

논문 2014-51-1-2

# IEEE 802.11s기반 WMN을 사용한 Smart Grid Application의 QoS 성능향상 방안 연구

( QoS improving method of Smart Grid Application using WMN based IEEE 802.11s )

임 은 혜\*, 정 회 진\*\*, 김 영 현\*, 김 병 철\*\*\*, 이 재 용\*\*\*

( Eun Hye Im, Whoi Jin Jung, Young Hyun Kim, Byung Chul Kim, and Jae Yong Lee<sup>Ⓢ</sup> )

## 요 약

무선 메쉬 네트워크는 멀티홉 기반의 유연한 망구성 및 확장성이 높은 이점으로 관심을 받고 있으며, 최근 전 세계 전력회사에서도 스마트 그리드 네트워크에 무선 메쉬 네트워크 기술을 적용하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 스마트 그리드란 전력공급과정에 정보통신기술을 접목시켜 전력공급자와 소비자간 실시간 양방향 정보교환을 통해 에너지 효율을 최적화한 차세대 지능형 전력망으로, 스마트그리드 환경에서 실시간성 및 시급성 등으로 인한 중요한 데이터에 대한 QoS 보장은 필수적이다. 이에 본 논문에서는 국내의 전력용 통신시스템을 바탕으로 스마트그리드 어플리케이션 특성 분석 및 스마트그리드 메쉬 네트워크 구축 방안을 설계하고, IEEE 802.11s의 예약기반의 매체 액세스 매커니즘인 MCCA를 적용함으로써 QoS 성능향상 방안을 제시한다. 이를 검증하기 위해서는 NS-2 시뮬레이션을 이용하여 성능분석을 수행하고, 예약기반의 MCCA가 안정적인 대역폭을 보장함으로써 성능이 향상됨을 보였다.

## Abstract

Wireless Mesh Network(WMN) has drawn much attention due to easy deployment and good scalability. Recently, major power utilities have been focusing on R&D to apply WMN technology in Smart Grid Network. Smart Grid is an intelligent electrical power network that can maximize energy efficiency through bidirectional communication between utility providers and customers with ICT(Information Communication Technology). It is necessary to guarantee QoS of some important data in Smart Grid system such as real-time data delivery. In this paper, we suggest QoS enhancement method for WMN based Smart Grid system using IEEE 802.11s. We analyze Smart Grid Application characteristics and apply IEEE 802.11s WMN scheme for Smart Grid in domestic power communication system. Performance evaluation is progressed using NS-2 simulator implementing IEEE 802.11s. The simulation results show that the QoS enhancement scheme can guarantee stable bandwidth irrespective of traffic condition due to IEEE 802.11s reservation mechanism.

**Keywords :** WMN, Smart Grid, QoS, MCCA

\* 정회원, 한전전력연구원 배전연구소  
(KEPCO Research Institute Power Distribution Laboratory)

\*\* 학생회원, \*\*\* 평생회원, 충남대학교 정보통신공학부  
(Department of Information and Communications Engineering, Chungnam National University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: jy1@cnu.ac.kr)

접수일자: 2013년7월23일, 수정완료일: 2013년12월26일

## I. 서 론

최근 무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Networks)는 경제적인 망 유지비용, 멀티 홉 기반의 유연한 망 구성 및 확장성이 높은 장점을 가진 차세대 무선 멀티홉 인프라로서 많은 관심을 받고 있으며, 전력사 및 전력

관계사에서도 스마트 그리드(Smart Grid) 네트워크 구축을 위한 기술후보로 떠오르고 있다. 스마트 그리드란 전력공급과정에 정보통신기술을 접목시켜 전력공급자와 소비자간 실시간 양방향 정보교환을 통해 에너지 효율을 최적화한 차세대 지능형 전력망이다. 스마트 그리드는 기후변화에 대응하기 위한 온실가스 배출감소 및 에너지효율 향상을 위한 핵심 수단이 되고 있으며, 현재 미국, 유럽, 일본 등 전 세계 다수의 국가에서 스마트 그리드 구축을 추진하고 있다. 우리나라 역시 “스마트 그리드 구축을 통한 저탄소 녹색성장 기반조성”이라는 비전아래 2030년까지 세계 최초 국가단위 스마트 그리드 시스템 구축을 목표로 하고 있으며, 기존에 운용 중이던 원격검침(AMI : Advanced Metering Infrastructure), 배전 자동화 시스템(DAS : Distribution Automation System) 등 다양한 서비스들을 스마트 그리드 시스템에 융합하여 통합 운용할 계획이다.<sup>[1]</sup>

다양한 서비스 융합에 따른 스마트 그리드 특성에 맞는 네트워크 설계 및 구축에 대한 연구가 필요하고, 무선 메시 네트워크의 규모가 확장될수록 중간 노드에서 집중되는 트래픽으로 인한 병목현상을 해결하기 위한 연구가 필요하다. 특히, 동시에 다양한 트래픽이 집중될 때, 스마트 그리드 특성에 의한 실시간성, 시급성, 중요성을 가진 데이터에 대해서 QoS 보장은 필수적이며, 본 논문에서는 스마트 그리드 어플리케이션의 QoS 성능향상 방안을 제시한다.

무선의 표준인 IEEE 802.11에서는 매체 액세스 접근 방식을 위해 기본적으로 CSMA/CA 경쟁방식을 사용하기 때문에 전송해야 할 무선 노드 수가 증가할수록 충돌확률이 높아지고 데이터 재전송 횟수가 증가함에 따라 네트워크 성능이 감소하여 QoS 제공이 힘들다.<sup>[2]</sup> 이를 개선하기 위한 방법으로 EDCA 방식이 나왔지만 여전히 경쟁기반 방식으로는 실시간 또는 대용량 트래픽 발생 시 멀티홉 네트워크에서 QoS 제공에 한계가 있다.<sup>[3][4]</sup> 이의 대안으로 IEEE 802.11s<sup>[5]</sup>에서 예약기반의 비경쟁 액세스 매커니즘을 정의하였고, 이 매커니즘을 적절히 활용하면 QoS 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 국내의 전력용 통신시스템을 바탕으로 스마트 그리드 어플리케이션 특성 분석 및 스마트 그리드 메시 네트워크 구축 방안을 설계하고, 스마트 그리드 환경의 QoS 트래픽을 정의하여 IEEE 802.11s의 예약기반의 매체 액세스 매커니즘을 적용함으로써 QoS

성능향상 방안을 제시하였다. 이를 검증하기 위해서는 NS-2 시뮬레이션을 이용하여 성능분석을 수행하였다.

본 논문에서는 관련 기술의 동향 분석과 수행된 연구 내용을 제시하였으며 그 구성은 다음과 같다. 먼저 연구의 목적과 필요성에 대해 기술한 I 장 서론에 이어서 II장에서는 스마트 그리드 네트워크 및 어플리케이션 분석에 대해 기술한다. III장에서는 IEEE 802.11 매체 액세스 매커니즘 및 QoS 제공 한계에 대해서 기술하고 IV장에서는 802.11s의 MAC과 MCCA 매커니즘을 기술한다. V장에서는 NS-2 시뮬레이션을 이용하여 성능분석을 수행하고 마지막으로 VI장에서는 결론 및 향후 연구계획을 제시함으로써 본 논문을 마무리 한다.

## II. 스마트 그리드 어플리케이션 분석

국내외의 스마트 그리드 네트워크 구축사례를 보면, 스마트 그리드 네트워크의 NAN(Neighborhood Area Network)과 WAN(Wide Area Network) 영역에서 사용가능한 어플리케이션은 원격검침(AMI) 뿐만 아니라 배전자동화(DAS), 전력품질(Power Quality) 정전관리(Outage Management), 이동서비스(Mobile Workforce) 등의 서비스가 될 수 있다.<sup>[6]</sup> 본 논문에서는 네트워크 확장이 용이한 NAN 영역의 스마트 그리드 접속망 중 WMN 적용이 가능한 어플리케이션을 국내의 전력용 통신 시스템을 바탕으로 AMI와 DAS로 분류하고 각각의 시스템에 대해 간단히 분석하고, 스마트 그리드 메시 네트워크 구축방안을 설계한다.

### 1. 원격검침(AMI)

AMI는 전력량계의 검침 데이터 및 고객정보와 관련된 데이터를 고객 또는 전력회사에 전달하기 위한 양방향 통신시스템으로서 지능형 원격검침시스템으로 불린다. 또한 AMI는 고객 만족도 향상과 발전 원가절감을 동시에 이루어 고객과 전력회사가 윈-윈 하는 시스템으로 에너지 절감을 위한 일반 가정의 가전기기, 냉난방기 등의 제어관리 시스템과의 연계를 통해 에너지 관리 기술로 진화하고 있다.<sup>[7]</sup> AMI는 스마트 그리드의 핵심 인프라로서 에너지 효율을 최적화 할 수 있는 기술이라 할 수 있다. 스마트 그리드의 지능형 소비자를 위한 추진전략인 다양한 요금제 서비스(선불형, 계시별 차등, 최대피크, 실시간) 및 수요반응(DR, Demand Response)

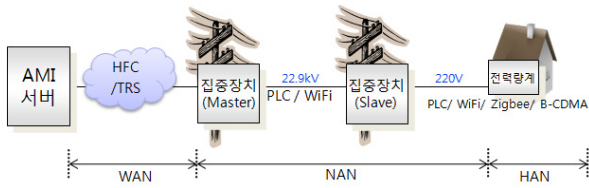


그림 1. AMI 구성도  
Fig. 1. AMI Configuration.

서비스를 지원하며, 양질의 전력정보와 인센티브를 제공하기 위한 QoS 보장은 필수적이다.

AMI시스템은 <그림 1>과 같이 크게 AMI서버, 집중장치(DCU, Data Concentrator Unit), 전력량계의 3개 부분으로 구성되며, 전력량계의 데이터는 유무선 통신(PLC, Zigbee, B-CDMA 등)을 통하여 인근 변대주(변압기가 설치된 전신주)에 설치된 집중장치로 전송되고, 집중장치에서 수집된 정보는 HFC(Hybrid Fiber Coaxial)망 또는 D-TRS(Digital Trunked Radio System)망을 통해 서버로 전송되어 고객의 전력사용량 정보, 계기정보 및 상태정보 등을 관리한다.

서버와 집중장치 간 HFC 임대망 회선을 통해 통신함에 따라 회선임대비용을 줄이기 위한 대안으로 한 회선을 다수개의 집중장치가 공유하기 위해 NAN (Neighborhood Area Network) 영역의 집중장치 간 Master-Slave 구성방법이 있으며, 이는 기존에 구성된 망에 DCU 추가 확장 시 네트워크 확장성 측면에서도 유연하게 대응할 수 있다. Master 집중장치(DCU(M))와 Slave 집중장치(DCU(S))로 연계된 집중장치 간 통신을 위해 다양한 유무선 기술을 사용할 수 있다. 무선 LAN 및 PLC 기술 등이 있는 가운데, 집중장치 간 통신에 있어서 현재 대부분 동축-PLC 기술이 적용되며 기술적 한계로 최대 1:3의 스타구조의 Master-Slave 구성으로 운영 중이다.

## 2. 배전자동화(DAS)

DAS는 배전계통과 수용가까지의 모든 전력설비를 원격에서 관리, 감시 및 제어하기 위해 운영되는 배전자동화시스템으로 정전시간 감소, 배전계통의 최적화 운전 효과, 전기품질의 실시간 감시 등의 기능을 제공하고 있으며, DAS는 배전망, 분산전원 설비 등에 대한 원격 감시제어 범위를 대폭 확대한 배전 지능화 시스템으로 발전하고 있다.<sup>[8]</sup> DAS는 전력설비 감시를 위해 주기적인 데이터 전송이 발생되기 때문에 설비 또는 회

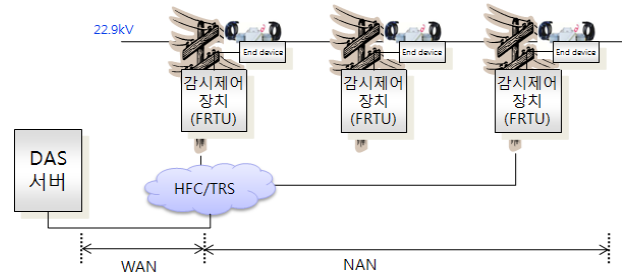


그림 2. DAS 구성도  
Fig. 2. DAS Configuration.

선 사고 시 적절한 제어를 수행하고, 신속한 데이터 전달 및 신뢰성을 확보하기 위해 QoS 보장이 필수적이다.

DAS 시스템은 <그림 2>와 같이 서버, 감시제어장치(FRTU, Feeder Remote Terminal Unit), End device (개폐기, 리클로저 등의 감시제어 대상 설비)로 구성되며, 감시제어장치는 개폐기와 같은 전력설비에 기본정보 및 감시제어 정보를 주기적으로 또는 이벤트 발생 시 서버와 통신한다. DAS 시스템의 설비는 옥외에 시설되어 가혹한 자연환경에 노출되며 지형지세에 따라 최적화된 통신망 구축이 필요하므로 광, 전화회선, TRS 방식 등 다양한 통신매체와 통신방식이 적용된다.

현재 약 90%가 광통신망으로 구축되어 있으며 이 또한 회선 임대비용이 발생함에 따라 경제적인 통신망 구축 방안이 필요하다. 이미 구성된 환형망 구조의 광통신망에 FRTU 추가 확장 시, AMI 시스템과 마찬가지로 FRTU를 Master-Slave 구조로 운영함으로써 네트워크 확장을 용이하게 할 수 있고, Master FRTU의 한 회선을 공유하여 Slave FRTU를 운영한다면 더 경제적인 통신망 구축이 가능할 것이다. 따라서 경제적인 망 유지비용, 멀티 홉 기반의 유연한 망 구성 등의 장점을 가진 무선 메시 네트워크를 적용한다면 그 효과 역시 상당히 기대가 크다.

## 3. 스마트 그리드를 위한 WMN 구축

AMI와 DAS 분야에 NAN 영역의 통신을 위해 멀티 홉 기반의 무선 메시 네트워크를 적용한다면 네트워크 확장이 용이 할 수 있다. 또한 여기에 Master-Slave 구성방법을 적용하여 변대주 라인의 환형망 광통신구간에 Master 통합단말장치(다양한 스마트 그리드 서비스 지원을 위한 장비)와 하부적인 Slave 통합단말장치로 구성한다면, 기존에 구성되어 있는 환형망의 구조를 이용하면서, 하부단의 관리대상 장치의 추가 또는 신설시

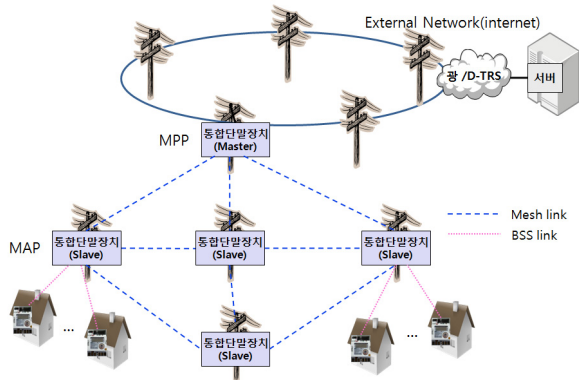


그림 3. 스마트그리드 메쉬토폴로지 구성도  
Fig. 3. Smart Grid Mesh Topology configuration.

유연한 망 구축이 가능할 뿐만 아니라 N개의 Slave 장비들은 Master 장비의 회선을 공유함으로써 경제적인 망구축이 가능하다. 이를 위한 스마트 그리드 메쉬 토폴로지를 <그림 3>과 같이 구성할 수 있다.

스마트 그리드 메쉬 토폴로지 구성은 <그림 3>에 나타낸 것처럼 MPP(Mesh Potal Point), MAP(Mesh Access Point)로 구성되며, Master 장비는 MPP가 되어 유선구간에 연결해주는 게이트웨이 역할을 하고, N개의 Slave 장비는 MAP가 되어 멀티홉의 다양한 경로를 통해 스마트 그리드 관련 어플리케이션 데이터를 MPP로 전송하는 중간노드 역할을 한다. 네트워크 규모가 커지면 커질수록 중간노드에 집중되는 트래픽이 급증하는 경우 또는 스마트그리드 환경에서 긴급사고시 특정구간에 다양한 트래픽이 동시에 발생하는 경우, 병목현상으로 전체적인 성능저하가 발생할 수 있기 때문에 이를 고려한 네트워크 설계 및 성능향상 방안이 필요하다.

본 논문에서는 효율적인 데이터 전송을 위해 데이터 특성과 우선순위를 고려하여 스마트 그리드 환경의 QoS트래픽(Q트래픽)을 정의하고 일반트래픽(N트래픽)과 구분하여 관리한다. QoS 성능향상을 위해 정의된 Q트래픽에 IEEE 802.11s에서 선택적으로 제공하는 예약 기반의 비경쟁 액세스 매커니즘을 적용하여 QoS 만족 방안을 제시하였다. 또한 스마트 그리드 어플리케이션에 대한 주요 데이터 종류<sup>[9~10]</sup>는 AMI 서비스의 검침데이터, LP(Load Profile)데이터, 망운용데이터 및 트랩, DAS 서비스의 감시제어데이터, 과형데이터, 망운용 데이터 및 트랩으로 구분되며 각 데이터의 최대크기와 요구 전송속도 및 트래픽구분은 표 1과 같이 분석하였다.

예를 들어, AMI의 검침데이터는 132바이트 (헤더 및

표 1. 스마트 그리드 어플리케이션 분석  
Table 1. Analysis of Smart Grid Application.

서비스	데이터 종류	최대 크기	주기	요구 전송속도	트래픽 구분
AMI	검침 데이터	27KB	60s	10 Kbps 이내	Q
	LP 데이터	27KB	60s	10 Kbps 이내	Q
	망운용 데이터	4KB	300s	1 Kbps 이내	N
	망운영 트랩	3KB	1s	30 Kbps 이내	N
DAS	감시제어 데이터	3KB	3s	10 Kbps 이내	Q
	과형 데이터	2500KB	180s	120 Kbps 이내	Q
	망운용 데이터	4KB	300s	1 Kbps 이내	N
	망운영 트랩	3KB	1s	30 Kbps 이내	N

CRC를 제외한 Data 크기) × 200 (한 DCU당 통신이 가능한 전력량계 최대 개수)로 산출하고, 전송주기는 현재 시스템에서 요구하는 데이터 주기를 토대로 향후 스마트 그리드 시스템에서 요구되는 수준을 반영하였다. 요구전송속도는 특정 서비스의 QoS를 만족시키기 위한 최소 대역폭을 측정하는 지표로 활용하기 위해 최대데이터크기에 대한 데이터 특성에 따른 전송주기(27 Kbytes/ 60s + a)로 도출하였다. 또한 스마트그리드 어플리케이션의 트래픽을 QoS(Q)트래픽과 일반(N)트래픽으로 구분하여 관리하며, 실시간성, 시급성, 중요성에 의해 실시간검침을 위한 검침데이터 및 LP데이터, 배전 자동화의 감시 및 고장예지를 위한 감시데이터 및 과형 데이터를 QoS 트래픽으로 분류하였다.

### III. IEEE 802.11의 QoS 한계

본 장에서는 Independent BSS(Basic Service Set) 네트워크 구조에서 적용 가능한 DCF 기법 및 QoS 한계에 대해 기술한다. IEEE 802.11 MAC의 기본적인 매체 접근 방식인 DCF는 임의의 무선 노드의 데이터를 전송하기 전에 채널의 상태를 파악하고, 충돌을 피하기 위하여 노드에서는 랜덤 백오프 알고리즘을 이용한다. 즉, 랜덤한 백오프 시간을 선택하고 백오프 시간이 0이 될 때까지 기다리면서 채널을 감지한다. 랜덤 백오프 시간은 식 (1)을 사용하여 계산되고, 경쟁 윈도우 값인

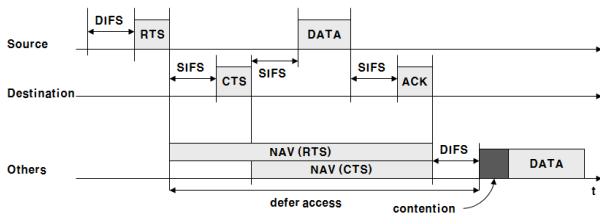


그림 4. NAV 설정과정  
Fig. 4. Configuration Process of NAV.

CW 는 식 (2)를 사용하여 계산된다. 랜덤 백오프 과정을 통하여 채널 획득에 성공한 노드는 <그림 4>의 절차로 프레임을 전송하고 주변 다른 노드들은 NAV를 사용하여 해당 프레임 전송과 동시에 주변노드들의 데이터 전송을 방지한다.

$$Backoff\ Time = Random() \times Slot\ Time \quad (1)$$

$$CW = 2(CW + 1) - 1 \quad (2)$$

그러나 DCF는 서비스별 트래픽의 특성을 고려하지 못하므로 모든 데이터 트래픽은 전송 큐에 도착하는 순서대로 서비스가 제공되며 Best Effort 방식으로 처리된다. 특정 사용자의 우선순위에 따라 전송 프레임을 차별화하지 않으며, 채널 접근을 위해 경쟁하는 모든 노드에 랜덤 백오프에 의한 동등한 기회만을 제공하기 때문에 지연에 민감한 실시간 서비스를 제공할 수 없다.<sup>[2]</sup>

또한, 동일한 서비스 지역 내에 있는 모든 노드들도 AP와 동등한 우선순위를 가지고 매체에 접속하기 위해 경쟁하므로 무선 노드의 수가 증가하면 노드간의 충돌 확률이 상대적으로 높아지며 충돌로 인한 데이터 재전송 횟수도 증가한다. 이 때문에 전체 네트워크 성능이 저하되고 QoS 보장에 한계가 있다.

스마트 그리드 환경에서 표 1에 언급한 데이터 종류에서 특정 데이터들은 대역폭 예약이 필수적이다. 이에 본 논문에서는 이를 위해 IEEE 802.11s에서 대역폭 예약 기법을 제공하는 MCCA 매커니즘을 스마트 그리드에 적용할 것이다.

#### IV. IEEE 802.11s<sup>[5]</sup>

스마트 그리드 환경에서는 전력계통의 품질 정보 및 고장예지정보 뿐만 아니라 이를 이용한 다양한 어플리케이션의 활용 및 고객의 전력 사용정보가 반영되어 실

시간, 최대피크 등의 다양한 요금제로 연계되어 활용되고, 에너지 효율 관리와 연관되기 때문에 관련데이터는 반드시 QoS가 보장되어야 한다. 이에 본장에서는 스마트그리드 NAN의 WMN 구성에 있어 IEEE 802.11s MCCA MAC 적용방안을 기술하고 QoS 성능향상 방안을 제시한다.

#### 1. IEEE 802.11s MAC 구조 및 매커니즘

IEEE 802.11s MAC에서는 매쉬 노드들의 무선 매체에 접근하는 방법으로 MCF(Mesh Coordination Function)를 지원하고 있으며, MCF는 기본적으로 경쟁기반의 채널 액세스 기법인 EDCA와 선택적으로 비경쟁기반의 채널 액세스 기법인 MCCA를 사용하고 있다. IEEE 802.11s에서 기본적으로 사용하는 EDCA(Enhanced Distributed channel access) 전송방식은 DCF를 기반으로 실시간 서비스의 QoS를 지원하기 위한 IEEE 802.11e에서 제안된 매체 액세스 방식을 사용하며, 사용자의 우선순위를 가지는 프레임에 대해서 차별화된 매체 접근을 허용한다. 우선순위를 포함하는 QoS 데이터 프레임의 전송을 위해 IEEE 802.11e QoS 스테이션은 4개의 Access Categories(AC)로 구현하고, QoS 우선순위에 따라 규정된 사용자 우선순위에 의해 해당되는 AC로 할당된다<sup>[3]</sup>.

그러나 EDCA 방식 역시 경쟁기반으로 대용량의 트래픽 발생시, 특히 멀티홉 무선 매쉬 네트워크 환경에서, 패킷손실 및 충돌의 증가로 네트워크 성능이 급격하게 떨어질 수 있는 문제점이 있다. 이에 IEEE 802.11s에서는 음성, 비디오 및 실시간 어플리케이션의 QoS를 제공하는 예약기반의 비경쟁 액세스 매커니즘인 MCCA가 제안되었다. 스마트그리드 NAN의 통합단말장치가 데이터를 전송하기 위해 MCCA 매커니즘을 사용한다면 QoS 성능향상을 보일 수 있을 것이다.

#### 2. MCCA 매커니즘

MCCA는 IEEE 802.11s에서 옵션으로 제안된 MAC으로서 기존 TDMA 방식과 유사하게 채널 예약 절차를 거쳐 채널에 접근하게 된다. 다시 말해 MCCA가 지원되는 매쉬 노드는 다른 매쉬 노드보다 적은 경쟁 확률을 가지고 특정 예약된 시간 구간인 MCCAOP(MCCA Opportunity) 구간 내에서 무선 매체에 접근할 수 있도록 하여 대역폭 보장이라는 QoS를 제공할 수

있다.

2.1. MCCAOP 예약

MCCAOP 예약은 인접한 두 메쉬 노드 간에 이루어지며 <그림 5>와 같이 MCCAOP 설정 요청메시지를 송신하는 메쉬 노드를 Owner, 수신하는 메쉬 노드를 Responder 라 한다. Owner는 Responder에게 MCCAOP 설정요청 메시지를 전송함으로써 예약 설정 절차를 시작하고, 해당 메시지에 오프셋(offset), 슬롯길이, 주기정보를 기록하여 전송한다. Responder는 예약요청 메시지를 받은 후, 자신의 MCCAOP 맵과 비교하여 요청에 대한 수락 또는 거절을 할 수 있다. 이웃의 MCCAOP 예약과 중복되지 않은지 확인하고, 요청하는 MCCAOP 슬롯이 이웃 메쉬 노드들의 MAF(MCCA Access Fraction) 제한을 초과하지 않는지 등을 체크한다. 다음 Responder는 Owner에게 예약설정 응답 메시지를 전송함으로써 예약 설정 절차가 완료된다. 예약이 설정되면 해당 노드들은 MCCA Advertisement 메시지를 주변 노드들에게 광고하여 예약된 정보를 알려주며, 이를 수신한 노드들은 자신의 TX, RX, IR 테이블을 업데이트 한다. 예약된 슬롯의 사용이 완료되면 MCCAOP Teardown 메시지를 통해 예약할당을 취소한다.

메쉬 노드들은 MCCAADV(MCCA Advertisement) 메시지를 통해 DTIM(Delivery Traffic Indication Message) 내의 이웃 간 MCCAOP 맵을 생성하고, 트래픽에 따라 DTIM 내의 MCCAOP 맵과 중복되지 않도록 시작시간과 사용 슬롯수를 결정한다. MCCAADV는 일반적으로 비콘(Beacon) 프레임에 의해 전송되며, 이 메시지에는 TX(Transmission times), RX(Reception times), IR(Interfering times) 정보를 포함한다. 또한,

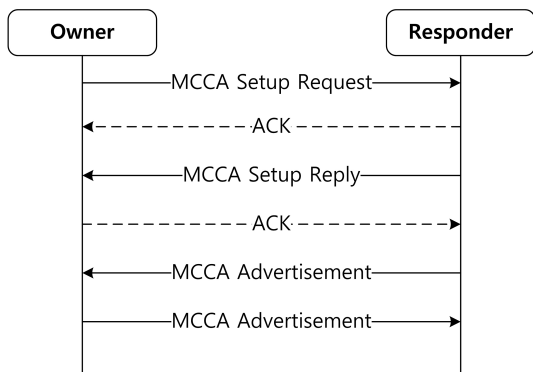


그림 5. MCCAOP 설정 절차  
Fig. 5. Setup procedure of MCCAOP.

MCCAADV는 MAF 정보를 사용함으로써 이웃 메쉬노드들에게 MCCA의 사용을 제한할 수도 있다.

2.2. 액세스 매커니즘

채널 액세스를 위해서 IEEE 802.11e EDCA를 사용하는 MCCAOP 구간에서 채널경쟁이 필요하다. EDCA는 MSDU에 AC기반의 경쟁 파라미터 값(CW<sub>min</sub>, CW<sub>max</sub>, AIFS<sub>N</sub>)을 가지고 있고, TXOP를 획득한 후에 owner는 패킷전송을 개시할 수 있다. MCCAOP가 끝나기 전에 TXOP limit에 도달한다면, 다음의 TXOP를 획득함으로써 MCCA 세션의 추가적인 전송이 가능할 수 있다. 만약, 초기 또는 다음의 TXOP 획득에 실패하면, owner는 EDCA의 백오프 절차를 수행해야 한다.

MCCA가 지원되는 노드는 다른 일반적인 메쉬 노드보다 더 적은 경쟁으로 무선 매체에 접근하여 특정시간을 예약하고, MCCAOP가 시작할 때 RAV(Reservation Allocation Vector)를 세팅하여 예약기간동안 유지한다. 또한 MCCA가 지원되는 노드는 이웃노드들에게 NAV를 세팅한다. 이를 통해 예약구간동안 <그림 6>과 같이 메쉬노드 간에 데이터를 전송한다. 그러나 MCCA가 지원되지 않는 노드는 이웃노드들의 MCCAOP 구간에서 EDCA 매커니즘을 사용함으로써 채널 경쟁을 할 수 있다. 이것은 MCCA를 지원하는 노드와 혼재된 상황에서 통신 시, MCCA 매커니즘 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다.<sup>[5]</sup>

이로 인해 비경쟁의 채널 액세스에 대한 보장을 받지 못 할 수도 있으며, 예약기간 내에 전송에 실패할 수도 있다. 특히나 실시간성, 시급성, 중요성을 가진 스마트그리드 환경의 데이터가 동시에 집중될 때에도 중요한 데이터의 QoS 보장을 위해서는 메쉬네트워크에서 예약 매커니즘이 효율적으로 적용될 수 있도록 설계되

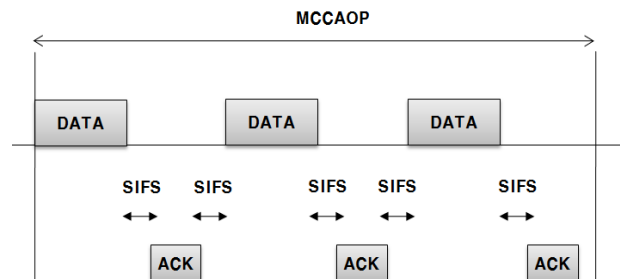


그림 6. MCCAOP 구간 내 데이터 전달  
Fig. 6. DATA transmission in MCCAOP period.

어야한다. 본 논문에서는 스마트 그리드 환경에서 QoS를 제공해야 하는 QoS 트래픽과 그 외의 데이터인 일반 트래픽으로 구분하고, QoS 트래픽에 기존의 경쟁기반 액세스 기법이 아닌 예약기반의 IEEE 802.11s의 MCCA 메커니즘을 적용함으로써 QoS 성능향상을 보이기고자 한다.

## V. 실험 및 결과

### 1. IEEE 802.11s 시뮬레이터

성능 평가를 위한 IEEE 802.11s 시뮬레이터는 이탈리아 피사 대학에서 구현되고, [11]에서 사용된 시뮬레이터를 확장하여 사용하였다.<sup>[11]</sup> 시뮬레이터는 메쉬 노드들 간의 대역폭 예약을 수행하는 MCCA가 기본적으로 구현되어 있으며, MCCA REQ, MCCA REP, MCCA ADV 메시지 전송과정과 TX, RX 및 IR 정보를 통해 MCCAOP 예약설정을 위한 상태를 확인하고 슬롯을 할당하는 과정이 구현되어 있다. 시뮬레이터의 동작은 <그림 7>에 나타난 것과 같이 FLOW 설정과 MCCAOP 설정을 통해 송신지, 목적지, FLOW ID, TX, RX, IR을 확인한 후, 슬롯할당알고리즘 선택이 진행되며, 슬롯할당결과를 이용하여 MCCAOP를 할당하고 설

정 절차를 종료한다. 예약설정 응답과정에서 슬롯길이 및 MAF 제한에 의해 응답이 거절될 수 있다. 다음 채널상태를 체크하고, MCCA REQ, MCCA REP, MCCA ADV 메시지 전송이 이루어진다.

본 논문에서는 상기 기술된 시뮬레이터의 기본적인 MCCA 동작 위에 추가적으로 플로우별 독립적인 큐를 가지도록 확장하였으며, 또한 플로우별로 서로 다른 대역폭을 예약할 수 있도록 확장하였다. 모든 소스노드는 매초당 Q트래픽과 N트래픽이 발생되며, 동시에 모든 소스노드의 트래픽이 멀티홉을 거쳐 목적지(게이트웨이)로 집중할때의 시나리오로 시뮬레이션을 수행함에 있어서 각 노드에서는 [표 1]에 나타난 스마트 그리드에 사용되는 Q트래픽들간 통합해서 전송하였다.

MCCAOP 예약을 위해서는 슬롯 예약, 슬롯 스케줄링 및 경로선택이 필요하고, 특히 동적으로 재할당하는 알고리즘을 통하여 MCCAOP간 오버랩을 방지함으로써 좀 더 안정적인 성능을 제공 할 수 있다. 슬롯 할당은 최적할당(Best-fit), 랜덤할당(Random-fit), 최악할당(Worst-fit)의 슬롯선택 알고리즘에 따라 그 위치를 선택할 수 있다. 최적할당 알고리즘은 사용가능한 위치중 예약 슬롯 수에 맞는 최적의 연속공간을 할당함으로써 같은 구간에서 더 효율적으로 슬롯을 할당할 수 있는 방법이다. 랜덤할당 알고리즘은 사용가능한 위치 중에서 랜덤으로 할당하는 방법이고, 최악할당 알고리즘은 사용가능한 위치중 최적의 공간이 아닌 예약 슬롯수보다 여유가 많은 공간에 할당하는 방법이다.

또한, MCCAOP 구간에서 QoS를 제공해야하는 데이터를 성공적으로 전송하기 위해서는 데이터 특성에 맞게 최적의 슬롯 수를 할당하는 것이 필요하다. 먼저, DTIM 구간 내에서 보내지는 패킷의 수(NPKT)를 식(3)과 같이 도출하고, 슬롯 수를 계산하기 위해서는 패킷 크기, 전송률 및 전송시간 정보 등을 활용하여 식(4)로서 도출한다.

$$NPKT = \text{ceil} \left( \frac{DTIM}{(S \times 8) / R} \right) \quad (3)$$

DTIM: DTIMPeriod (32ms)  
S: Packet Size (bytes)  
R: Reservation Rate (bps)

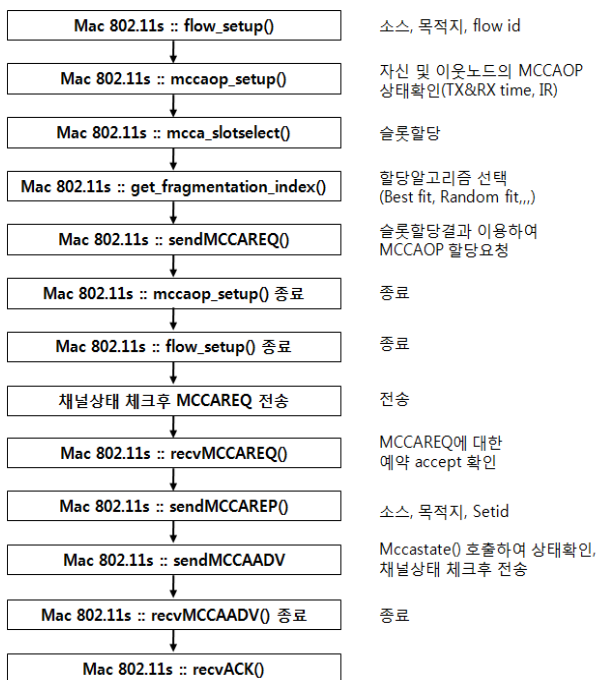


그림 7. 시뮬레이터 동작 흐름도  
Fig. 7. Operation flow of Simulator.

$$N_s = \text{ceil} \left( \frac{NPKT \times \left( \frac{pkt_{txtime} + ack_{txtime}}{2 \times SIFS} \right)}{slot_{duration}} \right) \quad (4)$$

$pkt_{txtime}$ : Packet transmission time  
 $ack_{txtime}$ : Ack transmission time  
 $SIFS$ : Short Inter Frame Space  
 $slot_{duration}$ : Slot duration (32 us)

스마트그리드 NAN의 통합단말장치는 체인 또는 그리드로 구성될 수 있고, 본 논문에서 7홉 체인구성으로 실험 시 7개의 노드가 게이트웨이로 동시에 전송 시 QoS 트래픽에 대한 대역폭 보장을 위한 최적의 슬롯수 도출 및 예약이 필요하다. 모든 소스노드가 게이트웨이로 동시에 전송 시 약 30개의 링크가 형성되고, 공간제 사용을 고려하더라도 20개의 링크에 슬롯수를 독립적으로 할당하면, 모든 링크의 예약이 가능할 것이다. DTIM 구간은 32ms, 전체 슬롯 수는 1000개로 설정하여 시뮬레이션 시, 링크-링크 간에는 30~40개의 슬롯을 예약하는 것이 적당하다.

이에 본 논문에서는 트래픽에 따른 패킷사이즈 및 최적의 슬롯 수를 도출하고, 스마트그리드 어플리케이션의 모든 QoS 트래픽에 MCCAOP의 성공적인 예약을 통해 대역폭 보장을 제공한다. 스마트그리드 어플리케이션의 QoS 트래픽은 스마트그리드 사업자의 요구사항에 따라 정의할 수 있다. 즉 실시간검침을 위한 검침데이터 또는 LP데이터, 배전자동화의 감시 및 고장예지를 위한 감시데이터 또는 파형데이터를 QoS 트래픽으로 분류하면, 전송속도 요구사항에 따라 150kbps의 대역폭이 예약되면 모든 QoS 트래픽이 성공적으로 전송될 수 있다. 예를 들어, 6 Mbps 링크에서 CBR 150 Kbps의 트래픽을 전송하기 위해 패킷 크기를 600 바이트로 하여 전송할 때, DTIM 구간 내에서 보내지는 패킷의 수(NPKT)는 1, 슬롯의 수(N slot)의 수는 34로 계산되어진다. 즉 노드 간 34 슬롯을 예약함으로써 모든 소스 노드가 게이트웨이로 동시에 전송 시에도 모든 링크에서 성공적인 예약이 가능하다.

2. 실험 및 성능분석

시뮬레이션은 스마트 그리드 환경에 무선 메쉬 네트워크를 적용하기 위해 스마트 그리드 어플리케이션을 분석한 II장의 내용을 토대로 시뮬레이션 시나리오를 구성한다. NAN 영역에서 구성한 무선 메쉬 네트워크

표 2. 시뮬레이션 환경변수

Table 2. Environment parameters for simulation.

802.11s PHY	DTIM duration	32 ms
	Slot duration	32 us
	Number of total slots	1000
	Number of control slots	10
	Link rate	6 Mbps
802.11s MCCA	MCCA Max. queue size	1000 pkts
	MCCA CWmin	3
	MCCA CWmax	15
Traffic	CBR - packet size	600 bytes
Transmission Range	140m	
Interference Model	Protocol interference model	
Topology	Chain(8x1), Grid(5x2)	

기반의 스마트 그리드 네트워크를 위한 시뮬레이션 환경에 있어서 각 노드는 통합단말장치가 되며, 이는 번대주에 설치되는 점을 고려하여 각 링크간 거리는 140m, 링크의 실 대역폭은 6Mbps, 모든 소스노드 트래픽생성 및 목적지로 전송하는 등 스마트 그리드 환경에 근접하게 하여 표 2와 같이 환경변수를 설정하여 실험을 수행한다.

2.1. Chain(8×1) 토폴로지 실험

Chain(8×1) 토폴로지에서의 실험 구성은 <그림 8>과 같다. 모든 소스노드(노드 0~6)에서 GW노드(노드 7)로 동시전송을 하며, 각 소스노드에서는 Q트래픽과 N트래픽 2개의 flow를 생성한다. 즉, 총 7개의 소스노드가 1개의 목적지노드(GW)로 멀티홉 데이터 전송이 이루어지고, 총 14개의 다중 flow가 생성되어 Q트래픽 및 N트래픽을 발생시키며, 트래픽 타입은 CBR(Constant Bit Rate)로 초당 600byte의 패킷크기를 발생시킨다. IEEE 802.11s의 MCCA 매커니즘을 적용했을 때의 성능비교를 위해 Q트래픽(대역폭 보장이 필요한 트래픽), N트래픽(대역폭 보장이 필요하지 않은 트래픽) 모두 CSMA/CA 매커니즘을 적용한 경우와 Q트래픽은 MCCA 매커니즘을 적용하고, 나머지 N트래픽은 종전대로 CSMA/CA 매커니즘을 적용한 경우의 처리율을 비교한다.

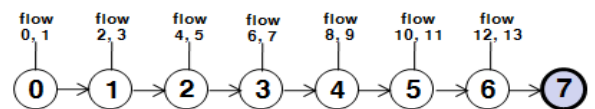
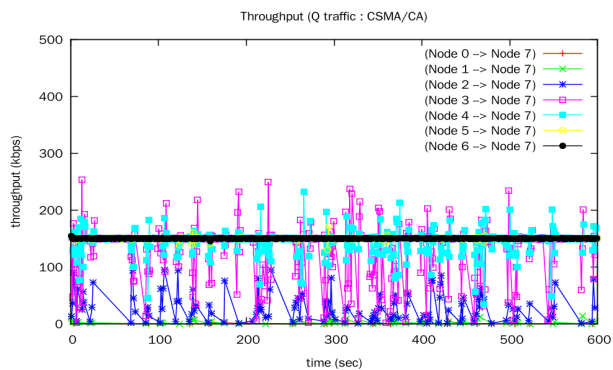


그림 8. Chain(8×1) 토폴로지 구성도  
 Fig. 8. Configuration of Chain topology.

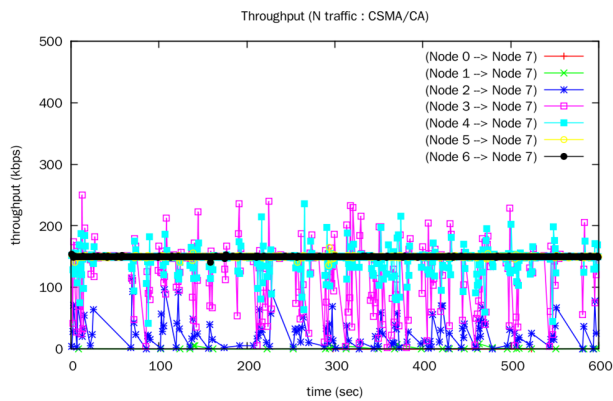


<그림 9>는 모든 트래픽에 기존의 경쟁방식인 CSMA/CA 방식을 적용하여 600초동안 초당 처리율의 실험결과로서 Q트래픽, N 트래픽 모두에서 1~2홉까지는 100% 가까이 대역폭 보장을 보이지만, 3홉부터 과도한 경쟁에 의하여 급격한 처리율 변동이 시작되고 4홉에서는 50%로 감소되며, 6~7홉에서는 거의 제로가 됨을 보인다. <그림 10>은 <그림 9>의 평균 처리율을 도시적으로 정리한 것으로 홉 수가 증가할수록 처리율이 급격하게 감소되는 현상을 보인다. 이는 홉 수에 따른 성능의 fairness가 보장되지 않기 때문이다.

<그림 11>은 Q트래픽에 대해서만 MCCA 방식을 적용하여 600초동안 초당 처리율의 실험결과로서, 예약기반의 MCCA 방식을 적용한 Q트래픽은 홉 수에 상관없이 일정하게 100%의 대역폭이 보장됨을 알 수 있다. 반면, N트래픽에 대해서는 경쟁방식을 적용했기 때문에 전과 비슷하게 1~2홉 구간에서는 여전히 100% 대역폭 보장이 가능하지만 그 이후 구간에서는 처리율이 낮아진 현상을 보인다. <그림 12>는 <그림 11>의 평균 처



(a) Q 트래픽(CSMA/CA) Throughput



(b) N 트래픽(CSMA/CA) Throughput

그림 9. Chain(8x1) 전송속도  
Fig. 9. Throughput of Chain(8x1).

리율을 도시적으로 정리한 것으로 MCCA 방식을 적용한 Q트래픽은 홉 수에 상관없이 일정하게 100%의 대역폭이 보장됨을 볼 수 있다.

<그림 10>의 모두 CSMA/CA 방식을 적용할 때와 <그림 12>의 Q트래픽만 MCCA 방식을 적용할 때를 비교하면, 전자는 4홉부터 급격히 감소 후 5홉부터 거의 손실되고 후자는 3홉부터 거의 손실되는 현상으로 약간의 차이를 보인다. 이는 경쟁구간에서 MCCA 방식을 적용한 트래픽이 한정된 자원(대역폭)을 먼저 선점

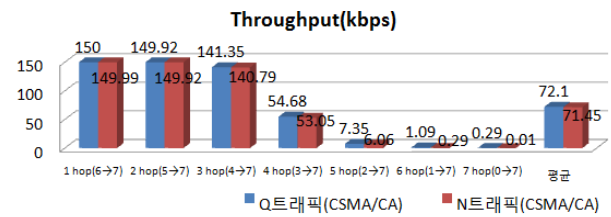
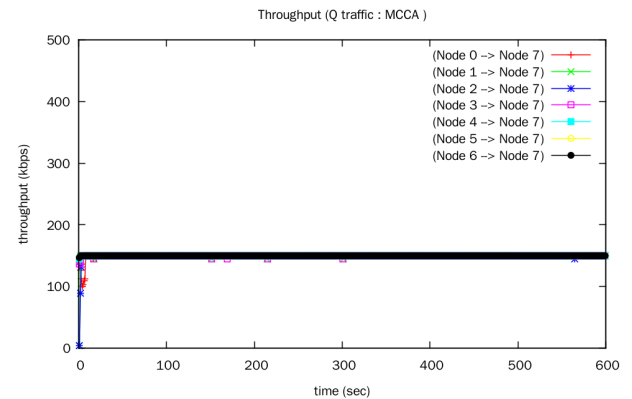
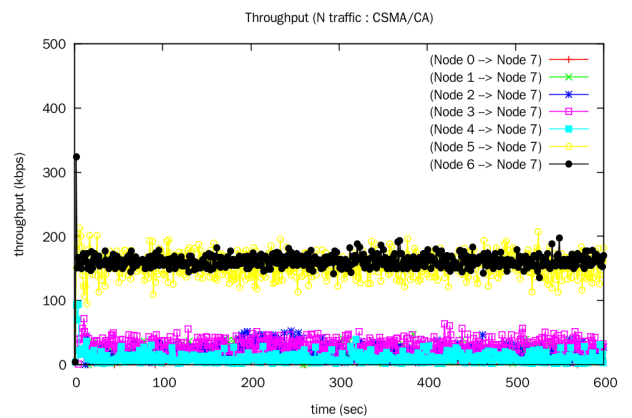


그림 10. Chain(8x1) 평균 전송속도  
Fig. 10. Average throughput of Chain(8x1).



(a) Q 트래픽(MCCA) Throughput



(b) N 트래픽(CSMA/CA) Throughput

그림 11. Chain(8x1) 전송속도 (MCCA 적용)  
Fig. 11. Throughput of Chain(8x1) (with MCCA).

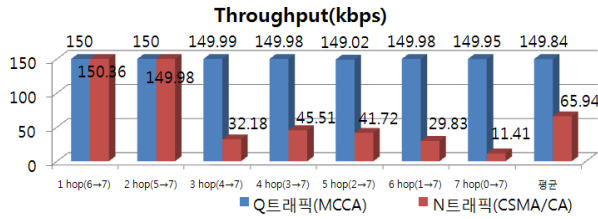


그림 12. Chain(8x1) 평균 전송속도 (MCCA 적용)  
 Fig. 12. Average throughput of Chain(8x1) (with MCCA).

하였기 때문에 상대적으로 손실 현상이 더 심하게 나타나는 것으로 분석된다. 또한 전체적인 처리율에 있어서도 전자는 143kbps, 후자는 215kbps으로 후자가 약 50% 향상되었음을 알 수 있다.

2.2. Grid(5x2) 토폴로지 실험

Grid(5x2) 토폴로지에서의 실험 구성은 <그림 13>과 같다. 0~3번 소스노드에서 4번 GW노드로, 5~8번 소스노드에서 9번 GW노드로 동시 전송을 하며, 각 소스노드에서는 Q트래픽과 N트래픽, 2개의 플로우를 생성한다. 즉, 총 8개의 소스노드가 2개의 목적지노드(GW)로 멀티홉 데이터 전송이 이루어지고, 총 16개의 다중 플로우가 생성되어 Q트래픽 및 N트래픽을 발생시키며, 트래픽 타입은 CBR 로 초당 600 바이트의 패킷을 생성한다. Chain 토폴로지 실험과 마찬가지로, 여러 트래픽이 혼재된 가운데 Q트래픽을 CSMA/CA 매커니즘을 적용했을 때와 IEEE802.11s의 MCCA 매커니즘을 적용했을 때의 성능비교를 위해 Q트래픽, N트래픽 모두 CSMA/CA 매커니즘을 적용한 것과 Q트래픽은 MCCA 매커니즘을 적용하고, 나머지 N트래픽은 종전대로 CSMA/CA 매커니즘을 적용한 것의 처리율을 비교한다.

<그림 14>는 모든 트래픽에 기존의 경쟁방식인 CSMA/CA 방식을 적용하여 600초동안 초당 처리율의 실험결과로서 Q트래픽, N 트래픽 모두에서 1홉까지는 100% 가까이 대역폭 보장을 보이고, 2홉부터 과도한 경쟁에 의하여 급격한 처리율 변동이 시작되고 4홉에서는 10~20%로 됨을 알 수 있다. <그림 15>는 <그림 14>의 평균 처리율을 도시적으로 정리한 것으로 홉 수가 증가할수록(0 → 4번 노드 및 5 → 9번 노드) 처리율이 급격하게 감소함을 볼 수 있다.

<그림 16>은 Q트래픽에 대해서만 MCCA 방식을 적용하여 600초동안 초당 처리율의 실험결과로서, MCCA

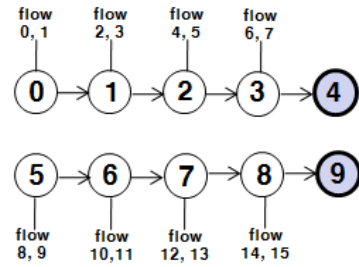
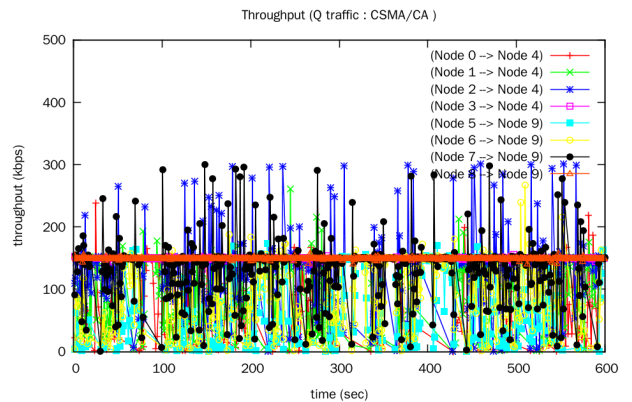
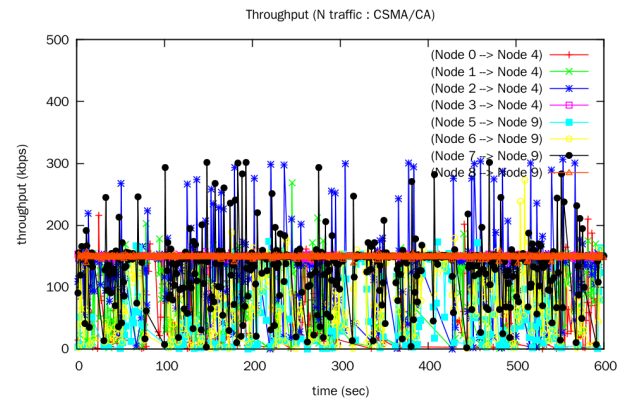


그림 13. Grid(5x2) 토폴로지 구성도  
 Fig. 13. Configuration of Grid topology.



(a) Q 트래픽(CSMA/CA) Throughput



(b) N 트래픽(CSMA/CA) Throughput

그림 14. Grid(5x2) 전송속도  
 Fig. 14. Throughput of Grid(5x2).

방식을 적용한 Q트래픽은 홉 수에 상관없이 일정하게 100%의 대역폭이 보장됨을 보인다. 반면, N트래픽에 대해서는 경쟁방식을 적용했기 때문에 전과 비슷하게 1홉 구간에서는 여전히 100% 대역폭 보장이 가능하지만 2홉부터 과도한 경쟁에 의하여 급격한 처리율 변동이 시작되고 4홉에서는 10% 이내로 급격히 감소함을 볼 수 있다. <그림 17>은 <그림 16>의 평균 처리율을 정리한 것으로 MCCA 방식을 적용한 Q트래픽은 홉 수에

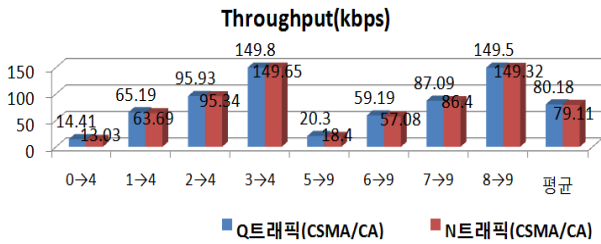
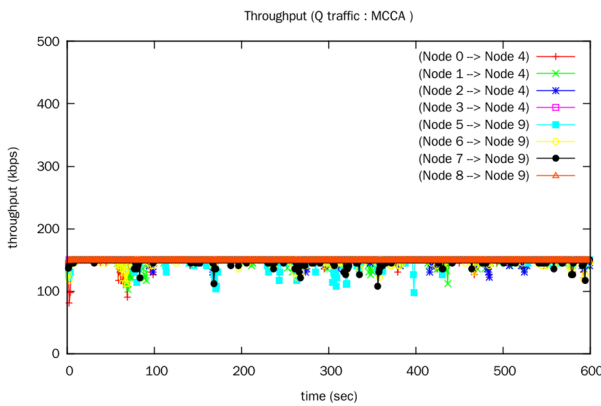
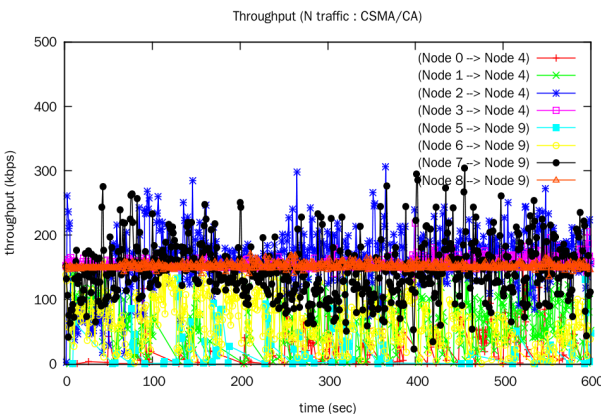


그림 15. Grid(5x2) 평균 전송속도  
Fig. 15. Average throughput of Grid(5x2).



(a) Q 트래픽(MCCA) Throughput



(b) N 트래픽(CSMA/CA) Throughput

그림 16. Grid(5x2) 전송속도 (MCCA 적용)  
Fig. 16. Throughput of Grid(5x2).

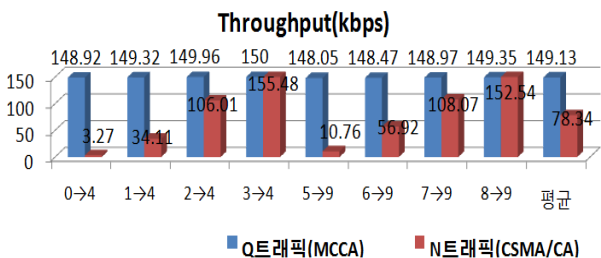


그림 17. Grid(5x2) 평균 전송속도 (MCCA 적용)  
Fig. 17. Average throughput of Grid(5x2) (with MCCA).

상관없이 일정하게 100%의 대역폭이 보장됨을 볼 수 있다.

또한, <그림 10, 12>와 <그림 15, 17>을 비교하면, 전자는 7홉까지 체인 토폴로지 구성이고, 후자는 5x2 그리드 토폴로지 구성으로서, CSMA/CA 방식을 사용할 때 전자는 2홉까지, 후자는 1홉까지만 안정적인 성능특성을 보이고 있다. 이는 그리드 토폴로지에서는 행과 열라인 모두에서 간섭현상이 있기 때문이다.

## VI. 결 론

본 논문은 스마트 그리드 환경에서 중단간 대역폭 보장이 필요한 스마트 그리드 트래픽의 대역폭 보장을 위해 스마트 그리드 어플리케이션의 특성을 분석하고, 스마트 그리드 환경에 IEEE 802.11s 기반의 MCCA 매커니즘을 적용하였다. 또한, 스마트 그리드 환경에 맞게 시뮬레이션 환경을 조성하여 스마트 그리드 메쉬 네트워크의 성능을 분석하였다.

성능 평가 및 분석을 위하여 NS-2 시뮬레이터를 사용하였으며, 예약기반의 MCCA와 경쟁기반의 DCF (CSMA/CA)와의 성능 비교실험 및 분석을 수행하였다. 또한 시뮬레이션에서 사용한 플로우는 실제 스마트 그리드에서 사용되는 트래픽을 기반으로 간단하게 트래픽 특성을 Q트래픽(QoS 트래픽)과 N트래픽(일반 트래픽)으로 모델링하여 사용하였으며, 토폴로지는 7홉 체인 토폴로지와 5x2 그리드 토폴로지를 사용하였다. 스마트 그리드에서 안정된 대역폭이 필요한 Q트래픽은 MCCA를 사용하였고, N트래픽은 CSMA/CA를 사용하였으며, 여러 트래픽이 혼재된 가운데 Q트래픽의 성능비교를 위해 Q트래픽, N트래픽 모두 CSMA/CA 매커니즘을 적용한 것과 Q트래픽은 MCCA 매커니즘을 적용하고, 나머지 N트래픽은 CSMA/CA 매커니즘을 적용하여 실험하였다. 시뮬레이션 결과 MCCA가 적용된 Q트래픽은 홉 수 및 네트워크의 혼잡에 상관없이 안정된 대역폭을 보장함을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 분석한 결과를 토대로 스마트 그리드 네트워크에 IEEE 802.11s 기반 메쉬 네트워크 기술을 적용하는 것이 중단 간 안정된 대역폭 보장을 위하여 꼭 필요한 기술임을 보였고, 추후 스마트 그리드 네트워크가 구성되고 메쉬 네트워크 기술이 적용되었을 경우, 발생할 수 있는 문제점들을 알아볼 수 있었다. 향후에

는 멀티인터페이스 멀티채널로 확장하여 스마트 그리드 메쉬 토폴로지에서 MCCA의 성능분석 및 슬롯 예약을 동적으로 할당하는 알고리즘에 대한 연구를 진행할 것이다.

### 감사의 글

IEEE 802.11s 시뮬레이터를 제공해주신 이탈리아 Pisa 대학의 Lenzini Luciano, Mingozzi Enzo, Cicconetti Claudio 분께 감사드립니다.

### REFERENCES

- [1] <http://www.smartgrid.or.kr/> 제1차 The first basic plan of intelligent power grid, 2012.
- [2] Qiang Ni, "QoS Issues and Enhancements for IEEE 802.11 WirelessLAN", INRIATech , Report, No4612, November 2002.
- [3] Stefan Mangold, "IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service", February 2002.
- [4] Jae-Yong Cho "A study on Backoff Algorithm for QoS in IEEE 802.11 Wireless LAN", Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea, 2003-40TC-12-12, 2003.
- [5] IEEE P802.11sTM/ amendment 10: Mesh Networking. IEEE, 2011, work in progress
- [6] "Tropos Grid ComTM: A Wireless Distribution Area Network for Smart Grids", Tropos Network white paper, Jun 2009.
- [7] No-Gil Myoung, "A study on AMI system of KEPCO", Journal of the Korean Institute of Communications and Information Sciences, 2010.08 Vol.35 No.8, 2010.
- [8] Bok-Nam Ha, "Current practice of distribution automation technology and prospect", Summer research meeting of the Korean Institute of Electrical Engineers, 2008.07, 313-314, 2008.
- [9] Technical Standards of KEPCO, "Feeder Remote Terminal Unit for Distribution Line Automation(ES-5895-0002)", 2012.
- [10] General Technical Specifications of KEPCO, "Data Concentration Unit for Low Voltage Automatic Meter Reading(GS-5895-0026)", 2012.
- [11] C. Cicconetti, "Scheduling and Dynamic Relocation for IEEE 802.11s Mesh Deterministic Access", IEEE SECON, 2008.

저 자 소 개



임 은 혜(정회원)  
2004년 전남대학교 전자컴퓨터  
정보통신공학부 학사  
2013년 충남대학교 전자전파정보  
통신공학과 석사  
2006년~현재 한전전력연구원  
배전연구소 일반연구원  
<주관심분야 : 스마트 그리드, 전력선통신, 무선  
메쉬네트워크, 신전력 서비스>



김 병 철(평생회원)  
1988년 서울대학교 전자공학과  
학사  
1990년 한국과학기술원 전기 및  
전자공학과 석사  
1996년 한국과학기술원 전기 및  
전자공학과 박사  
1993년~1999년 삼성전자 CDMA 개발팀  
1999년~현재 충남대학교 정보통신공학부 부교수  
<주관심분야 : 이동인터넷, 이동통신 네트워크,  
데이터 통신>



정 회 진(학생회원)  
2005년 충남대학교 전기정보통신  
공학부 학사  
2007년 충남대학교 정보통신  
공학과 석사  
2010년~현재 충남대학교  
전자전파정보통신공학과  
박사과정

<주관심분야 : 인터넷, 미래인터넷, 이동인터넷,  
이동통신>



이 재 용(평생회원)  
1988년 서울대학교 전자공학과  
학사  
1990년 한국과학기술원 전기 및  
전자공학과 석사  
1995년 한국과학기술원 전기 및  
전자공학과 박사  
1990년~1995년 디지콤 정보통신 연구소  
선임연구원  
1995년~현재 충남대학교 정보통신공학부 교수  
<주관심분야 : 초고속통신, 인터넷, 네트워크 성  
능분석>



김 영 현(정회원)  
2002년 한국항공대 전자공학과  
학사  
2004년 GIST 정보통신 공학과  
석사  
2004년~현재 한전전력연구원  
배전연구소 선임연구원  
<주관심 분야 : 스마트 그리드, 디지털통신, 전력  
선통신, 무선메쉬네트워크>