

IT/OT Convergence 기반의 Advanced Distribution Management System의 설계

A Design of Advanced Distribution Management System Based on IT/OT Convergence

임 일 형* · 이 승 주* · 박 종 호* · 신 용 학*
(Il-Hyung Lim · Seung-Joo Lee · Jong-Ho Park · Yong-Hak Shin)

Abstract - Power automation system to operate power distribution systems can be distinguished by distribution SCADA with remote monitoring and control; and distribution automation system with basic functions such as service restoration to the distribution SCADA; and distribution management system which is operated by various applications in order to enhance distribution system operation performance based on the distribution automation system. In the technological change, a technical boundary of information technology (IT) and operation technology (OT) is being blurred by that new concepts such as interoperability. In addition, IT/OT convergence has been proposed by the improvement of ICT and power system technology. At the viewpoint, advanced distribution management system (ADMS) to have the new concepts and to increase distribution system operation efficiency through global information and functions from the other systems has been proposed. In order to implement the ADMS, IT and OT have to be employed together on the ADMS; and the concept-based IT/OT convergence concept has been presented. Therefore, this paper introduces ADMS and IT/OT convergence and proposes a design of IT/OT convergence based ADMS system design with configurations and functions.

Key Words : IT, OT, IT/OT convergence, Distribution management system, DMS

1. 서 론

배전계통의 운영을 위한 전력자동화 시스템은 원격감시 및 운영을 기반으로 연구 개발된 distribution automation system (DAS)으로부터 시작되었다[1-2]. 최근 기술의 발달과 전력소비 고객들의 요구가 늘어나면서 원격감시 운영 기반의 배전계통 운영효율 향상 및 최적화를 위하여 다양한 어플리케이션들을 활용한 distribution management system(DMS)[3-5]가 등장했다. 그리고 최근에는 배전계통 운영효율 향상을 위해 자체 어플리케이션들 뿐만 아니라 타 시스템들 간의 상호운영까지도 고려하는 advanced distribution management system (ADMS)이 등장하였다[6-7].

자동화 시스템 기반의 배전계통 운영 목적은 운영 효율 최적화이다. 사용자의 편의성, 데이터와 운영동작의 신뢰성, 그리고 이들을 통한 경제성의 세 가지 요소를 중심으로 원격감시제어로부터, 로컬 데이터를 활용한 다양한 application들, 그리고 이제는 타 시스템들의 데이터 및 어플리케이션들도 활용하여 배전계통 운영의 효율을 높이려고 하고 있다.

자동화 기반의 배전운영 시스템은 information technology(IT) 기술 기반의 운영환경으로부터 operational technology(OT)기술이 융합되어 설계 및 구현되었다. 초기에는 IT 기술이 통신 인프라 제공에만 기여를 했지만 최근에는 통신환경 인프라 뿐만 아니라 OT에서 IT 기술을 활용하여 기존에는 어플리케이션들의 성능을 향상시켜 배전계통의 운영 효율 및 신뢰성 향상에 기여하고 있다.

IT/OT convergence에서 alignment를 거쳐 integration에 대한 개념 제안을[6], Atos white paper에서는 IT/OT convergence에 대하여 상세한 설명을[7], Ashish Garg은 Intelligent utility를 통하여 Fusion of IT and OT in Utilities를[8], 슈나이더의 Jeff Meyers는 어떻게 IT/OT convergence를 할지를[9], ABB Ventyx의 Tim Taylor는 어떻게 IT/OT convergence를 통하여 운영효율을 향상할 수 있는지[10], ChainLink Research는 운영 효율과 생산성에 대해[11], 그리고 Jon Bruner는 최근의 IT/OT convergence의 소개를[12] 제시하였다. 이들 연구들을 시작으로 계속해서 DMS에 대한 IT/OT의 관심이 높아지고 있으며 Schneider, ABB, GE의 경우는 IT/OT convergence 기반의 ADMS 개념을 제시하였다[13-15]. 이와 같이 배전과 관련된 다양한 산업계와 학계에서 ADMS의 개념과 필요성을 주장하고 있는 상태로 상세한 시스템 설계나 이를 통한 새로운 서비스 기능들에 대해서는 아직까지 연구단계와 일부 실증단계에 있다.

본 논문에서는 IT 기술과 OT 기술의 융복합을 통하여 만들어

* Corresponding Author : System S/W R&D Group, LSIS Co., Korea

E-mail : ihlim@lsis.com

* System S/W R&D Group, LSIS Co., Korea

Received : January 7, 2016; Accepted : March 25, 2016

표 1 IT와 OT의 차이 비교[10]

Table 1 Comparison of IT and OT

	Information Technology (IT)	Operational Technology (OT)
Purpose	Transaction processing Systems analysis and applications Technical and business analytics Human decision support	Asset monitoring and control Process control, metering, and protection Device-to-device communications Server-to-device communications
Operating environment	Corporate data centers Officers and server rooms Control centers	Substations Field equipment Control centers
Input data	Manual data entry Other IT systems Data from OT systems	Transaction and sensors via RTU's and PLC's IED's, relay, and meters Operator inputs and other OT systems
Output	Data summaries Result of analysis and calculations Commands issued to other OT systems	Device control actions Displays of status and alarms Operating logs
Owners	CIO and IT departments Finance Operations (OMS, DMS, EMS)	Operations and engineering managers Line of business managers Maintenance departments
Connectivity	Corporate network IP-based	Process control protocols IP-based, serial, hardwired analog and digital

지는 어플리케이션들을 포함하는 시스템을 IT/OT convergence 기반의 시스템이라고 정의한다[6]. IT/OT convergence는 새로운 것은 아니며, 기존 연구들과 여러 참고문헌들로부터 개념이 재정립 되고 있는 중이다.

본 논문에서는 IT/OT convergence 개념 기반의 ADMS를 소개하고 구조와 기능에 대한 설계를 제안하고자 한다. 제안하고자 하는 IT/OT convergence 기반의 ADMS는 IEC 61968/61970의 CIM 및 interface 기반으로 다양한 배전운영 관련 시스템들과의 상호운영성 기반의 통합 연계 운영 환경을 가진다. 또한 IT/OT convergence의 이해를 돕기 위한 ADMS의 어플리케이션들의 일부를 소개할 것이다.

2장에서는 IT/OT convergence의 정의와 개념을 소개하고, 3장에서는 적용 대상 시스템인 배전자동화의 기술 변화에 대하여 제시 하고자 한다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 IT/OT convergence 기반의 ADMS 설계를 제안하고자 한다.

2. IT/OT convergence 개요 및 정의

2.1 IT/OT convergence 개요

IT/OT convergence는 새로운 개념이 아니다. 지난 50년 동안 IT와 OT는 각자의 영역에서 각자의 길을 걸어오다 2000년대 초반부터 전력분야에서 서로의 영역을 공유하기 시작했다. 그리고 지금은 서로가 섞여야만 전력자동화 기반 운영시스템이 최고의 효율을 낼 수 있는 환경이 되었다.

IT는 information technology의 약어로 정보 기술을 말하며, 통칭적으로 통신환경을 포함하여 부르기도 한다. 최근에는 상세하게 information and communication technology (ICT)라고 부르지만 본 논문에서는 통신 인프라를 기본으로 포함하는 IT에서의 기술을 활용하는 형태로 IT라는 용어를 사용하고자 한다.

OT는 operational technology의 약어로 시스템 기반 계통을 운영하는 데 있어 필요한 여러 기술들로 정의한다. 계통을 운영하는 데 있어 기본이 되는 보호, 최적화, 진단기술 등 운영에 필요한 기술들을 OT라고 한다.

표1은 IT와 OT의 차이점들을 비교하고 있다. 목적과 기능에서 볼 때 IT는 적용되는 환경, 대상, 그리고 목적이 다르고 OT는 운영에 필요한 기술들을 기기, 통신, 어플리케이션들을 이용하여 기본 목적을 달성하는데 활용하는 형태이다. 하지만 OT없이 IT가 무의미하고, IT없이 OT가 불가능하기 때문에 둘의 차이가 점점 모호해지고 있다. 앞으로는 그림 1과 같이 convergence를 넘어 alignment, 그리고 integration으로 변화될 것이다[6].

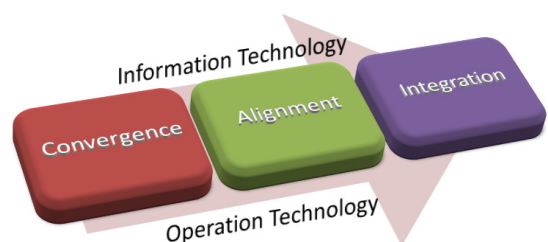


그림 1 IT/OT의 변화과정[6]

Fig. 1 A revolution progress of IT/OT

2.2 IT/OT convergence 정의

IT/OT convergence는 IT와 OT의 융합 단계로 각자의 기술 영역에서 서로의 기술영역이 하나의 방향으로 수렴해가며 시너지를 내는 단계로 정의한다. 배전운영 시스템과 관련된 시스템들을 IT와 OT분야로 분류하여 그림 2에서 나타내었다.

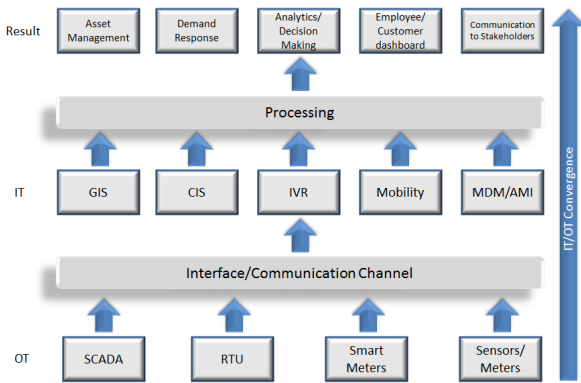


그림 2. IT/OT convergence 기반 배전운영 시스템 구조 예
Fig. 2 ★★★★★영문해석★★★★★

IT 분야에서 배전운영과 관련된 시스템들이 다양하다. Advanced Metering Infrastructure (AMI) and Measurement Data Management (MDM)는 통신 인프라를 통해서 수용가의 스마트 미터와 같은 metering device들로부터 데이터를 취득하고 관리하는 시스템이다. 운영이라기보다는 IT 기술 기반으로 데이터를 원격으로 계측하는 일이 주요 기술이었으나, 최근의 배전운영 시스템에서는 이 데이터들을 확장하여 OMS와 DMS에서 활용한다. 또한 데이터를 계측하는 meter들은 배전운영과 관련된 기술로 데이터의 종류 및 기능은 OT분야이다. 다른 두 분야의 기술들이 합쳐져서 OT에서 정의한 데이터 및 기능들이 IT 기술을 통해서 이루어짐으로 배전운영 시스템의 효율과 성능이 향상되는 것이다. 계속해서 기술들이 발전하다보면 향후에는 하나의 기술이 될 수도 있을 것이다.

3. 자동화 기반 배전운영 시스템의 기술 변화

배전자동화 기술은 상위 시스템과 단말의 feeder remote terminal unit (FRTU)와의 통신을 기반으로 운영에 필수적으로 필요한 정전복구 기술을 비롯, 운영 효율을 높이기 위한 전압 및 무효전력제어 기술과 같은 어플리케이션들의 확대를 통해 DMS라고 불리웠다. 지금은 타 시스템들간의 연계를 통하여 ADMS라는 개념으로 배전계통의 운영효율 향상을 위해서 점점 새로운 고난이도의 기술이 요구되고 있다.

3.1 Distribution Automation System

배전자동화 기술은 상위 시스템과 단말의 feeder remote

terminal unit (FRTU)과의 통신을 통하여 원격 감시제어부터 시작되었다. 배전계통의 특성 상 복잡한 수용가의 구조에서 넓게 산개된 지역에서 상위운영 시스템과 단말간의 통신을 통하여 정보를 교환하고 원격 제어를 수행하는 시스템이다. 여기에 원격 운영을 위한 알람, 조류계산 및 정전복구와 같은 배전계통 운영에 기본적인 기능들을 포함하여 배전계통을 운영한다. 이는 다른 용어로 Distribution SCADA라는 이름으로 불리기도 하였다[16].

감시제어 및 최소한의 기능이 주요 관심사다보니 산업단지와 대형 선박에도 DAS를 적용하였었다. 적용 대상의 규모에 상관없이 적용 가능하며, 지역이 방대할수록 유리하다[17-18].

3.2 Distribution Management System

DMS는 배전자동화 시스템의 운영 기술과 환경을 기반으로 진화된 개념의 시스템이다. 배전자동화의 운영환경과 기본적인 운영 기술들을 기반으로 배전계통의 경제적 운영 효율을 높이기 위한 다양한 어플리케이션들의 집합체를 의미한다. 이 다양한 어플리케이션들은 단말로부터 원격 계측되는 정보들을 기반으로 수행

표 2 DMS의 어플리케이션 분류

Table 2 Classification of DMS applications

구분	어플리케이션	기능명
운영	<ul style="list-style-type: none"> 실시간 조류계산 정전복구 알람 로그 계통구성 원방 감시 제어 	<ul style="list-style-type: none"> 계측 데이터 기반 단일선로 정전복구 Smart Alarm Smart Log 토폴로지 해석 상태감시, 데이터 취득 보호협조 설정, 시스템 감시, 통신망 감시
최적화	<ul style="list-style-type: none"> 전압 및 무효전력 최적화 정전복구 배전계통 최적 구성 Network Planning 	<ul style="list-style-type: none"> VVC, IVVC, CVR 다중 정전복구, 광역 정전복구 부하균등화, 손실최소화, 과부하 관리 자동화 스위치, 분산전원, 보호 기기 수 및 설치위치
해석	<ul style="list-style-type: none"> 조류계산 부하예측 보호협조 고장해석 	<ul style="list-style-type: none"> 예측 조류계산 단기, 중기, 장기 부하예측 계통 재구성에 따른 보호협조 정정 값 평가 고장계산, 고장위치 추정
관리	<ul style="list-style-type: none"> 진단 현장작업지원 통계 수요관리 	<ul style="list-style-type: none"> 실시간 설비진단, 수명예측 OMS, Report, 작업지시서, Mobile solution SAIDI, SAIFI 부하관리, 고객관리
기타	<ul style="list-style-type: none"> 해석용 시뮬레이터 운영자 훈련 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> 기능동작 예측 상황모의 및 실재사레 replay 기반 훈련

된다. DMS에서 활용하는 어플리케이션들은 표 2에서와 같이 정리해 볼 수 있다. 이 외에도 DMS의 운영 환경에 따라 여기에 언급되지 않은 다양한 어플리케이션들이 존재할 수 있다.

표 2의 DMS 어플리케이션들은 DMS를 보유한 글로벌 기업들과 해외 DMS 관련 working group의 활동 결과를 종합하여 분류한 것으로, 이 외 제시되지 않은 신규 어플리케이션이 있을 수 있고 제시된 어플리케이션들 중에서도 없는 DMS도 있을 수 있다. 이는 DMS의 적용 대상 환경에 따라 복잡도가 낮은 소규모 계통에서는 큰 효율을 보기 어렵기 때문에 없을 수도 있고, 대규모 계통이나 특수한 환경에 따라 나열되지 않은 기능들이 있을 수도 있다. 이렇듯 DMS는 배전계통이 복잡하면 복잡할수록 효과가 큰 시스템이라 기능들의 적용 여부는 경제성과 연관되어 어플리케이션들이 추가되고 삭제될 수 있다.

3.3 Advanced Distribution Management System

ADMS는 DAS 및 DMS와 마찬가지로 경제적으로 배전계통운영의 효율의 최적화를 통하여 경제적 이득을 높이기 위한 시스템이다. 타 시스템과 다르게 ADMS는 각각의 목적으로 다르게 역할을 수행하고 있는 배전계통 운영과 연관된 모든 시스템들을 그림 3과 같이 하나의 시스템으로 묶는 역할을 한다. ADMS의 역할 수행을 위하여 각 시스템들간의 상호운영을 기반으로 구성하여 운영효율을 극대화하기 위한 시스템으로 매우 복잡하고 어려운 기술이 수반되어야 한다. ADMS의 환경은 지금까지 없었던 시스템 구조로 각기 다른 인터페이스를 가지는 시스템과 기기들을 하나로 통합하기 위하여 이들을 고려한 시스템의 설계가 필요하다. 시스템간의 통합이 필요한 이유는 배전계통 운영에 필요한 설비들이 각기 다른 시스템의 운영 환경에서 분포되어있기 때문이다.

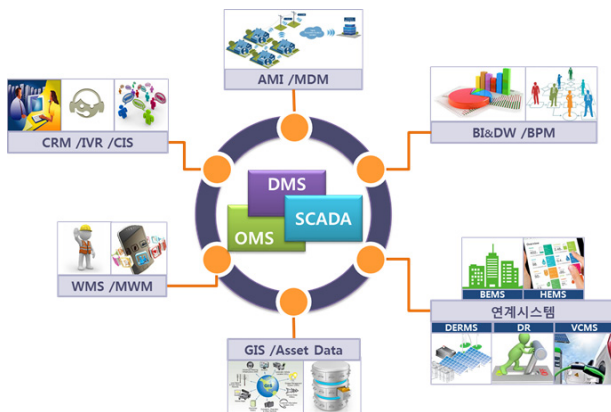


그림 3 Advanced Distribution Management System 구조

Fig. 3 A structure of advanced distribution management system

배전계통은 변전소로부터 시작되기 때문에 변전소의 상태가 배전계통에 직접적인 영향을 주게되며, 주변압기의 On-Load Tap Changer (OLTC)의 상태감시 및 원격 제어를 포함하는

volt/var control 기능을 포함하기 때문에 변전소 SCADA와의 상호운영 구조를 가진다. DMS는 배전선로 상에서의 운영 효율을 높이기 위한 시스템으로 활용된다. OMS는 수송가 및 현장운영 중심의 현장관리 시스템을 의미하며, 이를 위하여 AMI 및 CRM/IVR/CIS와 같은 고객관리 시스템과 상호운영이 필요하다. 게다가 GIS 및 진단과 같이 기존에는 연계운영을 고려하지 않았던 다른 시스템 및 기능들과의 연계도 포함한다. 또한 배전 관점에서 분산전원으로 인식되는 마이크로그리드를 포함하여 별도의 Energy Storage System (ESS) 및 PV 발전원과 같은 신재생 에너지원들의 활용을 위한 연계구조를 가지고 있다.

DMS의 기능과 일부 중첩되는 것으로 여겨질 수 있으나 ADMS는 각각의 독립된 시스템들의 역할과 기능에 충실하는 타 시스템들과의 상호운영성 기반으로 구성이 된다. DMS는 배전선로 상에서 취급되는 설비들만을 중심으로 하는 반면에 ADMS에서는 변전소의 주변압기부터 수송가의 설비까지 한 단계 더 세밀하게 배전 운영과 관련된 모든 설비들을 관리하기 위한 시스템이다. 따라서, DMS에서는 독립 통신망 활용에 따라 상대적으로 비중이 낮았던 정보보안 (information cyber security)이 ADMS에서는 마치 전력 계통에서의 보호와 같이 비중과 중요성이 높아진다.

이와 같이 ADMS는 배전계통 운영 효율을 최대로 끌어낼 수 있는 이상적인 시스템이지만, 복잡도가 높다. 시스템 규모도 크고 운영 난이도도 높지만 유틸리티와 수송가 모두를 고려한 시스템으로 배전계통의 규모와 복잡도가 크면 클수록 DMS보다도 더 운영 효율이 높아지는 시스템이다.

4. IT/OT convergence 기반의 ADMS 설계

본 논문에서 제안하는 IT/OT convergence 기반 ADMS 구조와 기능들의 상세 설계는 각 요소별로 나누어져 연구되어야 하며, 본 논문에서는 개념적 관점에서의 설계 및 소개를 중심으로 제안하고자 한다. 마이크로그리드 및 EMS 등 여러 전력계통 자동화 운영시스템 분야에서 상호운영성에 대한 연구가 진행 중에 있지만, 배전운영 시스템 관점에서의 상호운영성을 활용한 최적의 시스템은 ADMS라고 할 수 있다. 따라서, ADMS는 배전운영 시스템들의 특징을 고려하여 운영과 정보통신 기술의 적절한 통합을 고려한 ADMS 설계가 필요한 시점이다.

4.1 시스템 아키텍처

CRM/IVR/CIS 및 AMI와 같은 IT 기반 기술들과 이를 활용한 강화된 새로운 운영기술들 (OT)이 섞여서 최종적으로 배전계통의 운영효율 최적화를 이루어야 한다. 따라서 ADMS는 기본적으로 IT/OT convergence 기반의 개념으로 설계가 된다. 이는 시스템 운영환경뿐만 아니라 어플리케이션의 설계와 개발도 이 관점에서 이루어진다. 따라서, 본 논문에서 제안하는 ADMS 시스템 아키텍처는 그림 4와 같이 구성할 수 있다.

ADMS의 개념적 시스템 아키텍처 구조는 세 가지 interface layer로 구성된다. Internal interface layer는 시스템의 내부 구

성요소들의 특성에 따른 속도와 안정성 기반을 담당하는 부분이다. 화면, 기능, 엔지니어링 툴 등 시스템의 기본적인 운영을 담당하는 부분이다. External interface layer는 타 시스템들과의 상호운영성을 담당하는 부분이다. IEC 61970/IEC 61968 기반의 CIM 데이터 모델이 주로 활용되며, information model을 사전에 정의하여 interface를 제공하도록 구성되어있다. Local interface layer는 해당 시스템에서 관할하는 영역의 다양한 필드 디바이스들과의 통신을 담당하는 부분이다. 실시간성이 강조되며 시스템의 특성과 운영 방식 및 프로토콜의 특성에 따라 가변적으로 구성되어야 한다.

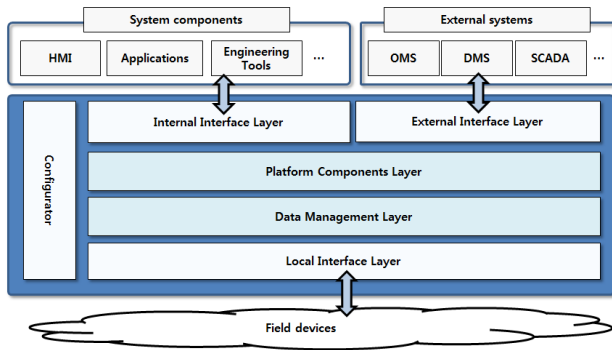


그림 4 ADMS의 개념적 시스템 아키텍처 구조

Fig. 4 A system architecture of ADMS

세 가지의 interface layer는 시스템 플랫폼의 구성요소와 데이터 관리 계층을 통하여 상호간에 필요한 정보 및 기능을 교환하여 시스템 운영효율 향상을 최대화 시킬 수 있는 환경을 제공한다. 인터페이스 방법은 IEC 61968의 인터페이스 표준화를 참조로 설계하였지만, IEC 61850과 같은 다른 표준화도 제안한 구조에서는 함께 고려될 수 있다.

4.2 데이터구조

배전계통은 송전계통과 달리 방식형 구조로 되어있다. 배전계통의 단방향 전류구조를 유지할 수 있도록 항상 개폐기를 open 상태로 두어 배전선로들 간의 구별을 지어주는 상시개방 개폐기를 가지는 구조이다. 따라서, 인근에 투입 상태인 자동화개폐기를 개방하고, 상시개방 개폐기를 투입하여 상시개방 개폐기의 위치가 변경되면, 변경된 토폴로지 결과에 따라 배전계통을 운영하는 다양한 어플리케이션들이 새로운 데이터를 기반으로 재 기동 되어야 한다. 더군다나 ADMS의 데이터는 상호운영성을 고려해야 하기 때문에 표준화 기반의 데이터 구조를 가져야 한다.

따라서 ADMS는 그림 5와 같이 객체 지향 데이터베이스 (Object-Oriented database) 및 실시간 데이터베이스 (real-time database) 두 개의 구조를 동시에 가져야 한다. 객체 지향 데이터베이스는 시스템의 운영에 주로 활용된다. 고정된 토폴로지가 아니라 하루에도 운영 상황에 따라 개폐기들의 상태가 변경되면서 토폴로지가 재구성되기 때문에, ADMS의 다양한 어플리케이션 운영에서는 보다 신속한 퍼포먼스를 위하여 객체 지향 데이터베이스

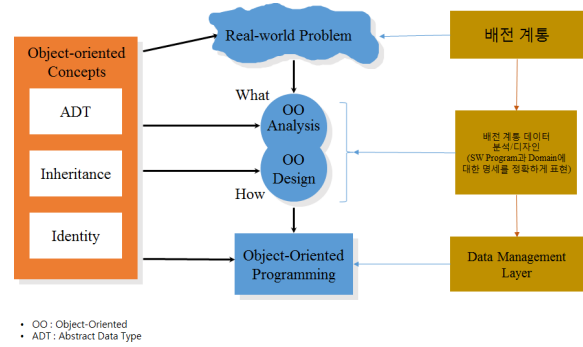


그림 5 배전 계통 데이터를 모델 및 구현 Data Framework

Fig. 5 A Data Framework for modelling and implementation of distribution network data

이스를 채택해야 한다. 종속관계의 데이터 구조는 체계적인 데이터를 구성할 수 있다는 장점이 있지만, 배전계통을 운영하는데 있어 상호간의 연관관계가 더 중요한 정보이기 때문에 객체 지향 데이터 구조를 채택한다.

객체 지향 데이터베이스는 객체 지향 프로그래밍에 쓰이는 것으로, 정보를 객체의 형태로 표현하는 데이터베이스 모델이다 [19]. 객체의 상태와 행위, 관계가 정의되는 객체의 집합을 설계하고 데이터베이스 관리 시스템에 구축한다. 그리고 객체 식별자는 기존의 관계형 데이터 모델의 키와 달리 변경되지 않으며 객체 식별자를 통해서 객체간의 참조 관계를 표현하고 객체의 탐색 수단으로 사용한다. 객체 질의어와 객체 정의어 기반의 데이터 모델을 설계하고 객체, 객체 타입, 관계, 인터페이스, 상속 관계등을 프로그래밍 언어와 유사하게 설계가 가능하다.

배전 계통의 개체와 데이터베이스 모델링의 객체를 일대일 대응 시켜 자연스러운 데이터베이스 모델을 설계한다. 이는 재사용성과 확장성을 높일 수 있으며 배전 계통 어플리케이션과의 객체 기반 데이터 통신이 가능하게 된다. 객체 기반 데이터베이스 매핑을 사용하여 객체 기반 프로그래밍 언어의 객체와 객체 지향 데이터베이스의 객체 사이의 데이터 동기화가 쉽게 처리되므로 개발자는 모든 데이터를 객체 지향 관점에서 처리가 가능하다.

제안된 데이터 구조 변경에 따라 타 기능 및 시스템과의 인터페이스 및 정보교환이 보다 용이해져 ADMS의 layer와 layer 간 정보 교환이 쉬워지고 강화된다. 또한 MVC(Model View Control) 기반의 모듈화된 소프트웨어 아키텍처 패턴의 적용이 가능하여 시스템의 유지보수성과 변경용이성을 향상 시킬 수 있다 [20].

4.3 ADMS 기능

ADMS의 모든 기능들은 기본적으로 상호운영에서 운영효율 향상을 위하여 동작된다. DMS의 기능들이 ADMS의 운영 환경 기반으로 강화되는 경우가 있고, DMS에서는 없던 기능들이 ADMS의 새로운 환경에서는 가능하여 새롭게 적용 될 수 있다.

그림 6은 DMS와 ADMS의 기능차이를 설명하기 위한 배전계통 예제 구성이다. 유틸리티 운영자가 관리하는 배전계통의 설비

는 변전소 인출단으로부터 시작되는 배전선로부터 주상변압기를 거쳐 전력 소비자에 전력이 공급되기 직전영역까지를 관리한다.

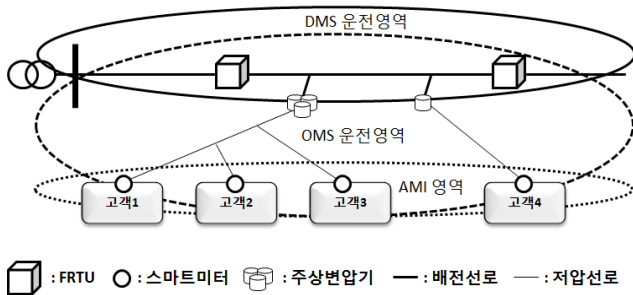


그림 6 배전계통 구성 예

Fig. 6 Example of distribution system configuration

DMS는 FRTU를 통하여 계측한 정보를 가지고 자동화 스위치를 조작하여 운전하기 때문에 일반적인 DMS의 운전 영역은 선로 상의 자동화 스위치들까지이다. OMS는 배전계통의 여러 현장 설비들의 관리운영 시스템이기 때문에 배전계통의 모든 영역이 관리범위이다. AMI 영역은 전력소비자에 설치된 스마트 미터들의 정보를 제공받는 설비영역까지이다. 이와 같이 DMS와 OMS와 AMI가 같은 배전선로 상의 각각의 영역과 역할을 가지고 나누어져 있고, 그 환경에 맞춰서 기능들이 개발 운영 되어왔다. ADMS는 이 모두를 한꺼번에 상호운영 환경 기반으로 운영하는 시스템이다.

이러한 환경에서 ADMS와 DMS의 기능강화에 대표적인 예는 conservation voltage regulation (CVR)[21] 기능이다. FRTU까지를 운전영역으로 하는 DMS에서는 FRTU에서 계측하는 전압을 가지고 허용 전압범위 내에서 전압을 낮춰 소비전력을 감소한다. 하지만 주상변압기를 거쳐 저압선로를 통해 수용가에 공급되는 전력의 전압은 저압선로에서의 손실 때문에 허용전압 범위보다 낮게 전력이 공급될 수 있다. 하지만 ADMS에서는 전력 소비자의 인입단에 설치되어있는 스마트미터에서의 전압을 활용할 수 있기 때문에 배전계통 뿐만 아니라 실질적인 소비전력이 감소되는 전력소비자에 공급되는 전력의 전압을 허용기준 내로 유지할 수 있어 강화된 기능을 가질 수 있다.

또한, 도전(盜電)에 대한 검출이 가능해진다. DMS 환경에서는 FRTU와 FRTU 사이에 소비전력을 양 기기의 계측 전류의 차로 계산할 수 있지만, 임의로 전력을 중간에서 훔쳐 쓰는 도전은 검출할 수 없다. ADMS 환경에서는 스마트미터에서 계측하는 FRTU 간의 전류 차와 스마트미터에서 계측하는 전류들의 합과 저압선로에서의 손실계산 결과를 비교하여 허용 오차범위에서 벗어나는 경우 도전예상 지역을 추정할 수 있다.

게다가 ADMS에서는 OMS에서 가지고 있는 계통 정보를 가지고 일정기간동안 주상변압기에서 공급한 전력의 양을 이력데이터를 통해 저장할 수 있다. 이 정보는 주상변압기를 포함하여 배전선로에 설치되어있는 설비들의 수명을 예측할 수 있는 설비진단 기능의 일환으로 활용될 수 있다.

지금까지 소개한 예제 기능들은 표 1에서 분류했던 IT 환경의

기술들과 전력기술 기반의 OT 환경의 기술들을 통합 활용하는 ADMS 운영환경에서만 가능하다. 그리고 이 기능들은 배전계통의 운영 효율을 DMS 환경에서보다 더 높일 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 IT/OT 기반의 ADMS를 소개하고 설계를 제안하는 논문이다. 최근 배전운영에 대한 글로벌 시장이 큰 규모로 급격하게 성장하고 있다. 배전계통운영은 배전계통의 원격 운영감시를 목적으로 처음 시작되었던 DAS에서 다양한 어플리케이션들을 활용하여 운영 효율을 높이는 DMS, 그리고 IT/OT convergence 개념을 적용한 상호운영성 기반의 ADMS로 진화하고 있다.

전력계통 운영 시스템의 효율은 설치비용 대비 효율적 운영을 통한 절감비용으로 판단할 수 있다. 배전계통도 마찬가지로 DAS, DMS, ADMS등 간에 설치비용 대비 운영을 통한 절감비용을 고려하여 유틸리티 운영자가 판단을 할 것이다. 지금까지는 DAS와 DMS가 실질적으로 적용되어 왔고 널리 알려져 있지만, 최근 배전계통의 복잡도가 높아지는 선진국을 중심으로 ADMS를 통하여 효율을 극대화 할 수 있을 정도의 환경이 등장하여 미국을 중심으로 시범 사업이 진행되고 있다.

따라서 본 논문에서는 ADMS에 대한 소개 및 시스템의 환경 설계, 그리고 기능에 대한 예시들을 제안하였다. 향후 배전운영 시스템에 대한 새로운 아이디어 기반의 기능들과 적용사례 결과 분석에 대한 다양한 연구가 활성화될 것이다.

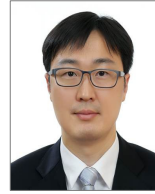
References

- [1] I. Lim, T. S. Sidhu, M. S. Choi, S. J. Lee, B. N. Ha, "An optimal composition and placement of automatic switches in DAS", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 28, No. 3, pp. 1474-1482, 2013.
- [2] SIEMENS, "Distribution SCADA," <http://w3.usa.siemens.com/smartgrid/us/en/distribution-grid/products/distribution-scada-system-platforms/pages/dscada.aspx>
- [3] E. Vaahedi, "Distribution Management System," Practical Power System Operation, DOI:10.1002/9781118915110.ch11, 2014.
- [4] A.P.S. Meliopoulos, E. Polymeneas, Zhenyu Tan, Renke Huang, Dongbo Zhao, "Advanced Distribution Management System," IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 4, pp. 2109-2117, 2013.
- [5] Mark McGranaghan, Bob Uluski, "Smart Distribution Systems Workshop - EPRI," CIREC Germany, June 2011.
- [6] Gartner, "IT and Operational Technology: Convergence, Alignment and Integration," G00210814, 2011.
- [7] Atos, "The convergence of IT and Operational Technology," Ascent Thought leadership from Atos white

paper, 2012.

- [8] Ashish Garg, "Fusion of IT and OT in Utilities," Intelligent utility, September 2013.
- [9] Jeff Meyers, "How the Convergence of IT and OT Enables Smart Grid Development," Schneider Electric White Paper Revision 0, 2013.
- [10] Tim Taylor, ABB review, Ventyx, an ABB company, "IT/OT convergence - How their coming together increases distribution system performance," 2014.
- [11] Sree Hameed, "Research :IT vs. OT in Manufacturing: How Will Convergence Play Out?," ChainLink Research, 2014.
- [12] Jon Bruner, "The ITOT convergence," O'Reilly Radar, April, 2015.
- [13] Schneider Electric, "Advanced Distribution Management System," <http://www.schneider-electric.com/solutions/ww/en/sol/25284638-advanced-distribution-management-system>, 2014.
- [14] GE, "PowerOn Advantage - Advanced Distribution Management System," http://www.gedigitalenergy.com/UOS/catalog/poweron_advantage.htm, 2014.
- [15] SIEMENS, "Spectrum Power™ ADMS," http://w3.siemens.com/smartgrid/global/SiteCollectionDocuments/Products_systems_solutions/Control%20Center/ADMS-Webfeature/index.html?layer=true, 2014.
- [16] E.-K. Chan, H. Ebenhoh, "The implementation and evolution of a SCADA system for a large distribution network," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, pp. 320-326, 1992.
- [17] T.L. Baldwin, S.A. Lewis, "Distribution load flow methods for shipboard power systems," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 40, pp. 1183-1190, 2004.
- [18] Wang, L., "Open architecture-based factory automation systems," IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Vol. 19, pp. 14-17, 2004.
- [19] Wayback Machine, "ODBMS.ORG : Object Database (ODBMS) | Object-Oriented Database (OODBMS) | Free Resource Portal. ODBMS", July 25, 2014.
- [20] Buschmann, Frank (1996) Pattern-Oriented Software Architecture.
- [21] F.K. Tuffner, R. Singh, "Evaluation of Conservation Voltage Reduction (CVR) on a National Level", PNNL-19596, U.S. Department of Energy under contract DE-AC05-76EL01830, 2010.

저 자 소 개



임 일 형 (Il-Hyung Lim)

2005, 2007, 2010년 명지대학교 전기공학과 학사, 석사, 박사 졸업. 2010-2012년 The University of Western Ontario 전기공학과 post-doctoral fellow. 2012-2014년 University of Ontario Institute of Technology 전기공학과 post-doctoral fellow. 현재 LS산전 시스템 S/W 연구단, 시스템 solution 연구팀 책임연구원.

E-mail : ihlim@lisis.com



이 승 주 (Seung-Joo Lee)

2005, 2007, 부산대학교 컴퓨터공학과 학사, 석사 졸업. 현재 LS산전 시스템 S/W 연구단, 플랫폼 S/W 연구팀 선임연구원.

E-mail : sjlee5@lisis.com



박 종 호 (Jong-Ho Park)

1991년 고려대학교 전산학 학사, 1993년 동대학원 전산학 석사 졸업. 현재 LS산전 시스템 S/W 연구단, 시스템 solution 연구팀 팀장.

E-mail : jonghop@lisis.com



신 용 학 (Yong-Hak Shin)

1984년 한양대학교 전자계산학 학사, 1986년 동 대학원 전자계산학 석사 졸업. 현재 LS산전 시스템 S/W 연구단 단장.

E-mail : yhshin@lisis.com