

## IT 플랫폼 기반의 전력계통 해석 적용 - 실시간 조류해석에의 적용

정태영 · 백영식  
경북대학교

### Application of IT Platform to Power System Analysis

Tae-young Jyung, Young-Sik Baek  
Kyungpook National University

**Abstract** - IT(Information Technology) 기법을 전력계통 해석에 적용하는 것은 필수요건이 되었다. 그러나 IT 기술의 발 빠른 진화에 따른 전력기술자들의 기술력 적용은 쉽지 않다. 이와 같은 기술력 격차를 보완하기 위해서는 전력계통 해석기술과 IT 기술을 융합하는 방안이 필요하다. 본 연구에서는 IT 기술을 최대한 활용하여 전력기술 개발에 사용할 수 있는 방안을 전력계통해석의 근간이 되는 전력조류 문제에 적용하여 그 가능성을 검토하였다. 그 결과 전력계통 해석을 IT 플랫폼 기반에서 쉽게 구현할 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 IT 기술에 대해 별반 전문 지식이 없는 전력계통 기술자도 쉽게 IT 기술을 활용할 수 있을 뿐 아니라, 유지 보수 문제도 쉽게 해결될 수 있다.

## 1. 서 론

IT 기술의 발전은 전 산업분야에 걸친 실용화의 결실로 나타나고 있다. 전력계통 해석분야도 예외는 아니다 [5]. 전력계통 해석분야는 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션에 HMI(Human Machine Interface)를 도입하여 사용자 위주의 인터페이스로 변화하고 있다. 또한 컴퓨터 및 시간간의 통신에 의한 시뮬레이션범위의 확대도 보편화되고 있는 실정이다. 그러나 이 과정에서 계통 연구자에게 몇 가지 문제점이 발생하고 있다. 전통적인 계통해석 프로그램들은 상당히 복잡하기 때문에, 이들 프로그램에 IT 기법을 도입하는 것은 상당한 비용과 시간을 소모하게 되었다. 그리고 IT 산업은 발달속도가 매우 빠르기 때문에 유지 보수비용도 많이 든다. 즉 계통해석 기술과 IT 기술을 동시에 융합하는 방법은 계통해석 연구자에게 또 다른 부담이 되어 계통해석기술의 발전에 큰 걸림돌로 작용되고 있다.

이런 문제점들을 해소하기 위한 시도로써 본 연구에서는 IT 플랫폼을 계통해석에 적용하여 보았다. IT 플랫폼은 공장 자동화를 위하여 개발된 HMI를 사용하였고 HMI 개발 틀은 상용화를 통해 그 기술력이 상당한 수준에 와 있다. 따라서 계통해석프로그램을 기존의 IT 플랫폼 기반에서 개발한다면 개발 노력과 비용을 획기적으로 감소시킬 수가 있을 것이다. 또한 IT 기술의 발전에 따른 적용도 쉽기 때문에 유지보수비용 또한 상당부분 감소될 것이다. 그리고 중요한 점은 IT 기술을 최대한 활용하여 전력 계통 연구가 가능하다는 점이다.

본 연구에서는 최근 활발히 연구가 되고 있는 전력조류문제에의 시각화(Visualization)문제[1-5]를 다루었다. 전력조류 프로그램은 Visual C++을 사용하여 개발하였으며, DB(DataBase)는 MS SQL Server를 사용하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 IT 플랫폼

최근 개발되어 상용화된 IT제품 중 HMI 개발 틀들은

엔지니어들로 하여금 산업공정 감시 제어 응용프로그램을 쉽고 신속하게 작성, 테스트 및 운영할 수 있도록 폭넓은 기능을 제공하고 있다.

대표적인 IT 플랫폼의 기능을 간략히 살펴보면

1) GUI: 사용자 인터페이스 개발이 쉽도록 객체 드로잉 기능 및 표준 그래픽 컴퍼넌트와 ActiveX control의 사용, 비트맵 이미지의 연결 등 GUI 구현을 위한 다양한 기능을 사용할 수 있다.

2) 강력한 연결성 : 다양한 I/O 서버를 통하여 각종 Device와 Network의 결합이 가능하며, ODBC(Open DataBase Connectivity)와 DDE(Dynamic Data Exchange), OPC(OLE for Process Control)등을 지원한다.

3) 구조 : 클라이언트/서버 구조로 되어 있고 각 클라이언트들은 독립 환경에서 유지보수 가능하며 NAD기능으로 Network 어플리케이션을 개발이 용이하다

대부분의 공장자동화 플랫폼은 공정의 감시 제어, 실시간 DB, I/O 서버, 공정의 일괄처리 및 추적을 수행하는 제품들을 하나로 통합하여 공급하는 추세이다. 따라서 이런 플랫폼을 사용한다는 것은 IT 최신 기술들을 사용할 수 있는 기반이 있다는 것이며 이들 제품들의 업그레이드로 지속적인 기술력 향상이 보증된다.

### 2.2 전력조류계산

본 연구에서 사용한 전력조류계산 엔진은 Visual C++을 사용하여 개발하였으며 다음과 기능을 가진다.

1) ordering 기능

역행렬 계산 시 행렬의 sparsity 성질을 계속 유지하기 위해서는 모션 재배열을 해야만 한다. 본 연구에서는 연결 선로 개수에 따른 준 최적 모션배열 기법을 사용하였다.

2) slack 모션 지정 기능

slack 모션을 외부에서 제어 가능하도록 배려하였다.

3) sparsity 계산 기능

계통의 어드미턴스 행렬은 sparse 하여, 역행렬 계산 시 계산 량을 획기적으로 줄일 수 있다. 이 기능은 ordering 기능과 함께 사용해야만 한다.

4) Tap 조절 기능

기본적인 전력조류계산은 내부에 조건용량을 조절하는 기능을 포함한다. 이에 더불어 본 연구에서는 tap을 조절할 수 있는 기능을 추가하였다.

5) 선로 차단 시 모의 기능

선로 차단에 따른 전력조류계산이 가능하도록 하였다.

6) 입출력 DB(SQL Server) 연결 기능

### 2.3 전력조류문제에의 적용

전력조류문제는 전력계통 해석의 기본으로 이것을 시각화하는 문제는 많은 진전을 이루고 있다. 본 연구에서는 계통에 흐르는 유효 및 무효출력을 쉽게 판별 가능하도록 시각화 하였으며, 과부하 및 저전압의 경우 경보 발생으로, 계통파악이 쉽도록 하였다.

본 연구는 전력계통의 실시간 모의를 위한 테스트용으로 개발되었다. 계통의 모델링이 주어진 경우, 계통의 변화(부하변동 및 선로변동)에 따라 실시간으로 모의가 이루어지며 결과가 클라이언트 컴퓨터에 모니터링 되고 동시에 이들 클라이언트에서도 계통을 변경하여 실시간으로 해석이 가능하다

### 2.3.1 계통의 시각화

1) 계통의 연결 및 모션 : 전력계통의 연결은 보통 모션으로 사용하는 BUS bar를 연결하도록 나타내고 있다. 사용자가 전체계통의 구성과 상태를 판단하고 식별하기에는 모션의 형태가 막대기 보다는 원형이 더욱 좋다[1,2]는 연구결과에 따라 본 연구에서도 원형 모션을 사용하였다. 모션에 전압을 나타내는 방법으로 전압 크기에 따라서 높이가 변하도록 하였고 바탕화면은 전압이 낮을 경우 붉은 색으로 변하여, 경각심을 일으킬 수 있도록 하였으며 일정전압 이하가 되면 경고를 발하도록 하였다. (그림1 참조)

2) 선로 표현 : 선로는 연결결과 용량을 동시에 나타내기 위해서 선로의 연결은 직선으로, 선로에 흐르는 전력은 직사각형으로 나타내었다. 선로는 검정 실선으로 표시하였으며, 차단시 노란색으로 변하도록 하였다. 전력을 나타내는 직사각형의 밑변은 용량에 따라 비례하여 길이가 정해지며(MVA 피상전력), 사각형 안에서의 채워지는 색상 부분은 전체용량(MVA)에 대한 전력의 흐름(MW)이 %로 나타내도록 하였다. 사각형의 높이는 무효전력량에 비례하여 길이가 변하도록 하였다. 또한 유효전력의 방향이 선로에 표시된다. 선로에 흐르는 피상전력(MVA)이 주어진 값을 초과 할 경우, 선로는 빨간색의 경고를 발한다. 직사각형의 밑변은 유효전력, 높이는 무효전력을 나타내므로 대각선은 피상전력 (MVA)을 나타낸다. (그림1 참조)

3) 부하의 표현 : 부하는 사각형으로 나타내며, 밑변은 유효전력 높이는 무효전력에 비례하도록 하였다. 따라서 대각선은 피상전력[MVA]을 나타낸다. 부하의 무효전력이 반대일 경우 사각형의 테두리를 빨간색으로 나타낸다.

4) 발전기 표현 : 발전기는 타원으로 나타내었다. 밑변은 출력 용량(MVA)에 비례하며, 실제 유효 출력량에 따라서 오른쪽으로 색깔이 채워지도록 하였다. 높이는 무효출력을 나타낸다. 이 높이는 무효전력의 크기에 따라 변하게 하였다. 만약 무효전력의 출력이 부 이라면 타원의 둘레를 빨간색으로 변하도록 하였다.

5) 병렬 캐패시터 : 용량에 비례하는 높이를 가진 원통형 모양이며, 발생용량에 따라 색깔이 채워지도록 하였다. 만약 부인 경우에는 둘레를 빨간색으로 변하도록 하였다. 이 설비는 유효전력이 0 이나, 도형을 보이도록하기 위하여 짧은 밑변을 가졌다.

6) 차단기 표현 : 선로 양단에 차단기를 달아서, 선로의 on off를 그래픽 상으로 표현 가능하게 하였다. 차단기 표시인 작은 사각형을 클릭하면 차단기와 선로의 색깔이 변하여서 선로가 차단된 것이 보인다.

7) 변압기 표현 : 변압기는 선로와 같은 표시 방법을 사용하였다. 다만 변압기 선로임을 나타내기 위하여, 변압기 기호를 첨가하였다.

### 2.3.2 기능

#### 1) 계통 상태 신속 파악

전압 여유, 기기 용량 여유 확인, 전체 시스템 동향 등은 시각적으로 볼 수 있다.

#### 2) 계통상태 Excel 로 보기

현 상태의 모든 데이터를 Excel Sheet로 볼 수 있으므로 Excel의 편리한 기능을 전부 이용 가능하다.

#### 3) 차단기 동작 기능

차단기를 동작하여, 계통의 변화를 미리 진단할 수 있다.

#### 4) 경보 레벨의 설정기능

운전원이 전압 경보 레벨 및 과부하 레벨을 직접 입력하여, 계통 상태를 시각적으로 쉽게 확인 가능하도록 하였다.

### 2.3.3 예제계통 적용

#### 1) 적용시스템

본 시스템은 실제 운영 시스템을 모의하기 위한 초기 단계로 개발하였다. 운영자는 현재의 계통 상태를 모니터 화면상에서 파악할 수 있다. 실제 계통에서는 모든 정보가 on-line을 통하여 컴퓨터로 들어오나, 모의 시스템에서는 이 신호를 DB로부터 받는 것으로 가정하였다. network에는 또 다른 계통해석 운용자용 컴퓨터가 연결되어 있어, 여러 가지 계통 모의가 가능하도록 하였다.

샘플 시스템으로는 IEEE 14모선계통을 사용하였으며 기본적인 전력조류계산 모의 시스템은 다음과 같다.

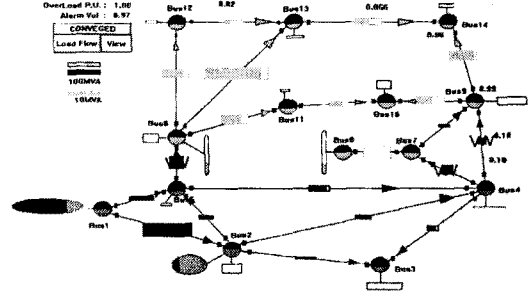


그림1. IEEE 14 BUS 시스템

그림 설명: 샘플 계통은 고압부와 저압부로 구성된다. 진정색은 고압부이고 연푸른색은 저압부이다. 왼쪽 상단에서 각 전력의 크기를 참조 할 수 있다. 연보라색의 용량은 같은 길이가 질푸른 색의 1/10에 해당한다. 슬랙 발전기는 모선2 연결 발전기이다. 발전기 1을 보면 수평직경이 발전용량(MVA)에 해당되는 길이이며, 수직 직경은 무효전력 출력에 비례하는 길이로 출력에 따라 길이가 자동으로 변한다. 실제 발전출력(MW)은 진정색으로 채워진 부분의 길이이다. 타원의 둘레는 빨간색인데, 무효전력을 소모하는 것을 의미한다. 모선6 과 모선8 에는 무효전력 공급원이 있고, 현재의 출력 현상이 나타난다. 변압기 부분과 모선 1,2 선로가 과부하인데, 실제로는 선로가 빨간색으로 깜박이며 경고를 발생하게 된다. 모선 9,14 선로는 유효전력 측면으로는 약간의 여유(흰부분)이 있으나, 선로에 흐르는 전력은 대각방향의 전력이므로, 이 선로도 과부하 경고를 발하게 된다. 모선4 에 연결된 부하는 무효전력을 발생(빨간 테두리)하는 부하임을 알 수 있다. 모선 7,8 사이의 선로는 모선 8에 부하가 없으므로, 단지 무효전력만 흐른다. 어떤 경우에는 무효전력의 흐름만으로도 경보를 발하는 경우가 있었다. 좌측 상단에 과부하율과 경보전압이 표시되어 있으며 이 값은 입력이 가능하므로 이것을 사용하여 계통의 여러 상황을 시각적으로 알 수 있다. 과부하 율을 0.9로 입력하면 가용용량의 90% 이상으로 운전하고 있는 모든 설비는 경고를 발생하게 된다. 만약 경보전압을 0.97로 입력하면 전압이 0.97pu 이하인 모든 모선은 경보를 발하게 된다.

다음 그림은 모선 5,6 사이의 변압기 차단된 결과를 나타낸다.

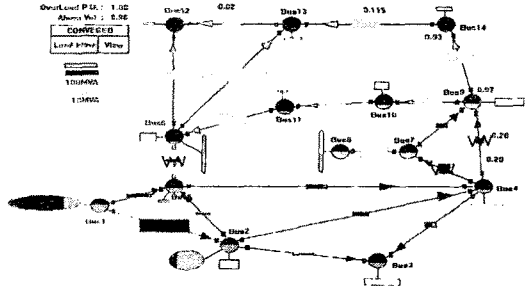


그림2. 모선 5,6 사이의 변압기 차단 결과

사고 변압기로 흐르던 전력이 우회하므로 우회하는 쪽의 선로가 과부하로 나타났으며, 무효전력의 공급이 먼 부분의 전압이 많이 하강하였음을 볼 수 있다(모선의 파라부분이 많이 내려가 있음). 경보전압은 0.97에서 0.96으로 변경하였다. 전압조정(1.0 지정)모선인 모선6측의 무효전력공급원은 전부 출력하였으나 무효전력의 부족으로 전압이 많이 하강되었음을 알 수 있다. 모선8측 무효전력 공급원은 모선 8이 전압 1.0 지정 전압 조절 모선이므로, 이 값을 유지시키는 무효전력만 발생하였다. 모선 1,2 사이의 선로는 경보가 발하고 있음을 보여주며, 다른 경보도 발하고 있는 도중이나, 갑박이는 현상으로 화면에는 순간 포착이 되지 않았다.

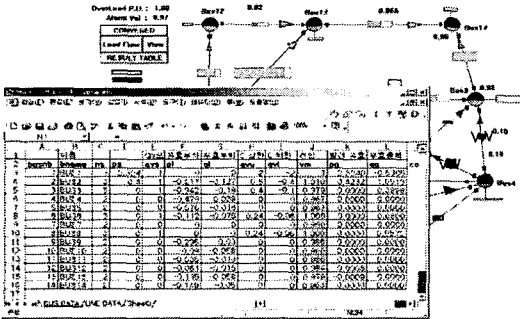


그림3. Table 형태의 결과 출력

(그림3)은 패키지 운영도중 RESULT TABLE 단추를 눌러 그 결과를 EXCEL로 출력한 것을 보인다. 이 테이블은 엑셀을 그대로 불러온 것이므로, 엑셀의 편리한 기능을 모두 이용 가능하다. 또한 새로 고침 tab을 사용하여, 언제든지 새로운 결과 값을 반영하여 볼 수 있다.

2) 실시간(real-time) 시뮬레이터

아래 그림과 같이 본 시스템을 on-line 용으로 개발하였다.

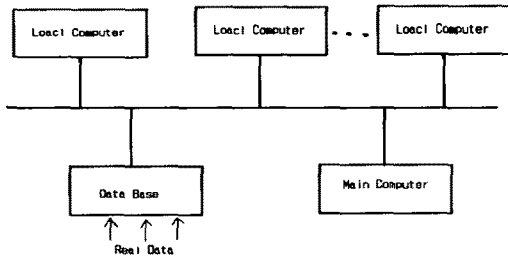


그림4. 실시간 조류계산 시스템

실제 계통에서는 on-line으로 데이터가 DB에 입력되며, 이것이 그래픽으로 표현되어 운전원의 화면에 표시된다. 본 시스템은 실제 데이터 입력이 불가능하므로 대신 주 컴퓨터에서 제작된 부하곡선이 DB로 입력되고 이것을 실제 데이터와 같이 취급한다. 그림에서 주 컴퓨터의 기능은 부하곡선 관리 및 조류계산 수행이다. 조류계산은 1.5초 마다 DB에서 제공되는 부하데이터 값을 기본으로 하여 수행된다. local 컴퓨터에서는 주컴퓨터에서 계산된 결과 값을 마치 on-line으로 데이터가 들어오는 것 같이 시각적으로 볼 수 있다. 또한 선로 차단 기능을 사용하여, 현재의 데이터 상에서 선로 사고 후의 조류 결과를 미리 확인하여 볼 수 있는 기능도 가지고 있다.

Local 컴퓨터에서 On-line 기능을 수행 시 매 1초마다 주 컴퓨터에서 수행된 조류계산결과를 가지고와서 이 값들을 화면에 시각적으로 보인다. 주 컴퓨터의 화면과 대부분 같으며, 몇 가지 추가 기능을 가지고 있다. Local 컴퓨터에서도 지금 표시되고 있는 상태에 대해 차단기를 클릭하여, 선로를 차단한 뒤 Load Flow 단추를 클릭하여 그 결과를 즉시 시각적으로 볼 수 있다.

Alarm\_View 버튼을 클릭할 경우 시각적이 아닌 text 형태로 계통의 상태를 감시할 수 있다. Real Trend 버튼

을 클릭하면 정의된 선로의 전압상태를 실시간 그래프로 표시된다. 계통데이터들은 실시간 그래프로 표시되므로 계통 상태의 진행과정을 볼 수 있는 Tool로 이용가능하다.

Hist Trend 단추를 클릭할 경우 과거의 계통 상태를 다시 볼 수 있는 Tool로 이용된다.

이들 모든 Tool 들은 IT 패키지가 내장하고 있으므로, 실제 프로그램 작성 단계에서는 이 기능을 이용만 하면 된다.

2.3.4 기존패키지와 비교

계통해석 관련 상용 패키지는 PSS/E, PowerWorld, PTW 등 그 종류가 다양하며, 앞으로 사용이 점점 증가할 전망이다. 이런 추세에도 불구하고 개발 비용 및 기술력의 미비로 우리나라에서 자체 개발된 제품은 거의 없다. 이들 패키지들은 지난 수년간 개발과정을 거친 기존의 엔진에 HMI 및 DB를 적용하여 사용자의 편리성을 증진시켰으며 IT의 기술 발전에 따라 계속 Update를 하고 있다. 본 연구에서 개발된 기법을 이들과 비교하여 보면 몇 가지 장점이 있다. 본 개발제품은 상용 IT 제품을 플랫폼으로 사용하여야 하는 제약이 있는 반면에, 개발자 또는 사용자 입장에서 보면, 시스템의 유지 보수 등 변경이 자유로운 이점이 있다. 또한 플랫폼은 반복사용이 가능하고 한번만 사용한다 할지라도 기존 패키지 구입비용과 비교하면 1/5 수준이다. 이에 비해 상용제품들은 패키지 화 되어 있으므로 주어진 환경에서만 사용 가능하고, 외부에서의 접근을 불허한다.

3. 결 론

본 연구에서는 IT 플랫폼을 사용한 전력조류계산 패키지 개발을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째: 전력해석 엔진을 가지고 있다면 적은 노력으로 쉽게 이 엔진을 IT화 할 수 있었다.

둘째: 시스템의 유지보수가 쉬웠다. 또한 사용 플랫폼은 객체지향적(Object Oriented Programming)으로 시스템을 설계하도록 되어 있으므로 개발 프로그램의 재사용등 OOP의 모든 잇점을 사용 가능하다.

셋째: 새로운 시각화제품을 개발하였다. 계통 시각화를 통하여, 계통의 모든 상황을 그래픽으로 판별 가능하도록 하였다.

본 연구는 계통해석의 기본이 되는 전력조류해석의 시각화에 관한 연구이다. 그러나 본 기법은 지속적인 upgrade가 쉽게 이루어질 수 있으므로, 계통해석제품의 최대 관건인 유지보수 측면이 해결되며 OOP의 기능으로, 각 요소별 프로그램 개발이 가능하다. 따라서 기존 방법의 최대 약점인 기술력의 지속적인 연결이 가능하며, 계통해석패키지의 기술력 향상에 크게 기여가 가능할 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

1. Gilberto, Bruno, "Enhancing the Human-Computer Interface of Power System Applications", IEEE PAS, Vol.11, No.2, May 1996
2. Moreno, Castro, "Graphical Representation of Componebts, Connectivities and magnitudes in an Electrical Network", 1999 IEEE
3. Mahadev, Christie "Case Study: Visualization of an Electric Power Transmission System", 1994 IEEE
4. Rochefort, Guise, gingras, "Development of a Graphical user Interface for a Real-Time System Simulator", IEEE 1995
5. Tsay, Chan, "A Personal Computer Graphical Environment for Industrial Distribution System Education, Design, and Analysis" IEEE PAS. Vol.15, No.2, May 2000
6. Ali F. Vojdani, "Tools for Real-Time Business Integration and Collaboration" IEEE PAS Vol.18, No.2, May 2003, pp555-562
7. L. Grasberg, L. Osterlund, "SCADA EMD DMS - A Part of the Corporate IT System" IEEE Proc. Power Ind. Comput. Applica. Conf., 2001 pp141-145