

## EMS 관련 소프트웨어 개발에 관한 연구

문영현, 김창중, 이승철, 백영식, 신명철, 박정도  
 연세대학교 전기공학과, 수원대학교 전기공학과, 중앙대학교 전기공학과,  
 경북대학교 전기공학과, 성균관대학교 전기공학과, 연세대학교 전기공학과

### A Study on the Development of EMS Software Package

Young-Hyun Moon, Chang-Jong Kim, Sueng-Chul Lee, Young-Shik Baek, Myung-Chul Shin,  
 Jeong-Do Park

Dept. of EE, Yonsei Univ., Dept. of EE, Suwon Univ., Dept. of EE, ChungAng Univ.,  
 Dept. of EE, KyungPook Univ., Dept. of EE, SungKyunKwan Univ., Dept. of EE, Yonsei Univ.

**Abstract** - This paper presents a software development technique for EMS applications. The definite client-server configuration is proposed and EMS software package is developed. The developed EMS software package consists of AGC(Automatic Generation Control), Economic Dispatch, State Estimator, Contingency Analysis Simulator and Database Applications. In order to integrate each of the developed modules, EMS Network Server is developed. The proposed package is tested with a sample system. It is expected that the developed package can be easily applicable to the practical system.

#### 1. 서 론

에너지 관리 시스템(EMS: Energy Management System; 이하 EMS로 함)은 원격소(발전소 및 345KV급 전력소)로부터 전력계통의 온라인 정보를 수신 받아 실시간으로 운전원에게 계통정보 제공 및 발전 제어 기능을 수행하는 한편 오프라인으로 계통해석 및 운전원 교육 등에도 이용되고 있다. EMS는 전력 계통 운용을 위해서 반드시 필요한 핵심 요소이나 국내에서는 개발 조차 시도한 적이 없으며 EMS관련 소프트웨어는 단편적으로 연구되었으나 이를 결집시켜 시스템화 하는 노력이 없어 연구결과가 사장되어 있는 실정이다.

전력계통운용을 위한 EMS는 기존 계통에 설치되어 있는 각종 감시, 제어 장치들의 기능을 통합하여 계통의 전체적인 적정 운용을 목표로 하고 있다. 계통에는 여러 가지 다른 수준의 기술을 요하는 다양한 장치들이 부착되어 운전중인 관계로 이의 통합운영에는 많은 어려움이 따르며 많은 연관 분야를 가지므로 종합 기술적인 성격이 강하다. 또한 EMS 소프트웨어 구현에 있어서도 각 모듈간의 상호 운영을 위해서는 일관성 있는 설계 체계가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 EMS 소프트웨어를 AGC, 경제급전, 상태추정, 상정사고해석의 모듈로 나누어 개발하고 개발된 소프트웨어를 네트워크를 통해 상호 연동하기 위해 데이터 기록/검색 소프트웨어와 EMS 네트워크 서버 소프트웨어를 개발하였다. 추후 시스템의 확장, 소프트웨어의 변경 및 이기종 간의 접속이 용이하도록 개방성을 고려하여 개발되었고, 그래픽 사용자 인터페이스(GUI: Graphical User Interface)를 통하여 손쉬운 이 가능하도록 설계되었다.

#### 2. 본 론

소프트웨어 패키지는 AGC (Automatic Generation Control), 경제급전, 상태추정, 상정사고 해석, 데이터 기록/검색 및 EMS 네트워크 서버 소프트웨어로 구성되며 그림 1에 시스템 구성을 나타내었다.

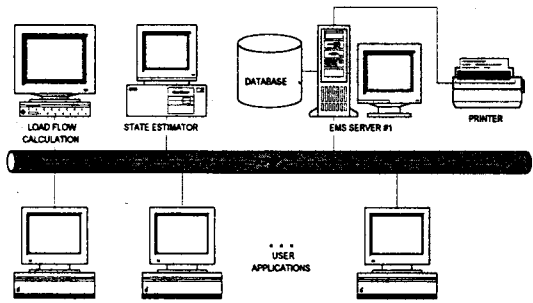


그림 1. EMS 시스템 구성도

#### 2.1 AGC

AGC 소프트웨어는 스케줄링 모듈과 ACE(Area Control Error) 계산, ACE 보정, ACE 할당 모듈로 구성되며 그림 2에 AGC의 구조를 나타내었다.

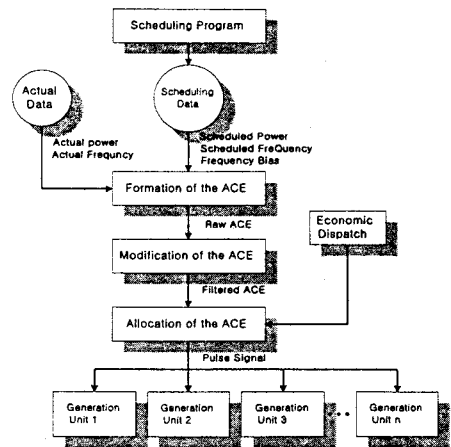


그림 2. AGC의 구조

ACE 계산 모듈에서는 ACE 계산시에 전력과 주파수의 측정데이터가 요구되며 ACE 할당 모듈에서는 경제급전으로부터 참가 팩터와 베이스포인트에 관한 정보를 받아

들어 기능을 수행한다. 이러한 AGC의 소프트웨어는 기존의 절차 지향 프로그램방식을 사용할 시 수정과 처리에 많은 어려움이 있다. 이러한 이유로 객체지향 프로그램기법을 사용하였다. AGC 프로그램 모듈을 전체 EMS내에서 효과적으로 동작시키고 타 프로그램들과 연계하여 그 성능을 시험 및 보정하였고 연계를 위한 소프트웨어의 작성, 병행운전 시험 등을 행하였다.

AGC 프로그램에서 가장 중요한 것은 주파수와 순교한 전력을 이용하여 ACE를 계산하는 것이다. ACE는 AGC 프로그램에서 중요한 위치를 차지하는 변수로서 한 지역 안에서의 계획된 발전량과 요구하고 있는 전력량과의 차이를 나타내는 지수이다. 이런 ACE값은 한 지역 내에서 발생된 주파수의 변동을 측정하여 여기에 주파수 바이어스(B) 값을 곱하여 주파수 값(Hz)을 Power(MW)값으로 환산한 후 이 값을 AGC 계산 모듈로 보내어 계산하는 것이 일반적인 방식이다. 이 방법을 사용하면 측정이 까다로운 Bias값을 산정하는 것이 간단하여 많이 사용되어지지만, 부하의 상황이 어떠한지 시간에 일관된 값을 적용하므로 경제적인 제어의 측면에서 손실이 많게 된다. 또한 실제 전력계통의 응답은 전력 부하의 종류와 특성에 따라 비선형으로 변하고 있어서 Frequency Bias 값을 Natural Response에 가깝게 만들어야하지만, 시간에 따른 부하 상태의 변화와 발전상태에 따른 응답이 어떠한 형태를 나타내는가를 산출해야 하므로 이것을 정식화 하기는 다소 무리가 있다.

따라서 본 연구에서는 비선형 문제해결에 탁월한 성능을 발휘하는 신경망을 이용하여 Bias의 변화율을 시스템의 Natural Response 특성에 근접하게 하였다. 이것은 현재 사용 중에 있는 Fixed Frequency Bias Setting 방법의 불필요한 제어액션을 줄이고, 지역 내에서 일어날 수 있는 불필요한 제어액션을 최소화 할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2.2 경제급전

본 연구에서는 비선형성과 불연속성에 적용하는 신경망의 우수성과, 기존의 최적화를 위한 신경망들과 달리 등식과 비등식 제약조건을 모두 자연스럽게 다룰 수 있는 장점 때문에 Lagrangian 신경망을 경제급전의 기법으로 택하였다. Lagrangian 신경망이 항상 최적해에 수렴하는 것을 보장하기 위해 Lagrangemultiplier  $\lambda$ 의 다이내믹스를 개선하고, Lagrange multiplier  $\omega$ 의 다이내믹스를 변형하여 비선형 제약조건도 다룰 수 있는 improved Lagrangian 신경망을 그림 3과 같이 제안하고, 보통의 2차 비용함수와 구간별 2차 비용함수를 가진 경제급전 문제에 적용하였다.

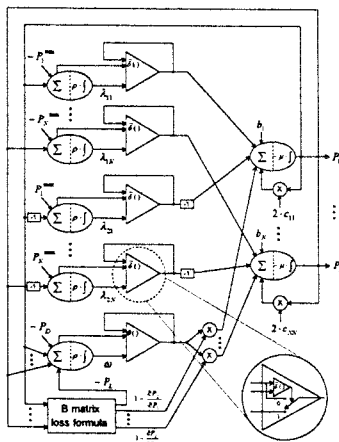


그림 3. 경제급전에 적용한 improved Lagrangian 신경망의 구조

개선된  $\lambda$ 의 다이내믹스에 의해 제한된 신경망은 최적해에의 수렴 여부가 학습을 파라미터에 의해서 거의 영향을 받지 않는 강인함을 지니게 되었다. 일반적으로 신경망에서는 학습을 파라미터를 선택하는 것이 쉽지 않은 문제인데, 모의 실험을 통해서 학습을 파라미터의 선택 기준을 제시하였다[1].

이러한 신경망을 기반으로 모의 경제급전 프로그램을 개발하였다. 송전손실은 B 행렬 손실식(B matrix loss formula)을 사용하여 보다 해의 정확도를 향상시키기 위한 노력을 하였다. 특히 momentum기법을 이용하여 수렴속도를 향상시킴으로서 보다 실시간 적용이 용이하도록 개발하였고, 발전기 3개의 손실이 고려되지 않은 경우, 간략화된 B 행렬 손실식이 고려된 경우, 완전한 B 행렬 손실식이 고려된 경우와 발전기 10개의 구간별 2차 비용함수를 가진 경우에 부하의 변화에 따른 경제급전을 모의 실험하였다. 모의 실험 결과 보통의 2차 비용함수의 경우에는 기존의 수치적 방법보다 쉽게 적용할 수 있으면서도, 동등한 결과를 얻을 수 있었다. 구간별 2차 비용함수의 경우에는 기존의 수치적 방법보다 적용하기 쉽고, 제약조건을 더욱 정확하게 만족시키면서 더 나은 해를 찾을 수 있었고, 홉필드 신경망에 비해서도 제약조건을 정확하게 만족시키면서 더욱 최적의 해로 수렴함을 볼 수 있었다[2].

제한된 Lagrangian 신경망은 학습을 파라미터의 선택에 관계없이 거의 동일한 결과를 내고 신경망 그 자체가 동식 제약 조건을 처리할 수 있기 때문에, 수치적 방법뿐만 아니라 페널티 파라미터의 선택에 어려움이 있는 여타 신경망들보다 적용하기가 수월한 장점도 가지고 있다.

본 연구의 타당성을 보이기 위해 기동정지계획과 AGC와의 협조가 가능한 모의 경제급전 프로그램을 개발하였고, IEEE New England 39-Bus System 등의 테스트 시스템들에 적용한 결과 안정되고 빠른 수렴 특성을 나타내는 것이 확인되었다. 본 접근방식은 앞으로 본격적인 EMS 개발 시 ELD 모듈의 기반기술로서 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

## 2.3 상태추정

모든 계통해석은 상태추정결과로부터 출발하므로 만일 계통의 측정데이터 중 결정적인 불량데이터가 포함된 경우 상태추정을 거치지 않는다면 이로 인하여 계통운전에 결정적인 실수를 범할 수 있다. 따라서 상태추정은 EMS 시스템에서 매우 중요한 위치를 차지하며 최근 모든 전력회사의 EMS에는 상태추정 프로그램을 사용하고 있다. 그러나 많은 전력 회사들이 상태추정 프로그램을 보유하고 있으면서도 그 중요성에 비추어 활용도가 크게 떨어지는 것은 상태추정 프로그램의 수렴성이 확보되지 않았기 때문이다. 전력계통은 그 규모가 방대하여 수많은 데이터를 처리하여 이로부터 상태추정결과를 도출해야 하므로 프로그램의 수렴성이 문제가 되고 있으며 아직도 많은 전력회사에서 상당한 문제들을 겪고 있다.

따라서 상태추정 프로그램 개발에서 주요관건은 알고리즘의 수렴성 확보에 있으며 이에 대한 해결 방안으로 본 연구에서는 조류계산결과를 상태추정에 직접 활용함으로써 신뢰성은 다소 떨어지더라도 수렴성을 보장할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 또한 상태추정에서는 수렴성 뿐만 아니라 신뢰성 또한 중요하므로 신뢰성 확보를 위해 양질의 데이터를 확보하는 방안으로 측정데이터를 측정 신뢰도에 따라 그루핑을 행하고 경험율에 의하여 상태추정용 데이터를 적정선으로 확보하는 방안을 연구하였다. 본 연구에서는 상태추정 시에 사용되는 초기 데이터를 인위적으로 선택하여 구성하도록 하고 모션 전력 데이터를 중심으로 하여 수렴성이 보장되는 범위에서 양질의 데이터를 추가하는 방안을 사용한다. 이 결과를 토대로 측정 데이터의 추가 및 불량데이터 제거에 따른 상태추정 결과 보정 알고리즘을 그림 4에 나타내었다.

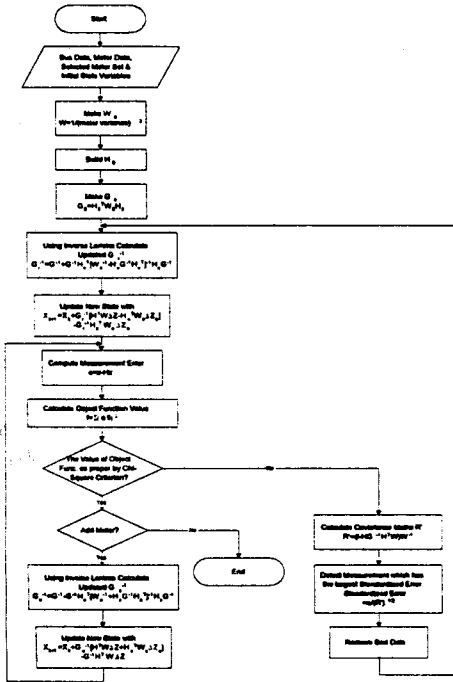


그림 4. 상태추정 결과 보정 알고리즘

상태추정 결과 보정 알고리즘은 기존의 방법에 비해 계산 시간을 대폭 줄일 수 있음을 샘플 시스템을 통하여 검증하였다(3). 한편 Topological Error를 검출하기 위한 이론이 이미 존재하지만 기존의 방법에서는 수행 시간이 매우 길어지는 단점이 있다. 따라서 이 같은 문제점을 해결하는 방안으로 계산시간을 대폭 단축시킬 수 있는 방안을 개발하였다(2). 개선된 Topological Error 검출 알고리즘은 계통의 Topological Error가 존재하는지의 여부와 어느 선로에서 Topological Error가 발생하였는지를 정확히 검출하며 계산량을 크게 줄임으로써 계산시간을 대폭 감소시킨다.

#### 2.4 상정사고해석 및 전문가시스템

우선 상정사고에서 뿐만이 아니라 모든 EMS 프로그램에서 공용으로 사용할 조류계산프로그램을 객체지향 언어인 C++ 을 사용하여 개발하였다. 여기에서는 계통 요소들이 객체지향적으로 모델링 되었으며, 스퍼스 행렬 및 자코비안 연산등의 객체화가 연구되었다. 상정 사고 해석 연구에서는 기존의 수행도 지수법, 선형 상정 사고 선정기법, Boundig 기법, 스퍼스 행렬 기법 등을 분석하고 테브난 등가회로를 사용하여 사고를 모의하였다. 선로사고 발생시 계통 해석이 빠른 시간내에 정확하게 계산할 수 있는 방법을 유도하였고 메모리 할당량을 줄이기 위한 연구도 병행하여 추진되었다(2). 본 연구에서 개발된 알고리즘을 24 모선 38 선로 계통에 적용하여 그 타당성을 검토하였으며, 제한한 알고리즘은 기존 방법보다 수십 배 정도의 계산시간 단축이 가능한 것으로 나타났다(2)(5).

또한 EMS 확장을 위한 기초 연구로써 EMS 시스템에서 사용되는 각 프로그램들의 흐름을 관장하는 시스템으로 전문가 시스템을 개발하였다. 개발한 전문가 시스템은 규칙 및 추론과정을 소프트웨어적으로 처리할 수 있으며, 추론 속도를 높여 실시간 제어가 가능하고, 규칙 및 데이터의 변경에 따른 적용력이 뛰어나서 EMS 시스템에서 요구되는 적용력의 수준을 만족시킬 수 있다

(4).

이렇게 함으로써 첫째 실제 하드웨어에 대응하도록 객체를 모델링하여 실제 하드웨어의 동작 정보를 입력받아서 구동되는 전문가 시스템을 구현하였고, 둘째 객체가 지식의 일부분을 구성하는 요소로 만들고, 하나의 지식 표현은 객체들끼리의 연결로써 지식베이스를 구현하여 그 결과 각 지식들간의 독립성이 유지되고 지식의 변경시 지식베이스 자체의 재구성이 용이하게 되었으므로, 시스템의 변경에 대해 신속하게 대처할 수 있는 시스템을 만들 수 있는 기반이 확립되었다. 다음으로 Gate 객체를 지식의 표현에 삽입하고 Gate 객체로부터 받은 메시지를 연산을 취한 후 다음 객체로 메시지를 전달 할 수 있도록 구성함으로써 효율적인 추론이 가능하게 되었다.

#### 2.5 데이터기록/검색 소프트웨어

객체지향개념이 도입된 에너지관리시스템의 실시간 데이터베이스 구축을 위하여 에너지관리시스템에서 요구되는 요구사항 분석을 통하여 차단기, 발전기, 선로, 변압기, 모선, 조상설비 등으로 클래스를 분류하고 그 분류된 클래스를 다시 실시간적인 클래스와정적인 데이터 특성을 갖는 클래스로 분류하였다. 이러한 클래스들을 이용하여 기존의 ER(entity relation)을 확장된 EER (enhanced entity relation)기법으로 개념 디자인을 설계하였다. 이러한 설계 과정에서 실시간적인 클래스를 정적인 클래스의 하위 클래스로 디자인하여 실시간 모델링이 용이하도록 하였다.

완성된 개념디자인을 객체지향형 스키마로 전환, 객체지향적 모델링을 수행한후 객체지향적 스키마를 설계하였다. 요구사항에서 분석된 클래스들 간의 operation을 데이터 흐름도(data flow diagram)기법을 이용하여 에너지관리시스템 데이터베이스의 프로그램의 기초를 설계한 후 각 클래스들의 method로 정의하여 각 클래스의 operation으로 캡슐화 하였다. 다음 단계에서는 NEW ENGLAND 39 모선데이터를 입력 데이터로 객체-관계형 DBMS (database management system)인 UNI-SQL을 이용하여 구축함으로써 기존 관계형 데이터베이스에서는 불가능한 복합적 자료유형과 포인터의 사용을 이용한 검색의 용이성을 추구하고 또한 통합 에디터 상에서 데이터 속성값을 관리할 수 있는 기록 소프트웨어를 개발함으로써 정적인 데이터의 관리뿐만 아니라 실시간 데이터 관리의 용이함을 추구하고 있다.

본 연구는 에너지 관리시스템 데이터베이스 분야에 새로운 객체지향 알고리즘을 도입하여 실시간 데이터베이스를 구축하는 전 과정을 제시함으로써 객체지향 데이터베이스를 기반으로 한 실시간 전문가 시스템 분야로의 확장 또한 적용이 가능하게 되어 보다 효율적인 전력계통의 실시간제어 및 운용을 기할 수 있게 되었다.

#### 2.6 EMS 네트워크 서버

앞 절에서 개발된 모듈들을 네트워크를 통하여 통합/연동하기 위해 네트워크 서버가 개발되었다. 네트워크 서버는 TCP/IP를 사용하여 통신하며, 그림 5.에 클라이언트와 서버 사이의 작업 구조를 나타내었다.

개발된 모듈들이 실제시스템과 유사하게 동작하기 위해서 SCADA 시스템이 실제 네트워크로부터 필요한 정보들을 수집해야 하는 과정이 선행되어야 한다. 그러나 실제로 SCADA 시스템이 모의 EMS 시스템에는 존재하지 않으므로 조류계산 결과를 SCADA에서 수집되는 정보로 간주하고 이것을 입력 데이터로 사용한다. 또한 AGC의 제어 명령에 의해 야기되는 발전기 주파수의 변화와 같은 부분은 미리 공유 데이터베이스에 시간대별로 저장해두고 사용하고 있다.

서버는 클라이언트가 접속한 후 요청한 사용자 프로토콜을 분석하여 해당되는 작업을 수행한다. 요청된 작업이 데이터베이스와 관련될 경우 2.5절에서 설명한 데이터기록/검색 모듈과 연계되어 공유 데이터베이스를 처리

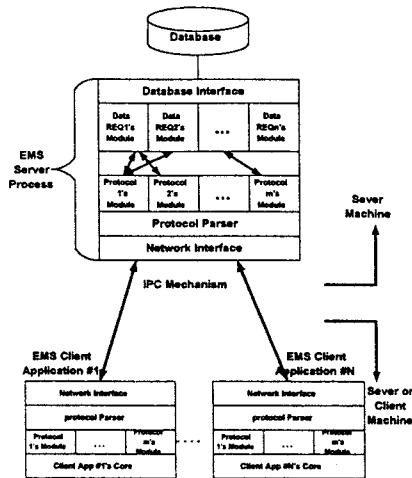


그림 5. Client/Server 사이의 작업구조

하게 된다. 클라이언트에서 원하는 정보를 서버에서 총체적으로 관리함으로써 전체 시스템은 정보의 중복된 관리로 인한 비효율성이나 그로 인해 야기될 수 있는 데이터 불일치 등의 문제를 원활히 해결할 수 있다. 따라서 서버에서 시스템에 변경을 가하면 연결된 모든 클라이언트들이 영향을 받게 되어 손쉽게 시스템의 고장 상황을 시뮬레이션 할 수 있다. 개방 시스템을 지향한 Client/Server 시스템의 도입과 객체지향 기법 그리고 공유 데이터베이스를 사용하여 EMS 서버를 개발함으로써 진일보된 EMS 시스템의 운용을 위한 기술 기반을 마련하였다

### 3. 결 론

본 연구에서는 EMS에 관련된 소프트웨어 패키지 일체를 개발하였다. 소프트웨어 패키지는 AGC(Automatic Generation Control), 경제급전, 상태추정, 상정사고 해석 및 데이터 기록/검색 소프트웨어로 구성된다. 개발된 개개의 소프트웨어를 네트워크를 통하여 유기적으로 상호 연동되도록 하기 위해 EMS 네트워크 서버를 구성하여 통합하고, 모의 EMS시스템을 구성하여 성능을 검증하였다. 개발된 소프트웨어 패키지는 각각의 모듈들이 상호 통합 연동되어 운용되므로 온라인에 가까운 오프라인 시뮬레이션의 특징을 가지는 시스템으로 볼 수 있다. 개발된 시스템은 실제통제의 적용이 용이할 것으로 기대되며 전력 SCADA, 발전소 DCS용 소프트웨어, 배전 SCADA 등의 개발에 응용될 수 있을 것이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] S.C. Lee, J.K. Chung, Y.H. Kim, "A Lagrangian ANN for ELD with Piecewise Quadratic Cost Function", ISAP '97, 1997, July 6-10, Seoul, Korea, pp. 485-489
- [2] "EMS 관련 소프트웨어 개발에 관한 연구", 기초전력공학 공동연구소, 1998
- [3] 문영현, 박인권, 박정도, 최병곤, "유연데이터 처리를 위한 전력계통 상태추정 알고리즘 개선에 관한 연구", 대한전기학회논문지, Vol. 47, No. 11, 게재예정
- [4] 백영식, 김정년, "객체지향 기법을 이용한 전문가 시스템", 대한전기학회논문지, Vol. 47, No. 9, Sep. 1998, pp. 1527-1531
- [5] 백영식, 김정년, "EMS 운용을 위한 상정사고 해석", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, 1996. 11. 16, pp. 175-178
- [6] D.C.H. Prowse, "Improvements to a Standard Automatic Generation Control Filter ALgorithm", *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 8, no. 3, pp. 1204-1210, Aug. 1993
- [7] T.D. King, M.E. El-Hawary, and F. El-Hawary, "Optimal Environmental Dispatching of Electric Power Systems via an Improved Hopfield Neural Network Model", *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 10, no. 3, pp. 1559-1565, Aug. 1995
- [8] Young Moon Park, Young Hyun Moon, Jin Boo Choo and Tae Won Kwon, "Design of reliable system for state estimation", *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 3, no. 3, pp. 830-836, Aug. 1988
- [9] Yukata Kokai and Fumio Masuda and Satoshi Horiike and Yasuji Sekine, "Recent Development In Open System For EMS/SCADA", *12th Power Systems Computation Conf. Dresden*, Aug. 19-23, 1996, pp. 43-57