

# 전력계통의 변전소 자동화에 대한 연구

(A Study on Substation Automation in Power System)

문형배\* · 임성주 · 이상중

(Hyoung-Bae Moon · Seong-Joo Lim · Sang-Joong Lee)

## Abstract

The deregulation of energy market, together with structure reorganization of vertically integrated companies in electrical utility requires efficient and reliable substation automation system. The problem of non-standards where other countries suffer through the SA projects could be settled using IEC 61850 and hereby the coming SAS project can realize the system that characterize the telecommunication standards and function integration.

## 1. 서 론

최근 전력계통운용의 자동화 추세에 따라 세계 각국의 전력회사에서는 복잡하고 다양한 형태의 변전설비 운영정보를 보다 능률적이고 효과적으로 처리하기 위해 변전자동화 설비를 표 1과 같이 전력계통에 적용하여 운영하고 있다. 국내의 경우, 1981년 원방감시제어(SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템이 한전에 의해 도입 되면서, RTU(Remote Terminal Unit)를 이용한 원방감시 및 측정기능 위주의 변전소 자동화 시스템이 시작되었다.

표 1. 변전소자동화의 변화  
Table 1. Variation of Substation Automation

구분	1세대('81~'90)	2세대('91~'00)	3세대('01~ )
System	○RTU -Desk PNL -MOSAIC반	○RTU ○154kV집중감시 제어반 ○변전설비보수 지원 ○345kV 상태 감시 ○수냉각설비 감시제어	○154kV 집중 감시 제어반 ○345kV 감시 제어반 ○765kV 보호 계전기 원격감시 ○765kV 예방진단 ○154kV 종합 자동화
	감시 ○	○	○
	제어 -	○	○
	측정 ○	○	○
	기록 -	○	○
진단 -	-	△/○	△/○
특징	-유인변전소 -집중형/개별 -EM Type Ry -제어케이블 집중	-유·무인변전소 -집중형/개별 -EM Type Ry -Static Type Ry -제어케이블 집중	-유·무인변전소 -집중분산형/통합 -EM Type Ry -Static Type Ry -제어케이블 집중 및 분산

국내의 경우 154kV, 345kV, 765kV급 변전소운영의 신뢰성 및 효율성을 확보하기 위하여 대용량 RTU와 분산형 RTU가 변전소에 설치되었으며, 변전소 Level에는 HMI(Human Machine Interface)기능의 집중감시제어시스템이 설치되어 운영 중이다. 특히 2003년에는 실계통 적용 검토를 위하여 수도권 154kV 대방, 독산변전소에 광케이블과 제어·보호·통신을 하나의 플랫폼에서 전담하는 IED(Intelligent Electronic Device)를 중심의 변전소자동화 기술을 1년 동안 시범 적용하였다. 하지만 변전시스템 운영에 대한 비표준화 및 통신 프로토콜의 호환성 문제점이 대두되었다. 또한 변전설비규모가 대규모로 복잡하여짐에 따라 기존의 자동화 시스템으로는 효율성과 신뢰성 측면의 변전자동화가 어렵게 되었다. 따라서 본 논문에서는 변전소자동화 기술의 전반적인 개요 검토와 국내의 변전자동화(SA:Substation Automation)사례연구를 통해 변전소자동화시스템의 적용 검토와 설계 시 분석 자료로 적용하고자한다.

## 2. 본 론

### 2.1. 변전소자동화시스템 개요

원격에서 전력설비를 감시, 제어, 측정하는 기존의 변전소자동화는 급속히 발전된 디지털기술과 IT기술로 전력계통의 보호, 제어, 전기품질, 설비의 예방진단 및 전력계통 안정화에 많은 영향을 주기 시작했다.

#### 2.1.1 변전소자동화시스템

변전소자동화시스템은 다양한 전력설비기능을 IED로 통합하고 LAN통신을 이용하여 변전설비들 사이에 Network를 구성하여 공유된 자료를 정보로 가공하여

변전소를 효율적으로 관리하는 시스템이다. 제작사 및 전력회사에 의해 다양한 명칭으로 사용되고 있지만 그 기능면에서는 큰 차이가 없으므로 본 논문에서는 SAS로 사용한다.

- DCS(Digital Control System) : ALSTOM
- SAS(Substation automation System)  
: ABB, SIMENS, GE
- IDPACS(Integrated Digital Protection and Control System) : 일본 및 국내 제작사
- ECMS(Electrical Equipment Monitoring and Control System) : 국내 발전분야

### 2.1.2 SAS의 계층적 구조

SA의 계층적 구조는 3개의 Level로 나누어지는데 1차 설비(차단기, 변압기, GIS 등)의 Process Level, 보호 제어용 IED의 Bay Level, SA종합운영시스템 및 각 기능별 Brower, 상위시스템과 연결을 담당하는 Station Level로 되어있다. 그림 1은 변전소자동화의 전형적인 구조이다.

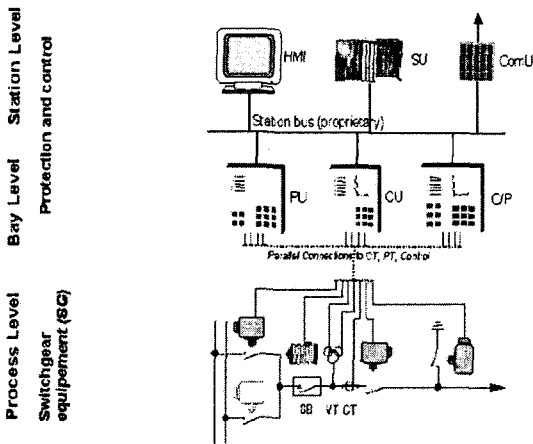


그림 1. 오늘날의 변전소자동화의 대표적 구조  
Fig.1. Typical Structure of today's automated substation(1)

### 2.1.3 SAS의 주요기능

#### 가. 보호

송전선로, 변압기, 모선 등 주요설비에 보호기능이 필요하며 보호유닛들(PUs)에서 담당한다

- 거리, 과전류, 차동, 과부하, 모선, 차단실패 등

#### 나. 제어

제어기능은 제어유닛들(CUs)과 통합된 제어유닛(C/Ps)에서 차단기, 개폐기, 변압기ULTC, 인터록, 상위 제어시스템과 통신을 담당하며 새롭게 추가된 기능은 아래와 같다.

- 차단기의 순차제어

- 고장개소의 자동분리
  - 자동부하 절체
  - 지능형 고장 복구 및 부하 배분
  - 지능형 자동제폐로
  - 변전소단위의 인터록킹
  - 변전소 단위의 시간동기화
- 다. 감시

전력설비의 운전상태, 측정, Event List, 경보리스트와 고장기록, Disturbance 기록, Trend 곡선, 측정값 계산을 담당한다.

#### 라. 분석 및 자가진단

자동화시스템의 주요 장점 중 하나는 지능형정보를 만들 수 있다는 것이다. 즉 변전소설비의 진단과 고장 분석 정보를 지원한다.

- 고장보고서 자동생성
- SOE(Sequence Of Event) 분석
- 경보 통계 분석
- 계통동요의 자동 평가

#### 마. 지능형 변전소 운전과 지원

Station Level은 변전소와 관련된 자료를 모두 가지고 있다. 이러한 자료를 빠르고 효율적으로 이용하여 변전소 운전을 할 수 있다

- Event, Alarm, 고장의 추적관리
- 고장진단기능으로 초기 고장예방
- 고장보수시간 단축
- 합리적인 유지보수 예측
- 가상진단 및 복구, 점검
- 자동고장 복구 프로그램 운영
- 변전소 고장, 유지보수, 증설에 대한 자료 문서화

## 2.2. SAS 적용의 사례연구

세계 여러 나라의 SA Project 사례를 분석하여 문제점 및 개선방안을 통해 국내의 SAS 도입에 적용하고자 한다.

### 2.2.1 Columbia의 SAS(2)

#### 가. Project의 개요

ISA社: 는 Columbia 전력망을 75% 소유 운전하고 있는 최대 송전회사이며, 80년대 후반부터 SAS 도입 타당성 검토를 착수하여 '95년 상용운전이후 지속적으로 SAS를 도입 운전 중 이다.

#### 나. SAS 도입의 문제점

시스템 Design시 기능 구현에 중점을 두어 시스템을 설치 한 결과 비표준시스템(10개의 종류) 다수를 보유한 결과 아래와 같은 문제점이 발생하게 되었다.

- Project별 기술사양 결정기간 및 비용과다 지출
- 시스템의 확장, 변경이 불능(유지보수 비용 증가)
- 부품의 호환성 결여로 Life-Cycle 비용 증가

- 상이한 시스템별 운영자 보유로 인한 인력낭비  
다. SAS 개선 방안

문제점 해결을 위해 '97년부터 표준화 기술규격을 도출하여 SAS의 표준화를 시행하여 상이한 시스템수를 최소화함으로써 ISA사가 필요로 하는 기능만을 구현한 Cost-effective 시스템으로 설계하여 운영 및 보수비용의 획기적인 절감을 이루었다.

### 2.2.2 스페인의 Iberdrola社의 SAS[1]

가. Project의 개요

Station Level 과 Bay Level 중심의 SAS를 추진했으며, Bay Level에서 100kV 이하 예서는 보호와 제어를(C/Ps) 하나의 Unit로 통합하였고 그 이상의 전압레벨에서는 보호와 제어를 분리하였다. 그러나 보호와 제어의 통합여부에 관계없이 운전이나 유지보수 측면에서 큰 차이는 없었다. 시스템 공급은 스페인 국내 2개 회사에서 Bay Level 과 Station Level 설비를 각각 공급하여 1996년부터 설치하였다.

나. SAS 문제점

그림 2는 1996년부터 2002년까지의 Bay장치의 실패율을 보여주고 있다.

○ 주요고장을 보면 Bay 유니트의 고장은 입출력 보드, 전원 보드, 통신인터페이스이고, Station 유니트에서는 CPU, HMI PC, RCC와의 통신에러였다. 고장원인은 소프트웨어의 에러 발생이었다.

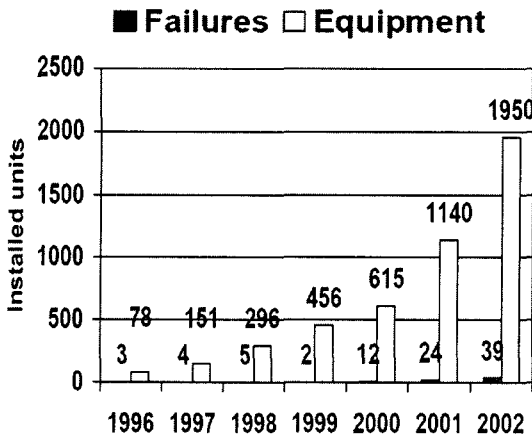


그림 2 1년 동안 설치된 유니트수 와 전체 실패율  
Fig.2. Total number of failures and units installed per year[1]

○ 자동화발전소의 운전 환경 변화는 아래와 같은 당면과제를 만들게 되었다.

- 디지털장치들이 매우 빠르게 발전하므로 예비품 확보에 비용이 많이 든다.
- SAS 유니트 유지보수를 제작사에 의존한다.
- 기능의 통합으로 보수와 운전의 책임관계 불명확

- 운전중 발생하는 소프트웨어 디버깅  
다. 문제점 개선 대책

운전중 발생된 문제점과 환경변화에 적응하기 위하여 Iberdrola社. 아래와 같은 대책을 시행하였다.

- 소프트웨어 시험 방법 및 절차 개선
- 공장시험과 시뮬레이션 시험 병행
- 유지보수 절차 및 책임한계를 문서화
- 유지보수에 참여하는 조직의 수를 줄이고, 현장의 최종시험 전담부서를 지정하여 책임과 권한을 부여.
- 디지털장치의 표준화

### 2.2.3 네덜란드의 NV Rema社의 SAS[1]

가. Project의 개요

1987년 NV Rema는 송전용변전소의 Bay Level 중심으로 SAS를 시작했으나, Project 초기 신뢰성과 불확실성으로 많은 갈등이 있었으나 150kV 2개 변전소를 폭 넓은 예비조사를 거쳐 PLC를 이용한 Project를 시작하였다.

나. 과거 10년 동안의 NV Rema SAS 분석

분석은 평균 입출력 포인트수, 서로 다른 시스템의 수와 가격 등을 분석하였다.

○ 평균 입출력 포인트수 분석

SAS가 도입되면서 포인트수가 60% 증가되었으며, 1990년과 1995년 사이의 포인트 증가는 SAS의 신뢰성이 증가되었음을 의미하며, 1998년에 보호와 제어를 통합하면서 포인트의 수가 감소되었다.

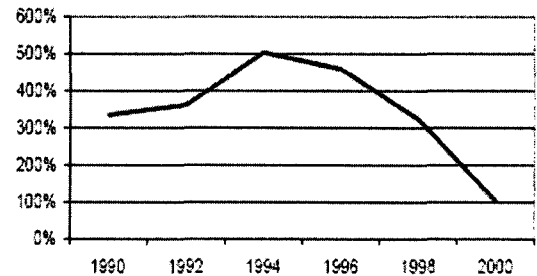


그림 3 평균 입출력 포인트 수  
Fig.3. Average number of I/O points[1]

○ 다른 시스템의 수 분석

다른 시스템의 정의는 하드웨어나 소프트웨어가 다른 것을 의미한다. 1990년에서 1996년 기간에는 시스템의 수가 일정하게 증가했는데, 이는 경쟁을 통한 경제성을 이유로 6개의 SAS공급업체가 되었기 때문이다.

○ SAS의 평균비용

1990년에서 1995년 기간에 평균투자비용은 포인트의 수 증가로 급격히 증가되었으며, 공급업체 경쟁유도로 2000년에는 평균투자비용이 1996년의 반으로 감소되었다.

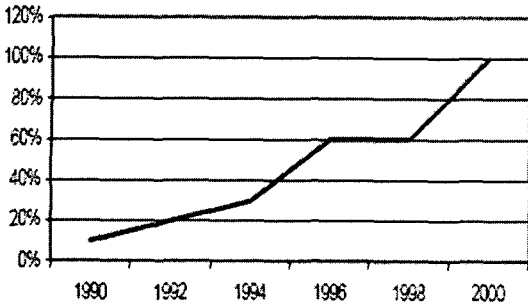


그림 4. 다른 시스템의 수  
Fig.4.Number of different systems [1]

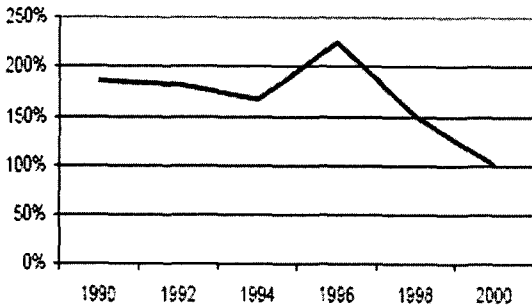


그림 5. 자동화의 평균비용  
Fig.5.Average cost of automation [1]

다. SAS의 문제점 및 대책

○ 일반적인 변전소 보다 복잡해진 소프트웨어의 영향과 시스템에 대한 지식부족으로 공급업체와 유지보수 계약을 체결했지만 비용이 비싼 것이 문제였다.

- NV Rema의 주기적인 점검
  - 소프트웨어의 Back up : 1년/1회, 중요 변경시
  - 보드의 육안점검 과 먼지제거 : 2년/1회
  - 전원장치의 점검 : 5년/1회

○ 자동화변전소의 기술은 직원들에게 많은 영향을 주었는데, 주요업무가 설계와 도면작성에서 SAS의 사양을 작성하는 엔지니어링으로 변경되었고, 유지보수부서에서 수행하던 작업은 급격히 감소로 업무시간이 적어졌지만 상대적으로 교육시간이 많이 늘어나게 되었다.

2.2.4 한국전력공사의 SAS[3]

가. Project의 개요

2003년 154kV 대방, 독산변전소에 Station Level 과 Bay Level 중심으로 SAS를 구축하여 시범운전을 시행하였다.

나. 시범적용 SAS

한국전력공사의 일반적인 변전소자동화시스템은 그림 5와 같이 감시, 제어, 계측기능의 SCADA시스템과 보호시스템이 별도 구성되어 있으며 현장설비와 RTU간은 제어케이블로 연결한 Point별 1:1 결선으로 구성되어 있다.

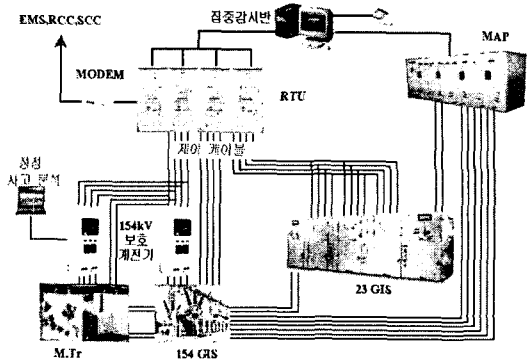


그림 6. 기존 변전소자동화시스템 구성도  
Fig.6.Conventional Structure of substation automation system [1]

시범 적용된 SAS는 감시, 제어, 계측, 보호기능을 IED에 수용하고, 현장설비와 IED간은 제어케이블로 연결하고, IED와 통신제어장치간은 광ethernet통신 및 RS485통신으로 구성되어 있다. 그림 7은 시범적용 SAS의 구조도 이다

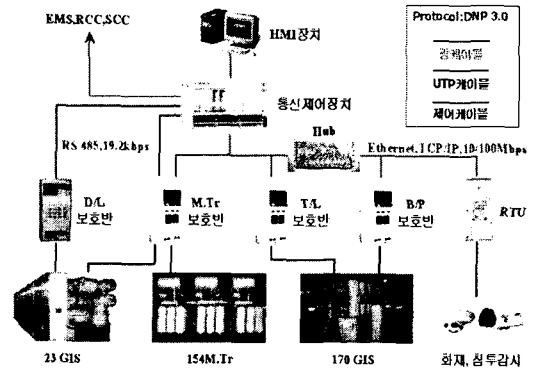


그림 7. 시범적용 변전소자동화시스템 구성도  
Fig.7.Pilot project Structure of substation automation system [1]

다. SAS의 문제점 및 대책

○ HMI를 통한 현장설비의 감시, 제어, 계측기능과 선로고장시 보호 및 고장기록 저장기능은 정상적으로 수행되었으나, IED에 하드웨어적인 고장과 통신설비의 원활한 절체에 문제가 발생하였다. 또한 시스템설계측면에서 전압별 보호와 제어의 통합, 단순화가 필요한 것으로 보이며 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 시스템 구성기기의 품질확보가 필요하고, 경제성과 신뢰성을 향상시키기 위해서는 규격표준화가 절실히 요구된다.

2.2.5 미국의 Fort Thompson 변전소 SAS[4]

가. Project의 개요

Fort Thompson 변전소는 옥외철구형으로 345kV 송

전선로 2개와 230kV 12개 송전선로로 구성된 변전소이며, 보호, 제어, 측정을 1996년부터 RTU와 PLC를 이용하여 변전소자동화 운전을 하였으나 Western Area Power Administration社에 의해 최신의 SAS를 구현하였다.

나. Fort Thompson SAS 특징

○ 시스템

기존 PLC 와 RTU 위주의 시스템을 신뢰성이 높은 마이크로프로세스의 보호와 통신을 사용하는 새로운 Digital Control System으로 변경되었다.

○ Process & Bay Level

전력설비의 연결은 일반적인 제어케이블 대신에 변압기, 차단기, 리액터 등에 원격 입출력장치를 설치하여 광케이블로 DCS와 직접 연결하여 사용함으로써 기존의 제어케이블과 보조계전기들을 제거하였다.

○ 제어

전력설비의 제어에 신뢰성을 확보하기 위하여 SCADA와 HMI에서 모든 조작이 가능하도록 통신프로세스를 그림 8과 같이 구성하였다.

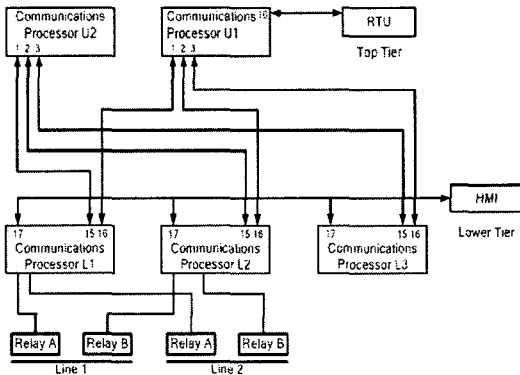


그림 8. 통신프로세스 구조

Fig. 8. Communication Processor Architecture [1]

다. SAS 분석

HMI 컴퓨터와 소프트웨어의 이중화로 신뢰성을 향상시키고 보호와 제어기능을 통합함으로써 제어실의 공간이 축소되었으며 제어케이블이 광케이블로 대체되면서 터미널비용과 케이블비용이 절감되는 등 경제성과 신뢰성면에서 매우 성공적인 프로젝트였다고 생각한다. 하지만 SAS에 대한 인식부족으로 인적실수가 발생하여 고장으로 이어지는 사고를 방지하기 위해서는 운영자들에 대한 교육이 필요하다.

2.3. 사례분석 및 SAS Design

SAS 적용의 사례연구를 통해 변전소자동화시스템을 도입하는 목적을 보면 전력산업시장에 규제완화로 도소

매사업자간에 경쟁이 심화되고 고객의 전력품질에 대한 요구가 높아짐에 따라 경제성과 기술성 위주의 시스템을 본격적으로 적용하기 시작하였다.

2.3.1 사례분석

가. 시스템 표준화

SAS의 시스템을 단일 업체에서 공급하는 것이 불가능하여 서로 다른 장치의 연결과 통신을 위해 Gateway가 설치되어 시스템의 비용이 추가되고, 장치간에 통신 지연이 발생하여 제어에 Error를 발생시켜 시스템의 신뢰성을 저하시켰다. 이러한 시스템의 비표준화의 문제점을 해결하기 위해 1990년 미국과 유럽에서 변전소자동화시스템 표준화를 위한 연구가 IEC의 TC57과 TC59 기술위원회를 중심으로 활발히 진행하여 표 2와 같은 IEC61850 "변전소의 통신망과 시스템"을 제정하였다. 표준화는 변전소자동화시스템의 상호호환성, 시스템설계, 안정성 문제를 해결하여 세계는 현재 IEC61850을 기본으로 하는 변전소자동화를 적용하기 시작했다. 변전소자동화 설비를 교체 할 때 전력회사는 서로 다른 세대의 통신기술을 적용한 장비들 간의 호환성의 확보로 SAS 투자에 위험요인을 제거하게 된 것이다[7]

표 2. 변전소의 통신망과 시스템  
Table 2. Communication Network and system in substation[6]

Part #	Title
1	Introduction and Overview
2	Glossary of terms
3	General Requirements
4	System and Project Management
5	Communication Requirements for Functions and Device Models
6	Configuration Description Language for Communication in Electrical Substations Related to IEDs
7	Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment
7.1	- Principles and Models
7.2	- Abstract Communication Service Interface (ACSI)
7.3	- Common Data Classes (CDC)
7.4	- Compatible logical node classes and data classes
8	Specific Communication Service Mapping (SCSM)
8.1	- Mappings to MMS(ISO/IEC 9506 - Part 1 and Part 2) and to ISO/IEC 8802-3
9	Specific Communication Service Mapping (SCSM)
9.1	- Sampled Values over Serial Unidirectional Multidrop Point-to-Point Link
9.2	- Sampled Values over ISO/IEC 8802-3
10	Conformance Testing

나. 보호와 제어설비의 통합

시스템 기능에 가장 논란이 많은 부분은 Bay Level에서 보호와 제어의 통합과 분리에 대한 문제이다. 일반적으로 유럽은 보호와 제어를 통합하고, 북아메리카는 보호와 제어를 분리하지만, 일본의 경우는 보호와 제어를 통합과 분리로 적절히 반영하여 SAS 구조를 선택하고 있다.[1]

따라서 신뢰성과 안정성을 기준으로 전력회사가 판단하여 기능을 결정해야 할 것이다.

다. SAS 구조 선택

SAS의 구조는 크게 계층, 분산구조로 나눌 수 있다. 계층적 구조는 그림 8과 같은 구조이며 비용과 공간의 최적화를 위해 통합하는데 적합하여 신설변전소 건설시 주로 선택되는 구조이다. 반면에 분산형구조는 그림 1과 같이 설비의 이용성과 Modularity를 위해 사용되는 구조이지만 기존의 변전소를 SAS로 개조하여 사용할 경우 일반적으로 사용된다.

다. SAS 운영

SAS는 전력회사 직원들에게 새로운 기술로 다가올 것이다. 사례에서 보듯이 SAS 설비의 유지보수, 시험, 교육, 책임의 한계, 직무의 변화 등 문제점이 발생하였다. 이러한 문제는 시스템을 도입하기 전에 유지보수와 시험절차를 제작사와 공동으로 문서화하여 교육을 통해 새로운 직무에 적용할 수 있는 기회를 제공 할 수 있어야 한다.

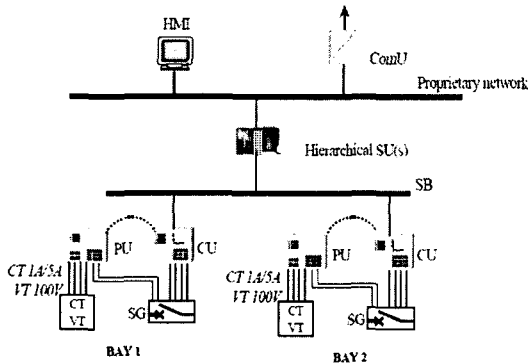


그림 9. 계층적 구조  
Fig.9 Hierarchical Architecture [1]

2.3.2 시스템 설계에 미치는 요소들

○ 변전소의 크기

전압레벨, Bay의 수, 모선방식에 따라 LAN의 연결 방식이 결정

○ 신뢰성과 이용성

전압레벨, 전력계통에서 변전소의 중요도에 따라 보호와 제어의 통합이 결정

○ 전력회사의 전략

신설변전소, 기존 변전소의 개조에 따라 큐비클의 수, BAY의 IED수가 변경

○ 변전소의 수명주기

1,2차 설비의 수명주기에 따라 예비품, 대체 등 결정

○ 변전소의 통신방법

SAS의 모든 장치는 설비간 Data를 주고 받기위해서

통신은 필요하므로 통신방식과 프로토콜의 선택은 중요한 요소이다.

3. 결론

변전소자동화시스템(SAS)은 변전소를 안정적으로 운전하기 위하여 경제성과 신뢰성을 고려하여 적용 검토되고 있다. 하지만 SA(Substation Automation)시스템은 전력회사의 전력환경과 기술수준에 따라서 다양한 형태로 운영되고 있다. 따라서 본 논문에서는 변전소자동화 기술의 전반적인 개요 검토와 국내의 변전자동화(SA:Substation Automation)사례검토에 대한 결론을 다음과 같이 도출하였다.

먼저 지능형 전기장치(IED)에 대한 하드웨어적 신뢰성 문제는 제작품질과 시험검사를 통해 안정성가 요구되며, Bay 레벨과 변전소 레벨간의 상호 통신프로토콜 문제점은 IEC61850 통신 표준화 적용으로 해결될 것으로 보인다. 또한 변전 자동화 설비 인식부족에 따른 오퍼레이터의 혼란은 시스템을 도입하기 전에 유지보수와 시험절차를 제작사와 공동으로 문서화하고 체계적인 교육이 검토되어야함을 제시하였다. 끝으로 변전자동화 시스템 설계시 필요한 검토사항을 제시하였다.

따라서 본 논문은 향후 변전소자동화 시스템 적용과 설계시 검토자료로 활용될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) OGRE Study Committee B5, "The automation of new and existing substations : why and how", p67, 2003, 8.
- (2) Power System Team Research & Development Institute (주)효성중공업 "Columbia의 변전소자동화 시스템 도입사례 소개" 2000.
- (3) 김대령, 백두현 "변전소 종합자동화시스템 시범적용 및 성능에 관한 연구", 대한전기학회 2004.
- (4) James Propst, Mike Dood, "CASE STUDY OF DIGITAL CONTROL SYSTEMS FOR HIGH-VOLTAGE SUBSTATION",SEL 2005.
- (5) Klaus Peter Brand, Volker Lohmann, Wolfgang Wimmer, "Substation Automation Handbook",ABB 2003.
- (6) Drew Baigent, Mark Adamiak, Ralph Mackiewicz, "IEC61850 Communication Networks and System in Substation: An Overview for Users"
- (7) Holger Scuubert, Gordon Wong, "IEC61850 Cuts out substation confusion",Modern Power System,2004.