한 비선형함수이나 부하차단시의 주파수, 전압, 위상각 감도 S_f, S_v, S_θ 를 이용하여 차단량 ΔP 에 의해 선형화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} f &= f_0 + \sum_j S_{Fj} \cdot \Delta P_j \\ V_i &= V_{0i} + \sum_j S_{Vij} \cdot \Delta P_j \\ \theta_i &= \theta_{0i} + \sum_j S_{\theta ij} \cdot \Delta P_j \end{aligned} \quad (2)$$

감도 계수 S_f, S_v, S_θ 는 주파수를 변수로 첨가시킨 조류 계산법의 Jacobimatrix로 부터 구한다.

i 모선의 전력 방정식

$$\begin{aligned} f_{pi} &= f_{pi}(V, \theta, \Delta f) \\ f_{ai} &= f_{ai}(V, \theta, \Delta f) \end{aligned} \quad (3)$$

차단효과의 크기에 비례하여 각 모선의 부하를 배분 차단하는데 제약조건

$$0 \leq \Delta P_j \leq P_{Lj} \quad (4)$$

을 만족 시키면서 평가함수 F 를 최소화 시키기 위한 Gradient법을 이용한다.

3. 배분 차단법

F 가 최소로 되는 Gradient는

$$g_j = \frac{\partial F}{\partial \Delta P_j}$$

$$\begin{aligned} g_j &= -2a \left(\Delta f - \sum_j S_{Fj} \Delta P_j \right) S_{Fj} \\ &\quad - 2b \sum_i P_{Li} \left(\Delta V_i - \sum_j S_{Vij} \Delta P_j \right) S_{Vij} \\ &\quad + \gamma \sum_{i=1}^k \left[2(S_{\theta k} - S_{\theta m}) \left(\sum_{j=1}^m S_{\theta kj} \Delta P_j + \theta_{k0} \right) \right. \\ &\quad \left. + 2(S_{\theta m} - S_{\theta k}) \left(\sum_{j=1}^k S_{\theta mj} \Delta P_j + \theta_{m0} \right) \right] \end{aligned}$$

$$\text{여기서 } a = \alpha / B_F^2 \quad b = \beta / B_V^2 \sum_j P_{Lj} \quad (5)$$

여기서 g_i 의 역방향 $-g_i$ 는 F를 최소화 하며 그때의 스텝 α 는 $F(\alpha g)$ 로 부터 결정 된다.

$$\begin{aligned} F(\Delta P) &= F(-\alpha g_i) \\ &= A\alpha^2 + 2B\alpha + C \quad (6) \end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned} A &= a \left(\sum_j S_{Fj} g_j \right)^2 + b \sum_i P_{Li} \left(\sum_j S_{Vij} g_j \right)^2 \\ &\quad + \gamma \sum_{i=1}^k \left[\left(\sum_{j=1}^m S_{\theta kj} g_j - \sum_{j=1}^k S_{\theta mj} g_j \right)^2 \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= a \Delta f \sum_j S_{Fj} g_j + b \sum_i P_{Li} \Delta V_i \left(\sum_j S_{Vij} g_j \right) \\ &\quad + \gamma \sum_{i=1}^k \left[(\theta_{k0} - \theta_{m0}) \left(\sum_{j=1}^m S_{\theta kj} g_j \right) \right. \\ &\quad \left. + (\theta_{m0} - \theta_{k0}) \left(\sum_{j=1}^k S_{\theta mj} g_j \right) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= a \Delta f^2 + b \sum_i P_{Li} \Delta V_i^2 \\ &\quad + \gamma \sum_{i=1}^k \left\{ (\theta_{k0} - \theta_{m0})^2 - C_{km}^2 \right\} \end{aligned}$$

여기서 $\theta_{k0}, \theta_{m0} : k, m$ 모선의 초기 위상각

ABC 계수중 3項의 $\sum_{i=1}^n$ 에서
 $S_B(i)=k, E_B(i)=m$

F를 최소화시키는 스텝은

$$\alpha = -B/A \quad (7)$$

j 모선에서 차단량 ΔP_j

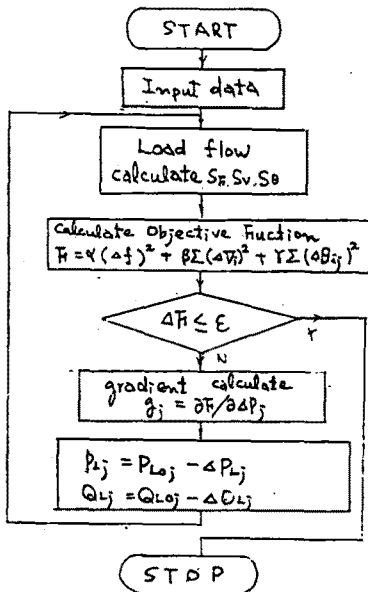
$$\Delta P_j = (B/A) \cdot g_j \quad (8)$$

j 모선의 차단후 전력 P_{Lj}, Q_{Lj}

$$P_{Lj} = P_{0Lj} - \Delta P_j \quad (9)$$

$$Q_{Lj} = Q_{0Lj} - \Delta P_j (Q_{0j}/P_{0j})$$

여기서 식(6)으로 부터 식(9)까지의 과정을 반복 계산하므로 F는 최소화되고 f와 V_i 는 회복된다.

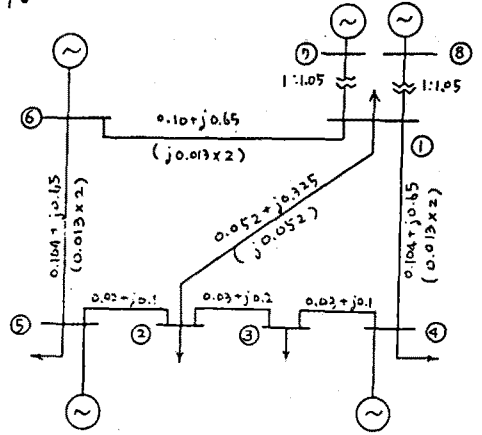


(그림1) 개략적인 계산 흐름도

4. 적용례

그림2와 같은 8모선 계통과 IEEE 14모선계

에 본 연구의 알고리즘을 적용시켜 검토하였다.



(그림2) 모델계통

5. 적용 결과

(표1) 선로용량 제약 고려 유무의 비교*

	BUS	BEFORE	AFTER
SHED.	1	-0.07764	-0.09615
	2	-0.12136	-0.10700
	3	-0.12897	-0.12482
GEN.	4	1.22500	1.22500
	5	0.20564	0.20555
	6	0.61411	0.61387
	7	0.81976	0.81942
LINE	8	0.81976	0.81942
		9.47214	8.28110

* 모선4에서 35% 발전력 할락시

6. 결론

본 연구에서 개발한 알고리즘을 모델계통에 적용시켜 여러 케이스를 검토한 결과

- (1) 부하차단량을 결정하는데 있어서 부하 모션에서의 전압변동과 송전선로의 과부하 경감을 동시에 고려하여 최대차단효과를 나타내는 차단지점과 그 지점의 차단량을 결정할 수 있었다.
- (2) 종래의 조류법에서는 계통 사고시 전력의 불평형분이 slack generator에 의해 공급된 반면 본 알고리즘에서는 발전기의 Governor 특성을 토대로 모든 발전기들이 수급불평형분을 배분해서 흡수하도록 하므로서 극한 사고시 Generation Rescheduling까지 고려할 수 있게 되었다.
- (3) 본 연구의 알고리즘은 손시제어의 범위를 벗어나는 postfault steady state에 서 검토되었으며 비상시의 신뢰도 및 안정도 연구 그리고 운용 계획, 급전 결정 등에도 유용할 것으로 사료된다.

and Solution Method",

IEEE, PAS-94, No.3, May/June 1975.

5. 木下博明 ; "Optimal Load Shedding as Emergency Control of Power System" 일본 전력중앙 연구소 보고, 183009, 1983.
6. 長尾他 ; "발전기 특성과 부하특성을 고려한 조류 계산법", 일본 전력중앙 연구소 보고, No.180008, 1980.

참 고 문 헌

1. 송길영 ; "전력계통의 해석및 운용" 동일출판사, PP233-342.
2. "Optimum Load Shedding Policy for Power System", IEEE PAS-87, No.3, March 1968.
3. M.H. Kent 외 "Dynamic Modeling of Load in stability studies" "IEEE Trans on Power Apparatus and System", Vol PAS-88, PP750-760, May 1969.
4. M. Okamura ; "A New Power Flow Model