

발전력 재배분을 이용하여 과도안정도를 향상하기 위한 Newton's Approach 응용

(Application of Newton's Approach for Transient Stability Improvement by Using Generation Rescheduling)

김규호*

(Kyu-Ho Kim)

Abstract

This paper presents a scheme to improve transient stability using Newton's Approach for generation rescheduling. For a given contingency, the energy margin and sensitivities are computed. The bigger energy margin sensitivity of generator is, the more the generation of the generator effects to the transient stability. According to energy margin sensitivity, the control variables of generation rescheduling are selected. The fuel cost function is used as objective function to reallocate power generation. The results are compared to the results of time simulation to show its the effectiveness.

Key Words : Transient Stability, Newton'S Approach, Energy Margin, Energy Margin Sensitivity, PSSE

1. 서 론

전력계통의 동적안전도(Dynamic Security) 해석이란 정상운전 상태에서 외란이 발생하여 과도상태가 발생하였을 때, 계통이 안전하게 지속적으로 유지되는가를 평가하는 것이다. 외란에 의해 잠정적인 계통 불안정이 감지되면, 예방제어에 의해 계통 안정도를 향상시키기 위한 조치가 취해져야 하며 전력계통의

온라인 운전에 매우 중요한 역할을 할 수 있다. 따라서 동적안전도(Dynamic Security) 해석을 위해서 과도에너지함수법과 예방제어를 위한 발전력 재배분을 이용한 방법들이 제안되었으며, 이러한 동적안정도를 고려한 재배분은 고장제거시 발전기들의 유기적인 관계를 향상시켜 계통을 더욱 안정되게 유지할 수 있다 [1-2].

A. Fouad와 T. Jianzhong은 과도에너지 함수를 이용하여 초기 운전상태와 상정사고에 대하여 안정도 제약 최적의 발전력 재배분과 임계 선로조류(critical line flows) 방안을 제안하였다[3]. 발전력의 변화에 관한 에너지 마진의 감도 방정식을 과도안정도 제약으로 사용하였다. J. Momoh와 C. Effiong는 예방제어 계획을 하기 위해서 발전력 재배분을 하는 휴리스틱 방법을 개발하였다[4]. 발전력 즉 발전력 변동요소

* 주저자 : 국립한경대학교 전기공학과 부교수
* Main author : Associate Professor, Dept of
Electrical Engineering, Hankyong National
Univiversity
Tel : 031-670-5324, Fax : 031-670-5329
E-mail : kyuho@hknu.ac.kr
접수일자 : 2012년 11월 7일
1차심사 : 2012년 11월 10일, 1차심사 : 2012년 12월 17일
심사완료 : 2012년 12월 20일

(GSDF)에 대한 시스템의 과도에너지 마진을 이용하여 동적인 안전도를 유지하고 지정된 운전 제약범위 내에서 연계선로의 조류를 유지하도록 하였다. D. Fang의 5인은 가혹한 상정사고에 대하여 안정도 제약을 고려하여 기율기와 더불어 다중상정사고에 관한 정식화를 하여 발전력 재배분 방안을 제시하였다 [5]. 또한 문헌 [6-7]에서는 과도에너지 마진 감도를 이용하여 발전력 재배분의 priority를 결정한 후, 발전력 임의변화에 의하여 과도안정도를 향상시켰으며 최적화기법 응용의 필요성을 제안하였다.

본 논문에서는 발전력 재배분을 위하여 최적화기법의 하나인 Newton's Approach를 응용하여 과도안정도를 향상시키고 기존의 time simulation에 의해 과도안정도를 확인하는 방안을 제안하였다. 최적화기법에 의한 발전력 재배분의 제어변수로서 에너지마진 감도를 이용하여 에너지마진에 크게 영향을 주는 발전기만을 사용하는 방안을 제안하여 계통의 과도안정도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

2. 발전력 재배분

2.1 발전력 재배분의 정식화

발전력 재배분을 위하여 발전연료비용을 2차함수로 나타내어 최소화한다[8].

$$F = \sum_{i=1}^{NG} (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \quad (2.1)$$

여기서 i 는 각각 발전기모선의 인덱스, NG 는 발전기모선의 수이고, P_{Gi} 는 발전기의 유효전력출력이고, a_i, b_i, c_i 는 각 발전기의 연료계수이다.

- 제어변수

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \quad (2.2)$$

- 상태변수

$$V_j^{\min} \leq V_j \leq V_j^{\max} \quad (2.3)$$

- 등식 제약조건

$$\sum_{i=1}^{NG} P_{Gi} - P_D - P_{Loss} = 0 \quad (2.4)$$

$$P_{Gi} - P_{Li} - \sum_{j=1}^N V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) = 0$$

$$Q_{Gi} - Q_{Li} - \sum_{j=1}^N V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) = 0$$

2.2 뉴턴법에 의한 발전력 재배분

발전력 재배분 문제에 뉴턴법을 도입하기 위하여 최적해를 위한 제어대상 변수를 y , 식 (2.1)의 발전연료비용인 목적함수를 $F(y)$, 등식 및 부등식 제약식을 $\alpha_i(y) - \beta_i = 0$ 라고 하였을 때, Lagrangian 함수는 식 (2.5)와 같이 나타낼 수 있다[8].

$$L(y, \lambda) = F(y) - \lambda^T [\alpha_i(y) - \beta_i] \quad (2.5)$$

최적해의 필요조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial L}{\partial y}(y, \lambda) = \frac{\partial F}{\partial y}(y) - \left[\frac{\partial \alpha_i}{\partial y}(y) \right]^T \lambda = h_1(y, \lambda) = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda}(y, \lambda) = -[\alpha_i(y) - \beta_i] = h_2(y) = 0 \quad (2.6)$$

식 (2.6)을 Taylor 급수전개하고 선형화 하면 식 (2.7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$h_1(y, \lambda) = h_1(y_0, \lambda_0) + [h_1'(y_0, \lambda_0)]^T \begin{bmatrix} \Delta y \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = 0$$

$$h_2(y) = h_2(y_0) + h_2'(y_0) \Delta y = 0 \quad (2.7)$$

단, $y = y_0 + \Delta y$

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta \lambda$$

식 (2.7)을 정렬하여 식 (2.8)과 같이 행렬 방정식으로 표현할 수 있으며,

발전력 재배분을 이용하여 과도안정도를 향상하기 위한 Newton's Approach 응용

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial y} & \frac{\partial h_1}{\partial \lambda} \\ \frac{\partial h_2}{\partial y} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta y \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -h_1 \\ -h_2 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

또는 식 (2.6)을 이용하여 식 (2.9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial^2 L}{\partial y^2} & \frac{\partial^2 L}{\partial y \partial \lambda} \\ \frac{\partial^2 L}{\partial \lambda \partial y} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta y \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial L}{\partial y} \\ -\frac{\partial L}{\partial \lambda} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Lagrangian 함수를 최소로 하는 수정 벡터 $[\Delta y \ \Delta \lambda]^T$ 를 축차적으로 구할 수 있으며, 우변 Gradient 벡터는 식 (2.10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$g(y, \lambda) = \nabla L(y, \lambda) = \begin{bmatrix} \nabla L(y) \\ \nabla L(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial L}{\partial y} \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

3. 과도에너지 마진 및 감도

3.1 과도에너지(Transient Energy)

시간모의법인 단단법을 이용하여 고장제거순간의 각속도와 위상각을 구하고, 고장전 평형점에서부터 고장제거순간까지를 적분함으로써 얻을 수 있다. 단단법을 이용하여 고장제거순간의 각속도($\tilde{\omega}^c$)와 위상각(θ^c)을 구하고 식 (3.1)을 이용하여 과도에너지를 구한다. 이하의 식들은 모두 COA(Center Of Angle)를 기준으로 한 식이다[9-10].

$$\nu_d = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n M_i \tilde{\omega}_i^2 - \sum_{i=1}^n P_i (\theta_i^c - \theta_i^{s1}) \quad (3.1)$$

$$- \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n [C_{ij} (\cos \theta_{ij}^c - \cos \theta_{ij}^{s1}) + D_{ij} \frac{\theta_i^c + \theta_j^c - \theta_i^{s1} - \theta_j^{s1}}{\theta_{ij}^c - \theta_{ij}^{s1}} (\sin \theta_{ij}^c - \sin \theta_{ij}^{s1})]$$

$\tilde{\omega}^c$: 고장제거 순간의 각속도

θ^c : 고장제거 순간의 위상각

θ^{s1} : 고장 전의 안정 평형점

$$P_i = P_{mi} - E_i^2 G_{ii}$$

$$C_{ij} = E_i E_j B_{ij}$$

$$D_{ij} = E_i E_j G_{ij}$$

M_i : i 발전기의 관성모멘트

E_i : i 발전기의 내부유기전압 크기

P_{mi} : i 발전기의 기계적입력

G_{ij}, B_{ij} : 어드미턴스 행렬에서 실수부와 허수부

N : 발전기 대수

$i, j : 1, 2, 3 \dots N$

3.2 임계에너지

PEBS(Potential Energy Boundary Surface)법을 사용하여 임계에너지를 구하는 방법중 본 논문에서 사용한 방법은 다음과 같다[10,11].

step 1 : 전력편차방정식 $F(\theta)$ 를 최소화하여 고장제거후의 안정평형점 θ^{s2} 를 구한다. 이 때 계통 파라미터는 고장제거후의 값이다.

$$F(\theta) = \sum_{i=1}^n f_i^2(\theta) \quad (3.2)$$

$$f_i(\theta) = P_i - P_{ei} - \frac{M_i}{M_T} P_{COA}$$

여기서,

$$P_{ei} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N [C_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) + D_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)]$$

$$M_T = \sum_{i=1}^n M_i, \quad P_{COA} = \sum_{i=1}^n P_i - P_{ei}$$

step 2 : 고장동안의 계통파라미터를 이용하여 위상각 궤적 θ 를 구한다.

step 3 : 위상각 θ 의 궤적에 따라 $f^T(\theta) \cdot (\theta - \theta^{s2})$ 를 구하여 zero가 될 때까지 step 2 와 step 3

을 반복한다.

step 4 : $f^T(\theta) \cdot (\theta - \theta^{s2})$ 가 zero가 되는 순간의 혹은 그 직전의 값 즉, 시간간격이 클수록 영점 주변의 오차가 커지므로 안전한 영점 직전의 값 θ 를 이용하여 위치에너지 $\nu_{cr}(\theta)$ 를 구한다. 위치에너지 함수는 식 (3.3)과 같다.

$$\begin{aligned} \nu_{cr} = & -\sum_{i=1}^n P_i(\theta_i - \theta_i^{s2}) \quad (3.3) \\ & -\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n [C_{ij}(\cos\theta_{ij} - \cos\theta_{ij}^{s2}) \\ & + D_{ij} \frac{\theta_i + \theta_j - \theta_i^{s2} - \theta_j^{s2}}{\theta_{ij} - \theta_{ij}^{s2}} (\sin\theta_{ij} - \sin\theta_{ij}^{s2})] \end{aligned}$$

θ^{s2} : 고장제거 후의 안정 평형점

이때의 위치에너지가 임계에너지 값으로 사용된다. $f^T(\theta) \cdot (\theta - \theta^{s2})$ 가 zero가 되는 점은 첫 번째 위치에너지가 최대가 되는 점이고 운동에너지가 최소가 되는 점이다. 이 때의 점이 PEBS 상에 위치하게 된다. 고장전이나 고장제거후의 안정평형점은 DFP (Davidon Fletcher Powell)법을 사용하여 최소화하였다.

3.3 에너지마진(Energy Margin)

에너지마진은 식 (3.4)와 같이 과도에너지와 임계에너지의 차이로 구해진다. 여기서 ν_{cl} 은 고장제거순간의 고장에너지를 나타내며 ν_{cr} 은 고장제거 후 계통이 가지고 있는 임계에너지다. 이때 $\nu_{cr} > \nu_{cl}$ ($\Delta\nu > 0$)이면 계통은 안정하게 되고, $\nu_{cr} < \nu_{cl}$ ($\Delta\nu < 0$)이면 불안정하게 된다. 각각의 에너지를 식 (3.4)와 같이 따로 구하여도 되고, 다음과 같은 식 (3.5)를 이용하여 에너지마진을 구한다[10].

$$\Delta\nu = \nu_{cr} - \nu_{cl} \quad (3.4)$$

또는,

$$\begin{aligned} \Delta\nu = & \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n M_i \widetilde{\omega_i^{d2}} - \sum_{i=1}^n P_i(\theta_i^u - \theta_i^{cl}) \quad (3.5) \\ & - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n [C_{ij}(\cos\theta_{ij}^u - \cos\theta_{ij}^{cl}) \\ & + D_{ij} \frac{\theta_i^u + \theta_j^u - \theta_i^{cl} - \theta_j^{cl}}{\theta_{ij}^u - \theta_{ij}^{cl}} (\sin\theta_{ij}^u - \sin\theta_{ij}^{cl})] \end{aligned}$$

3.4 에너지마진의 감도

발전력 변화 ΔP_{mk} 에 대한 에너지마진 $\Delta\nu$ 의 감도의 표현은 다음과 같이 나타낼 수 있다[10-11].

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\Delta\nu)}{\partial P_{mk}} = & -M_{eq} M_{eq}^{cl} \frac{\partial \widetilde{\omega_{eq}^{cl}}}{\partial P_{mk}} \\ & - \sum_{i=1}^n [P_i (\frac{\partial \theta_i^u}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_i^{cl}}{\partial P_{mk}}) + (\theta_i^u - \theta_i^{cl}) \frac{\partial P_{mi}}{\partial P_{mk}} \\ & + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n [(\frac{\theta_i^u + \theta_j^u - \theta_i^{cl} - \theta_j^{cl}}{\theta_{ij}^u - \theta_{ij}^{cl}} D_{ij} \cos\theta_{ij}^u \\ & + C_{ij} \sin\theta_{ij}^{cl}) (\frac{\partial \theta_i^u}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_j^u}{\partial P_{mk}}) \\ & - (\frac{\theta_i^u + \theta_j^u - \theta_i^{cl} - \theta_j^{cl}}{\theta_{ij}^u - \theta_{ij}^{cl}} D_{ij} \cos\theta_{ij}^u \\ & + C_{ij} \sin\theta_{ij}^{cl}) (\frac{\partial \theta_i^{cl}}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_j^{cl}}{\partial P_{mk}})] \\ & + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n D_{ij} (\sin\theta_{ij}^u - \sin\theta_{ij}^{cl}) \\ & (\frac{-2(\theta_j^u - \theta_j^{cl})}{(\theta_{ij}^u - \theta_{ij}^{cl})^2} (\frac{\partial \theta_i^u}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_i^{cl}}{\partial P_{mk}}) \\ & + \frac{-2(\theta_i^u - \theta_i^{cl})}{(\theta_{ij}^u - \theta_{ij}^{cl})^2} (\frac{\partial \theta_j^u}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_j^{cl}}{\partial P_{mk}})] \quad (3.6) \end{aligned}$$

3.5 발전력 재배분의 절차

과도안정도를 향상시키기 위하여 Newton's Approach를 이용한 발전력 재배분의 절차는 다음과 같다.

- 절차 1. 주어진 조건에 대한 과도에너지 마진 및 과도에너지 마진 감도를 식 (3.4)와 식 (3.6)을 이용하여 계산
- 절차 2. 과도에너지 마진 감도 크기에 의하여 발전력 재배분 Priority 결정
- 절차 3. 과도에너지 마진 감도가 양수의 값을 갖는 발전기만 발전력 재배분의 제어변수로 선정
- 절차 4. 목적함수 식 (2.1)과 제약조건 식 (2.2) - 식 (2.4)를 식 (2.5)에 대입하여 Newton's Approach에 의해 발전력 재배분 실시
- 절차 5. 식 (3.4)를 이용하여 과도에너지 마진 계산 및 과도안정도 판별
- 절차 6. 과도안정도가 안정이면 종료하고, 불안정이면 발전력 재배분에 제외된 발전기 중에서 초기 발전량을 1%씩 감소(슬랙 발전기 제외)후 절차 4로 간다.

4. 사례연구

본 논문에서는 발전력 재배분을 위하여 Newton's Approach를 응용하여 과도안정도를 향상시키는 방안을 제안하였으며, 그림 4.1의 4기 6모선 계통에 적용하여 효용성을 입증하였다.

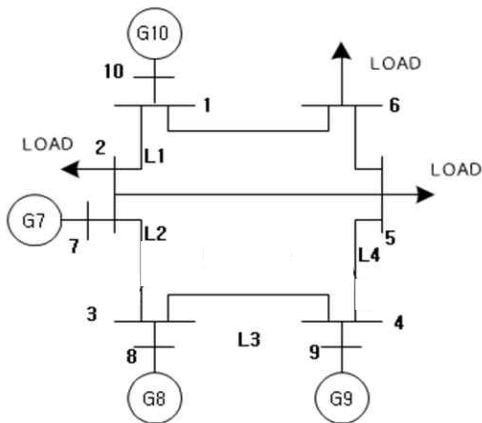


그림 4.1 4기 6모선 계통
Fig. 4.1 4-machine and 6-bus System

표 4.1은 참고문헌 [6]의 결과로서 에너지마진이 가

장 작은 Line *3 - 4 Fault에 대하여 사고제거 시간을 0.41sec.로 하여 식 (3.6)을 이용하여 발전력 변화에 대한 에너지마진의 감도를 계산한 것이다[6-7]. 에너지마진의 감도가 가장 큰 발전기의 발전력을 임의로 +5 변화시키고 에너지마진의 감도가 가장 작은 발전기의 발전력을 임의로 -5 변화시켜 고장제거시간(ct) 0.41sec.와 0.411sec.에서 에너지마진이 각각 0.0553에서 0.5581로 -0.0390에서 0.4767로 증가되었으며, 계통상태는 안정이 되었음을 알 수 있다. 그러나 이때의 발전력 변화는 에너지마진 감도를 근거로 임의의 양을 변화시킨 것으로 최적화에 의해서 결정된 것이 아니다.

따라서 본 논문에서는 Newton's Approach에 의하여 발전력을 재배분을 하였으며, 이를 위하여 표 4.2에 발전력 재배분을 위한 발전기 연료비용 계수를 나타내었다. 표 4.3은 Newton's Approach에 의해 발전력 재배분을 나타낸 것이다. 해의 정확성을 입증하기 위해 전력계통 상용프로그램인 PSSE와 비교하였다. PSSE의 결과를 기준으로 오차는 크게 나지 않으므로 본 논문에서 제시한 Newton's Approach를 이용하여 다양한 전력계통 문제에 목적함수와 제약조건을 변형함으로써 다른 목적에 사용할 수 있음을 알 수 있다.

표 4.1 에너지마진 감도와 임의의 발전력 재배분 후의 에너지마진(Line *3 - 4 Fault)
Table 4.1 Sensitivity of transient energy margin according to generation variation (Line *3 - 4 Fault)

Machine no.	Sensitivity	Generation Rescheduling (dPG_m) [MW]	Transient Energy Margin after Rescheduling (before Rescheduling)	
			ct : 0.41sec.	ct : 0.411sec.
7	0.0259	0		
8	0.0326	+5	0.5581	0.4767
9	-0.8658	-5	(0.0553)	(-0.0390)
10	0.0176	0		

표 4.2 발전기 연료비용 계수
Table 4.2 Fuel cost coefficient of generators

Machine no.	Fuel Cost Coefficients		
	a	b	c
7	5.0	40.0	120.0
8	5.0	40.0	120.0
9	6.0	50.0	130.0
10	4.0	30.0	110.0

표 4.3 발전력 재배분의 비교
Table 4.3 Comparison of generation rescheduling

Machine no.	Initial Generation [MW]	Generation Rescheduling[MW]	
		Newton's Approach	PSSE
7	63.2	33.52	30.82
8	10.0	29.37	30.63
9	30.0	30.0	30.0
10	20.0	35.29	32.83
Fuel Cost[\$/h]		468,234.1	467,096.2

표 4.4는 표 4.3의 Newton's Approach에 의한 발전력 재배분 후의 결과를 이용하여 Line *3 - 4 Fault에 대한 에너지마진을 계산한 결과를 나타내었다. 발전력을 변화시켜 고장제거시간(ct) 0.41sec.에서 에너지마진은 0.0553에서 0.1269로 증가하였다. 또한 고장제거시간(ct) 0.411sec.에서는 발전력 재배분 전에 에너지마진이 음의 값 -0.0390이 되어 계통상태가 불안정하였던 것이, 발전력 재배분에 의하여 에너지마진이 0.0347이 되어 계통상태가 안정이 되었다는 것을 알 수 있다.

그림 4.2는 발전력 재배분 전의 고장제거시간이 각각 0.41sec.와 0.411sec.에서의 time simulation을 이용하여 계통상태를 나타낸 것이다. 에너지마진의 결과와 마찬가지로 계통상태는 0.41sec.에서는 안정, 0.411sec.에서는 불안정이 된다는 것을 확인할 수 있었다. 그림 4.3은 발전력 재배분 후의 time simulation을 이용하여 계통상태를 나타낸 것으로서 에너지마진의 결과 처럼 0.41sec.와 0.411sec.에서 모두 안정이 됨을 알 수 있다.

표 4.4 발전력 재배분 전후의 에너지마진 (Line *3-4 Fault)
Table 4.4 Energy margin before and after generation rescheduling(Line *3-4 Fault)

	Transient Energy Margin	
	ct : 0.41sec.	ct : 0.411sec.
Before Generation Rescheduling	0.0553	-0.0390
After Generation Rescheduling	0.1269	0.0347

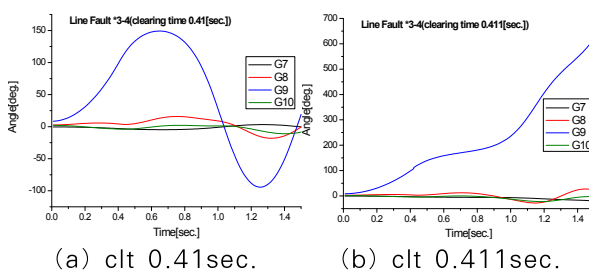


그림 4.2 발전력 재배분 전 과도안정도, 선로 *3-4 사고
Fig. 4.2 Transient stability before generation rescheduling, line *3-4 fault

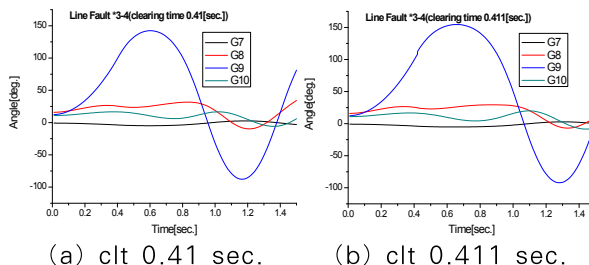


그림 4.3 발전력 재배분 후 과도안정도, 선로 *3-4 사고
Fig. 4.3 Transient stability after generation rescheduling, line *3-4 fault

표 4.5는 Line *2 - 3 Fault에 대한 에너지마진 감도와 발전력 재배분의 결과를 나타내었으며, 표 4.6는 발전력 재배분 후의 에너지마진을 나타내었다. 또한 그림 4.2는 발전력 재배분 전의 고장제거시간이 각각 0.41sec.와 0.411sec.에서의 time simulation을 이용하여 계통상태를 나타낸 것이다. 에너지마진의 결과와 마찬가지로 계통상태는 0.41sec.에서는 안정, 0.411sec.에서는 불안정이 된다는 것을 확인할 수 있었다. 그림 4.3은 발전력 재배분 후의 time simulation

발전력 재배분을 이용하여 과도안정도를 향상하기 위한 Newton's Approach 응용

을 이용하여 계통상태를 나타낸 것으로서 에너지마진의 결과처럼 0.41sec.와 0.411sec.에서 모두 안정이 됨을 알 수 있다.

표 4.5 발전력 재배분(Fault bus 2, clt 0.541s, Line cleared *2-3)
Table 4.5 Generation rescheduling(Fault bus 2, clt 0.541s, Line cleared *2-3)

Unit No.	Sensitivity	Initial Gen. [MW]	Generation at Fuel Cost Minimization[MW]
7	0.0092	63.2	50.51
8	-0.4007	10.0	10.0
9	-0.0041	30.0	30.0
10	0.0173	20.0	33.85
Fuel Cost[\$/h]			269.76

표 4.6 발전력 재배분 전후의 에너지마진 (Line *2-3 Fault)
Table 4.6 Energy margin before and after generation rescheduling(Line *2-3 Fault)

	Transient Energy Margin	
	clt : 0.54sec.	clt : 0.541sec.
Before Generation Rescheduling	0.0436	-0.0218
After Generation Rescheduling	0.1316	0.0611

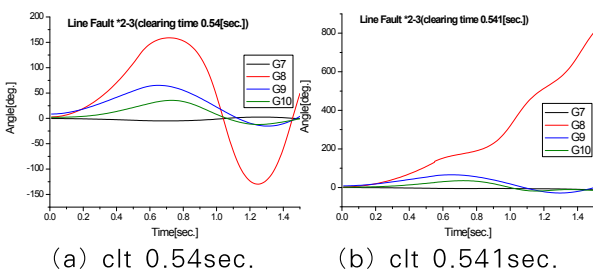


그림 4.4 발전력 재배분 전 과도안정도, 선로 *2-3 사고
Fig. 4.4 Transient stability before generation rescheduling, line *2-3 fault

따라서 본 논문에서는 최적화기법에 의한 발전력 재배분의 제어변수로서 에너지마진 감도를 이용하여 에너지마진에 크게 영향을 주는 발전기만을 사용하는

방안을 제안하여 계통의 과도안정도를 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

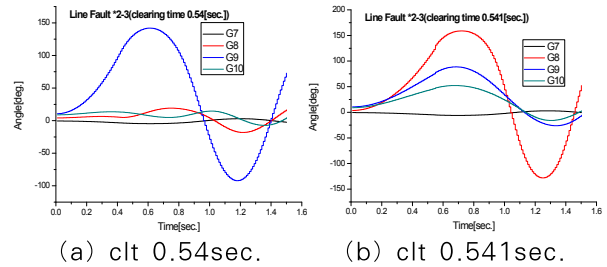


그림 4.5 발전력 재배분 후 과도안정도, 선로 *2-3 사고
Fig. 4.5 Transient stability after generation rescheduling, line *2-3 fault

5. 결론

본 논문에서는 발전력 재배분을 위하여 Newton's Approach를 응용하여 과도안정도를 향상시키는 방안을 제안하였다.

에너지마진의 감도에 의하여 발전력 재배분을 위한 후보 발전기를 선정하여 Newton's Approach의 제어 변수로 사용하여 과도안정도를 향상시킬 수 있었다. 즉, 에너지마진에 크게 영향을 주는 발전기만을 사용하는 방안을 제안하여 계통의 과도안정도를 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

향후 Newton's Approach를 이용하여 탄소배출비용과 같은 대기오염비용을 포함하는 환경비용 문제를 고려할 필요가 있다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (2010T100100637) 주관으로 수행된 과제임.

References

- [1] D. H. Kuo and A. Bose, "A generation rescheduling method to increase the dynamic security of power systems," IEEE Trans. Power Syst., Vol. 10, pp.68-76, Feb. 1995.
- [2] Power Industry Technology Development Project, Final Report, "Generation Rescheduling based on OPF for Transient Stability Enhancement and CO_x Emission

Reduction”, Knowledge and Economy Division, 2012. 5.

[3] A. A. Fouad and T. Jianzhong, “Stability constrained optimal rescheduling of generation,” IEEE Trans. Power Syst., Vol. 8, pp.105-112, Feb. 1993.

[4] J. A. Momoh and C. B. Effiong, “Generation rescheduling for dynamic security enhancement for mult-area power system,” in Proc. IEEE Int.Conf. Computational Cybernetics and Simulation: Systems, Man and Cybernetics, Vol. 4, Dec. 1997, pp.3437 - 3442.

[5] D. Z. Fang, Y. Xiaodong, S. Jungqiang, Y. Shiqiang, and Z. Yao, “An optimal generation rescheduling approach for transient stability enhancement,” IEEE Trans. Power Syst., Vol. 22, No. 1, pp.386 - 394, February 2007.

[6] Kyu-Ho Kim, Soo-Nam Kim, Sang-Bong Rhee, Kyung-Bin Song, “Generation Rescheduling Priority using Transient Energy Margin Sensitivity”, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol.60, No.6, pp.1086~1090, 2011.

[7] Kyu-Ho Kim, Sang-Bong Rhee, Kyung-Bin Song, Kab-Ju Hwang, K. Y. Lee, “Application of Newton’s Approach for Generation Rescheduling”, The Korean Institute of Electrical Engineers, Spring Meeting, 2012. 4, pp.412-413.

[8] Kab-Ju Hwang, “Optimal Power Flow Study by The Newton’s Method”, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol.39, No.3, pp.223~231, 1090.

[9] M. A. Pai, Energy Function Analysis for Power System Stability, Kluwer Academic Publishers, 1989.

[10] A. A. Fouad and V. Vittal, Power System Transient Stability Analysis Using The Transient Energy Function Methods, Prentice Hall, 1992, p.138.

[11] V. Vittal, A. A. Fouad, and P. Kundur, “Determination of trans. stability constrained plant generation limits,” in Proc. IFAC Symp. Automation for Power Plants, Bangalore, Karnataka, India, Dec. 15 - 17, 1986, pp.A-8-1 - A-8-5.

◇ 저자소개 ◇



김규호 (金圭浩)
 1966년 3월 8일생. 1988년 2월 한양대 전기공학과 졸업. 1990년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년 3월 안산공과대학 전기과 부교수. 2008년 9월 ~ 현재 국립한경대학교 전기공학과 부교수.