

논문 2013-50-9-12

IEEE 802.11s 무선메쉬 기반 AMI 시스템에 관한 연구

(Study on AMI System based on IEEE 802.11s Mesh Technology)

김 영 현*, 명 노 길*, 김 명 수*, 이 상 염*

(Younghyun Kim[Ⓢ], No-Gil Myoung, Myong-Soo Kim, and Sang-Youm Lee)

요 약

AMI는 스마트미터를 기반으로 전력소비자와 생산자간에 양방향 정보 교환을 가능하게 함으로서 에너지 효율을 극대화시키는 시스템이다. AMI 시스템을 성공적으로 구축하기 위해서는 안정된 통신망 구축이 필요하다. 본 논문은 다양한 통신방식 중 IEEE 802.11s 무선메쉬 기술을 AMI 시스템에 적용해 봄으로서 원격검침 통신망으로 활용가능성을 검증한다. 실험 결과, 802.11s 무선기술은 메쉬망을 통해 넓은 커버리지 뿐만 아니라 안정된 통신성능을 제공하는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract

AMI enables bi-directional exchange of information between utilities and consumers in order to maximize energy efficiency. To enable the AMI, it is essentially required to construct stable communication networks. This paper shows the AMI system based on IEEE 802.11s as one of the communication methods. Experimental results show that the wireless mesh network technology achieves a stable communication performance over a wide coverage.

Keywords : AMI(Advanced Metering Infrastructure), NAN(Neighborhood Area Network), IEEE 802.11s, Wireless Mesh Network, Test-bed

I. 서 론

스마트그리드 AMI(Advanced Metering Infrastructure)는 기존 전력망에 IT기술을 접목하여 전력을 공급하는 전력공급자와 전력을 소비하는 소비자 간의 실시간 양방향 정보교환을 통해 에너지 효율을 극대화 시키는 차세대 전력시스템을 일컫는다. 현재 국내·외적으로 AMI 구축을 위한 법·제도, 표준화, 연구개발 측면에서 다양한 노력이 이루어지고 있다. 또한 시범사업 추진이 본격화되면서 시스템 별로 양방향 통신이 가능하고 이를 유기적으로 연계시켜 줄 수 있는 통신 네트워크 구축이

중요한 문제로 대두되고 있다^[1-4].

AMI 사업은 전국에 산재되어 있는 전력량계를 대상으로 하며, 저비용으로 손쉽게 통신망을 구축하고 안정적인 통신성능을 제공하는 것이 핵심이다. 이를 위한 통신방식으로 전력선통신, 소출력무선통신, Zigbee 기술 등이 적용되고 있으나 실 환경에서의 낮은 검침성공률, 저속에 따른 검침시간 지연 문제는 AMI 사업에 큰 걸림돌로 작용하고 있다. 이러한 현실에서 고속의 무선랜 기술을 기반으로 멀티홉으로 확장한 무선메쉬 네트워킹 기술은 AMI 통신망 구축을 위한 대안기술로서 주목받고 있다^[5-7].

본 논문에서는 IEEE 802.11s 기술을 이용 AMI 시스템을 설계하고 구축결과를 소개하기로 한다. 이를 위해 II장에서는 AMI 시스템 개요 및 요구사항, 현 기술의 문제점에 대해 알아본다. III장과 IV장에서는 802.11s 무선메쉬기술을 AMI에 적용하기 위한 시스템을 설계하고, 이를 토대로 테스트베드를 구축, 성능시험을 수행한다. V장은 본 논문을 정리하고 향후 802.11s 무선메쉬

* 정회원, 한국전력공사 전력연구원
(KEPCO Research Institute)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: 04100212@kepco.co.kr)

※ 본 연구는 한전 자체과제로 수행한 연구과제(R10CA01) 및 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행중인 연구과제(20131010501720) 성과물입니다.

접수일자: 2013년7월24일, 수정완료일: 2013년8월21일

기반 원격검침 시스템의 발전방향에 대해 제시하는 것으로 결론을 맺는다.

II. AMI 시스템

1. AMI 시스템 개요

AMI는 전기·가스·수도 등의 에너지 사용정보를 고객 또는 전력회사에 전달하기 위한 시스템이다. 그림 1에

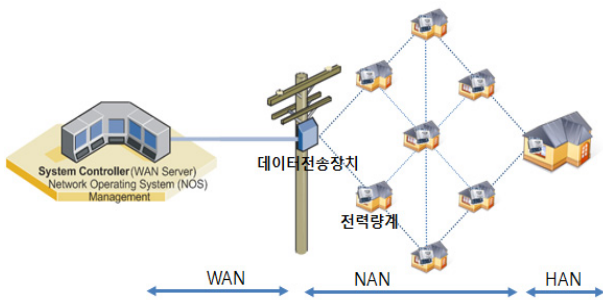


그림 1. AMI 시스템 구성도
Fig. 1. AMI System Architecture.

서 보는 바와 같이 검침데이터 및 단말관리를 위한 운영시스템과 전력량계의 검침데이터를 수집하여 운영시스템에 전달하는 데이터 전송장치, 그리고 전력사용량을 측정하는 전력량계 및 수용가에 다양한 서비스 제공을 위한 홈 단말장치로 구성된다.

AMI 시스템 구축을 위한 통신망은 크게 WAN(Wide Area Network), NAN(Neighborhood Area Network), HAN(Home Area Network)으로 구분할 수 있으며, 이 중 데이터전송장치와 전력량계를 연계하는 NAN 구간은 AMI 사업의 성공여부를 가늠하는 중요요소이다. NAN 영역은 수용가 분포 및 환경에 따라 다양한 전송기술을 적용할 수 있으며, 기본적인 통신요구사항으로는 표 1과 같이 요약할 수 있다^[8]. 이외에 AMI에 대한 성능지표로는 적시수신율을 손꼽을 수 있다. 적시수신율은 실시간 요금제 및 전력수요반응 서비스 제공을 위해 필요한 수용가의 전기사용정보를 운영시스템에 제때 전달되는지를 판단하는 기초로서 국내의 경우 15분 단

표 1. AMI 통신망 요구사항
Table 1. Communication Requirements in AMI.

	Bandwidth	Latency	Reliability	Security
요구 사항	10 ~ 100kbps/node 500kbps for backhaul	2 ~ 15 sec	99 ~ 99.99%	High

위의 검침성공율을 가지고 판단한다.

2. 현 AMI 통신기술의 문제점

전력시스템과 소비자간 전력공급을 효율적으로 운영하기 위한 방안으로 활용 가능한 AMI 시스템은 2010년부터 2013년 5월까지 제주 스마트그리드 실증단지에서 시범사업을 진행중에 있다^[9]. 크게 4개의 컨소시엄을 통해 약 2천가구를 대상으로 다양한 통신기술을 적용해 봄으로서 최적의 상용모델 발굴을 목표로 추진중에 있으며, 현 운영중인 통신기술 현황 및 적시수신율 결과는 표 2와 같다^[10].

표 2에서 볼 것 같으면, 각 컨소시엄별로 다양한 전송기술이 적용·운영 중에 있으나, 15분 단위 적시수신율은 60.9%~86.5%로서 목표치인 90%에 현격하게 부족한 것을 확인할 수 있다. 특히 NAN 대표통신기술로서 언급되고 있는 PLC 및 Zigbee를 이용한 결과이기 때문에 이를 보완할 통신기술에 대한 연구가 필요한 실정이다.

표 2. 제주 스마트그리드 실증단지 AMI 구축현황
Table 2. AMI status in Jeju SG Testbed.

컨소시엄	적시수신율		가구수	통신방식
	15분	5분		
K	79.0%	89.5%	549	WCDMA·Wibro·ROMA
L	86.5%	80.8%	400	유선·Zigbee
S	76.4%	55.0%	549	WCDMA·저속PLC·Zigbee
K	60.9%	12.5%	456	고속PLC·Zigbee

III. IEEE 802.11s기반 AMI 기술개발

II장에서 언급한 적시수신율 개선을 위해서는 안정된 통신망 제공, 특히 NAN 구간에 대한 성능개선이 필요하다. 본 장에서는 상기 문제를 해결하기 위해 IEEE 802.11s 무선메쉬 기술을 이용하여 NAN 통신망 기술에 대한 연구를 수행하고자 한다.

1. 단말설계

NAN 통신망으로서 무선메쉬 망을 구축하기 위해서는 데이터전송장치와 전력량계에 내장되는 통신모뎀이 필요하며 상호간에는 802.11s를 이용 통신을 수행한다. 이를 위해 본 논문에서는 AR9341 SoC를 개발플랫폼으

로 이용하여 개발을 하고자 한다^[11]. AR9341은 802.11 물리계층과 매체접근제어계층이 내장되어 있을 뿐만 아니라, 응용프로세서가 내장되어 802.11s 무선메쉬 프로토콜과 원격검침용 프로토콜(IEC62056)을 동시에 구현, 최적화가 가능하다. 또한 데이터전송장치와 통신모뎀간 성능향상을 위해 2x2 MIMO 방식을 적용함으로써 다이버시티 효과를 얻고자 하였다. 이처럼 설계된 단말 하드웨어 구조는 그림 2-A와 같다.

2. 802.11s 기반 메쉬기술 개발

데이터전송장치와 통신모뎀간 통신방식인 IEEE 802.11s 기술은 2011년에 표준화가 완료되었으며, 이를 토대로 open80211s에서는 802.11s 구현을 위한 무선메쉬 코드를 개발, 오픈소스로 제공하고 있다^[12-13]. 본 논문에서는 이를 활용하여 III-1에서 설계한 플랫폼에 최적화를 수행한다. 개발환경으로는 그림 2-B에서 보는 바와 같이, 리눅스를 기반으로 하며 무선메쉬 기능을 구현하는 aEngine 모듈, 단말관리를 위한 SNMPv2 모듈, 원격 펌웨어관리를 위한 PkgManager 모듈과 검침 프로토콜 구현 및 응용프로그램을 위한 ser2net 모듈로 구성하며 각 모듈의 기능은 다음과 같다.

가. 라우팅 엔진(aEngine)

무선메쉬 노드간 망 구성을 위해 802.11s에서는 HWMP(Hybrid Wireless Mesh Protocol)방식을 사용하며, 기본적으로 루트노드를 중심으로 주기적으로 트리 형태의 경로를 구성하는 Proactive 방식과 데이터 전송 필요시 반응적으로 경로를 구성하는 OnDemand 방식을 결합하여 활용 가능하다. AMI 환경에서 통신모뎀은 수용가의 전력량계에 고정설치되며, 이를 데이터전송장치가 관리하는 형태로 운영된다. 이는 HWMP 방식 중

Proactive 방식과 유사한 것을 확인할 수 있다. 라우팅 엔진은 Proactive 방식으로 동작하며 데이터전송장치를 root 노드로 설정, 하위 통신모뎀과 tree 경로를 형성함으로써 망을 구성한다.

Proactive 방식을 기반으로 망 구성 및 운영을 할 경우 데이터전송장치는 경로생성 및 갱신을 위해 주기적으로 RANN 메시지를 브로드캐스팅한다. 하위 통신모뎀은 RANN 메시지를 수신하면 이에 대한 응답메시지(PREQ)를 데이터전송장치에 전송함과 동시에 하위 통신모뎀에 메시지를 전송하는 과정을 거쳐 경로 업데이트를 수행한다. 이 경우 RANN 메시지를 수신한 다수의 통신모뎀은 동시에 경로 업데이트 정보를 전송하기 때문에 메쉬망은 데이터전송 지연 및 통신 끊김 현상이 발생한다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 RANN 메시지를 수신한 다수의 통신모뎀이 즉시 PREQ를 전송하지 않고, 통신모뎀마다 자신만의 random back-off sequence를 설정한다. 통신모뎀은 서로 다른 패킷 전송 시간이 설정됨으로서 패킷 전송시 트래픽 분산을 피할 수 있으며, 이를 통해 특정시간에 발생하는 지연문제를 해결하고자 하였다.

나. 검침엔진(ser2net)

검침엔진은 전력량계와 주기적으로 통신을 수행하면서 검침정보를 수집하는 역할을 한다. 이를 위해 데이터전송장치에 설치되며, IEC62056 Client로 동작한다.

기존 검침엔진은 전력량계와 1:N polling 방식으로 순차적인 통신을 통해 데이터 취득을 한다. 이 경우 특정모뎀에서 무선통신 성능열화로 인해 통신지연현상이 발생할 경우 전체검침소요시간이 증가하는 문제점을 안고 있다. 특히 기존 방식으로는 AMI 중요 고려사항인 90% 이상의 적시검침율을 달성하는데 상당한 장애요인

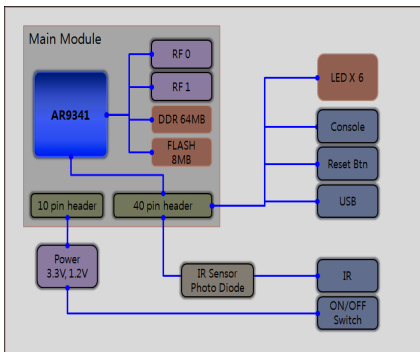


그림 2-A. 하드웨어 구조
Fig. 2-A. HW Architecture.

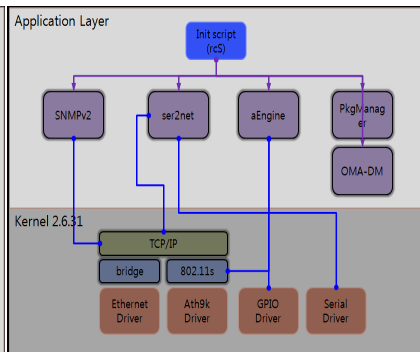


그림 2-B. 소프트웨어 구조
Fig. 2-B. SW Architecture.

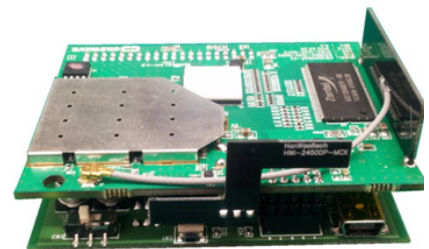


그림 2-C. 802.11s기반 모뎀
Fig. 2-C. Modem based on IEEE 802.11s.

으로 작용할 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 1:N polling 방식이 아닌 multi-thread 방식을 이용, 검침엔진을 개발하였다. 즉, 데이터전송장치는 검침데이터 취득을 위해 전력량계 수만큼 thread를 생성하고 각 thread는 전력량계와 개별통신을 수행함으로써 동시에 검침데이터를 취득한다. 이 경우 기존 방식의 문제점으로 지적된 특정모뎀의 검침지연문제를 손쉽게 해결할 수 있으며, 이를 통해 검침소요시간을 단축하여 15분 적시검침율을 향상시킬 수 있다.

다. 단말관리 및 펌웨어 엔진(SNMPv2 & PkgManager)

단말관리엔진은 서버와 주기적으로 통신을 수행하면서 단말상태 및 무선메쉬 통신상태정보를 주기적으로 전송하는 역할을 수행한다. 상태정보에 대한 정보모델링은 KEPCO Integration mib을 활용하며, 서버와 통신방법으로는 SNMPv2 프로토콜을 이용한다^[14].

설치된 단말의 단순 버그 및 기능개선을 위해서는 통상적으로 현장에 출동하여 펌웨어 업데이트를 수행해야 하지만, 다수의 단말을 관리하는 AMI 시스템에서는 일일이 현장에서 업데이트 하는 것이 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 펌웨어관리 엔진은 단말의 하드웨어 이외의 펌웨어 및 소프트웨어를 관리하며, 서버에서 요청시 단말업데이트를 수행한다. 서버와의 통신방식으로는 OMA DM 방식을 사용하였다^[15].

IV. 테스트베드 구축 및 성능시험

이 장에서는 III장에서 개발한 시스템이 NAN 통신망으로 활용가능함을 확인한다. 이를 위해 802.11s 기반 무선메쉬 통신망을 구축하고 성능시험을 수행한다.

1. 테스트베드 개요

II장에서 언급한 실증단지과 유사한 환경을 구축하고 비교검증을 수행하기 위해 4개의 옥외지역의 199개 전력량계를 이용하여 테스트베드를 구축한다.

구축한 테스트베드는 그림 3에서 보는 바와 같이, 데이터전송장치를 기준으로 20~73개의 전력량계가 분포되어 있으며, 데이터전송장치와 전력량계간 최대거리는 약 370m이다. 인접 셀 간 간섭문제를 해결하기 위해 채널 및 SSID를 구분하였으며, AMI 보안성을 강화하기 위해 데이터전송장치와 통신모뎀간에는 ARIA를 이용 데이터 암호화를 수행하였다. 상기와 같이 설계된 통신

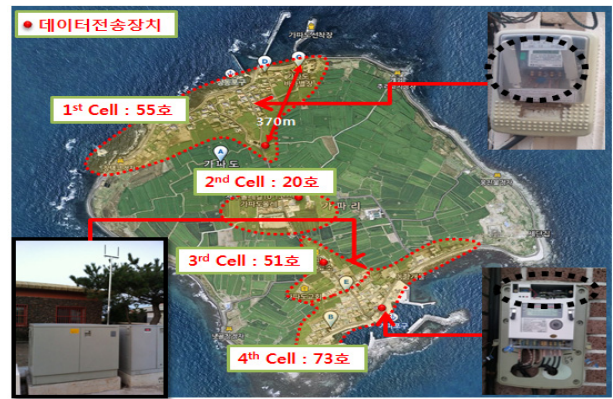


그림 3. 테스트베드 구축현황

Fig. 3. A network status in a test-bed.

망은 데이터전송장치를 기준으로 인접 통신모뎀과 자동으로 메쉬통신망을 구성하며, 데이터전송장치는 15분 주기로 수용가의 전력사용정보를 수집한다.

2. 성능시험결과

AMI 통신망 구축시 성능검증 요소로는 표 1의 통신속도와 지연뿐만 아니라, 적시검침율을 측정할 수 있다. 구축한 테스트베드에서는 199개의 전력량계를 대상으로 총 40회 시험을 반복 수행하여 통신성공율, 평균지연시간, 속도 및 검침성공율을 측정한다. 평균 지연시간은 데이터전송장치에서 통신모뎀으로 ping 시험을 하며 이때 4번의 패킷을 보내고 수신된 데이터의 지연시간 값을 평균하여 계산한다. 통신성공율은 4번의 패킷 송신시 1번 이상의 패킷수신이 가능하면 통신가, 4번 모두 실패시 통신불가로 판정한다. 속도의 경우 iperf 프로그램을 이용, 취득한 값의 평균을 계산하며, 검침성공율은 검침엔진을 통해 전력량계의 검침데이터 수집가능여부를 확인하기로 한다.

표 3은 상기 시험을 통해 구축된 메쉬망의 hop에 따른 단말분포 현황이다. 데이터전송장치와 1 hop 통신을

표 3. 테스트베드 구축 현황(홉에 따른 단말 분포)

Table 3. A network status in a test-bed.

	1 st Cell	2 nd Cell	3 rd Cell	4 th Cell	Total
1 hop	16	13	17	38	84
2 hop	26	2	22	22	72
3 hop	10	3	10	10	33
4 hop	3	2	2	3	10
Total	55	20	51	73	199

수행하는 통신모뎀은 총 84대인 반면, 2 hop 이상의 메쉬망을 통해 연결된 모뎀은 115대로 전체 단말의 58%를 차지한다. 이처럼 메쉬망은 기존 1 hop 통신방식에 비해 다수의 단말수용 및 장거리 전송이 가능하며, 이를 통해 NAN 통신망 구축비용을 절감할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 각 지역별 hop 증가에 따른 통신성공율을 그래프로 표시하였다. ping을 이용 측정된 무선메쉬망 전체 통신성공율은 97.1%이며, 2번 ~ 4번 셀의 경우 hop 수에 관계없이 안정적인 통신이 가능한 것을 확인할 수 있다. 이에 반해 1번 셀의 경우 1 hop ~ 3 hop까지는 95%의 안정적인 통신이 가능한 반면, 4 hop에서는 87%로 상대적으로 낮은 통신성공률이 측정되었다. 그림 3에서 볼 것 같으면, 2번 ~ 4번 셀의 경우 데이터전송장치와 최하위 통신모뎀간 거리는 120m, 170m, 280m인 반면 1번 셀의 경우는 370m이다. 즉, 통신성공률 저하 원인으로 장거리 전송에 따른 불안정한 채널상황 및 이에 따른 성능열화로 파악된다. 이처럼 802.11s를 이용 무선메쉬망 구축시 고려사항으로는 데이터전송장치와 전력량계간 최장거리에 대한 고려가 필요하다.

IEEE 802.11 기술은 고속 데이터 전송이 가능함에 따라 다양한 서비스 연계가 가능하다. 이를 확인하기 위해 통신망 속도 및 지연시간을 측정하였으며 결과는 그림 5와 그림 6과 같다. 지연시간은 평균 287.9ms, 속도는 1.29Mbps로 측정되었다. 좀 더 자세히 볼 것 같으면, 지연시간의 경우 2번 ~ 4번 셀의 경우 최대 150ms 이내인 반면 1번 셀의 경우 평균 510ms이다. 이는 2번 ~ 4번 셀의 경우 데이터전송장치가 수용가 중심에 위

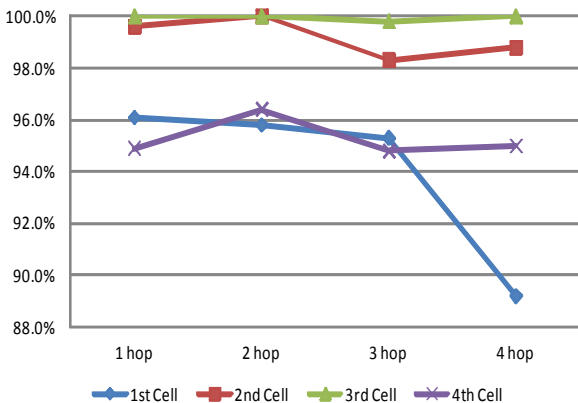


그림 4. 메쉬망에서의 통신성공율
Fig. 4. Communication Success Rate in relation to the hop count.

치함으로서 hop 간 거리가 일정한 반면, 1번 셀의 경우 1 hop 통신을 수행하는 통신모뎀과 데이터전송장치간 거리가 약 150m 떨어져 위치함으로서 상대적으로 지연이 크게 발생하는 것으로 확인되었다. 멀티홉에 따른 성능영향으로는 속도의 경우 hop 증가에 따라 약 50%씩 성능감쇄가 발생한다. 지연시간은 속도와 비슷한 패턴을 보이지만, 1번 셀의 경우 1 hop에서 3 hop까지는 hop 증가에 따라 단말경유로 인해 지연이 증가한 반면, 4 hop에서는 3 hop보다 지연시간이 낮게 측정되는 것을 확인할 수 있다.

199개의 전력량계를 대상으로 수행한 검침성공율은 40회 반복시험을 통해 100% 검침이 가능하였다. 이는 검침엔진이 15분 검침시간 중 채널환경을 주기적으로 확인하여 통신이 원활할 때 검침데이터를 취득함으로써 앞에서 확인한 통신성공율에 비해 높은 성공률을 확보할 수 있었다.

지금까지 시험결과를 토대로 802.11s 무선메쉬 통신망은 표 1에서 정의한 AMI 통신망 요구사항을 만족할 뿐만 아니라 기 구축 운영중인 시스템에 비해 안정된 성능을 제공하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 기 구축 운영중인 zigbee와 같은 저속의 네트워크에서 제공이 어려웠던 다수의 단말에 대상으로 한 실시간 검침이 용이할 뿐만 아니라 수용가 홈단말장치와 연계를 통한 전력정보 제공 서비스를 제공할 수 있다. 이처럼 802.11s 기술의 장점을 토대로 AMI NAN 통신망으로 활용되기 위해서는 본 논문에서 검증하지 못한 1 Cell에서의 최대 수용가능 단말 수, 다수의 단말에 의한 트래픽 집중 및 주위간섭에 따른 영향분석, airtime metric을 기반으로 한 802.11s 성능 최적화 문제 등에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

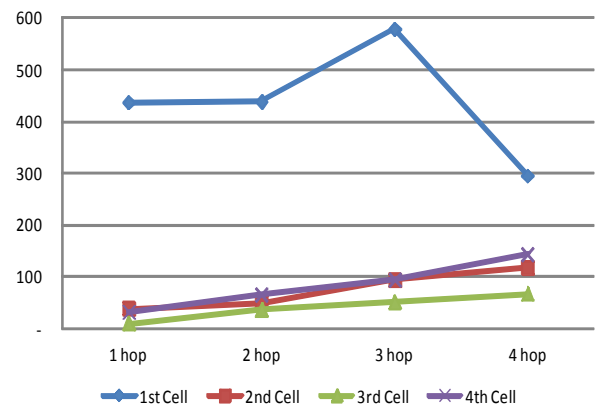


그림 5. 메쉬망에서의 지연시간
Fig. 5. Latency evaluation in relation to the hop count.

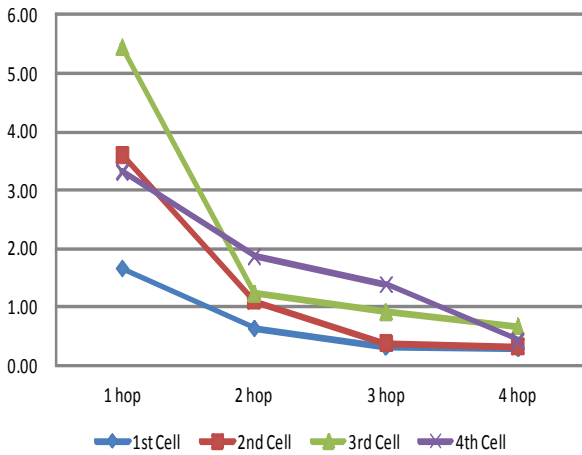


그림 6. 메쉬망에서의 통신속도
Fig. 6. Communication Speed in relation to the hop count.

V. 결 론

본 논문에서는 전력소비자와 생산자간 에너지정보교환을 위한 시스템으로 각광받고 있는 AMI 시스템과 AMI 통신망 구축을 위한 후보기술로서 무선메쉬 기술에 대해 알아보았다. 특히 다수의 단말 수용 및 안정된 통신환경 제공을 위해 AMI용 IEEE 802.11s 무선메쉬 기술을 개발하고 이를 토대로 테스트베드 구축 및 성능검증을 수행하였다. AMI NAN 통신망은 기존 상용통신망과 다르게 주기적인 데이터 취득이 목적이며, 이에 따라 고속보다는 넓은 커버리지, 안정된 통신환경 제공이 가장 중요한 요소이다. 이에 테스트베드를 통해 검증된 802.11s 무선메쉬 기술은 기존 Wi-Fi 방식에 비해 넓은 커버리지 제공이 가능하며, 메쉬망을 통해 안정된 성능을 제공할 수 있는 것을 확인하였다. 본 논문을 통해 검증된 802.11s 무선메쉬 기술은 AMI NAN 통신망에 효과적으로 적용될 수 있는 기초를 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

[1] 지식경제부, “제1차 지능형 전력망 기본계획”, 2012. 7.
[2] 지식경제부, “스마트그리드 표준화 프레임워크”, 2012. 3.
[3] <http://www.sgstandard.org/>
[4] 장순건 외, “차세대 검침기반 구조를 위한 스마트미터 검침기 제어 프로토콜의 구현과 성능분석,” 대한전자공학회 논문지, 제48권 TC편 제3호 41-49

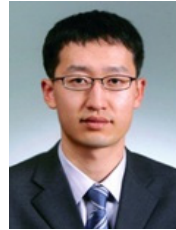
쪽, 2011년 3월
[5] 김장권, 조영빈, “USN기반의 AMI 기술개요,” 대한전자공학회지, 제36권 제12호 45-56쪽, 2009년 12월
[6] 안윤영, 박창민, “스마트그리드에서의 AMI 네트워크 기술동향,” 정보통신산업진흥원, 주간기술동향 1566호, Oct. 2012
[7] 정지선, 김재범, 곽영배, 이상엽, “스마트그리드를 위한 IEEE 802.11s기반 무선메쉬 네트워크,” 한국통신학회 논문지, 제35권 제 9호, 1390-1398쪽, 2010년 9월
[8] “Smart Grid ICT,” Pike Research, 2Q, 2012
[9] <http://smartgrid.jeju.go.kr>
[10] 박태준, “스마트그리드 AMI 상용화 역부족,” 전자신문, 2013년 3월
[11] <http://www.atheros.com>
[12] IEEE P802.11s/D12.0, “Amendment 10: Mesh Networking,” IEEE, May 2011
[13] <http://open80211s.org>
[14] “저압 원격검침용 데이터 집중장치,” 한국전력공사, 2012년 6월
[15] 김영현, 명노길, 이상엽, 최인지, 박병석, “AMI에서의 장치관리 기술 적용방안에 관한 연구,” 한국통신학회 논문지, 제36권 제 5호, 511-516쪽, 2011년 5월

— 저 자 소 개 —



김 영 현(정회원)
 2002년 한국항공대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.
 2004년 광주과학기술원 정보통신 공학과 석사 졸업.
 2004년~현재 한전 전력연구원 선임연구원.

<주관심분야 : 통신시스템 설계 및 분석, 스마트그리드>



명 노 길(정회원)
 2003년 충북대 전기전자공학부 학사.
 2003년~2004년 무선국관리사업단 근무.
 2006년 KAIST 정보통신공학과 석사.

2006년~현재 KEPCO Research Institute 선임연구원.

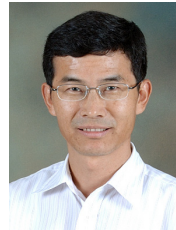
<주관심분야 : AMI, 스마트그리드>



김 명 수(정회원)
 1996년 명지대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.
 2008년 펜실베니아주립대학교 전기공학과 석사 졸업.
 2011년 펜실베니아주립대학교 컴퓨터공학과 박사 졸업.

1996년~현재 한전 전력연구원 선임연구원.

<주관심분야 : 전력통신망 설계 및 분석, 전력자동화시스템, AMI, 스마트그리드>



이 상 염(정회원)
 1996년 동국대학교 전자공학과 학사 졸업.
 2007년 충남대학교 정보통신 공학과 석사 졸업.
 2000년~현재 한전 전력연구원 책임연구원.

<주관심분야 : 스마트그리드, 전력자동화통신망>