

3차원 그래픽 애니메이션을 이용한 전력계통 교육시스템

(Power System Education System using 3-Dimensional Graphic Animation)

박 인 권 † 원 종 룰 †† 이 진 † 윤 용 범 †††

(In-Kwon Park) (Jong-Ryul Won) (Jin Lee) (Yong-Beum Yoon)

요 약 본 논문에서는 전력계통 학습을 보다 효율적으로 진행하기 위하여 전력계통 실시간 시뮬레이터 및 PC를 기반으로 하는 3차원 가상 전력계통 교육시스템 개발에 관한 연구를 제시하였다. 이는 기존의 수치적 해석결과와 제시방법에서 벗어나 실시간 시뮬레이터를 이용하여 다양한 계통현상을 모의하고, 그 결과를 온라인 통신으로 취득하여 즉시 사용자에게 3차원 그래픽으로 전달하고 있다. 또한 사용자의 계통 제어입력을 즉시 반영하여 그 결과가 도출되도록 하여 현상에 대한 이해를 높이고 있다. 구현된 전력계통 현상 교육용 프로그램은 전력계통에서 실제로 발생할 수 있는 현상을 직관적으로 피교육자에게 전달할 수 있으므로 학부교육 과정은 물론 계통 운전원을 위한 교육에도 그 활용도를 넓힐 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract This paper presents an efficient system for power system education using 3-D computer graphics animation in the PC environment. Several power system phenomena are simulated using Real-Time Digital Simulator. Results are transmitted through on-line communication line to PC for graphic animation, and simulated in the 3-D graphics animation. It can immediately reflect user control input and re-simulated this result. The proposed method was tested on both the sub-synchronous resonance phenomena and multi-bus system. It is expected that the proposed method would be helpful for the operator training as well as power system education.

1. 서 론

최근 들어 급증하는 전력수요에 부응하기 위한 발전용량의 급격한 증가, 이로 인한 계통설비의 복잡화 및 계통운용 해석에 있어서의 난이도의 증가는 필연적으로 전력계통에서 일어나는 여러 현상에 대한 이해에 있어 많은 어려움을 초래하고 있다. 이러한 어려움은 전력계통 현상에 대한 학문적 접근에 있어 커다란 장애물로 자리 잡고 있다. 또한 현실적으로 급속하게 전개되고 있는 전력산업 구조개편으로 인하여 이러한 복잡성에 기여하게 되는 요인들은 기하급수적으로 증가하고 있다. 이에 비

해 이러한 요인들로 인해 발생하는 전력계통 현상들간의 인과관계를 짧은 시간 안에 직관적으로 혹은 경험에 기초하여 신속하게 유효 적절한 대책을 수립하는데 필요한 전문가적 자질을 갖춘 인력의 공급은 한정되어 있다. 컴퓨터 하드웨어의 발달, 특히 고속 부동소수점 연산을 가능케 하는 DSP(Digital Signal Processor)의 발전 및 가격하락은 이제까지 그 방대한 연산량으로 인해 비실시간적으로 결과를 얻을 수 밖에 없었던 전력계통 해석분야에서 실시간 적인 해석을 가능하게 하는 하드웨어 환경을 제공할 수 있게 되었다. 이러한 환경을 이용하여 외부세계와 실시간적으로 상호작용을 가능케 하는 실시간 전력계통 시뮬레이터(RTDS : Real Time Digital Simulator)의 출현을 가져 왔다. 또한 근래 이루어진 PC의 연산능력의 괄목할 만한 발전과 급격히 성장하는 게임시장이론부터 파생된 저가/보급형 3차원 그래픽 주변기기들의 보급은 그 동안 군사용 시뮬레이션 등 전용 하드웨어를 이용한 실세계 시뮬레이션 환경에 머물러온 3

† 비 회 원 : LG산전 전력연구소 연구원

ikpark@lgis.com

jinlee@lgis.com

†† 정 회 원 : 한국전력공사 전력연구원 연구원

jrwon@kepri.re.kr

††† 비 회 원 : 한국전력공사 전력연구원 연구원

ybyoon@kepri.re.kr

논문집수 : 2001년 6월 25일

심사완료 : 2001년 9월 21일

차원 컴퓨터 그래픽 애니메이션을 PC 환경에서도 이용이 가능하도록 하였다. 또한 소프트웨어 측면에서도 비교적 사용이 용이하고 고속 3차원 그래픽 주변기기들의 특성을 잘 살릴 수 있는 3차원 그래픽 라이브러리들의 출현으로 말미암아 특정 목적에 부합하는 3차원 컴퓨터 그래픽 애니메이션 도구 작성을 비교적 용이하게 만들고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 상황에서 전력계통 운용자로 하여금 보다 신속하고 적절하게 전력계통의 변화하는 상황에 적용할 수 있는 능력을 배양하는데 이용될 수 있는 시스템 개발을 제시하였다.

기존의 전력계통 현상에 대한 수치적 모의를 실시하는 도구의 경우 평면적인 사용자 인터페이스를 통해 해석결과를 사용자에게 제시하고 그러한 결과를 분석/이해한 후 사용자는 자신의 판단을 통해 모의도구에 대한 입력을 수정하여 갱신된 결과를 다시 관찰하는 것이 일반적이었다. 이러한 제시방법은 사용자에게 해석결과 또는 대상의 특성을 직관적으로 전달하지 못하는 결점을 가지고 있다. 특히 전력계통의 경우 대부분 그 해석결과와 양이 방대하고, 또한 여러 가지 해석결과간에 상관관계를 가지는 경우가 많아 일차적인 데이터의 제시를 사용자가 다시 재해석하여야 하는 문제가 있다.

따라서 이러한 직관적 접근의 난이성을 해결하기 위한 여러 가지 시도가 있어 왔다. 다양한 그래픽 처리 기능을 갖춘 최적조류계산 및 계통해석 프로그램이 개발되었다[1-2]. 또한 결과를 보다 직관적으로 사용자에게 전달하고 그 상관관계를 분명하게 제시하기 위하여 3차원 그래픽을 이용한 사용자 인터페이스의 제작도 시도되었다[3-4].

본 논문에서 개발한 프로그램은 전력계통 교육시스템의 구현은 3차원 컴퓨터 그래픽 애니메이션 기법 및 전력계통 실시간 시뮬레이터와의 통신기능의 조합을 통한 3차원 가상현경 전달체계를 기반으로 하였다. 즉 전력계통 실시간 시뮬레이터(RTDS) 및 Workstation, PC등을 이용하여 전력 계통에서 일어날 수 있는 여러 현상들을 모의한 결과를 효과적으로 사용자에게 전달할 수 있는 3차원 가상환경을 구성하였다. 또한 결과를 사용자에게 직관적으로 제시함과 더불어 사용자의 참여가 가능하게 하는 시스템을 구성함으로써 보다 효과적인 교육환경 구성을 시도하였다.

본 논문은 다음과 같은 체계로 구성되어 있다. 2장에서는 전력계통 실시간 시뮬레이터의 개발환경 및 구조등을 설명하고 있으며, 3장에서는 3차원 환경 구축을 위한 Tool의 설명 및 구성에 대해 살펴본다. 4장에서는 3차원 가상환경의 설계 및 구조에 대해 서술한다. 5장에

서는 실제 구현한 응용 프로그램 사례에 대해 살펴보고, 6장에서는 결론을 서술한다.

2. 전력계통 실시간 시뮬레이터(RTDS)

전력계통현상을 시뮬레이션 하기 위하여 1970년대에 개발된 EMTP(ElectroMagnetic Transient Program) [5]는 디지털컴퓨터를 이용한 전력계통 과도현상을 해석하기 위해 널리 사용되어 왔다. 그러나 이는 1초 동안의 현상을 모의하는데 수 분 내지 수 시간을 요구하게 되어 실제 제어기기의 페루프 시험을 불가능하게 한다. 따라서 전력계통현상을 실시간으로 모의할 수 있는 시뮬레이터의 필요성이 대두되었고, TNA(Transient Network Analyzer)와 같은 축소된 전력계통모형을 이용한 아날로그형 시뮬레이터가 전력계통의 전자기 과도현상을 해석하는데 사용되어 왔다. 이어 아날로그와 디지털의 하이브리드 단계를 거쳐, 현재는 완전히 디지털화된 시뮬레이터가 개발되었다. 그 중 대표적인 것이 RTDS로서 과도현상 이외에도 다양한 계통현상들을 모두 시뮬레이션 할 수 있다. 이는 H/W와 S/W 부분으로 구성되며, H/W는 DSP를 이용한 병렬처리 고속연산을 수행하여 계통의 다양한 현상들을 모의하게 한다. 따라서 기존의 연산속도문제를 모두 해결하였으며 완전 디지털화로 인해 그 크기도 대폭 축소되었다. S/W 부분은 실제 전력계통 구성설비(발전기, 선로, 부하, 제어기 등)들의 모델링을 위한 단위요소들을 내장하고 있다. 또한 RTDS S/W는 PSCAD라고 부르는 강력한 GUI 프로그램을 사용하여 사용자가 해석하고자 하는 계통을 자유롭게 화면상에서 CAD형식으로 구성하여 모의할 수 있다. 따라서 사용자는 해석하고자 하는 계통모델을 구성하고 실제 현상과 동일한 결과를 시뮬레이터로부터 구할 수가 있다.

본 논문은 이러한 시뮬레이터의 결과를 사용자가 그 현상을 이해하기 쉽도록 3차원 가상환경을 구성한 것이다. 시뮬레이터의 II/W 부분은 수치계산을 담당하는 프로세서, 각 시스템을 연결하는 통신카드, 시뮬레이터를 총괄하는 Workstation과의 통신을 담당하는 카드로 구성되어 있다.

다음 그림들(그림 1,2,3)은 실제 설치된 시뮬레이터의 사진과 그 구성도를 보여주고 있다.

3. 3차원 가상 시뮬레이션 환경

3차원 가상현실을 이용한 데이터 시각화 분야는 군사용 및 의료용 데이터 시각화 분야를 중심으로 꾸준한 발전을 보여왔다. 3차원 가상현실 기술은 정보를 사용자



그림 1 전력계통 실시간 시뮬레이터의 운전

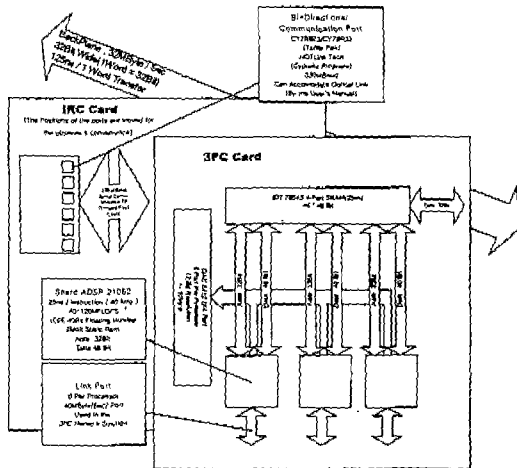


그림 2 전력계통 실시간 시뮬레이터 하드웨어 구성 1

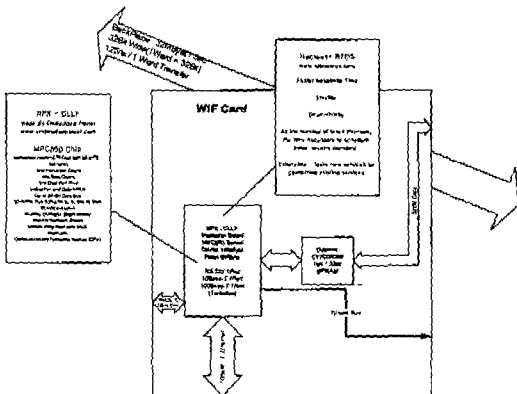


그림 3 전력계통 실시간 시뮬레이터 하드웨어 구성 2

에게 보다 감각적이고 직관적으로 전달할 수 있어 위의 군사 및 의료 분야 이외에도 교육, 지리, 건축 부분 등 다양한 분야에서 응용이 가능하다. 또한 가상현실을 이용한 시뮬레이션 기술은 기존의 시뮬레이터와 연결하여 시뮬레이터의 복잡한 데이터를 3차원 영상으로 나타내어 시뮬레이션 결과를 보다 효과적으로 관찰하고 시험할 수 있게 한다. 일반적으로 이러한 시뮬레이션 및 가시화(Visualization)작업을 위해서는 슈퍼컴퓨터 및 고가의 그래픽 Workstation이 요구되며 특히 군사용 시뮬레이션의 경우 실제 사용자와의 Closed Loop 시스템을 구성하기 위해 전용 하드웨어 및 Actuator와의 연계를 구현한 시뮬레이터의 제작이 일반적이다. 일례로[6] KINTTI는 가상현실 시스템 구축을 위해 약 30억원을 들여 고성능 그래픽스 서버인 SGI사의 Onyx3000 Infinite Reality3과 디스플레이 시스템인 Trimension사의 4.75면 ReaCTor를 도입했다. 또한 K-55 자주포 운용교육을 위한 가상현실 시뮬레이터가 제작되었으며 이에는 SGI Workstation 5대, PC 2대, Mac 1대 등의 하드웨어가 소요되었다. 이러한 환경을 이용하여 3차원 그래픽을 이용한 응용 프로그램 또는 가상현실(VR : Virtual Reality) 환경을 개발하기 위한 개발도구로는 일반적으로 Silicon Graphics사의 Workstation 및 Open GL, IRIS GL 등의 그래픽 라이브러리, Reality Engine 등의 고가의 하드웨어 및 소프트웨어가 이용되는 것이 일반적인 추세이었다 [7]. 그러나 최근 급격히 발전하는 게임산업은 기존 특수분야의 이용으로만 한정되던 3차원 가상현실 기술을 보다 우리 생활 가까이로 끌어들이는 첨병역할을 하고 있다. 하드웨어의 급속한 발전에 힘입어 실시간 3차원 그래픽기술은 고가 전용장비에서뿐만 아니라 PC에서도 일반화되고 있다. 기존 게임구현에 있어, 특히 PC기반의 게임 개발에 있어 PC하드웨어 및 소프트웨어의 한계는 게임 개발에서의 3차원 가상현실의 이용을 매우 제한적인 수준으로 국한시켜왔던 것이 사실이다. 그러나 근래 이루어진 3D Graphic Accelerator의 진보 및 메모리 가격의 급격한 하락, Microsoft Windows에서의 Real-Time 3D 응용 프로그램 제작을 위한 DirectX Library의 출현 등으로 말미암아 3차원 가상현실을 이용한 게임구현은 점차 일반적인 경향으로 굳어지고 있다. 기존 2-D 기반의 게임영역이라 생각되어 왔던 Sports관련 게임 또는 Role Playing 게임 분야에서도 3차원 기술을 이용한 게임 구현에 널리 이용되고 있다.

한편, 전력 계통에서 발생할 수 있는 여러 가지 현상을 시뮬레이션을 통해 효과적으로 사용자에게 전달하기 위한 환경은 다음과 같이 3부분으로 나눌 수 있다. 실

제 전력계통 현상의 모의를 수행하여 그 결과를 제공하는 전력계통 실시간 시뮬레이터, 이러한 모의절차 진행을 제어하기 위한 Engineering Workstation, 취득된 결과를 사용자에게 효과적으로 전달하기 위해 3차원적인 그래픽 애니메이션으로 표시하는 그래픽 워크스테이션이 그것이다.

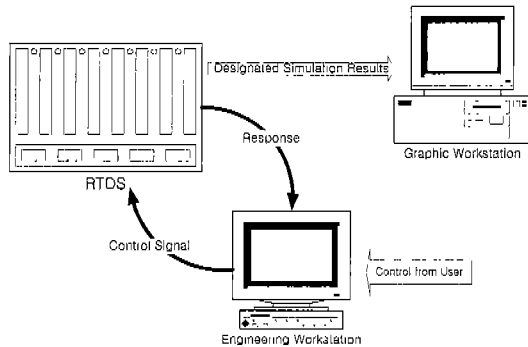


그림 4 전력계통현상 시각화 환경의 구성

본 논문에서는 위 3가지 구현 요소 중 실제 사용자에게 전력계통 현상을 제시하는 부분인 3차원 그래픽 애니메이션을 일반적인 사용자에게 보다 친숙한 PC상에서 효과적으로 구현하기 위해서 Microsoft사의 Game 및 Multimedia 응용 프로그램 제작용 라이브러리인 DirectX를 사용하였다. 현재 PC용 운영체제로 가장 널리 사용되는 Microsoft Windows는 GDI(Graphic Device Interface)를 통해 하위의 하드웨어의 특성에 구애받지 않는 공통적인 그래픽 환경을 제공하였지만 하드웨어의 특성을 제대로 살려주지 못하는 단점 때문에 게임 개발을 위한 고속 3차원 그래픽 작업을 처리하기에는 부적절한 것으로 인식되어져 왔다. Microsoft사는 근래 고속 성장하는 게임산업의 요구에 부응하고자 DirectX Library를 개발하여 직접적인 하드웨어 접근을 가능하게 함으로서 이용가능한 그래픽 처리 속도를 비약적으로 향상시켰고, 또한 그래픽 카드의 종류에 관계 없는 단일 프로그래밍 인터페이스 환경(API: Application Programming Interface)을 제공하여 주고 있다. 현재 Ver. 8.0a 버전이 입수 가능한 최신 버전이며 nVidia, ATI등 시장을 선도하는 그래픽 카드 제조업체는 Microsoft DirectX의 인터페이스 표준을 충실히 수용하는 그래픽 프로세서(GPU : Graphic Processor Unit)를 시장에 출시하고 있다. DirectX 라이브러리중 Direct 3D 라이브러리가 PC상에서의 3차원 고속 그래픽을 위하여 제공된다.

Direct 3D 라이브러리는 크게 두 부분으로 구성되는데, 이는 Immediate Mode 및 Retained Mode이다. Retained Mode는 자체적으로 Geometric Engine을 구비하여 응용 프로그램 작성을 비교적 용이하게 할 수 있는 장점이 있으므로[8], 계통 현상 시각화를 위하여 구현된 응용 프로그램은 Direct 3D Retained Mode 인터페이스 부분을 기반으로 하여 작성이 이루어 졌다. 다음 그림 5는 Direct3D의 구조를 나타낸다. 3차원 그래픽 가속기능을 가지는 하드웨어와 운영체제간을 연결하는 HAL(Hardware Abstraction Layer)이 존재한다. 이는 Microsoft의 표준에 준거하여 각 하드웨어 메이커가 제작하는 Device Driver이다. IIAL이 제공하는 인터페이스를 이용하여 Direct3D의 Immediate Mode가 동작하며 만일 상위 계층에서 요구하는 3차원 그래픽 관련 기능이 하드웨어적으로 지원이 되지 않을 경우 소프트웨어적으로 이러한 기능을 에뮬레이션하는 모듈이 포함되어 있다(Software Emulation). 이 계층에서 제공하는 인터페이스를 이용하여 Direct3D Retained Mode가 동작한다. 제작된 응용 프로그램은 Direct3D Retained Mode를 이용하여 동작한다.

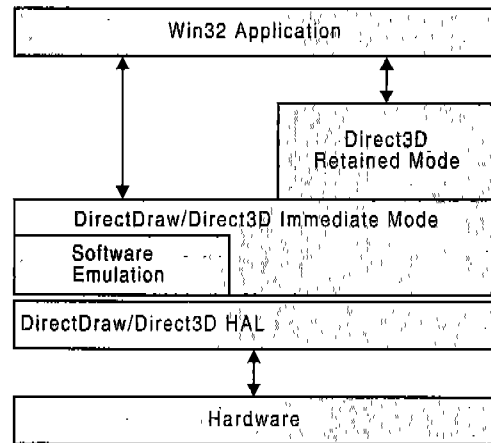


그림 5 Direct 3D의 구조

4. 3차원 가상환경을 위한 응용 프로그램

4.1 응용 프로그램의 설계

다음 그림 6은 3차원 그래픽 기법 및 애니메이션 기능을 적용한 전력계통 현상 시각화 응용 프로그램을 위해 작성된 Use Case Diagram 이다.

작성된 응용 프로그램은 크게 두 가지의 동작모드를

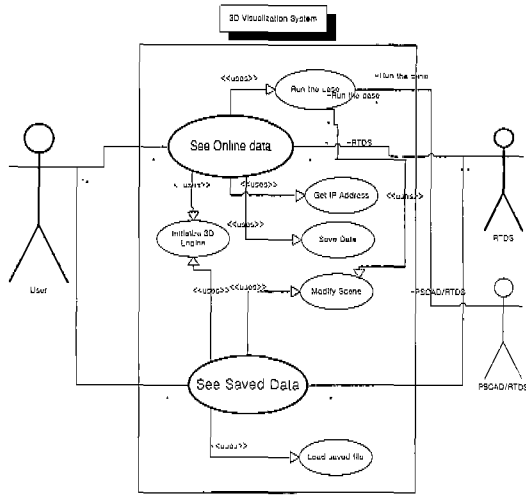


그림 6 응용 프로그램의 Use Case Diagram

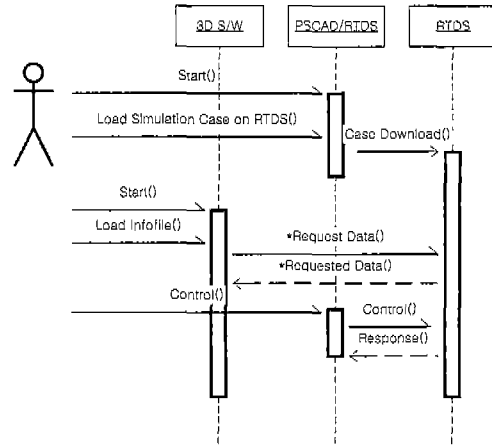


그림 7 RTDS와 연계시 응용 프로그램의 Sequence Diagram

가진다. 하나는 실시간적으로 RTDS 에서 현재 모의되고 있는 시뮬레이션 데이터를 취득하여 이를 사용자에게 제시하는 모드이며(위 Use Case Diagram에서 'See Online Data'로 표현) 다른 하나는 실행중인 모의에서 필요한 부분을 따로 PC의 하드디스크에 파일 형태로 저장하였다 나중에 다시 재생하여 볼 수 있는 재생모드이다(위 Use Case Diagram에서 'See Saved Data'로 표현). 재생모드를 이용할 경우 사용자가 재생되는 속도를 조절함으로써 원하는 장면을 보다 저속으로 재생하여 자세히 관찰할 수 있는 기능을 구현하는 것을 목표로 하였다. 첫 번째 모드에서 응용 프로그램을 실행하기 위해서 현재 RTDS에서 실행되는 모의케이스에 대한 정보를 입력 받을 필요가 있으며 이는 PSCAD/RTDS (RTDS의 User Interface Program)에서 모의 케이스 생성시에 같이 생성되는 INF파일을 읽어들이므로 이루어진다. 읽어진 파일 내용중 시각화 장면 구성에 필요한 데이터를 가지고 있는 하드웨어 어드레스가 추출되어 RTDS와의 통신을 위한 프레임 구성에 사용되어진다. 첫 번째 모드로 동작 도중 필요한 장면은 PC의 하드디스크에 저장되어 이후 응용 프로그램의 두 번째 모드를 이용하여 재생 가능하다. 저장은 MFC에서 제공되는 Serialization기법을 이용하여 고속/대량의 데이터가 저장될 수 있도록 하였다. 다음 그림 7 및 8은 응용 프로그램의 실행순서를 도시한 Sequence Diagram이다.

3차원 그래픽 기법 및 애니메이션 기능을 적용한 전력계통 현상 시각화 응용 프로그램을 위해 작성된 프로그램은 다음 그림 9와 같은 구조를 가진다.

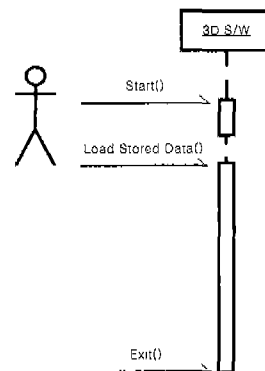


그림 8 저장된 Data 재생시 응용 프로그램의 Sequence Diagram

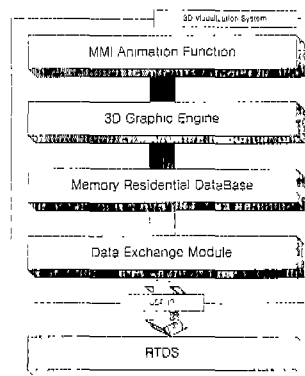


그림 9 3차원 가상 시뮬레이션 응용 프로그램의 전체구조

전력계통 실시간 시뮬레이터로부터 계통현상을 모의한 결과데이터를 3차원 그래픽 애니메이션 응용 프로그램에서 취득하기 위한 프로토콜로서 UDP(User Datagram Protocol)가 이용되고 있다. 위 그림 9에서 테두리 부분이 3차원 시각화를 위하여 Graphic Workstation에서 수행되는 부분이다. 통신처리 모듈 및 메모리 상주 데이터 저장소의 효율적인 디자인으로 인해 고속의 데이터 취득이 이루어지도록 설계되었으며, 3D 그래픽 엔진으로는 앞 절에서 언급된 Direct 3D Retained Mode가 이용되어 초당 20 fps(Frame per Sec)에 상당하는 장면 갱신이 이루어지도록 목표되었다.

4.2 응용 프로그램의 구현시 고려사항

개발된 3차원 그래픽 애니메이션 도구는 교육하고자 하는 계통현상을 전력계통 실시간 시뮬레이터를 통해 시뮬레이션을 실시하고, 전력계통 실시간 시뮬레이터에서 계산된 결과를 취득하여 이를 미리 작성된 장면을 통해 사용자에게 제시하는 구조를 취하고 있다. 제시되는 3차원 가상 시뮬레이션에 대한 사용자의 조작 또는 반응은 전력계통 실시간 시뮬레이터에 전송되어 시뮬레이션에 반영된다. 이러한 경우 사용자는 이미 이러한 계통 현상에 친숙한 사용자이거나, 혹은 전력계통현상에 대한 사전 지식이 전혀 없는 경우도 있을 수 있다. 이러한 사용자에게 전력계통현상을 효과적이며 흥미롭게 전달하기 위해서는 실제 전력계통현상의 개념화가 선행되어야 한다. 이러한 개념화는 대부분 이러한 현상을 해석하려는 시도 중에서 이루어지게 되며 대부분의 전력계통현상은 전력계통 연구자 사이에서 잠재적으로 동의가 이루어진 개념화된 모델이 있다고 할 수 있다. 더군다나 교육의 대상이 되는 계통현상이 실제 물리적 실체를 가진 현상일 때 이러한 개념화는 더욱 용이하게 이루어질 수 있다.

다음 그림 10은 이러한 현상들 중 한 가지 예제로서, "First Benchmark Model for Computer Simulation of Subsynchronous Resonance"[9]에서 제시된 Turbine-Rotor Mass Relationship의 개념화된 모델이다.

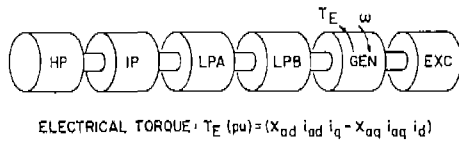


그림 10 SSR현상을 위한 개념화

이러한 개념화를 바탕으로 3차원 시각화 응용 프로그램에서 장면을 구성하기 위해서는 장면구성의 기본이 되

는 3차원 오브젝트 모델링이 필요하다. 이러한 모델링은 수작업으로 장면구성에 이용될 모델의 모든 꼭지점(Vertex) 및 법선벡터(Normal Vector)를 구성하는 값을 계산하여 그 결과를 응용 프로그램에서 이용하거나, 3차원 모델링 및 애니메이션 도구로 널리 이용되는 3D Studio Max등의 모델링 도구를 이용하여 복잡한 모델링 과정을 비교적 신속하게 작업하여 필요로 하는 모델의 모델링 데이터를 얻을 수 있는 방법이 있다. 그러나 현재 PC의 그래픽 성능으로는 상당한 복잡도를 가지는 모델링 도구를 이용한 모델을 적절하게 화면상에서 표현하는데 일정 정도의 한계가 있다. 따라서 구현된 응용 프로그램에서는 이러한 두 가지 방법을 절충하여 비교적 양호한 응용 프로그램의 성능을 얻는데 중점을 두었다.

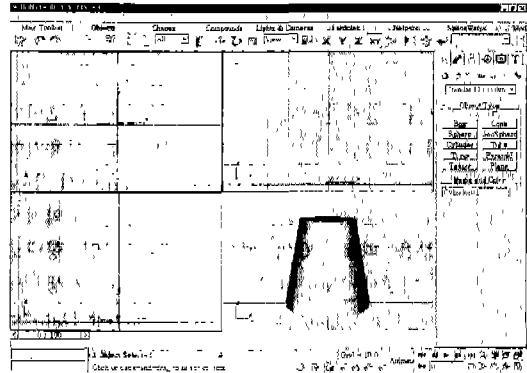


그림 11 3차원 오브젝트의 모델링

5. 응용 프로그램의 실제 구현

5.1 사례1 - SSR(Subsynchronous Resonance)현상의 전달을 위한 응용 프로그램 제작

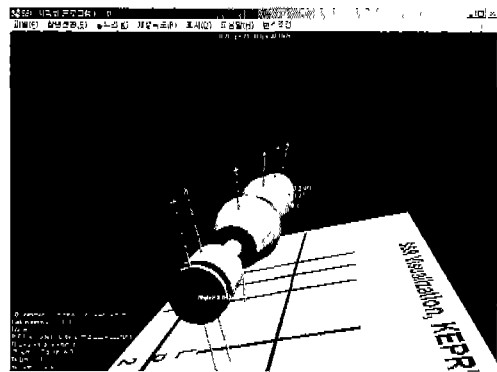


그림 12 3차원 시각화 응용 프로그램의 수행 1

위 그림 12는 SSR현상에 대한 개념화된 모델을 바탕으로 사용자에게 현상의 의미를 전달하기 위한 SSR시각화 응용 프로그램의 수행 모습이다. 각 원통형 물체는 고압 및 저압터빈, 발전기 등을 나타내고 있다. 사용자는 PSCAD/RTDS를 이용하여 시뮬레이션을 제어할 수 있다. 제어결과는 통신을 통해 실시간적으로 3차원 시각화 응용 프로그램에 반영된다. 다음은 응용 프로그램에서 기본적인 장면구동의 방법이다. 이러한 장면내의 이동을 통해 사용자는 현상에 대한 보다 직관적인 경험을 체득할 수 있다.

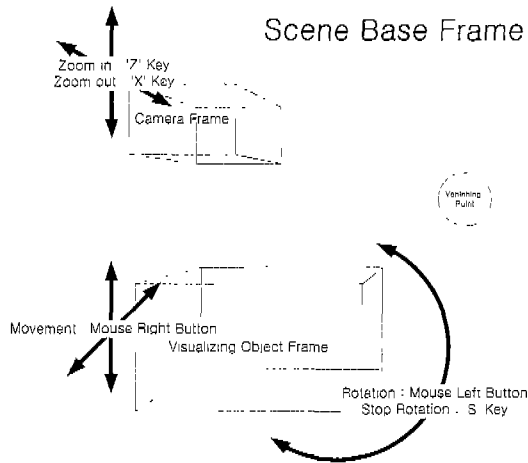


그림 13 3차원 시각화 응용 프로그램내 이동방법

응용 프로그램 상에서 사용자에게 제공되는 정보는 다음과 같다.

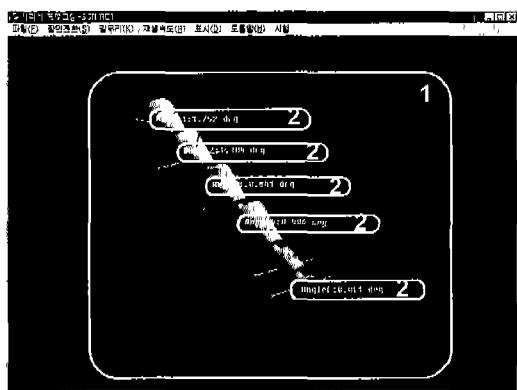


그림 14 3차원 시각화 응용 프로그램의 수행 2

그림 14의 1번 영역에서는 SSR현상으로부터 시각화에 이용되기 위하여 도출된 개념화된 모델을 이용하여 실제 장면이 구성되었다. 구성된 장면은 전력계통 실시간 시뮬레이터(RTDS:Realtime Digital Simulator)에서 실제 모의된 결과물 고속으로 취득하여 그 결과 값에 따라 동적으로 변화하게 된다. 각 2번 영역에서는 발전기(Generator)를 기준으로 하여 각 Mass의 상대적인 Torsional Angle을 전력계통 실시간 시뮬레이터를 이용하여 모의된 결과를 취득하여 사용자에게 숫자형태로 제시하고 있다. 시각화에 이용된 데이터는 Graphic workstation에 내장되어 있는 하드디스크 상에 덤프되어 저장 가능하며, 저장된 데이터를 이용하여 Replay가 가능한 기능을 포함하고 있으므로 전력계통 실시간 시뮬레이터가 없이도 모의 대상이 된 전력계통현상을 재현하여 볼 수 있다. 또한 이러한 재생 작업시 사용자가 인지하기 힘든 순간에 그 결과가 변화하는 현상을 정밀하게 보기 위하여 느린 속도로 재생하는 기능을 갖추어 좀 더 정밀하게 계통현상을 관찰할 수 있도록 할 수 있는 기능을 구비하였다.

5.2 사례2 - 온라인 단선도에 대한 3차원 가상 시뮬레이션

기존 전력계통의 수치적 시뮬레이션에서 결과를 일차적으로 파악하기 위해 널리 사용되던 수단은 2차원 온라인 단선도이다. 이는 이러한 시뮬레이션 결과의 표시뿐만 아니라 현재 운전중인 전력계통의 종합적인 상황을 운전자에게 전달하는 데 널리 사용되어 왔다. 다음 그림 15는 그러한 온라인 단선도에 대한 개념적 metaphor의 일례이다.

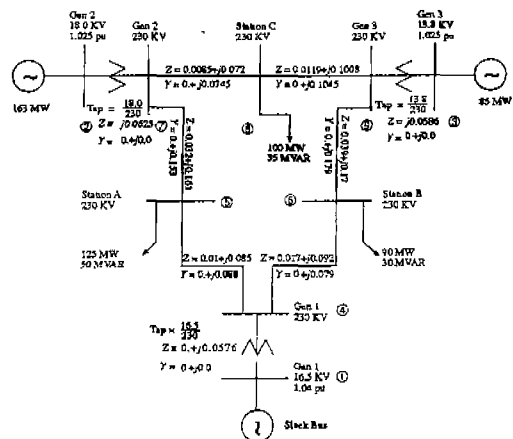


그림 15 WSCC 3기 9보선 계통도

다음 그림 16은 위의 개념적 metaphor를 이용하여 3차원 가상 시뮬레이션을 제공하기 위한 장면 설계이다. 피 학습자가 지닌 기본적인 개념에 충실하도록 이러한 장면설계 과정에는 대상 Domain에 대한 기본적 개념들이 고려되어야 하며 작성된 설계는 대상 학습자에 의한 검토가 수반되어야 한다.

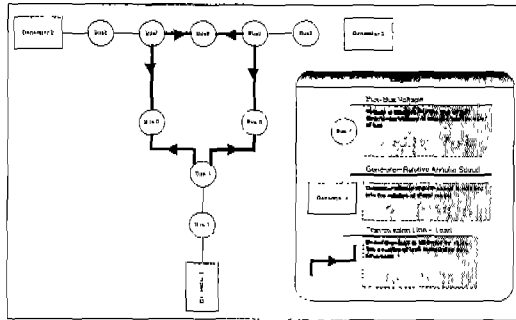


그림 16 개념적 metaphor를 이용한 장면설계

그림 15의 개념적 metaphor를 이용하여 모델 전력계통에 대한 3차원 가상 시뮬레이션을 제공하기 위한 응용 프로그램이 작성되었다.

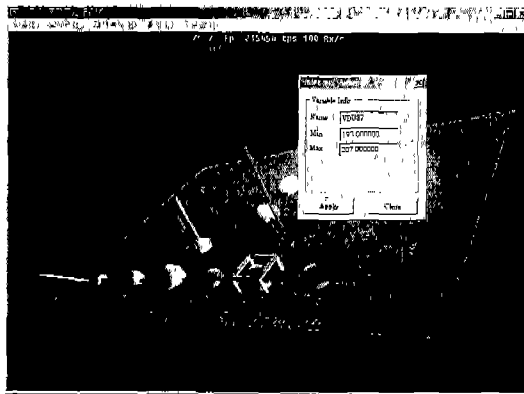


그림 17 WSCC 3기 9모선 시각화 응용 프로그램의 수행

위 그림 17은 모델 전력계통에 대한 전반적인 이해 및 실험을 수행하기 위해 작성된 WSCC 3기 9모선 시각화 응용 프로그램의 수행 모습이다. 사용자는 PSCAD/RTDS를 이용하여 시뮬레이션을 제어할 수 있다. 사용자에게 의한 제어결과는 통신을 통해 실시간 적으로 3차원 시각화 응용 프로그램에 반영된다. 이러한 사용자의

참여로 말미암아 보다 효율적인 전력계통에 대한 학습을 기대할 수 있다.

6. 결론

기존의 전력계통현상에 대한 해석은 수치적인 시뮬레이션 후 저장된 데이터의 파형을 그래프로 그려보는 수준이었다. 이 경우 국부적인 현상은 상세히 관찰할 수 있으나 직관적이지 못하며 대규모 계통의 경우 또는 그 해석에 있어 수학적인 배경을 필요로 하는 경우 대상 현상을 전체적으로 파악하기가 용이하지 않았던 것이 사실이다. 따라서 전력계통현상의 제현에 있어 그 이해과정의 난이성을 극복하고, 복잡한 수식적 전개나 이해를 필요치 않은 상태에서도 직관적인 현상을 전달하도록 하는 연구가 여러 전력계통 연구자들에 의해 모색되게 되었다. 본 논문에서는 전력계통 실시간 시뮬레이터(RTDS) 및 Workstation, PC등을 이용하여 전력계통에서 일어날 수 있는 여러 현상들을 모의하고 또한 그 결과를 효과적으로 사용자에게 전달할 수 있는 3차원 가상환경을 구성하였다. 또한 결과란 사용자에게 직관적으로 제시함과 더불어 사용자의 참여가 가능하게 하는 시스템을 구성함으로써 보다 효율적인 교육환경 구성을 시도하였다. 구현된 3차원 가상 시뮬레이션을 이용한 전력계통현상 교육용 MMI(Man Machine Interface)는 전력계통에서 실제 발생할 수 있는 현상을 직관적으로 피교육자에게 전달할 수 있으므로 학부교육과정은 물론 전력계통 운전원을 위한 교육에도 그 활용도를 넓힐 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 논문에서 제시한 방법을 통하여 기존 감시제어 시스템에 널리 이용되던 Text-Numerical한 제시방법을 개선함으로써 이러한 시스템의 사용자에게 보다 직관적으로 현재 감시/제어의 대상이 되는 시스템에 대한 정보를 전달하는 도구로서 이용될 수 있는 가능성이 있으며 이러한 응용 방향에 대한 보다 심화된 연구가 향후 계속 수행될 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] PowerWorld Corporation Homepage, <http://www.powerworld.com>, 2001.
- [2] Mahadev P. M., Christie R.D., "Envisioning Power System Data-Concepts and Prototype System State Representation," IEEE Trans. Power Systems, Vol. 8, No. 3, August 1993, pp1084-1090.
- [3] N.Shimada, H.Numano, A.Yokoyama, "Visualization of Voltage Collapse in Power system Using

3-Dimensional Computer Graphics Animation,"
ICEE 1999, 1999.

[4] A.J.Hauser, "Visualization of Global Power System States in a Compact and Task Oriented Way,"
13th Power Systems Computation Conference,
1999.

[5] Dommel H.W., "Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single and Multi phase Networks," IEEE Trans. PAS, Vol. PAS-88, No. 4, April 1969, pp 388-399.

[6] 디지털타임스 뉴스(일간지), 2001. 6. 25.

[7] R. Wright, M. Sweet, "Open GL Super Bible,"
Waite Group, 1996.

[8] Stan trujillo, "Cutting Edge Direct 3D Programming,"
Coriolis Group, 1999.

[9] IEEE SSR Task Force of the Dynamic System Performance WG, "First Benchmark Model for Computer Simulation of Subsynchronous Resonance,"
IEEE Trans. PAS, Vol. PAS-96, No. 5, Sept/Oct 1977.



윤용범

1958년 9월 28일생. 1984년 부산대학교 전기공학과 졸업(학사). 1986년 서울대학교 전기공학과 졸업(석사). 1995년 서울대학교 전기공학과 졸업(박사). 1996년 미국 MIT Visiting Scientist 근무. 현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 책임연구원.

관심분야는 전력계통 해석 및 시뮬레이터 개발



박인권

1972년 8월 25일생. 1995년 연세대학교 전기공학과 졸업(학사). 1997년 연세대학교 전기공학과 졸업(석사). 1997년 LG산전 중앙연구소 입사. 현재 LG산전 전력연구소 시뮬레이터팀 주임연구원. 관심분야는 전력계통 시뮬레이션, 3차원 그래픽



원중률

1969년 7월 21일생. 1993년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1995년 서울대학교 전기공학과 졸업(석사). 1998년 서울대학교 전기공학부 졸업(박사). 1998년 ~ 현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원. 관심분야는 전력계통 해석, 인공지능 및 컴퓨터 시뮬레이션



이진

1963년 1월 12일생. 1985년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1985년 LG산전 입사. 현재 LG산전 전력연구소 부장(시뮬레이터 팀장). 관심분야는 보호계전기, 임베디드 시스템 기술