

우리나라 전력계통의 물리적 및 운영 측면에서의 공급 여유력 평가

論 文

56-1-4

Physical and Operational Supply Margin Evaluation of KOREA Power System

權重志* · 鄭尚憲* · 史博* · 트란트룽틴* · 崔在錫† · 車濬敏** · 尹容兌***
(Jung-Ji Kwon · Sang-Heon Jeong · Bo Shi · TrungTinh Tran · Jae-Seok Choi ·
Jun-Min Cha · Yong-Tae Yoon)

Abstract - Successful operation of power system under regulated as well as deregulated electricity markets is very important. This paper presents marginal power flow evaluation of KEPCO system in view point of physical and operation mode by using Physical and Operational Margins (POM Ver.2.2), which is developed by V&R Energy System Research. This paper introduces feature and operation mode of POM Ver.2.2 and then evaluates scenarios of 6 lines contingencies of 765kV of KEPCO system at peak load time on summer in 2006 year. The case study for actual 2006 year KEPCO system shows that this POM program is applicable sufficiently to KEPCO system. Furthermore, it demonstrates that it is helpful for operator's operating the system successfully by evaluating physical and operational margins quickly for various contingencies occurred in KEPCO system. Eventually, it will assist operators to operate more reliably the KEPCO system in future.

Key Words : 전력공급 여유력, 전력계통 운영신뢰도, 상정사고해석, POM

1. 서 론

근래 전 세계적으로 자유경쟁시장체제로 전력산업이 전환함에 따라 전력공급의 신뢰도가 과거 공급자측면에서 소비자측면에서 평가되어야 하는 요청이 크게 대두되고 있다. 이는 굳이 자유시장체제를 도입하지 않는 전력산업체제를 갖춘 나라에도 영향을 미쳐서 보다 고품질 및 고품급신뢰도를 갖는 전력공급을 서비스하고자 하는 전력공급의 기본적인 의무사항에 더욱 박차를 가하도록 요청하게 되었다. 이러한 관점에서 과거에 적절한 투자비 결정을 위하여 전력계통 계획분야에 주로 사용되어왔던 전력공급신뢰도평가 및 관리문제가 전력계통의 운용시에도 활용하도록 요청을 받게 되었다[1-3].

특히, 최근 몇몇 선진국들과 전 세계적으로 발생한 정전 사고들로 말미암아 이에 대한 원인 분석들과 신뢰도 평가, 그리고 신뢰도측면에서 합리적인 운영들에 대한 연구들이 많이 진행되고 있다. 그러나 이의 평가모델 및 알고리즘 개발이 어렵고 그리고 계산시간 등의 측면에서 실시간을 요구하는 전력계통 운용시에 사용하는 것은 쉽지 않다. 그러므로 그동안 계획 분야에서 개발된 평가모델을 토대로 이를 운영 측면에 맞게 적절히 개선하는 방법과 위험도 평가측면에서 새롭게 모델을 개발하는 방법 등으로 응용프로그램들이 개발되어 판매되고 있으나, 여전히 계통운영측면에서는 아직

이렇다 할 신뢰도 평가 및 관리 프로그램이 없는 실정이다 [4,5].

최근, 국내적으로도 이에 대한 제고의 필요성을 갖고 앞서 기술한 바와 같이 보다 신뢰성 있는 계통을 운영하고 이의 평가를 실시하기 위해서 적절한 평가도구를 도입키로 하였다[3]. 우리나라의 경우에는 과거 눈부신 경제성장시에 비하면 크지는 않지만 지속적인 경제성장으로 전력의 수요가 매년 증대되고 있다. 특히, 하계 시는 부하의 급격한 증가로 인해 에너지의 절약과 함께 계통의 합리적인 운영이 더없이 필요하게 되었다. 현재는 비록 적절한 신뢰도 평가도구의 활용가능성에 대한 타당성 조사단계 및 기초 분석단계이지만 미국 V&R Energy Systems Research에서 개발한 전력 여유력을 평가할 수 있는 프로그램인 POM(Physical and Operational Margin) V2.2를 바탕으로 확률론적인 위험도지수를 추출할 수 있는 미국 EPRI의 PRA(Probabilistic Risk Assessment)를 도입하게 됨은 매우 긍정적인 일이라고 보여진다[5-11].

본 연구에서는 PRA의 핵심부분인 POM을 사용하여 1,119개의 모선과 2,205개의 송전선로들로 구성되어 있는 2006년도의 하계시의 우리나라 한전계통(KEPCO system)에 대하여 사례연구를 실시하였다. 한전계통은 통상 하계 시 과다한 에어컨 사용으로 말미암아 이때 최대부하를 나타내는 특성을 갖고 있다[16]. 또한, 지역적으로 남쪽에 위치한 발전소에서 발전한 전력이 북쪽에 위치한 수도권으로 전력이 집중되는 소위, 북상조류경향을 크게 보이는바 이에 대한 여유력 평가는 매우 중요하다[16]. 그러므로 본 연구에서는 하계시에 비수도권에서 수도권으로 들어오는 중요선로 6개의 상정사고에 대한 시나리오를 미리 설정하고 이에 대한 여유력의 평가를 실시하여 보았다. 나아가 이의 결과를 토대로 차후의 실용가능성에 대한 연구방향을 제시한다.

* 正 會 員 : 경상대학교 전기공학과
** 正 會 員 : 대전대학교 전기공학과 교수
*** 正 會 員 : 서울대학교 전기공학과 교수
† 교신저자, 正會員 : 경상대학교 전기공학과 교수
E-mail : jschoi@gnu.ac.kr
接受日字 : 2006年 11月 8日
最終完了 : 2006年 11月 23日

2. POM에 의한 허용 용량 산정 평가

2.1 POM(Physical and Operational Margins)

전력계통의 운영시에 사고 없는 정상적인 상태 및 임의의 상정사고에 대하여 전력 공급을 얼마나 더 이상 할 수 있는가 하는 여유력 평가는 매우 중요하다. POM은 다양한 상정 사고 상태에 대하여 그 계통이 전압안정도 및 선로의 열적 한계 내에서 전력공급의 여유력을 분석할 수 있는 프로그램이다. POM의 장점은 빠르고 강건한 조류 해석 및 시각적으로 결과를 표현하여 주는데 있다. POM에 내장되어 있는 그래픽화한 기능들은 운영자들로 하여금 전력계통을 보다 쉽게 이해할 수 있도록 도와주며 전반적인 계통의 분석을 할 때 유연성을 제공한다. POM v2.2는 여유력 평가를 실시함에 있어서 기본평가모드(Basic mode), 고급평가모드(Advanced mode), 자동평가모드(Automatic mode)등 3가지의 모드로 구성되어 있어 적절히 이를 이용하여 효과적으로 상정사고 해석을 수행할 수 있다. 기본 평가모드의 기능은 빠른 계산과 함께 특정한 부분, 즉 발전기 1대, 또는 특정한 선로 등에 대한 상정사고를 해석하고 이의 수행되어진 제약조건들에 대한 위반 사항을 쉽게 확인할 수 있다. 고급평가모드의 기능은 좀 더 다양한, 즉 N-2 이상 N-k 까지의 상정사고들도 확인이 가능한 장점이 있다.

본 연구에서는 기본평가모드와 고급평가모드를 이용하기로 하고 사례연구에서 N-1 상정사고는 기본평가모드에서 수행하였으며 N-2 상정사고는 고급평가모드에서 수행하였다.

2.2 POM 구성도

POM을 운영하기 위한 구성도는 그림 1과 같다. POM 프로그램을 실행하여 기본전력조류파일을 읽은 후 선택사항에서 KEPCO 계통에 맞게 수정하여 적용한 후 다시 한번 수정된 전력조류파일을 읽음으로써 분석이 가능하게 된다. 최종적으로 사용자가 원하는 모드에서 여러 분석들을 할 수 있다.

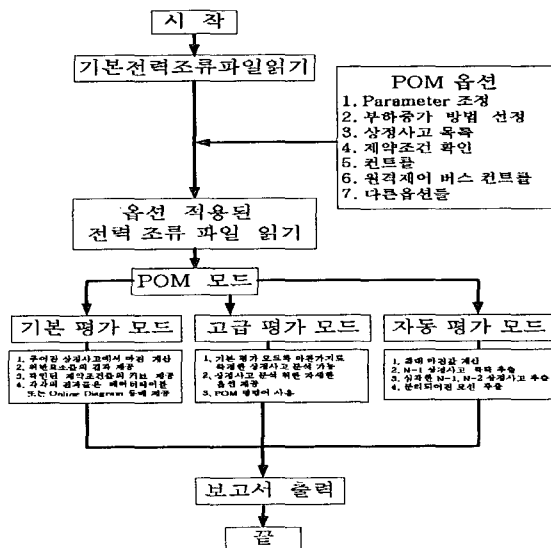


그림 1 POM 구성도

Fig. 1 POM Configuration

2.3 POM에서의 전력조류계산

유효전력 및 전압지정모선인 발전기 모선에서 유효전력과 전압은 식 (1.1) 및 식 (1.2)와 같이 각각 기술된다. 식 (1.1)은 계통의 유효전력의 균형을 의미하며 식 (1.2)는 발전기 모선에서는 전압의 크기가 일정해야함을 의미한다.

$$P'_i(V_i) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N [V_{Ri} V_{Rj} + V_{Hi} V_{Hj}] G_{ij} - (V_{Ri} V_{Hi} - V_{Ri} V_{Hj}) B_{ij} = 0 \quad (1.1)$$

$$V_{Ri}^2 + V_{Hi}^2 = V_{Si}^2 \quad (1.2)$$

그러나 발전기의 무효전력이 주어진 상하한치의 한계에 도달하면 발전기 모델은 식 (1.2)와 같은 전압크기 일정(지정)조건을 갖는 발전기 모선으로부터 식 (2)와 같은 무효전력 지정조건을 갖는 부하모선으로 변경된다.

$$Q'_i(V_i) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N [V_{Ri} V_{Rj} + V_{Hi} V_{Hj}] B_{ij} + (V_{Ri} V_{Hi} - V_{Ri} V_{Hj}) G_{ij} = 0 \quad (2)$$

여기서 :

$i = 1, \dots, N-1.$

$$P'_i(V_i) = P_i(V_i) - V_i^2(G_{0i} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N G_{ij})$$

$$Q'_i(V_i) = Q_i(V_i) + V_i^2(B_{0i} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N B_{ij})$$

N : 총 모선 수

V_i = i 모선의 전압 ($=V_{Ri} + jV_{Hi}$)

V_{Si} = i 모선의 전압 지정값

V_{Ri}, V_{Hi} = i 모선의 전압의 실수 및 허수분

$P_i(V_i)$ = i 모선에서의 모선유효전력

$Q_i(V_i)$ = i 모선에서의 모선무효전력

G_{ij}, B_{ij} = 모선 어드미턴스 행렬의 비대각 요소의 실수 및 허수분

G_{0i}, B_{0i} = i 모선에 대한 어드미턴스 행렬의 대각 요소의 실수 및 허수분

한편, 각 유효전력 및 무효전력 지정모선인 부하모선에 대하여는 일반적인 모선에서의 모선전력방정식을 사용한다.[12]

위의 전력조류방정식을 POM에서는 다음과 같은 뉴턴-랩슨방법을 사용하여 해석한다. 즉, 전력조류계산은 식 (3)처럼 표현가능하고 이는 식 (4)와 같은 뉴턴-랩슨법에 의해 해결되어진다.

$$f(x) = 0 \quad (3)$$

$$x_{k+1} = x_k - J^{-1} f(x_k) \quad (4)$$

여기서,

k = 전력조류계산의 반복횟수

x = 모선전압의 실수분 및 허수분 상태변수벡터

x_k = k 번째 전력조류계산의 반복횟수에서의 상태변수 x 값

J = 전력조류방정식 $f(x)$ 의 자코비안 행렬

$f(x_k)$ = k 번째 반복에서의 모선 전력값

2.4 상정사고 분석(Contingency Analysis)

POM에서는 N-1 상정사고와 N-2 상정사고 그리고 복합 상정사고 등 세 가지의 상정사고 분석이 가능하다. 먼저 N-1 상정사고는 단일사고로써 발전기나 부하의 발전력의 변화 또는 전력계통 요소들의 제거 또는 복구에 관련된 사고를 말하여 이의 결과가 상정사고 목록에 기록된다. 그리고 N-2 상정사고는 두 개의 조합으로 된 상정사고로써 이는 N-1 상정사고들의 결합으로 구성된다. 또한 POM에서는 발전기와 선로의 사고가 동시에 일어날 수 있는 복합 상정사고들을 분석할 수 있으며 프로그램에서는 N-1 상정사고로 취급하게 된다. 이러한 상정사고들은 선택사양에서 선택을 할 수 있으며 자동으로 생성할 수 있는 방법과 사용자 정의에 의한 방법으로 나뉘게 된다.

2.5 물리적 및 운영 여유력(Physical and Operational Margin)

상정사고 분석 시 계통의 운용 상태를 확인하기 위하여 (1) 전압허용제약조건과 (2) 선로와 변압기의 과부하제약조건, 그리고 (3) 전압 안정도 제약조건 등을 검토한다. 궁극적으로 POM은 이의 세 가지 제약조건을 만족하는 허용범위 내에 어느 정도로 더욱 부하를 공급할 수 있는가의 전력공급여유력(Margin)을 추정한다. 그런데 POM에서는 이 여유력을 전압허용제약과 선로 및 변압기의 과부하 제약조건에 따라 결정하는 물리적 여유력(Physical margins)과 전압안정도 제약조건에 따라 결정하는 운영 여유력(Operational margins)등 두 가지로 구분한다. POM에서는 전력계통의 물리적 및 운영 여유력을 다음 식(5)와 같이 정의하여 사용한다[5,13].

$$POM = \frac{Param_{max} - Param}{Param_{max}} \quad (5)$$

여기서,

$Param$: 최근 운영 상태에서의 발전력의 변화의 변수 값
 $Param_{max}$: 발전력의 변화의 변수들의 최대 허용될 수 있는 값

그러므로, 예를 들어, 만약 발전력의 변화의 변수값이 유효부하라면 $Param$ 은 유효전력인 P 가 되고 의미는 그 운영 상태에서의 주어진 실제 부하값을 말한다. 또한, $Param_{max}$ 은 여유력을 추정하기 위하여 제약조건을 만족하는 범위 내에서 최대 그 허용치를 증가시켜본 최대 부하값을 말한다.

2.6 여유력 평가를 위한 제약조건 평가

전술한 바와 같이 POM은 여유력 평가를 위해 (1) 정태 전압안정도(Steady state voltage stability) (2) 선로와 변압기의 과부하 (Thermal overload of lines and transformers) (3) 모션전압 위반 (Violation of bus voltage) 등 세 가지를 검토한다. 정태 전압안정도는 전력조류 계산시 정해진 수렴의 최대허용 반복수 안에서 수렴하지 않는다면 발생하는 것

으로 정하고 있으며 과부하에 의한 열적위반은 식 (6)처럼 미리 정해진 선로의 열적허용 한계치를 넘어서는 경우 발생하는 것으로 한다. 여기서, 열적허용비율(Rate A, B or C)을 사용자 정의에 의해 선택할 수 있으며 과부하의 %로도 표현이 가능하다.

$$S_{ij} > S_{ij}^{max} \quad (6)$$

전압위반은 식 (7) 과 같이 미리 정해진 전압의 상한값, 또는 하한값을 벗어나는 경우에 발생하는 것으로 정의한다.

$$V_i < V_i^{min} \quad (7)$$

$$V_i^{max} < V_i \quad (8)$$

2.7 사용자 정의에 의한 수정한 위상각에서의 부하의 조정방법

POM에서 여유력 평가는 총부하인 S_{Scal} 그리고 위상각 θ 를 증가 조건으로 미리 지정하고 사용자에게 의해 수정한 역률값을 사용하여 부하를 조정할 수 있는 성능을 제공하는 방법을 사용하여 실시한다. 즉, 각 부하의 유효전력 및 무효전력 요소를 각각 식 (9) 및 식 (10)과 같이 조정한다.

$$P_{Scali} = \frac{S_i}{\sum_k S_k} \cdot S_{Scal} \cos\theta \quad (9)$$

$$Q_{Scali} = \frac{S_i}{\sum_k S_k} \cdot S_{Scal} \sin\theta \quad (10)$$

여기서

S_{Scal} = 부하의 피상전력(MVA)에서의 총 변화량

P_{Scali} = i 번째 부하의 유효전력의 변화량

Q_{Scali} = i 번째 부하의 무효전력의 변화량

S_i = i 모션에서의 부하의 피상전력(MVA)

3. 사례연구

본 연구에서는 이번에 도입한 POM을 사용하여 그림 1과 같은 1,119개의 모션과 2,205개의 송전선로들로 구성되어 있는 한전계통을 대상으로 2006년도 하계시에 58,570[MW] 최대부하가 발생한다고 상정되는 시점에 대하여 사례연구를 실시하여 보았다. 이때의 총 발전설비용량은 64,520[MW]이다. 서론에서 전술한 바와 같이 한전계통은 통상 하계시에 과다한 에어컨 사용으로 말미암아 이때 최대부하를 나타내는 특성을 갖고 있다. 또한, 지역적으로 남쪽에 위치한 발전소에서 발전한 전력이 북쪽에 위치한 수도권으로 전력이 집중되는, 소위 북상조류특성 경향을 크게 보이는바 이에 대한 여유력 평가는 매우 중요하다. 그러므로 본 연구에서는 2006년도 하계 시에 비수도권에서

수도권으로 들어오는 중요선로 6개에 대한 상정사고의 시나리오를 미리 설정하고 이에 대한 여유력의 평가를 실시함을 본 사례연구의 주요 목적으로 삼았다.

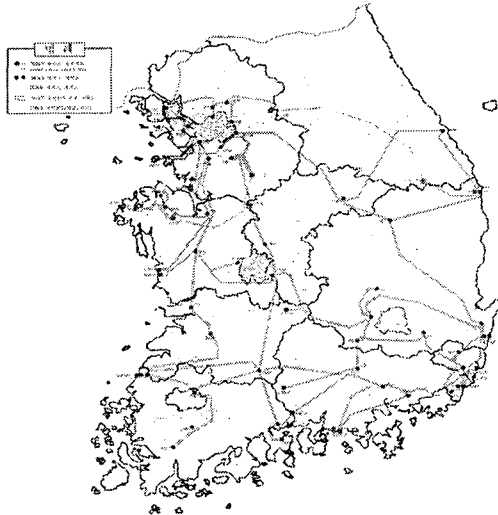


그림 2 KEPCO 계통도
Fig. 2 KEPCO System

3.1 입력 파일

그림 3은 POM v2.2의 입력 제어창을 간단히 보인 것이다. POM을 구동하기 위해서는 다음과 같이 총 3개의 목록으로 구성되어진 21개의 입력파일들이 필요하다. 본 입력파일의 상세한 설명은 매뉴얼에 잘 소개되어 있으므로 여기서는 생략하기로 한다[14].

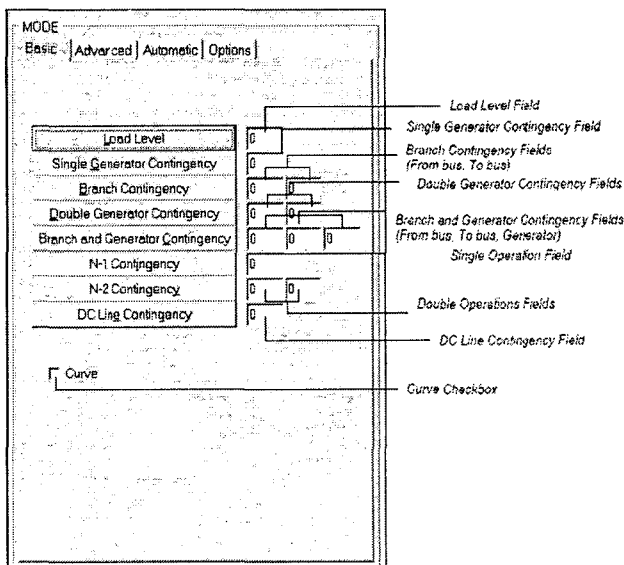


그림 3 POM의 입력변수 제어창
Fig. 3 Control Panel for Input Data of POM

표 1 입력 데이터 파일

Table 1 Input Data Files

전력조류 파일	사용자 정의에 의한 입력 파일	프로그램 소스 파일	
Power Flow Case File in PTI's PSS/E format, Version 23-28 and GE-PSLF Version 13	Branch Contingencies .txt	Generator Contingencies .txt	POM.ini
	Thermal Constraints.txt	Voltage Constraints.txt	
	Flowgate Constraints.txt	Stressing.txt	
	GenDisp.txt	Unloading.txt	
	URMList.txt	Power Compensation .txt	
	RemReg Exclude.txt	AutoN1.txt	
	Tr3 Contingencies .txt	Generation Incremental Cost.txt	
	Complex Contingencies .txt	RemReg Include.txt	
	Advanced Stressing.txt	AutoN2.txt	
	AutoN2 Rules.txt		

위의 입력 파일들은 사용자 정의에 의해 값을 수정할 수 있다. 본 연구에서는 상정사고와 제약조건 부분을 KEPCO 계통에 맞추어 아래와 같이 수정하였다.

표 2 한전계통에 맞게 수정한 입력 데이터 파일

Table 2 Modified Input Data Files for KEPCO system

선로 상정사고	154 kV 이상 모든 선로
발전기 상정사고	100 MW 용량 이상의 발전기
열적제한 제약	양단간 모선전압이 154 kV 이상인 모든 선로에 대하여 A급.
전압위반 제약	154 kV 이상의 모선에 대하여 0.95[pu] 이상되어야함.

3.2 상정사고 시나리오

표 3은 본 연구에서 수행한 N-1 상정사고들의 목록을 나타낸 것으로 수도권으로 들어오는 아래와 같은 345kV와 765kV의 총 6개의 선로에 대하여 상정사고를 설정하고 평가를 수행하였다.

POM에서는 다양한 그래픽 기능을 제공하고 있다. 한 예로 그림 4는 모선 4010과 모선 6030을 연결하는 신안성 선로의 상정사고인 Case 1의 그래픽 상태를 보인 것이다.

그러므로 운영자가 평가하고자 하는 상정사고에 대한 정보를 계통상에서 쉽게 파악할 수 있다.

표 3 N-1 상정사고 시나리오 목록

Table 3 N-1 Contingency List

Case	선로명	선로전압	선로번호	From - To
1	신안성	765KV	4010-6030(2)	신안성 - 신서산
2	신태백	765KV	1020-5010(2)	신가평 - 신태백
3	신제천	345KV	2500-5700(1)	동서울 - 신제천
4	신용인	345KV	4700-4800(1)	신용인 - 신진천
5	서청	345KV	4600-6800(1)	서서울 - 청양
6	아산	345KV	4400-6950(1)	화성 - 아산

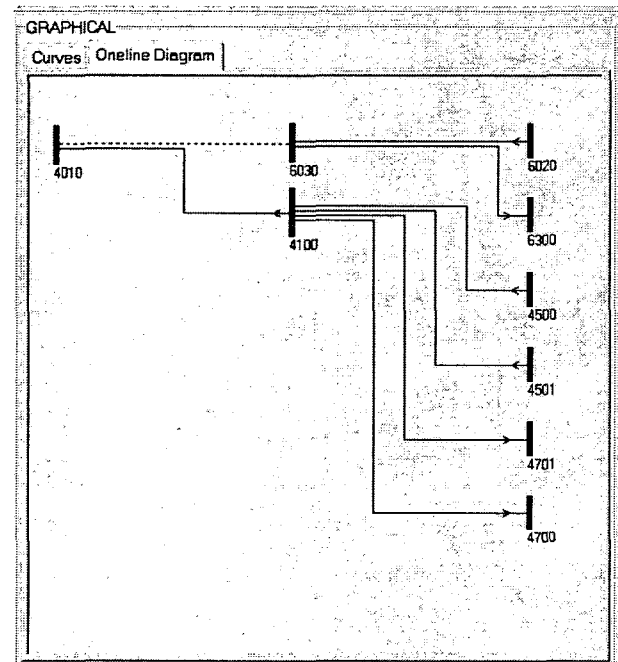


그림 4 선로 상정사고의 그래픽의 예
Fig. 4 The Graphy Example of Line Contingency of Case 1

또한, 근래에는 더욱 안정적이고 신뢰성 있는 전력공급을 실시해야한다는 필요성이 세계적으로 대두되면서 N-2 상정사고에 대한 논의가 보다 중요하게 되고 있는 바, 본 연구에서는 앞서의 N-1 상정사고의 대상선로인 6개에 대하여 이를 조합하여 15가지(=6C2)와 그리고 신안성과 신태백 선로에 대하여 2회선의 동시고장을 고려한 2가지 등, 표 4와 같이 모두 17가지에 대하여 N-2 상정사고들을 설정하고 이에 대한 여유력을 평가하여 보았다.

표 4 N-2 상정사고 시나리오 목록

Table 4 N-2 Contingency List

Case	선로명	선로전압	선로번호	From - To
1 - 1	신안성	765KV	4010-6030(2)	신안성 - 신서산
	신안성		4010-6030(1)	신안성 - 신서산
1 - 2	신안성	765KV	4010-6030(2)	신안성 - 신서산
	신태백		1020-5010(2)	신가평 - 신태백
1 - 3	신안성	765KV	4010-6030(2)	신안성 - 신서산
	신제천	345KV	2500-5700(1)	동서울 - 신제천
1 - 4	신안성	765KV	4010-6030(2)	신안성 - 신서산
	신용인	345KV	4700-4800(1)	신용인 - 신진천
1 - 5	신안성	765KV	4010-6030(2)	신안성 - 신서산
	서청	345KV	4600-6800(1)	서서울 - 청양
1 - 6	신안성	765KV	4010-6030(2)	신안성 - 신서산
	아산	345KV	4400-6950(1)	화성 - 아산
2 - 2	신태백	765KV	1020-5010(2)	신가평 - 신태백
	신태백		1020-5010(1)	신가평 - 신태백
2 - 3	신태백	765KV	1020-5010(2)	신가평 - 신태백
	신제천	345KV	2500-5700(1)	동서울 - 신제천
2 - 4	신태백	765KV	1020-5010(2)	신가평 - 신태백
	신용인	345KV	4700-4800(1)	신용인 - 신진천
2 - 5	신태백	765KV	1020-5010(2)	신가평 - 신태백
	서청	345KV	4600-6800(1)	서서울 - 청양
2 - 6	신태백	765KV	1020-5010(2)	신가평 - 신태백
	아산	345KV	4400-6950(1)	화성 - 아산
3 - 4	신제천	345KV	2500-5700(1)	동서울 - 신제천
	신용인		4700-4800(1)	신용인 - 신진천
3 - 5	신제천	345KV	2500-5700(1)	동서울 - 신제천
	서청		4600-6800(1)	서서울 - 청양
3 - 6	신제천	345KV	2500-5700(1)	동서울 - 신제천
	아산		4400-6950(1)	화성 - 아산
4 - 5	신용인	345KV	4700-4800(1)	신용인 - 신진천
	서청		4600-6800(1)	서서울 - 청양
4 - 6	신용인	345KV	4700-4800(1)	신용인 - 신진천
	아산		4400-6950(1)	화성 - 아산
5 - 6	서청	345KV	4600-6800(1)	서서울 - 청양
	아산		4400-6950(1)	화성 - 아산

3.3 여유력 평가결과

3.3.1 기본경우(상정사고가 없는 경우)의 평가결과

우선, 2006년도의 KEPCO 계통에 대하여 전혀 상정사고가 없다고 상정하여 본 기본경우(Base Case)에 대하여 여유력을 평가하여 보았다. 그림 5는 앞서 언급한 식(9) 및 (10)를 사용하여 부하를 증가시키면서 전력조류 계산의 수렴횟수, 전압제약, 선로의 열적제약 등을 현황을 보인 그래프이다. 본 그림에서 보는 바와 같이 기본경우에 대하여는 1,780[MW]의 전력공급 여유력을 가짐을 확인할 수 있었다. 더불어 그 이상 여유력이 발생하지 못하는 주요 원인으로는

전압제약조건에 먼저 위반되기 때문인 것임을 알 수 있었다. 여기서 전력계산의 반복횟수는 빨간색으로, 전압제약은 녹색으로, 그리고 열적제약은 분홍색으로 나타내고 있다.

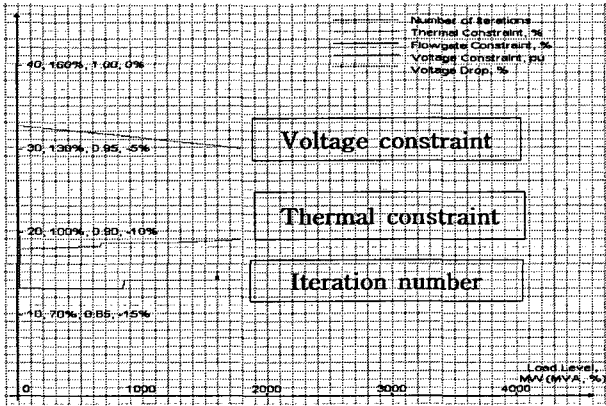


그림 5 기본 경우
Fig. 5 Base Case

3.3.2 N-1 상정사고 경우의 평가결과

그림 6은 6개의 N-1 상정사고 시나리오, 즉 Case 1에서 Case 6에 대하여 부하를 증가시키면서 실시한 전력조류 계산의 수렴횟수, 전압제약, 선로의 열적제약 등을 나타낸 그래프이다.

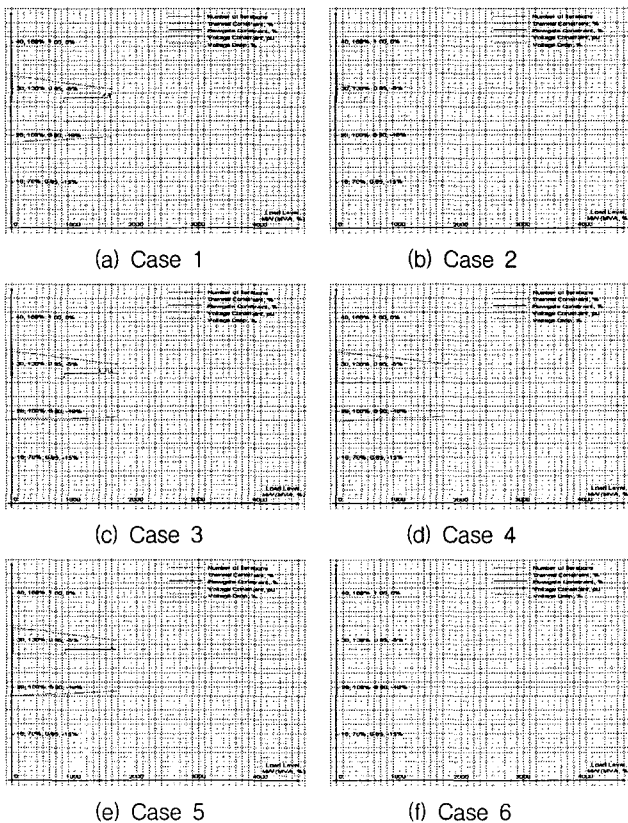


그림 6 N-1 상정사고
Fig. 6 N-1 Contingency

N-1 상정사고 시 각각의 여유력 정도와 그 여유력 이상 공급할 수 없는 원인은 표 5와 같았다. 본 표에서 보다시피 송전선로열적제약으로 말미암아 여유력이 전혀 발생하지 않은 아산선로의 상정사고를 제외하고는 타 선로의 상정사고는 모두 조금씩의 여유력을 가지고 있음을 알 수 있으며, 이들 타 선로들도 모두 전압제약으로 말미암아 평가된 그 여유력 이상의 전력은 공급할 수 없음을 알 수 있다. 그러므로 N-1 상정사고의 관점에서는 이의 사고 시 여유력을 전혀 갖지 못하는 아산선로가 보다 중요함을 알 수 있다. 그림 7은 각 경우에 대하여 평가된 여유력을 상대적으로 그 크기를 파악하기 쉽도록 그림으로 보인 것이다.

표 5 N-1 상정사고 마진과 Remarks
Table 5 N-1 Contingency Margin and Remarks

Case	선로명	여유력 [MW]	Remarks
1	신안성	1600	Voltage Constraints
2	신태백	470	Voltage Constraints
3	신제천	1690	Voltage Constraints
4	신용인	1770	Voltage Constraints
5	서청	1660	Voltage Constraints
6	아산	0	Thermal Constraints

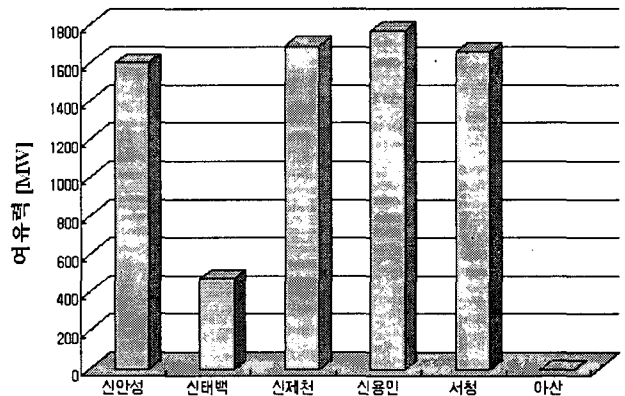
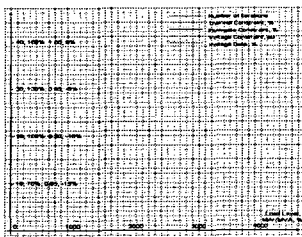


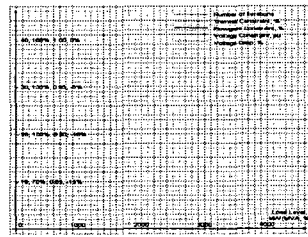
그림 7 N-1 상정사고 시 전력 여유력
Fig. 7 Margins at N-1 Contingencies

3.3.2 N-2 상정사고 경우의 평가결과

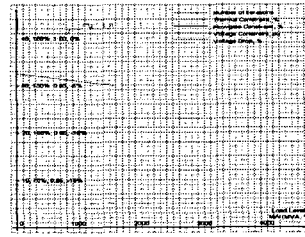
그림 8은 17가지의 N-2 상정사고 시에 대하여 여유력 만큼 부하가 증가한다고 가정할 때의 전력조류계산의 수렴반복횟수, 전압제약, 열적제약을 나타낸 그래프이다. 여기서, Case 1-1과 2-2는 병행 2회선 선로이기 때문에 2회선 동시 고장이 생기는 경우이다.



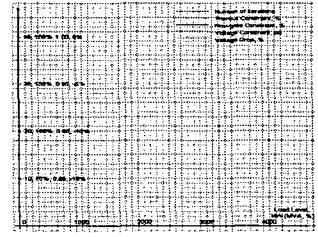
(a) Case 1-1



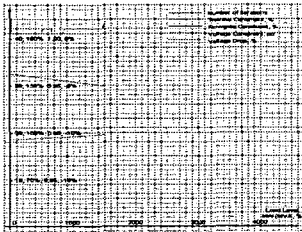
(b) Case 1-2



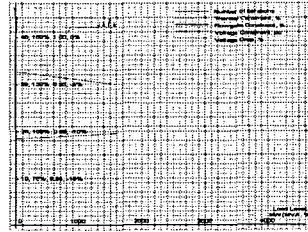
(m) Case 3-5



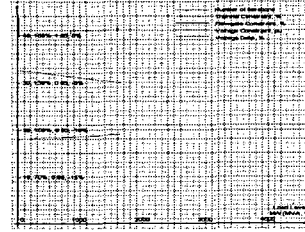
(n) Case 3-6



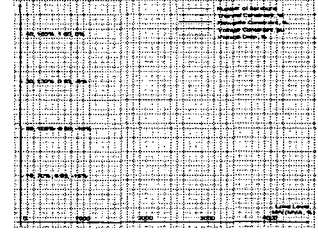
(c) Case 1-3



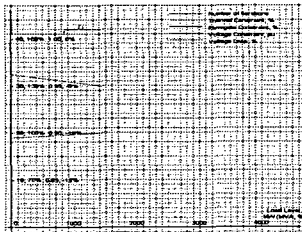
(b) Case 1-4



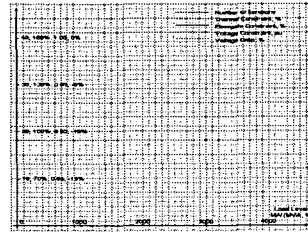
(m) Case 4-5



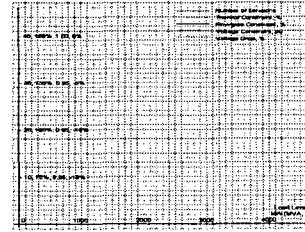
(n) Case 4-6



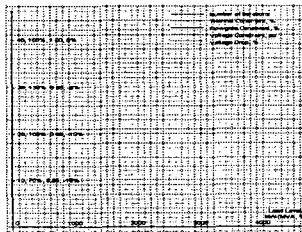
(e) Case 1-5



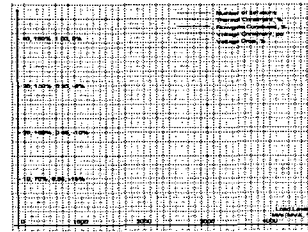
(f) Case 1-6



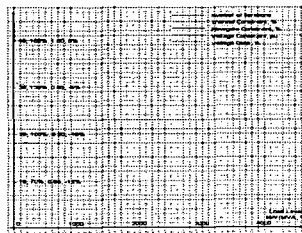
(o) Case 5-6



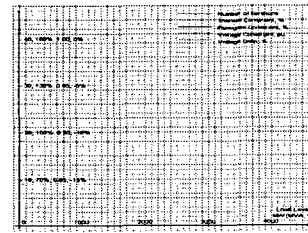
(g) Case 2-2



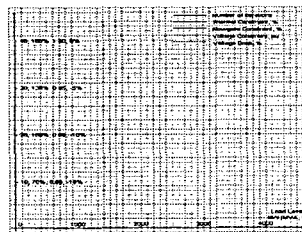
(h) Case 2-3



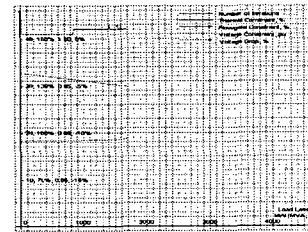
(i) Case 2-4



(j) Case 2-5



(k) Case 2-6



(l) Case 3-4

그림 8 N-2 상정사고의 분석결과

Fig. 8 Results of N-2 Contingency

N-2 상정사고 시 각각의 여유력 정도와 원인은 표 6과 같았다. 여기서, 신안성 2회선, 신안성과 신태백, 신안성과 아산, 신태백 2회선, 신태백 과 아산, 신제천과 아산, 신용인과 아산 그리고 서청 과 아산 등의 N-2, 즉 2회선 선로사고는 여유력을 전혀 갖지 못함을 알 수 있다. 그러나 기타 선로들의 2회선사고는 어느 정도의 여유력을 가짐을 알 수 있다. 특히, 신제천 및 신용인 2회선 선로사고는 거의 그 사고영향을 계통에 끼치지 않음을 알 수 있다. 그림 9는 이들 N-2 상정사고시에 대하여 평가된 여유력의 크기를 상대적으로 쉽게 파악하도록 그래프로 나타낸 것이다. 그러므로 우리나라의 2006년도 하계의 경우에 N-1의 상정사고라면 아산선로에 대하여 특별히 관리가 필요하며 N-2 상정사고는 거의 절반이 경우에 대하여 여유력을 갖지 못함을 알 수 있었다. 그러므로 우리나라 북상조류의 경우에 그다지 크게 여유력을 갖는다고 말할 수 없다고 사료되며 신뢰도 입장에서 그다지 좋다고는 말할 수 없는 것으로 판단된다.

표 6 N-2 상정사고에 대한 여유력 평가
Table 6 N-2 Contingency Margin Evaluation

CASE	선로명	여유력 [MW]	Remarks
1 - 1	신안성 신안성	0	Voltage, Thermal Constraints
1 - 2	신안성 신태백	0	Voltage Constraints
1 - 3	신안성 신제천	1490	Voltage Constraints
1 - 4	신안성 신용인	1590	Voltage Constraints
1 - 5	신안성 서청	1470	Voltage Constraints
1 - 6	신안성 아산	0	Thermal Constraints
2 - 2	신태백 신태백	0	Stability Violation
2 - 3	신태백 신제천	0	Voltage Constraints
2 - 4	신태백 신용인	410	Voltage Constraints
2 - 5	신태백 서청	50	Voltage Constraints
2 - 6	신태백 아산	0	Voltage Constraints
3 - 4	신제천 신용인	1690	Voltage Constraints
3 - 5	신제천 서청	1570	Voltage Constraints
3 - 6	신제천 아산	0	Thermal Constraints
4 - 5	신용인 서청	1650	Voltage Constraints
4 - 6	신용인 아산	0	Thermal Constraints
5 - 6	서청 아산	0	Thermal Constraints

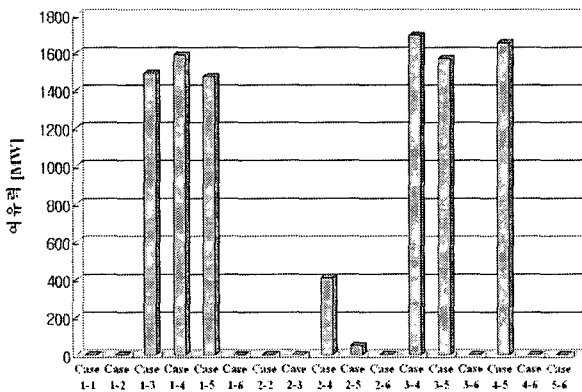


그림 9 N-2 상정사고시의 전력 여유력
Fig. 9 N-2 Contingency Margins

끝으로, 표 6은 우리나라의 2006년도 하계시의 최대부하가 58,570[MW] 이라고 예상되는 시점에 (이때의 총 발전설비량에서 보수유지 등의 용량을 제외한 총 공급능력(가능용량)은 64,520[MW]라고 상정되었다.) 대하여 (1) 총설비량에서 총부하량을 단순히 뺀 공급운용예비력과, 본 POM 프로그램을 이용하여 (2) 상정사고가 없다고 가정한 기본경우의 공급 여유력, (3) 우리나라 수도권으로 들어오는 중요선로 6개에 대하여 실시한 N-1의 상정사고 시 최대 및 최소 공급 여유력, 그리고 (4) 이를 조합한 17가지의 N-2의 상정사고 시에 대한 최대 및 최소 공급 여유력 등 모두 네 가지 경우에 대하여 얻어진 공급신뢰도를 종합적으로 비교하여 본 것이다. 여기서 비교란은 최소 공급 여유력의 상정사고에 대하여 더 이상 공급 여유력을 가지지 못하는 원인을 나타내고 있다.

표 6 KEPCO 계통의 2006년도 하계시의 공급여유력의 평가 비교

Table 6 Comparison of Supply Power Margins Evaluated on 2006 Year Summer in the KEPCO System

경우	최대 공급여유력	최소 공급여유력	비고
공급운용 예비력	5,950	5,950	= 총공급능력 - 최대부하
기본경우의 공급여유력	1,780	1,780	
N-1 상정사고 (6개)의 공급여유력	1,770	0	신용인 선로의 양단간 모선의 전압제한조건 위반
N-2 상정사고 (17개)의 공급여유력	1,690	0	전압 및 선로열적 제약조건을 위반하는 신안성 병행 2회선사고를 포함한 9개의 경우

(단위: MW)

4. 결 론

본 연구는 근래 국내외적으로 빈번히 발생하는 전력계통의 사고에 적절히 대처하면서 합리적인 운영을 어떻게 할 것인가에 연구의 초점을 두고 미국 V&R 회사에서 개발한 POM을 이용하여 우리나라 수도권 지역으로 공급되는 중요 6선로를 대상으로 N-1, N-2 상정사고를 상정하여 이에 대한 공급여유력을 평가하여보았다.

본 사례연구에서 보다시피 POM은 기본경우, N-1 및 N-2 상정사고의 경우에 대하여 계통요소들의 사고확률을 고려하지 않는 결정론적인 신뢰도지수라고 할 수 있는 전력 공급 여유력을 신속하게 평가할 수 있으며 또한 "그 여유력 이상을 왜 공급할 수 없는가?"하는 그 원인을 용이하게 파악할 수 있는 있도록 분석하여주는 프로그램이다. 그러므로 상정사고가 발생했을 때, 계통운용자가 계통에 대한 영향을 종합적으로 검토할 수 있으며 사전에 더욱 심각한 사고로 확대되지 않도록 도와줄 수 있는 공급 여유력이라는 결

정론적 신뢰도지수를 평가할 수 있는 프로그램을 알 수 있었다.

더불어 이의 결과정보를 그래프로 즉각 표현하여 주고 있으므로 운용자가 시각적으로도 쉽게 그 정상적인 특성을 파악할 수 있었다. 그러므로 본 POM을 현재 사용하고 있는 유사한 기능을 지닌 좋은 프로그램들과 병행하여 상호 그 결과를 교환, 비교 및 검토하면서 활용한다면 더욱 신뢰도 높고 보다 정확한 계통운용을 실시함에 큰 도움을 줄 것으로 판단된다.

한편, 우리나라 2006년도 하계 시에 실제 적용한 분석결과에 따르면 우리나라 전력계통망에서 345kV 또는 765kV 선로가 차지하는 비중이 상당히 높음을 알 수 있었으며 사례연구의 결과에서 나타나듯이 이들의 N-1 상정사고도 계통전체에 큰 영향을 미치는 경우가 발생할 수 있음을 알았으며 N-2 상정사고 시에는 거의 절반정도의 사고경우가 공급 여유력을 갖지 못하였다. 그러므로 이들 선로에 대하여 특별한 주의가 필요하다고 사료되며 계통전체에 영향을 미치는 경우를 사전에 예방하기 위하여 발전기와 선로의 유지보수를 효과적으로 실시함이 좋을 것으로 보여지며 더욱 깊은 연구를 통하여 차후 그 가능성을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

끝으로, 이번에는 POM 프로그램의 다양한 기능 중에서 일단 기본평가모드와 고급평가모드만을 이용하여 전력 조류의 여유력을 추정하여 보는 등 POM의 다양한 기능 중 일부만을 사용하였지만 POM은 발전기와 선로의 복합상정사고에 대하여도 실시 가능하며 나아가 모든 경우의 상정사고를 스스로 평가하는 자동평가모드의 기능도 포함되어있으므로 차후 이와 같은 좀 더 많은 기능들을 적극 활용하여 우리나라 계통을 운용하는 실무자에게 더욱 신뢰성 높은 계통운용을 함에 많은 도움을 줄 수 있으리라 사료되며 차후 후속연구를 통하여 운영측면에서 좀 더 활용성 있고 가치가 있는 결과들을 제시할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지원 하에 한국전력거래소, 한전전력연구원 및 전력신뢰도 및 품질연구센터의 지원으로 이루어졌으며 위의 지원기관들에게 깊이 감사 를 드립니다.

참 고 문 헌

[1] Henry, S.; Pompee, J.; Devatine, L.; Bulot, M.; Bell, K.; "New trends for the assessment of power system security under uncertainty", Power Systems Conference and Exposition, IEEE PES, 2004.
 [2] John A. Casazza and George C. Loehr, The Evolution of Electric Power Transmission Under Deregulation, Published by Educational Activities Board of IEEE, 2000.
 [3] B. S. Gisin, M. V. Obessis and J. M. Mitsche,

"Practical Methods for Transfer Limit Analysis in the Power Industry Deregulated Environment", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, No. 3, August 2000, pp. 955-960.
 [4] 기초전력연구원, "전력계통의 확률론적 신뢰도 평가기법 도입 및 기준수립에 관한 연구" 산업자원부지원 전력연구원 과제 중간보고서, 2005년 11월.
 [5] S. Lockwood, R. Navarro, E. Bajrektarevic, P. Burke, S. Kang, P. Ferron, V. Kotecha, S. Kolluri, M. Nagle, S. Lee, P. Zhang, S. K. Agarwal, M. Papic, J. Useldinger, P. C. Patro, L. Arnold, D. Osborn, L. Fan, L. Hopkins, M. Y. Vaiman, and M. M. Vaiman, "Utility Experience Computing Physical and Operational Margins", 2004 IEEE PSCE, PSCE2004-000616.PDF.
 [6] M. Y. Vaiman, M. M. Vaiman, and N. Abi-Samra, "On-Line Computation of Physical and Operational Margins in Bulk Power Systems," 2000 CIGRE Session, Paper 38-105, Paris, 2000.
 [7] S. Lockwood, R. Navarro, E. Bajrektarevic, P. Burke, S. Kang, P. Ferron, V. Kotecha, S. Kolluri, M. Nagle, S. Lee, P. Zhang, S. K. Agarwal, M. Papic, J. Useldinger, P. C. Patro, L. Arnold, D. Osborn, L. Fan, L. Hopkins, M. Y. Vaiman, and M. M. Vaiman, "Utility Experience Computing Physical and Operational Margins: Part I. Basic Concept and Evaluation," Submitted to PSCE Conference, 2004.
 [8] M. Papic, M. Y. Vaiman, and M. M. Vaiman, "A Novel Non-Linear Security Based Approach to Assess Transfer Capability at Idaho Power Company", PowerTech Proceedings.
 [9] M. Papic, M. Y. Vaiman, M. M. Vaiman, "Determining a Secure Region of Operation for Idaho Power Company", IEEE Proceedings, 0-7803-9156-X/05, 2005.
 [10] Roy Billinton and Wenyuan Li, Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods : Plenum Press, 1994.
 [11] Roy Billinton and Ronald N. Allan, Reliability Evaluation of Power Systems: Plenum Press, 1984.
 [12] A.J. Wood and B.F. Wollenberg, Power Generation Operation and Control: John Wiley & Sons, 1984.
 [13] G. C. Ejebe, J. G. Waight, M. Santos-Nieto and W. F. Tinney, "Fast Calculation of Linear Available Transfer Capability", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, No. 3, August 2000, pp. 1112-1116.
 [14] V&R Energy Systems Research Inc., "POM manual v2.2", V&R POM v2.2 manual, 2004.
 [15] 전력신뢰도 및 품질연구센터, "복합전력계통의 신뢰도평가" 전력신뢰도 및 품질연구센터(<http://eprrc.snu.ac.kr/>), 제5차 정기 워크샵, 용평 2006년 7월.
 [16] 한국전력거래소, "한국전력거래소 전력통계정보시스템 <http://epsis.kpx.or.kr/>" 2006년 8월.

저 자 소 개



권 중 지 (權 重 志)

1979년 10월 17일생. 2005년 2월 경상대학교 공대 전기공학과 졸업. 2007년 2월 경상대학교 대학원 전기공학과 졸업예정 (공학석사)

Tel : 055-751-5347
Fax : 055-759-2723
E-mail : jjstyle7@nate.com



최 재 식 (崔 在 錫)

1958년 4월 29일생. 1981년 고려대학교 공대 전기공학과 졸업. 1984년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1990년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년-1997년 University of Saskatchewan 방문교수. 1991년-현재 경상대학교 전기공학과 교수. 1991년-현재 대한전기학회 중신회원

Tel : 055-751-5347
Fax : 055-759-2723
E-mail : jschoi@gnu.ac.kr



정 상 현 (鄭 尙 憲)

1981년 1월 31일생. 2006년 2월 경상대학교 공대 전기공학과 졸업. 2006년~현재 경상대학교 대학원 석사과정

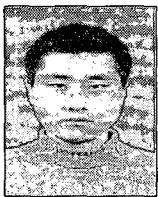
Tel : 055-751-5347
Fax : 055-759-2723
E-mail : honeytop04@gnu.ac.kr



차 준 민 (車 濬 敏)

1964년 5월 9일생. 1989년 고려대학교 공대 전기공학과 졸업. 1991년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1996년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996-현재 대전대학교 전기공학과 부교수.

Tel : 031-539-1915
E-mail : chamin@road.daejin.ac.kr



사 박 (史 博)

1983년 1월 2일생. 2005년 7월 동북입업대학교 전기공학과 졸업. 2006년~현재 동 대학원 석사과정

Tel : 055)751-5347
Fax : 055-759-2723
E-mail : bshi@gnu.ac.kr



윤 용 태 (尹 容 兌)

1971년 4월 20일생. 1995년 MIT 전기컴퓨터공학부 졸업. 1997년 MIT 대학원 전기컴퓨터공학부 졸업(공학석사). 2001년 MIT 대학원 전기컴퓨터공학부 졸업(공학박사). 2004년 3월- 현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 조교수

Tel : 02-880-9143
E-mail : ytyoon@ee.snu.ac.kr



트란트룽틴

1973년 3월 3일생. 1973년 베트남 칸토대학교 공학사 졸업. 2001년 네덜란드 Larenstein 대학교에서 a post diploma of Professional Education 취득. 2004년 경상대 대학원 전기공학과 석사졸업(공학석사). 2006년~현재 경상대 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 055-751-5347
Fax : 055-759-2723
E-mail : ttinh73@yahoo.com