

## 정전콘덴서 계획기법 및 적용사례 연구

장재원, 김태욱  
한국전력공사

### A study on static condenser planning method & applying case

Jaewon Chang . Taek Kim  
Korea Electric Power Corporation

**Abstract** - 매년 증가하는 수요에 맞추어 원활하게 전력을 공급하기 위해서는 발전력 증대, 송전선로 건설 등의 유효전력 공급설비 확충 뿐만아니라 적절한 전압보상 설비가 필요하다.

이에따라 한국전력공사에서는 전력계통의 적정전압유지를 위한 정전콘덴서 설치계획을 매년 수립 시행해오고 있다. 그러나, 최근의 전력산업 구조개편에 의한 계통운영여건 변화, 수도권의 발전력대비 수요 점유비의 지속 증가 등 무효전력 수급관련 주변여건의 변화로 보다 정밀한 계획수립에 대한 요구가 심화되고 있다. 예년의 정전콘덴서 설치계획 수립이 단순히 적정전압유지를 위한 소극적 차원에서 이루어졌다면 근래의 계획은 전력계통의 전압안정도 확보는 물론 계통계약 최소화까지 고려되는 적극적인 방향으로 변화되고 있다.

본 고에서는 이렇게 다양화되고 있는 여건 변화에 부응하기 위해 필요한 무효전력설비 계획관련 방법론 고찰과 이를 토대로 검토된 2003년 우리나라 계통 적용사례를 다루었다.

## 1. 서 론

현재 우리 전력계통의 무효전력 보상설비는 순동무효전력 보상용으로 345kV 서대구변전소에 설치된 진상, 지상 각100MVar급의 SVC와 154kV 강진변전소에 설치된 80MVar급의 UPFC가 설치 운영되고 있고, 대부분의 지상무효전력에 대한 보상은 154kV 및 23kV측에 설치된 정전콘덴서에 의해 이루어지고 있으며, 심야 경부하시 등의 진상분 보상을 위한 설비는 345kV 변전소에 설치되어있는 분로리액터가 주종을 이루고 있다. 최근에는 계통운영관련 주변여건의 변화와 수도권의 발전력대비 수요 점유비의 지속적인 증가로 정전콘덴서의 설치 필요량이 매년 증가되고 있으며, 최근 수년간은 매년 1,000MVar 이상의 정전콘덴서가 설치되고 있다. 본 고에서는 이렇게 나날이 그 중요성이 부각되고 있는 정전콘덴서 설치계획 수립 시 고려해야할 사항들에 대해 정리해보고 실제 적용을 위한 2003년도 하절기 최대부하시의 예상계통에 대한 계통검토 결과와 이를 토대로 수립된 2003년 정전콘덴서 설치계획 사례분석 결과에 대해 기술하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 무효전력 설비 계획 시 고려요소

무효전력은 그 발생 및 소비원이 다양하고 계통의 상태에 따른 현상도 복잡하여 무효전력 설비 계획 시는 일반적인 유효전력 공급설비 계획 수립 시 보다 다양한 요소 고려 및 정밀한 해석을 필요로 한다. 이와 관련하여 본 절에서는 무효전력 설비 계획시 고려해야할 일반적인 사항에 대해 개괄적으로 살펴보았다.

#### 2.1.1 설비별 고려요소

##### ○ 송전선로

송전전력을 SIL과 같게 할 경우는 선로내의 무효전력 수요가 없어 구간 각 점의 전압은 1.0pu로 일정하나, 송전전력이 SIL보다 커지면 선로중간에서 무효전력을 필요로 하여 위치에 따라 전압차가 발생한다. 이 경우는 적당한 무효전력 보상이 필요하다.

##### ○ 발전기

발전기는 주요한 무효 전력원이나 공급 한계 도달 시 계자 및 여자기 보호장치 등에 의해 발전기가 트립되면 계통전체의 전압안정도 저하의 주요 원인이 될 수 있으므로 무효전력 설비 계획시 이에대한 고려가 무엇보다 중요하다.

##### ○ 변압기

무효전력 설비 계획측면에서 변압기는 그 자체가 무효전력 부하인 점, 특히 포화시 여자전류 급증에 의한 무효수요 급증과 계통전압 저하시 OLTC 자동운동에 의한 계통 전압안정도 저하특성을 고려할 필요가 있다.

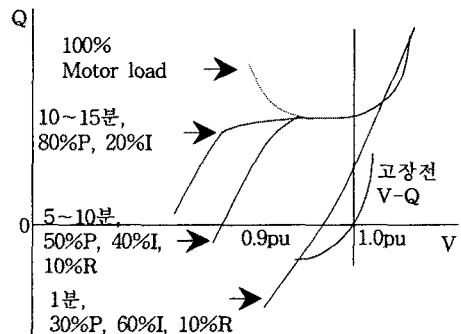
### 2.1.2 부하관련 전압특성

##### ○ 부하역율

부하역율은 유효부하를 공급하는데 필요한 무효전력의 양을 직접 나타내므로 무효전력 계획 검토시 다른 어떤 요소보다도 정확한 고려가 필요하다.

##### ○ 부하특성

부하의 종류에 따라 무효전력을 필요로 하는 형태가 상이하므로-특히, 시간에 따라, 무효전력 계획수립을 위한 계통 검토시 이러한 특성을 반영해야 한다. [그림1]은 계통고장 후 부하특성별 전압과 무효전력의 관계를 나타낸 것이다.



[그림1]

### 2.1.3 기타 고려요소

##### ○ 무효전력 부족의 원인

무효전력 설비 계획시에는 이상적인 부하증가, 정전콘덴서, 발전기, 송전선로 등의 불시 트립 및 송전단축의 전압강하 등 계통운영시 나타날 수 있는 무효전력 부족의 원인들에 대해서도 세밀하게 고려해야 한다.

## 2.2 정전콘덴서 설치계획 사례검토

본 절에서는 2003년 하절기 최대부하 시 우리나라 계통에 대한 검토결과와 위에서 살펴본 제요소를 고려하여 수립된 2003년도 정전콘덴서 설치계획 수립사례에 대해 기술하고자 한다.

### 2.2.1 2003년 예상피크계통 검토

#### ○ 수급 실적 및 전망

2002년 최대수요는 4천5백77만3천kW를 기록하여 전년대비 6.1% 증가하였으나, 2003년에는 5.1% 증가한 48,124MW에 이를 것으로 전망(제1차 전력수급기본계획, 산업자원부)되어 금년보다 약 235만kW 정도의 부하가 증가될 것으로 예상되며, 전력수급 실적 및 전망치를 아래 [표1]에 나타내었다.

단위 : MW(%)

| 구분             | 2002 실적         | 2003전망          | 증감     |
|----------------|-----------------|-----------------|--------|
| 설비 용량          | 52,649          | 54,707          | 2,058  |
| 최대 수요<br>(증가율) | 45,773<br>(6.1) | 48,124<br>(5.1) | 2,351  |
| 예비율            | (15.1)          | (13.7)          | (-1.4) |

[표1]

#### ○ 주요 송변전설비 건설 전·후 전압 검토

2003년에 준공예정인 주요 송변전설비의 건설이 전압에 미치는 영향에 대해 모의한 결과 345kV 영등포변전소 건설 및 관련 계통 변경시 수도권 주요모선의 전압이 약 6kV 정도 상승하는 것으로 나타났고, 아래 [표2]의 3개 송변전설비 건설사업 모두 완료시는 수도권 주요모선의 평균전압이 약 10kV 정도까지 상승할 것으로 검토되었다.

단위 : kV

| 변전소 | ①영등포 S/S |      | ②서인천-신부평 |      | ③신안성-신성남 |      | ①+②+③ |      | 차이 |
|-----|----------|------|----------|------|----------|------|-------|------|----|
|     | 건설 전     | 건설 후 | 건설 전     | 건설 후 | 건설 전     | 건설 후 | 건설 전  | 건설 후 |    |
| 양주  | 341      | 354  | 353      | 354  | 352      | 354  | 337   | 354  | 17 |
| 영서  | 339      | 344  | 343      | 344  | 339      | 344  | 335   | 344  | 9  |
| 동서울 | 344      | 352  | 351      | 352  | 348      | 352  | 339   | 352  | 13 |
| 서서울 | 340      | 343  | 343      | 343  | 340      | 343  | 336   | 343  | 7  |
| 화성  | 342      | 345  | 344      | 345  | 341      | 345  | 338   | 345  | 7  |
| 신용인 | 344      | 350  | 350      | 350  | 349      | 350  | 342   | 350  | 8  |
| 평균  | 342      | 348  | 347      | 348  | 345      | 348  | 338   | 348  | 10 |

[표2]

#### ○ 주요선로 2회선 고장시 현상

| 대상 선로        | 고장시 현상                          |
|--------------|---------------------------------|
| 345kV 서인천T/L | · 계통전압 저하 (의정부-328kV)           |
| 345kV 울정T/L  | · 계통전압 저하 (영서-337kV)            |
| 345kV 아산T/L  | · 계통전압 저하 (청원-331kV)            |
| 765kV 신서산T/L | · 조류계산 발산<br>· 무효전력 한계도달 발전기 과다 |
| 345kV 신계천T/L | · 계통전압 저하 (청원-334kV)            |
| 345kV 영광T/L  | · 조류계산 발산(신김계계 전압강하)            |

[표3]

주요선로 상정고장시 조류계산결과 [표3]에서 보는 바와 같이 765kV 선로 및 345kV 영광-신김계간 2회선 동시 고장시 전압안정도가 불안정한 것으로 검토되었으나, 345kV 서인천T/L 등 예년에 고장시 전압안정도에 영향이 컸던 주요선로들은 765kV 신서산T/L 준공 등의 계통보강으로 루트고장 시에도 전압안정도에 커다란 영향

은 없을 것으로 검토되었다.

#### ○ 2003년 계통 검토결과 종합

2003년에는 수요증가 대비 송전선로 신·증설이 많지 않은 편이나, 345kV 신안성-신성남간 선로 등 관련 송전선로 건설과, 345kV 영등포변전소 준공으로 계통 말단의 중부계 부하, 500~600MW를 송전단인 영서계로 이전시 수도권 전압안정도 향상에 효과가 클 것으로 예상되며, 765kV 2회선 본격 격상으로 복잡조류 한계의 대폭 증가가 예상되나, 루트고장 고려시 전압안정도 확보가 전제되어야 하므로 2003년 정전콘덴서 설치계획은 765kV 루트 고장대비 전압안정도 확보 및 계통제약 최소화에 초점이 맞춰져야 할 것이다.

### 2.2.2 정전콘덴서 설치계획 검토

#### ○ 주요 전계

검토대상 계통은 일반적으로 정전콘덴서의 운전 소요량이 최대가 되는 2003년 예상피크계통을 기준으로 하였으며, 부하역율의 정확한 고려를 위해 예년에는 전국을 수도권과 기타지역으로만 대별하여 개략적인 경험치를 적용하였으나, 금년에는 1년간 총 44회에 걸친 자료조사 결과를 바탕으로 계절별, 요일별, 시간대별로 자체 분석한 결과에 약간의 마진을 고려하여 아래 [표4]와 같이 지역별로 세분 적용하였다.

| 수도권  | 제천   | 대전   | 광주   | 영남권  | 소내   |
|------|------|------|------|------|------|
| 90.5 | 91.7 | 92.0 | 93.2 | 92.8 | 85.0 |

[표4]

한편 역율 분석결과 적용 전·후의 해석결과 차이를 살펴보면, 주요 345kV 모선의 전압은 3~4kV 정도, 손실은 최대부하시를 기준으로 약15,000kW 정도, 복잡조류 한계는 약300MW 정도 역율 분석결과 적용후가 향상되는 것으로 나타나 정확한 부하역율의 고려가 해석결과에 미치는 영향이 매우 큰 것을 확인할 수 있었다. 한편 발전기 단자전압은 1.0pu를 기준으로 하였고, 악조건 상정을 위해 수도권 발전력 중 서울화력 4.5호기의 정지를 전제로 하였으며, 검토기준전압은 정상시는 1.0pu (345kV), 고장시는 0.95pu(328kV) 이상이 유지되도록 고려하였다.

#### ○ 정전콘덴서 소요량 산정

정전콘덴서 소요량 산정은 먼저 하계 피크시 각 345kV 모선전압이 기준범위 내로 유지되도록 345kV 계통 단위별로 정전콘덴서 소요량을 산출 후, 765kV 등 주요선로 Route 고장시도 기준전압 유지토록 SC 추가 투입하는 방법으로 산정하였으며, 특히 765kV 루트 고장시 무효전력 한계도달 예상발전기를 찾아내어, 무효전력 한계도달 발전기 인근 계통에 정전콘덴서를 우선 투입토록 하고, (송전단 인근 보상) 765kV 루트 고장시 조류편중 예상계통에도 SC를 추가 투입하는 방법을 택하였다.

이렇게 검토된 결과를 요약해보면, 정상시 전압강하 예상계통은 영서, 신시흥, 서서울, 군산, 신계동, 신육천계통 등 이었고, 765kV 루트 고장시 무효전력 한계도달 예상발전기는 평택화력, 분당, 안양복합, 한강수력계, 보령화력(1,3,6호기측), 당진화력의 발전기 등으로 검토되었으며, 조류편중예외의 한 저전압 우려 계통으로는 아산-화성-서서울, 신시흥-영서 계통 등으로 검토되었다. 여기에 국부적계통의 특수성을 감안하여 약간량을 추가하여 최종 계획으로 확정하였다.

### 2.2.3 정전콘덴서 설치계획 수립결과

이렇게 해서 최종 결정된 정전콘덴서 설치계획 수립결과와는 [표5]와 같다.

| 구분  | 변전소명 | 소요량 |     |    |
|-----|------|-----|-----|----|
|     |      | 정상시 | 고장시 | 소계 |
| 남서울 | 영서계  | 50  | 0   | 50 |
|     | 분당계  |     | 40  | 40 |

|     |         |     |     |       |
|-----|---------|-----|-----|-------|
| 수 원 | 서서울계    | 100 |     | 100   |
|     | 신용인계    |     | 100 | 100   |
|     | 신시흥계    |     | 100 | 100   |
|     | 화 성 평택계 |     | 300 | 300   |
| 제 천 | 신제천계    | 50  | 100 | 150   |
| 대 전 | 신김제계    | 100 | 50  | 150   |
|     | 군산계     | 110 |     | 110   |
|     | 청양계     | 100 |     | 100   |
|     | 아산계     | 50  | 150 | 200   |
|     | 신옥천계    | 50  |     | 50    |
|     | 신계룡계    | 100 |     | 100   |
| 광 주 | 신광주계    |     | 50  | 50    |
| 대 구 | 서대구계    | 50  |     | 50    |
| 제 주 | 제주T/P계  | 40  |     | 40    |
| 합 계 |         | 800 | 890 | 1,690 |

(참 고 문 헌)

- (1) 권태원, 장재원, 김태욱, "부하역률 분석 및 적용에 관한 연구", 대한전기학회지, A, 41-43페이지, 2002.7  
(2) PTI, "Voltage control and reactive power planning",

[표5]

위 [표5]에서 알 수 있듯이 2003년 정전콘덴서 설치계획은 예년의 계획이 수요단인 수도권, 특히 서울강북지역에 집중된 반면 금년에는 765kV 루트고장시 무효전력 한계 도달예상 발전기 무효분 보상 및 765kV 루트 고장시 조류편중이 예상되는 계통의 보상에 초점이 맞추어져 중서부권 계통에 집중 설치되는 특징이 있다.

#### 2.2.4 정전콘덴서 설치완료시 예상효과

상기의 정전콘덴서 설치계획이 완료되면 아래 [표6]과 같이 계통전압 안정도가 향상할 것으로 예상되고,  
단위 : kV

| 변전소명 | 설치전 정상시 | 설치 후 |              |        |        |         |
|------|---------|------|--------------|--------|--------|---------|
|      |         | 정상시  | Route 고장 상정시 |        |        |         |
|      |         |      | 서인천 T/L      | 아산 T/L | 영광 T/L | 765 T/L |
| 양 주  | 353     | 359  | 340          | 353    | 356    | 347     |
| 동서울  | 349     | 358  | 342          | 346    | 353    | 338     |
| 신안성  | 348     | 358  | 346          | 342    | 353    | 335     |
| 서서울  | 342     | 353  | 348          | 343    | 350    | 331     |
| 아 산  | 346     | 354  | 352          | 352    | 352    | 332     |
| 신제천  | 354     | 360  | 353          | 353    | 354    | 349     |
| 신김제  | 343     | 355  | 353          | 350    | 343    | 347     |
| 신광주  | 351     | 355  | 354          | 352    | 332    | 351     |
| 평 균  | 347     | 355  | 348          | 348    | 349    | 339     |

[표6]

복상조류 한계치도 피크치 기준으로 설치 전에 비해 약 700MW 정도 상승할 것으로 전망되며, 송변전 손실 저감 효과도 커서 연간 약 30억원 정도의 손실 절감 효과가 발생할 것으로 보인다.

### 3. 결 론

이상에서 우리나라 계통의 무효전력 설비운영 현황 및 무효전력 설비계획, 특히 정전콘덴서 설치계획과 관련된 사항에 대해 살펴보았다.

2003년 계통검토 결과에서 알 수 있듯이 이미 추진 중인 주요 건설사업의 적기준공과 사해검토에서 보여준 정전콘덴서 설치계획이 정상적으로 추진되면 2003년 계통운영에는 커다란 문제가 없을 것으로 보이나, 장기적인 전압안정도 확보를 위해서는 순동무효전력의 확보도 필요할 것으로 예상된다. 또한 2004년으로 예정되어있는 도매경쟁시장 도래 시는 현재보다 계통운영관련 주변여건의 다변화가 예상되는 만큼 향후에는 무효전력계획 수립시 동적특성에 대한 고려가 더욱 더 중요하리라 판단되어, 이에 대한 추가 연구가 활발히 진행되어야 할 것으로 보인다.