

# 과도에너지 마진의 감도를 이용한 발전력 재배분의 Priority

논 문
60-6-2

## Generation Rescheduling Priority using Transient Energy Margin Sensitivity

김 규 호\* · 김 수 남\*\* · 이 상 봉\*\*\* · 송 경 빈†  
(Kyu-Ho Kim · Soo-Nam Kim · Sang-Bong Rhee · Kyung-Bin Song)

**Abstract** – This paper presents a method to evaluate generation rescheduling priority using transient energy margin sensitivity for power system operation. A change in any of the functional parameters obviously causes a change in the energy margin. Especially the energy margin sensitivity is evaluated for change with respect to generation. For a given contingency, the energy margin is computed and the respective sensitivities are also computed. It is possible to rank the sensitivities and thereby determine the generators which will affect the energy margin most and hence affect the stability (instability) of the system. The sign of the sensitivity indicates the direction of change in generation for a given change in energy margin.

**Key Words** : Transient stability, Energy margin, Sensitivity, Generation rescheduling priority

### 1. 서 론

과도안정도 해석은 전력계통의 갑작스런 외란 발생에 따른 동기발전기의 동기상태 유지여부를 판별하는 것으로서, 경쟁체제의 전력시장 환경에서 계통운영자는 송전선로를 통해 전력을 전달하기 위해서 선로의 정격용량에 가깝게 운전하기도 하고 상정사고를 고려한 과도안정도를 만족시키면서 계통을 운전해야 한다[1-3]. 만약 각 발전기들의 발전력을 안정도 지수를 고려해서 재배분하면 고장제거 후의 과급을 억제하는 것이 가능하다.

V. Vittal의 3인은 과도안정도 해석을 위하여 에너지마진의 감도를 제시하였다[4]. 감도는 발전력변화, 부하의 변화 및 전력망의 변화 등에 의하여 계산된다. 특히, controlling UEP가 변하지 않는다고 가정하여, 에너지마진  $\Delta V$ 는 다양한 변수의 함수로 표현하였다. A. A. Fouad와 Tong Jianzhong은 과도에너지 함수를 이용하여 초기 운전상태와 상정사고에 대하여 안정도 제약 최적의 발전력 재배분과 임계 선로조류(critical line flows) 방안을 제안하였다[5]. 발전력의 변화에 관한 에너지 마진의 감도 방정식은 과도안정도 제약으로 사용되었다. Ding-Heh Kuo와 Anjan Bose는 동적 안전도 급전에 대한 방법을 소개하였다[6]. James A. Momoh과 Chris B. Effiong는 예방제어 계획을 하기 위해서 발전력 재배분을 하는 휴리스틱 방법이 개발 되었다[7].

Tony B. Nguyen과 M. A. Pai은 제도 감도에 근거하고 모델 복잡성에 관하여 아무런 제한이 없는 새로운 접근 방식을 제안하였다[8]. 각각의 상정사고에 대한 제도 감도는 시스템의 동적 상태에 따라 계산된다. 각각의 사고에 대하여 취약한 기기들이 식별되고 발전량은 취약 정도가 가장 작은 발전기로 전환된다. 그러나 발전력 재배분에 있어서 제적감도를 이용하므로 정확성에 오차가 있다. K. N. Shubhanga와 A. M. Kulkarni는 발전력 변화에 관한 에너지마진 (Energy Margin : EM)의 감도를 유도하였다[9]. 특히, 제어 불안정한 평형점을 계산할 필요 없는 EM 계산 방법이 제안되었다. D. Z. Fang의 5인은 가혹한 상정사고에 대하여 안정도 제약을 고려하여 기울기와 더불어 다중상정사고에 관한 정식화 시간이 많이 걸릴 수 있는 발전력 재배분 방안을 제시하였다[10].

본 연구에서는 과도에너지 마진의 감도를 사용하여 발전력 재배분의 priority를 결정하는 방안을 제안하였다. 임계에너지, 과도에너지 및 과도에너지 마진을 계산하여 과도에너지 마진이 작은 순서로 나열하였다. 이것을 기준으로 과도안정도를 고려한 전력계통 운영을 하는데 있어 중요한 자료가 될 수 있다. 또한, 발전력 재배분을 위한 과도에너지 마진의 감도를 계산하였다. 과도에너지 마진의 감도에 의하여 발전력을 증가시키고 감소시키는 발전기를 선정하였다. 이러한 발전력 재배분에 의하여 과도에너지 마진을 증가시켰으며 과도안정도를 향상시킬 수 있었다.

† 교신저자, 종신회원 : 숭실대 전기공학부 부교수 · 공박  
E-mail : kbsong@ssu.ac.kr

\* 시니어회원 : 한경대 전기공학부 조교수 · 공박

\*\* 정 회 원 : 현대중공업 선임연구원 · 공박

\*\*\* 정 회 원 : (주) ATT 연구소장 · 공박

접수일자 : 2011년 5월 1일

최종완료 : 2011년 5월 16일

### 2. 과도에너지 함수(Transient Energy Function)

다기의 전력계통 안정도 해석은 시간모의법과 Lyapunov 에너지함수를 이용한 직접법(TEF)이 있는데, 시간모의법은 안정 판정에 있어서 기준을 제시하지만, 그 양적인 값을 표현할 수 없다는 단점이 있다. TEF법은 과도에너지 마진

( $V_{em}$ )의 계산을 기본으로 하고 있다. 이러한 과도에너지 마진을 계산하기 위해서는 두 개의 에너지 값을 계산해야 하는데, 그 첫째가 고장제거순간의 위치에너지( $V_{PE}$ )와 운동에너지( $V_{KE}$ )의 합으로 계산되는 과도에너지( $V_{TR}$ )이고 두 번째로 계산되어야 하는 것이 고장제거후의 계통 고유 임계에너지( $V_{CR}$ )이다[1].

Lyapunov 직접법에서 임계에너지를 구하는 방법으로는 PEBS(Potential Energy Boundary Surface)법은 고장중의 위상각과 각속도의 고장제거에 따라 위치에너지를 첫 번째 최대값이 임계에너지라는 가정을 이용한 방법으로 실제 대기 계통에 적용이 가능하고 다소 빠른 방법으로 알려져 있다.

### 2.1 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( $\theta^c$ )을 구하고 식 (1)을 이용하여 과도에너지를 구한다. 이하의 식들은 모두 COA(Center Of Angle)을 기준으로 한 식이다[1,2].

$$V_d = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n M_i \tilde{\omega}_i^2 - \sum_{i=1}^n P_i (\theta_i^c - \theta_i^{s1}) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n [C_{ij} (\cos \theta_{ij}^c - \cos \theta_{ij}^{s1}) + D_{ij} \frac{\theta_i^c + \theta_j^c - \theta_i^{s1} - \theta_j^{s1}}{\theta_{ij}^c - \theta_{ij}^{s1}} (\sin \theta_{ij}^c - \sin \theta_{ij}^{s1})] \quad (1)$$

- $\tilde{\omega}^c$  : 고장제거 순간의 각속도
- $\theta^c$  : 고장제거 순간의 위상각
- $\theta^{s1}$  : 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 내부유기전압크기
- $P_{mi}$  :  $i$  발전기의 기계적입력
- $G_{ij}, B_{ij}$  : 어드미턴스행렬에서  $i, j$  요소의 실수부와 허수부
- $N$  : 발전기 대수
- $i, j$  : 1, 2, 3  $\dots$   $N$

### 2.2 임계에너지

PEBS(Potential Energy Boundary Surface)법을 사용하여 임계에너지를 구하는 방법중 본 논문에서 사용한 방법은 다음과 같다.

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

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

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

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 위상각제거  $\theta$ 를 구한다.

**step 3:** 위상각  $\theta$ 의 제거에 따라  $f^T(\theta) \cdot (\theta - \theta^{s2})$ 를 구하여 zero가 될 때까지 step2 와 step3을 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 영점직전의 값  $\theta$ 를 이용하여 위치에너지  $V_{cr}(\theta)$ 를 구한다. 위치에너지 함수는 식 (3)과 같다.

$$V_{cr} = - \sum_{i=1}^n P_i (\theta_i - \theta_i^{s2}) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n [C_{ij} (\cos \theta_{ij} - \cos \theta_{ij}^{s2}) + D_{ij} \frac{\theta_i + \theta_j - \theta_i^{s2} - \theta_j^{s2}}{\theta_{ij} - \theta_{ij}^{s2}} (\sin \theta_{ij} - \sin \theta_{ij}^{s2})] \quad (3)$$

$\theta^{s2}$  : 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. 이때의 점이 PEBS 상에 위치하게 된다. 고장전이나 고장제거후의 안정평형점은 DFP(Davidon Fletcher Powell)법을 사용하여 최소화하였다.

### 2.3 에너지마진(Energy Margin)

에너지마진은 식 (4)와 같이 과도에너지와 임계에너지의 차이로 구해진다. 여기서,  $V_{ei}$ 은 고장제거순간의 고장에너지를 나타내며  $V_{cr}$ 은 고장제거 후 계통이 가지고 있는 임계에너지이다. 이때,  $V_{cr} > V_d (\Delta V > 0)$ 이면 계통은 안정하게 되고,  $V_{cr} < V_d (\Delta V < 0)$ 이면 불안정하게 된다. 각각의 에너지를 따로 구하여도 되고, 다음과 같은 식 (5)를 이용하여 에너지마진을 구한다[2].

$$V_{em} = V_{cr} - V_d \quad (4)$$

그림 1에서는 고장제거시간에 따른 에너지마진을 보여주고 있는데 고장제거 시간이 늦어질수록 발생한 과도에너지가 증가함을 알 수 있다. 따라서 고장제거후의 계통상태가 일정하다면 에너지마진은 점점 작아져 음의 값을 갖고 마진이 zero가 되는 시간이 임계제거시간임을 알 수 있다.

$$\Delta V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n M_i \omega_i^{cl2} - \sum_{i=1}^n P_i (\theta_i^u - \theta_i^{cl}) \quad (5)$$

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

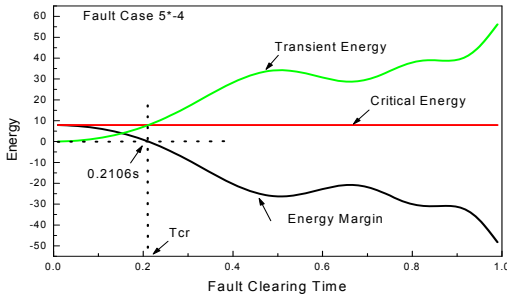


그림 1 고장제거 시간과 에너지마진  
Fig. 1 Fault Clearing time and Energy Margin

### 3. 과도에너지 마진 감도

과도에너지 마진  $\Delta V$ 는 다양한 변수의 함수로 다음과 같이 표현할 수 있다[4].

$$\Delta V = \Delta V(P_{mi}, \theta_{cr}, \theta_{cl}, E_i, G_{ij}, B_{ij}) \quad (6)$$

여기서,  $\theta_{cr}$ 은 회전자 임계각,  $\theta_{cl}$ 은 고장제거시 회전자 각이다. 어떤 파라미터  $\alpha_k$ 에 변화에서 에너지 마진의 감도는  $\alpha_k$ 에 대한  $\Delta V$ 의 편미분 함수로 유도할 수 있으며, chain rule을 이용하여 유도할 수 있으며, 각각의 상정사고에 대하여 에너지마진과 감도를 계산할 수 있다. 어떤 시스템의 파라미터에 대한 에너지마진의 변화는 다음과 같다.

$$\Delta(\Delta V) = \sum_{k=1}^n \frac{\partial \Delta V}{\partial \alpha_k} \Delta \alpha_k \quad (7)$$

발전력 변화  $\Delta P_{mk}$ 에 대한 에너지마진의 감도의 표현은 다음과 같이 나타낼 수 있다[7].

$$\frac{\partial(\Delta V)}{\partial P_{mk}} = -M_{eq} M_{eq}^{cl} \frac{\partial \omega_{eq}^{cl}}{\partial P_{mk}}$$

$$- \sum_{i=1}^n [P_i (\frac{\partial \theta_i^u}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_i^{cl}}{\partial P_{mk}}) + (\theta_i^u - \theta_i^{cl}) \frac{\partial P_{mi}}{\partial P_{mk}}]$$

$$+ \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n [(\frac{\theta_i^u + \theta_j^u - \theta_i^{cl} - \theta_j^{cl}}{\theta_{ij}^u - \theta_{ij}^{cl}} D_{ij} \cos \theta_{ij}^u + C_{ij} \sin \theta_{ij}^{cl}) (\frac{\partial \theta_i^u}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_j^u}{\partial P_{mk}}) - (\frac{\theta_i^u + \theta_j^u - \theta_i^{cl} - \theta_j^{cl}}{\theta_{ij}^u - \theta_{ij}^{cl}} D_{ij} \cos \theta_{ij}^u$$

$$C_{ij} \sin \theta_{ij}^{cl}) (\frac{\partial \theta_i^{cl}}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_j^{cl}}{\partial P_{mk}})]$$

$$+ \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n D_{ij} (\sin \theta_{ij}^u - \sin \theta_{ij}^{cl}) (\frac{-2(\theta_j^u - \theta_j^{cl})}{(\theta_{ij}^u - \theta_{ij}^{cl})^2} (\frac{\partial \theta_i^u}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_i^{cl}}{\partial P_{mk}}) + \frac{-2(\theta_i^u - \theta_i^{cl})}{(\theta_{ij}^u - \theta_{ij}^{cl})^2} (\frac{\partial \theta_j^u}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_j^{cl}}{\partial P_{mk}}))]$$

### 4. 사례 연구

본 연구에서는 과도에너지 마진의 감도를 이용하여 발전력 재배분의 priority를 결정하는 방안을 제안하였다.

문헌 [11]에서 Runge-Kutta와 같은 시간모의법의 결과와 과도에너지 마진의 결과는 같다는 것을 확인할 수 있었으며 과도안정도를 확인하는데 있어 시간모의법 대신 에너지마진을 사용하는 것이 가능함을 알 수 있다. 표 1은 과도에너지 마진을 계산하여 크기가 작은 순서로 나열한 것이며[3], 이것을 기준으로 과도안정도를 고려한 전력계통 운영을 하는데 있어 중요한 자료가 될 수 있다.

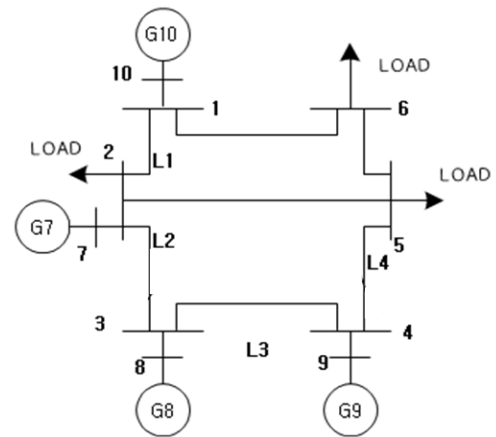


그림 2 4기 6모선 계통  
Fig. 2 4 machines and 6 buses System

발전력 재배분을 위한 과도에너지 마진 감도를 계산하기 위하여 표 1에서 과도에너지 마진이 가장 작은 Line #3 - 4 Fault에 대하여 사고제거 시간을 0.41sec.로 하여 식 (8)을 이용하여 발전력 변화에 대한 과도에너지의 감도를 계산하여 표 2에 나타내었다. 발전기 9번의 감도는 음의 값을 갖는 발전기의 발전력을 증가시키면 과도에너지 마진이 작아진다는 의미이다. 따라서 발전기 9번의 발전력을 감소시키고 감도가 양의 값을 갖는 발전기의 발전력을 증가시키면 과도에너지 마진은 향상될 것이다. 그래서 발전기 9번의 발전력을 -5 만큼 감소시키고 발전기 7번의 발전력을 +5 만큼 증가시켜서 고장제거시간(cft) 0.41sec.에서 과도에너지 마진을 계산하였더니 발전력 재배분을 하기 전의 과도에너지 마진 0.0553에서 0.5403으로 증가되었다. 또한, 고장제거시간(cft)을 0.411sec.에서 발전력 재배분을 하기 전의 과도에너지 마진은

-0.0390 이었고, 발전기 9번의 발전력을 -5 만큼 감소시키고 발전기 7번의 발전력을 +5 만큼 발전력을 재배분하여 과도 에너지 마진을 계산하였더니 여기서 0.4581로 증가되었다. 즉 발전력 재배분을 하기 전 고장제거시간 0.411sec.에서는 과도 에너지 마진이 음의 값 -0.0390으로 계통상태는 불안정이고 그림 3과 같이 시간모의법에서도 불안정하다는 것을 알 수 있다. 발전력 재배분에 의하여 과도에너지 마진이 0.4581이 되어 계통상태는 안정이 되고 그림 4와 같이 시간모의법에서도 안정이 됨을 확인할 수 있다. 그러나 본 연구에서 사용한 발전력 재배분은 감도에 의해 발전량을 변화시킨 것이므로 발전력 재배분에 대해서는 최적화를 하지 않았다. 향후 발전력 재배분에 대한 최적화를 함으로써 과도안정도를 향상시키는 최적전력조류를 할 필요가 있다.

표 1 과도에너지 마진

Table 1 Transient Energy Margin

Ranking	Fault	Critical Energy(A)	Transient Energy(B)	Transient Energy Margin(A-B)
1	Line *3 - 4 fault	1.5338	1.4784	0.0553
2	Line *4 - 5 fault	1.2930	0.8697	0.4233
3	Line *2 - 3 fault	1.8034	0.8543	0.9491
4	Line 1 - *2 fault	1.7171	0.7122	1.0049
5	Line *2 - 5 fault	2.2089	0.9487	1.2601

표 2 발전력 재배분에 대한 과도에너지 마진 감도(Line \*3 - 4 Fault)

Table 2 Sensitivity of Transient Energy Margin according to Generation Rescheduling(Line \*3 - 4 Fault)

Machine no.	Sensitivity	Generation Rescheduling ( $dPG_m$ )	Transient Energy Margin after Rescheduling (before Rescheduling)	
			clt : 0.41sec.	clt : 0.411sec.
7	0.0259	+5		
8	0.0326		0.5403	0.4581
9	-0.8658	-5	(0.0553)	(-0.0390)
10	0.0176			

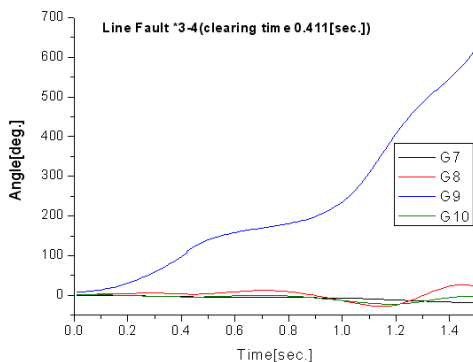


그림 3 발전력 재배분전 선로 \*3-4 사고후의 과도안정도(clt 0.411sec.)

Fig. 3 Transient Stability after Line \*3-4 Fault before Generation Rescheduling(clt 0.411sec.)

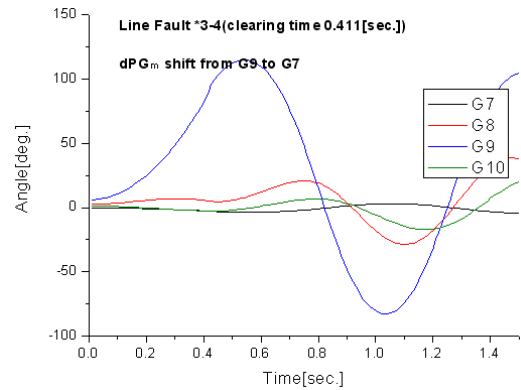


그림 4 발전력 재배분후 선로 \*3-4 사고후의 과도안정도(clt 0.411sec.)

Fig. 4 Transient Stability after Line \*3-4 Fault after Generation Rescheduling(clt 0.411sec.)

5. 결 론

본 연구에서는 과도에너지 마진의 감도를 사용하여 발전력 재배분의 priority를 결정하는 방안을 제안하였다.

과도안정도를 확인하기 위하여 시간모의법을 이용한 위상각의 궤적에 의해 계통상태가 안정인 것과 과도에너지 마진에 의하여 계통상태가 안정임을 비교하였다. 또한, 임계에너지, 과도에너지 및 과도에너지 마진을 계산하여 과도에너지 마진이 작은 순서로 나열하였다. 이것을 기준으로 과도안정도를 고려한 전력계통 운영을 하는데 있어 중요한 자료가 될 수 있다. 발전력 재배분을 위한 과도에너지 마진의 감도를 계산하였다. 과도에너지 마진의 감도에 의하여 발전력을 증가시키고 감소시키는 발전기를 선정하였다. 이러한 발전력 재배분에 의하여 과도에너지 마진을 증가시켰으며 과도안정도를 향상시킬 수 있었다.

본 연구에서 사용한 발전력 재배분은 감도에 의해 발전량을 변화시킨 것이므로 발전력 재배분에 대해서는 최적화를 하지 않았다. 향후 발전력 재배분에 대한 최적화를 함으로써 과도안정도를 향상시키는 최적전력조류를 할 필요가 있다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

[1] M. A. Pai, Energy Function Analysis for Power System Stability, Kluwer Academic Publishers, 1989.  
 [2] A. A. Fouad and Vijay Vittal, Power System Transient Stability Analysis Using The Transient Energy Function Methods, Prentice Hall, 1992, p.138.  
 [3] 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.

- [4] V. Vittal, E.-Z. Zhou, C. Hwang, and A. A. Fouad, "Derivation of stability limits using analytical sensitivity of the transient energy margin," IEEE Trans. Power Syst., vol. 4, pp. 1363 - -1372, Oct. 1989.
- [5] A. A. Fouad and T. Jianzhong, "Stability constrained optimal rescheduling of generation," IEEE Trans. Power Syst., vol. 8, pp. 105-112, Feb. 1993.
- [6] 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.
- [7] J. A. Momoh and C. B. Fffiong, "Generation rescheduling for dynamic security enhancement for multi-area power system," in Proc. IEEE Int.Conf. Computational Cybernetics and Simulation: Systems, Man and Cybernetics, vol. 4, Dec. 1997, pp. 3437 - -3442.
- [8] T. B. Nguyen and M. A. Pai, "Dynamic security-constrained rescheduling of power systems using trajectory sensitivities," IEEE Trans. Power Syst., Vol. 18, pp. 848 - -854, May 2003.
- [9] K. N. Shubhanga와 A. M. Kulkarni, "Stability-constrained generation rescheduling using energy margin sensitivities," IEEE Trans. Power Syst., Vol. 19, No. 3, pp. 1402 - 1413, August 2004.
- [10] D. Z. Fang, Yang Xiaodong, Sun Jungqiang, Yuan Shiqiang, and Zhang Yao, "An optimal generation rescheduling approach for transient stability enhancement," IEEE Trans. Power Syst., Vol. 22, No. 1, pp. 386 - 394, February 2007.
- [11] 김규호, 김수남, 이상봉, 송경빈, "과도에너지함수를 이용한 에너지마진과 과도안정도 위험순위", 대한전기학회 전력기술부문회 전력계통 보호 및 자동화 연구회 춘계학술대회 논문집, pp.117-119, 2011년 4월



**김 수 남 (金 垂 南)**

1969년 6월 2일생. 1996년 한양대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 2003 - 현재 현대중공업 선임연구원



**이 상 봉 (李 上 奉)**

1968년 2월 22일생. 1994년 한양대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 (주) ATT 연구소장



**송 경 빈 (宋 敬 彬)**

1963년 9월 15일생. 1986년 연세대전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 텍사스 A&M전기공학과 졸업(공학박). 1996년 한전전력연구원 선임연구원. 1998년 대구효성가톨릭대학교 전임강사. 2000년 계명대학교 전임강사. 2002년 - 현재 숭실대학교 전기공학부 부교수.

**저 자 소 개**



**김 규 호 (金 圭 浩)**

1966년 3월 8일생. 1988년 한양대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996년 안산공과대학 전기과 부교수, 2009년 - 현재 국립한경대학교 전기공학과 조교수