

Calculation of Generator Reactive Reserve Considering Network Configuration

서 상 수* · 김 대 정** · 최 윤 혁*** · 이 병 준†
 (Sangsoo Seo · Daejeong Kim · Yoon-Hyuk Choi · Byongjun Lee)

Abstract - This paper defines a generator reactive reserve considering power system network. Conventional generator reserve is calculated by the difference between the maximum reactive power output of generator and the current reactive power of generator. However, all generators could not affect on the whole power system. Thus, the effective generators should be selected by sensitivity analysis. The sensitivity depends on network configuration is the relation between generator reactive power outputs and reactive power loads. Using the sensitivity, the effective generator reactive reserve can be calculated.

Key Words : Reactive power reserve, Sensitivity analysis, Effective Q reserve, Voltage stability, Generator reactive power, Network analysis

1. 서 론

최근 우리나라 계통은 지속적인 부하의 증가에 따라 중부하 상태로 안정도 한계 근처에서 운용되어 점점 포화 상태에 가까워 가고 있다. 송전선의 장거리화 등에 따라 유효전력에 비해 손실이 훨씬 큰 무효전력 손실의 증가가 갈수록 증대되고 있는 실정이다. 이러한 문제는 계통의 전압 안정도에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 우리나라의 경우도 마찬가지로 대형 정전 사고의 확률이 점차 증가하고 있다는 것이므로 이에 대한 대비가 시급하다. 특히 북상조류의 제약으로 인해 발생하는 수도권 전압안정도 문제는 전체적인 발전량의 여유와 상관없는 비정상적 무효전력 수급의 문제로 계통 운영의 효율성 향상과 안정도 향상의 측면에서 반드시 해결해야 하는 문제로 인식되고 있다[1].

무효전력 예비력은 현재 운전 중인 무효 전력 원들의 최대 설비 량에서 현재 운전 량을 제외한 값을 의미한다. 무효전력을 공급할 수 있는 무효전력원은 발전기, Switched Shunt Reactor, Capacitor, FACTS 기기 등이 있다. 본 논문에서 무효전력 예비력은 발전기만의 무효전력량을 고려한다. 즉, 본 논문의 무효전력 예비력은 발전기 무효전력 예비력을 의미한다. 기존의 무효전력 예비력(Conventional Q Reserve)은 계통 내의 전체 발전기가 갖는 무효전력 최대 발전 용량과 현재 발전기가 출력하고 있는 무효전력의 양의

차이로 계산된다. 그러나 무효전력은 주파수와 달리 국지적인 특성을 가지므로 모든 발전기가 계통의 전압 안정도 유지에 동일한 영향을 미치지 않는다. 그러므로 계통의 주요 개소의 전압 안정도 유지에 영향력이 큰 발전기에 대한 가중치를 적용하여 무효전력 가치를 계량화하는 새로운 무효전력 예비력의 산출이 필요하다. 이 새로운 무효전력 예비력을 ‘효용 무효전력 예비력(Effective Q Reserve)’이라 한다. 본 논문에서는 기존의 무효전력 예비력이 가지는 단점인 계통의 구조적 특성을 고려하지 못하는 점을 극복하고 현재의 발전기 무효전력 예비력 수준을 정확히 파악할 수 있는 지수로 ‘효용 무효전력 예비력’을 제안하고 시험계통에 적용하여 그 효과를 입증한다.

2. 무효전력 예비력

2.1 다양한 무효전력 예비력

본 논문에서는 계통의 안정성을 고려한 효용 무효전력 예비력의 산출을 목적으로 하고 있다. 무효전력 예비력은 전압의 안정도 측면에서 다음과 같이 몇 가지로 정의할 수 있다. Constant Maximum Reactive Power를 이용한 무효전력 예비력(QRCM), Capability Curve를 이용한 무효전력 예비력(QRCC), Minimum Voltage Limit를 이용한 무효전력 예비력(QRVL), Voltage Collapse Limit을 이용한 무효전력 예비력(QRCL) 등이 있다[2].

$$Q_{RCM}^i = Q_{max}^i - Q_{current}^i \quad (1)$$

$$Q_{RCC}^i = Q_{maxcc}^i(P) - Q_{current}^i \quad (2)$$

$$Q_{RVL}^i = Q_{vlim}^i(P) - Q_{current}^i \quad (3)$$

$$Q_{RCL}^i = Q_{vcol}^i - Q_{current}^i \quad (4)$$

* 정 회 원 : 한국전기연구원 선임연구원
 ** 정 회 원 : LS전선 연구원
 *** 정 회 원 : 고려대 전기공학과 박사과정
 † 교신저자, 정회원 : 고려대 전기공학과 교수
 E-mail : leeb@korea.ac.kr
 접수일자 : 2010년 12월 15일
 최종완료 : 2011년 3월 23일

- Q_{RCM}^i - 정격 출력을 고려한 무효전력 예비력
- Q_{max}^i - 발전기 i의 정격 최대 무효전력
- $Q_{current}^i$ - 발전기 i가 출력중인 현재 무효전력
- Q_{RCC}^i - 발전기 능력곡선을 고려한 무효전력 예비력
- $Q_{maxcc}^i(P)$ - 현 유효전력 P에서 발전기 능력곡선 상의 최대 무효전력
- Q_{RVL}^i - 전압기준을 고려한 무효전력 예비력
- Q_{vlim}^i - 최저 전압 한계점에서의 발전기 무효전력
- Q_{RCL}^i - PV곡선 한계점을 고려한 무효전력 예비력
- Q_{vcol}^i - 전압 붕괴점에서의 발전기 i의 최대 무효전력

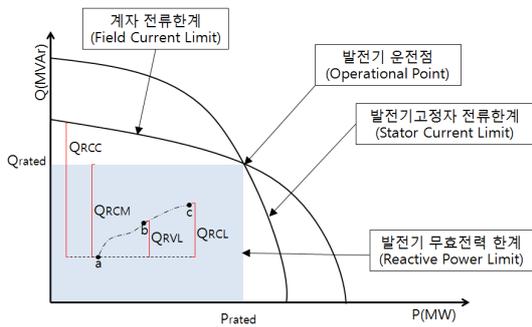


그림 1 동기 발전기의 Capability Curve[2]
Fig. 1 Capability curve of synchronous generator[2]

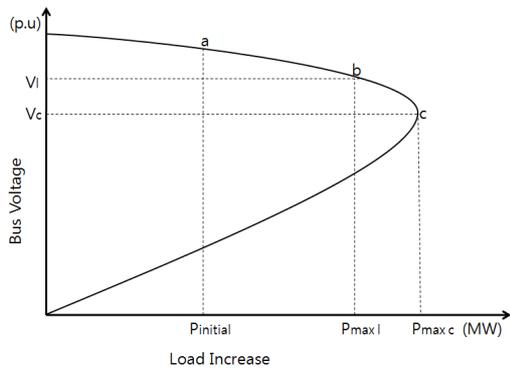


그림 2 유효전력 전압 곡선
Fig. 2 P-V Curve

식(1)~(4)까지 정의된 무효전력 예비력은 그림 1과 2에 표현되었다. 그림 2는 전압-무효전력 곡선을 나타냈는데 각 a, b, c는 초기 값, 전압기준한계 점, 최대 전력전달점을 각각 나타낸 것으로 해당 조건에서의 각 발전기의 출력을 고려한 예비력이 그림 1에 표현 되어 있다. 식(1)과 (2)는 발전기에 정해진 값에 의해 계산된 방법으로 계통의 구조적 특성이 고려되지 않는 반면, 식(3), (4)를 이용한 방법은 계통의 구조적 특성이 전압혹은 최대 전력 전달점을 통해서 고려될 수 있는 방법이라고 할 수 있다. 그런데 무효전력은 국지적인 특성을 가지므로 한 계통 내에서도 사고의 위치나 지역에 따라서 발전기의 무효전력 마진(reactive power

margin)은 달라질 수 있다[3-4]. 그러므로 본 논문에서는 계통의 구조적 특성을 반영한 감도 계산을 통해 발전기가 계통에 미치는 영향을 분석하고 감도 행렬을 통하여 계통에서의 모션별 효용 무효전력 예비력을 계산한다. 이러한 효용 무효전력 예비력은 구분된 지역 계통에서 무효전력 제어에 필요한 보다 정확한 정보를 줄 수 있다[5].

2.2 기존의 무효전력 예비력

기존의 무효전력 예비력(Conventional Q Reserve)은 발전기의 무효전력 최대 출력 용량에서 현재 운전 중인 무효전력 출력을 제외한 값이다. 이는 식(1)의 계산법을 통해서 나온 발전기 무효 예비력을 더한 결과이다.

$$CQR = \sum_{i=1}^n Q_{i,max} - \sum_{i=1}^n Q_{i,gen} \quad (5)$$

그러나 전압 안정도 분석 시 사용되는 PV곡선에서 최대 전력 전달 점에서 모든 발전기의 무효전력 출력이 한계점에서 운전되지 않는다. 이는 계통 구조에 따라서 발전기 출력을 다 쓸 수 있는 발전기가 있고 그렇지 않은 발전기가 있기 때문이다. 그러므로 어느 계통에서 발전기 무효전력 예비력을 정확히 계산하기 위해서는 계통 구조를 고려한 예비력 계산이 필요하다[6].

2.3 효용 무효전력 예비력

본 논문에서 효용 무효전력 예비력(Effective Q Reserve)은 계통 제어에 민감한 발전기들의 무효전력 예비력의 합이다.

$$EQR = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot Q_{i,max} - \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot Q_{i,gen} \right) \quad (6)$$

그림 3에서 효용 무효예비력의 개념을 나타냈었다. 계통 구조적 특성상 계통에 더 많은 영향을 주는 발전기(그림 3에서 Gen1)와 그렇지 않은 발전기(그림 3에서 Gen5)로 구분하여 효용 무효전력 예비력을 계산한다. 이를 통해 기존의 무효전력 예비력에 비해 정확한 무효전력 예비력을 계산할 수 있게 된다[2].

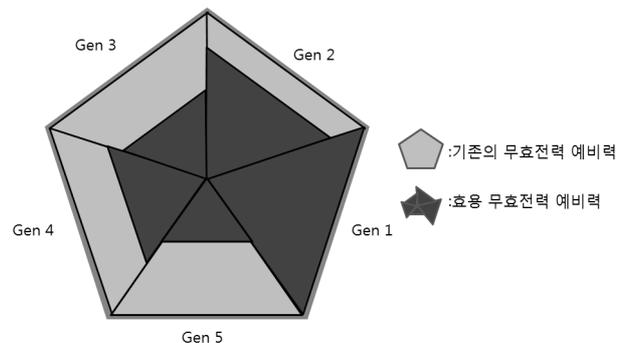


그림 3 기존의 무효전력 예비력과 효용 무효전력 예비력
Fig. 3 Conventional Q Reserves vs. Effective Q Reserves

3. 효용 무효전력 예비력의 계산

효용 무효전력 예비력을 계산하기 위해서 계통의 구조적 특성을 반영한 감도 계산한다. 전압과 무효전력의 관계, 즉 발전기의 무효전력 출력과 계통의 전압 변화에 대한 감도를 도출한다[7].

3.1 발전기의 감도 계산

효용 무효전력 예비력의 산출은 부하모선과 발전기 모선 사이의 감도에서 출발한다. 전력 조류 방정식의 자코비안 행렬에서 전압과 무효전력 사이의 관계만을 도출 하면 아래 와 같이 표시할 수 있다[8-9].

$$[\Delta Q] = \left[\frac{\partial Q}{\partial V} \right] [\Delta V] \quad (7)$$

이 때, Stott의 단순화를 적용하면 다음과 같다.

$$[\Delta Q] = -[B][\Delta V] \quad (8)$$

여기서, $\left[\frac{\partial Q}{\partial V} \right] = -[B]$, $[B] = \begin{bmatrix} B_{GG} & B_{GL} \\ B_{LG} & B_{LL} \end{bmatrix}$

위 식을 발전기 모선과 부하 모선 사이의 관계식으로 표현하면 다음과 같다.

$$[\Delta Q_G] = -\{ [B_{GG}][\Delta V_G] + [B_{GL}][\Delta V_L] \} \quad (9)$$

$$[\Delta Q_L] = -\{ [B_{LG}][\Delta V_G] + [B_{LL}][\Delta V_L] \}$$

위의 식을 전압에 대한 식으로 재구성하면,

$$[\Delta V_L] = -[S_{LG}][\Delta Q_G] + [S_{LL}][\Delta Q_L] \quad (10)$$

$$[\Delta V_G] = -[S_{GG}][\Delta Q_G] + [S_{LG}]^T[\Delta Q_L]$$

여기서, $[S_{GG}] = \{ [B_{GG}] - [B_{GL}][B_{LL}]^{-1}[B_{LG}] \}^{-1}$
 $[S_{LG}] = [B_{LL}]^{-1}[B_{LG}][S_{GG}]$
 $[S_{LL}] = -[B_{LL}]^{-1} - [S_{LG}][B_{GL}][B_{LL}]^{-1}$

정상 상태에서 발전기의 단자 전압 변동이 없다는 가정 하에 $\Delta Q_L = 0$

$$[\Delta Q_G] = [S_{GG}]^{-1}[S_{GL}] \cdot [\Delta Q_L] \quad (11)$$

$[S_{GG}]^{-1}[S_{GL}]$: 부하의 무효전력 변화에 대한 발전기의 무효전력 출력의 변화를 나타내는 값이다.

3.2 정규화(Normalization)

앞에서 계산된 감도 행렬은 각 모선들에 대한 발전기의 감도를 나타내는 행렬이다. 그러므로 전체 계통이 아닌 각 모선들에 대한 발전기의 효용 무효전력 예비력을 산출해낼 수 있다. 모선에 무효전력 부하를 전압 불안정점까지 증가시켜 기존의 무효전력 예비력과 효용 무효전력 예비력을 비교해 그 효용성을 알아 볼 수 있다[10]. 모선에 대한 발전기의 감도 행렬에서 감도가 가장 높은 발전기의 감도로 다른 나머지 발전기의 감도를 나누는 Max Norm을 적용하여 정규화(Normalization)한다. 감도가 가장 높은 발전기가 가장 먼저 무효전력을 최대 출력하므로 가장 감도가 높은 발전기를 기준으로 나머지 발전기의 가중치를 산출하게 된다.

$$In = Norm\{x, y\}, Max(x, y) \quad (12)$$

$$Out = \left\{ \frac{x}{Max(x, y)}, \frac{y}{Max(x, y)} \right\}$$

4. 사례 연구

사례 연구에 사용된 시험 계통은 발전기 4기를 포함한 11개의 모선으로 구성된 계통이다. 그림 4의 시험계통에서 각 모선에 대한 발전기의 감도 행렬을 계산해 모선의 효용 무효전력 예비력을 산출한다. 시험계통에서 운전 중인 4개의 발전기 모선과 7개의 부하 모선 사이의 감도 행렬을 통하여 부하의 무효전력 변화에 대한 발전기의 무효전력 출력의 변화를 알 수 있다.

4.1 감도 해석

부하의 무효전력 변화에 대한 발전기의 무효전력 출력의 변화를 나타내는 $[S_{GG}]^{-1}[S_{GL}]$ 행렬을 통해 발전기별 가중치를 계산한다.

표 1 $[S_{GG}]^{-1}[S_{GL}]$ 행렬

Table 1 the matrix of $[S_{GG}]^{-1}[S_{GL}]$

	5	6	7	8	9	10	11
1	-0.707	-0.263	-0.251	-0.207	-0.058	-0.031	-0.012
2	-0.263	-0.662	-0.633	-0.521	-0.148	-0.080	-0.031
3	-0.012	-0.031	-0.049	-0.098	-0.250	-0.266	-0.708
4	-0.031	-0.080	-0.125	-0.247	-0.629	-0.669	-0.266

위에서 계산된 감도 행렬은 각각 발전기 모선에 대한 부하 모선의 감도를 나타낸다. 이 감도 행렬을 이용해서 효용 무효전력 예비력을 산출할 수 있다.

효용 무효전력 예비력을 산출하기 위해서 감도 행렬의 재구성이 필요하다. 예를 들어 5번 모선에 대한 각 발전기들의 감도는 -0.707, -0.263, -0.012, -0.031로 나타났다. 즉 5번 모선에 대하여 1번 발전기의 감도가 가장 높다고 할 수 있다. 감도가 가장 높은 1번 발전기가 5번 모선의 제어에 가장 민감하다고 할 수 있으므로 5번 모선의 부하 증가에 1번 발전기가 가장 민감하게 반응한다고 할 수 있다. 감도가 가장 높은 발전기가 가장 먼저 무효전력을 최대 출력하기 때문에 5번 모선에 대한 감도가 가장 높은 1번 발전기를 기준으로 감도를 다시 계산할 수 있다. 여기서는 Max-norm을 적용한 정규화를 수행한다. 5번 모선에 대한 각 발전기의 감도를 1번 모선의 감도로 나누어 주어 감도가 가장 높은 1번 발전기를 기준으로 한 감도가 계산된다. 이와 같은 방법으로 6, 7, 8, 9, 10번 모선에 대한 발전기의 감도를 계산하게 된다.

표 2 정규화된 $[S_{GG}]^{-1}[S_{GL}]$ 행렬

Table 2 the matrix of normalized $[S_{GG}]^{-1}[S_{GL}]$

	5	6	7	8	9	10	11
1	1.000	0.397	0.397	0.397	0.087	0.048	0.015
2	0.364	1.000	1.000	1.000	0.219	0.120	0.039
3	0.015	0.042	0.071	0.176	0.397	0.398	1.000
4	0.039	0.107	0.179	0.445	1.000	1.000	0.364

위의 표에서 보는 것과 같이 감도가 가장 높은 발전기를 기준으로 나머지 발전기들의 계산된 감도를 산출해 낼 수 있다. 이 계산된 감도를 기존의 무효전력 예비력에 곱해 효율 무효전력 예비력을 계산한다.

4.2 정적 해석

효용 무효전력 예비력의 효용성을 확인하기 위해 정적 해석(static analysis)과 동적 해석(dynamic analysis)을 실시하였다. 모의 계통은 심각한 상태를 고려한 수정된 4기 11모선 계통을 사용하였다. 이것은 사고나 부하 증가 등 계통에 악영향을 미치는 요소에 대한 효율 무효전력 예비력을 산출하기 위함이다.

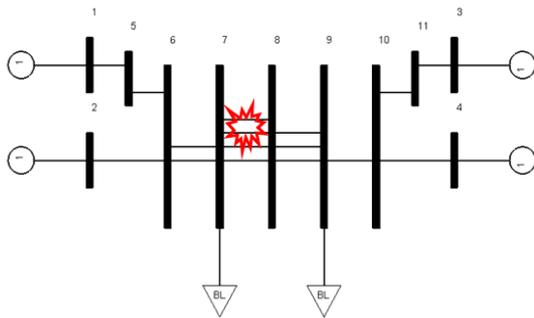


그림 4 시험계통(4기 11모선)
Fig. 4 the test system(4 machines and 11 buses)

시험계통에서 8번 모선에 무효전력 부하(220MVar)를 증가시켜 수정된 계통을 만든다. 수정된 계통에서 심각한 사고를 발생시킨 후 효율 무효전력 예비력을 산출한다. 산출된 효율 무효전력 예비력만큼의 부하를 증가시키는 부하 증가 시나리오를 통해서 효율 무효전력 예비력의 효용성을 검증할 수 있다.

수정된 계통에서 심각하다고 생각되는 7-8번 선로 2회선 사고를 발생시키면 계통이 불안정해진다. 계통이 불안정해진다는 것은 전압이 기준치 이하로 내려가는 것을 의미한다 [11]. 이렇게 사고가 발생한 후의 계통 상태에서 앞에서 계산했던 것과 마찬가지로 부하의 무효전력 변화에 대한 발전기의 무효전력 출력의 변화의 감도 행렬을 계산해서 효율 무효전력 예비력을 산출하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

표 3 사고 전 후의 시험 계통 기존의 무효전력 예비력
Table 3 the conventional Q reserves of the test system before and after contingency

	CQR(기존의 무효전력 예비력)	
	사고 전	사고 후
G1	102.72	16.40
G2	29.82	0.00
G3	112.66	86.53
G4	70.56	7.75
Total	315.75	110.68

수정된 계통을 기반으로 계산했기 때문에 앞에서 계산한 결과보다 작은 값이 나오는 것을 확인할 수 있다. 이렇게 계산된 기존의 무효전력 예비력에 발전기의 감도를 적용해 효율 무효전력 예비력을 산출하면 다음과 같은 결과가 나온다.

표 4 사고 전 후의 시험 계통 효율 무효전력 예비력
Table 4 the effective Q reserves of the test system before and after

	EQR(효용 무효전력 예비력)	
	사고 전	사고 후
G1	40.84	6.52
G2	29.82	0.00
G3	21.25	16.32
G4	33.47	3.68
Total	125.38	26.52

사고 후의 기존의 무효전력 예비력과 효율 무효전력 예비력을 비교해 보면 기존의 무효전력 예비력에 비해 효율 무효전력 예비력이 작다는 것을 확인할 수 있다.

표 5 사고 후 시험 계통 기존의 무효전력 예비력과 효율 무효전력 예비력

Table 5 the conventional and effective Q reserves after contingency

	사고 후	
	CQR (기존 무효전력 예비력)	EQR (효용 무효전력 예비력)
Total	110.67	26.51

기존의 무효전력 예비력은 110.67MVAR 인데 비해 효율 무효전력 예비력은 26.51MVAR 이라는 것을 확인할 수 있다. 이렇게 계산된 효율 무효전력 예비력을 부하 증가를 통해 검증한다. 계통의 부하를 효율 무효전력 예비력만큼 조금씩 증가시키면서 조류계산을 수행해 계통의 안정도 상태를 확인해 볼 수 있다.

7-8번 2회선 사고 발생 후 9번 모선의 부하를 20MVAR 만큼 증가시키면 조류계산이 발산하는 것을 확인할 수 있다. 기존의 무효전력 예비력인 110.67MVAR이라는 무효전력량이 전체 계통에 영향을 미치는 발전기의 무효전력 예비력이 아니라는 것을 의미한다. 즉, 계통에 사고가 발생하였을 때 기존의 무효전력 예비력이 아닌 효율 무효전력 예비력을 모니터링 함으로써 계통의 안정도를 판별할 수 있다.

4.3 동적 해석

동적 해석의 방법과 마찬가지로 시험계통에서 8번 모선에 무효전력 부하(220MVAR)를 증가시켜 수정된 계통을 만든다. 수정된 계통에서 심각한 사고를 발생시킨 후 효율 무효전력 예비력만큼의 무효전력 부하를 증가시켜 계통이 불안정해지는 것을 확인할 수 있다.

- 가. 모의 시나리오
- 수정된 시험 계통
- 50초에 7-8번 2회선 사고 발생
- 100초에 9번 모선에 무효전력 부하 20MVAR 증가
- 부하모선의 전압 관찰
- 발전기의 무효전력 출력 관찰

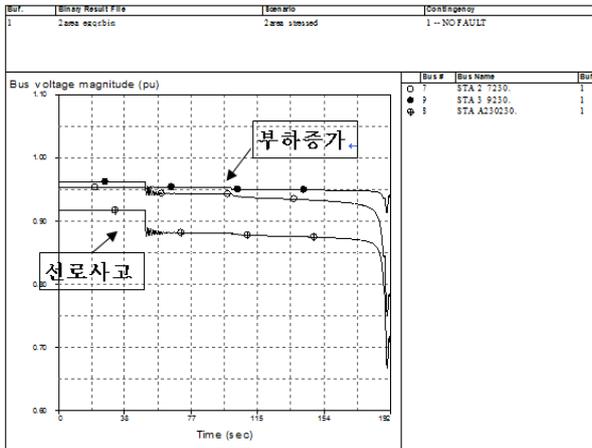


그림 5 모선전압
Fig. 5 the bus voltages

위의 그래프에서 보면 50초에 사고가 발생해서 부하 모선의 전압이 기존에 유지되던 상태보다 낮게 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 사고 발생 직후 전압이 불안정하게 흔들리다가 몇 초 후 다시 안정되게 유지된다. 이 상태에서 무효전력 부하를 증가시키면 몇 초 동안은 전압이 유지되다가 180초 정도부터 전압이 크게 떨어지고 192초에는 계통이 불안정해져서 붕괴하는 것을 볼 수 있다.

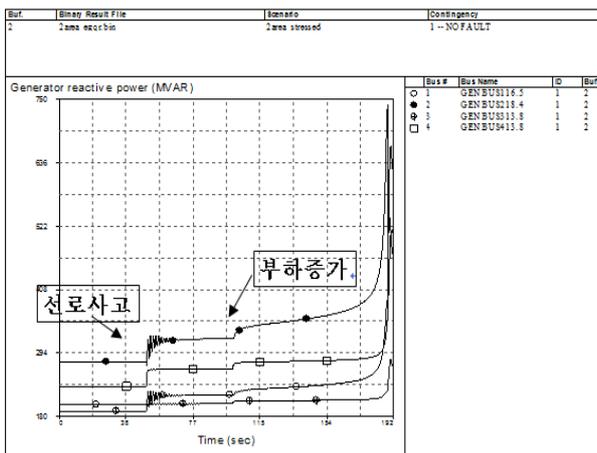


그림 6 발전기 무효전력 출력
Fig. 6 the generator reactive powers

발전기의 무효전력 출력을 살펴보면 사고 전에는 무효전력 출력이 일정하게 유지되고 있지만 50초에 사고가 발생하였기 때문에 발전기의 무효전력 출력이 급격하게 증가한다. 몇 초 간 발전기의 무효전력 출력은 일정하게 유지되고 무

효전력 부하 증가에 의해 또다시 무효전력 출력량이 증가한다. 결국 무효전력 부하 증가를 발전기가 따라가지 못하고 계통이 붕괴하게 된다.

5. 결 론

시험 계통에서 사고 발생 및 부하 증가 시나리오를 통하여 효율 무효전력 예비력을 계산한 결과 기존의 무효전력 예비력에 비해 효율 무효전력 예비력이 계통의 상태를 파악하는데 큰 도움이 된다는 것을 확인할 수 있었다. 감도 해석을 통해 발전기가 계통에 미치는 영향을 감도 행렬로 나타내고 감도 행렬과 발전기의 무효전력 예비력을 조합해 효율 무효전력 예비력을 계산했다. 감도 행렬에 의해 계통 제어에 큰 영향을 미치는 발전기는 무효전력을 최대한으로 출력하고 다른 발전기는 계통에 미치는 영향에 맞추어 무효전력을 출력하기 때문에 계통의 안정도 유지를 위한 무효전력 예비력의 산출이 가능했다.

효율 무효전력 예비력을 적용하여 계통의 무효전력 예비력을 모니터링 하면 심각한 사고 등으로 인한 계통의 전압 붕괴에 대처할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] H.Vu, P.Pruvot, C.Launay, Y.Harmand, "An Improved Voltage Control on Large Scale Power System", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No. 3, August 1996
- [2] B.Leonardi, V.Ajjarapu, "Investigation of Various Generator Reactive Power Reserve (GRPR) Definitions for Online Voltage Stability/Security Assessment", IEEE PES General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, pp. 1 - 7, 20-24 July, 2008
- [3] T.V. Cutsem, "A Method to compute Reactive Power Margins with respect to Voltage Collapse", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.6, No.1, Feb. 1991
- [4] Q. Liu, J. Liu, J. Shi, Y. Huang, "A new method to compute reactive power margin", IEEE International Conference Industrial Technology, pp. 1-6, 21-24 April, 2008
- [5] Y. Su, S. Cheng, J. Wen, Y. Zhang, "Reactive Power Generation Management for the Improvement of Power System Voltage Stability Margin", Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, Dalian, China, 21-23 Jun., 2006
- [6] P. A. Ruiz, P. W. Sauer, "Reactive Power Reserve Issues", NAPS(North America Power Symposium), pp. 439 - 445, 17-19 Sep., 2006
- [7] V. Kumar, I. Gupta, H. O. Gupta, C. P. Agarwal, "Voltage and current sensitivities of radial distribution network: a new approach", Gener. Trans. and Distr., IEE Proceedings-, Vol. 152, No. 6, pp.

813-818, Nov., 2005

- [8] B. Gao, G. K. Morison, "Voltage Stability Evaluation using Modal Analysis", Trans. on Power Systems, Vol. 7, No. 4, Nov., 1992
- [9] S. K. Chang, V. Brandwajn, "Adjusted Solutions in Fast Decoupled Load Flow", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 3, No. 2, May, 1988
- [10] R. Alammari, A. Nassar, A. Mohandes, "Reactive Power Compensation Using the Sensitivity and LP Techniques", ICCCP, Muscat, Feb., 15-18, 2009
- [11] L. Bao, Z. Huang, W. Xu, "On-line voltage stability monitoring using var reserves", IEEE PES General Meeting, Vol. 3, Jul.13-17, 2003

저 자 소 개



서 상 수 (徐 湘 受)

1979년 7월 7일생. 2003년 고려대 전기전자전파공학부 졸업. 2010년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2010~현재 한국전기연구원 스마트그리드 연구센터 선임연구원. 주요 관심분야: 전력계통 안정도, 전력계통 모델링, 신재생 에너지 계통연계

Tel : 031-420-6183
Fax : 031-420-6189
E-mail : s_seo@keri.re.kr



김 대 정 (金 大 精)

1982년 10월 6일생. 2007년 고려대 전기공학과 졸업. 2010년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2010년~현재 LS전선 초고압시스템 연구그룹 연구원. 주요 관심분야 : 전력계통 안정도 및 제어, HVDC 시스템

Tel : 031-450-8398
Fax : 031-450-8338
E-mail : just@lscable.com



최 윤 혁 (崔 倫 赫)

1981년 8월 25일생. 2005년 고려대 전기전자전파공학부 졸업. 2005년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 주요 관심분야 : 전력계통 전압안정도 및 제어

Tel : 02-3290-3697
Fax : 02-3290-3692
E-mail : lover9000p@korea.ac.kr



이 병 준 (李 炳 峻)

1961년 7월 16일생. 1987년 고려대 전기공학과 졸업. 1994년 아이오와 주립대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년~현재 고려대 전기공학과 교수. 주요 관심분야: 전력계통 해석, 안정도 및 제어

Tel : 02-3290-3242
Fax : 02-3290-3692
E-mail : leeb@korea.ac.kr