

수도권 및 인근지역의 순동 무효전력 확보방안에 관한 연구

박철우, 김건중, 엄재선, 박헌경  
충남대학교

A Case Study On Secure Dynamic Reactive Power In Kyung-In and Nearby Area

Park Chul-Woo, Kim kyun-joong, Eom Jae-Sun, Park Hun-kyonug  
Chungnam National Univ

**Abstract** - 한전계통의 구조는 원거리 발전단에서 부하 밀집지역인 수도권 지역으로의 장거리 송전을 하고 있다. 본 논문에서는 765kV 송전선로 신가평-신태백 2회선 상정사고에 대하여 수도권 및 인근지역에 대한 순동 무효전력을 확보함으로써 계통 전압을 0.96 p.u - 1.03 p.u 사이로 전압안정도를 유지할 방안과 순동 무효전력 투입위치와 투입량 산정방안에 대하여 모의 연구하였다.

	MW	MVar
발전량	50191	10542
부하량	49405	22745
계통 전체 손실	1166	18423
조상설비량	-	-12785

[표 2.1] 2004년도 Peak 계통 수급 상태

1. 서 론

한전계통의 구조는 원거리 발전단에서 부하 밀집지역인 수도권 지역으로 장거리 송전을 하고 있다. 수도권 지역에 영흥 발전의 추가 증설 및 2004년 이후 신가평-신태백 765kV 송전선로의 운영으로 인하여 이전과는 다른 계통의 조상설비 운용과 발전력 배분이 달라지고 있다. 이에 따라 이전에 증설되어 있던 조상설비의 운용이 달라지게 된다. 따라서, 조상설비 운용방식의 변경에 따른 송전선로 상정사고에 대한 계통 전압을 유지해야 한다.

전압안정도는 크게 위상각 안정도와 전압안정도로 분류할 수 있다. 위상각 안정도는 유효전력의 수급불균형에 의해서 야기되는 현상으로서 진행속도가 수초(Sec) 사이에 일어나는 특성을 지니고 있다. 반면 전압안정도는 무효전력 수급불균형에 의해 야기되는 현상으로써 진행속도가 수분(Min)의 특성을 지니고 있다.

전압안정도의 마지막은 전압붕괴, 즉, 계통붕괴이다. 그러나 전압안정도는 단지 무효전력의 수급불균형에만 그 원인이 있다고 할 수 없다. 유효전력의 수급불균형에 의해서도 전압안정도는 파괴될 수 있다. 하지만 유효전력의 수급불균형에 의한 영향이 상대적으로 무효전력 수급불균형에 의한 영향보다 매우 작기 때문에 현실적으로 유효전력 수급불균형의 관점에서 해석하지 않는 경향이 있다. 본 논문에서는 한전계통 송전선로 상정사고시 유효전력 수급불균형보다는 전압과 밀접한 관계가 있는 무효전력 수급불균형에 대해서 모의하였다.

본 논문에서는 송전선로 상정사고에 대하여 과도 후 상태에서 무효전력 수급불균형을 해결할 수 있는 방안을 모의하였다. 사용된 계통 데이터는 한전계통 2004년도 Peak 데이터이고, PSS/E를 이용하여 과도 후 상태, 즉, 사고 발생 후 즉시 동작하여 수분 이내에 계통을 유지할 수 있는 무효전력-순동 무효전력-을 모의하였다.

2. 순동 무효전력 모의

2.1 모의 계통

본 논문에서 사용된 모의 계통은 한전계통 2004년 Peak 상태이다. 다음의 [표 2.1]은 이 계통의 수급 상태에 대해서 정리하였다. 또한 계통은 154kV 이상 모선에 대하여 1.0 p.u - 1.045 p.u로 유지하였고, 전체 249기의 발전기 중 189기가 투입되어 있다.

2.1 모의 상정사고

한전계통 2004년 Peak 상태에 대해 수도권 및 인근 지역의 154kV, 345kV 송전선로 상정사고에 대하여 전압안정도를 검토하였다. 검토결과 154kV, 345kV 송전선로 상정사고에서는 수도권 및 인근지역의 Network 구조가 Mesh 형태를 가지고 있기 때문에 부하 말단인 상동, 중부, 신부평, 영동포, 신양재를 제외한 상정사고에서는 전압안정도를 유지하고 있다. 하지만 Mesh 형태가 아닌 765kV 송전선로 2회선 상정사고에서는 전압안정도를 만족하지 못하고 있다. 신안성-신서산 송전선로의 2회선 상정사고에서는 당진에서 발전된 전력을 신서산을 통해 우회됨으로써 계통에 미치는 영향이 적다. 하지만 울진에서 발전된 전력을 의정부 지역으로 송전하던 신가평-신태백 송전선로의 2회선 상정사고에서는 신재천-동서울-미금-의정부로 우회되면서 신재천 모선은 울진에서 바라볼 때 부하 말단지역이 된다. 또한 동서울-미금 선로의 과부하를 유발하여 무효전력의 손실을 증가시키며, 전압안정도를 만족하지 못하게 된다.

본 논문에서는 계통에 미치는 영향이 큰 신가평-신안성 765kV 송전선로의 2회선 상정사고에 대하여 순동 무효전력의 확보방안을 모의하였다. [표 2.2]에 나타나 있는 지역간 Tie Line 모선 및 중요 모선에 대하여 순동 무효전력원을 가설하여 모의하였다.

모 선 번 호	모 선 명
1200	신가평 345kV
1500	의정부 345kV
2500	동서울 345kV
4100	신안성 345kV
4600	서서울 345kV
4900	청 원 345kV
5700	신재천 345kV

[표 2.2] 순동 무효전력 검토 모선

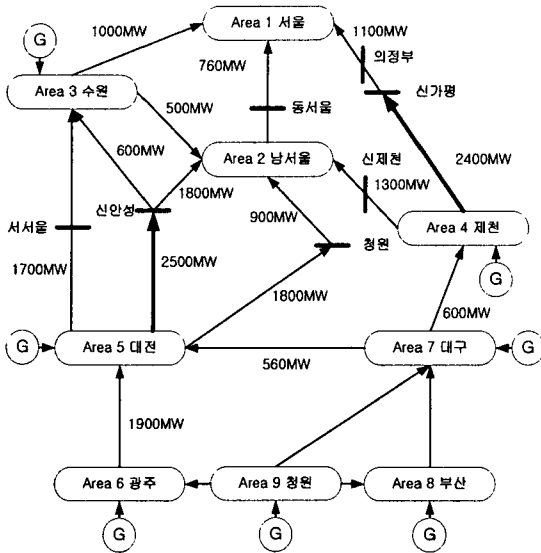
2.2 모의 계통 분석

[그림 2.1]에는 한전계통 2004년도 Peak 상태에서 전압안정도를 유지한 정상상태에서 Tie Line 및 주요 선로의 조류를 기록했다. [그림 2.2]에서는 신가평-신태백 2회선 상정사고시 조류계산을 위해 필요한 최소한의 순동 무효전력을 이용하여 계통을 유지하였을 때 변화된 조류이다. 하지만 이는 조류계산을 위해 필요한 최소한의 순동 무효전력으로 계통이 유지된 상태이기 때문

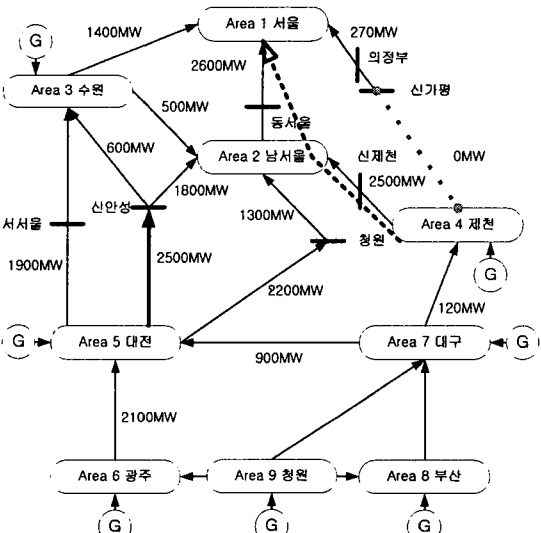
에 전압안정도는 유지하고 있지 않다.

[그림 2.1], [그림 2.2]에 표현된 모선-신가평, 의정부, 동서울, 신안성, 서서울, 청원, 신제천-은 순동 무효전력원을 모의한 모선의 위치이다.

[그림 2.2]에서 제천지역에서부터 서울지역으로 표시된 점선은 신가평-신태백으로 공급되던 전류가 신제천-동서울-미금 송전선로로 우회하고 있음을 나타내었다.



[그림 2.1] 2004년도 Peak 계통 정상상태 조류



[그림 2.2] 신가평-신태백 상정사고시 조류

상정사고 후 울진(제천지역)에서 의정부로 공급되던 조류가 신제천-동서울-미금으로 우회하고 있다. 조류가 우회됨에 따라서 신제천-동서울 송전선로의 조류가 2배 이상 큰 폭으로 증가되면서 신제천을 중심으로 전압강하가 발생하게 된다. 또한, 동서울-미금간의 조류가 사고 전보다 약 3배 이상 증가되어 120%이상의 과부하 상태가 되면서 무효전력의 손실이 증가되고 있다.

정상상태에서 신제천은 울진과 월성으로부터 무효전력을 공급받고 동서울-신제천 사이에는 무효전력의 이동이 없고, 신가평-신태백을 통해 울진은 의정부 지역으로 무효전력을 공급하고 있다. 하지만, 사고 후 월성에서 발

진된 무효전력은 서대구-신옥천-청원으로 우회, 소비되어 신제천에 무효전력을 공급하지 못하게 된다. 또한, 울진에서 발전된 무효전력은 신제천 지역에 무효전력을 공급하지 않고 동서울-미금간의 과부하에서 소비되며 일부는 의정부 지역까지 공급된다. 따라서 신제천지역을 중심으로 무효전력 부족현상을 초래하여 저전압 현상(최저 0.82 p.u, 신제천 345kV 0.88 p.u)을 발생시키게 된다.

사고 후 계통의 전체 Q-Loss는 약 4,000(MVar)이상 증가된다.

### 2.3 순동 무효전력 모의

조상설비, 발전력 배분 등을 고려하여 전압안정도를 만족한 정상상태를 만든다. 전압안정도 문제가 가장 심각한 신가평-신태백 2회선 상정사고를 발생시킨다. 상정사고가 발생되면 유효전력, 무효전력의 수급불균형을 이뤄 전압붕괴가 발생된다. 사고 후 계통에 수분 이내에 조치가 가능한 동작중이던 Sh.R를 제거하여 계통에 필요한 무효전력 중 일부를 계통에 공급한다. Tie Line 모선 및 중요 모선에 대하여 순동 무효전력원 동작을 모의하여 전력, 전압, 과부하 상태를 검토하고, 전압안정도를 유지할 방안을 모색한다. 모색된 방안 중에서 투입위치, 투입량에 대하여 경제적인 방안을 선정한다.

#### 2.3.1 1기 순동 무효전력원 모의

[표 2.3]에서는 사고 후 7개의 모선에 각각 1기의 동기조상기로 순동 무효전력원을 계통에 공급하였을 경우 순동 무효전력 공급량, 최저전압-지역, 과부하 선로인 동서울-미금의 선로 과부하 상태, 계통의 전체 Q-Loss이다.

모선명	MVar	최저전압 - 지역	과부하 동서울-미금	Q-Loss MVar
신가평	396	0.86 p.u - 제천	133 %	23,271
의정부	460	0.87 p.u - 제천	133 %	23,192
동서울	616	0.90 p.u - 제천	128 %	22,470
신안성	474	0.88 p.u - 제천	128 %	23,234
서서울	조류 계산 발산			
청원	571	0.87 p.u - 제천	128 %	22,732
신제천	858	0.96 p.u - 제천	124 %	21,594

[표 2.3] 1기 순동 무효전력원 검토

[표 2.3]에서 계산된 무효전력은 사고 후 계통의 각 지점에서 필요한 무효전력량이다. 이는 계통을 유지시키기 위한 각 지점의 최저 무효전력량이 된다. 또한 각 지점에서 공급된 무효전력보다 더 큰 량을 계통에 공급한다면 Q-Loss는 줄어들고 일부 저전압을 회복하지만, 일부 계통 및 발전단 인근 모선 - 인천, 서인천, 서천, 동해 등 - 에는 고전압(1.05 p.u 이상)현상이 동시에 발생되게 된다.

즉, [표 2.3]에서 공급된 무효전력은 각 지점에서 1기 무효전력원 투입량의 한계값이다.

여기서 공급된 무효전력은 순수 순동 무효전력이다.

#### 2.3.2 2기 순동 무효전력원 모의

[표 2.4]는 사고시 무효전력 수급이 불안정하며, 순동 무효전력원을 투입하였을 경우 무효전력 수급이 원활한 신제천 모선과 다른 모선에 2기의 순동 무효전력원을 동기조상기로 공급한 경우이다.

동기조상기로 2기의 순동 무효전력을 공급하면 [표 2.4]와 같이 신제천에서 공급된 순동 무효전력이 [표 2.3]에서 1기로 신제천에서 공급된 858 (MVar) 보다

큰 순동 무효전력이 공급되면, 다른 지역의 고전압을 막기 위하여 진상으로 운전되고 있음을 볼 수 있고, 2기 모두 지상으로 운전되는 신제천, 청원의 사고시 체천지역을 중심으로 순동 무효전력이 부족함을 알 수 있다.

모선명	Case 단위 (MVar)					
	1	2	3	4	5	6
신가평	-134					
의정부		-171				
동서울			-42			
신안성				-230		
서서울					-199	
청원						121
신제천	911	920	894	931	893	818
Q-Loss	21.660	21.674	21.616	21.715	21.691	21.515

[표 2.4] 2기 순동 무효전력원 검토

동기조상기 모델로 모의할 경우 진상으로 운전되는 경우가 발생하게 된다. 물론, 계통을 유지하려면 진상으로 운전해야 할 경우도 발생할 것이다. 하지만, 본 논문에서는 지상발전만을 고려하려 한다.

하지만, 동기조상기 모델로는 지상발전만을 고려할 수가 없기 때문에 순동 무효전력원의 특성을 가지는 무효전력을 이용하여 상정사고를 모의하였다.

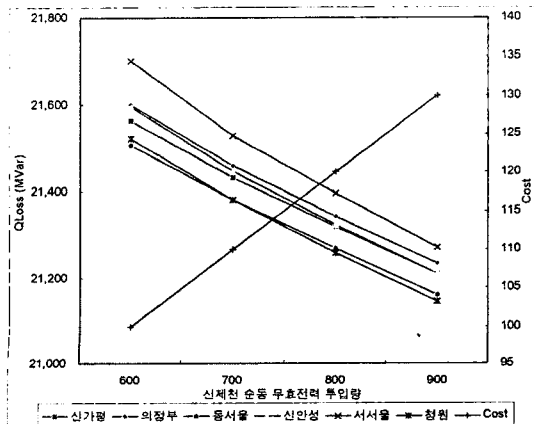
#### 2.4 순동 무효전력 투입위치 및 투입량 검토

신가평-신태백 2회선 상정사고에서 순동 무효전력원의 지상운전에 대해서 순동 무효전력원의 경제성 - 초기 설치비, 단위 무효전력 증가에 대한 단위 비용, 다른 상정사고 및 계통 운영에 대해서 통합적으로 동작 할 수 있는 모선 등 - 을 고려하지 않는다면, 계통에 필요한 순동 무효전력원은 신제천에 850 - 860 [MVar]의 순동 무효전력원 1기로도 충분하다. 하지만, 순동 무효전력원 투입에 대한 경제성을 고려하여 순동 무효전력원 투입의 최적 위치 및 용량을 산정해야 한다.

본 논문에서는 단지 단위 무효전력 증가에 대한 단위 비용을 일차 함수로 사용하여 순동 무효전력원 설치 선정의 가능성만을 제시하려 한다.

하나의 예로서 계통 전체의 순동 무효전력 투입에 따른 Q-Loss와 Cost를 고려하여 이를 산정하였다. 순동 무효전력원 투입의 Cost는 다음과 같은 일차의 함수로 사용하여 순동 무효전력 크기를 Cost로 산정하였다.

$$\text{Cost} = kQ_G \quad (k = 1)$$



[그림 2.3] 계통 Q-Loss와 순동 무효전력 Cost 곡선

[그림 2.3]에서는 신가평, 의정부, 동서울, 신안성, 서서울, 청원 모선에 각각 400 [MVar]의 순동 무효전력원을 설치하였을 경우 신제천에 600 [MVar] 부터 900 [MVar]까지 제 2기의 순동 무효전력원을 투입한 경우 전체 계통의 Q-Loss의 곡선과, Cost 곡선을 도시하였다.

각각에 투입된 400 [MVar]의 순동 무효전력은 신제천에 최저 600 [MVar]의 순동 무효전력을 투입한 경우 계통 유지에 필요한 최저 용량이다.

[그림 2.3]에서의 Cost 곡선에 대하여 순동 무효전력 투입위치와 투입량은 신제천 700 - 750 [MVar]에 대하여 동서울 400 [MVar] 또는 청원 400 [MVar] 선정된다.

하지만, 이 경우 신제천을 제외한 각 모선에 투입될 순동 무효전력량이 지상운전 조건 및 400 [MVar]로 한정되어 있기 때문에 다른 경우도 고려해야만 한다.

여기서 사용된 Cost 곡선은 단지 일차 함수로 표현되어 있기 때문에 적당한 투입 위치와 투입량이 선정된 것이 아니다. 실제 투입 위치와 투입량은 초기 설치비, 단위 무효전력 증가에 대한 단위 비용, 다른 상정사고 및 계통 운영에 대해서 통합적으로 동작 할 수 있는 방안 등을 고려하여 최적의 모선에 설치되어야 한다. 따라서 위와 같은 조건을 만족하는 Cost 곡선이 순동 무효전력원의 투입 위치와 투입량 산정에 사용되어야 한다.

### 3. 결 론

2004년도 Peak 계통에 대하여 신가평-신태백 2회선 상정사고시 최소의 순동 무효전력 값으로 계통을 유지하였을 경우 의정부 지역 및 체천-청원 부하 지역은 저전압 현상으로 인하여 계통의 붕괴를 유발하게 된다.

경제성을 무시한다면, 850 - 860 [MVar]의 순동 무효전력원을 신제천 지역에 투입함으로써 계통의 붕괴를 막고 계통 전압을 0.96-1.03 [P.U]로 유지할 수 있다. 하지만, 경제성을 고려한다면 이것이 최적이라고 할 수는 없다. 초기 설치비, 단위 무효전력 증가에 대한 단위 비용, 다른 상정사고 및 계통 운영에 대해서 통합적으로 동작 할 수 있는 방안 등을 고려하여 최적의 투입위치와 투입량을 선정해야 한다.

본 논문에서는 동기조상기 모델을 이용하여 계통에 필요한 순동 무효전력의 필요 한계값을 검토하였고, 순동 무효전력의 특성을 이용하여 상정사고시에 필요한 2기 이상의 순동 무효전력원을 검토하였다.

선정된 순동 무효전력원의 투입 위치와 용량은 임의의 Cost 곡선을 이용하여 신제천 700 - 750 [MVar]에 대하여 동서울 400 [MVar] 또는 청원 400 [MVar]이다.

이와 같은 방법을 이용한다면, 수도권 및 인근지역에 대한 주요 송전선로 상정사고에 대하여 필요한 순동 무효전력원의 한계값을 계산 할 수 있고, 또한, 필요한 순동 무효전력원의 설치 기준을 제시할 수 있다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 전력거래소, "수도권 순동 무효전력확보방안에 관한 연구", 2002. 03
- [2] 김원경, "부하 동특성을 고려한 동적 전압안정도에 대한 연구", 1995. 10
- [3] 최장흠, "최적화 기법을 적용한 전압제어 조류계산", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A권, p112, 2001. 07
- [4] 신만철, "발전력 상하한치를 고려한 경제조류계산", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A권, pP119, 2001. 07