



# 80MVA KEPCO UPFC 운영방안

추진부, 객노홍, 장병훈 / 한전전력연구원 전력시스템기술그룹

## 서 론

### 가. UPFC 설치 인근계통 특성

아래 그림은 한국의 전라남도 지역 계통을 나타내고 있다. 전라남도 지역은 광주, 목포, 여수 지역으로 나누어 생각해 볼 수 있다.

각 지역 특성을 살펴보면, 광주지역에는 대도시인 광주광역시와 목포지역에는 대도시인 목포시와 여수지역에는 대도시인 여수시가 있으며, 또한 여기에 있는 영광 N/P에서는 약 1000MW용량의 원자력 발전기가 6대 운전되고 있고, 대부분의 전력이 서울지역으로 북상하며, 일부 전력을 전라남도 지역에 공급한다. 여수지

역에는 여수화력과 호남화력 등 중소 규모의 발전기가 모두 약 1000MW를 발전하고 있으며, 이 지역에는 주요부하로서 여천공단이 있으며, 대부분은 지방 소도시 및 농어촌 부하로 구성된다. 목포지역도 역시 지방 소도시와 농어촌 부하가 대부분이며, 특히 이 지역에는 제주도로 직류송전을 통해 연결되어 전력을 공급하는 변환소가 있다.

지역간 특성을 살펴보면, 광주지역과 목포지역 사이(M-G Interface)에는 345kV 선로 1Route와 154kV 선로 2Route로 연결되어있으며, 광주와 여수지역 사이(G-Y Interface)에도 역시 345kV 선로1Route와

154kV 선로1Route로 연결되어 있다. 여수와 목포지역 사이(Y-M Interface)에는 오직 154kV 선로 1Route 만이 연결되어 있으며, 여기에 UPFC가 설치되어 전압 및 조류를 제어하고 있다.

이 지역의 주요 특성은, 345kV 신화순-신강진 선로 고장으로 이 선로가 차단되면, 목포지역이 전원지로부터 멀어지게 되어, 여러 가지 동적 불안정 현상이 발생하게 되는 것과, 목포지역과 연결된 HVDC를 통해 제주지역으로 섬 지역의 약 40%의 전력을 공급하고 있다는 것이다.

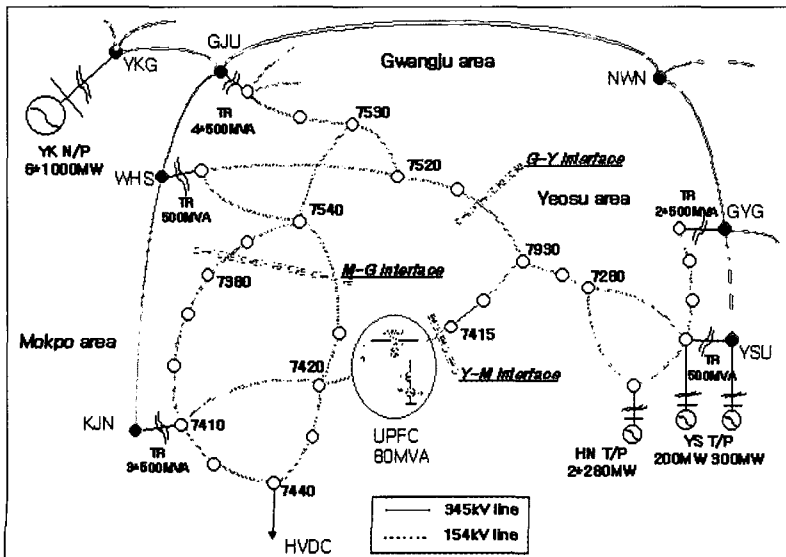


그림 1 전라남도 지역의 간략 계통도

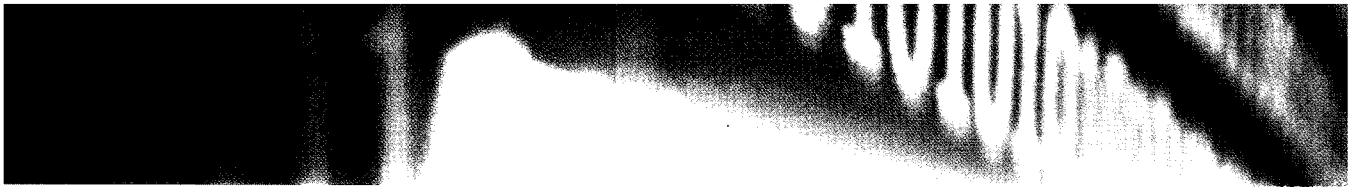
2003.7

소특집

# 강진변전소 80MVA UPFC 시스템



- 강진변전소 UPFC 기기 구성 및 설치
- 강진변전소 UPFC 시험 및 시운전
- UPFC Pilot Plant의 계통 적용 효과 분석
- UPFC운전자를 위한 교육용 시뮬레이터의 개발
- EMTDC를 이용한 강진 변전소 UPFC 상세 모델 개발



## 나. 제어모드 장단점 비교

### (가) Shunt Inverter

| 구분 | ● 무효전력제어모드<br>(VAR Control Mode)                           | ● 자동전압제어모드<br>(Automatic Voltage Control Mode)         |
|----|--|--|
| 특징 | - 입력지령이 유도성 또는 용량성의 무효전력<br>- 병렬인버터 제어기에 의하여 병렬측 전류지령으로 변환 | - 입력지령이 모션전압<br>- 모션전압을 일정 값으로 유지시키기 위해, 인버터의 무효전류를 제어 |
| 장점 | - 병렬인버터에 의해 발생되는 무효전류를 직접 제어할 수 있음.                        | - 계통 동요시 전압변동을 억제하여 일정전압을 유지시킴.                        |
| 단점 | - 계통 동요시 일정 전압 유지가 곤란함.                                    | - 계통변화시 전압 기준값 지정을 위한 계통해석이 필요함. (조류계산, OPF등)          |

### (나) Series Inverter

| 구분 | ● 직접전압주입모드<br>(Direct Voltage Injection Mode)                        | ● 자동조류제어모드<br>(Automatic Power Flow Control Mode)                          |
|----|--|--|
| 특징 | - 지령된 기준값에 따라 선로에 전압벡터 주입<br>- 특별한 경우 무효전력만 보상 (주입전압이 선전류의 ±90도 위상차) | - 지령된 P, Q 기준값을 유지하기 위해 선로에 직렬로 전압벡터 주입제어<br>- 일정전력 유지 동작을 통해 전력 시스템 진동 감쇄 |
| 장점 | - 인버터의 출력을 지정할 수 있음. (특히 최대출력)                                       | - 계통 동요시 조류변동을 억제하여, 조류를 일정하게 유지시킴.  |
| 단점 | - 계통 동요시 일정 조류 유지가 곤란함.  | - 계통변화시 P,Q 기준값 지정을 위한 계통해석이 필요함. (조류계산, OPF등)                             |

## UPFC 적용효과 분석

전남지역 계통에 상정고장 등 상황변화가 생길 때 UPFC가 어떠한 제어모드로 운전되어야 하는지에 대한 결정을 하기 위해 다음과 같이 UPFC 적용효과를 분석하였다. 즉, 아래와 같은 상정고장에 대해 여수와 목포지역 사이(Y-M Interface)에 설치된 UPFC의 적용효과를 모의하여, 전남 지역의 동특성 변화를 분석하였다.

- 육지계통인 전라남도 지역에서 가혹 상정고장인 345kV 신화순-신강진간 선로 고장, 대규모 외란인 영광원자력 발전기 1기 탈락, 154kV 해남모선 -2000[MVar] On/Off 등

을 모의하여, 전라남도과 제주도 계통의 동특성과 UPFC의 적용효과가 분석되었다.

- 섬계통인 제주 지역에서 가혹 상정고장인 154kV 제주-동제주간 선로 고장, 대규모 외란인 제주화력 발전기 1기 탈락, 154kV 동제주 모선 -600[MVar] On/Off 등을 모의하여 HVDC를 통해 육지계통으로 전달되는 동특성 및 UPFC 적용효과가 분석되었다.

- 동적 불안정 현상은 AC 계통 모션전압, 유효조류, DC 전압, DC 전류 등의 동요현상에 대해 분석하였다.

육지계통과 제주계통에 대하여 위와 같이 적용된 외란에 대한 전압 및 유효전력 진동현상 발생여부와 이에 대한 UPFC의 전압 및 조류 제어효과를 분석한 결과 다음과 같이 UPFC의 적용효과가 나타났다.

### 가. UPFC 전압 제어효과

UPFC는 전압제어를 위해 해당 모션전압을 일정하게 유지하는 정전압 제어모드와 일정 무효전력을 공급하는 정전류 제어모드를 가지고 있으나, 아래 표에서와 같이 UPFC가 정전압 제어를 통해 계통외란 발생시 전압동요의 감쇄에 기여하는 것이 보다 효과적일 것으로 생각된다. 즉, 표에서 나타난 바와 같이 외란위치 및 종류에 따라 일부에서는 동요가 발생하고 있으며, 동요가 발생되지 않는 경우도 있다. 그러나, 동요가 발생된 모든 경우에 대해 그림 1.2에서와 같이 UPFC가 정전압 제어모드로 동작할 경우 전압동요를 감쇄하는 적용효과가 있는 것으로 나타났다.

표 1 UPFC 전압제어 효과

| 외란 위치 및 종류 | 동요발생 및 적용효과      | UPFC 전압 제어효과 |      |   |               |      |   |
|------------|------------------|--------------|------|---|---------------|------|---|
|            |                  | 동요발생여부       |      |   | UPFC 적용시 감쇄여부 |      |   |
|            |                  | 육지           | HVDC | 섬 | 육지            | HVDC | 섬 |
| 육지계통       | 345kV Line Fault | 0            | X    | X | 0             | -    | - |
|            | 1000MVA Unit Off | 0            | 0    | 0 | 0             | 0    | 0 |
|            | -2000MVar On/Off | 0            | X    | X | 0             | -    | - |
| 섬계통        | 154kV Line Fault | 0            | 0    | 0 | 0             | 0    | 0 |
|            | 70MVA Unit Off   | X            | X    | 0 | -             | -    | 0 |
|            | -600 MVar On/Off | X            | X    | 0 | -             | -    | 0 |



## 소·특·집 · ①

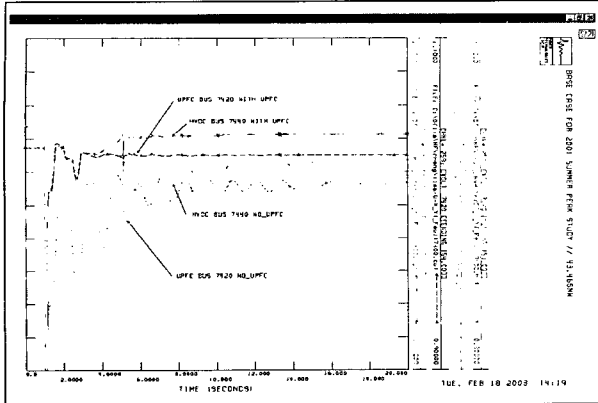


그림 2 육지계통 가혹 외란시 UPFC 전압제어효과

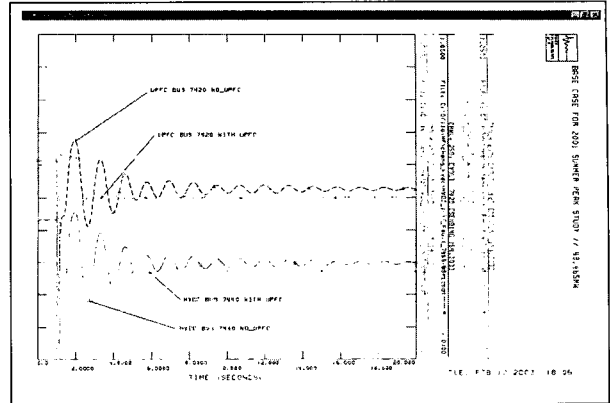


그림 3 육지계통 소규모외란시 UPFC 전압제어효과

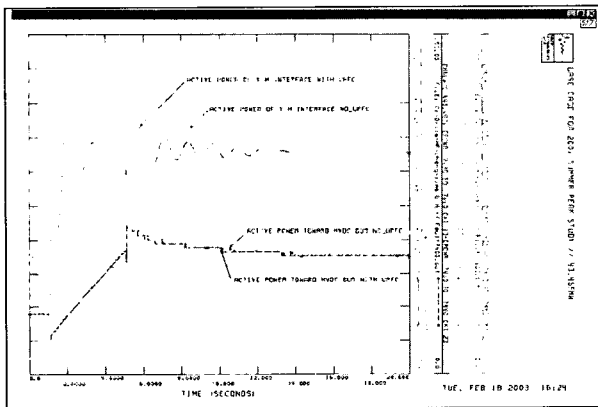


그림 4 육지계통 가혹 외란시 UPFC 조류제어 효과

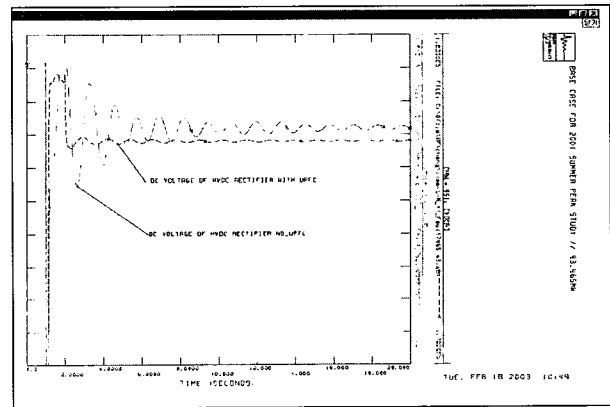


그림 5 육지계통 소규모외란시 조류제어효과

### 나. UPFC 조류 제어효과

UPFC는 조류제어를 위해 해당 선로의 유효 및 무효전력을 일정하게 유지하는 정조류 제어모드와 선로에 직렬로 삽입되는 전압벡터의 크기 및 위상을 제어하는 정전압 제어모드를 가지고 있다. 아래 표에서와 같이 육지계통 345kV Line Fault시 육지계통

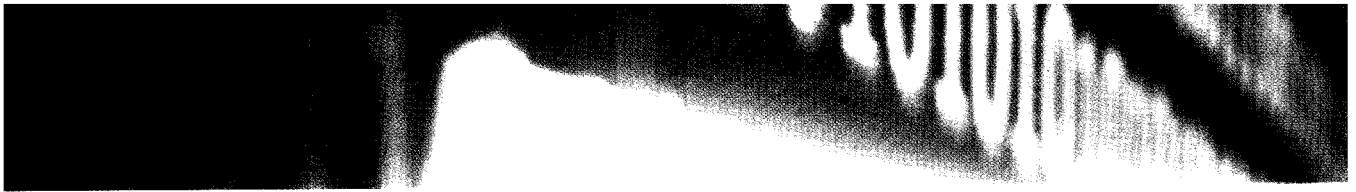
에 발생된 유효전력의 동요현상에 대해 그림 3과 같이 UPFC가 정조류 제어를 하여도 효과가 거의 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 그 외의 모든 외란에 의해 발생하는 유효전력 동요에 대해서는 그림 4와 같이 감쇄효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서, 육지계통 345kV Line Fault인 345kV 신화순-신강진 선로 고장시에는 UPFC의 최대용량으로 전압주입 모드제어를 하여 지역계통의 가혹 상정고장에 대처하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

표 2 UPFC 조류제어 효과

| 외란 위치 및 종류 | 동요발생 및 적용효과      | UPFC 유효전력 제어효과 |      |   |               |      |   |
|------------|------------------|----------------|------|---|---------------|------|---|
|            |                  | 동요발생여부         |      |   | UPFC 적용시 감쇄여부 |      |   |
|            |                  | 육지             | HVDC | 섬 | 육지            | HVDC | 섬 |
| 육지계통       | 345kV Line Fault | 0              | X    | X | X             | -    | - |
|            | 1000MVA Unit Off | 0              | 0    | 0 | 0             | 0    | 0 |
|            | -2000MVar On/Off | 0              | X    | X | 0             | -    | - |
| 섬계통        | 154kV Line Fault | X              | X    | 0 | -             | -    | - |
|            | 70MVA Unit Off   | X              | X    | 0 | -             | -    | - |
|            | -600 MVar On/Off | X              | X    | 0 | -             | -    | - |

### UPFC 세부 운전절차

UPFC의 기본적인 운용전략은 정상상태



시, 병렬인버터는 자동전압제어모드로 운전하여 강진S/S 주변 계통의 안정성을 높이고, 직렬인버터는 자동조류제어모드로 운전하여 계통의 동적응용(dynamic oscillation)를 감쇄할 수 있도록 제어한다.

○ 정상상태 시 운용전략

| UPFC 기능 | 병렬부             |          | 직렬부             |          |
|---------|-----------------|----------|-----------------|----------|
|         | 무효전력제어모드        | 자동전압제어모드 | 직접전압주입모드        | 자동조류제어모드 |
| 적용운전모드  |                 | ○        |                 | ○        |
| 모드결정사유  | 손실 최소화를 위한 전압지정 |          | 손실 최소화를 위한 조류지정 |          |

○ 345kV 신광주-신강진 루트 고장 시 운용전략

| UPFC 기능 | 병렬부              |          | 직렬부             |          |
|---------|------------------|----------|-----------------|----------|
|         | 무효전력제어모드         | 자동전압제어모드 | 직접전압주입모드        | 자동조류제어모드 |
| 적용운전모드  |                  | ○        | ○               |          |
| 모드결정사유  | 상정고장시 필요 보상전압 지정 |          | 최대 조류제어 가능전압 주입 |          |

○ 그 외 상정고장 시 운용전략

| UPFC 기능 | 병렬부                                  |          | 직렬부            |          |
|---------|--------------------------------------|----------|----------------|----------|
|         | 무효전력제어모드                             | 자동전압제어모드 | 직접전압주입모드       | 자동조류제어모드 |
| 적용운전모드  |                                      | ○        |                | ○        |
| 모드결정사유  | · 상정고장시 필요 보상전압 지정<br>· 동적전압 진동 댐핑제어 |          | · 동적조류 진동 댐핑제어 |          |

가. 강진S/S 계통 전압 조정 절차

- 1) 대략 1kV 이하의 계통 전압 조절은 UPFC로 조절함.
- 2) Sh-Cap.의 조작 필요시(관리처 기준) Sh-Cap. 조작
- 3) Sh-Cap. 여유 없을 시, OLTC 조작
  - \* Sh-Cap. 혹은 OLTC 조작 후, UPFC 명령치 변경하여 계통전압 추종하도록 함.

나. UPFC 인버터 명령치 변경이 필요한 경우

\* 단 아래의 사항은 운전경험 및 실적을 통해 조정될 수 있음.

- 1) Sh-capacitor 혹은 OLTC의 동작이 예상되는 시간

|       |    |     |     |     |     |     |           |
|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| 병렬인버터 | 7시 | 10시 | 13시 | 16시 | 19시 | 22시 | 0시<br>30분 |
| 직렬인버터 | 7시 | 10시 | 13시 | 16시 | 19시 | 22시 |           |

- 2) 병렬인버터가 10MVAR 이상 출력의 경우

다. 인버터 명령치 변경 절차

| 구분                   | 제어모드/운전방법                      |  | 비고                 |
|----------------------|--------------------------------|--|--------------------|
|                      | 상시                             | 사고 시   |                    |
| 병렬인버터 (STATCOM/UPFC) | - 전압제어모드 (계통전압 보상)<br>- 무효전력=영 | - 전압제어모드 (전압 보상)<br>- 자동 전압 보상                         |                    |
| 직렬인버터 (UPFC)         | - 조류제어모드 (동적응용 감쇄)<br>- 주입전압=영 | - 전압주입모드 : 345kV 사고 (장용선로 유효조류 최대 증가)<br>- Vd=0, Vq=-1 | 154kV 사고 시는 조류제어모드 |

1) 병렬인버터

가) 마우스를 활용하여 'Menu' 화면에서 'Operator' 화면을 선택한다.

\* 기본화면이 'Menu' 화면이 아닐 경우 우측상단의 'Menu' 화면 버튼을 선택한다.

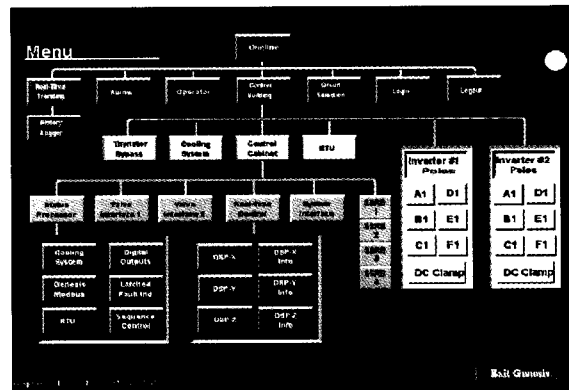


그림 6 'Menu' 화면

나) 전압제어모드의 'Operator' 화면이 표시되면, 좌측 병렬인버터의 'Select Mode' 를 선택한다.

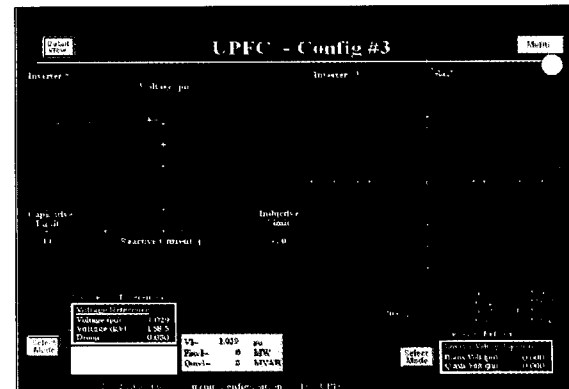


그림 7 'Operator' 화면(병렬인버터 전압제어모드)



## 소 · 특 · 집 · ①

다) 'Inverter #1 Mode Selection' 화면이 디스플레이 되면, 'VAR Control' 모드를 선택하고 'OK' 버튼을 클릭하여 개루프제어인 무효전력 제어모드로 변경한다.

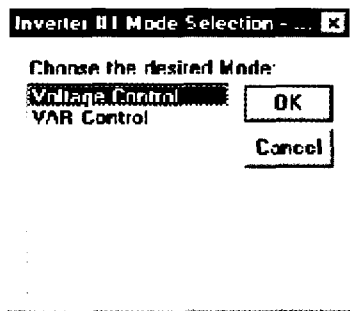


그림 8 제어모드 선택화면

라) 무효전력제어모드의 'Operator' 화면이 디스플레이 되면 병렬인버터 #1의 파란색으로 활성화되어 있는 'VAR Reference' 영역을 마우스로 클릭한다.

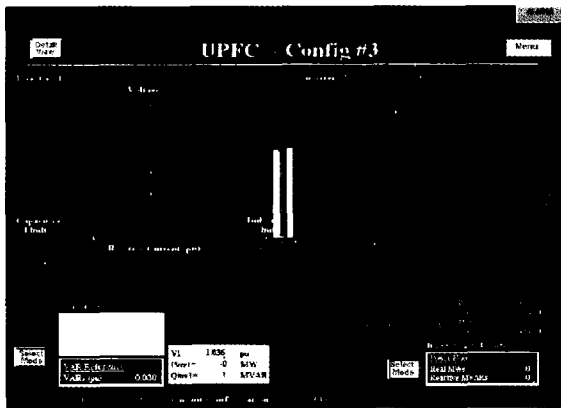


그림 9 'Operator' 화면(병렬인버터 MVAR 제어모드)

마) 'System References' 창에서 무효전력명령을 0[pu]로 입력하여 계통전압을 추종케 한다.

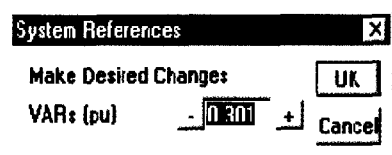


그림 10 무효전력 명령 입력창

바) 그림 4의 화면에서 병렬인버터의 무효전력을 확인하고, 'Select Mode' 를 선택한 후, 그림 3의 'Voltage Control' 을 선택하여 폐루프 제어인 그림 2의 전압제어모드로 운전 한다.

### 2) 직렬인버터

#### ㉠ 정상운전시

가) Genesis 화면이 'Operator' 화면이 디스플레이 되도록 한다.

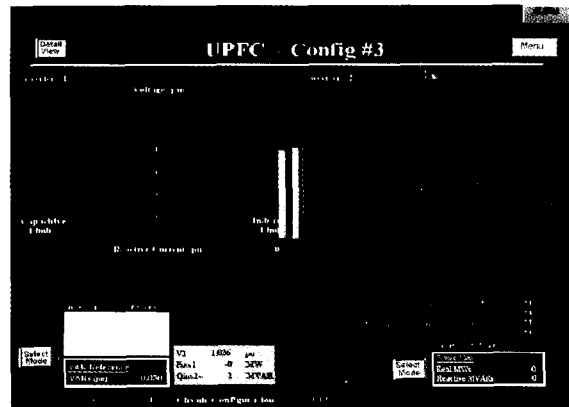


그림 11 운전자 화면(직렬인버터 조류제어모드)

나) 그림 6의 우측 직렬인버터 #2의 'Select Mode' 를 선택한다.

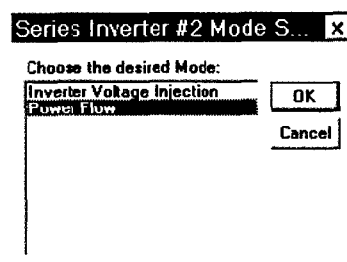


그림 12 제어모드 선택화면

다) 'Inverter Voltage Injection' 을 선택하여 개루프 제어인 전압주입모드로 운전한다.

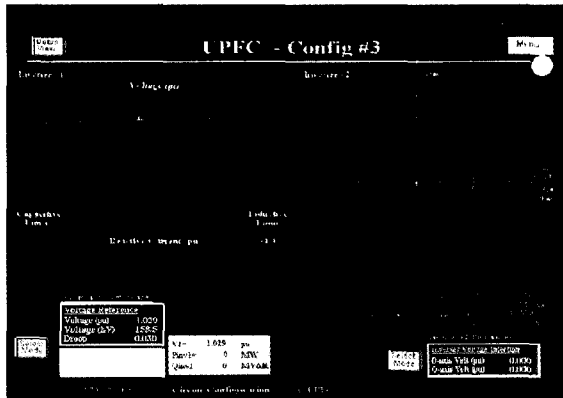
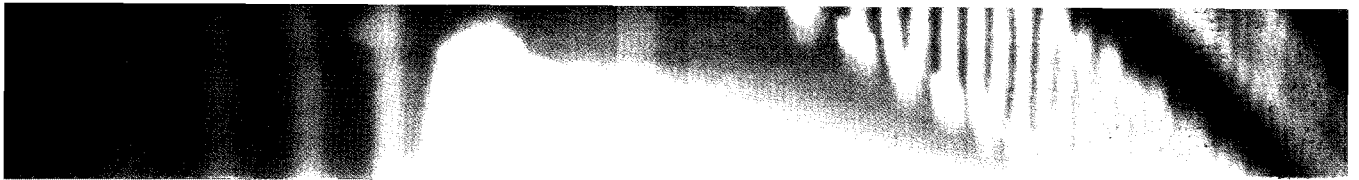


그림 13 'Operator' 화면(직렬인버터 전압주입모드)

라) 강진-장흥간 조류 추종토록 'Inverter Voltage Injection' 활성창을 선택하여, 전압 명령치  $V_d, V_q$ 를 영으로 입력한다.

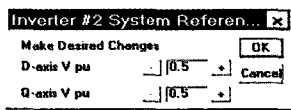


그림 14 주입전압 명령창

마) 그림 8의 'Select Mode' 및 그림 7의 제어모드선택화면에서 폐루프 제어인 조류 제어모드로 변경한다.

◎ 계통 사고 발생 시

가) 345kV 신장진-신광주 루트 고장 시

(1) Genesis 화면이 'Operator' 화면이 디스플레이 되도록 한다.

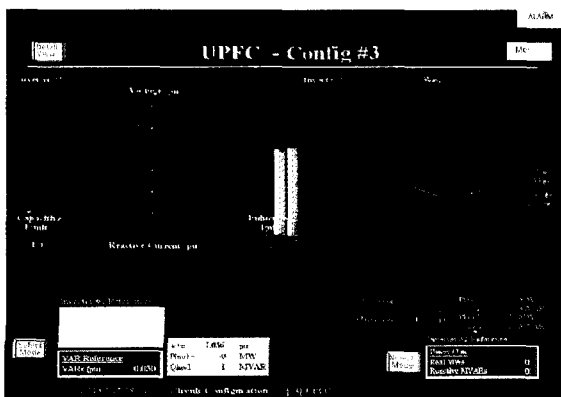


그림 15 운전자 화면(직렬인버터 조류제어모드)

(2) 그림 10의 우측 직렬인버터 #2의 'Select Mode' 를 선택한다.

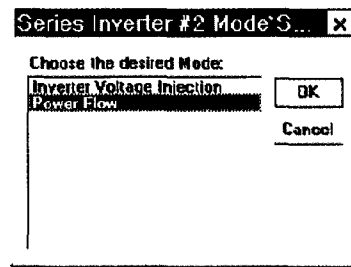


그림 16 제어모드 선택화면

(3) 'Inverter Voltage Injection' 을 선택하여 개루프 제어인 전압주입모드로 운전한다.

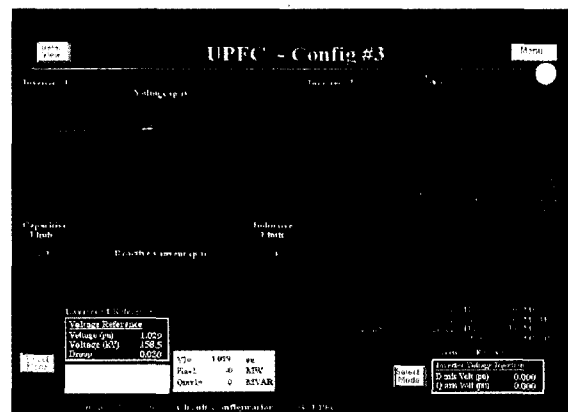


그림 17 'Operator' 화면(직렬인버터 전압주입모드)

(4) 강진-장흥간 조류 추종토록 'Inverter Voltage Injection' 활성창을 선택하여, 전압 명령치  $V_d=0, V_q=-1$ 로 입력한다.

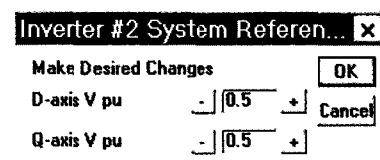


그림 18 주입전압 명령창

(5) 사고가 해소되면 그림 13의 주입전압 명령창



에서  $V_d=0, V_q=0$  입력한 후, 그림 12 화면에서 'Select Mode' 및 그림 11의 제어모드 선택화면에서 조류제어 모드로 변경한다.

나) 345kV 신강진-신광주 루트 의 고장 특별 조치사항 없이 조류제어 모드로 계속 운전.

### 향후 운전 실적 분석 방안

- PSDM 활용하여 UPFC 효과 분석  
인버터 출력, 강진-장흥, 강진-남창, 강진-영암, 강진-신강진간 조류 : 취득
- 인근 Sh-capacitor, OLTC 운전 회수를 비교하여 UPFC 운전 효과 분석
- UPFC 운전 자료 취득

| 취득 자료              | 주 관   | 방 법        |
|--------------------|-------|------------|
| 인근 조류 자료           | 전력연구원 | PSDM 원격 접속 |
| Sh-Cap, OLTC 조작 회수 | 광주관리처 | 급전분소 자료 활용 |
| UPFC 운전 파라미터       | 광주관리처 | 운전자 기록     |

첨부. UPFC 운전절차 흐름도

