

## 교육용 웹 기반 전력조류계산 프로그램 개발

양광민\*, 이기송\*, 이정규\*, 박종배\*, 신종린\*  
건국대학교 전기공학과\*

### Development of Educational Web-Based Power Flow Program

Kwang-Min Yang\*, Ki-Song Lee\*, Jeong-Kyu Lee\*, Jong-Bae Park\*, Joong-Rhin Shin\*  
Department of Electrical Engineering, Konkuk University\*

**Abstract** - This paper developed the web based power flow program for education. Since a lot of users can connect and implement the web based program, the only one computer can get much evaluation burden not to compute. Using the XML technology, which supports the distributed computing technology, we have developed the web-based power flow software and system that are distributed the above calculation burden to three computers: web server, database server, application server. Also, this software was developed to get the difference of number of iteration and evaluation speed as well as the results of state variables for each node according to the each calculation method for power flow using the chart. Therefore, users can get the physical concept of power flow in addition to the difference among the evaluation methods for power flow. We have performed the case studies with IEEE 14 bus system using the developed software.

## 1. 서 론

현재 컴퓨터의 하드웨어 측면에서의 개발뿐만 아니라 인터넷 기술이 급속도로 발전하면서 컴퓨터 이용 및 인터넷의 대중화를 이루게 되었다. 따라서 컴퓨터와 컴퓨터간의 통신이 인터넷 즉, 웹을 기반으로 하여 가능하게 되었을 뿐만 아니라 인터넷을 통하여 필요한 정보를 공유할 수 있게 되었다. 따라서 소프트웨어를 개발하는데 있어 네트워크 내의 두 개 이상의 물리적으로 분산된 응용프로그램 재사용이 가능한 분산처리 기술들이 개발되었다. 이러한 분산처리 기술들에 있어 주요한 프로토콜은 OMG(Object Management Group)의 CORBA(Common Object Request Broker Architecture)와 마이크로소프트의 DCOM(Distributed Component Object Model)이다[1].

하지만 위의 기술들은 동일 플랫폼내에서 응용프로그램을 개발하기 위해 설계되어 있기 때문에 여러 플랫폼에 분산되어 있는 프로토콜을 기본으로 한 SOAP(Simple Object Access Protocol)과 복잡한 포맷을 기반으로 하는 DCOM과 CORBA와 달리 간단하고 확장이 가능한 XML(Extensible Markup Language) 스키마를 이용하는 웹 서비스(Web Service)의 개발로 여러 플랫폼에 분산되어 있는 응용프로그램의 효율적인 재사용이 가능하게 되었다[2].

1990년대를 기준으로 기존의 텍스트 위주의 프로그램에서 GUI(Graphical User Interface)를 사용한 전력계통의 해석을 위한 윈도우 기반하의 소프트웨어들이 개발되었다[3-4]. 최근 들어, 위와 같이 인터넷 기술들이 발전하면서 인터넷 사용이 가능한 곳이라면 어디서든지 이용 가능한 전력계통 해석 응용프로그램들이 개발되고

있다.

Christian 등은 클라이언트 요청에 따라 서버측에서 Matlab을 구동하여 전력조류계산을 수행한 후 수행 결과를 GUI를 이용하여 클라이언트에게 제공하는 교육용 웹기반 소프트웨어를 개발하였다[5]. 또한, Ong 등은 기존의 분산처리 기술인 CORBA를 이용하여 전력조류계산의 효율적인 교육을 위해 강사와 학생이 웹 서버에 접근하여 상호간에 조류계산에 대한 교류가 가능한 소프트웨어를 개발하였다[6]. Choi 등은 XML 웹 서비스 인터페이스를 개발하여 사용자가 간단한 XML 메시지를 보냄으로써 조류계산의 수행과 응용프로그램 재사용을 가능하도록 하였다[7].

기존의 개발된 소프트웨어들은 사용자들에게 전력조류계산에 대한 교육을 위해 수행결과를 효율적으로 제시하는 방법론에 초점을 맞추고 있다. 하지만 대부분의 소프트웨어에서는 사용자들에게 전력조류계산에 대한 기존의 여러 연산 방법론에 대한 선택사항만 제공할 뿐 각 방법론에 따라서 전력조류계산 수행결과와의 차이점을 동시에 나타내지 못하고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 기존의 전력조류계산 프로그램의 한계점을 보완하기 위하여 주어진 사례계통에 대한 모션별 상태변수를 비교할 수 있을 뿐만 아니라 기존의 전력조류계산을 연산하기 위해 쓰여진 방법론(즉, 뉴턴-랩슨법, 가우스-자이델법, Fast-Decoupled법, DC조류계산)에 따라 도출된 모션별 상태변수의 비교 및 방법론별 연산속도, 연산횟수를 동시에 비교할 수 있는 웹 기반 소프트웨어를 개발하였다.

본 논문에서는 개발된 소프트웨어의 전력조류계산 수행결과를 제시하기 위하여 IEEE 14모션 사례계통을 이용하여 사례연구를 수행하였다.

## 2. 프로그램 시스템 구조 및 모델링

### 2.1 시스템 구조

웹 기반 전력조류계산 소프트웨어의 경우 많은 이용자들이 웹 서버에 접속하여 응용프로그램을 수행할 때, 물리적으로 독립된 프로세서로는 연산에 대한 부담이 발생할 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 그림 1과 같이 시스템을 구축하여 응용프로그램의 재사용이 가능한 XML 기반 웹 서비스를 구축하였다.

본 논문에서 개발된 소프트웨어의 시스템은 크게 웹 서버, 응용프로그램 서버, 데이터베이스 서버로 나뉘어진다. 웹 서버는 클라이언트 즉, 사용자의 요청에 따라 전력조류계산을 수행할 사례계통 선택과 연산방법과 같은 여러 선택사항들을 선택할 수 있도록 할 뿐만 아니라 데이터베이스 서버를 통하여 조류계산 수행결과를 GUI를 이용하여 사용자들에게 제공한다. 응용프로그램 서버에서는 웹 서버에서 사용자들의 선택한 사항에 따라 조류계산 응용프로그램을 구동하고 수행된 결과를 데이터베이스 서버에 저장한다.

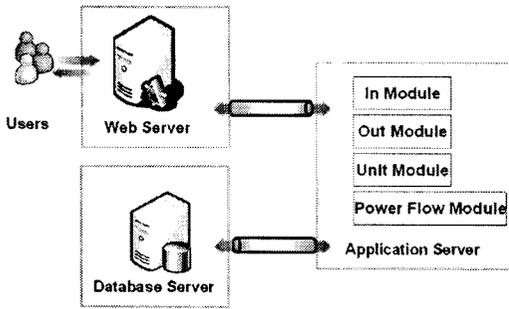


그림 1 교육용 조류계산 프로그램의 시스템 구조  
Fig. 1 System Architecture of Educational Power Flow Program

이와 같이 본 논문에서 개발된 교육용 조류계산 소프트웨어는 네트워크가 연결된 컴퓨터에 기능별로 할당하였기 때문에 많은 이용자들이 조류계산을 수행하더라도 연산에 대한 큰 부담을 미치지 못한다. 또한, 프로그램의 수정은 각 서버에서 가능하기 때문에 소프트웨어 유지·보수에 대한 비용을 절감할 수 있게 된다.

## 2.2 소프트웨어 모델링

UML(Unified Modeling Language)는 소프트웨어를 구축하기 전에 개발자와 사용자간의 많은 시간동안의 소프트웨어에 대한 클래스 설계를 한 후 도출된 클래스 설계도에 따라 소프트웨어 개발에 적용할 수 있는 표기 언어이다[8]. UML은 여러가지 도해(Diagram)을 통하여 소프트웨어 설계와 분석을 할 수 있으나 본 논문에서는 다음 그림과 같이 시퀀스도만을 이용하여 개발된 소프트웨어의 모델링과 시간에 따른 응용프로그램간의 기능 호출이 어떻게 이루어지는지를 제시하고자 한다.

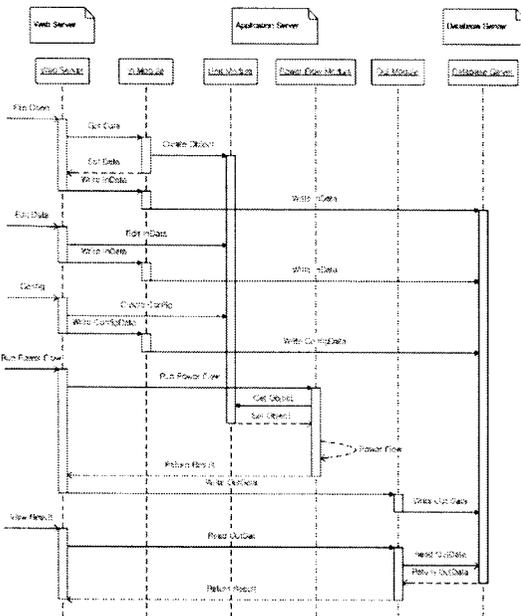


그림 2 교육용 조류계산 프로그램을 위한 시퀀스 다이어그램  
Fig. 2 Sequence Diagram for Educational Power Flow Program

그림 2에서 보여지는 바와 같이 사용자는 웹 페이지

를 통해 파일을 열고, 입력 값을 수정할 수 있으며, 실행환경 설정 후 조류계산을 수행하고 수행결과를 볼 수 있다. 데이터베이스와 관련된 입/출력은 모두 In/Out 모듈에서 담당하며 입력된 데이터에 대한 조류계산은 Power Flow 모듈에서 수행된다. 웹 서버에서는 이러한 모듈들을 호출하여 사용자의 실행환경 설정을 가능하도록 하며 원하는 결과를 GUI를 통하여 제공한다.

## 3. 사례 연구

본 논문에서는 개발된 프로그램을 이용하여 IEEE 14모선 사례계통을 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 방법론별 연산횟수와 실행시간에 대한 결과를 제시하였다.

### 3.1 조류계산 결과

사용자가 [http://rcimt.konkuk.ac.kr/powerflow\\_web/](http://rcimt.konkuk.ac.kr/powerflow_web/)에 접속하여 사용자 ID와 비밀번호를 입력한 후, 사례계통을 선택하고 본 프로그램에서 제공하는 연산 방법론을 선택한 후 조류계산을 수행하면 그림 3과 같은 결과를 사용자는 제공받을 수 있다.

○ 설명

Case Name	NUM_BUS	NUM_BRANCH	Total P Emw(mw)	Total Q Emw(mvar)	Stack P(m)	Stack Q(m)	소셜믹터 총수신시간(m)
Newton-Raphson	130	4	11.248E+07	9.842E+07	1.77E+01	1.77E+01	5
Gauss-Seidel	130	4	11.248E+07	9.842E+07	1.77E+01	1.77E+01	10
Fast-Decoupled	130	4	11.248E+07	9.842E+07	1.77E+01	1.77E+01	10
DC	130	4	11.248E+07	9.842E+07	1.77E+01	1.77E+01	10

그림 3 조류계산 연산 방법론에 따른 요약 결과  
Fig. 3 Result Summary of Power Flow for Each Methods

또한 본 논문에서 개발된 프로그램은 선택된 방법론에 따른 조류계산 결과를 다음 그림과 같이 모선별 조류계산 상태변수 결과를 그리드데이터(Griddata) 형태로 제시할 수 있고 이때 리스트(List)에서 연산 방법론을 선택하면 각 방법론에 대한 모선별 결과를 볼 수 있다.

○ 설명

모선번호	모선명	전압크기(V)	위상각(도)	발전량(MW)	발전량(MVA)	수요량(MW)	수요량(MVA)	수요량(MW)	수요량(MVA)
1	1	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	2	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	3	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	4	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	5	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	6	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	7	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	8	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	9	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	10	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	11	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	12	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	13	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	14	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	15	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16	16	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
17	17	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18	18	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
19	19	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20	20	11.248E+07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

그림 4 조류계산 연산 방법론에 따른 모선별 상태변수 결과  
Fig. 4 Nodal Parameter Result of Power Flow for Each Methods

뿐만 아니라 사용자가 전력계통의 모선별 유효전력과 무효전력, 전압크기, 위상각의 차이를 쉽게 구분할 수 있도록 본 논문에서 제안된 소프트웨어는 모선별 조류계산 연산 방법론별 조류계산 결과를 다음 그림과 같이 마이크로소프트의 엑셀 프로그램의 차트(Chart)와 동일한 형태로 제시할 수 있다.

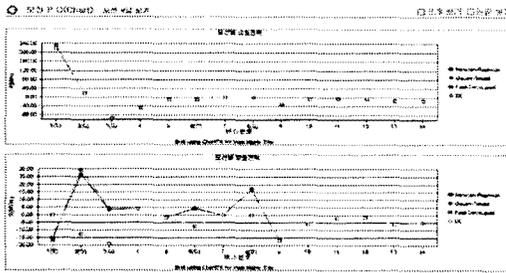


그림 5 조류계산 방법에 따른 모션별 결과를 나타내는 차트(P/Q)  
Fig. 5 Nodal Results of Power Flow for Each Methods(P/Q)

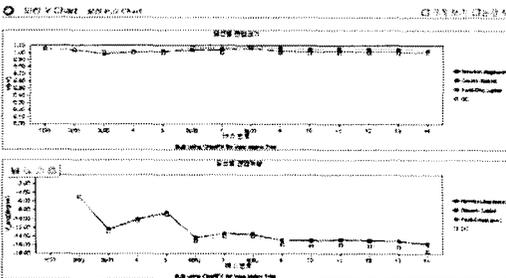


그림 6 조류계산 방법에 따른 모션별 결과를 나타내는 차트(V)  
Fig. 6 Nodal Results of Power Flow for Each Methods(V)

### 3.2 조류계산 연산 방법론별 결과 비교

본 절에서는 개발된 소프트웨어는 이용하여 다음의 그림에서 보여지는 것처럼 조류계산 방법론별 반복횟수와 실행시간, 슬랙모션에서의 유·무효 발전량의 차이를 제시할 수 있다.

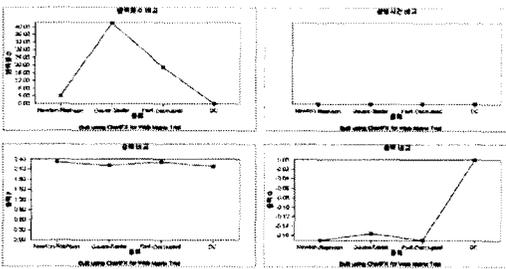


그림 7 조류계산 방법에 대한 비교  
Fig. 7 Comparison for Each Methods of Power Flow

그림 7를 통해 4가지 방법의 차이를 명확히 알 수 있다. 우선 반복횟수에서 DC 조류계산은 반복연산이 필요하지 않는 일차 연립방정식을 구하기 때문에 단 한번에 그 값을 구하는 반면 Newton-Raphson, Fast-Decoupled, Gauss-Seidel 순으로 그 반복횟수가 많아짐을 알 수 있다. 현재, 대규모 계통을 이용하여 사례연구를 수행한 것이 아니기 때문에 실행시간에 있어서는 그 차이가 나지 않지만 대규모 계통인 경우 그 차이가 명확하게 드러날 것이다.

다음 그림은 Newton-Raphson법을 이용하여 역행렬 구하는 방법론 즉, 가우스 소거법(Gauss-Elimination), L/U 분해법(L/U분해), 스파서티를 이용한 L/U 분해법(Sparsity), 행렬식을 이용하여 역행렬 구하는 방법(Classic)에 따른 수행시간 결과를 나타낸다.

실행

Case Name	Method	Total_Power	Total_Generation	Slack_P	Slack_Q	실행시간(초)	반복횟수
Newton	Newton-Raphson	1.7144E+07	1.7144E+07	0.0000E+00	0.0000E+00	1.46	6
Classic	Classic	1.7144E+07	1.7144E+07	0.0000E+00	0.0000E+00	1.46	10
L/U분해	L/U분해	1.7144E+07	1.7144E+07	0.0000E+00	0.0000E+00	1.46	4
Gauss-Elimination	Gauss-Elimination	1.7144E+07	1.7144E+07	0.0000E+00	0.0000E+00	1.46	4

그림 8 역행렬 구하는 방법에 따른 실행시간 비교  
Fig. 8 Comparison of Elapsed Time for Each Inverse Method

위의 그림에서 보여지는 바와 같이 사례계통이 소규모이기 때문에 그 방법론에 대한 결과를 명확하게 기술할 수는 없으나 IEEE 14모션 사례계통의 경우 행렬식을 구하는 방법과 L/U분해를 수행하는 경우가 연산 방법에 의해 계산시간이 많다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 분산처리를 인터넷으로 확장한 웹 서비스 기술을 이용하여 웹 기반 조류계산 교육용 소프트웨어를 개발하였다. 본 논문에서 개발된 소프트웨어는 기존의 물리적인 결과만을 제시하는 소프트웨어와는 달리 조류계산을 하기 위한 방법론에 대한 비교 및 분석이 가능하며 사용자는 조류계산에 대한 이해와 더불어 연산 방법론에 따른 정확도와 반복횟수, 연산시간을 비교해 볼 수 있다. 따라서, 본 논문에서 개발된 소프트웨어는 사용자가 인터넷을 통하여 접근하여 사례계통의 모션별 상태변수의 결과를 비교할 수 있을 뿐만 아니라 기존의 방법론별 결과를 비교할 수 있도록 개발되었기 때문에 현재 전기공학을 전공하고 있는 학생들이나 전력관련 실무자들이 조류계산에 대한 이해도를 높일 수 있을 것이라고 생각한다.

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축 지원사업으로 수행된 논문입니다.

### [참고 문헌]

- [1] 러스 베슈라 외 10인 공저/송영덕 역/조창형 감수, Professional ASP.NET Web Service, 정보문화사, 2003.
- [2] Dinar Dalvi 외 9인 공저/김세현 역, Professional XML for .NET Developers, 정보문화사, 2002.
- [3] T. J. Overbye, P. W. Sauer, C. M. Marzinzik, G. Gross, "A user-friendly simulation program for teaching power system operations", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 10, pp. 1725-1733, Nov. 1995.
- [4] Joong-Rin Shin, Wook-Hwa Lee, Dong-Hae Im "A Windows-based interactive and graphic package for the education and training of power system analysis and operation Power Systems", IEEE Trans. Vol. 14, pp. 1193-1199, Nov. 1999
- [5] C. Schaffner, "An Internet-based load flow visualization software for education in power engineering", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol. 2, pp. 1415-1420, 27-31 Jan. 2002.
- [6] Y. S. Ong, and H. B. Gooi, "A web-based power flow simulator for power engineering education", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 2, pp. 1002-1007, 18-22 July 1999.
- [7] 최강홍, 김건중, "XML Web Service를 이용한 조류계산 프로그램의 분산처리", 대한전기학회 전기학회논문지, 제52A권, 4호, 2003년 4월.
- [8] 신재호, C# 객체지향 언어로 배우는 디자인 패턴, 정보문화사 DEVPIA, 2002.