



# UPFC운전자를 위한 교육용 시뮬레이터의 개발

■ 한동우, 이학성 / (주)효성 중공업 연구소

■ 김종문, 문승일 / 서울대학교 전기공학부

2002년 말, 한국전력연구원(KEPRI)은 FACTS 기기의 하나인 80MVA 용량의 UPFC(Unified Power Flow Controller)를 (주)효성과 SIEMENS사의 컨소시엄을 통해 강원 지역의 154kV 계통에 설치하였다.

본 교육용 시뮬레이터는, 이와 관련하여 UPFC 운전자가 운전 환경에 익숙해지고, UPFC의 운용 효과에 대한 이해에 도움이 될 수 있도록 개발하였다.

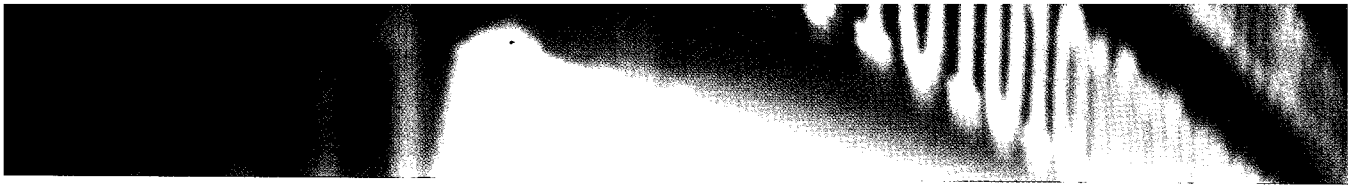
## 서론

최근 반도체 기술이 비약적인 발전을 거듭함에 따라, 반도체를 이용한 전력제어장치가 전력 수송 시스템에 혁명적인 변화를 가져다 줄 것으로 기대되고 있다. FACTS(Flexible AC Transmission System)는 개폐속도가 매우 빠르고, 수명이 반영구적으로 길고 신뢰성이 높은 전력용 반도체를 응용한 기기를 전력 계통에 적용하여 운용함으로써 전력 수송 설비의 기능을 고도화하고 전력 시스템 설비 이용률을 극대화하기 위한 새로운 개념의 전력 시스템이라 정의할 수 있다[1]. 이에 국내·외적으로 FACTS에 대한 기반 연구가 매우 활발히 이루어졌고 실제 계통에 적용하여 운용하는 사례가 늘어가고 있는 추세이다.

여러 가지 FACTS 기기 중 직렬측과 병렬측의 인버터로 구성되는 UPFC(Unified Power Flow Controller)는 가장 진보적인 형태의 FACTS 기기로 평가 받고 있어 추후 국내·외적으로 많은 설치가

이루어질 것으로 기대된다. UPFC는 선로에 걸리는 전압을 임의의 크기와 위상을 갖도록 신속히 제어하여 선로로 전송되는 유효·무효전력을 총체적으로 보상하는 기능을 갖는다. 따라서 정상 상태에서 전력 조류를 제어하는데 효과적이고 고장 사고 시 과도 안정도를 개선하는데 대단히 효과적이다. 또한 보상에 필요한 무효전력을 내부적으로 공급하기 때문에 송전 선로의 어떤 지점에도 설치 가능하고 전력 계통의 확장이나 변경에 관계없이 운용 가능하다는 장점을 갖는다[2]. 국내에는 2002년 말 한국 전력연구원의 주도로 신강진 전력소에 80MVA급 UPFC pilot plant를 설치하였다.

추후 설치 확대가 기대되는 UPFC를, 보다 효율적으로 운용하기 위해서는 UPFC 기기의 제어 효과를 미리 파악하여 운용 전략을 수립하고, UPFC 운전자들의 교육을 통해 운전 중 운전자의 실수로 발생할 수 있는 오동작을 줄이고 이벤트 발생시 대처할 수 있는 능력을 함양하는 것이 매우 중요하다. 이는 UPFC 운용에 관련된 전력 계통 엔지니어나 UPFC가 설치된 현장에서 직접 UPFC를 운용하는 운전자들의 UPFC에 대한 폭 넓은 이해와 숙련을 필요로 한다. 하지만 이는 쉽지 않은 일이며, 더군다나 전력 계통에 직접 연결되어 운용 중인 UPFC 기기를 이용하여 전력 계통 엔지니어나 UPFC 운전자의 교육을 시행하는 것은 안정적으로 운용되어야 할 전력 계통에 자칫하면 큰 위험을 가져올 수도 있다. 따라서



UPFC 기기의 제어 효과가 전력 계통에 미치는 영향을 파악하고 UPFC 운전자가 실제 접하게 되는 운전 시스템과 거의 유사한 화면 구성 및 환경을 갖는 교육용 시뮬레이터가 필요하다.

본 시뮬레이터는 연구된 STATCOM 및 SSSC, UPFC의 모델을 이용하여 UPFC 운전자 교육에 활용될 수 있도록 각 회로 구성 및 제어 모드에서 다기 다모션 전력 시스템을 모의할 수 있는 디지털(Digital) UPFC 시뮬레이터와, UPFC 운전자들의 운전 교육에 활용 가능하도록 UPFC 운영 시 운전자들이 실제 접하게 되는 SIMENS사의 HMI(Han-Machine Interface) 시스템과 유사한 화면 구성을 갖는 HMI 시뮬레이터를 포함한다. 또한 UPFC가 설치된 주변 전력 계통의 상태를 확인할 수 있도록, 주변 전력 계통을 표시하고 디지털 UPFC 시뮬레이터에 의해 모의된 계통의 상태를 표시하는 계통 상태 표시 시스템이 포함된다.

### 운전자 교육용 시뮬레이터의 구성

개발된 UPFC 운전자 교육을 위한 교육용 시뮬레이터는 그림1과 같이, UPFC를 포함한 다기 다모션 전력 계통을 모의할 수 있는 디지털 UPFC 시뮬레이터와 신강진 전력소의 운전실에 설치된 SIEMENS사의 HMI (Human-Machine Interface) 시스템과 거의 유사한 화면 구성을 갖는 HMI 시뮬레이터, 그리고 UPFC가 설치된 주변 계통을 표시하고 모의된 계통의 상태를 표시하는 계통 상태 표시 시스템으로 구성된다. 각 모듈간의 데이터 송수신은 이더넷 프로토콜(Ethernet Protocol)을 사용하여 구현하였다.

본 시뮬레이터는 모두 2대의 PC(Personal Computer)를 이용하여 구현되었다. 하나의 PC에는 MMI 시뮬레이터가 설치되고, 다른 하나의 PC에는 디지털 UPFC 시뮬레이터와 계통 상태 표시 시스템이 설치된다. MMI 시뮬레이터를 통해 사용자는 디지털 UPFC 시뮬레이터의 동작과 중단, SSSC, STATCOM, UPFC와 같은 회로 구성의 선택, 각 회로

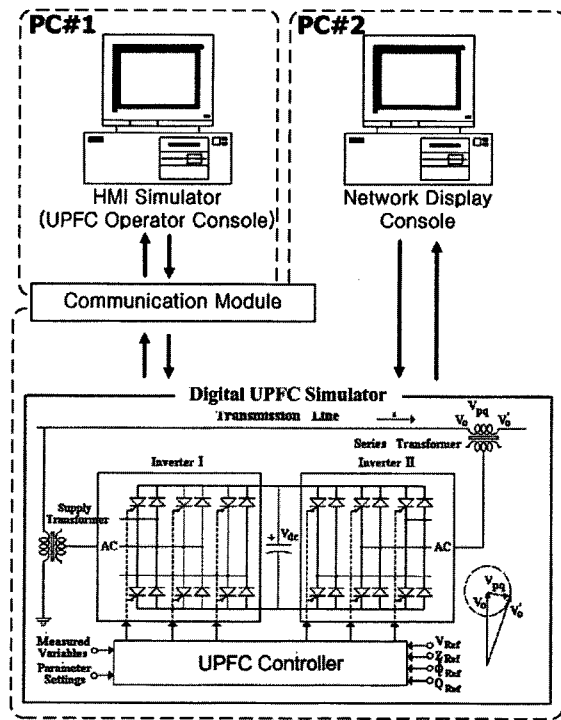


그림 1 운전자 교육용 UPFC 시뮬레이터의 구성도

구성에서의 제어 모드 설정, 각 제어 모드에서의 제어값 변경 등을 수행할 수 있고, MMI 시뮬레이터를 통해 디지털 UPFC 시뮬레이터에 의해 모의된 직렬 인버터와 병렬 인버터의 주입 전압 및 주입 전류와 같은 UPFC의 내부 상태값들의 변화를 확인할 수 있다.

계통 상태 표시 시스템을 통해서 사용자는 UPFC가 설치된 전력 계통의 주변 구성을 확인하고 디지털 UPFC 시뮬레이터에 의해 모의된 각 버스의 전압 및 전력선을 통해 수송되는 유효전력 및 무효전력의 양을 확인할 수 있다.

### 디지털 UPFC 시뮬레이터

#### 기본 구조

본 운전자 교육용 시뮬레이터에 포함된 디지털 UPFC 시뮬레이터는 동기 발전기, 여자 시스템, 조속기, 터빈, 네트워크, 부하, FACTS 기기 등 여러 기기로 구성되어 있다. 디지털 UPFC 시뮬레이터의

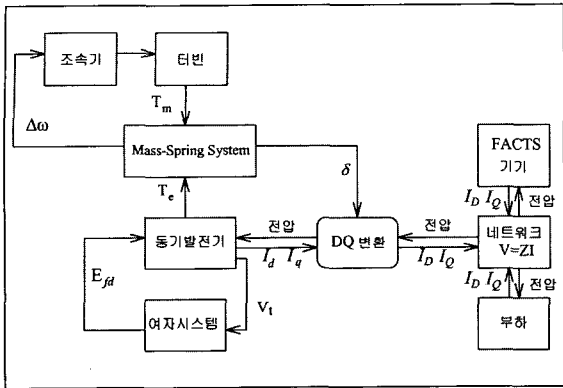


그림 2 디지털 UPFC 시뮬레이터의 기본 구조

기본 블록선도는 다음 그림2와 같다.

그림2에서 볼 수 있듯이, Mass-Spring 시스템으로부터 각속도 변화량( $\Delta\omega$ )을 입력으로 받은 조속기가 터빈의 밸브를 조정하면 터빈은 기계적 토크( $T_m$ )를 출력하고, 이는 다시 Mass-Spring 시스템으로 들어간다. 동기 발전기로부터 단자 전압( $V_t$ )을 입력 받은 여자 시스템은 여자 전압( $E_{fd}$ )을 출력한다. 동기 발전기와 네트워크의 결합은 동기 발전기의 출력인 고정자(stator) 전류를 이용하는데, 전류  $I_d, I_q$ 는 발전기 회전자(rotor)의 d, q 축을 기준으로 설정된 값이므로, Mass-Spring 시스템에서 계산되어 나온 부하각( $\delta$ )을 이용하여 시스템의 D, Q 축을 기준으로 설정된 값  $I_D, I_Q$ 로 변환한다. 이 변환된 값이 네트워크 및 부하, FACTS 기기들과 연계되어 새로운 전압  $V_D, V_Q$ 를 만들고, 시스템의 D, Q축을 기준을 설정된 이 전압 값은역 변환을 통해 발전기 회전자(rotor)의 d, q 축을 기준으로 설정된 값  $V_d, V_q$ 로 변환된다. 동기 발전기는 새로운 전압 값( $V_d, V_q$ )과 새로운 여자 전압( $E_{fd}$ )을 입력으로 받아, 새로운 전기적 토크( $T_e$ )와 새로운 고정자 전류를 만들어낸다. Mass-Spring 시스템도 기계적 토크( $T_m$ ), 전기적 토크( $T_e$ )를 입력으로 받아 새로운 각 속도( $\omega$ )와 새로운 부하각( $\delta$ )을 만들어 낸다[3][4].

그림2에서 볼 수 있듯이 개발된 전력계통 시뮬레이터에서 동기 발전기, FACTS 기기, 부하 등의 출력

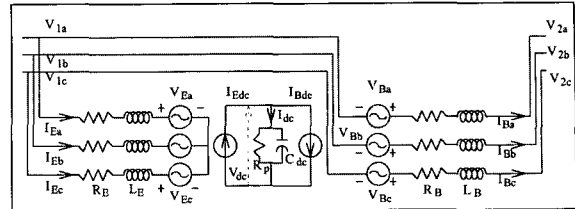


그림 3 UPFC의 등가 회로도

은 전류이고, 그 입력은 전압이다. 이러한 구성은 일명 industry 모델이라고 불리는데, 상업적인 전력 시스템 시뮬레이션 패키지(package)에서 널리 사용되고 있다.

### UPFC 동적 등가 모델

그림3은 UPFC의 등가 회로도이다. UPFC의 구성 특성상 STATCOM의 등가 회로와 SSSC의 등가 회로를 합한 회로 구성을 가지고 있다.

위 그림에서  $L_E$ 와  $L_B$ 는 각각 커플링 변압기와 주입 변압기의 누설 리액턴스를 의미하고,  $R_E$ 와  $R_B$ 는 각각 인버터 I의 커플링 변압기와 인버터 II의 주입 변압기의 도통 손실을 의미한다.

인버터에 의해 발생하는 전압 고조파를 무시하면 인버터 I의 출력 전압  $V_{Ea}, V_{Eb}, V_{Ec}$ 와 인버터 II의 출력 전압  $V_{Ba}, V_{Bb}, V_{Bc}$ 를 동기 회전 좌표계에서 다음과 같이 쓸 수 있다.

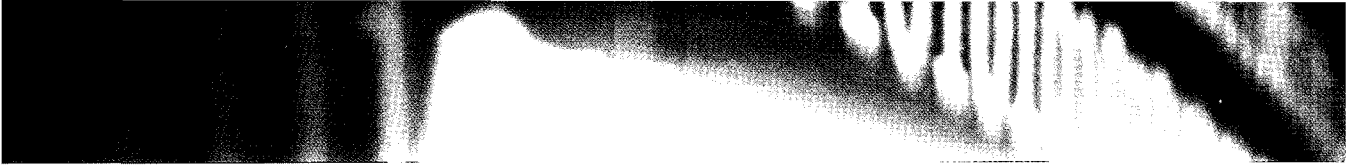
$$V_{ED} = \frac{m_E V_{dc}}{2} \cos \delta_E \quad V_{EQ} = \frac{m_E V_{dc}}{2} \sin \delta_E \quad (1)$$

$$V_{BD} = \frac{m_B V_{dc}}{2} \cos \delta_B \quad V_{BQ} = \frac{m_B V_{dc}}{2} \sin \delta_B \quad (2)$$

위 식에서  $m_E, m_B$ 는 각각 인버터 I과 인버터 II의 모듈레이션 인덱스(modulation index)  $\delta_E, \delta_B$ 는 각각 인버터 I과 인버터 II 출력 전압의 위상각을 의미한다. 이 모델에서 제어 가능한 변수는 모듈레이션 인덱스(modulation index)  $m_E, m_B$ 와 인버터 출력 전압의 위상각  $\delta_E, \delta_B$ , 4개이다.

인버터의 AC 터미널과 DC 터미널의 순시 전력은 같으므로 다음과 같은 전력 평형 방정식이 유도된다.

$$V_{dc} I_{Edc} = V_{ED} I_{ED} + V_{EQ} I_{EQ} \quad (3)$$



$$V_{dc} I_{Bdc} = V_{BD} I_{BD} + V_{BQ} I_{BQ} \quad (4)$$

위 식에서  $I_{ED}$ ,  $I_{EQ}$ 와  $I_{BD}$ ,  $I_{BQ}$ 는 각각 전류  $I_{Ea}$ ,  $I_{Eb}$ ,  $I_{Ec}$ 와  $I_{Ba}$ ,  $I_{Bb}$ ,  $I_{Bc}$ 를 동기 회전 좌표계에서 표현한 것이다. 이 때 DC측 회로 방정식은 다음과 같다.

$$V_{dc} = \frac{120\pi}{C_{dc}} (I_{dc} - \frac{V_{dc}}{R_p}) \quad (5)$$

식(1), (2)와 식(3), (4)를 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$I_{dc} = I_{Edc} - I_{Bdc} \\ = \frac{m_E}{2} (I_{ED} \cos \delta_E + I_{EQ} \sin \delta_E) - \frac{m_B}{2} (I_{BD} \cos \delta_B + I_{BQ} \sin \delta_B) \quad (6)$$

결국 UPFC 등가 회로는 다음과 같은 수식으로 표현될 수 있다.

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu} \quad (7)$$

$$\mathbf{x} = [I_{ED} \ I_{EQ} \ I_{BD} \ I_{BQ} \ V_{ds}]^T$$

$$\mathbf{u} = [V_{1D} \ V_{1Q} \ V_{21D} \ V_{21Q}]^T$$

$$A = 120\pi \begin{bmatrix} -\frac{R_x}{L_x} & \omega & 0 & 0 & -\frac{m_x \cos \delta_x}{2L_x} \\ -\omega & -\frac{R_x}{L_x} & 0 & 0 & -\frac{m_x \sin \delta_x}{2L_x} \\ 0 & 0 & -\frac{R_y}{L_y} & \omega & \frac{m_y \cos \delta_y}{2L_y} \\ 0 & 0 & \omega & -\frac{R_y}{L_y} & \frac{m_y \sin \delta_y}{2L_y} \\ \frac{m_x \cos \delta_x}{2C_x} & \frac{m_x \sin \delta_x}{2C_x} & -\frac{m_y \cos \delta_y}{2C_y} & -\frac{m_y \sin \delta_y}{2C_y} & -\frac{1}{C_x R_p} \end{bmatrix}$$

$$B = 120\pi \begin{bmatrix} \frac{1}{L_x} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{L_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{L_y} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

위 식에서  $V_{21D}$ ,  $V_{21Q}$ 는 SSSC가 연결된 버스의 전압차( $V_{21} = V_2 - V_1$ )를 동기 회전 좌표계에서의 D, Q축 값으로 표현한 것이다. 위 식의 모든 값들은 단위 값들이다.

## HMI 시뮬레이터

지멘스(Siemens)사는 HMI (Human-Machine Interface) 시스템과 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 시스템 제작을 위한 PC 기반의 GENESIS라는 소프트웨어 툴(tool)을 사용하여 강진 전력소에 설치된 UPFC pilot plant의 HMI 시스템을

제작하였다.[5]

HMI 시스템을 통해 사용자는 UPFC의 기동과 정지를 제어하고 운전점을 변경하며, UPFC pilot plant 및 주변 장치들의 상태를 감시할 수 있다. 그림4는 강진 전력소에 설치된 UPFC pilot plant를 위한 HMI 시스템 화면의 일부로, 계층적 화면 구성을 갖는 HMI 사용자 화면 중 최상위 화면이다. 사용자 화면은 상위로 갈수록 요약된 정보 및 UPFC pilot plant의 기동과 정지, 운전점 변경과 같은 기본적인 제어 정보를 보여주며 하위로 갈수록 UPFC pilot plant와 주변 장치들의 상세한 설정값과 같은 세부 정보를 사용자에게 보여준다.

UPFC 운전자가 실제 HMI 시스템에 익숙해지도록 하고 UPFC 운전경험을 습득하도록 하기 위해서는, 실제 HMI 시스템과 동일한 화면을 제공하고, 운전 효과를 경험할 수 있도록 할 수 있는 시뮬레이터가 필요하다.

본 UPFC 교육용 시뮬레이터에서는 실제 HMI 시스템과 동일한 화면구성과 그 느낌을 사용자에게 제공하기 위해, 강진 전력소에 설치된 HMI 시스템의 화면을 PC의 이미지 파일로 저장하여 출력하였다. 또한 UPFC 운전 경험을 습득할 수 있도록 하기 위해, 교육용 HMI 시뮬레이터를 디지털 UPFC 시뮬레이터와 연결하여, 디지털 UPFC 시뮬레이터에 의해 계산되는 UPFC의 운전 상태와 주변 계통의 상태를 HMI 시뮬레이터의 화면을 통해 확인하고 실제 UPFC pilot plant와 유사하게 UPFC의 두 인버터의 구성을 선택하여 각 제어 모드에서 운전점을 변경하면서 그 효과를 확인할 수 있도록 하였다.

또한 강진 전력소에 설치된 UPFC pilot plant를 위한 HMI 시스템은 UPFC 기기 및 주변 장치에 이상이 발생할 경우, 운전자가 HMI 화면을 통해 그 이상 여부를 확인할 수 있도록 하고 있다. 본 HMI 시뮬레이터에서는 주요한 몇 가지 사고를 상정하여 사용자가 사고를 선택하고, 해당 사고 발생 시 HMI 시뮬레이터에 이를 반영함으로써 실제 HMI 시스템에서 사고가 발생하였을 경우와 거의 유사한 화면 변화를 경험할 수 있도록 하였다.

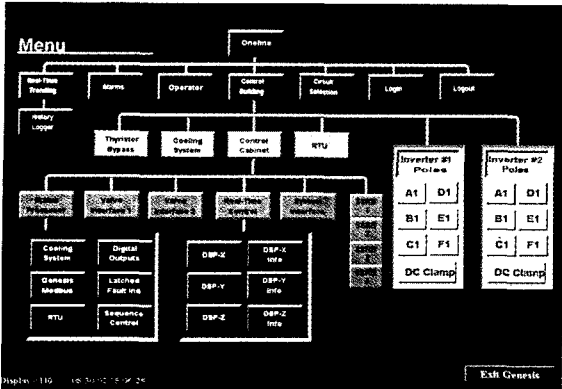


그림 4 UPFC pilot plant를 위한 HMI 시스템의 최상위 화면

HMI 시뮬레이터의 화면과 그 구조는 시뮬레이터 정보를 표시하거나 이벤트 선택을 위한 화면을 제외하고는 실제 HMI 시스템의 화면과 동일하다. HMI 시뮬레이터 실행 시 사용자는 그림4와 완전히 동일한 화면을 만나게 되며, 실제 HMI 시스템과 마찬가지로 그림4의 최상위 화면에서 필요한 모든 화면으로 접근하게 된다.

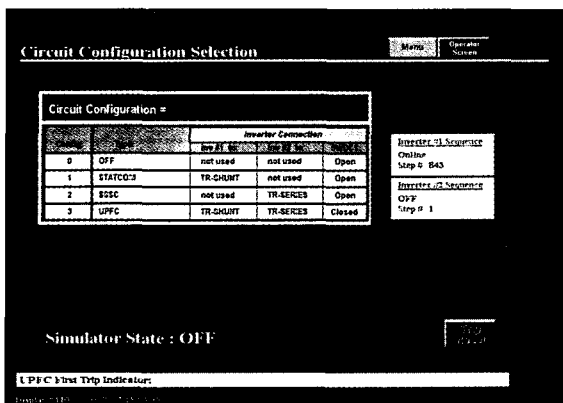


그림 5 HMI 시뮬레이터의 「Circuit Configuration Selection」화면

그림5의 「Circuit Configuration Selection」화면을 통해 사용자는 시뮬레이션을 시작하기 전 STATCOM, SSSC, UPFC와 같은 회로 구성을 선택하고 시뮬레이션을 시작할 수 있다. 실제 UPFC pilot plant를 시작하는 경우에도 그림5에서 보는 것과 같은 직·병렬 인버터의 구성표에서 원하는 구성을 클릭하여 확인하면 UPFC pilot plant가 기동되며, 기동

을 정지할 경우에는 구성표에서 “OFF”를 선택하여 정지하게 된다. 본 시뮬레이터에서도 이와 거의 동일한 순서로 디지털UPFC 시뮬레이터에 의한 전력 계통 상태가 시뮬레이션 되고 또한 시뮬레이션이 정지하게 된다. 그림5의 왼쪽 하단에서 볼 수 있는 “Simulator State : OFF” 문자열은 실제 HMI 화면에서는 볼 수 없으나 시뮬레이터를 사용하는 사용자의 편의상 시뮬레이션의 기동과 정지를 나타내었다.

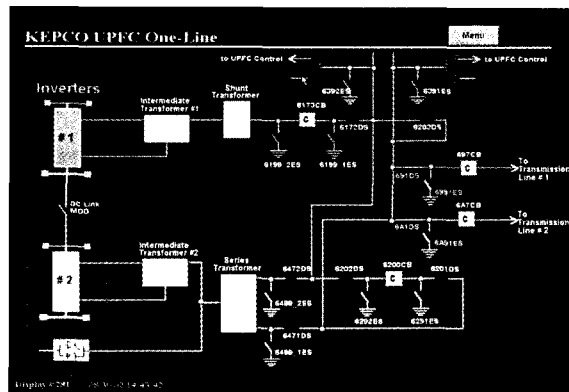


그림 6 HMI 시뮬레이터의 「Single Line Diagram」화면

그림6의 「Single Line Diagram」화면을 통해 사용자는 직·병렬 인버터와 주변 기기들의 연결 구성을 간략하게 확인할 수 있다. 그림5를 통해 사용자는 STATCOM, SSSC, UPFC의 회로 구성을 선택할 수 있으며, 그림6에서 각 스위치의 상태로 해당 회로 구성을 확인할 수 있다. 그림6에서는 STATCOM을 선택하였을 경우이다.

그림7의 화면은 사용자가 직·병렬 인버터를 모두 투입하여 UPFC 구성이 되도록 한 후 시뮬레이션 중의 「Operator Screen」화면이다. 화면 좌측의 직각 좌표 상에는 병렬 인버터의 상태가 표시된다. 가로축은 주입 전류의 크기를 나타내며 세로축은 주입 전압 크기를 나타낸다. 녹색선은 사용자가 입력한 전압 제어값과 드롭값에 의해 그려지게 되며, 붉은색 점은 병렬 인버터의 주입 전압과 전류값에 의해 그 위치가 결정되게 된다. 병렬 인버터의 출력은 제어기에 의해 기준값을 추종하게 되므로 붉은색 점은

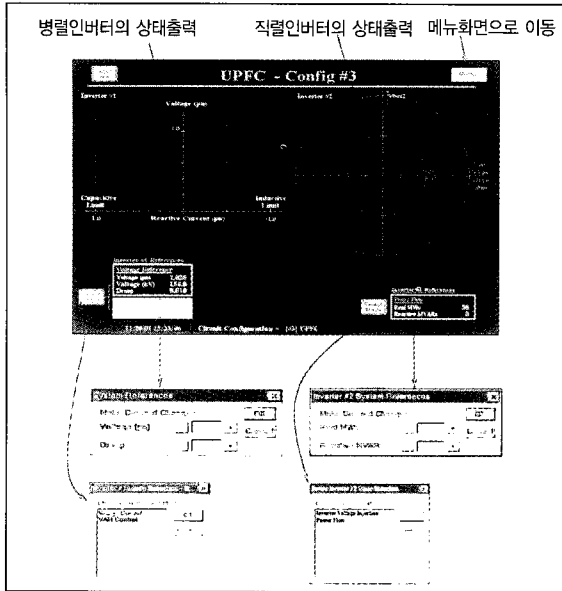
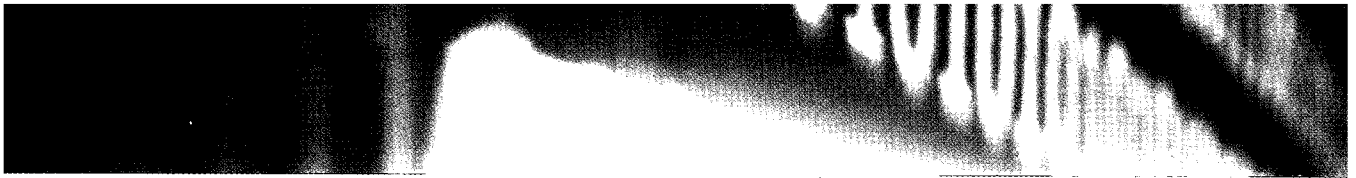


그림 7 UPFC 시뮬레이션 중의 「Operator Screen」화면

녹색선 근방에 위치하게 된다. 붉은색 점이 직각 좌표의 우반면에 위치하면 병렬 인버터는 리액턴스와 같이 동작하는 상태이며, 좌반면에 위치하면 병렬 인버터는 커패시터와 같이 동작하는 상태이다.

그림7의 화면 우측에 극좌표와 같은 형식으로 표시되는 직렬 인버터의 상태는 녹색선으로 표시되게 된다. 직렬 인버터 양단에 주입되는 전압값의 크기와 위상이 극좌표 형식으로 표시된다. 주입 전압 제어 모드에서는 녹색선의 크기가 사용자가 입력한 기준 주입 전압값의 크기에 추종하게 된다.

사용자는 그림7의 화면을 통해 직·병렬 인버터 각각의 제어 모드와 각 제어 모드에서의 기준값을 입력할 수 있다. 두 그래프 하단의 「Select Mode」버튼을 클릭하면 그림7에서 보는바와 같이 제어 모드를 선택하는 화면을 만날 수 있다. 병렬 인버터는 전압제어 모드와 무효전력 제어 모드를 갖고 있으며, 직렬 인버터는 주입 전압 제어모드와 유·무효 전력 제어 모드를 갖고 있다. 선택된 각 모드에서 사용자는 푸른색으로 활성화된 제어값 출력 박스를 클릭하여 각 제어 모드에서 지령값을 변경할 수 있는 대화상자를 볼 수 있다. 병렬 인버터의 전압 제어 모드에

서는 원하는 전압값과 전압 변화의 드롭(Droop)값을 입력할 수 있으며, 무효전력 제어 모드에서는 원하는 무효전력을 1.0pu 까지 입력할 수 있다. 직렬 인버터의 주입 전압 제어 모드에서는 주입 전압의 d, q 성분을 각각 pu 단위로 입력할 수 있으며, 유·무효 전력 제어 모드에서는 유효 전력과 무효 전력을 각각 MW 단위와 MVAR 단위로 입력할 수 있다.

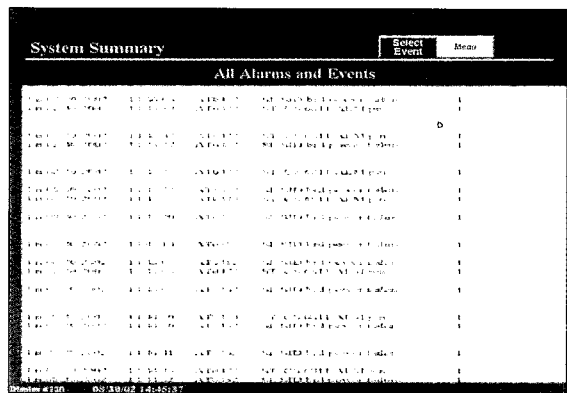


그림 8 HMI 시뮬레이터의 「Alarms and Events」화면

그림8의 「Alarms and Events」화면을 통해 사용자는 시스템에서 발생한 경고나 이벤트 사항을 확인할 수 있다. 발생된 경고나 이벤트 사항의 리스트는 그림8과 같이 출력된다. HMI 시뮬레이터에서는 그림9과 같이 몇 가지 주요 경고 사항을 선택할 수 있도록 하였으며, 경고 사항 선택 시 그림10, 그림11과 같이 HMI 시뮬레이터에서의 화면 변화를 경험할 수 있도록 하였다. 그림9의 화면은 UPFC pilot plant를 위한 실제 HMI 시스템에는 존재하지 않는 화면이며, HMI 시뮬레이터에서 사용자가 주요 경고 사항을 선택할 수 있도록 하기 위해 추가된 화면이다. 중대한 Trip 사고와 같은 경우에는 시뮬레이션이 자동으로 동작을 멈추고 PC#2에 설치된 디지털UPFC 시뮬레이터와 주변 계통 상태 표시 모듈이 종료되도록 하였다. 또한 「CLEAR」버튼을 클릭하여 발생시킨 Trip사고를 제거하지 않으면 주변 계통의 상태를 다시 모의할 수 없도록 하였다. Trip 사고를 선택하여 PC#2의 모듈들이 종료되었을 경우에는 선택한 사고



를 제거하고 종료된 모듈을 다시 실행함으로써 주변 계통을 다시 모의할 수 있다.

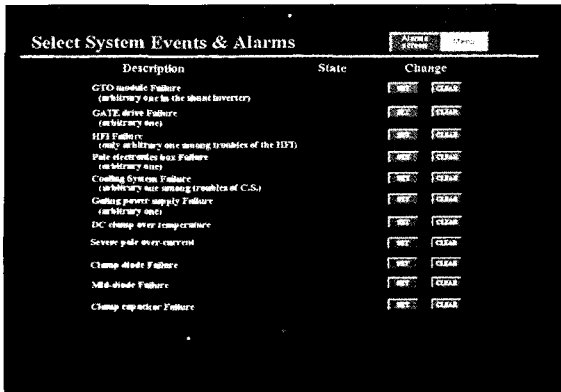


그림 9 HMI 시뮬레이터의 주요 경고 선택 화면

그림9에서 사용자가 주요 경고 사항 중 하나를 선택하게 되면 그림10와 같이 화면 우측 상단의 깜빡이는 램프를 볼 수 있게 된다. 자주색 램프는 경고 사항이 발생했다는 표시이며, 원형의 노란색 램프는 주기적으로 발생된 경고 사항이 제거되었는지를 검사할 때 깜빡이게 되는 램프이다. 두 램프는 경고 사항 발생 시 모든 화면에서 만날 수 있다.

경고 사항 발생 시 각 화면에서 경고 사항과 관련된 사항은 모두 자주색 또는 붉은색을 띄게 되는데, 그림11에서는 전체 시스템 블록을 간략하게 표현한 화면에서 경고 사항 발생 시 해당 블록이 자주색으로 변색된 경우를 보여준다.

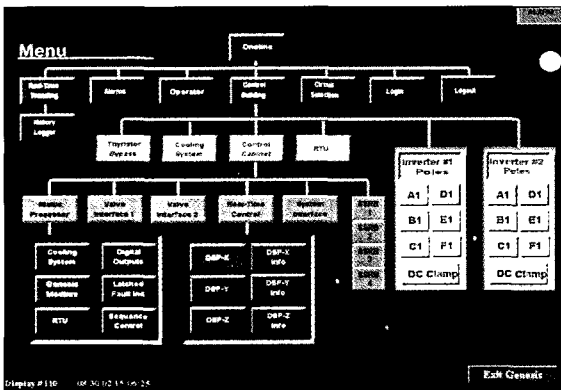


그림 10 경고 사항 발생 시 화면 우측 상단의 램프 발생 화면 예

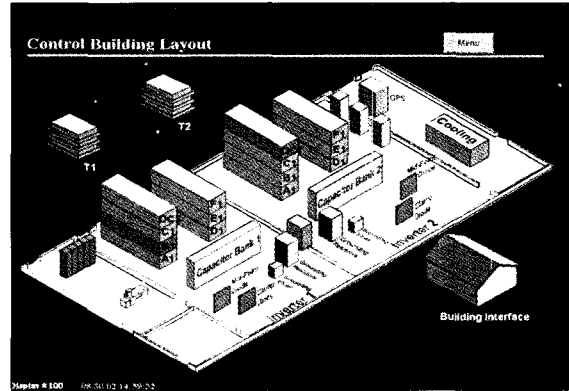


그림 11 경고 사항 발생 시 「Building Layout」화면의 변화 예

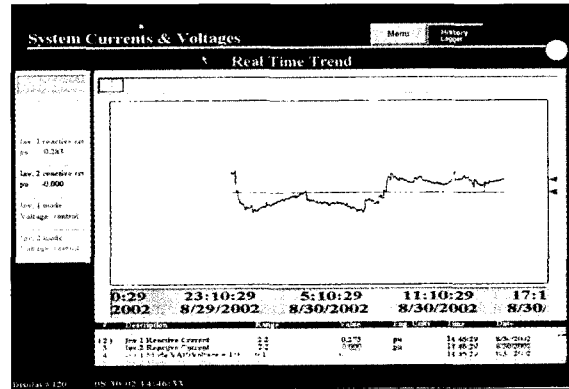


그림 12 HMI 시뮬레이터의 「Real-Time Trend」화면

HMI 시뮬레이터는 PC#2에 설치된 디지털UPFC에서 계산된 결과를 랜선과 같은 통신 케이블을 통해 입력받아 화면에 출력해준다. 그림12의 Real-Time Trend 화면에서는 시간에 따라 연속적으로 입력 받은 시뮬레이션 결과를 그래프로 보여준다. 사용자는 이 그래프를 통해 지령값 변화시 UPFC 출력의 전압과 전류가 어떠한 양상으로 변화되는지를 확인할 수 있다.

### 주변 계통 상태 표시 시스템

본 시뮬레이터가 설치된 2대의 PC 중 디지털 UPFC 시뮬레이터가 설치된 PC의 화면은 UPFC pilot plant가 설치된 주변 계통의 구성을 사용자에게 보여주며, 디지털 UPFC 시뮬레이터 동작 시 각

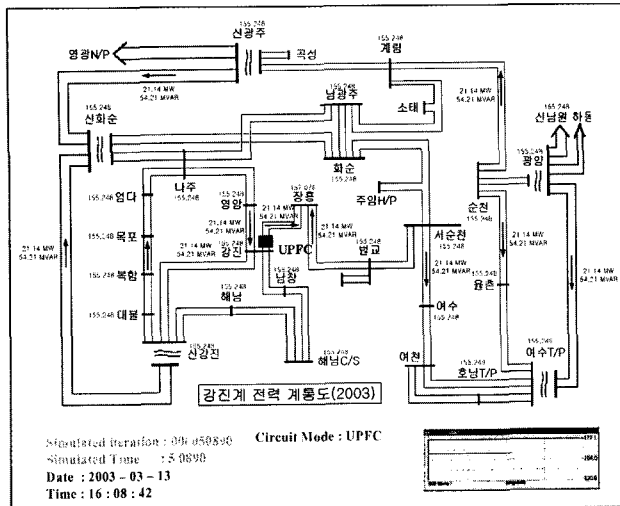
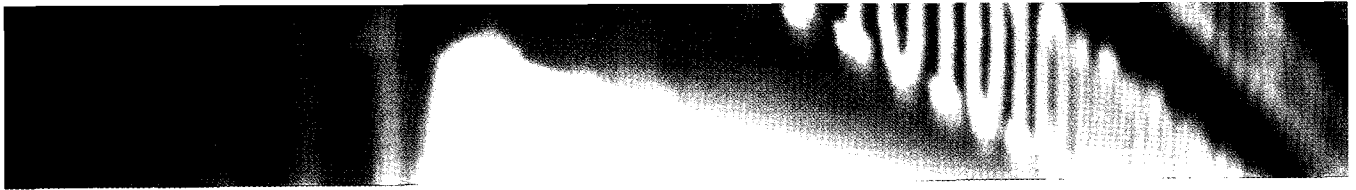


그림 13 주변 계통 상태 표시 시스템의 출력

버스의 전압과 각 선로에 흐르는 유·무효 전력의 순시 크기를 출력한다.

또한 보조창을 통해 사용자는 각 버스의 전압 변화 추이를 확인할 수 있다. 그림13은 시뮬레이션 시 주변 계통 상태 표시 시스템의 출력을 보여준다.

HMI 시뮬레이터를 통해 사용자는 UPFC의 제어 모드 또는 운전점을 변경할 수 있고, 주변 계통 상태 표시 시스템의 출력화면을 통해 각 버스의 전압과 각 선로에 흐르는 유·무효 전력의 변화를 살펴봄으로써 운전점 변경의 효과가 주변 계통에 미치는 영향을 파악할 수 있다. 또한 각 버스를 마우스로 선택하면 화면 우측 하단의 그래프 영역을 통해 해당 버스 전압의 트랜드를 파악할 수 있다.

## 결 론

본 운전자 교육용 시뮬레이터는 FACTS 기기 중 가장 진보적으로 평가 받고 있어 앞으로 설치가 확대될 것으로 기대되는 UPFC기기를 운영함에 있어, UPFC 운전자 교육에 활용될 수 있도록 제작되었다. 운전자 교육용 시뮬레이터는 UPFC기기 및 주변 전력 계통의 상태를 모의할 수 있는 디지털 UPFC 시뮬레이터와 신강진 전력소에 설치된 UPFC pilot plant

의 감시 및 제어를 위한 실제 HMI(Human-Machine Interface) 시스템과 동일한 화면 구성을 갖는 HMI 시뮬레이터, 그리고 모의된 UPFC 주변의 전력 계통 상태를 출력하는 계통 상태 표시 시스템으로 구성된다. 디지털 UPFC 시뮬레이터는 동기 발전기 모델, 여자기 모델, Mass-Spring 모델, 터빈 모델, 조속기 모델 등을 포함하는 동시에 인버터와 II의 구성에 따른 UPFC의 회로 구성, 즉 STATCOM, SSSC, UPFC의 동적 모델을 사용하여 UPFC가 설치된 주변 계통의 동적 상태를 모의할 수 있도록 하였다.

HMI 시뮬레이터는 실제 UPFC pilot plant의 운전실에 설치된 HMI 시스템과 거의 유사한 화면을 제공함으로써 운전자가 실제 HMI 시스템에 익숙해질 수 있도록 하였으며, 디지털 UPFC 시뮬레이터와 연계하여 실제 운전을 수행하는 것과 유사한 환경을 제공하고 UPFC의 동작을 이해할 수 있도록 하였다.

계통 상태 표시 시스템을 통해 운전자는 UPFC가 설치된 주변 계통과 디지털 UPFC 시뮬레이터의 모의된 결과를 확인함으로써 UPFC의 제어 효과가 주변 전력 계통에 미치는 영향을 확인할 수 있도록 하였다.

## [참고 문헌]

- [1] N. G. Hingorani, L. Gyugyi, "Understanding FACTS", IEEE Press, 2000
- [2] L. Gyugyi, C. D. Schauder, S. L. Williams, T. R. Reitan, D. R. Torgerson and A. Edris, "The Unified Power Flow Controller: A new approach to power transmission control", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No.2, pp. 1085-1093, April 1995
- [3] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, New York, 1994
- [4] P. W. Sauer and M. A. Pai, "Power System Dynamics and Stability", Prentice Hall, 1998
- [5] ICONICS Inc., "GENESIS32 Getting Started", Foxborough MA., 2001 (Online Available : <http://www.iconics.com>)