

# Development of AMI NMS (Network Management System) using SNMP for Network Monitoring of Meter Reading Devices

## 원격검침 설비의 네트워크 상태감시를 위한 SNMP 기반의 저압 AMI 망관리시스템 개발

Young-Il Kim†, So-Jeong Park, Young-Jun Kim, Nam-Jun Jung, Moon-Suk Choi, Byung-Seok Park  
김영일†, 박소정, 김영준, 정남준, 최문석, 박병석

KEPCO Research Institute, Korea Electric Power Corporation, 105 Munji-Ro, Yuseong-Gu, Daejeon, 34056, Korea  
† yi.kim@kepcoco.kr

### Abstract

KEPCO installed AMI (Advanced Metering Infrastructure) metering system for low-voltage customers from 2008. AMI metering system of KEPCO has operated 2.55 million customers and will plan to operate 22 million customers until 2020. KEPCO developed AMI NMS (Network Management System) to operate the meter reading network efficiently. NMS monitors the network status of DCUs (Data Concentration Unit) and modems. NMS provides functionalities of data collection and analysis. It collects property data of network device, network topology information, communication performance information, fault information, and etc. It analyzes collected data and controls network devices by remote access. AMI NMS collects about 370 MIBs (Management Information Bases) using SNMP (Simple Network Management Protocol). This paper introduces main functionalities, designed context, and implemented service screen.

한국전력공사는 2008년부터 저압 고객에 대한 AMI (Advanced Metering Infrastructure) 기반의 검침시스템을 구축하여 운영하고 있다. 한전의 AMI 검침시스템은 현재 255만호에 설치되어 운영되고 있으며 2020년까지 2200만호를 설치하여 운영할 예정이다. 본 연구에서는 원활한 AMI 검침망 운영을 위해 DCU (Data Concentration Unit) 및 모뎀에 대한 네트워크 동작상태를 감시할 수 있는 AMI 망관리시스템을 개발하였다. AMI 망관리시스템은 네트워크 장비에 대한 속성 데이터 및 네트워크 토폴로지 정보, 통신성능 정보, 장애정보 등을 수집하고, 데이터 분석을 통해 장애내역을 생성하며, 원격에서 장비를 제어하는 등의 기능을 제공하고 있다. AMI 망관리시스템은 전력선 통신망에서 네트워크 장비에 대한 약 370여개의 MIB (Management Information Base) 정보를 SNMP (Simple Network Management Protocol)를 이용하여 수집과 제어를 수행하고 있다. 본 논문에서는 AMI 망관리시스템에 대한 주요 기능과 설계내용, 구현된 서비스 화면을 소개하고자 한다.

*Keywords* : AMI, meter reading, network management, DCU, SNMP, MIB, fault monitoring, network topology

### I. 서론

최근 들어 화석연료 사용증가에 따른 과도한 CO<sub>2</sub> 배출로 인한 지구온난화 문제와 전력 생산량의 부족으로 인한 대규모 정전사태 발생, 태양광 발전 및 조력, 풍력 발전 등의 신재생에너지원의 증가 등으로 인해 전력시스템에 새로운 변화인 지능형전력망에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 지능형전력망은 전력의 생산 및 분배 시스템에 정보기술을 적용하여 수요 측과 공급 측의 양방향 통신을 가능토록 하여 전력에너지의 효율성을 극대화하는 차세대 지능형 전력망 인프라로 그 핵심 기술은 지능형검침인프라 (AMI)의 양방향 통신망을 구축하는 것이다 [1].

지능형전력망 구축을 통해 고객의 15분 단위 검침 데이터를 실시간으로 수집하고, 단기 부하 프로파일을

생성하여 고객에게 정보를 제공할 수 있으며, 수요반응 (Demand Response)이나 실시간요금제 (Real Time Pricing)와 같은 고부가 서비스를 고객에게 제공함으로써 전력 공급 효율성을 높여 에너지 위기에 대한 대응력을 높이거나 과도한 CO<sub>2</sub> 배출로 인한 지구온난화와 같은 환경 문제를 완화시키는 등의 효과를 얻을 수 있게 된다. 한편에서는 지능형전력망 구축의 일환으로 Fig. 1과 같이 배전전주에 DCU를 설치하고 고객의 댁내에 존재하는 계기와 전력선 통신(PLC: Power Line Communication)을 이용하여 검침데이터와 네트워크 데이터를 수집할 수 있도록 지능형검침인프라 (AMI) 기반의 원격검침시스템을 구현하였다 [2]. 본 논문에서는 원격검침을 위해 필요한 통신장비인 모뎀과 DCU 장비에 대한 네트워크 감시 및 성능분석, 관리를 담당하는 AMI 망관리시스템에 대해 소개하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에

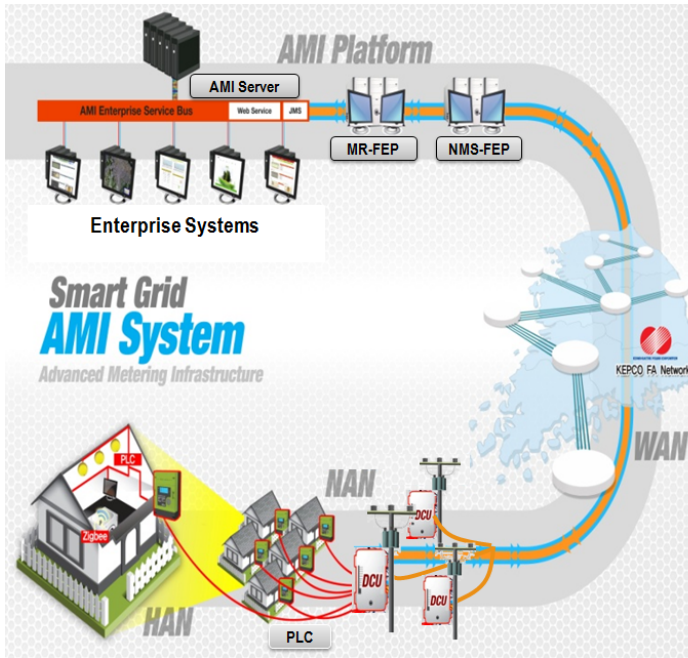


Fig. 1. 지능형전력망 구축을 위한 지능형검침인프라 구성도 [2].

서는 21세기의 새로운 패러다임인 지능형전력망과 지능형검침인프라에 대한 세계적인 기술동향과 한전의 저압원격검침시스템 기술동향을 소개한다. 3장에서는 저압 AMI 망관리시스템에 대한 설계 내용을 소개하고, 4장에서는 구현 및 시스템 현장 운영 결과를 분석하고, 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 국내의 연구동향

### A. 지능형전력망과 지능형검침인프라

21세기에 들어 전력회사는 환경오염 문제와 지속적인 에너지 사용량 증가로, 보다 효과적인 전력망 운영 기술과 고객의 소비 형태에 대해 고민하고 있다. 기존의 전력망은 설비 제작사 및 전력사회에 따라 다양한 데이터 및 통신방식을 사용하고 있어 서로 다른 전력망 간의 상호연계를 통한 지능적인 운영은 어려운 실정이다. 지능형전력망 기술은 전력설비 및 시스템 간의 정보공유 및 상호연계를 가능하게 함으로써, 전력망에 대한 새로운 전송장치와 제어, 감시 기술, 고객 참여 등을 통해 에너지 효율을 높이려고 하고 있다. 지능형 전력망을 만족하기 위한 주요 특징은 전력망에 대한 자기회복 (self-healing), sag나 swell, 정전 등과 같은 품질문제를 극복하는 안정적 전력공급, 신재생에너지 지원, 감시기능을 통한 장비효율 향상 등과 같은 기능을 제공하는 것이다. 지능형전력망을 구축하는데 중요한 분야중 하나는 고객들의 전력수요 정보를 수집하고 관리할 수 있는 지능형검침인프라이다. 지능형검침인프라는 전자식 전력량계와 양방향 통신이 가능하도록 검침 인프라를 제공하는 것으로 검침 데이터의 수집, 정전 알림, 맥내 장치와의 연계, 단전 및 재공급, 현재검침 등의 기능을 제공하게 된다.

다. 또한 AMI 시스템을 통해 계기 자동 등록, 통신장애 발생시 AMI 망 재구성, 전력사의 과금, 정전 시스템 등과의 연계 등의 기능을 제공하게 된다 [3].

지능형검침인프라는 크게 두 개의 통신영역으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 센서나 가전제품에서 스마트미터나 DCU와 같은 집중장치로 전송하는 영역이 있으며, 두 번째는 스마트미터나 집중장치에서 전력사의 데이터 센터로 데이터를 전송하는 영역이 있다. 첫 번째 영역에서는 전력선 통신이나 Zigbee, 6LowPAN, Z-wave 등과 같은 무선통신을 주로 사용하며, 두 번째 영역에서는 무선전화나 인터넷 통신을 주로 사용한다 [4].

첫 번째 영역은 고객의 맥내에 구성되는 HAN (Home Area Network)과 다수의 HAN들을 묶어서 구성되는 NAN (Neighbor Area Network)으로 나뉜다. HAN은 Zigbee나 전력선 통신을 통해 가스 및 수도, 난방과 관련된 검침 데이터를 HCU (Home Concentration Unit)나 IHD (In Home Display), Smart Meter 등과 같은 장치를 통해 수집하여 DCU로 전달하게 된다. 미국의 NIST (National Institute for Standards and Technology)에서는 HAN 영역에 대한 통신방식으로 Zigbee와 Zigbee SEP (Smart Energy Profile)을 표준화 하고 있다. Zigbee는 데이터 전송속도가 낮고 전송거리가 짧지만, 통신 복잡도가 낮고 배포가 간편한 특징이 있다. 최근에는 Itron, Elster, Landis+Gyr 등과 같은 AMI 벤더들이 Zigbee 기능을 탑재한 스마트미터를 선호하고 있다. 또한 Zigbee SEP를 통해 전력사는 고객에게 메시지뿐 아니라 전력사용 정보, 가전제품 제어정보 등을 전달할 수 있어 양방향 통신과 수요응답과 같은 고부가 서비스의 자동화를 가능하게 한다. NAN은 각각의 노드가 독립적인 라우터 형태로 동작하고, 노드들이 그룹을 이루어 유연하게 네트워크를 구성할 수 있는 매쉬 네트워크 방식을 사용하는 것이 효과적이다. 매쉬 네트워크는 동적으로 망을 구성하고 자동복구 하는 기능을 갖고 있으며, 멀티 홉 방식을 지원하여 원거리 전송에도 효과적인 특징을 갖고 있다 [4].

두 번째 영역은 WAN (Wide Area Network)으로 2G나 3G, WiMAX, LTE와 같은 무선전화 통신을 주로 사용한다. Table 1은 지능형전력망에서 주로 사용되는 통신기술을 나타낸다. Echelon사의 NES (Networked Energy Services) 시스템은 T-Mobile사의 GSM (Global System for Mobile Communications) 망을 사용하고 있다. Echelon의 스마트미터는 T-Mobile사의 SIM (Subscriber Identification Module)을 장착할 수 있도록 무선전화 모듈을 탑재하고 있다. Telenor사와 Telecom Italia, China Mobile, Vodafone 등의 통신사들이 GSM 망을 이용하여 검침데이터 전송 서비스를 제공하고 있다. Itron사는 GSPR (General Packet Radio Service) 모듈을 탑재한 스마트미터를 이용하여 CDMA (Code Division Multiple Access), WCDMA (Wideband CDMA), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) 등의 무선통신을 지원하고 있다. 호주의 전력사인 SP AusNet은 WiMAX 통신이 가능한 스마트미터를 사용하고 있으며, 미국의 Sprint Nextel, General Electric, CenterPoint Energy 등과 같은 회사들도 WiMAX를 이용한 통신방식을 현장에 적용하고 있다 [4].

Table 1. 지능형 전력망의 주요 통신기술 [4]

기술명	스펙트럼	데이터 전송속도	커버리지 범위	응용 프로그램	한계점
GSM	900~1800 MHz	최대 14.4 Kbps	1~10 km	AMI, DR, HAN	낮은 데이터 전송속도
GPRS	900~1800 MHz	최대 170 Kbps	1~10 km	AMI, DR, HAN	낮은 데이터 전송속도
3G	1.92~1.98 GHz 2.11~2.17 GHz	0.38~2 Mbps	1~10 km	AMI, DR, HAN	스펙트럼 비용 발생
WiMAX	2.5 GHz, 3.5 GHz, 5.8 GHz	최대 75 Mbps	10~50 km (LOS) 1~5 km (NLOS)	AMI, DR	제한적인 서비스 범위
PLC	1~30 MHz	2~3 Mbps	1~3 km	AMI, Fraud Detection	가혹한 통신환경 (잡음)
Zigbee	2.4 GHz, 868~915 MHz	250 Kbps	30~50 m	AMI, HAN	낮은 데이터 전송속도, 짧은 통신거리

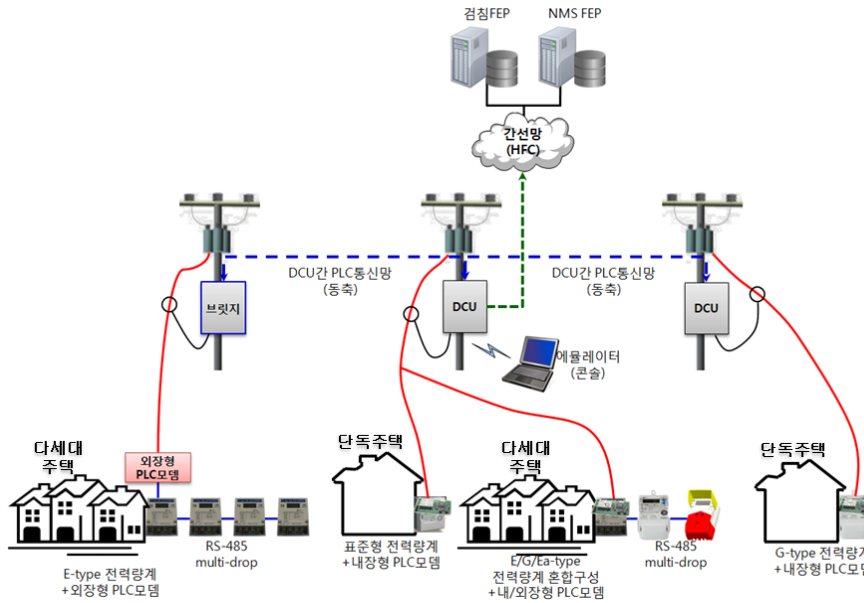


Fig. 2. 전력선 통신을 이용한 모뎀과 DCU간 연결 구성도 [9].

B. 전력선 통신 기반의 원격검침시스템 기술현황

전력선 통신 기술은 전기선을 통신매체로 이용하여 통신하는 기술로 이용 주파수 대역에 따라 협대역과 광대역으로 분류된다. 협대역은 9 kHz에서 450 kHz 대역을 사용하여 수 kbps급 통신속도를 제공하며, 주로 저속 응용분야인 빌딩자동화 홈 자동화 분야에서 사용된다. 광대역은 1.7 MHz에서 30 MHz 대역을 사용하여 수 Mbps에서 수백 Mbps급 통신속도를 제공하며, 음성 데이터, 멀티미디어 신호의 전송 같은 고속 전력선 통신에 사용된다[5]. 전력선 통신 기술의 표준화는 한국에서 주도하는 ISO 표준과 유럽의 OPERA 포럼, 미국의 Home Plug 단체표준 등으로 나누어져 추진되고 있다. 특히 한전은 그동안 쌓아온 기술력을 바탕으로 “고객 PLC 정보교환 기술”을 작성하여 2006년에 한국표준(KS X4600-1)으로 등록하였으며, 이를 ISO/IEC에 제출하여 2009년에 ISO/IEC 12139-1 표준으로 정식 발간하였다 [6]. 또한 한전은 꾸준한 기술개발을 통해 얻은 전력선 통신 기술을 원격검침 사업에 적용하여 저비용, 고효율의 원격검침망을 구축하였다. 정부의 지능형 전력망 기본계획에 따라 저압원격검침시스템을 개발하고 2008년 5만호 설치를 시작으로 2010년까지 55만호, 2015년까지 255만호를 설치하여 운영하고 있다 [6][7]. 한전의 원격검침은 고객별 전력사용량을 전력선 통신 모뎀을 통해 DCU에 전달하

고, DCU는 통신사에서 제공하는 원격검침용 전용망을 통해 한전 내의 AMI 서버로 데이터를 전송하는 형태로 구성된다. 단독 주택의 경우에는 고객의 계기와 모뎀이 일대일로 연결되어 데이터를 전송하고, 다세대 주택 등과 같이 다수의 계기가 한곳에 모여 설치되는 경우에는 다수의 계기들을 RS-485 케이블을 이용하여 일대다로 연결하게 된다. 계기와 모뎀은 검침데이터 교환을 위한 국제표준인 IEC-62056 DLMS (Device Language Message Specification)에 맞추어 데이터를 구조화하고 객체 인식 체계인 OBIS (Object Identification System) 코드를 부여하여 사용하고 있다.

고객의 밀집도가 낮아 다수의 전용망 연결을 필요로 하여 경제성이 떨어지거나 전력선 신호감쇠가 높아 잡음이 많은 경우에는 브릿지나 슬레이브 DCU 등을 설치하고 동축케이블을 이용한 전력선 통신으로 마스터 DCU에서 데이터를 취합하여 전용망을 통해 원격검침시스템으로 데이터를 전송하게 된다 [8]. 원격검침시스템은 검침데이터를 수집하는 검침 FEP (Front End Processor)과, 네트워크의 상태감시 및 관리를 담당하는 NMS (Network Management System) FEP으로 구성된다. 검침 FEP은 한전에서 정의한 TCP/IP 기반의 FEP 프로토콜을 통해 DCU와 연결하여 검침데이터를 취득하게 된다. NMS FEP은 UDP 기반의 네트워크 관리 표준 프로토콜인 SNMP 프

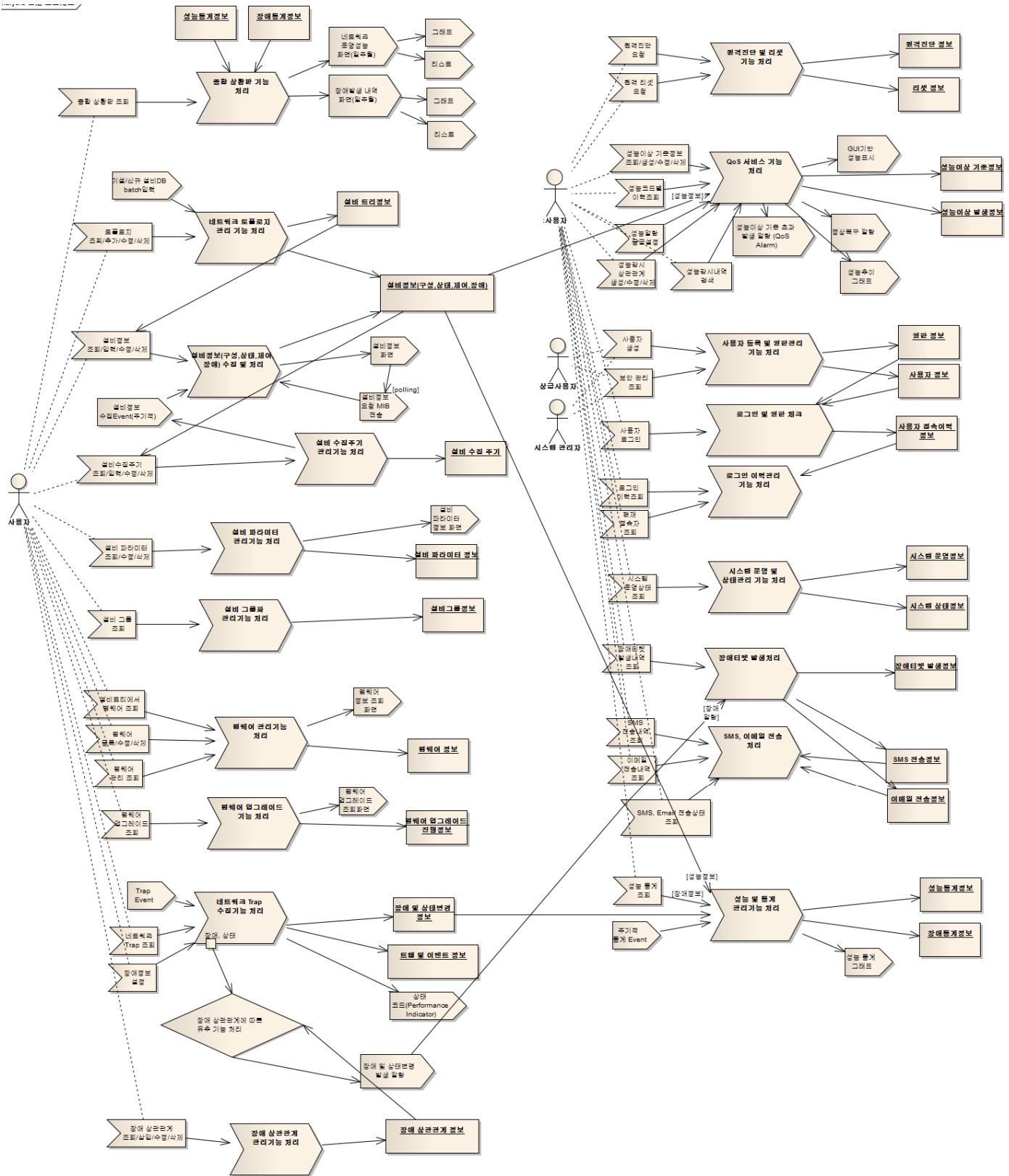


Fig. 3. 저압 AMI 망관리시스템의 프로세스 다이어그램.

로토콜을 통해 DCU와 연결하여 네트워크 상태정보와 트랩정보를 수집하게 된다 [9]. 현재 사용 중인 검침용 FEP 프로토콜은 일정주기마다 검침 FEP에서 DCU로 검침데이터 수집을 요청하고, 검침데이터를 서버에서 폴링 방

식으로 수집하게 되어 검침 FEP에 많은 부하를 주는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하고자 최근에는 DCU에 수집주기를 설정하여 DCU가 해당 주기마다 검침 FEP로 데이터를 전송해주는 방식인 SMCP (Smart Meter

Table 2. DCU에 정의된 MIB Table

노드명 (1차, 2차)	노드명(3차) /테이블명	노드명(4차)/엔트리명 (필요시 사용)	주요 필드 설명
Common Information(1). Configuration(1)	SysInfo(1)	DCU 명, ID, 버전, 맥주소, 시리얼 번호, 암호화 여부 등	
	sysStatus(2)	DCU 동작상태, 평균 up/down BPS, CPU/memory 사용률 등	
	sysControl(3)	DCU 리셋, IP 정보 등	
	SysThresh(4)	Trap 발송 임계치 설정값(CPU, memory, BPS)	
Common Information(1).DCU Trap(3)	coldStart(1)	외부 전원, 스위치 켜짐 알림	
	warmStart(2)	프로그램 명령으로 부팅 알림	
	lanError(3)	에러발생 ethernet 포트 정보 등 알림	
	기타 DCU 트랩(4~15)	SNMP 통신에러, 임계치 초과, 문열림, 시스템 종료, 펌웨어업그레이드정보 등 알림	
InterfaceInfo.(3).Ethernet(1)	ethernetPortTable(2)	ethernetPortEntry(1)	포트 인덱스, 이름, 타입, 설정/동작 상태, 등
	PLCifTable(1)	PLCifEntry(1)	PLC모델의인터페이스정보(ID,type,version,설정값,systemMode 등)
	PLCnetTable(2)	PLCnetEntry(1)	PLC네트워크정보(부모MAC,up/downBPS(부모,마스터),마지막update시간등)
	PLClinkTable(3)	PLClinkEntry(1)	PLC 링크 정보(부모 SID, Tx/Rx정보(Gain, Tone Map) 등)
InterfaceInfo(3).PLC(3)	PLCTrapTable(4)	trapStatusChange(1)	systemMode 변경 및 BPS 알림
		trapDisappearedPeer(2)	PLC 모델 통신 안됨 알림
		trapChannelStateWarning(3)	up/down link 속도가 임계치보다 낮음 알림
		trapUnauthorizedAccess(4)	권한없는 접근 알림
		trapUpgradeFail(5)	펌웨어 업그레이드 실패 알림
		trapmodemrebooting(6)	모뎀 리부팅 알림
		trapRegiRequestedNewPeer(7)	신규 모뎀 등록요청 알림
		trapFWUpgradeResult(8)	펌웨어 업그레이드 상태정보 알림
		trapCommFail(9)	모뎀의 alive check시 오류발생 알림
		PLCFWUpgradeTable(5)	PLCFWUpgradeEntry(1)
PLCregireqTable(6)	PLCregireqEntry(1)	모뎀 등록 당시의 상태정보	
PLCRealTimeControlTable(7)	PLCRealTimeControlEntry(1)	모뎀 실시간 lookback 시험 및 MAC ping, BPS 조회, meter reading 조회	
ProtocolInfo(4).SNMP(2)	SupportedVers(1)	DCU가 제공하는 SNMP 버전목록	
	Security(2)	SNMP Security 정보	
Specific Information(5).DCU(4)	DCUConf(1)	모뎀상태 수집주기, NTP IP, DCU시간, 검침/NMS FEP IP정보 등	
	PLCFWUpgrade(2)	모뎀 F/W 업그레이드 이미지 전송용	
	DCUFWUpgrade(3)	DCU F/W 업그레이드 이미지 전송용	
	dcuRegistration(4)	DCU 등록과정에 필요한 정보 저장	
	DCUTrapControl(5)	DCU의 Trap 발송기능을 on/off 제어	

Concentration Protocol) 방식에 대한 연구를 진행하고 있다 [10].

SMCP 방식은 단위 작업을 수행하는 JOB과 다수의 JOB을 묶음으로 관리하는 Task를 이용하여 DCU에 작업을 지시하게 된다. 검침 FEP에서 주기적/비주기적 검침 또는 미터 설정, 상태값 조회, DCU 환경설정, 레포트 설정, 이벤트 알림 등의 작업을 나타내는 JOB 들을 묶어 Task 스크립트를 작성하여 DCU에 전송하면, DCU는 Task 스크립트를 분석하여 해당 JOB 들을 추출하고 DLMS 통신을 이용하여 미터로부터 필요한 정보를 수집하고 처리결과를 검침 FEP으로 전송하게 된다. SMCP 방식은 제주 구좌읍에 설치하여 B-CDMA와 전력선 통신, WiBro 등의 통신망을 이용하여 검증을 수행하였다 [11]. 또한 기존의 검침방식과의 성능비교를 위해 실험실에서 동일한 통신 환경에서 30대의 계기를 하나의 모뎀에 설치하고 두가지 방식의 LP검침 성능을 비교한 결과 기존의 폴링방식은 검침시간 5분이 소요되었으나 SMCP 방식은 50초가 소요되어 약 6배 이상 LP검침 수집속도가 향상 되는 것으로 나타났다 [12].

### III. 저압 AMI 망관리시스템 설계

#### A. 요구사항 분석

한전의 저압원격검침시스템은 한전에서 정의한 FEP 프로토콜을 통해 15분 단위 검침데이터를 계기와 모뎀, DCU를 거쳐서 검침 FEP에서 수집하게 된다. 이때 모뎀

과 DCU 간에는 전력선 통신을 이용하고 있어 전력선을 매체로 통신하는 특성상 높은 부하로 인한 간섭 현상, 가변 임피던스와 신호감쇄 등으로 인해 안정적인 통신 망을 제공하는 것이 어려운 실정이다. 따라서 저압원격 검침시스템을 안정적으로 운영하기 위해서는 주기적으로 DCU의 통신 상태를 확인하고, DCU 하단의 모뎀과의 통신 상태를 감시할 수 있는 망관리시스템이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 망관리시스템 개발을 위해 저압 원격검침 사업소 담당자들과 공청회를 통해 기능적 요구사항을 수집하였으며 분석 작업을 통해 Fig. 3과 같이 프로세스 다이어그램을 정의하였다.

본 연구에서 개발된 AMI 망관리시스템은 현재 설치된 DCU 및 모뎀의 동작상태 및 통계를 한눈에 볼 수 있는 종합상황판 기능을 최우선적으로 필요로 하고 있으며, 상황판을 통해 현재 설치, 운영되고 있는 DCU 및 모뎀의 수량과 실시간 운전현황, 정기검침일에 해당하는 계기들의 미검침 현황, 전일 고장발생 현황 및 고장조치 결과조회 등의 정보를 제공해야 한다. 또한 네트워크 토폴로지 관리기능을 통해 통신장비의 네트워크 구성정보를 주기적으로 수집하여 운영자가 해당 설비의 네트워크 구조를 시각적으로 확인할 수 있는 기능을 제공해야 한다. 네트워크 구조정보뿐만 아니라 상태 값, 제어변수 값 등의 설비정보를 주기적으로 수집해야 하며, 장비에서 발생한 장애나 이벤트 등을 알리는 트랩 메시지를 수신하여 관리하는 기능도 필요하다. 대규모의 장비를 운영하기 위해서는 설비별로 운영환경의 특성에 따른 운영 파라미터 값을 변경하는 작업도 필요하며, 계기의

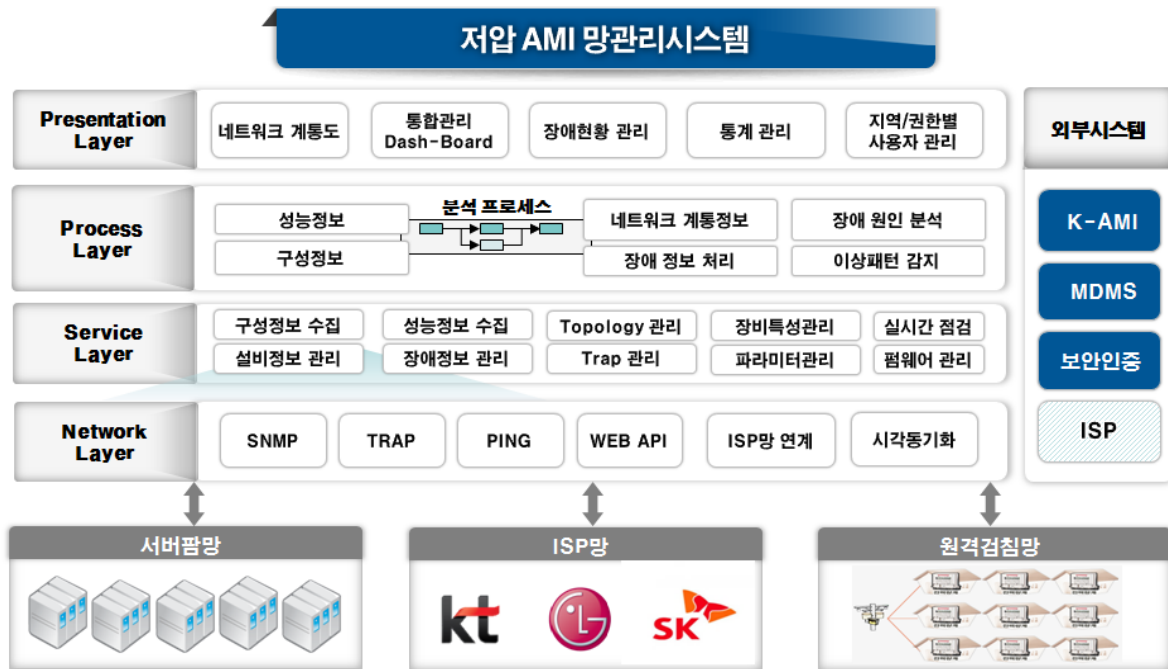


Fig. 4. 저압 AMI 망관리시스템의 계층구조도.

검침 프로그램 변경, TOU 변경 등의 작업을 위한 펌웨어 업그레이드 기능도 필요로 하게 된다. 설비의 장애가 의심되는 경우 원격에서 장비를 진단할 수 있으며, 필요시 리셋을 요청하는 등의 QoS (Quality of Service) 성능 향상을 위한 기능을 필요로 하게 된다. 또한 추가적인 기능으로 사용자 관리 및 보안관리, 이력 및 로그 관리, 시스템 운영환경 관리 등의 기능을 필요로 하게 된다.

### B. 시스템 설계

시스템 설계 단계에서는 요구사항 분석을 통해 도출된 프로세스들을 반영하여 Fig. 4와 같이 망관리시스템을 4개의 계층으로 나누어 설계하였다.

최하위 계층은 Network 계층으로 DCU와의 통신망 이상유무 판단을 위한 ping 기능과 DCU 내에 정의된 MIB 정보 조회를 위한 SNMP 통신 기능, DCU에서 발신하는 trap 메시지 수신 기능 등을 제공한다. DCU 내에 정의된 MIB에 사용되는 OID (Object Identifier)는 RFC1150 ISO 표준에 따라 1.3.6.1.4.1.29408.11 (iso.org.internet.private.enterprises.kepco.integrationmib)을 기본 노드로 사용하여 Table 2와 같이 하위노드를 정의하였다. DCU는 DCU 및 모뎀과 관련된 trap 발생 원인을 감지하는 즉시 trap을 NMS FEP으로 발신하게 된다. 단 CPU, 메모리 사용율 등은 10초 주기로 모니터링하여 1분간 평균값이 임계치를 초과할 시 trap을 전송하며, 한번 trap을 전송하면 다음 trap은 10분 이상 경과한 이후에 발송하게 된다.

Service 계층은 구성정보, 성능정보 등을 수집하여 설비정보, 토폴로지 정보, 장애정보, 펌웨어 등을 관리하는 역할을 제공한다. DCU와 모뎀은 전력선 통신의 특성상 안정적인 통신망 구성이 어렵기 때문에 주기적으로 통신감도를 체크하여 감도가 좋은 모뎀을 통해 데이터를 전송하는 방식으로 네트워크를 구성한다. 따라서 주

기적으로 SNMP 통신을 이용하여 DCU에 존재하는 모든 모뎀의 MAC 주소 (OID=3.3.2.1.1, 3.3.2.1.2)와 각 모뎀별 부모 모뎀의 MAC 주소 (OID=3.3.2.1.3), 각 모뎀별 통신 성능 정보를 나타내는 업/다운 링크의 BPS (Bit per Symbol) 값 (OID=3.3.2.1.5, 3.3.2.1.6)을 수집하게 된다. AMI 망관리시스템은 모뎀의 BPS값을 SNMP GET 명령을 이용하여 30분 주기로 수집하고, BPS값이 통신가능 수치 이하로 떨어질 경우에 장애정보를 생성하여 관리자가 점검할 수 있도록 이벤트를 발생시킨다.

현재 설치된 DCU의 SNMP Agent는 모뎀의 장애가 발생한 경우 관리자가 실시간으로 모뎀의 상태를 점검할 수 있는 방법을 제공하지 못하고 있다. 본 연구에서는 모뎀에 대한 실시간 점검을 위해 DCU의 MIB에 loopback 테스트와 MAC ping 테스트, BPS 테스트, 계기 현재검침값 수집 등을 수행하는 PLCRealTimeControlEntry를 설계하여 추가하였다. loopback 테스트는 계기 통신접속 단자의 정상통신 여부를 테스트 하는 것으로 Fig. 5와 같은 절차에 따라 테스트를 진행하도록 설계하였다. 또한 DCU 및 모뎀에 잘못된 기능을 패치하거나 새로운 기능을 추가할 수 있도록 Fig. 6과 같이 SNMP 통신을 이용한 펌웨어 이미지 전달방식을 설계하였다. DCU 펌웨어의 전송 시작은 dcuFWUpgradeImageAck를 이용하여 알려주고, 모뎀 펌웨어의 전송 시작은 plcUpgradeImageAck를 이용한다. 펌웨어 이미지는 60 KByte로 분할하여 전송하며, 전송 블록은 블록순번 (1 Byte)과 분할데이터 길이 (60 KByte), 옵션 (1 Byte), CRC값 (2 Byte)으로 구성된다. DCU는 블록단위 이미지 전송 (dcuFWTransferImage 또는 plcUpgradeImage) SET-Request를 수신하면 분할된 블록 이미지의 CRC 검사와 ACK OID 갱신을 수행하고, 에러 발생 시 Response-PDU의 error-status를 resourceUnavailable로 세팅하여 응답한다. 이미지 전송이 정상적으로 수행되면 잔여 이미지를 반복적으로 전송하며 최종 블록 전

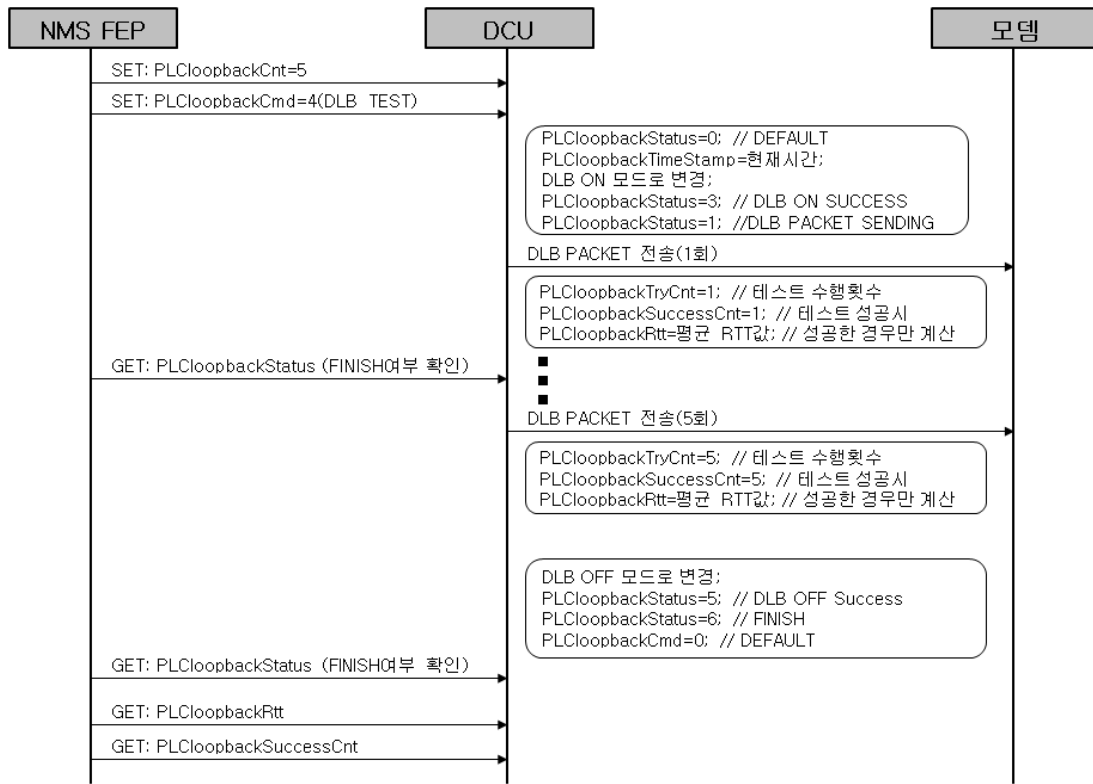


Fig. 5. SNMP 통신을 이용한 모뎀 loopback 테스트 절차.

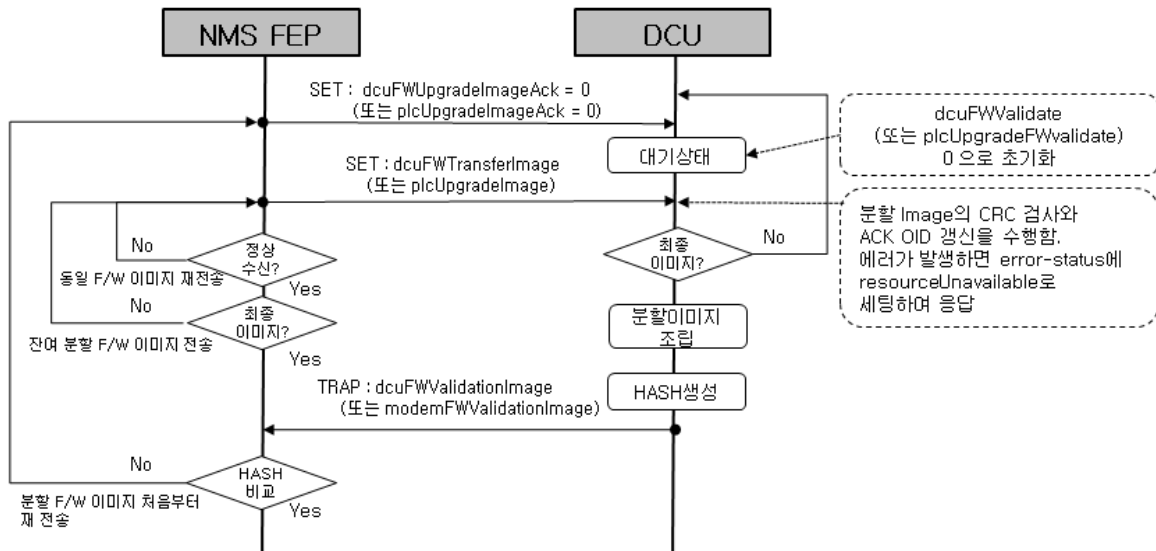


Fig. 6. SNMP 통신을 이용한 DCU 펌웨어 전송 절차.

송 시에는 NMS FEP이 전송 블록의 옵션값을 최종블록을 나타내는 9로 설정하여 전송하고, DCU는 수신 받은 분할된 이미지에 대한 조립 및 무결성 검증을 수행한 후 무결성 체크 결과를 trap으로 전송한다. NMS FEP은 분할된 펌웨어 이미지의 최종 블록을 송신 후 이미지 무결성 검사 완료 trap이 10분 이내에 수신되지 않으면, GET dcuFWValidate를 통해 해쉬값을 얻어와서 무결성 검사완료를 확인하고, 실패시 펌웨어 전송시작 명령을 다시 내려 이미지를 처음부터 다시 재전송 하게 된다.

Process 계층은 수집된 성능정보와 구성정보를 이용

하여 분석 과정을 통해 네트워크 계통정보를 생성하고 이상패턴 감지를 통해 장애 원인을 분석하며, 분석결과에 따라 장애를 처리하거나 담당자에게 통보하는 기능을 제공한다. 네트워크 계통정보는 각 모뎀의 부모 MAC 주소를 이용하여 트리 형태의 계층구조로 생성된다. 모뎀의 장애여부는 주기적으로 수집된 모뎀의 BPS 값이 일정 값 이하로 지속되거나, 해당 모뎀에 연결된 모든 계기들이 외부에 존재하는 검침시스템에서 검침데이터 수집오류로 판정되었을 경우에 장애로 판단하게 된다. DCU의 장애여부는 주기적으로 DCU에 ping 명령

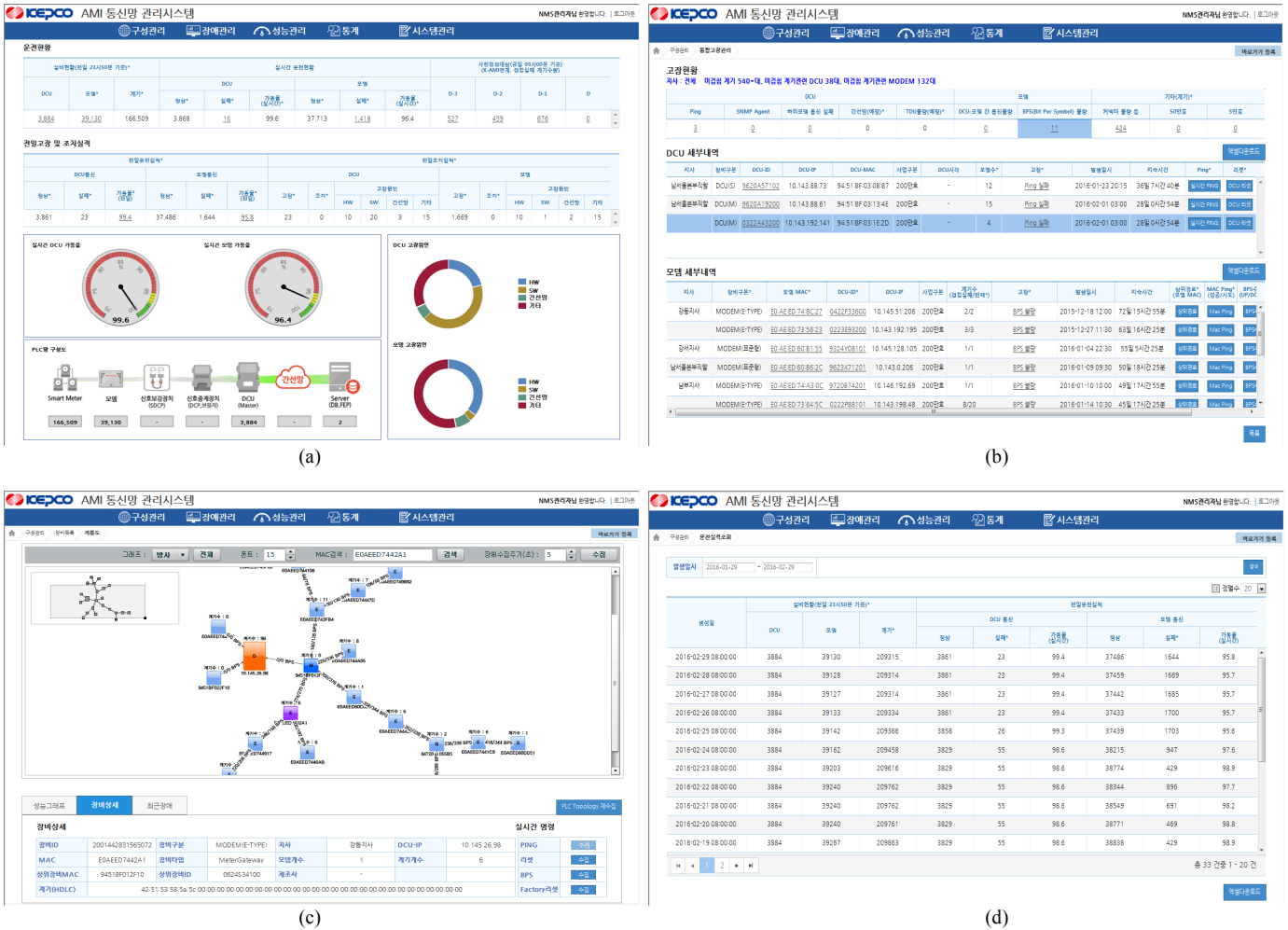


Fig. 7. AMI 망관리시스템의 개발화면. (a) 종합상황판, (b) 사전점검대상에 대한 고장관리, (c) 모뎀의 통신망 계층구조도, (d) 전일 운전실적.

을 수행하여 일정시간 이상 지속적으로 ping에 응답하지 않는 경우를 장애로 판단하게 된다. DCU가 장애인 경우에는 하위에 속한 모뎀의 장애정보는 모두 삭제하여 장애목록을 최소화하게 된다. Presentation 계층은 네트워크 계층도나 통합관리 종합상황판, 장애현황 등의 사용자 화면을 제공한다.

#### IV. 시스템 구현 및 현장운영 결과

본 연구에서는 AMI 망관리시스템을 크게 3개의 서버로 나누어 구현하였다. 3개의 서버는 SNMP 통신으로 DCU로부터 통신망 관련 정보를 수집하는 NMS FEP 서버와, 수집된 데이터를 저장하는 데이터베이스 서버, 관리자에게 정보를 제공하는 웹 서버로 구성된다. AMI 망관리시스템은 각 지역본부 별로 구축되어 운영되며, NMS FEP 서버는 지역본부에 설치된 DCU 목록을 기존에 구축되어 있는 원격점검시스템과 연계하여 설비현황을 파악하게 된다. NMS FEP은 매 15분마다 DCU의 ping 테스트를 수행하며, 매 30분마다 모뎀의 BPS값을 수집한다.

수집된 데이터는 분석 작업을 통해 Fig. 7(a)와 같이 실시간 운전현황, 사전점검대상, 전일운전실적 등과 같

은 종합상황판으로 관리자에게 제공된다. 실시간 운전현황은 매 30분마다 점검서버로부터 적시검침에 실패한 실패계기 목록을 전달받아 생성하는 정보이다. 적시검침은 15분 검침 계기인 경우에는 최근 1 시간 이내의 검침데이터가 하나 이상 존재하며, 1 시간 검침 계기인 경우에는 최근 2시간 이내에 검침데이터가 하나 이상 존재해야 한다. DCU의 실시간 운전현황 실패 판단 기준은 하나의 DCU에 속한 모든 계기가 적시검침 실패인 경우에 해당 DCU를 실패로 판단하며, 모뎀의 실시간 운전현황 실패는 하나의 모뎀에 속한 모든 계기가 적시검침 실패인 경우에 해당 모뎀을 실패로 판단하게 된다. 사전점검대상 목록은 매일 8시 정각에 점검서버로부터 전일 오전 7시부터 당일 오전 7시까지 검침데이터가 하나도 없는 24시간 검침실패계기 목록을 전달받아 하루 한번만 생성한다. 이때 사전점검 대상은 정기 검침일 3일전 (D-3) 계기부터 금일이 정기 검침일(D)인 고객에 대한 검침실패 계기수량만을 대상으로 한다. 저압원격검침시스템을 개발하는 가장 큰 목적은 매일 1회씩 정기 검침일에 검침원이 고객을 방문하여 계기의 월 전력사용량을 검침해 오는 수동검침을 시스템을 통해 자동으로 수집하는 것이다. 따라서 99% 이상의 정기 검침율을 유지하기 위해 검침일 3일 전 계기부터 우선적으로 정상검



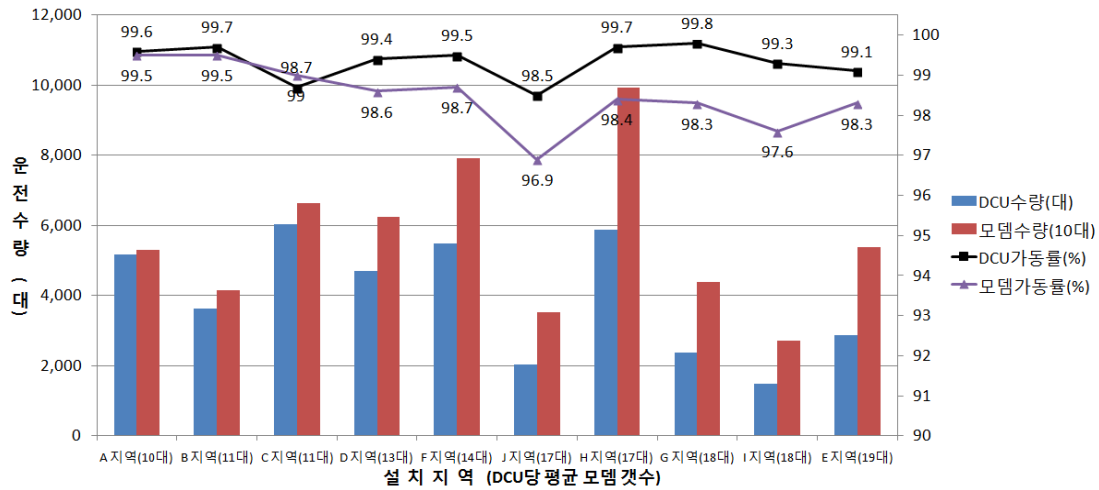


Fig. 8. 10개 지역 현장적용 결과 분석 그래프.

침 여부를 집중 관리할 필요가 있다. Fig. 7(b)는 사전점검 대상 계기들에 대한 고장관리 화면으로 해당 계기들과 관련된 DCU 및 모뎀, 계기의 정보를 조회하고, DCU에 대한 실시간 ping값 수집 및 DCU 리셋, 모뎀에 대한 실시간 BPS 수집, 모뎀 리셋 등의 원격제어 기능을 수행할 수 있다. DCU의 고장상태는 매 15분 주기로 ping을 점검하여 30분 동안 ping 실패시 마이너 장애, 1시간 실패시 메이저 장애, 3시간 실패시 크리티컬 장애로 구분하였다. DCU에 장애가 발생하는 경우에는 해당 DCU에 연결된 모뎀들의 장애는 모두 삭제하여 담당자가 점검해야할 설비 목록을 최소화 하였다. 모뎀은 BPS 값이 50이하로 3시간, 6시간, 12시간 지속될 경우에 장애로 구분하였다. Fig. 7(c)는 DCU에 연결된 모뎀들의 통신연결 계층구조를 나타낸다. 모뎀은 초기 설치시 메시지를 브로드캐스팅하여 가장 BPS 값이 좋은 모뎀을 찾아서 통신망을 구성하게 된다. 망이 구성된 후에도 통신이 안될 경우에는 BPS 값이 좋은 다른 모뎀을 찾아서 새롭게 통신망을 구성한다. 따라서 통신설비 담당자는 계통도를 통해 통신망의 구성과 통신감도 추이 등을 분석하여 신호보강이 필요한지를 판단하는 자료로 사용하게 된다. Fig. 7(d)는 DCU 및 모뎀의 전일 운전실적을 나타낸다. 전일 운전실적은 전일 23시 50분에 전전일 07시부터 전일 07시까지 LP 검침값이 하나도 없는 계기를 기준으로 통신 실패여부를 판단하여 한번 생성한다.

구현된 AMI 망관리시스템은 10개 지역에 설치하여 총 4만대의 DCU와 56만대의 모뎀을 관리하고 있다. Fig. 8은 10개 지역의 DCU 및 모뎀 설치 수량과 한 달 평균 전일운전 가동률을 나타내는 그래프이다. 하나의 DCU 당 평균 14대의 모뎀이 연결되어 있으며, DCU 평균 가동률은 99.3%, 모뎀 평균 가동률은 98.5%로 나타났다. 모뎀 가동률을 살펴보면 DCU에 연결된 모뎀의 개수가 많을수록 가동률이 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 고객이 밀집된 지역으로 제한된 범위 내에서 고객들의 다양한 전력사용으로 인한 잡음이 많아져서 전력선 통신 감도가 떨어져서 발생된 것으로 분석된다. 이러한 지역

은 추후 통신감도 분석을 통해 신호보강 장치 등을 설치하여 가동률을 높일 예정이다.

### V. 결론

본 연구에서는 저압고객의 원격점검을 위해 필요한 통신장비인 DCU와 모뎀에 대한 관리를 담당하는 AMI 망관리시스템을 개발하였다. AMI 망관리시스템은 15분 단위로 DCU의 통신관련 정보를 수집하고 30분 단위로 모뎀의 통신정보를 수집하여 장애 발생여부를 3단계로 구분하여 분류하고, 중복장애 여부를 검토하여 불필요한 장애를 제거하고, 상위장비에서 장애가 발생한 경우 하위장비의 장애내역을 제거하여 장애목록을 최소화하게 된다. 통신 담당자는 AMI 망관리시스템을 이용하여 장애목록을 확인하고, 원격제어를 통해 장애에 대응하며, 모뎀의 통신계층을 파악하고 통신감도 분석을 통해 신호보강 개소를 파악하여 통신망을 안정적으로 관리하게 된다. 본 연구에서 개발된 AMI 망관리시스템은 현장에 설치되어 10개 지역의 DCU 4만대를 감시하고 있다. 한 달간의 시스템을 운영데이터를 분석한 결과 DCU는 평균 99.3%의 가동률을 가지며, 모뎀은 98.5%의 가동률을 갖는 것으로 나타났으며, DCU당 연결 모뎀 개수가 많을수록 모뎀 가동률이 낮아지는 것을 알 수 있었다. 앞으로 본 연구결과를 바탕으로 모뎀의 장애내역 분석을 통해 신호보강이 필요한 지역을 자동으로 추천할 수 있는 기능을 개발할 예정이며, 현재 정의된 SNMP MIB 정보를 보강하여 망관리시스템을 고도화하는 연구를 지속할 예정이다.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the "Development of AMI System using hybrid and composite network (No. 2014101501840)" of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP), granted financial resource

from the Ministry of Trade, Industry & Energy, Republic of Korea.

본 연구는 2014년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(유무선 혼복합형 고신뢰성 AMI 시스템 개발, No. 2014101501840)입니다.

## REFERENCES

- [1] V. Cagri Gungor, Dilan Sahin, Taskin Kocak, Salih Ergut, Concettina Buccella, Carlo Cecati, and Gerhard P. Hancke, "A survey on smart grid potential applications and communication requirements," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol.9, no.1, pp.28-42, February, 2013.
- [2] Young-jun Kim, Do-eun Oh, Jong-min Ko, Young-il Kim, Shin-jae Kang, and Seung-Hwan Choi, "A Remote Firmware Upgrade Method of NAN and HAN Devices to Support AMI's Energy Services," *Convergence and Hybrid Information Technology*, Springer Berlin Heidelberg, pp.303-310, 2011.
- [3] David G. Hart, "Using AMI to Realize the Smart Grid," *IEEE PES, General Meeting*, pp.1-2, July, 2008.
- [4] Vehbi C Güngör, Dilan Sahin, Taskin Kocak, Salih Ergut, Concettina Buccella, Carlo Cecati, and Gerhard P. Hancke, "Smart grid technologies: communication technologies and standards," *IEEE Transactions on Industrial informatics*, vol.7, no.4, pp.529-539, November, 2011.
- [5] 박병석, "PLC(전력선 통신) 기술개발 및 표준화 동향", *전기저널* 2012년 6월호(통권 제426호), pp66-77, 6월, 2012.
- [6] 이수목, 정강식, 임기식, 김명호, "저압원격검침시스템 구축 현황 및 기술동향", 2011 대한전기학회 하계학술대회, pp488-489, 7월, 2011.
- [7] 지식경제부, "제1차 지능형전력망 기본계획", 7월, 2012.
- [8] Su Mi Jung, Chung Ki Seo, and Sang Jin Kim, "The Design of Combined DCU (Data Concentration Unit) System with Power-Line Communication and DOCSIS Cable Modem for AMR (Auto Meter Reading)," *Advanced Engineering Forum*, vol.2, Trans Tech Publications, 2011.
- [9] 한국전력공사, "한전일반구매규격: 저압 원격검침용 데이터 집중장치", 10월, 2015.
- [10] Byung-seok Park, Cheoul-shin Kang, Young-Hun Lee, and Sangyeom Lee, "Study on Smart Meter Concentration Protocol for AMI," *International Information Institute (Tokyo)*, vol.17, no.3, pp-1065-1070, May, 2014.
- [11] Park, Byung-Seok, Cheoul-Shin Kang, and Young-Hun Lee, "Design and Implementation of Smart Meter Concentration Protocol for AMI", *Communication and Networking*, Springer Berlin Heidelberg, vol.265, pp.179-187, 2011.
- [12] 박병석, 최인지, 명노길, 강수경, "중단 모뎀 자율검침 방식 AMI 시스템의 개발", *대한전기학회 스마트그리드연구회 추계학술대회* pp1-3, October, 2015.