

최적화 기법이 적용된 전력계통 안정화 시스템 개발

Development of power system stabilization program using optimization method

안 창 한* · 백 영 식*
(Chang-Han Ahn · Young-Sik Baek)

Abstract - Various protective equipments are used for the power system control and protection. Numerous facilities are monitored at the same time in real time and introduction of optimization method and analysis of the method are required for generation control and facility management considering the demand fluctuations.

However, the existing system analysis programs are difficult to link with the other sw and there are some problems with user convenience. To solve these problems the present conditions of the system are figured out in real time and the equipment insert method was estimated by optimization method, and the system that showed the system analysis program is developed. PSS/E has been used as system anlysis program for stabilizing system development which applied the optimization.

method and Python language is applied in order to link the input and output values with the DB automatically. Lastly, DLL of matlab has been made included in C++ for solving the objective function using opmization method. By linking this to DB, power flow was calculated in PSS/E and the result was represented by Intouch screen.

Key Words : Optimization method, PSS/E, Power System Stability, C++, Intouch, HMI

1. 서 론

전력수요의 증가에 따라 전력시스템이 갈수록 복잡해지고 있기 때문에 전력계통의 신뢰도를 유지하고, 안정된 상태에서 고품질의 전력을 공급하기 위하여 고장전류계산, 전력조류계산, 경제급전, 고조파해석, 전압강하, 모터기동분석,안정도해석 등의 다양한 해석기법 및 제어기법들이 소개되어 발전되어 왔다.

현재 전력시스템을 감시, 제어, 분석하기 위해서는 높은 전문성과 많은 경험이 필요하며 전력계통의 특성상 새로운 기법을 실계통에 적용하여 실현하기는 거의 불가능하므로 시뮬레이션에 의한 방법으로 그 타당성을 검증하고 있다.

국내외에서 사용되는 전력계통 해석프로그램으로 국내외에서 사용되는 EDSA Technical2000, EMTP, PSS/E, Matlab PowerSystem Toolbox, CYME, ETAP, SKM, PSCAD/EMTDC 등이 있다.

전력계통에서 신뢰할 수 있고 효율적인 전력시스템을 개발하기 위해서, 설계 엔지니어들이 현재의 상황에서 가장 효율적인

디자인을 위한 연구가 필요하다. 전통적으로 내려오는 분석 방법들은 정확한 분석을 위해 많은 시간동안 교육을 받으며, 그러한 교육을 받은 전문가들에게 의존할 수 밖에 없다. 그러나 아직도 많은 기존 계통해석 프로그램들은 상당히 복잡하고 다른 소프트웨어와의 연동이 어렵기 때문에, 이들 프로그램에 HMI를 도입하는 것은 상당한 비용과 시간을 소모한다. 그리고 HMI는 발달속도가 매우 빠르기 때문에 유지 보수비용도 적지않게 든다. 즉 계통해석 기술과 HMI 기술을 동시에 융합하는 방법은 계통해석 연구자에게는 적지 않은 부담이 되어 계통해석기술의 발전에 큰 걸림돌로 작용되고 있는 것이 현실이다.

이를 해결하기 위하여 DB를 이용하여 기존의 조류계산엔진과 HMI 소프트웨어를 연결해서 실시간 계통해석 시스템을 개발하였다. DB를 이용한 소프트웨어간의 통신기술 발달은 전산업분야에 걸쳐 나타나고 있다. 전력계통 해석분야도 예외는 아니다. 전력계통 해석분야는 소프트웨어를 사용한 시뮬레이션에 HMI를 도입하여 사용자의 편의성을 도모하고 있다. 이러한 변화는 기존 계통해석 프로그램의 이용 범위를 넓혀주고 변화되는 외부 환경에 맞추어 이용가능하게 만들어 준다. 더 나아가 사용자가 직접 설계, 변경한 화면상에 계통 현황을 구현 할 수 있고 계통의 관측과 제어를 용이하게 할 수 있게 해준다.

본 연구에서는 최적화기법이 적용된 전력계통 안정화 시스템 개발을 위해 계통해석 프로그램으로 PSS/E를 이용 하였고, 자동으로 입력값과 출력값을 DB와 연동시키기 위해 Python언어를 사용하였다. DB는 SQL을 사용하였으며 모니터링하고 제어 할수

* Corresponding Author : Dept. of Electrical ,Electronic and Computer Engineering, Kyungpook National University, Korea.

E-mail:ysbaek@knu.ac.kr

* Dept. of Electrical ,Electronic and Computer Engineering, Kyungpook National Univerity, Korea.

Received : January 10, 2015; Accepted : February 26, 2015

는 HMI는 Intouch로 구현하였다. 마지막으로 최적화 기법을 이용해 목적함수를 풀기 위해서 Matlab의 DLL을 C++에 인크루드 시켰다. 이를 DB와 링크시킴으로써 결과값을 PSS/E에서 조류계산하고 Intouch 화면으로 나타내 주었다.이 시스템의 테스트를 위해 미금 인근 지역 계통과 미금 변전소를 모델링하고 시뮬레이션 해 보았다.

2. 개발과정

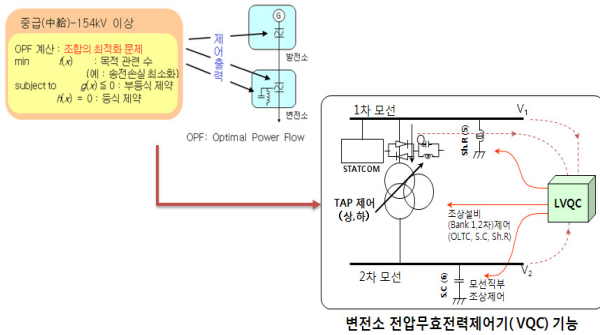


그림 1 지역 변전소에서의 무효전력 협조제어

Fig. 1 Reactive power control of local substation.

전력계통의 무효전력 제어에는 중앙제어 방식과 지역제어 방식이 있다. 전자의 경우 송전손실 최소화를 위하여 최적조류계산에 근거하여 기존의 지역제어 장치에 지령을 내려 동작하도록 한 방식이다. 후자의 경우 AVQC(Automatic Voltage and Reactive Control) 장치에 의해 전압무효전력제어를 수행하는 방식으로서 해당 전력소의 정보만을 분석하여 제어하므로 중앙제어방식에 비해 빠른 대응이 가능하지만 계통 상황에 대응하는 제어가 불가능하다. 이러한 단점을 보완하기 위해 해당 전력소 현장에서 측정된 전압과 무효전력을 AVQC 장치에 포함하여 수시로 변화하는 계통 상황에 대응하도록 한다.

본 논문에서는 단위 변전소 차원의 지역협조제어 방식을 채택하였다. SCADA/EMS 전압지령을 기준 전압으로 하여 실제 측정된 시스템 전압과의 비교를 통해 전압오차를 발생시켜 설정된 허용범위를 초과하면 전압 불안정상태로 가정하였다. 각 전압보상 기기의 응답 특성을 반영한 협조제어 알고리즘을 자체 개발한 HMI시스템에 적용해서 시뮬레이션하였다.

각 전압보상설비들은 지역 대표 모선의 전압조정을 목적으로 상위지령 또는 해당 전력소의 운영자에 의해 수동으로 운영된다. 그림 1은 본 논문에서 적용한 지역제어장치에 의한 전압관리시스템을 나타낸다. 변전소 1차, 2차 모선전압으로부터 국지적인 계통 상황을 판단한다. 지역제어장치에 의해 전압 불안정 상태로 판단된 경우 STATCOM을 포함한 소내 무효전력설비에 동작지령을 내보내게 된다.

2.1 HMI(Intouch)

어플리케이션 투입에 따른 미금 변전소의 전압제어와 함께 계통 전체의 변화를 해석하기 위해서 각각의 모선의 전압, 무효전

력, 유효전력을 나타냈다. 사용자가 변전소 내부 어플리케이션의 투입에 따른 전압값의 변화뿐만 아니라 계통 전체의 변화도 확인할 수 있게 개발하였다. 최종적으로 계통해석의 시각화를 통한 HMI를 구현하였다.

그림 2의 기능들은 계통의 시각화를 위해 인터치 상에서 개발한 장치들로 다음과 같은 기능들이 있다.

(1) 제어모드 선택 기능

계통상태에 따라 운용자가 제어방식을 결정 할 수 있게 해준다.

(2) 자동/수동 모드 기능

전압 보상설비 운용 방식을 자동으로 할지 수동으로 할지 결정해 준다.

(3) Hist Trend 기능

과거의 시간과 날짜로부터 데이터의 Snapshot을 제공하는 기능으로 과거의 P,Q,V 값을 그래프로 확인할 수 있다.

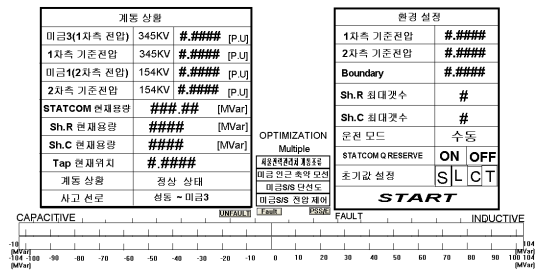


그림 2 최적화시스템 HMI 화면

Fig. 2 HMI monitor of optimization system

(4) Real Time Trend 기능

실시간으로 변화하는 P,Q,V 값을 화면상에서 그래프의 시간적 추이로 확인할 수 있게 해준다.

(5) Input 기능

모선 이름이나 번호 입력 시 지정된 모선의 P,Q,V 값을 Hist Trend 곡선과 Real Time 곡선으로 나타나게 해준다.

(6) Excel 출력 기능

현 상태의 모든 데이터를 Excel DB 로 볼 수 있게 해주고, 저장 copy, 편집 등의 엑셀 기능을 이용할 수 있게 해준다.

(7) 화면 이동 기능

모선 클릭 시 모선 내부의 단선도로 화면이 이동해서 계통전체 상황 뿐만 아니라 내부 상황도 제어 관측이 가능하게 해준다.

2.2 계통해석 자동화(PSS/E)

실시간 계통 해석에서 조류 계산 엔진으로 PSS/E를 사용하였다. 실제계통도와 동일하게 구현되도록 미금인근 계통 Data를 이용하여 시뮬레이션 하였다.

PSS/E 조류계산 결과와 Intouch 화면상의 Data 값의 일치 여부를 확인하기 위해 PSS/E Diagram으로 미급 인근 45모선을 모델링하였다. 실시간 조류계산을 위해 API(Application Program Interface)기능을 이용하였다. API 기능에서 PSS/E와 Python과의 호환이 된다는 점을 이용하여 PSS/E의 CLI에서 Python 코딩 프로그램을 실행시켰다. PSS/E에서 조류계산한 결과 값(P,Q,V)을 InTouch 화면상에 나타내려면 먼저 SQL DB에 저장 되어야 한다. PyThon으로 코딩한 프로그램을 PSS/E의 API 기능을 이용해서 실행시킨다. PSS/E 상에서 Python으로 코딩한 프로그램이 실행되면 Intouch로부터 신호를 받아서 자동으로 data를 이동시켜 주고 PSS/E의 조류계산을 실행시켜준다. CLI에서 실행되는 Python 코딩 프로그램은 자동으로 반복 실행되고 DB의 Intouch 신호 변화에 따라 알고리즘을 수행한다. 그림 3은 Python으로 코딩한 프로그램을 PSS/E에서 실행하였을 때 미급 인근 계통 데이터를 이용 자동으로 조류계산하는 화면이다.

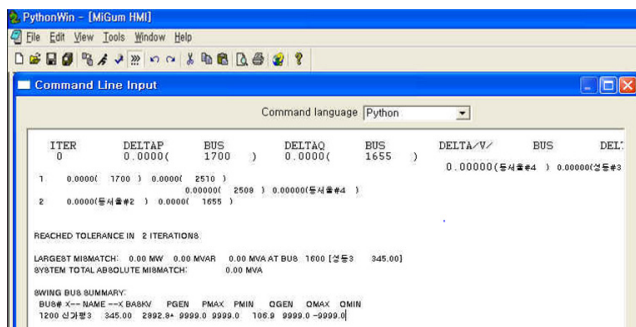


그림 3 PyThon 코딩 프로그램 실행 결과
Fig. 3 Simulation results by python program

2.3 최적화 기법 적용(C++, Matlab)

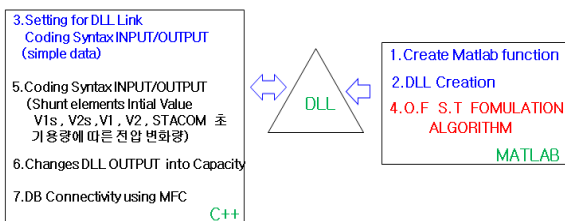


그림 4 최적화 기법 적용 과정
Fig. 4 Simulation results by python program

기존에 개발된 실시간 전력계통 해석시스템에 최적화 기법을 도입하였다. 매트랩을 이용하여 목적함수를 설계하고 최적화 기법으로 계산한 DLL파일을 C++로 Link 시켰다. C++에서는 미급 변전소의 1차측, 2차측 전압값과 기준 전압 Statcom의 초기 용량에 따른 전압 변화량을 SQL DB로부터 수신하여 DLL 실행을 통해 최적의 해를 도출하였다. DB와의 연결을 위해 MFC를 이용하였다.

3. 시스템 운용 결과

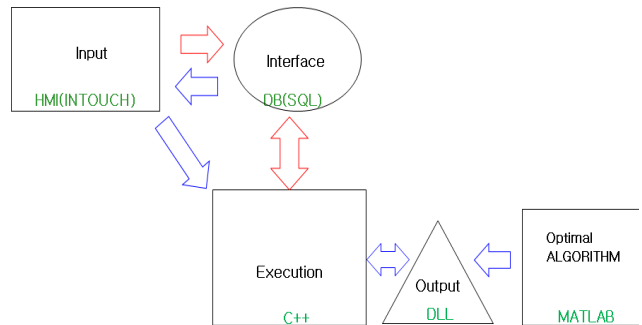


그림 5 최적화 기법이 적용된 시스템 다이어그램
Fig. 5 The schematic diagram of optimization system

프로그램으로 PSS/E를 이용하였고, PSS/E Data를 통신 시켜 주기 위해 Python 언어로 프로그램을 코딩 하였다. DB는 SQL을 사용하였으며 최종적으로 계통해석을 시각화하고 제어 할 수 는 HMI는Intouch로 구현하였다. 마지막으로 최적화 기법을 이용해 목적함수 를 풀기 위해서 Matlab의 DLL을 C++에 인크루드 시켰다. 이를 DB와 링크시킴 으로서 결과값을 PSS/E에서 조류계산 하고 Intouch 화면으로 나타내 주었다.

제어와 계통 해석의 시각화를 통한 HMI 과정은 Intouch로 개발 하였다. 실시간 Data 통신을 위한 Intouch와 PSS/E 간의 연결은 DB를 매개체로 Python과 Intouch 스크립터로 코딩한 알고리즘으로 구현하였다.

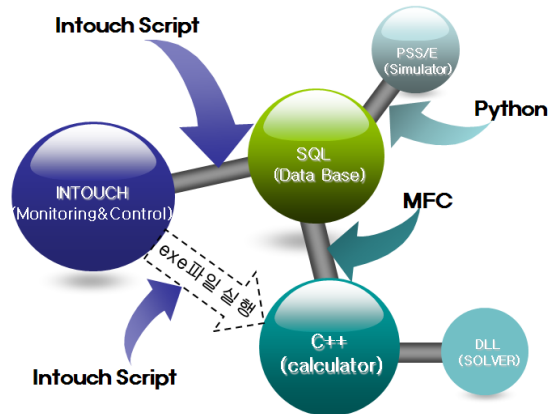


그림 6 최적화 시스템 모식도
Fig. 6 The schematic diagram of optimization system

그림 6은 앞서 언급한 소프트웨어들을 이용하여 실시간 전력 계통 해석을 위한 HMI 과정을 모식도로 나타낸 것이다. 그 과정을 살펴보면 미급 인근 지역의 PSS/E Data를 이용해서 시뮬레이션하고 그 결과 값들을 Python으로 코딩한 프로그램을 이용 SQL DB로 옮긴다. SQL 테이블 상에 저장된 데이터들은 Intouch의 내부 알고리즘에 의해 다시 DB로 보내지게 된다. Python은

제어신호를 받아서 PSS/E에 조류계산 명령과 바뀐 data를 보내 주게 된다. 변화된 모든 상황은 사용자의 편의에 맞게 개발된 InTouch 화면상에 나타나게 된다. 최적화 알고리즘은 MATLAB으로 구현하였고 DLL 형태로 생성해서 C++에 인클루드 시켜서 최종적으로 DB와 연결하였다.

3. 최적화 기법 적용 DATA 분석

최적화 기법 적용 Data 확인하기 위해 매트랩에서 최적화 기법으로 계산한 값과 C++의 Data 값을 비교해 보았다.

C++에서는 미급 변전소의 1차측, 2차측 전압값과 기준 전압 Statcom의 초기 용량에 따른 전압 변화량을 SQL DB로부터 수신하여 DLL 실행을 통해 최적의 해를 도출한다는 것을 확인 할 수 있었다.

Data의 통신에서 한걸음 더 나아가서 실시간 통신 여부를 확인하기 위해서 미급 변전소의 실제 설비들을 인터치 상에서 구현해서 투입에 따른 전압변화를 확인해 보았다. Intouch에서 제어 신호를 보내면 PSS/E에서 그 신호에 따라 조류계산을 실행하고 그 결과값을 Intouch로 보내는 과정이 자동으로 실시간 이루어진다.

그림 7은 SQL DB를 통하여 Intouch에서의 입력 값이 C++에 Include 된 매트랩의 DLL로 계산된다는 것을 확인 할 수 있다.

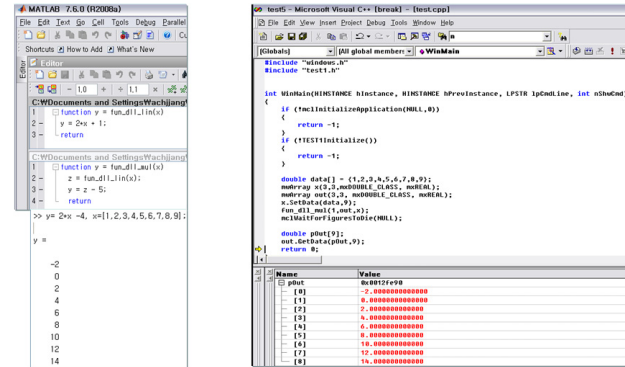


그림 7 Matlab-C++ 계통 Data 비교
Fig. 7 System datas of Matlab-C++

어플리케이션의 변화에 따라 전압값이 바뀌면 다시 신호와 함께 DB로 올라가고 Intouch에서는 신호를 체크해서 전압값을 불러 오게 한다. 이 과정은 주어진 초기 전압에 따라 Intouch 내부 알고리즘에서 수행되어 자동으로 전압 값이 변화하게 된다. 실시간 전압이 바뀌는 모습을 시각화하기 위해서 Intouch에서 Real-Time Trend를 구성하였다.

4. 최적화 시스템과 기존 계통해석 시스템 비교

최적화 시스템의 효용성을 검증하기 위해 기존의 실시간 시뮬레이터인 RTDS, Intouch-PSS/E와 비교해 보았다. RTDS는 하드웨어와 소프트웨어가 함께 구성되어 있는 고속의 전용 프로세서

로 분산 병렬 시스템이다. 표1은 RTDS 와 Intouch-PSS/E를 가격과 기능 그리고 각 소프트웨어와 하드웨어와의 호환을 중심으로 최적화 시스템과 비교해 보았다.

먼저 가격은 한국전력연구원의 설치되어 있는 20백 RTDS의 경우 100억인 반면에 3000태그와 통신이 가능한 Window View를 탑재한 Intouch와 계통해석, 동적해석, 고장계산이 가능한 PSS/E 그리고 SQL DB를 모두 포함한 가격은 5000만원 내외이다. 매트랩과 C++을 사용하여 최적화 시스템을 개발 할 경우 8000천만원이 소요된다. 그 동안 가격의 부담으로 실시간 시뮬레이터 사용에 제한을 받아왔던 계통 관계자들의 부담을 줄여 줄 수 있는 결과이다.

기능면에서 비교해 보면 RTDS는 계전기 시험, 각종 Controller시험, FACTS(SVC,UPFC,TCSC등), HVDC 시뮬레이션, 각종 전력계통 과도현상 시뮬레이션 및 교육, 훈련 발전기 다이 나믹 시뮬레이션 및 Control등의 기능이 있고, Intouch-PSS/E도 과도현상 해석, 과도해석, 각종 어플리케이션의 설치에 따른 시뮬레이션이 가능하다. 최적화 시스템의 경우 기존 계통해석 시스템의 기능에 최적화 기법을 적용하여 결과의 신뢰성을 높였다. 가격대비 성능면에서 최적화 시스템이 경쟁력이 있다고 볼 수 있다.

확장성과 호환성에서 최적화 시스템은 SQLDB와의 통신이 가능하다면 다른 소프트웨어들과 호환이 가능하며 확장 또한 가능하다. 일례로 PSS/E의 조류계산 기능을 C++로 알고리즘을 구현하고 MFC를 이용하면 DB엔진과 통신이 가능하다. DB에 저장된 data는 InTouch 스크립터에서 구현된 알고리즘으로 통신이 가능하게 해준다.

표 1 RTDS, Intouch-PSS/E, Optimization System 비교
Table 1 Comparison of RTDS, Intouch-PSS/E and Optimization System

		RTDS	Intouch-PSS E	Optimizaion System
가격		100억	5천만원	8천만원
기능		실시간 계통 해석	실시간 계통 해석	최적화 기법 적용 실시간 계통 해석
확장성		어려움	쉬움	쉬움
인지도		높음	낮음	낮음
SW호 환성	PSIM	O	O	O
	C++	X	O	O
	E-TAP	X	O	O
	EMTP	X	O	O
HW호환성		불가	확보	확보

표 1은 SQL DB를 통해 Intouch와 연결이 가능한 소프트웨어들을 나타내 준다. 사용자의 주어진 환경과 목적에 따라 각 소프트웨어를 연결해서 사용함으로써 현장 상황을 확

하게 해석할 수 있게 해준다. H/W 호환 부분에서 RTDS 시스템은 매우 고가의 고성능 하드웨어를 사용하여 개발되었기 때문에 적은 규모의 전력 시스템을 모의하기 위해서도 많은 설치 비용이 드는 문제점이 있고 시뮬레이터를 구성하는 대부분의 하드웨어나 프로세서가 시뮬레이션 목적만을 위한 전용 장비들이기 때문에 고가의 고성능 시스템을 다른 목적에 사용하기가 사실상 불가능하여 장비의 활용 효율이 떨어지게 된다. 그에 반에 최적화 시스템은 전압전류 인가 장치, IED, 통신 제어장치와 최적화 시스템의 제어신호를 이용하여 쉽게 연결되고 동작하도록 개발하였다.

5. 결 론

기존의 실시간 계통 해석 장치는 비용문제와 규모 문제로 일부 전문기간 이외에는 사용이 어려웠으나 이 장치는 저렴한 비용과 안정성으로 실제 계통상황을 모의 할 수 있는 장치이다. 사용자가 전력 계통 및 전력에 대한 교란현상의 영향을 분석할 수 있도록 하여 주며 정전사고와 공급중단 사고도 예방 할 수 있다. 또한 실제 계통 상황과 유사한 조건에서 다양한 어플리케이션의 모의 테스트 외에도 실무 엔지니어들의 모의 훈련 및 교육용으로 도 활용할 수 있다.

실시간 계통해석과 함께 기존의 공급자 중심의 계통해석 시뮬레이터를 사용자 중심으로 바꿔줌으로써 HMI를 구현하였다. 전력해석 엔진을 기반으로 InTouch상에서 사용자의 편의에 맞게 시스템을 설계, 변경할 수 있었고 이는 계통해석의 시각화로 이어졌고 다양한 기능들을 이용하여 계통해석을 보다 쉽고 정확하게 해주었다. 또한 객체지향적(Object Oriented Programming)으로 시스템 개발이 이루어지게 되어있어 시스템 설계 변경시 편의성을 도모할 수 있게 해주었다. 상용제품들은 패키지가 되어 있어 주어진 환경에서만 사용가능하고 외부 환경의 변화에 능동적으로 대처하지 못한다는 관념을 깨고, HMI 소프트웨어와의 연동을 통해 사용자가 직접 시스템의 설계, 변경을 자유롭게 할 수 있게 해주었다.

이번에 구축된 Optimaziton System은 전력공급을 24시간 계획, 실시간 운영 및 관리하는 전력관제센터용 EMS다. 특히, 최적화 기능을 고도화하여 전력공급의 경제성과 안전성을 확립함에 따라 차세대 EMS는 전력수급 안정과 대규모 전력계통의 안정 운영, 대정전방지 등에 활용될 것이다.

감사의 글

본 연구는 2014년 교육부의 재원으로 한국연구재단(NRF :2014025001)의 지원을 받아 수행한 과제이며, 관련 기관 관계자 여러분에게 감사드립니다.

References

[1] J. Balance, "SCE's integration bus project: OMS-SCADA

integration and automated event logging," in DistribuTech 2000, FL.

[2] J. T. Robinson et al., "Development of the Intercontrol Center Communications Protocol (ICCP)," in IEEE Proc. Power Ind. Comput. Applicat. Conf., pp. 449 - 455.
 [3] J.Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma "Power System Analysis And Design" BROOKS/CORE, 2002
 [4] Gilberto, Bruno, "Enhancing the Human-Computer Interface of Power System Applications", IEEE PAS, Vol.11, No.2, May 1996
 [5] "Tools for Real-Time BusinessIntegration and Collaboration," IEEE Transactions on Power System Vol.18, No. 2, May 2003
 [6] S.T Cha and K.W Cho "A Real-Time Simulator for Power System Studes" 1998 KIEE
 [7] Chang-Han Ahn, Young-Sik Baek "InTouch HMI Development to Real-Time Power System Analysis" 2009 KIEE
 [8] Chang-Han Ahn, Young-Sik Baek "Optimal Operation using ILP of Voltage Compensation Equipment for Voltage Stability of Power System"2011, KNU Master of Science in Electrical, Electronic and Computer Engineering

저 자 소 개



안 창 한(Chang-Han Ahn)

1980년 2월 12일생. 2009년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 졸업. 2011년 동대학원 전자전기컴퓨터학부 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자전기컴퓨터학부 재학(박사).

Tel : (053) 940-8802

E-mail : achjjang@nate.com



백 영 식(Young-Sik Baek)

1950년 7월 8일생. 1974년 서울대 전기공학과 졸업. 197년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1977년 명지대 전기공학과 조교수. 현재 경북대 전자전기컴퓨터학부 교수.

Tel : (053) 950-5602

E-mail : ysbaek@mail.knu.ac.kr