

Multi-Agent 기반의 지능형 전력정보시스템 개발

□ 문영환, 이정호, 김태현, 이상호 / 한국전기연구원
 □ 배주천 / 한국전력거래소
 □ 김문식 / 산업자원부

서론

최근 북미, 유럽 등 세계적으로 잇따라 발생한 대규모 정전사태는 전기분야에 국한하지 않고 사회 전반에 큰 충격을 준 재난사고로 인식되고 있으며, 직접 정전을 경험한 당사자들은 자연재해와 마찬가지로의 고통과 피해를 입었다. 다행히도 최근 들어 우리나라에서는 아직 다른 나라에서 겪은 대규모정전이 발생하지 않아 일반 대다수 국민들에게는 세계적 정전사태는 하나의 뉴스거리일 뿐 큰 관심을 끌지 못하고 있는 것이 사실이다. 또한 경제성장과 더불어 전기 사용량이 증대하고 있으며 산업 및 경제활동과 일상생활에서 차지하는 전기의 비중이 점차 커져가고 있으므로 대규모정전 예방을 위해 고장에 강인하며 파급효과를 최소화할 수 있는 국가 광역전력계통 보호 및 감시시스템 개발이 필요하여 이는 대규모 투자가 수반되어야 하는 만큼 국가적 차원에서의 연구개발이 필수적이다.

산업자원부의 2004년도 중기저점기술개발사업으로 수행되고 있는 “Multi-Agent 기반의 지능형 전력정보시스템 개발” 과제는 전력계통의 효율적 운영 및 국부적인 사고가 전체 국가 전력계통으로의 파급 방지 목적을 충족할 수 있는 국가적 인프라 시스템 개발 및 소규모/지역 단위의 네트워크/인프라 시스템 연계를 피하여 광역 계통 감시/제어 시스템 (Wide Area

Monitoring and Control System)을 개발하는 것을 목적으로 하며 그 세부내용은 다음 각 항목을 포함한다.

- 전력계통설비의 실시간 감시, 해석 및 제어를 통하여 전력계통에 대한 Defense가 가능한 Multi-Agent 기반의 광역 전력계통 정보시스템 구축 및 통합시스템 네트워크 구성을 위한 기본 플랫폼 개발
- 계통보호 시스템의 취약성, 서로 연계성을 상실한 SCADA, EMS를 비롯한 급전 및 감시시스템의 문제, 운영자의 의사결정 체계 및 실수, 홍수 등 자연재해 및 테러에 의한 계통의 파괴, 부적절한 전력계통의 모델링, 부하 운영에 대한 취약성 등에도 한 지점이나 선로에서의 사고가 전체 국가 전력계통으로 파급되는 것을 막을 수 있는 자체 복구능력을 가진 계획과 적응성이 강한 계통 구조(Scheme)로 구성된 광역계통 감시/제어 시스템(Wide Area Monitoring and Control System)과 네트워크를 개발
- 21세기 개방형 전력시스템에 적용하는 것을 목표로 한 신뢰성공학 및 IT기술 융합형 스마트 전력설비 감시진단기술의 개발. 각 설비의 특성 파악과 운영 환경에 따른 설비의 중요도 및 파급효과 분석(Failure Modes, Effects & Analysis) 등의 신

뢰성공학을 통해 가장 효율적이고 경제적인 유지 보수 방안을 전략적으로 운영, 관리할 수 있는 첨단 신뢰성기반의 예방진단(RCM; Reliability Centered Maintenance) 기술과 시스템, 인프라 개발

- 전력기기의 진단 데이터베이스의 구축과 이로부터 수명을 예측하고 신뢰성 평가를 기반으로 하고 회사의 정책을 가미할 수 있는 스마트 진단기술 개발

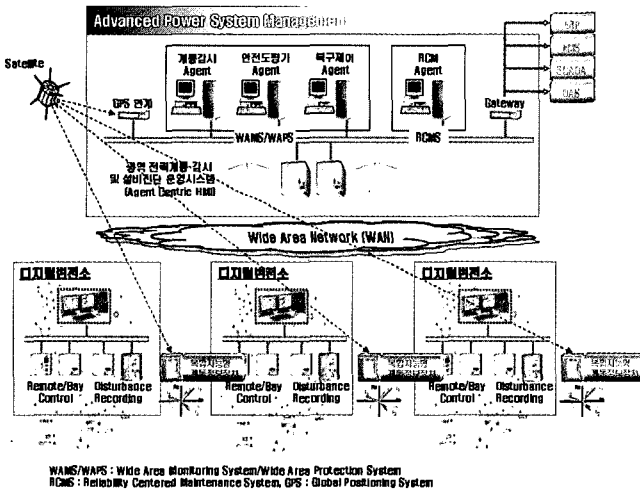


그림 1 Multi-Agent 기반의 지능형 전력정보시스템

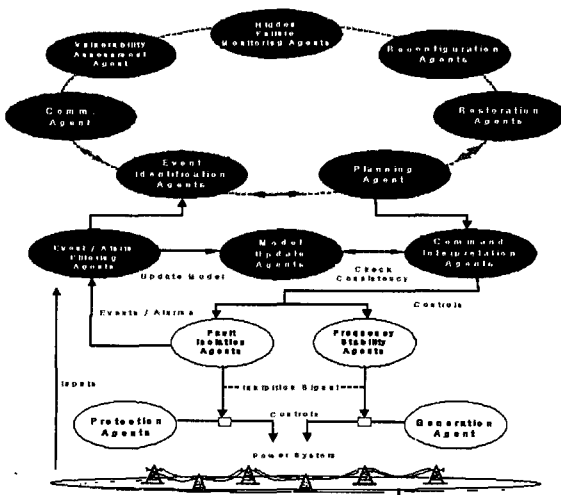


그림 2 Multi-agent 기반의 계통 구조도

기술 소개 및 해외 기술 동향

본 절에서는 “Multi-Agent 기반의 지능형 전력정보 시스템 개발” 사업을 구성하는 두 가지 주요 기술인 Multi-agent 기술과 광역 계통 안정도 제어기술에 대하여 간단히 살펴본다.

먼저 Multi-agent 기술은 자동화된 시스템을 구현하는 기술이다.[1] Agent란 주어진 “환경”내에서 “자율적”으로 위임자를 “대신”하여 “능동적”으로 임무를 수

행할 수 있는 지능형 프로그램으로 정의할 수 있다. Multi-agent 기술의 핵심은 다수의 agent가 서로간의 정보를 주고받으며 이런 정보를 이용하여 각 agent가 주어진 임무를 자율적으로 수행하는 것이다. 전력 계통을 예로 들자면 계통 보호 장비는 고장 요소를 제거하여 계통을 유지하는 공통된 목적을 가지고 있다. 이 경우 각 계통 보호 장비를 한 agent로 볼 수 있으며 계통의 안정적 운영을 위하여서는 대부분의 경우 다수의 agent의 동작을 요구한다. 계통 보호의 자동화를 위하여서는 각 agent 간의 통신 및 상호간 협동 또는 조정 기능이 필요하며 이를 다루는 것이 multi-agent 기술이다. 다음 그림 2는 전력계통의 각 구성 요소를 multi-agent 개념에 근거하여 도식화한 것이다.

전력계통의 정전방지 또는 비상사태 대처 방안으로 Special Protection System(이후 SPS)이 널리 이용되고 있다. 기존 SPS는 미리 정의된 고장 또는 사고에 대하여 이를 검출할 수 있는 센서를 설치하여 사고 또는 고장 검출의 경우 미리 정해진 조치를(예: 발전기 탈락, 캐패시터/리액터 뱅크 조작 등) 취하도록 하고 있다. 최근의 SPS는 지역 정보에 근거한 SPS 동작이 대부분이었던 기존의 형태를 벗어나 광역 정보에 근거한 SPS의 연구 개발이 활발히 이루어지고 있다. 그러나 이런 SPS는 미리 정해

진 상황에 대해서만 대처할 수 있는 단점을 가지고 있다.

이에 반하여 신기술인 Wide Area Stability Control System(이후 WACS)은 계통 상황을 인식할 수 있도록 센서를 전략적으로 배치하고 이로부터 수집된 정보를 이용하여 계통에 발생 가능한 임의의 외란에 대처하도록 하는 신개념의 전력계통 정전방지 및 안전도 확보 기술이다.[2][3] 이러한 WACS의 장점을 요약하면 다음과 같다.

- SPS에서 다루지 못하는 임의 사고 및 운영조건에 대한 해법 제안
- 변화하는 계통에 대한 해법 제공을 통해 계통운영자 지원
- 지역 상태에 근거한 계통 제어의 단점 극복
- 계통 신뢰도 및 이용률 제고

이런 WACS의 구현을 위하여서는 먼저 계통의 정확한 상태를 측정하는 것이 필수적이다. 이를 위하여 GPS(Global Positioning System) 시각 동기화된 전압 및 전류의 페이저 추출이 가능한 PMU(Phasor Measurement Unit)를 이용하는 방법이 주로 사용되고 있다. 다음으로 계통 전역에 걸쳐 측정된 계통 상태 정보를 실시간에 가깝게 계통 제어센터에 송신할 수 있는 초고속 통신망이 구축되어야 한다. 현재는 고속 광통신망을 이용하고 있으며 차후 통신 기술 개발 여부에 따라 더 많은 양의 데이터를 주고받을 수 있을 것으로 예측된다.

이렇게 수집된 정보는 단순히 계통의 전압, 전류, 유효 및 무효전력 등 계통 기본 정보만을 보여주므로 수집된 계통 정보에서 계통의 안전도 상태를 추출할 수 있는 해석 기술 및 안전도 제고 제어 기술이 필요하다. 기존의 다양한 계통 안전도 해석

및 제어 기술이 존재하나 실시간에 가깝게 취득되는 정보 이용에는 미흡하므로 이를 극복하기 위한 새로운 기법 개발 연구가 활발히 진행되고 있다.

앞에서 언급한 WACS는 Wide Area Monitoring System(WAMS)의 발전된 형태이다. WAMS는 계통 전역 상태를 정확히 측정하여 계통운영자에게 필요한 정보를 보기 쉽게 제공하는데 그 목적을 두고 있다.[4][5][6] WACS의 경우 계통 상태, 해석 결과 및 가능한 제어 조치를 실시간에 가깝게 계통운영자에게 제공하여야 하므로 시각화 기술은 더욱 중요하다고 할 수 있다. 전력계통과 같은 대규모 시스템의 실시간 정보 시각화 처리는 방대한 데이터 처리를 필요로 하나 컴

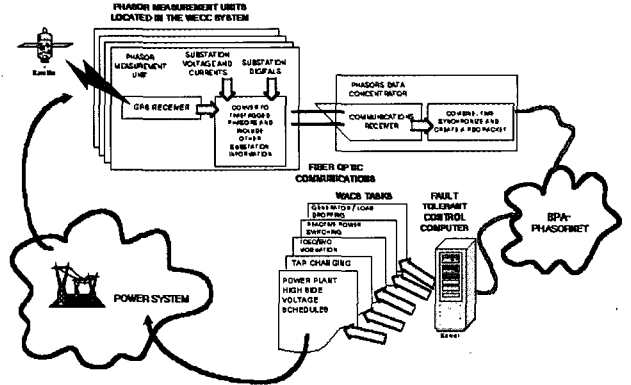


그림 3 BPA의 WACS 개념도

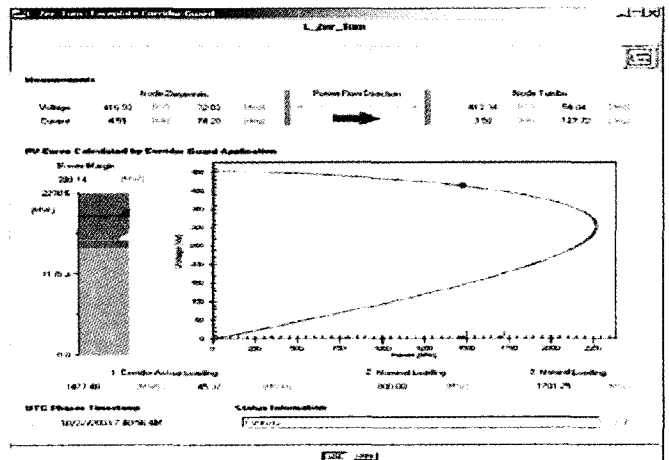


그림 4 PSGuard 제공 전압안정도 시각화 예

퓨터 기술 발전이 이를 가능하게 하고 있다. 앞에 기술한 것에 근거하여 WACS를 구성하는 핵심 기술을 정리하여 보면 다음과 같다.

- 계통 상태를 고속으로 정확히 측정할 수 있는 단말기기
- 측정된 대용량의 데이터를 다룰 수 있는 초고속 통신 기반 시설
- 수집된 데이터를 이용하여 계통의 안전도 판별과 제어가 가능한 해석 및 계통 안전도 제고제어 기술
- 수집 데이터 및 해석 결과를 계통운영자에게 제공하기 위한 시각화 기술

이런 WACS의 개념 및 구현에 있어서 기술적으로 선도하고 있는 Bonneville Power Administration(BPA)과 ABB사의 연구 개발 현황을 소개하고자 한다. [1][2][7][8]

북미 WECC 계통의 일부분을 관장하는 BPA의 경우 현재 실험실 수준의 WACS를 구축하고 있으며 실계통 배치를 위한 연구가 진행되고 있다. BPA가 고려하는 WACS 개념도는 다음 그림 3과 같다. BPA는 향후 On-Line 안전도 해석 시스템과의 연계를 통하여 WACS의 조정/학습/적용 기능 강화도 추진하고 있다.

세계적인 기업인 ABB사는 계통의 시각 동기 정보 취득이 가능한 GPS 기반의 PMU를 생산하고 있을 뿐만 아니라 여러 PMU 데이터를 수집하는 장치인 Phasor Data Concentrator(PDC)를 개발 완료하여 생산하고 있다. 더하여 계통의 안정도를(전압) 해석하고 이

의 결과를 시각화하여 보여줄 수 있는 PSGuard 소프트웨어가 개발 시판되고 있으나, 실시간 계통 해석을 수행하는 기능은 아직 구현되어 있지 않다. 다음 그림 4는 PSGuard에서 제공하는 전압안정도 시각화의 예이다.

위에서 살펴본 바와 같이 현재 실시간 전력계통 운영 및 제어 연구는 나날이 발전하고 있는 통신 시스템을 이용하여 계통의 정확한 정보를 측정하여 초고속으로 전송하고 이를 이용하여 계통을 운영하거나 비상사태에 대비하는 시스템을 구현하는 방향으로(전력IT 분야) 개발이 진행되고 있다. 초고속 통신을 통하여 취득되는 실시간 측정 데이터를 이용한 계통 운영 및 제어 연구 분야는 개념만이 수렴되어 있으며 이 분야의 실제적인 연구 및 개발은 아직 미개척 분야로 남아 있는 상태이다.

그림 5는 초고속 통신망을 이용하여 취득되는 계통의 실시간 데이터를 이용하여 임의의 계통 외란을 검출하고 각 외란에 적절한 자동화된 적응 계통 운영을 통하여 계통 강인성과 안전도를 제고하는 신개념의 실시간 전력계통 운영 및 제어 개념을 보여주고 있다. 이는 Feedforward 개념의 기존 계통 제어 구성에서 다루지 못하는 임의의 외란에 대한 적응형 대처 방안을 제시하고 실시간 계통 정보를 계통운영자에게 제공하여 정전방지 및 계통운영의 효율성을 향상시킬 수 있는 방안으로 향후 전력계통 기술의 발전 방향을 보여주고 있다고 사료된다.

Defense System 연구 현황

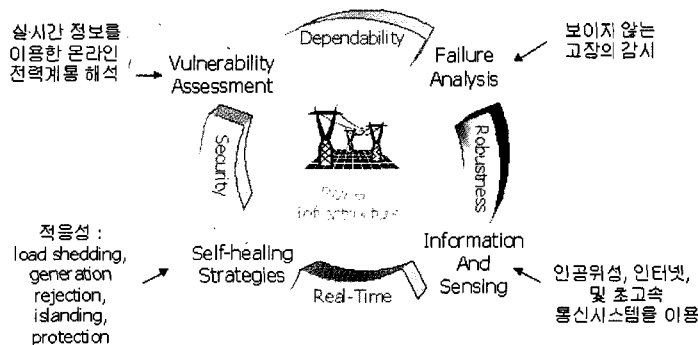


그림 5 실시간 전력계통 운영 및 제어 개념도

Multi-Agent 기반의 지능형 전력정보 시스템 개발은 산업자원부 중기거점사업으로 대규모 정전방지와 설비의 최적 이용을 위한 전력설비 Defense 및 진단 인프라 시스템 개발을 통해 전기공급 안전 및 환경을 위한 전력IT의 역할을 증대시키고 환경친화적 고부가가치 증진 기기의 개발 및 새로운 시장과 고용의

창출을 위해 디지털 기술을 이용한 장비의 컴팩트화와 신뢰도 향상 그리고 전통 전력기술과 첨단 IT의 융합기술 개발을 통한 국내 전력 IT 산업의 활성화에 목적을 두고 추진되고 있다.[9][10]

한국전기연구원은 본 과제의 총괄주관기관으로써 다음의 개발 목표 달성을 위하여 세부과제주관기관인 한전KDN, LS산전, 효성, 참여기업인 한국전력거래소, 세니온 등, 위탁과제 수행기관인 고려대, 전남대, 명지대, 광운대 등과 공동으로 2004년부터 사업을 수행하고 있다.

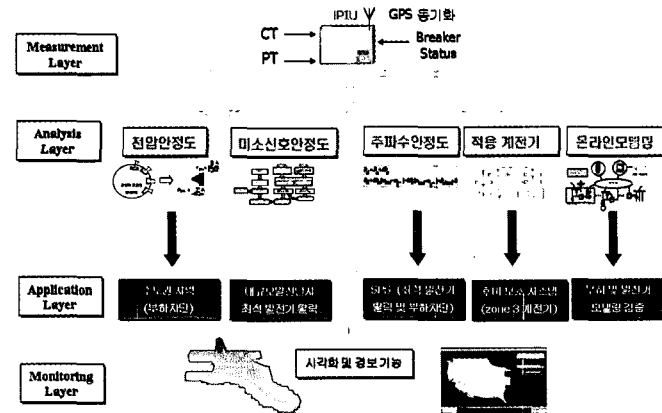


그림 6 Defense System의 구성

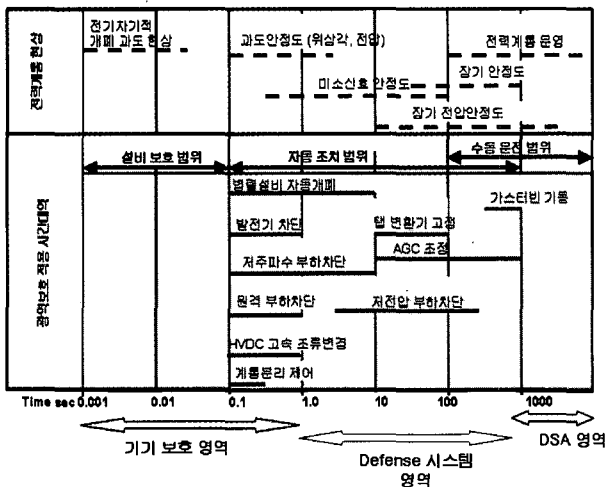


그림 7 Defense System의 시간대역

1 단계 (3년) 개발목표

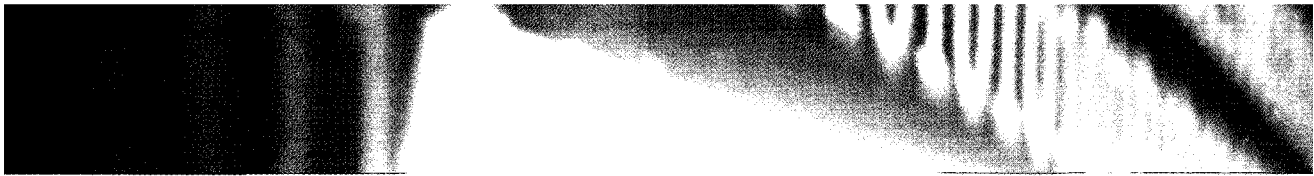
- Agent기반의 광역 전력계통 Performance Monitoring 시스템 Prototype 개발
- 온라인 계통해석 모델링 및 고속 안정화 평가/제어 기술
- Defense용 고속 제어 소프트웨어 기본 모델 검증
- RCM 알고리즘 및 수명 평가 기술개발

2 단계 (2년) 개발목표

- Agent기반의 지능형 광역 전력정보 시스템 개발 설치

- 전력계통의 재난사고 및 잠재고장 해석 메커니즘 개발
- 인프라/통합 시스템/네트워크 개발 및 구축
- RCM 설비예방진단 시스템 Prototype 개발 및 전력 Infra Defense System과의 통합

Defense System 개발은 산학연 공동으로 GPS기반의 페이지 측정장치인 iPIU(intelligent Power Information Unit) 개발을 통해 고정밀의 전력계통 실시간 데이터 취득에 의한 실시간 지역전압안정도 평가, 미소신호안정도 평가, 온라인 전력계통 모델링 등이 가능하게 하며 광역 정전방지를 위한 Zone3 적용형 보호계전기를 개발할 예정이다. 산재된 iPIU 정보를 수집하고 처리하기 위한 iPIC(intelligent Power Information Concentrator) 및 중앙급전제어센터의 계통운영자에게 광역 전력계통 감시/제어에 필요한 전력정보를 제공하는 iPIS (intelligent Power Information System)와 이와 관련한 각종 통신 인프라 및 시스템 설계와 전력정보 시각화의 기술적 요구사항 도출 등에 대한 연구가 진행 중에 있다. Defense System은 1초 내지 15분 주기의 영역에 해당하는 전력계통 제반 현상에 대한 전력계통 보호 제어를 수행하



기 위한 도구로써 외란에 대응하기에는 충분한 시간적 여유가 있으나 전력계통 현재 상황에 대한 정확한 정보가 부족하여 기존의 전력계통 감시, 제어 및 보호를 담당하는 보호계전기 및 EMS로 만족되는 않는 부분에 대한 보완 기능을 한다.

맺음말

소규모 사고가 경제적으로 막대한 손실과 사회적으로 엄청난 혼란을 초래한 국가재난 수준의 광역정전으로 이어졌다는 사실은 본 과제의 중요성에 대해 다시 한 번 생각하게 하며, 전력인프라 기술이야말로 모든 산업 및 경제활동과 국민생활에서 근본적으로 만족되어야 할 기본 요구조건이다. 전력인프라 보호 제어를 위한 광역 Defense System을 개발함으로써 국내 전력 산업 분야의 전문인력을 확보하고 대학, 연구소, 산업체가 공동으로 연구할 수 있는 여건을 제공하여 상호 보완적인 공동연구를 통해 시너지 효과를 얻을 수 있으며 실계통 적용 기회를 가져 전력계통 기술 발전의 가속화를 기대한다. 또한, 국가 경쟁력 강화와 지속적으로 증가하고 있는 전력설비 유지보수 관련 시장에서 외국기업에 뒤지지 않기 위해서는 RCM을 체계적으로 도입하여 선진국에 의존하지 않는 경쟁력 있는 기술을 확보하여야 할 것이다. 본 연구는 전력계통, 경제학, 산업공학, 전자 및 IT 등 기술의 융합에 의해 접근 가능한 범주이기 때문에 전 세계적으로도 미국을 비롯한 극히 소수의 국가만이 기술을 가지고 있으므로, 국내의 발달된 통신 및 IT기술과 기존의 전력계통 기술을 접목하여 상용화된 시스템을 개발함으로써 본 과제를 통하여 기초연구에 머물고 있는 전력계통 분야의 시스템화 기술에 획기적 전기가 마련될 것이다.

[참고 문헌]

- [1] C. Rehtanz, Springer, "Autonomous Systems and Intelligent Agents in Power System Control and Operation", 2003
- [2] C. Taylor, et al., "WACS-Wide Area Stability and Voltage Control System: R&D and On-line Demonstration", Proceedings of IEEE special issue on Energy and Infrastructure Defense System, 2005
- [3] A. Guzman, Et al, "Local and Wide-Area Network Protection Systems Improve Power System Reliability"
- [4] Electric power Group(CERTS), "Consortium for Electric Reliability Technology Solution - Area Control Error(ACE) and Frequency Real Time Monitoring System", Completion Summary Report of Program Software, LLC, 2002
- [5] J. Bertsch, M. Zima and M. Larsson, "Experiences with and Perspectives of the System for Wide Area Monitoring of Power Systems", CIGRE/IEEE-PES International Symposium Quality and Security of Electric Power Delivery Systems, Montreal, Canada, October, 2003
- [6] Kenneth E. Martin, "Phasor Measurements at the Bonneville Power Administration", Power Systems and Communications Infrastructures for the Future, Beijing, China, September, 2002
- [7] "Wide Area measurement, Monitoring, Protection and Control", ABB
- [8] "Special Report-Power services", ABB Review
- [9] Chen-Ching Liu, et al, "The Strategic Power Infrastructure Defense(SPID) System - A conceptual Design", IEEE Control System Magazine, August 2000
- [10] 산업자원부, "전력산업 IT화의 효율적 추진정책에 관한 연구(최종보고서)", 2002