

분산전원 투입이 가능한 IEEE123 모선 배전계통의 조류계산프로그램 개발(1)

*이상성 **윤병주 ***한중교 ***민상원 ***나춘수 ***박종근 ***문승일 ***윤용태
*기초전력연구원 **비츠로시스 ***서울대전기공학부

Development of Distribution Load Flow Program for IEEE123 Bus inserting Distributed Generation(1)

*S.S.Lee **B.J.Yoon ***C.K.Han ***S.W.Min ***C.S.Na ***J.K.Park ***S.I.Moon ***Y.T.Yoon
*KESRI **VITZRO ***Seoul National University

Abstract - 본 논문에서는 IEEE123 모선 배전계통에 분산전원 투입이 가능하도록 GUI 조류계산프로그램 개발하였다. 첫째로 제안된 배전용 조류계산 프로그램은 기존의 배전용 조류계산의 한계를 벗어나 분산전원을 투입을 가능하게 하고 비주열하게 온라인으로 배전계통의 구조를 컴퓨터 마우스 클릭으로 손쉽게 할 수 있도록 구성하였다. 둘째로 GUI부분에서 모선, 선로, 차단기의 정보를 표시할 수도 있고 사용자가 분산전원의 투입이나 차단 그리고 선로 및 부하의 투입 및 차단이 가능하도록 하였다. 개발된 프로그램은 데이터 변환기, 조류계산프로그램 및 GUI로 구성되어 있으며 이 3부분은 메시지 Queue 명령에 의하여 서로 메모리를 공유하도록 되어 있다. 분산전원 투입 및 차단은 4군데로 지정하여 분산전원 투입량의 효과를 시각적으로 표시하는 데 편하도록 되어 있다. 조류계산의 결과는 GUI상에 유효전력, 무효전력, 모선전압, 역률을 각 모선의 근접 위치에 나타낸다.

1. 서 론

지금까지 배전계통에 적용된 조류계산알고리즘은 크게 Power Summation 방법과 Current Summation 방법의 두 부류로 나누어 질 수 있다. 배전계통은 선로의 구조가 거의 대부분 방사상으로 구성되어 있기 때문에 Newton Raphson, Gauss Seidel, Fast Decoupled 방법을 그대로 사용하기는 조류계산시 수렴에 다소 문제가 있는 것으로 알려져 왔다. 그래서 이런 조류 계산시 수렴문제를 해결하기 위하여 DistFlow, Forward/Backward sweeping 법 등이 제안되었다 [1-9].

최근, 대체에너지의 등장으로 마이크로 터빈, 연료전지, 에너지 저장장치의 도입으로 인하여 분산 전원을 설치할 수 있는 여지가 많아졌다고 할 수 있다. 이에 덧붙여, 분산전원(dispersed generations)을 고려한 배전시스템의 운전은 다양한 소비자 소유의 발전 설비가 있는 차세대 배전계통에 투입 시 여러가지 문제점이 대두될 것이다[10-12].

이러한 장치들의 도입은 기존의 배전자동화 기능의 운전 계획에 복잡성을 증가시킬 것이다. 전력시장의 탈규제화와 청정에너지(green energy)의 수행에 맞춰, 분산전원은 제한된 구역에서 소비자에게 전기를 제공할 것이며, 이는 발전사업자나 소비자 모두에게 매력적인 일일 것이다. 전력 공급자에 대한 규제가 느슨해 질 때, 많은 수의 분산 전원들이 전력계통에 도입될 것이고, 예상치 못했던 문제들이 전력계통 운영과 설계에서 분명하게 발생할 것이다.

분산전원은 배전 계통의 제어, 보호, 유지에의 복잡성을 증가시킬 것이다. 결국, 분산전원은 반드시 운전상

의 문제점들을 방지하고 고품질전력을 제공하는 배전자동화시스템(DAS)으로 통합되어 제어되어야 한다. DG 설비들은 공급되는 전력의 신뢰성과 품질을 개선하기 위해 협조적인 기능을 갖추어야 한다.

미래형 배전계통에서 DG의 역할은 다음과 같이 예견할 수 있다. 첫째로 동적 전압의 보상, 피이드에 대한 전압 프로파일등의 품질 개선을 들 수 있다. 둘째로 UPS기능과 지역복구서비스등 신뢰성 증진이다. 셋째로 상대적으로 높은 에너지효율, 손실감소, 부하의 평탄화등의 경제적 이득을 들 수 있다.

분산형 전원의 연계시 배전계통에 미치는 영향 검토 사항은 공급신뢰도(향상 등), 전력품질(전압, 주파수, 역률 등)의 측면에서 다른 수용가에게 악영향을 미치지 않아야 할 것이며, 공중 및 작업자의 안전확보와 전력공급 시설 또는 다른 수용가와의 설비의 보안에 악영향이 생기지 않도록 하여야 한다.

분산형 전원의 계통연계 기본원칙은 전력계통에 분산형 전원의 역조류 유입으로 인하여 기존의 단방향 조류가 운영되던 전력계통의 보호방식 등 운영체제 변화가 생기며, 분산형 전원의 병렬 및 분리시 전력품질이 변화하게 될 것이다. 병렬 운전시는 연계지점의 전압이 상승되고, 분리시는 전압강하가 발생한다. 분산형 전원이 연계된 경우에도 전기품질의 유지책임은 전기사업자에 있다.

발전설비 용량은 연계선로의 최저부하보다 적도록 규정하고 있으며, 소수력 발전의 경우는 연계용량을 3,000kW 이하로 제한한다. 일본의 경우는 연계선로 부하보다 적도록 규정하고 있다(배전선 용량의 10~20%). 독일의 경우는 연계선로는 기저부하의 1/2 이하로 제한하고 있다. 연계선로의 부하보다 적도록 제한하는 이유는 상위계통에 역조류 유입으로 인한 보호협조가 곤란하고, 상위계통의 사고시 단독운전사태 및 타선로 사고시 파급고장이 발생한다.

연계선로의 사고시 부하전환 및 계통절체가 곤란해진다. 주변의 모든 선로에 방향성 계전기 등 연계선로와 동일한 보호방식을 구비 할 필요가 있다. 연계선로의 전 부하를 분산형 전원에서 공급시 전압관리 곤란해진다. 분산형 전원은 ULTC 등이 없어 부하변동 등에 효율적인 전압관리가 곤란해진다.

본 논문에서는 IEEE123 모선 배전계통에 분산전원 투입이 가능하도록 GUI 조류계산프로그램 개발하였다. 첫째로 이 제안된 배전용 조류계산 프로그램은 기존의 배전용 조류계산의 한계를 벗어나 분산전원을 투입을 가능하게 하고 비주열하게 온라인으로 배전계통의 구조를 컴퓨터 마우스 클릭으로 손쉽게 할 수 있도록 구성하였다. 둘째로 GUI부분에서 모선, 선로, 차단기의 정보를 표시할 수도 있고 사용자가 분산전원의 투입이나 차단 그리고 선로 및 부하의 투입 및 차단이 가능하도록 하여

다.

분산전원 투입 및 차단은 4군데로 지정하여 분산전원의 투입량의 효과를 시각적으로 표시하는 데 편하도록 되어 있다. 조류계산의 결과는 GUI상에 유효전력, 무효전력, 모션전압, 역률을 각 모선의 근접 위치에 나타낸다[13].

2. 배전계통의 "Mixtribution" 개념

향후 다양한 형태의 분산전원(또는 분산형 발전기)의 도입으로 인하여 전력계통의 배전부분(일부 손전계통에도 해당)은 부하 중심지 근처에 전기만 공급하는 형태와 전기와 열을 동시에 공급하는 열병합 설비를 포함한 새로운 개념의 복합적인 망으로 구성될 것이다. 그림 1에서와 같이 이들 분산전원은 소규모로 연료전지, 풍력, 태양전지, 마이크로 가스터빈이 있으며, 중규모로는 열병합, 수소에너지, 소형 원자로 등이 있다[10,11,12].

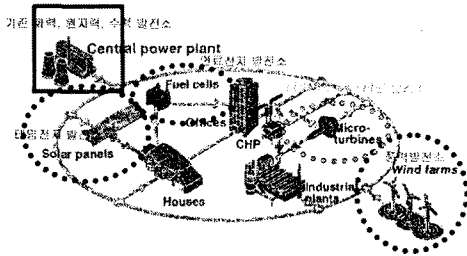


그림 1. "Mixtribution" 구성도

이들 분산전원이 투입될 경우의 배전계통 또는 배전망의 설계 시 다음과 같은 특징을 만족하여야 할 것이다.

- (1) 유연성(flexibility) : 오늘날 메인 분산전원을 포함한 대부분 지역 분산 시스템은 실시간 원격제어 설비가 부족하다. 이는 원래 그것이 방사상 선로를 따라 단방향 전력흐름을 인식하고 있기 때문이다. 동시에 많은 분산전원은 제어가능한 전력출력을 가지고 있어야 한다. 이는 다양한 운전 조건하에서 망과의 전력수수를 적절하게 조절 할 수 있도록 해야 하며, 양방향 전력흐름을 제어할 수 있도록 해야 한다.
- (2) 운용성(operation) : 다양한 분산 설비의 도입으로 인하여 다양한 운전조건들을 만족할 수 있도록 통합할 수 있어야 하며, 전체 시스템에 이익을 줄 수 있어야 한다. 이러한 견지에서 분산전원 설비는 실시간 정보와 제어 시스템을 통하여 적절하게 통합할 수 있어야 한다. 분산전원은 경쟁적인 시장에서 압력을 받게될 것이며, 효율성과 낮은 유지비에 관한 기술과 디자인에 관한 엄격한 조건들이 부여되어야 할 것이다.
- (3) 성능(performance) : 성능이란 고품질의 서비스를 지닌 전기의 전송을 의미한다. 정보 기술의 발달로 인하여 고품질의 요구조건은 향후 사회의 모든 측면에 스며들게 될 것이다. 디지털 기기와 제어가능한 프로세스의 도입으로 인하여 더욱 정교하게 제어가 가능할 것이며, 전기의 품질과 운용성에 관한 엄격한 요구조건이 부여되게 될 것이다.
- (4) 안전성(safety) : 배전망에 연결된 분산전원의 급격한 증대는 공공의 안전에 영향을 미칠 수 있을 것이다. 분산전원의 총 용량을 증가시키는 것은 단

락 회로의 전류 레벨을 증가시키는 결과가 될 것이다.

3. 분산전원의 투입과 개방이 가능한 배전용 조류계산 프로그램 [13]

3.1 제안된 프로그램의 구성

제안된 배전용 조류계산 프로그램의 구성은 그림 2에서와 같이 3개의 모듈로 구성되어 있으며 내부적으로 공유되는 2부분의 데이터베이스로 되어있다. 이 세 부분의 데이터를 서로 주고받는 데는 메시지 큐(Message Queue)를 통하여 정보를 교환하고 데이터베이스는 서로 공유하도록 하였다.

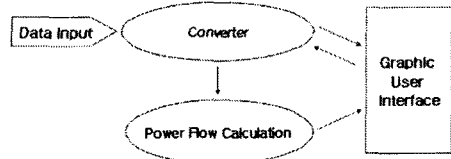


그림 2. 제안된 배전용 조류계산 알고리즘 각 모듈 구성

본 논문에서 제안된 배전용 조류계산의 특징은 다음과 같다.

- (1) 운용자 교육에 편리하고, 계통변경 시 수정이 가능한 GUI(Graphic User Interface) 모듈
- (2) 입력 데이터를 읽고 이를 DB에 넣고, 이를 각 모듈에 데이터를 주고받는 CONV(Converter) 모듈
- (3) CONV를 통하여 변환된 데이터를 메모리에서 입력받아 조류를 계산하는 PF(Power Flow) 모듈

시스템의 데이터베이스는 크게 파일 형태로 관리되는 DSK DB와 빠른 접근 및 갱신을 위해 메모리에 올려 관리되는 DYN DB로 구성된다. DSK DB는 초기에 PSS/E 데이터로부터 교육용시스템에 필요한 부분을 추출한 것으로 크게 BUS와 LINE에 대한 DB로 구성된다. DYN DB는 각 프로세스 운영중에 필요한 것으로서 DSK DB 중 BUS, LINE의 상태와 측정값 및 YBUS DB로 구성된다.

3.2 IEEE 123 모션 배전 계통도 GUI 화면

다음 그림 3과 같이 프로그램은 전술한 세 개의 모듈로 구성되어 있으며 이들은 통합되어 실행되어야 한다.

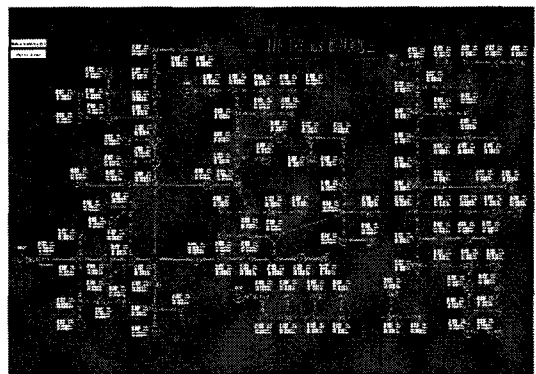


그림 3. IEEE 123 모션 배전계통도 GUI 화면

프로그램을 실행하면, 그림 3과 같은 화면을 바탕으

로 하는 IEEE 123 모선 배전 계통도 GUI 화면이 나타나게 된다. 그런 다음 화면에서 데이터 변환기와 조류 계산 버턴을 실행시켜야 한다. 본 프로그램의 주요 기능은 각 그래픽 파일간 연동, 경보 기능, 계통 연계 모의의 세 부분으로 나누어 살펴볼 수 있다. 실행파일을 실행하면 여러 개의 윈도우가 뜨는데, 이 중에 KMView 라는 윈도우에 IEEE123 모선 배전계통을 나타낸 주계통도가 나타난다. CONV와 PF 파일들은 같은 DB를 공유하므로, 서로 연동된다.

선로를 조작하는 과정에서 전력조류를 계산하면, 발전기에서 무효전력 공급 한계를 초과할 수 있고, 선로의 과부하 또는 버스의 과전압이 발생할 수도 있다. 이런 경우 시각적인 경보 기능을 통해 발전기 무효전력 공급 한계 초과와 전력조류 모의 시 과부하/과전압 상황을 사용자에게 알려 준다. 이러한 상황이 발생할 경우 윈도우 상에 있는 메뉴얼 5번째의 아이콘 기능 중 UNDO 기능을 이용하여 전 스텝으로 돌아간 후 새로운 경로를 모색하던지, 변전소 부하 또는 발전소 출력 전압 등의 조건을 달리하여 다시 모의한다. 전력조류 계산이 끝나면 윈도우가 화면에 나타나므로 시뮬레이션 종료 여부, 수렴/발산 여부와 총발전량/부하량을 알 수 있다.

3.3 배전계통 모의

IEEE123 배전계통도상의 발전기 그림을 마우스로 클릭하면 발전기 출력 유효전력[MW], 발전기 출력 무효전력[MVAR], 발전기 세팅 출력 전압[PU], 발전기 위상각[deg], 발전기 On/Off 상태, 발전기 버스/슬랙 버스 지정과 같은 발전기 정보 창이 뜬다. 타입 설정 중 SLACK이 미지정 되거나 복수로 지정되는 경우 경고 메시지가 발생한다. 이런 경우 정상적으로 SLACK을 지정한 후 시뮬레이션을 수행해야 한다.

3.4 IEEE123 배전계통도 편집기

배전계통의 작성 및 편집은 KMDraw를 사용하며 일반적인 사용 프로그램과 비슷하다. 메뉴명령은 파일 메뉴 명령, 편집 메뉴 명령, 객체 편집 메뉴 명령, 그리기 도구 메뉴 명령, 보기 메뉴 명령인 5가지로 나누어져 있다. 실행절차는 다음과 같다.

- ① 프로그램의 실행 파일을 실행시킨다.
- ② KMView 윈도우가 실행된다.
- ③ KMView 윈도우 메뉴바에서 설정 - 사용자 - 로그온을 선택한다.
- ④ 계통도 작성 및 편집을 위해서는 반드시 사용자로그온을 해야 한다. 로그온을 선택하려면 대화상자에서 사용자 - ADMINISTRATOR를 택한 후, 확인 버튼을 누른다.
- ⑤ 그래픽 편집을 위하여 KMDraw.exe파일을 실행시킨다.
- ⑥ 그래픽 편집기인 KMDraw 윈도우가 실행되면, 계통도 작성 및 편집을 수행한다.

3.5 TAG DB 작성 및 등록

TAG 값은 GUI 화면에서 표시되는 모선, 변압기, 선로의 ON/OFF 상태 및 각 설비의 정보를 표시하기 위한 DB로 계통도를 작성하기 전에 TAG 값에 대한 DB를 구축해야 한다. TAG DB는 배전조류계산 프로그램에서 사용할 PSS/E raw 데이터를 기반으로 작성되며, 아날로그 입력 DB와 디지털 입력 DB로 구분한다. 아날로그 입력 DB는 전력조류 계산 결과(모선의 유효전력, 무효전력, 전압, 위상각, 부하 모선의 과전압, 발전기의 무효전력한계 초과)와 변압기의 탭 정보의 표시

와 사용자가 임의로 지정할 수 있는 모선 정보 및 변압기의 탭 값을 처리하기 위한 것이며, 디지털 입력 DB는 선로와 변압기의 ON/OFF 상태를 표현하기 위한 것이다.

3.6 배전계통도 작성 및 편집

TAG DB 작성 및 등록이 완료되면 그래픽 작업을 한다. 모선, 선로, 변압기, 차단기 및 발전기는 반드시 입력 데이터와 일치하도록 작성해야 한다. 그래픽 작성 시 주의 사항은 다음과 같다. 선로는 데이터의 From Bus와 To Bus를 확인하여 선로를 작성해야 한다. 미리 작성한 TAG DB를 이용하여 각 설비의 속성과 동적 속성을 설정한다.

속성은 모선의 정보(유효전력, 무효전력, 전압, 위상각)와 모선, 선로, 발전기, 차단기의 선 종류와 굵기 등과 같이 사용 중에 변화되지 않는 값을 표시하기 위한 설정이다.

동적 속성은 선로의 ON/OFF 및 과부하 상태의 색 변화, 모선의 과전압 상태의 색 변화와 사용자가 임의의 값을 지정할 수 있는 모선 정보(유효전력, 무효전력, 전압, 위상각), 발전기의 ON/OFF 및 무효전력한계 초과 상태의 색 변화, 변압기의 ON/OFF 및 과부하 상태의 색 변화, 차단기의 ON/OFF 상태의 색 변화와 같이 사용 중에 계속 변화하는 값을 표시하기 위한 설정이고, 설비별 속성 내용, 설비별 속성 표현방법, 설비별 동적 속성 내용을 결정한다.

선에 대한 속성은 선의 종류, 굵기 등을 표현하기 위한 설정이다. 선 색상에 대한 동적 속성은 OFF 상태 선로는 녹색으로, ON 상태 선로는 적색으로 표현해 주기 위한 설정이다.

모선정보의 속성 설정은 모선정보(유효전력, 무효전력, 전압, 위상각) 표시 타입, 글꼴, 크기 등을 설정한다. 모선정보의 동적 속성은 모선정보 값을 사용자가 임의로 설정할 수 있도록 하기 위한 설정이다. 발전기를 의미하는 문자의 정렬방식, 크기, 글꼴 등을 설정한다.

발전기 문자 속성은 발전기의 ON/OFF 상태를 문자의 색 변화로 표시하기 위한 설정이다. 발전기가 OFF 상태에서 문자(G)를 흰색으로, ON 상태에서 문자(G)를 적색으로 변화시켜 사용자가 쉽게 확인할 수 있다. 발전기 문자 마우스 명령의 동적 속성은 문자를 누를 때 같은 모선에 연결된 발전기 리스트를 보여주는 설정이다.

발전기 도형(원)의 속성은 발전기가 과전압, 무효전력 한계 초과 표시 후, 원래의 색인 흰색으로 변화시키기 위한 설정이다. 발전기 도형(원) 마우스 명령 동적 속성은 도형(원)을 누를 때 같은 모선에 연결된 발전기 리스트를 보여주기 위한 설정이다.

변압기 속성은 변압기의 선 종류 및 굵기를 설정한다. 변압기 색상에 대한 동적 속성은 OFF 상태 변압기는 녹색으로, ON 상태 변압기를 적색으로 표현해 주기 위한 설정이다. 변압기 마우스의 명령 동적 속성은 사용자가 임의의 변압기 탭 값을 입력할 수 있도록 하기 위한 설정이다.

차단기 속성은 차단기의 선 종류 및 굵기, 채우기 효과를 설정한다. 차단기 동적 속성은 OFF 상태 차단기는 녹색으로, ON 상태 차단기는 적색으로 표현해 주기 위한 설정이다. 차단기 마우스 명령 동적 속성은 사용자가 차단기 ON/OFF 동작을 표현하기 위한 설정이다.

문자는 선로, 발전기, 모선의 이름을 표시하기 위한 것으로 속성만 설정한다.

3.7 제안된 알고리즘의 흐름선도

그림 4는 분산전원 투입이 가능한 배전 계통의 조류 계산 알고리즘의 흐름선도이다. 알고리즘의 구성은 데이터 변환기, 사용자 그래픽 인터페이스, 조류계산 알고리즘과 이를 상호 데이터의 전달이 가능하도록 하는 메모리로 구성되어 있다.

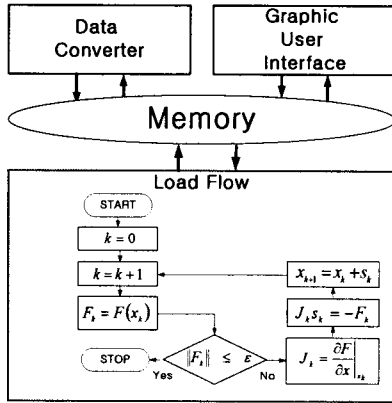


그림 4. 분산전원 투입이 가능한 배전계통의 조류계산 알고리즘

3. 결 론

본 논문에서는 IEEE123 모선 배전계통에 분산전원 투입이 가능하도록 GUI 조류계산프로그램 개발하였으며 개발된 프로그램의 특징은 다음과 같다.

- (1) 제안된 배전용 조류계산 프로그램은 기존의 배전용 조류계산의 한계를 벗어나 분산전원을 투입 및 개방이 가능하다.
- (2) GUI부분에서 모선, 선로, 차단기의 정보를 표시할 수도 있고 사용자가 분산전원의 투입이나 차단 그리고 선로 및 부하의 투입 및 개방이 가능하도록 하였다. 배전 계통의 투입 및 개방 시 구조를 컴퓨터 마우스 클릭으로 손쉽게 수정이 가능하며 이를 다시 조류계산을 행하여 변화된 배전 계통의 구조를 해석이 가능하도록 구성되어 있다.
- (4) 메시지 Queue 명령에 의하여 서로 메모리를 공유하도록 되어있다.
- (5) 분산전원 투입 및 차단은 4군데로 지정하여 분산전원의 투입량의 효과를 시각적으로 표시하는 데 편하도록 되어 있다.
- (6) 조류계산의 결과는 GUI상에 시각적으로 볼 수 있도록 유효전력, 무효전력, 모선전압, 역률을 각 모선의 근접 위치에 표시하였다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 주관으로 수행된 과제이며 관계 기관에 감사 드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] W. F. Tinny and C. E. Hart, "Power flow solution by Newton's method", *IEEE Trans.*, PAS-86, pp. 1449-1456, 1967.
- [2] B. Stott and O. Alsac, "Fast decoupled load flow", *IEEE Trans.*, PAS-93, pp. 859-869, 1974.
- [3] D. Rajicic and A. Bose, "A modification to the fast decoupled power flow for networks with high R/X ratios", *IEEE Trans.*, PWR-3, pp. 743-746, 1988.

- [4] S. Iwamoto and Y. Tamura, "A load flow calculation method for ill-conditioned power systems", *IEEE Trans.*, PAS-100, pp. 1736-1713, 1981.
- [5] R. D. Zimmerman and H. D. Chiang, "Fast decoupled power flow for unbalanced radial distribution systems", *IEEE Trans., on Power Systems*, vol. 10, No. 4, pp. 2045-2052, Nov., 1995.
- [6] Y. Zhu and K. Tomsovic, "Adaptive power flow method for distribution systems with dispersed generation", *IEEE Trans., on Power Delivery*, vol. 17, No. 3, pp. 822-827, July, 2002.
- [7] J. H. Choi, J. C. Kim and S. I. Moon, "Integrating operation of dispersed generation to automation distribution center for distribution network reconfiguration", *KIEE Inrenational Transactions on PE*, vol. 2-A, No. 3, pp. 102-108, 2002.
- [8] 최정환, 장성일, 박제영, 김광호, 김재언, 박종근, "대칭성 분을 이용한 3상 배전계통 조류계산 기법", 전기학회논문지, 제51A권, 제1호, pp. 15-22, 2002, 1.
- [9] 김태웅, 김재언, "분산전원이 도입된 배전계통의 전압해석 방법에 관한 연구", 전기학회논문지, 제52A권, 제2호, pp. 69-78, 2003, 2.
- [10] M. Chamia, "Electrical Power Systems 2020 : A Prospective View".
- [11] 이상성의 8명, "배전계통에 적용된 조류계산 알고리즘 적용사례 및 미래형 연구", 대한전기학회 추계학술대회, 2003.11.
- [12] 이상성의 8명, "우리나라 배전선로 특징 및 미래형 구상", 대한전기학회 추계학술대회, 2003.11.
- [13] "전력계통 고장복구 및 지원교육 프로그램 개발에 관한 연구", 한국전력거래소, 2003.