

# 교육용 전력조류계산 프로그램의 웹 서비스를 위한 시스템 구성 및 데이터 재가공 방법론 개발

論 文

53A-6-3

## Development of System Architecture and Method to Reprocess Data for Web Service of Educational Power Flow Program

梁 廣 民\* · 李 起 松\*\* · 朴 宗 培\*\*\* · 愼 重 麟§

(Kwang-Min Yang · Ki-Song Lee · Jong-Bae Park · Joong-Rin Shin)

**Abstract** - This paper discusses the development of an educational web-based power flow program for undergraduate students. The interaction between lectures and users can be much enhanced via the web-based programs which result in the student's learning effectiveness on the power flow problem. However the difficulties for developing web-based application programs are that there can be the numerous unspecified users to access the application programs. To overcome the aforementioned multi-users problem and to develop the educational web-based power flow program, we have revised the system architecture, the modeling of application programs, and database which efficiently and effectively manages the complex data sets related to the power flow analysis program. The developed application program is composed of the physical three tiers where the middle tier is logically divided into two kinds of application programs. The divided application programs are interconnected by using the Web-service based on XML (Extended Markup Technology) and HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) which make it possible the distributed computing technology. Also, this paper describes the method of database modeling to handle effectively when the numerous users change the parameters of the power system to compare the results of the base case.

**Key Words** : Flow, Educational Simulator, Web-Based Program, XML Web Service

### 1. 서 론

기존의 대부분의 전력 시스템의 해석을 위한 프로그램들은 대규모 시스템에 적용할 수 있도록 정확하고 빠른 결과를 도출할 수 있고 수학적으로 안정한 알고리즘 개발에 초점이 맞추어져 있었다[1]. 하지만, 최근 전력 시스템 해석을 위한 프로그램들은 그 구성과 시뮬레이션 결과를 보여주는 방법에 있어 많은 변화가 나타나게 되었으며 특히, 교육용 프로그램을 필두로 하여 단순 텍스트 위주에서 GUI(Graphical User Interface)를 사용한 마이크로소프트(MS)사에서 개발한 컴퓨터 운영체제인 윈도우즈(Windows) 기반 응용프로그램으로 바뀌기 시작하였다[2-7]. 특히, Overbye 등은 컨투어(Contour) 및 3D 효과 등을 이용하여 사용자들에게 전력시스템의 모션별 전압의 크기와 위상, 유/무효 전력 등의 결과를 효과적으로 전달할 수 있는 방법론들을 제시하였고 윈도우즈 기반 응용프로그램에 적용하였다[5-7].

또한, 최근 인터넷(Internet) 기술이 급속도로 발전하면서 인터넷 사용이 가능한 곳이라면 어디서든지 컴퓨터와 컴퓨터 간의 통신이 가능하게 될 뿐만 아니라 컴퓨터 운영시스템에

상관없이 웹(Web)을 통하여 필요한 정보를 공유할 수 있게 되었다. 이 뿐만 아니라 소프트웨어를 개발하는데 있어서도 네트워크 내에 두 개 이상의 물리적으로 분산된 응용프로그램의 재사용이 가능한 분산처리 기술이 개발되었다. 이러한 분산처리 기술들에 있어 주요한 프로토콜은 OMG(Object Management Group)의 CORBA(Common Object Request Broker Architecture)와 MS의 DCOM(Distributed Component Object Model) 등이 있다[8].

하지만, 위의 기술들은 동일 플랫폼내에서 응용프로그램을 개발하기 위해 설계되어 있기 때문에 여러 플랫폼에 분산되어 있는 응용프로그램을 개발하기 위해서는 적합하지 않다. 최근 HTTP(Hyper Text Transfer Protocol)와 같은 공개된 프로토콜을 기본으로 하는 SOAP(Simple Object Access Protocol)과 복잡한 포맷을 기반으로 하는 DCOM과 CORBA와 달리 간단하고 확장이 가능한 XML(Extensible Markup Language) 스키마를 이용하는 웹서비스(Web Service)의 개발로 여러 플랫폼에 분산되어 있는 응용프로그램의 재사용이 가능하게 되었으며 최근 이러한 기술을 이용한 전력시스템 해석 및 분석을 위한 소프트웨어들이 등장하고 있다[9-12].

본 논문에서는 위의 기술들을 이용하여 전력시스템의 운용 및 확충계획 수립시 기본이 되는 전력조류계산을 위한 교육용 소프트웨어를 개발하였다. 대부분의 기존의 조류계산 프로그램의 경우, 특정 시점의 전력조류의 결과만을 제시할 수 있기 때문에 전력설비의 입력데이터의 변경에 따른 결과를 비교하기 위해서는 각 경우의 조류계산 결과를 따로 저장한 후 각각의 상황에 대한 결과들을 다른 프로그램을 이용하여

\* 學生會員 : 建國大學 電氣工學科 碩士課程

\*\* 正 會 員 : 建國大學 電氣工學科 博士課程

\*\*\* 正 會 員 : 建國大學 電氣工學科 助教授 · 工博

§ 正 會 員 : 建國大學 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2004年 3月 15日

最終完了 : 2004年 4月 27日

제가공할 필요가 있다. 이러한 번거로움은 정확하지 않은 결과를 사용자들에게 전달될 수 있으며, 교육용 프로그램의 경우 학습자의 흥미를 반감시킬 수 있다. 또한, 교육용 프로그램 목적으로 사용되기 위해서는 교육자와 학습자 간에 유기적인 상호작용을 반영할 수 있도록 개발될 필요가 있다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 기존의 소프트웨어의 한계점을 보완하기 위해 여러 사용자가 조류계산을 수행하고 수행된 결과를 기존의 여러 연산 방법론별로 비교 분석해 볼 수 있는 교육용 조류계산 소프트웨어의 웹 서비스를 위한 시스템 개발 뿐만 아니라 사용자에게 의해 변화된 입력데이터에 대한 전력조류 결과를 동시에 제시할 수 있는 데이터베이스 기반하의 소프트웨어를 개발하였다. 그리고 많은 사용자들이 동시에 접속 가능한 웹 기반 교육용 프로그램의 특성을 고려하기 위하여 참고문헌 [9,10,12] 등에서 일반적으로 제시하고 있는 사용자 계층(Client Tier), 중간계층(Middle Tier), 데이터 계층(Data Tier)으로 나누는 3계층(Three Tier) 모델링을 기초로 하여 중간계층(Middle Tier) 부분을 웹 서버와 응용프로그램으로 나누고 응용프로그램 또한 조류계산이나 고장해석 등 기능별로 좀더 세분화하여 운영할 수 있도록 설계하였다. 그리고 교육자와 학습자간 파일 공유를 통해 교육용 보조 자료로 사용될 수 있게 하였다. 본 논문에서 개발된 교육용 전력조류계산 소프트웨어는 거의 대부분의 전력시스템 분석 소프트웨어의 기술을 해외에 의존하고 있는 우리나라의 경우 기술에 대한 자립 뿐만 아니라 현재 전기공학을 전공하고 있는 학생들이나 전력관련 실무자들이 조류계산의 이해도를 높여줄 수 있을 것이다.

## 2. 웹 기반 조류계산 프로그램

### 2.1 시스템 구조

웹 기반 응용프로그램을 가장 손쉽게 개발할 수 있는 시스템 구조는 대부분의 연산 모듈과 DB 관련 모듈, 웹 서버 모듈 등을 하나의 서버에 구축하는 것이다. 위와 같은 형태로 구축된 경우 개발자로서 얻을 수 있는 가장 큰 장점은 모든 모듈을 포함하고 있는 서버만을 통하여 개발자가 관리하면 되므로 응용프로그램 확장이나 유지·보수할 때 시간과 노력을 절약할 수 있다. 하지만, 웹 기반 응용프로그램의 경우 불특정 대다수가 접근하여 서버에 응용프로그램의 구동과 결과를 요청하기 때문에 하나의 서버에 모든 모듈이 포함된 경우에는 서버의 시스템 사양, 뿐만 아니라 대다수 응용프로그램 이용자의 서버 사용에 대한 최적 분배 알고리즘 등이 요구될 것이다. 특히 조류계산의 경우 모선의 증가에 따라 그 계산의 양이 기하급수적으로 늘어나기 때문에 대다수 이용자가 대규모 전력시스템을 시뮬레이션 하는 경우에는 위와 같은 최적의 시스템 사양을 가지고 있고 이용자의 서버 이용의 최적 분배가 이루어진다고 할지라도 서버가 다운되는 등 심각한 장애를 일으킬 수 있다. 따라서 대부분의 웹 기반 응용프로그램들은 이러한 문제점을 해결하기 위하여 그림 1과 같은 분산 시스템을 구축하여 연산에 대한 컴퓨터 시스템의 물리적인 부담을 최소화하고 있다[9,10,12].

그림 1에서 제시된 것처럼 웹 기반 응용프로그램을 구축하기 위한 기존의 분산시스템은 일반적으로 크게 사용자 계층

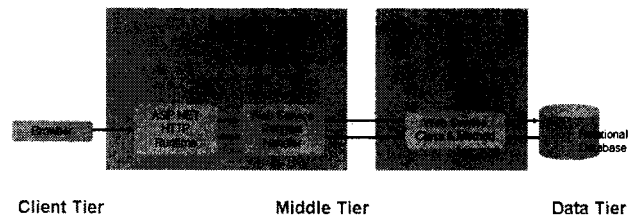


그림 1 웹 기반 응용프로그램을 구축하기 위한 계층별 시스템 구조

Fig 1 System architecture for developing the web-based application program

(Client Tier), 중간 계층(Middle Tier), 데이터 계층(Data Tier)으로 구성되어 있다[9,10,12]. 여기서, 사용자 계층은 기본적으로 웹 기반 응용프로그램 사용자들의 요구사항들을 입력받아서 요구사항에 맞는 데이터를 사용자 컴퓨터의 익스플로러(Explorer)나 네비게이터(Navigator) 등과 같은 웹 브라우저(Browser)를 통해 보여주는 기능을 수행한다. 중간 계층에서는 사용자 계층에서 입력된 사용자의 요구사항에 따라 실제 응용프로그램을 수행하고 계산하는 기능을 담당하는 응용프로그램 서버(Application Server)와 그 결과를 사용자의 컴퓨터 시스템의 웹 브라우저를 통해 보여줄 수 있는 기능을 담당하는 웹 서버(Web Server)로 분리되어 운영된다. 마지막으로 데이터 계층은 사용자 계층에서의 사용자의 응용프로그램 수행을 위한 요구사항 뿐만 아니라, 사용자의 요구사항에 따른 응용프로그램 수행결과를 모두 저장하는 기능을 담당한다.

본 논문에서 개발한 프로그램은 그림 1과 같은 분산시스템을 기반으로 하여 구축되었을 뿐만 아니라 전력계통 해석을 위한 응용프로그램의 경우 조류계산, 고장계산, 절연협조, 가관측성 해석, 상정사고 해석 등과 같이 여러 분야로 구분되어 있고 대규모 계통을 해석하기 위해서는 많은 연산 시간을 필요로 하기 때문에 그림 2와 같이 응용프로그램 서버를 좀더 세분화해 물리적으로 다른 프로세서를 사용할 수 있게 개발하였다. 이를 위해서 HTTP와 같은 공개된 프로토콜을 기반으로 한 SOAP과 응용프로그램 개발하는데 있어 간단하고 확장이 용이한 XML 스키마를 기반으로 한 웹 서비스(Web Service)를 이용하여 본 프로그램을 개발하였다. 본 논문에서 개발한 응용프로그램에서는 위에서 언급한 웹 서비스를 이용하여 개발되었기 때문에 조류계산과 관련된 계산 모듈을 웹을 통하여 제공할 수 있으며 우리나라 실계통 수준의 대규모 계통해석이 가능하도록 개발되었기 때문에 좀 더 심화된 학습을 원하는 사용자 혹은 전력계통 관련 실무자들은 단 몇 줄의 코딩으로 쉽게 조류계산 프로그램을 구축할 수 있을 뿐만 아니라 우리나라 실계통 사례연구도 수행해 볼 수 있을 것이다.

다음 그림은 본 논문에서 개발한 웹 기반 응용프로그램 구축을 위해 설계된 응용 프로그램 구성도 및 시스템 구성도이다. 그림 2에서 보여지는 것처럼 사용자 관련 정보는 모두 데이터베이스에 저장되어있으며 이러한 정보를 통해 사용자 인증을 처리하게 된다. 그리고 사용자가 인터넷 브라우저를 통해 조류계산 페이지에 접근하면 웹 서버에서는 【Power Flow Module】에서 해당 함수들을 불러와 그 결과들을 사용자에게 보내주게 된다. 이 실제적인 계산 함수들이 있는 【Power Flow Module】에는 웹 페이지를 통해 접근할 수도

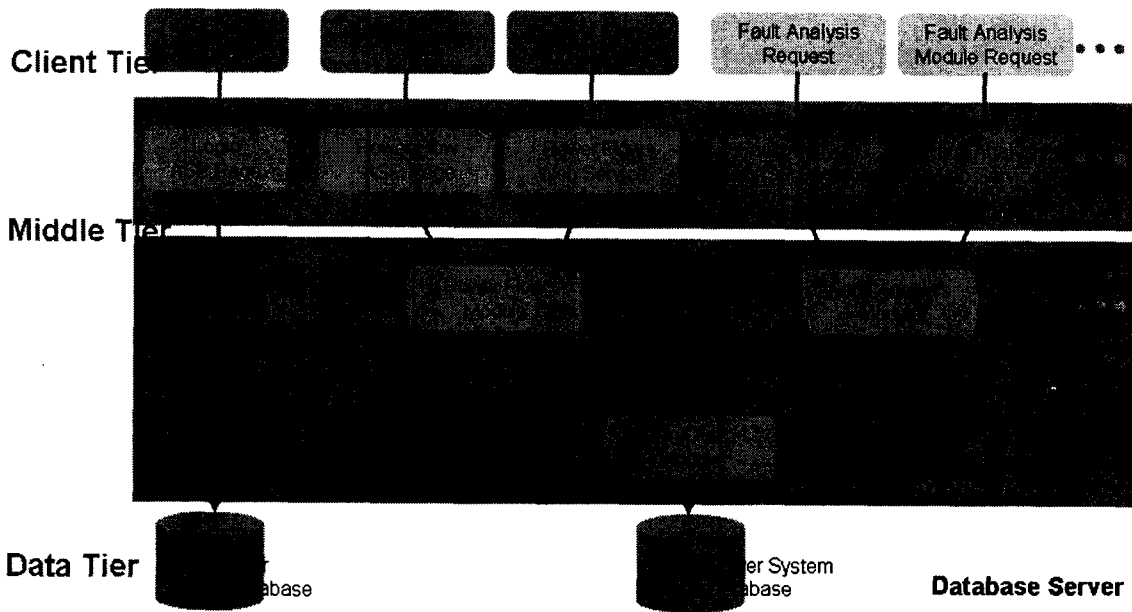


그림 2 교육용 웹 기반 조류계산 프로그램의 구조  
 Fig. 2 Educational Web-Based Power Flow Simulator Architecture

있지만 그 외에도 웹 서비스를 통해 제공되므로 사용자가 직접 웹 서비스에 접근해 제공하는 함수들을 직접 불러다 코딩할 수도 있다. 그리고 해당 데이터베이스에 접근하기 위해 **【In/Out Module】**을 사용하며, 이 모듈에는 계통 데이터베이스 외에도 파일 형식의 저장과 불러오기도 제공하고 있어 사용자는 브라우저의 화면에서 뿐만 아니라 텍스트 형식의 결과도 받아 볼 수 있다. 그림 2에서 **【Fault Analysis Module】**은 현재 개발 중에 있으나 이미 **【In/Out Module】**에서는 고장해석과 관련된 웹 서비스를 하고 있기 때문에 전력계통 분야의 고장해석 분야에 관심이 있는 학습자는 웹 서비스를 이용해 자신만의 모듈을 만들어 자신의 컴퓨터에서 고장해석을 수행해 볼 수 있을 것이다.

2.2 웹 서버 구동 프로그램 모델링

본 논문에서 개발한 프로그램의 시스템은 위에서 언급한 바와 같이 사용자 계층, 중간 계층, 데이터 계층의 물리적인 시스템으로 구성될 수 있다. 본 절에서는 본 논문에서 개발한 응용프로그램 중에서 위의 물리적인 3계층을 연결하는 중간 계층의 일부인 웹 서버를 구동 프로그램의 설계 방법론을 제시하고자 한다. 본 논문에서 개발한 웹 서버 구동 프로그램의 설계 방법론을 제시하기 위하여 UML(Unified Modeling Language)을 이용하였다. UML은 소프트웨어를 개발하기 전에 사용자의 요구사항에 대하여 능동적으로 대처하면서 개발에 대한 위험요소를 줄이고 소프트웨어를 보다 견실하고 효율적으로 만들기 위해 1990년도 후반에 Booch, Jacobson, 그리고 Bumbaugh에 의해 개발된 소프트웨어 모델링 언어이다[13]. 또한, UML은 표준화된 소프트웨어 모델링 언어로서 여러 사물(Things), 관계(Relationships), 다이어그

램(Diagram)으로 구성되어 있다. 따라서 UML의 각 구성요소와 표현요소들을 이용하여 소프트웨어의 산출물을 가시화하고 명세화하며 문서화하는데 사용될 수 있다.

본 논문에서는 웹 서버 구동프로그램의 모델링을 제시하기 위하여 그림 3과 같이 소프트웨어 구성요소 혹은 클래스의 동적인 면을 나타내는데 사용되는 시퀀스도를 중심으로 하여 물리적으로 분리된 3계층 사이에서 중간 계층의 일부인 웹 서버 구동 프로그램의 역할을 기술하고자 할 뿐만 아니라 개발된 여러 응용프로그램간의 기능 호출이 어떻게 이루어지는지를 제시하고자 한다.

그림 3에서 보여지는 바와 같이 웹 서버 구동 프로그램은 **【파일 입력(File Open)】**, **【파일 수정(Edit Data)】**, **【환경 설정(Config)】**, **【실행(Run Power Flow)】**, **【결과 값 확인(View Result)】**으로 이루어져 있다. 위는 전력조류계산을 수행하고자 하는 사용자들의 요구사항을 단계별로 어떻게 입력받는지 확인할 수 있으며 사용자의 요구사항에 따라 각 응용프로그램들의 어떻게 호출되는지를 확인할 수 있다.

2.2.1 파일 입력(File Open)

**【파일 입력】**은 사용자 파일이나 제시된 파일을 데이터베이스로 올리는 부분으로 크게 세 방법으로 사용할 수 있다. 우선 IEEE에서 제시하고 있는 표준 계통 데이터를 홈페이지에서 제공하며 입력 파일에 대한 기초 지식이 없는 사용자라면 우선 이러한 계통을 사용하여 실행할 수 있다. 그리고 사용자가 구성한 데이터를 입력받기 위하여 웹에서 직접 입력할 수 있게 하였고, 직접 입력할 수 없는 큰 계통을 실행할 수 있도록 널리 사용하고 있는 PTI사의 PSS/E의 계통데이터 형식의 파일(\*.raw 파일)을 사용할 수 있게 하였다. 그리고

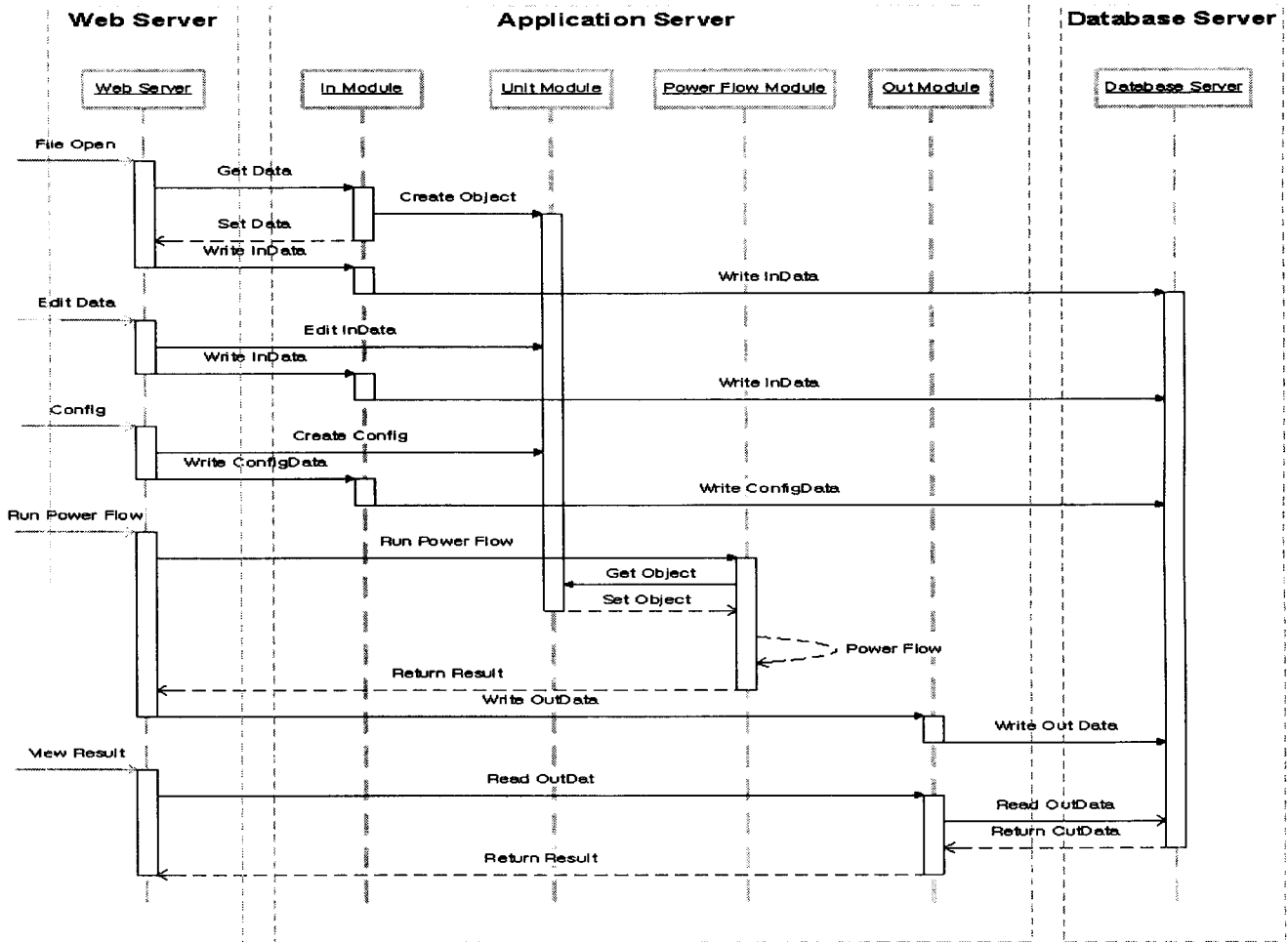


그림 3 교육용 조류계산 프로그램을 위한 시퀀스 다이어그램  
 Fig 3 Sequence Diagram for Educational Power Flow Program

한 번 입력한 데이터는 데이터베이스에 남아있으며 언제든 필요한 때에 다시 불러와 사용할 수 있도록 구성되어 있다.

**2.2.2 환경 설정(Config) 및 파일 수정(Edit Data)**

【환경 설정】 페이지는 실행 환경을 설정할 수 있는 화면으로 “Newton-Raphson”, “Fast-Decoupled”, “Gauss-Seidel”, “DC”의 사용 알고리즘을 선택할 수 있으며, 역행렬을 구하는 방법으로 “Gauss-Elimination”, “L/U Factorization”, “Classic (행렬식을 이용하여 역행렬 구하는 방법)” 중 하나를 선택할 수 있다. 그 외에 허용오차와 무효성분 체크, 스파서티 방법을 이용하는 방법 등 여러 가지 실행 환경을 설정할 수 있다.

【환경 설정】 후에 【파일 수정】 을 할 수 있으며 【파일 수정】 에서는 기존에 있는 계통 데이터의 값을 수정하여 그 결과 값을 보고자 할 때 사용한다. 본 프로그램에서는 수정에 따른 결과를 모두 보여주며 【환경 설정】 과 【파일 수정】 을 반복적으로 수행하여 그 결과를 한꺼번에 확인할 수 있다.

**2.2.3 실행(Run) 및 결과 값 확인(View Result)**

【실행】 은 지금까지 설정한 것을 모두 보여주며 실행 후의 총 수행 시간과 총 에러 슬랙 모션에서의 값을 확인할 수

있다. 또한 결과 차트를 통해 앞서 설정한 여러 경우의 결과를 종합해서 확인할 수도 있다.

【결과 값 확인】 에서는 텍스트 기반의 “모션 조류”, “선로 조류”와 차트 기반의 “모션 조류(Chart)” 등 크게 3가지로 구성되어 있다. 특히 차트 페이지의 경우 앞서 변경한 데이터에 따른 결과를 한 화면에 보여주는 막강한 기능을 제공하고 있다.

**2.3 응용프로그램 서버(Application Server) 모델링**

응용프로그램 서버는 앞서 언급한 웹 서버와 같이 3계층 모델링에서 중간 계층(Middle Tier)을 이루고 있다. 웹 서버는 사용자의 인터페이스를 담당하며 사용자의 요청에 의한 모든 계산은 응용프로그램 서버가 담당하고 있다. 그림 3에서 보듯이 본 논문에서 구축한 프로그램의 경우 응용프로그램 서버에 【In/Out Module】, 【UnitClass Module】 그리고 【Flow Module】 을 가지고 있다. 【In/Out Module】 은 데이터베이스의 입출력 함수를 모아 놓은 모듈이다. 그리고 【UnitClass Module】 은 전력 계통에서 사용하는 설비 요소들을 클래스로 모델링해 놓은 곳이다. 본 프로그램에는 많은 조류계산 관련 방법들과 옵션들을 가지고 있고 이러한 방법

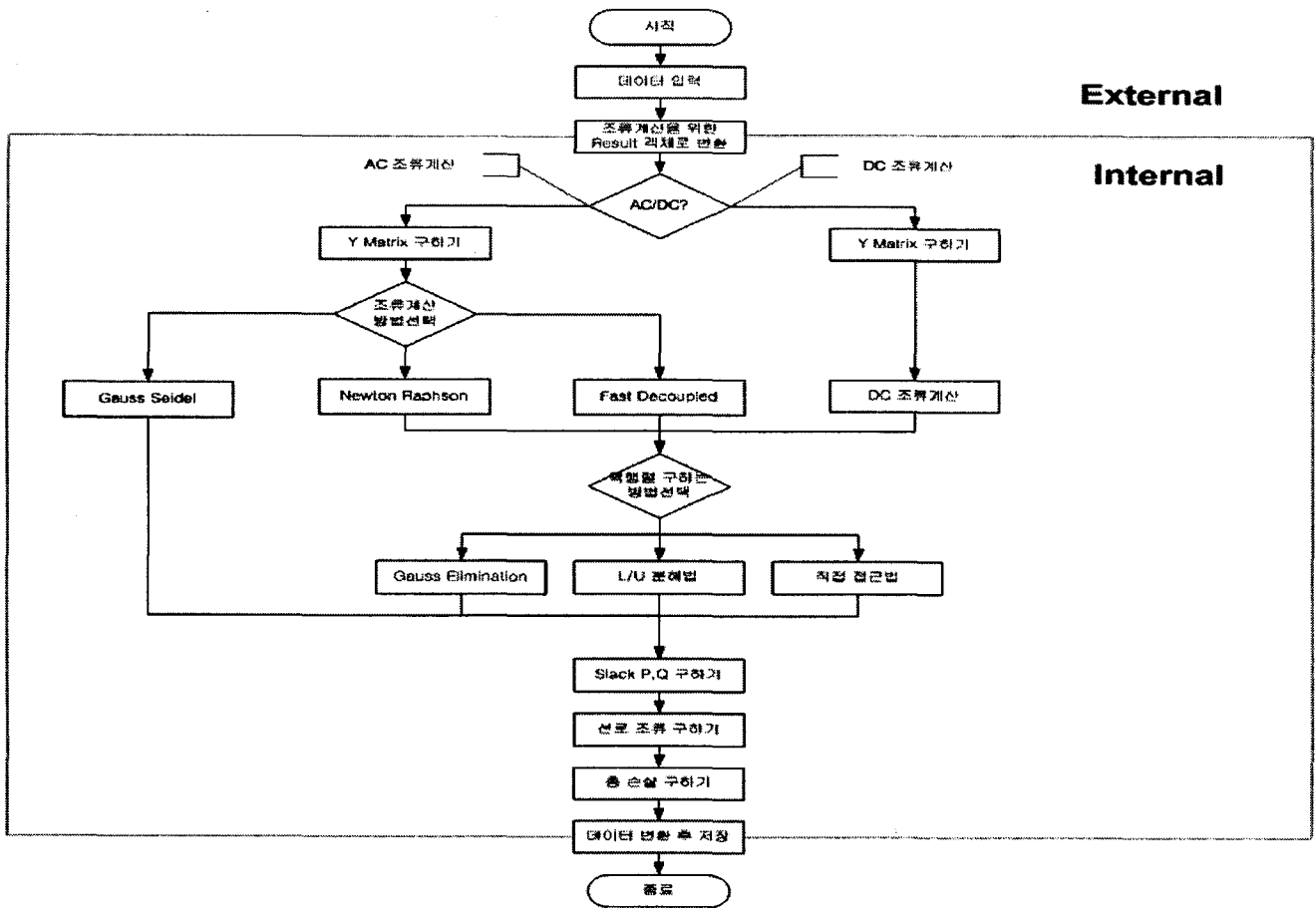


그림 4 교육용 조류계산 프로그램을 위한 순서도  
 Fig 4 Flow Chart for Educational Power Flow Program

들은 【Power Flow Module】에서 구현되어 있다. 【Power Flow Module】의 구조를 그림 4에서처럼 간략한 순서도로 나타내 보았다.

본 논문에서는 조류계산 프로그램을 개발하면서 다른 계통 해석용 프로그램으로의 확장성을 위해 많은 입력 데이터를 받을 수 있도록 전력 계통 설비요소들을 모델링 하였다. 또한 교육용 프로그램의 특성상 많은 데이터 수정, 특히 모선이나 선로의 삭제와 추가는 임시적으로 가능해야 한다. 그리고 조류계산에서 3권선 변압기 모델링을 위해 임시 모선을 삽입하여 조류계산을 수행토록 했으며, 앞으로 추가할 고장해석에서는 고장의 위치를 모선으로 처리할 수 있게 하여야 한다. 이러한 방법들은 해를 구하기 위해 임시적으로 계통을 구성하는 것으로서 이는 실제 계통과 차이가 있으므로 이를 실제 계통 정보에 그대로 적용했을 경우 이후 다른 프로그램과의 연계할 때 혼란을 가져올 수 있다. 이를 위해 본 논문에서 개발한 프로그램에서는 “Result”라는 클래스를 사용하여 자칫 복잡해 질수 있는 조류계산을 필요한 데이터만 읽어 올 수 있도록 하였으며, 사용자의 수정이나 입력 데이터에서 설정된 포함되지 않는 모선이나 선로 등의 정보 등을 선별하여 조류계산을 수행할 수 있게 하여 프로그램을 간소하게 만들 수 있었다.

그림 4는 이러한 과정을 순서도를 통해 보여주고 있다. 입력된 데이터는 조류계산을 수행하기 전에 “Result” 객체로 변

화되며 이 객체를 사용하여 조류계산을 수행하고 조류계산의 결과는 다시 입력데이터를 기준으로 변환 후 저장된다. 이렇게 변환되는 부분을 중심으로 실제 계통의 데이터를 가지고 있는 【External】 부분과 실제 조류계산을 위한 【Internal】 부분으로 나뉘며 실제 데이터와 임시 데이터의 차이는 이 변환과정에서 만들어진 인덱스를 가지고 쉽게 변환이 가능하게 하였다.

## 2.4 데이터 모델링

데이터 모델링은 위에서 언급한 물리적인 시스템 구분인 3계층(Three Tier)에서 데이터 계층(Data Tier)에 해당하는 부분으로 이 부분에서 데이터를 효과적이고 체계적으로 저장하는 방법을 제안하고자 한다. 전력계통을 다루는 프로그램은 계통 데이터 그리고 조류계산 결과에 대한 상당히 방대한 자료들을 다루며 특히 웹 기반 프로그램의 경우 그 특성상 대다수 사용자가 접속하여 사용하기 때문에 방대한 데이터의 체계적인 사용을 하기 위해서는 데이터베이스의 사용은 필수 불가결한 것이다.

본 논문에서는 웹 기반 조류계산 응용프로그램에서 기본적으로 필요한 데이터 외에도 사용자가 특정 상태의 전력계통의 매개변수들을 변경한 모든 정보를 저장하여 각 변경한 매개변수에 따른 전력계통 상태변수들의 결과를 비교할 수 있

도록 개발하였다. 실제로 전력계통을 운용하는데 있어서 시간에 따라 계속적으로 변화하는 데이터들을 통하여 전력계통 상태를 알아보기 위한 중요한 자료로서 저장될 충분한 가치가 있고 또한, 교육용 프로그램 특성상 학습자의 방법에 따른 비교학습이나 입력데이터의 차이에 따른 전력계통 상태변수들의 변화가 결과를 보여주기 위해서는 모든 데이터가 저장될 필요가 있다. 하지만 이를 수행하기 위해서는 많은 데이터를 저장할 수 있는 공간이 필요하게 되며 체계적인 정리가 되어있지 않는 경우에는 질의 요청에 대한 응답 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 사용자 특정 전력계통의 매개변수들의 변경한 데이터와 그에 따른 조류계산 결과 즉, 상태변수의 결과들을 저장할 수 있는 일관성 있고 효율적이며 체계적인 데이터 모델링을 다음 그림과 같이 제시하였다.

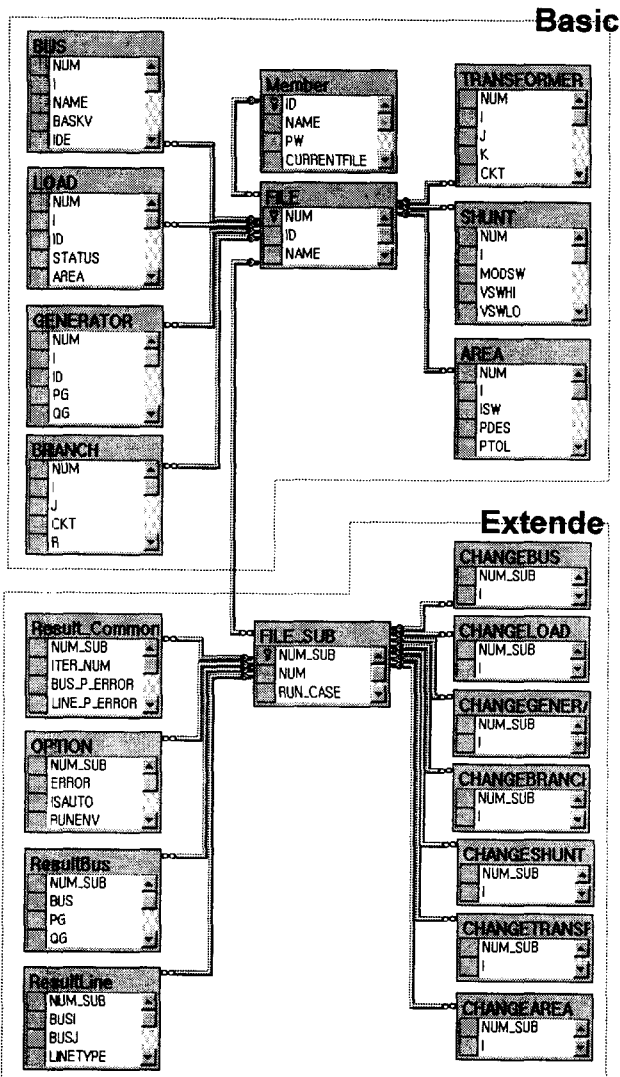


그림 5 교육용 조류계산 프로그램을 위한 데이터 모델링  
 Fig 5 Data modeling for educational power flow program

### 2.4.1 기본 데이터 모델(Basic)

일반적으로 조류계산을 위한 데이터베이스의 경우 그림 5에서와 같이 【기본 데이터 모델(Basic)】 과 같이 구성할 수 있다. 저장 공간의 낭비를 막기 위해 테이블을 전력계통에서 이용되는 설비별로 본 논문에서 개발한 소프트웨어에서 이용되는 용도에 따라 적절하게 나누어 놓았다. 이러한 테이블은 크게 사용자가 전력조류계산을 수행하기 위한 입력데이터가 초기 입력데이터인지 확인(즉, 사용자에게 의해 변경여부 확인) 하는 기준 테이블(MEMBER, FILE, FILE\_SUB 테이블)과 사용자가 전력조류계산을 수행하기 위해 초기 입력 데이터를 저장하는 테이블(BUS, LOAD, GENERATOR, BRANCH, TRANSFORMER, SHUNT, AREA 테이블)로 나뉘어져 있으며 이들은 목적에 맞게 관계를 맺고 있다. 데이터 간의 관계들은 관계형 데이터 모델을 사용하며 주키와 외래키 등으로 이러한 관계를 정의함으로써 데이터의 중복을 방지하고 잘못된 참조를 사전에 방지할 수 있었다. 이러한 관계형 데이터 모델은 오늘날 상용 데이터 처리 응용프로그램에서 가장 많이 쓰이고 있으며 단순하면서도 매우 강력한 표현력을 가지고 있다[14].

### 2.4.2 확장된 데이터 모델(Extended)

본 프로그램에서는 전력계통의 방대한 데이터의 효율적이고 체계적인 처리를 위해 전력조류계산 결과 데이터 테이블과 사용자에게 의해 변화된 매개변수 입력 자료를 저장하는 테이블을 위의 【기본 데이터 모델】 에 추가하여 데이터베이스를 모델링을 하였다. 웹 기반 전력계통해석 프로그램에서는 대다수 사용자가 이용하고 데이터가 방대하기 때문에 【기본 데이터 모델】 만을 이용하여 사용자에게 의해 변화된 모든 입력 정보 및 각 경우에 대한 결과 데이터를 저장하는 방법을 그대로 적용할 경우 저장되어야 하는 데이터는 기하급수적으로 늘어나게 된다. 따라서 본 프로그램에서는 그림 5에서 제시된 것과 같이 【확장된 데이터 모델(Extended)】 을 이용하여 전력조류계산 결과데이터와 사용자에게 의해 변화된 데이터만을 따로 저장하여 저장 공간의 낭비와 데이터베이스 서버에 주는 부담을 크게 줄일 수 있게 하였다. 【확장된 데이터 모델】 은 사용자에게 의해 변화된 입력 데이터만을 저장하는 테이블(CHANGEBUS, CHANGELOAD, CHANGEGENERATOR, CHANGEBRANCH, CHANGETRANSFORMER, CHANGESHUNT, CHANGEAREA 테이블)과 결과 데이터 및 옵션을 저장하는 테이블(OPTION, RESULTBUS, RESULTLINE, RESULT\_COMMON 테이블)로 나눌 수 있다. 이들 테이블 또한 관계형 데이터 모델로 설계하였다.

## 3. 사례 연구

본 논문에서는 개발된 프로그램을 이용하여 IEEE 14모선 계통을 기준으로 사례연구를 수행하였다. 사례연구는 Newton-Raphson, Gauss-Seidel, Fast-Decoupled, DC 조류계산을 본 논문에서 개발한 프로그램을 이용하여 각각 수행한 후, 개발한 프로그램 결과에서 제시하는 연산 방법론별 모선별 발전량, 전압크기, 위상각에 대한 결과를 제시하였고 방

법론별 연산횟수와 실행시간에 대한 결과를 제시하였다. 위의 사례계통에 대한 사례연구를 수행하기 전에 본 논문에서 개발한 소프트웨어의 정확도를 검증하기 위하여 다음과 같이 우리나라 실계통 데이터를 이용한 조류계산 결과를 상용프로그램인 PSS/E의 결과와 비교하였다.

3.1 전력조류계산 결과 검증

본 논문에서 개발한 웹 기반 전력조류계산 프로그램의 결과를 검증하기 위하여 2003년도 첨두부하시간대의 우리나라 실계통 사례연구를 수행하였다. 이때, 설비용량은 자가용설비를 제외하면 약 56GW이고 총 모선수는 30,352개이다. 이중 발전모선은 236개이며 변압기 설비를 제외한 총 송전선로 수는 1,526개이다. 위의 실계통 데이터에 대하여 본 논문에서 개발한 프로그램을 이용하여 도출한 결과와 상용프로그램인 PSS/E를 이용하여 비교한 결과는 다음 그림과 같다. 이때, 슬랙모선은 모선번호가 30151인 삼천포로 지정하여 전력조류계산을 수행하였다. 그림 6은 우리나라 실계통 전력 조류계산의 결과 중에서 모선별 전압크기를 기준으로 하여 비교하였다.

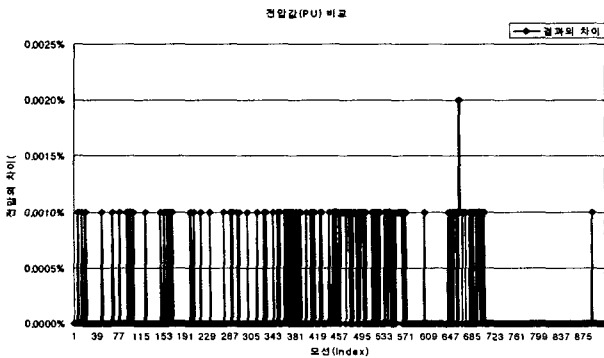


그림 6 PSS/E와 Web Power Flow의 조류계산 결과 중 전압 값 비교  
Fig 6 The comparison with PSS/E

위 그림에서 알 수 있듯이 본 연구에서 개발한 프로그램과 상용프로그램을 이용하여 우리나라 실계통 사례연구를 수행하였을 때 가장 큰 오차가 0.002%이기 때문에 본 연구에서 개발된 프로그램이 매우 정확한 결과를 도출한다는 것을 판단할 수 있다.

3.2 IEEE 14 모선 계통 사례연구

사용자가 <http://rciemt.konkuk.ac.kr/powerflowweb/>에 접속하여 사용자 ID와 비밀번호를 입력하면 본 논문에서 개발한 웹 기반 전력조류계산 프로그램을 이용할 수 있다. 사용자가 원하는 사례계통을 선택하고 본 프로그램에서 제공하는 연산 방법론을 선택한 후 조류계산을 수행하면 그림 7과 같은 결과를 사용자는 제공받을 수 있다. 이때, “Newton-Raphson”은 비선형 방정식의 해를 찾는 방법론 중 하나인 Newton-Raphson 방법론을 이용한 조류계산 방법론[15]을 나타내며 “Gauss-Seidel”은 Gauss-Seidel 반복법을 이용한 조류계산 방법론[15], “Fast-Decoupled”는 유효전력과 모선 전

압위상각, 무효전력과 모선 전압크기의 관계를 이용하여 전력 조류계산을 수행하는 방법론[15]을 나타낸다. 마지막으로 “DC”는 유효전력과 모선 위상각의 비선형 관계를 직류 전압과 전류의 선형관계로 가정[16]하여 전력조류계산 결과를 도출하는 방법이다.

○ 실험

Method Name	Iteration Count	Total # of Equations	Total # of Variables	Block Size	Block Count	Success Rate	Execution Time	
Newton-Raphson	298	4	0.1300E+05-1.775E	0.1300E+05-1.775E	2.320E+06-1.775E	0.1500E+01-0.000E+00	True	0
Gauss-Seidel	258	42	0.01354E+06-3.606E	0.01354E+06-3.606E	2.320E+06-1.775E	0.1500E+01-0.000E+00	True	0
Fast-Decoupled	270	18	0.1300E+05-1.775E	0.1300E+05-1.775E	2.320E+06-1.775E	0.1500E+01-0.000E+00	True	0
DC	271	0	0	0	2.19	0	True	0

그림 7 조류계산 연산 방법론에 따른 요약 결과  
Fig. 7 Result Summary of Power Flow for Each Methods

그림 8을 통해 위의 4가지 방법의 차이를 명확히 알 수 있다. 우선 반복횟수에서 “DC”는 한번에 그 값을 구하는 반면 “Newton-Raphson”, “Fast-Decoupled”, “Gauss-Seidel” 순으로 그 횟수가 많아짐을 알 수 있다. 또한, 본 논문에서 개발한 프로그램은 위의 결과를 텍스트 형태로 사용자들에게 제시할 뿐만 아니라 좀더 쉽게 위 방법론간의 차이를 파악할 수 있도록 차트 형태로 다음 그림과 같이 보여준다.

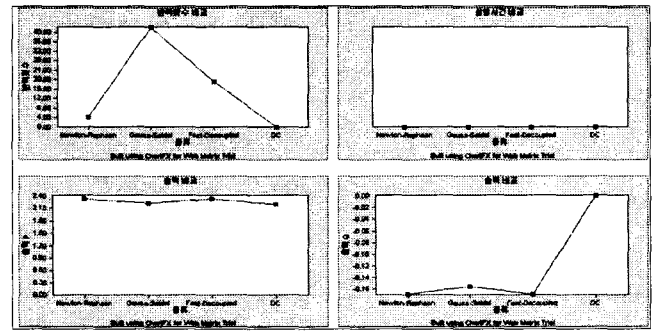


그림 8 조류계산 방법에 따른 차이를 나타내는 요약 결과 차트(계속)  
Fig 8 Result Summary Chart of Power Flow for Each Methods(Cont.)

또한, 사용자는 본 논문에서 개발한 프로그램을 이용하여 사례계통에 대한 전력조류계산 결과를 그림 9을 통해 전력조류계산 결과의 수치적인 값을 확인할 수 있다.

Method	Bus	V (p.u.)	Angle (deg)	P (MW)	Q (MVar)	Loss (MW)	Loss (MVar)
Newton-Raphson or Fast-Decoupled or Gauss-Seidel	1	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	2	0.9999	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	3	0.9999	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	4	0.9999	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	5	0.9999	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	6	0.9999	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	7	0.9999	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	8	0.9999	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	9	0.9999	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	10	0.9999	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	11	0.9999	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	12	0.9999	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	13	0.9999	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	14	0.9999	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

그림 9 조류계산 연산 방법론에 따른 모선별 상태변수 결과  
Fig 9 Nodal Parameter Result of Power Flow for Each Methods

이때, 사용자는 그림 9의 오른쪽 상단의 “리스트 컨트롤”을 이용하여 각 연산 방법론별 전력계통의 상태변수 결과를 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 사용자는 본 논문에서 개발한 프로그램을 이용하여 그림 10과 그림 11의 차트를 통해 전력조류계산 연산 방법론에 따른 모션별 유효·무효전력 결과와 상태변수 결과의 차이를 쉽게 확인할 수 있다.

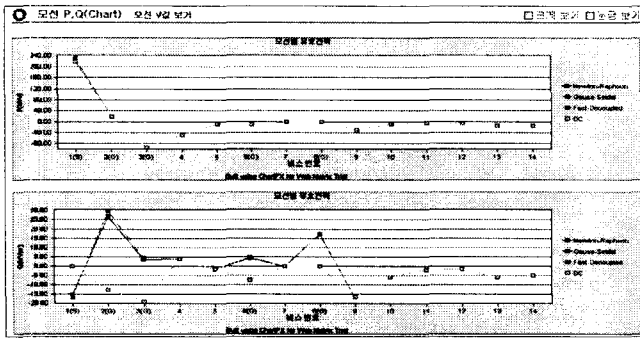


그림 10 조류계산 방법에 따른 모션별 결과를 나타내는 차트(P/Q)  
Fig 10 Nodal Results of Power Flow for Each Methods(P/Q)

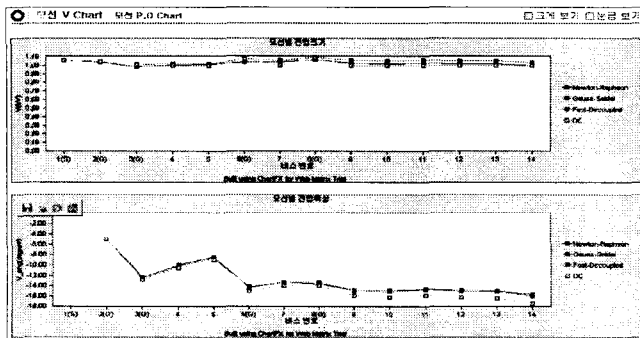


그림 11 조류계산 방법에 따른 모션별 결과를 나타내는 차트(V)  
Fig 11 Nodal Results of Power Flow for Each Methods(V)

사용자는 본 논문에서 개발된 웹 기반 전력조류계산 프로그램을 이용하여 사용자의 컴퓨터에 특정 소프트웨어를 설치함이 없이 전력조류계산 연산 방법론 즉, Newton-Raphson, Gauss-Seidel, Fast-Decoupled, DC 조류계산 방법론에 대한 반복횟수, 실행시간, 슬랙모션에서의 유효·무효전력 결과 뿐만 아니라 모션별 상태변수 결과와 유효·무효전력 결과값을 스프레드시트 형태로와 차트 형태로 제공 받을 수 있다. 따라서 사용자는 전력조류계산 여러 방법론에 대한 차이점을 쉽게 판단할 수 있을 것이다.

뿐만 아니라 전력조류계산의 방법론 중에서 행렬의 역행렬을 구할 필요가 있는 방법론들이 존재하는데 계통의 규모가 커지면 커질수록 역행렬 구하는 시간의 연산속도를 크게 좌우하게 된다. 따라서 본 논문에서 개발한 프로그램은 이 역행렬을 구하는 방법론별 결과를 사용자들이 비교해 볼 수 있도록 다음 그림과 같이 제공하고 있다. 여기서 그림 12의 결과는 전력조류계산 방법론 중 Newton-Raphson 방법론을 이용하였을 때 역행렬 구하는 방법론별 결과를 제시한다. 이때, “Sparsity”는 대규모 시스템의 선형방정식을 풀기 위해 많이 이용되는 역행렬 방법론이며 “Classic”은 행렬식을 이용

하여 역행렬을 구하는 방법이다. 그리고 나머지 “L/U 분해”와 “Gauss-Elimination”은 역행렬을 구하는 기본적인 방법론이다.

Case Name	NUM. Solver	Total PEComp	Total CPUtime	Stack P	Stack D	수행종류별 유효/무효전력 시간(초)
Sparsity	26	5	0.174249847381779	0.327033216521558	2.56424584739170	-1.34369234923964 True 0
Classic	267	5	0.174249847381779	0.327033216521557	2.56424584739170	-1.34369234923964 True 10
L/U 분해	208	5	0.174249847381779	0.327033216521558	2.56424584739170	-1.34369234923964 True 4
Gauss-Elimination	219	5	0.174249847381777	0.327033216521558	2.56424584739170	-1.34369234923964 True 0

그림 12 역행렬 구하는 방법에 따른 실행시간 비교  
Fig 12 Comparison of Elapsed Time for Each Inverse Method

### 3.3 부하의 증가에 따른 결과의 변화

앞에서 언급한 바와 같이 본 논문에서 개발한 프로그램은 사용자가 특정 조류상태에서의 전력조류계산을 수행한 후 전력계통의 파라미터를 변경하게 되면 기존의 입력데이터와 결과데이터, 그리고 변경된 매개변수 데이터와 그에 따른 데이터를 효율적이고 체계적으로 저장하기 위한 방법론을 제시하였다. 다음 그림 13과 그림 14는 4번 부하모션 유효전력을 5배와 10배로 각각 증가시켰을 경우 전력조류계산 결과의 차이를 기존에 수행한 특정 조류상태에서의 결과를 보여주고 있다.

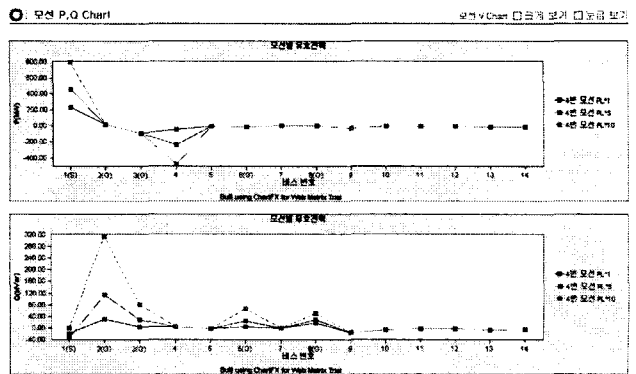


그림 13 입력 값의 변동에 따른 차이를 나타내는 상세 결과 차트(P/Q)  
Fig 13 Detail Result Chart(P/Q) of Power Flow for Different Inputs

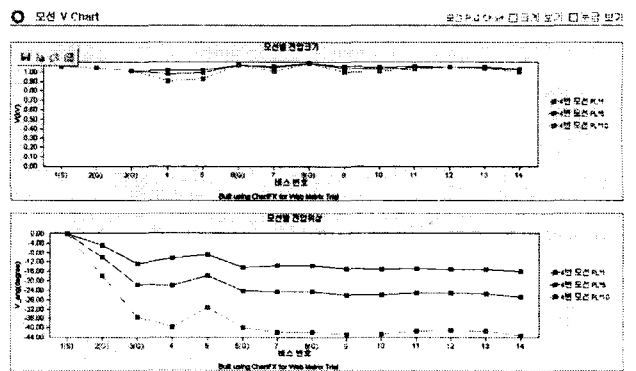


그림 14 입력 값의 변동에 따른 차이를 나타내는 상세 결과 차트(V)  
Fig 14 Detail Result Chart(V) of Power Flow for Different Inputs



이 그래프를 통해 사용자는 4번 모선의 유효전력이 증가하는 만큼 슬랙 모선의 유효전력이 증가하는 것을 확인할 수 있으며 4번 모선을 중심으로 전압의 크기와 위상이 커짐을 쉽게 알 수 있다. 이는 사용자들에게 실제 전력계통에서 파라미터 변경에 대한 계통상황을 파악할 수 있도록 하고 있다. 이는 사용자들에게 본 논문에서 개발한 프로그램이 전력조류계산에 대한 물리적인 의미를 파악할 수 있도록 하고 있다고 판단할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 사용자들이 특정 소프트웨어를 설치함이 없이 전력조류계산을 수행할 수 있는 웹 기반 조류계산 프로그램을 개발하였다. 불특정 대다수 사용자들이 존재하는 웹 기반 프로그램의 특성과 방대한 데이터를 가지고 있는 전력계통의 특성을 고려하여 본 논문에서는 웹 기반 응용프로그램 간의 재사용과 확장이 가능한 XML 기반의 웹 서비스를 이용하여 구축시스템을 크게 3계층으로 구분하여 본 프로그램을 개발하였으며 또한 사용자가 특정 조류상태에서의 전력조류계산을 수행한 후 전력계통의 물리적인 특성을 파악할 수 있도록 사용자가 전력계통의 매개변수를 변경하여 그에 대한 조류계산 결과를 확인할 수 있다. 이를 위하여 본 논문에서 개발한 프로그램은 기존에 수행한 조류계산의 입·출력데이터와 변경한 매개변수에 대한 조류계산의 입·출력데이터를 효율적으로 저장하기 위한 방법론을 제시하였다.

뿐만 아니라 본 논문에서 개발한 프로그램은 사용자가 변경하는 모든 정보를 체계적으로 저장하여 그 결과를 그래프를 통해 보여줌으로 차이를 명확히 보여주고자 노력하였다. 이러한 과정은 많은 저장 공간을 소비하는 단점이 있지만 변해가는 데이터들을 잘 활용하므로 사용자의 학습에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 특히 전력계통 관련 실무자들이 우리나라 실계통에 대한 연구를 본 프로그램을 이용하여 수행할 때 시간에 따라 변하는 계통의 상태를 쉽게 파악하는데 도움을 줄 수 있을 것이며 또한 다음 그림과 같이 전력계통 관련 수업의 보조 자료로 사용할 수 있을 것이다.

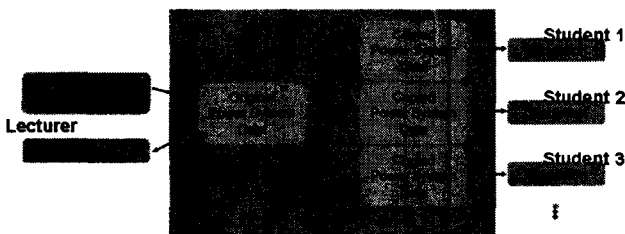


그림 15 교육자와 학습자 간의 관계  
Fig 15 The interactions between a lecturer and students

그림 15에서 제시된 것과 같이 본 논문에서 개발한 프로그램을 이용하여 전력계통 관련 수업에 적용하기 위해서는 먼저 교육자는 미리 계통을 만들어 웹 페이지에 등록시켜야 한다. 이때 웹 페이지에서 자신이 만든 입력데이터를 공유 시키면 학습자는 공유된 계통 데이터를 불러올 수 있게 된다. 이렇게 불러진 데이터는 그림 15에서 보는 것처럼 복사된 데

이터로 필요에 따라 계통을 변경시켜가며 실행 시켜도 다른 사용자에게 영향을 미치지 않는다. 이러한 방법으로 전산실 등에서 사전에 준비해야하는 프로그램 설치 등의 번거로운 작업을 하지 않고도 여러 학습자와 동시에 같은 계통을 공유해 학습할 수 있다. 또한 수업 시간 외에도 학습자들은 언제든 지 그리고 웹이 연결된 곳은 어디에서든지 다시 학습할 수 있을 것이다.

따라서 본 논문에서 개발한 웹 기반 교육용 전력조류계산 프로그램은 대다수 사용자와 방대한 데이터를 고려하여 설계되고 개발되었기 때문에 대다수 사용자들에게 전력계통에 대한 물리적인 특성을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 전력계통 관련교육을 수행하는 교육자들에게도 좀더 쉽게 학습자들에게 관련 내용을 전달할 수 있을 것이다. 또한 본 프로그램은 우리나라 실계통 조류계산이 가능하기 때문에 전력관련 실무자들에게 보다 효과적으로 우리나라 전력계통 특성을 파악할 수 있을 것이다. 게다가 현 모든 전력계통 분야의 기술을 외국에서 수입하고 있는 우리나라의 경우 본 논문에서 개발한 소프트웨어는 크게 우리나라의 전력기술에 대한 기술의 자립에 잠재력을 보여주는 의의가 있다고 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라추진사업으로 수행된 논문입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] F. L. Alvarado, R. J. Thomas, "A brief history of the power flow", IEEE Spectrum, p.57, Feb. 2001.
- [2] J. Yang, M. D. Anderson, "Teaching tool shows results through visualization [power systems education]", IEEE Computer Applications in Power, Vol. 11, pp. 37-42, Jan. 1998.
- [3] J. R. Shin, W. H. Lee, D. H. Im "A windows-based interactive and graphic package for the education and training of power system analysis and operation power systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 14, pp. 1193-1199, Nov. 1999.
- [4] S. Islam, N. Chowdhury, "A case-based Windows graphic package for the education and training of power system restoration", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 16, pp. 181-187, May 2001.
- [5] T. J. Overbye, P. W. Sauer, C. M. Marzinzik, G. Gross, "A user-friendly simulation program for teaching power system operations", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 10, pp. 1725-1733, Nov. 1995.
- [6] T. J. Overbye, R. P. Klump, J. D. Weber, "Development and application of a power system

- simulation environment", IEEE Symposium Circuits and Systems, Vol. 3, pp. 1097-1100, 18-21 Aug. 1996.
- [7] T. J. Overbye, J. D. Weber, "New methods for the visualization of electric power system information", IEEE Symposium InfoVis, pp. 131-160, 9-10 Oct. 2000.
- [8] 리스 베슈라 외 10인 공저/송영덕 역/조창형 감수, Professional ASP.NET Web Service, 정보문화사, 2003.
- [9] 최장흠, 김진중 "XML Web Service를 이용한 조류계산 프로그램의 분산처리", 대한전기학회 전기학회논문지, 제52A권, Vol. 4, pp. 207-212, Apr. 2003.
- [10] Y. S. Ong, H. B. Gooi, "A web-based power flow simulator for power engineering education", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, pp. 1002-1007, 18-22 July 1999.
- [11] C. Schaffner, "An Internet-based load flow visualization software for education in power engineering", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, pp. 1415-1420, 27-31 Jan. 2002.
- [12] F. Li, "Web tool opens up power system visualization", IEEE Power and Energy Magazine, pp. 37-41, Jul./Aug. 2003.
- [13] 신재호, C# 객체지향 언어로 배우는 디자인 패턴, 정보문화사 DEVPIA, 2002.
- [14] A. Silberschatz, H. F. Korth, S. Sudarshan, Database System Concepts, McGraw-Hill, 2003.
- [15] O. I. Elgerd, Electric Energy Systems Theory-An Introduction, Second Edition, McGraw-Hill, 1982.
- [16] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, Power Generation, Operation, and Control, Second Edition, JOHN WILEY & SONS, INC. 1984.

## 저 자 소 개



### 양 광 민(梁 廣 民)

1976년 4월 23일생. 2002년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.  
Tel : 02-450-4179  
E-mail : puksin@konkuk.ac.kr



### 이 기 송(李 起 松)

1974년 8월 4일생. 2000년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.  
Tel : 02-458-4778  
E-mail : ssong7@konkuk.ac.kr



### 박 종 배(朴 宗 培)

1963년 11월 24일생. 1987년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 건국대학교 공과대학 전기공학과 조교수.  
Tel : 02-450-3483  
E-mail : jbaepark@konkuk.ac.kr



### 신 중 린(愼 重 麟)

1949년 9월 22일생. 1977년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 건국대학교 공과대학 전기공학과 교수.  
Tel : 02-450-3487  
E-mail : jrshin@konkuk.ac.kr