

중견연구자지원사업(핵심연구) 최종보고서

							양식A101	
① 부처사업명(대)	기초연구사업			보안등급(보안, 일반)		일반		
② 사 업 명(중)	중견연구자지원사업			공개가능여부(공개, 비공개)		공개		
③ 세부사업명(소)	핵심연구(공동연구)							
④ 과제성격(기초, 응용, 개발)	기초	④-1 실용화 대상여부(실용화, 비실용화)			비실용화			
⑤ 과 제 명	국 문	FTTH 기반 홈게이트웨이를 이용한 센서네트워크 및 무선중계환경 구축에 관한 연구						
	영 문	A Study on the Implementation of Sensor Network And Wireless Repeater Adopting FTTH-based Home Gateway						
⑥ 주관연구기관	국민대학교							
⑦ 협동연구기관								
⑧ 주관연구책임자	성 명	박영일		직급(직위)	교수			
	소속부서	국민대학교 전자공학부		전 공	전자공학			
⑨ 연구개발비 및 참여연구원수 (단위: 천원, M·Y)								
년 도	정부출연금 (A)	기업체부담금			정부외 출연금 (B)	상대국 부담금 (F)	합계 G=(A+B+E)	참여 연구원수
		현금 (C)	현물 (D)	소계 E=(C+D)				
합계	246,600							
⑩ 총연구기간	2008. 09. 01 - 2011. 08. 31 (36개월)							
⑪ 다년도협약연구기간	2008. 09. 01 - 2011. 08. 31 (36개월)							
⑫ 당해연도연구기간	2010. 09. 01 - 2011. 08. 31 (12개월)							
<p>관계규정과 모든 지시사항을 준수하면서 국가연구개발사업에 따라 수행중인 연구개발과제의 최종보고서를 붙임과 같이 제출 합니다.</p> <p style="text-align: center;">2011 년 11 월 25 일</p> <p style="text-align: center;">주관연구책임자 : 박 영 일 (인)</p> <p style="text-align: center;">주관연구기관장 : 임 홍 재 (인)</p> <p style="text-align: center;">교 육 과 학 기 술 부 장 관 귀 하</p>								

< 목 차 >

I. 연구계획 요약문

1. 국문요약문	3
----------------	---

II. 연구결과 요약문

1. 국문요약문	4
2. 영문요약문	5

III. 연구내용

1. 연구개발과제의개요	6
2. 국내외 기술개발 현황	8
3. 연구수행 내용 및 결과	11
4. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	31
5. 연구결과의 활용계획	32
6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	33
7. 주관연구책임자 대표적 연구실적	34
8. 참고문헌	34
9. 연구성과	36
10. 기타성과	40

〈 연구계획 요약문 〉

양식A201

연구의 목표	<p>FTTH 기반의 홈게이트웨이를 이용하여 홈 혹은 빌딩 내의 각종 무선환경을 개선하고, 홈의 센서네트워크를 단지 내 관리센터와 연결하여 각종 편의서비스를 가능하게 한다. 수동광가입자망(PON) 기반의 FTTH 시스템은 광대역가입자망 구축의 가장 효율적인 방식으로 자리를 잡고 있다. 한편 홈네트워킹 시스템은 방범, 의료, 검침 등의 편의성을 위해 많은 관심을 받고 있고, 최근에는 많은 건설 회사들에 의해 주택의 기본 사양에 포함되고 있다. 본 연구에서는 홈 내부에 여러 종류의 센서노드들을 설치하고 Zigbee 네트워킹을 통해 이들을 연결하며, 이를 통해 수집된 정보를 PON 기반 홈게이트웨이를 통해 단지 내의 관리센터에 용이하게 전달함으로써, 각종 관리기능을 용이하게 제공하도록 한다. 또한 DMB, DAB, HDTV, AM/FM, WiFi 등의 신호를 좋은 전파환경에서 수신하여 홈게이트웨이로 전송하고 중계함으로써 홈 내 무선환경을 개선하는 것을 연구목표로 한다.</p>		
연구내용	<p>1) 무선중계 및 센서네트워크를 고려한 FTTH 네트워킹 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> · 센서네트워크 및 무선중계 기능을 포함하기 위한 PON 원격노드 구성 방안 · TDM PON 및 WDM 이용 Hybrid PON 에서의 원격노드(RN) 구성 · 센서네트워크 신호의 ADD/DROP · 원격노드에서 멀티밴드 신호의 광변조 방식 <p>2) PON 시스템 기반 홈게이트웨이 및 센서네트워크를 위한 PON 프로토콜 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> · TDM-PON ONU를 이용한 홈게이트웨이 구성 · 다중 아날로그 무선신호 (DMB, DTV, WiFi 등)의 중계 기능 · 센서 신호의 처리를 위한 TDM-PON 프레임 구성 · VoIP, 제어신호 등 Priority 패킷의 QoS 향상을 위한 패킷 처리 알고리즘 <p>3) FTTH 홈게이트웨이를 이용한 센서네트워크 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> · 센서네트워크를 이용한 각종 계측노드 및 감시노드의 네트워크 구축 연구 · Zigbee 기반 센서네트워크와 PON 기반 홈게이트웨이 인터페이스 · 원격검침, 의료, 감시, 보안용 센서노드 및 센서네트워크 인터페이스 · 홈게이트웨이를 이용한 각종 센서노드 신호의 수집, 저장, 분석 및 전송 알고리즘 <p>4) PON 시스템을 이용한 홈 내부 무선환경 개선에 관한 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> · 여러 주파수 대역을 포함하는 멀티 밴드 신호의 송신 및 수신 · DMB, DTV, DAB, AM/FM 등의 신호수신 및 RN 광모듈 공급 · RoF (Radio-over-Fiber) 기술을 이용한 멀티밴드 신호중계 방식 연구 · PD와 멀티밴드 안테나를 결합한 초소형 RoF 송신모듈 개발 		
연구결과의 기대효과	<p>1) FTTH 시스템을 이용한 홈 센서네트워크의 기능 확대</p> <p>2) 홈 내부에서의 각종 무선환경 개선</p> <p>3) FTTH 네트워크를 이용한 공동주택의 관리기능 강화</p> <p>4) 센서네트워크를 이용한 원격검침, 보안, 의료 등 가정의 각종 편의기능 제고</p>		
중심어	FTTH	수동 광가입자망(PON)	홈게이트웨이
	센서 네트워크	무선중계	GEAPON
	RoF	지그비	홈네트워킹

〈 연구결과 요약문 〉

〈한글요약문〉

양식A202

연구의 목적 및 내용	<p>FTTH 시스템을 이용하여 홈 내부의 각종 무선환경을 개선하고, 센서네트워크를 연결함으로써 각종 서비스를 제공 가능하도록 하는 것을 목표로 한다. FTTH 시스템으로는 현재 가장 많이 이용하고 있는 수동 광가입자망(PON) 시스템을 이용하며, 홈이나 빌딩에서 필요로 하는 필요한 서비스를 더욱 편하게 제공할 수 있는 네트워킹 구조 및 프로토콜에 관해 연구한다. 이를 위해 다음과 같은 연구 내용을 설정하였다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 무선중계 및 센서네트워크를 고려한 FTTH 네트워킹 연구 ▪ PON 시스템 기반 홈게이트웨이 및 센서네트워크를 위한 PON 프로토콜 연구 ▪ FTTH 홈게이트웨이를 이용한 센서네트워크 연구 ▪ PON 시스템을 이용한 홈 내부 무선환경 개선에 관한 연구 		
연구결과	<p>연구 내용에서 제시한 4가지 연구 영역에서의 해당 연구결과를 아래와 같이 정리한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 무선중계 및 센서네트워크를 고려한 FTTH 네트워킹 연구 <ul style="list-style-type: none"> · 다중 OLT PON 시스템 구조 제시 · 대규모 센서네트워크에 적합한 PON 기반 센서네트워크 구조 제시 · PON 시스템 고장위치 탐색 ▪ PON 시스템 기반 홈게이트웨이 및 센서네트워크를 위한 PON 프로토콜 연구 <ul style="list-style-type: none"> · 다중 OLT PON 시스템의 하향 전송 프로토콜 GLDBA 제시 및 성능분석 · 다중 OLT PON 시스템의 상향 전송 프로토콜 Modified-LDBA 제시 및 성능분석 ▪ FTTH 홈게이트웨이를 이용한 센서네트워크 연구 <ul style="list-style-type: none"> · PON과 함께 사용할 수 있는 센서네트워크 프로토콜 제시 · 제시한 PON 기반 센서네트워크 성능 분석 ▪ PON 시스템을 이용한 홈 내부 무선환경 개선에 관한 연구 <ul style="list-style-type: none"> · LED 조명을 이용한 optical wireless 신호 전송 방식 개발 · LED 조명의 컬러 및 밝기를 변화하면서 동시에 신호 전송 방식 개발 · CDMA, OFDM 등 다중화 방식을 이용한 가시광통신방식 개발 · LED 조명을 이용한 실내 측위 알고리즘 제안 및 특허 출원 		
연구결과 의 활용계획	<p>본 연구과제를 통해 개발한 결과를 크게 다음 네 항목으로 정리할 수 있으며, 각 항목의 활용계획을 아래와 같이 정리한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ PON 기반 센서네트워크 <ul style="list-style-type: none"> · U-City, 대형빌딩, 산림감시 등 넓은 영역에서의 센서네트워크 구축에 활용 ▪ 다중 OLT PON 시스템 <ul style="list-style-type: none"> · 가입자 및 빌딩의 각종 센서네트워크 관리, 경쟁서비스 도입, 시스템 보호/절체에 활용 ▪ LED 조명을 이용한 optical wireless 통신 시스템 <ul style="list-style-type: none"> · 실내에서 방송, 안내, 인터넷 등 각종 무선신호 전송에 활용 ▪ LED 조명을 이용한 실내 측위 시스템 <ul style="list-style-type: none"> · 실내 LBS, 주차 안내, 로봇제어 등에 활용 		
중심어	FTTH	수동 광가입자망(PON)	다중 OLT PON
	센서 네트워크	LED	광무선통신
	가시광통신	측위	LBS

< SUMMARY >

양식A203

Purpose& contents	<p>The goal of the study is to improve various wireless environment with the assistance of an FTTH system, and to provide convenient services by connecting sensor networks to the FTTH system. PON system, the most widely used FTTH, is used. An appropriate network structure and protocol are studied to provide the useful services in homes and buildings. Contents of this study include</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ FTTH networking considering wireless repeating and sensor network ▪ PON based home gateway and PON protocol for sensor network ▪ FTTH home gateway assisted sensor network ▪ Improvement of wireless environment at home using PON system 		
Result	<p>Results of this study in each area can be summarized as follows.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ FTTH networking considering wireless repeating and sensor network <ul style="list-style-type: none"> . Provision of Multi-OLT PON structure . Pvoision of PON-based sensor network for large sensor network ▪ PON based home gateway and PON protocol for sensor network <ul style="list-style-type: none"> . Downstream protocol, GLDBA of Multi-OLT PON . Upstream protocol, Modified-LDBA of Multi-OLT PON ▪ FTTH home gateway assisted sensor network <ul style="list-style-type: none"> . Network protocol in PON-based sensor network . Performance analysis of the proposed sensor network protocol ▪ Improvement of wireless environment at home using PON system <ul style="list-style-type: none"> . Optical wireless transmission scheme using LED illumination . Color and brightness controllable visible light communication . Multiplexing scheme including CDMA and OFDMA in VLC . Indoor localization algorithm using LED illumination 		
Expected Contribution	<p>Expected contribution of this study for each result can be summarized as follows.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ PON-based sensor network <ul style="list-style-type: none"> . Implementation of sensor network in large area such as U-city, large-size building, forest monitoring ▪ Multiple-OLT PON system <ul style="list-style-type: none"> . Management of sensor network at home or building, introduction of multiple service providers, protection/restoration of PON system ▪ Optical wireless communication system using lighting LEDs <ul style="list-style-type: none"> . Indoor wireless services including broadcasting, internet service, etc. ▪ Improvement of wireless environment at home using PON system <ul style="list-style-type: none"> . Indoor LBS, parking services, robot control, etc. 		
Keywords	FTTH	Passive Optical Network	Multi-OLT PON
	Sensor Network	LED	Optical Wireless
	Visible Light Communication	Localization	Location-based Service

< 연구내용 및 결과 >

양식A301

- ◎ 1. 연구개발과제의 개요 ~ 10. 중요 연구변경 사항을 항목에 따라 작성함
- ◎ 제목 14point, 소제목 12point, 본문내용은 10point로 작성하며, 줄 간 간격은 조정 가능함
- ◎ 연구내용 및 결과는 50페이지 이내로 작성함
- ◎ 내용 작성과 관련한 설명내용(청색 박스로 표시된 부분)은 내용 작성 시 제거하고 기술함

1. 연구개발과제의 개요

FTTH 기반의 홈네트워크 시스템은 가정에 제공하는 통신대역폭을 획기적으로 개선할 뿐 아니라 각 가정의 센서네트워크 구성 및 무선서비스 제공 등 각종 목적으로도 유용하게 이용될 수 있다. 본 과제에서는 이를 이용하여 홈 혹은 빌딩 내의 각종 무선환경을 개선하고, 센서네트워크를 감시센터와 연결하여 각종 편의서비스를 가능하게 한다. 수동광가입자망(PON) 기반의 FTTH 시스템은 광대역가입자망 구축의 가장 효율적인 방식으로 자리를 잡고 있다. 한편 홈네트워킹 시스템은 원격검침, 방범, 건강 등의 편의성을 위해 많은 관심을 받고 있고, 최근에는 일부 건설 회사들에 의해 주택의 기본 설계에 포함되고 있다. 본 연구에서는 여러 종류의 센서노드들을 설치하고 네트워킹을 통해 이들을 연결하며, 이를 통해 수집된 정보를 PON 기반 홈게이트웨이를 통해 단지 내의 관리센터에 용이하게 전달함으로써, 각종 관리기능을 용이하게 제공하도록 한다. 또한 좋은 전파환경에서 HDTV, DMB, AM/FM, WIFI 등의 신호를 수신하여 이를 홈으로 전송하고 이를 홈에서 다시 중계함으로써 무선환경을 개선하는 것을 연구목표로 한다. 본 과제의 4가지 연구 주제는 다음과 같다.

1) 무선중계 및 센서네트워크를 고려한 FTTH 네트워킹 연구

최근 FTTH를 위해 활용되고 있는 트리구조의 수동광가입자망(PON: Passive Optical Network)을 이용하여 센서네트워크의 인터페이스 및 무선중계 기능을 수행하려 한다. IEEE 802.3ah에서 규정하고 있는 triple-play의 아날로그 CATV 파장을 이용하여 각종 무선신호를 홈에 중계하고 또한 상향 TDM-PON 프레임에 이용하여 센서네트워크의 신호를 전송하려 한다. 이 때 GEPON 혹은 GPON을 이용하는 TDM-PON을 가정하고 있으며, OLT와 ONT(Optical Network Terminal)사이에는 1490 nm 및 1310 nm 파장을 이용해 통신을 한다. 센서네트워크 신호들은 센서 허브에서 수집된 후 전/광 변환되어 관리센터로 전송된다. 이때 센서네트워크의 각종 신호는 이더넷패킷으로 변환되며 TDM-PON의 상향신호들과 함께 다중화 된다. 따라서 센서신호의 전송을 위해 별도의 파장이나 광원을 필요로 하지 않는다. 다만 관리센터에서 신호를 분기하기 위해 주소할당 혹은 특정 프리앰블을 이용한다.

2) PON 시스템 기반 홈게이트웨이 물리계층 및 TDM-PON 프로토콜 연구

PON 시스템의 ONU를 무선중계 및 센서네트워크 게이트웨이로 활용하기 위해서는 PON 기반의 홈게이트웨이를 구축해야 한다. 수신 파장을 분리하여 그 중 무선중계 채널신호는 Multi-band 안테나를 이용하여 신호를 전파하는데 활용한다. 데이터 채널로부터는 Ethernet, VoIP 등의 신호를 추출한다. 한편 홈에 설치된 각종 센서노드에서 추출된 데이터는 상향 TDM 프레임 중 일부 슬롯을 할당받아 전송을 한다. 이 때 센서 네트워크 신호를 관리센터에서 분기하기 위해서는 특정 주소를 할당하거나 혹은 전송 패킷에 특정 프리앰블을 이용함으로써 구분한다. 일부의 패킷은 관리센터와 동시에 인터넷에서도 활용될 수 있어야 한다. 이때는 이더넷 프레임 내부의 목적지 주소를 설정해주어야 한다. 한편 상향 전

송 패킷들 중 VoIP, 제어신호 등 지연에 매우 민감한 신호의 경우 priority 패킷으로 구분하고 전송 우선권을 주어서 먼저 전송될 수 있도록 처리를 한다. 이 처리 방식에는 OLT가 각 ONT에 대역폭을 할당할 때 어느 정도의 여유를 미리 주어서 priority 패킷이 발생하면 주어진 여유 슬롯에 할당을 할 수 있도록 하는 Credit DBA 방식, 혹은 ONU의 전송데이터 버퍼를 두 가지로 구분하고 priority 버퍼에 데이터 수신이 될 때 ONT는 이 버퍼에 쌓인 패킷의 전송을 우선적으로 신청함으로써 이를 대역폭 할당에 반영하도록 하는 이중 버퍼 방식 등을 활용할 수 있을 것이다.

3) FTTH 홈게이트웨이를 이용한 센서네트워크 연구

본 연구영역에서는 FTTH 기반의 홈게이트웨이에 관해 연구하고, 이를 이용해 센서네트워크를 구축하는 방법을 연구한다. 최근 FTTH 가입자 숫자가 급격히 늘어나면서 홈게이트웨이도 FTTH 기반이 될 가능성이 커지고 있다. 우리나라에서도 IPTV에 의한 방송이 본격적으로 시작된다면 FTTH 시장이 급속히 커질 것이며, 따라서 이를 이용한 홈게이트웨이가 급속히 확산될 것이다. 이럴 경우 FTTH의 넓은 대역폭을 이용하여 다양한 서비스가 가능하며, 특히 다양한 센서네트워크 서비스 구축이 가능하게 된다. 본 연구에서는 원격검침, 방범, 감시, 의료 등 여러 센서 노드를 하나의 센서네트워크로 연결하고 이를 홈게이트웨이에서 관리하며 이 중 필요한 데이터를 외부로 전송하되 필요에 따라 목적지를 관리센터 및 인터넷으로 선택할 수 있도록 한다.

원격검침은 전기, 가스, 수도 등 각종 공과금을 가정을 직접 방문하지 않고도 측정할 수 있도록 하는 기능을 말하며, 본 연구에서는 제안된 PON 시스템을 통해 공동주택단위 혹은 빌딩 단위의 원격검침을 할 수 있도록 한다. 원격검침을 위해서는 계측장비가 네트워크에 연결되어야 하며, 본 과제에서는 지그비를 네트워크로 활용한다. 디지털 계측기에 지그비 송신장치를 부착하고 측정된 값을 게이트웨이의 요청에 의해 전송한다. 감시 노드는 온도, 습도, 가스, 연기 등 홈 내부의 각종 환경을 감시하는 노드들이며 이 데이터들도 센서네트워크를 통해 주기적으로 홈게이트웨이에 전송된다. 또한 본 연구에서는 그 동안 본 연구팀에서 개발 중인 음성인식을 이용한 보안기능을 센서네트워크를 이용해서 적용하려 한다. 홈게이트웨이는 홈 내 각 위치에 흩어져 있는 음성인식 노드를 통해 주기적으로 음성 신호를 수집하고 이를 분석하여 비상상황 발생 시 이를 관리센터 혹은 원하는 목적지까지 전송한다.

만일 센서 노드의 신호가 허브에 직접 전달되지 못하는 경우 중간에 다른 센서 노드를 경유해야 한다. 원격검침 노드와 음성인식 노드 또한 감시 관련 노드들은 모두 다른 주기, 다른 전송속도를 이용함. 따라서 이들의 신호전송을 가장 적절하게 배치하는 알고리즘에 관해 연구한다.

4) PON 시스템을 이용한 홈 내부 무선환경 개선에 관한 연구

최근에 많은 무선 전자기기가 보급되고 있다. 위성 및 지상파 DMB를 비롯해서, DAB, DTV, AM/FM 등 다양한 무선 방송 서비스가 우리 주변에서 이루어진다. 그런데 빌딩이나 홈 내부에서는 이러한 서비스들의 무선환경을 보장해줄 수 없다는 점이 큰 단점으로 남아있다. DTV 경우 아파트 등 공동주택에서는 마스터 안테나를 설치하여 수신한 신호를 케이블을 이용해서 각 가정에 공급한다. 이를 위해서는 별도로 케이블망이 있어야 한다. 그러나 향후 광케이블을 이용한 IPTV망이 활성화된다면 공동주택에 굳이 케이블망이 필요하지 않게 된다. 이러한 상황에서 FTTH망을 이용한 DTV 신호 전송은 중복투자 없이 양질의 DTV 신호를 가정까지 전달하는 매우 유용한 방식이 될 수 있다. 위성 DMB의 경우 위성전파가 미치지 않은 빌딩 등에는 Gapfiller 를 설치하여 전파음영을 해소해주어야 한다. 이 경우에도 Gapfiller 대신 FTTH망을 이용할 수 있다면 매우 경제적으로 홈 내에서 위성 DMB 수신을 할 수 있는 방법이 된다. 이 외에도 지상파 DMB, DAB, AM/FM 등 다양한 무선 방송 신호를 위와 동일한 방식으로 각 홈에 전달할 수 있다.

본 연구영역에서는 여러 무선신호를 수신하고 이 신호들을 필터링, 증폭 및 다중화함으로써 광파이버에 전달하기 용이하게 신호를 처리하며, 또한 홈게이트웨이에서는 이 신호를 수신하는 PD와 멀티밴드 안테나를 연결하는 초소형 RoF 송신모듈을 개발한다. 멀티밴드 안테나로는 PCB 안테나 및 다중 박막

안테나를 고려할 수 있다.

2. 국내외 기술개발 현황

(1) PON 시스템 기술의 발전:

가정에서 사용하는 인터넷의 속도를 100 Mbps ~ 1 Gbps급으로 높일 수 있는 광가입자망 서비스를 가장 경제적으로 구축하는 방식인 PON 시스템이 현재 상용 설치에 박차를 가하고 있다. 이 시스템은 초고속 인터넷 서비스를 가입자에게 제공하는데 가장 경제적인 방식으로 알려졌으며 인터넷, 멀티미디어 데이터, IPTV 등 광대역 가입자망 구축에 매우 유용하게 이용되고 있다. 최근 스마트 모바일의 대중화로 말미암아 국내에서 무선 트래픽의 증가는 지난 2년에 10배에 달하고 있는데, 이러한 무선 트래픽 증가에 적절히 대처하기 위해서도 PON 인프라의 활용은 매우 중요한 시점에 있다. 대역폭 증가의 필요에 따라서 IEEE에서는 2009년 9월 802.3av를 통해 10 Gbps 10G-EPON 표준을 완성하였고, 같은 시기에 ITU-T에서는 XG-PON1을 통해 하향 10 Gb/s, 상향 2.5 Gb/s 비대칭 대역폭을 갖는 표준을 완성하였다. 또한 시스템 사업자인 Ericsson에서는 2011년 2월 40 Gbps PON 시스템을 발표하였으며, Huawei에서는 100 Gbps PON 시스템을 예고하고 있다. Global Industry Analysts Inc.에 따르면 PON 시장은 2015년 76억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다. KT에서는 초기 PON 설치 방식을 경제성이 뛰어난 GEAPON(Gigabit EPON)으로 결정하고 [Light], 이를 2006년부터 상용 서비스에 들어갔으며 2007년 말까지 100만 가입자 이상에게 서비스하였다. GEAPON은 한 개의 OLT(Optical Line Terminal)가 16개 혹은 32개의 ONU에 점대다점(Point to Multi-point)방식으로 광신호를 제공하는 통신방식으로서 IEEE 802.3ah에서 표준화된 MPCP 프로토콜을 데이터링크 계층에 사용하고 있다 [802.3]. 가입자로의 하향 전송은 1 Gbps 신호를 broadcasting 방식으로 모든 ONU에 전송하고 각 ONU가 자신의 데이터를 선택하는 방식을 이용하고 있으며, 중심국으로의 상향 전송은 각 ONU가 시간분배 방식으로 같은 채널을 공유하여 전송한다 [802.3]. 최근 북미지역을 중심으로서는 실시간 서비스에 효율적인 GPON이 더욱 많은 관심을 받고 있다. 한편 각 ONU에 한 개의 과장을 할당함으로써 GEAPON 혹은 GPON에 비해 더욱 광대역을 제공할 수 있는 WDM-PON에 관한 연구도 국내에서 많이 진행되어 왔으며, KT에서는 이를 이용해 일부 가입자에게 상용 서비스를 제공하고 있다 [SJPark]. 일본에서는 PON을 비롯한 FTTH 가입자 숫자가 2007년 3월에 900만 가구에 이르렀으며 2008년 말 1,300만 가입자를 넘어섰으며, 그 증가율은 xDSL보다 더 큰 상황이다 [시야, Maeda]. 국내의 경우 KT는 2008년까지 총 175만 가구에 FTTH를 보급한다는 계획이며, 2007년까지는 신규 및 기존 아파트를 대상으로 서비스를 하고 2008년 이후에는 일반 주택으로 서비스를 확대하고 있다 [광산업]. 우리나라와 일본은 현재까지는 GEAPON을 FTTH의 가장 유력한 기술로 판단하고 설치 중이지만 [최정훈], GPON의 상용화 성공에 따라 향후 시장에서 두 방식의 PON은 치열한 경쟁이 예상된다. 한편, PON 가입자가 계속 증가하는 경우 경제성을 더욱 높이기 위해서 10 Gbps 속도를 채택하는 10GE-PON의 표준화가 완료되었으며, WDM-PON의 각 과장에 TDM-PON을 싣는 방식의 Hybrid-PON 등의 방식들이 현재 연구 및 표준화 단계에 있다.

그런데 이러한 PON 시스템은 현재까지는 가정에서의 인터넷 속도를 개선하는 데에만 활용되고 있다. IPTV, VoIP, 기타 인터넷 데이터 서비스 등이 활용 대상이 된다. 그러나 본 과제에서는 PON 시스템의 영역을 공동주택의 네트워크까지 확대하려고 한다. PON 시스템의 넓은 대역폭을 활용하여 공동주택의 센서네트워크 구축 및 무선중계 등에 활용할 때 FTTH 시스템의 영역은 훨씬 넓어질 수 있으며, 경제성도 그만큼 제고된다고 할 수 있다. 홈네트워크는 가정 내의 모든 전자기기들을 네트워크로 연결하여 이들을 원격으로 제어하고 감시할 수 있는 시스템을 말한다. 센서 네트워크는 센서 노드들로부터 각종 정보를 무선으로 수집하여 활용할 수 있도록 하는 네트워크를 말한다. 유비쿼터스 사회의 구현을 위해서는 홈네트워크 및 센서네트워크의 구축은 필수적인 요소라고 할 수 있다. 우리나라의 경우 초고속 통신 인프라를 이용하여 홈 및 센서네트워크의 구축은 매우 유리한 위치에 있다. 그간 연구 및 개발된 홈네트워크는 주로 xDSL 혹은 케이블모뎀의 게이트웨이를 기반으로 하였다. 그러나 FTTH

설치의 확산에 따라 FTTH 게이트웨이를 기반으로 할 필요가 있다. 이 경우 FTTH의 가입자 노드인 ONU (Optical Network Unit) 혹은 ONT (Optical Network Terminal)을 홈게이트웨이의 광네트워크 인터페이스로 활용하며, 홈게이트웨이의 출력은 각종 유무선 신호가 된다. 홈 내부에서는 원격검침, 방범, 감시, 의료 등 여러 센서 노드를 하나의 센서네트워크로 연결하고 이를 홈게이트웨이에서 관리하며 이 중 필요한 데이터를 외부로 전송하되 필요에 따라 목적지를 관리센터 및 인터넷으로 선택할 수 있도록 한다.

(2) LED를 이용한 무선 광통신 기술의 발전:

무선통신 특히 근거리 무선통신의 경우 유사 주파수 대역에서 많은 서비스들의 출현으로 인해 상호 간섭과 보안성 등의 문제점이 많이 대두하게 되었다. 이에 따라 현재의 RF 기반의 무선통신의 취약점을 보완할 수 있는 단거리 무선통신의 필요성이 등장하고 있고, LED 조명을 이용한 가시광 통신(VLC: Visible Light Communication)은 이 분야에서 기존의 무선통신을 대체할 수 있는 매우 유용한 기술로 인식되고 있다. LED가 우리 생활 주변의 많은 곳에서 이용됨에 따라 이들을 효과적으로 통신에 이용한다면, 통신을 위해 별도의 무선 신호 발생 장치를 설치하지 않고도 정보를 전달할 수 있게 되므로 그만큼 경제적인 통신망을 구축할 수 있게 된다. 이러한 관점에서 LED 조명기술의 보편화와 더불어 LED 가시광 통신의 중요성은 점점 더 커질 것이며, 이 분야의 연구도 본격화되고 있는 상황이다. 가정 내에서의 무선 서비스는 지금까지는 주로 무선랜 혹은 DMB 등의 서비스만을 생각하였다. 그러나 LED 기반의 가시광 통신도 최근 급격 큰 관심을 끌고 있다. 수 년 전까지는 광원들의 스위칭 속도 제한으로 고속 고효율의 가시광 통신의 구현이 용이하지 않았다. 하지만 LED의 급속한 기술 발전에 힘입어 고속 고효율의 LED가 보편화됨에 따라 이를 이용한 가시광 통신을 구현할 수 있게 되었다. LED 광원은 발광효율이 백열등, 형광등, 수은등 등 전통적인 광원들에 비해 탁월하게 우수하고 또 제조 과정에서 수은과 같은 환경 저해물질이 사용되지 않으며, 반도체 공정의 특성으로 인해 대량 제조시 가격이 매우 저렴해진다는 점 등으로 인해 최근 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. LED 조명은 건물 내에서의 조명 뿐 아니라 각종 휴대기기 및 디스플레이, 신호등, 자동차, 광고판 등에서도 사용이 급증하고 있다. 분석기관인 글로벌인포메이션에 따르면 표 1과 같이 전 세계 LED 시장의 규모는 2008년 240억 달러에 이르렀으며, 2012년에는 680억 달러에 이를 전망이다. 따라서 이들 LED가 다른 응용에 널리 사용되게 됨으로써 이미 다른 목적으로 사용되고 있는 LED를 이차적으로 활용함으로써 통신 투자 부담을 줄일 수 있는 장점을 활용할 수 있는 기회를 갖게 되었다.

표 1. 세계 LED 시장 규모 추이 [단위: 억달러]

연도	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년
시장규모	240	290	350	455	680

가시광 통신의 연구는 2002년경으로 거슬러 올라갈 수 있으나 현재까지의 연구는 낮은 LED 기술 성능으로 인하여 원시적인 LED 조명을 이용한 가시광 통신의 가능성을 찾는 데 중점을 두었다고 할 수 있다. 기존의 다른 RF 통신방식들에 비해 확실한 성능 우위를 점하지 못한 상황에서 연구의 필요성과 중요성을 찾기가 그만큼 어려웠던 것이다. 그러나 LED 자체의 기술 성장 및 LED 조명의 성장과 함께 최근 국내외 여러 연구기관들에서 가시광통신에 많은 관심을 보이고 향후 수 년 간 큰 성장이 기대된다. 기존 연구의 가장 큰 문제점은 가시광 통신이 가시광 고유의 특성 때문에 기존의 무선 통신에서 사용되는 방식을 사용하는 것이 부적합함에도 불구하고 현재까지는 기존 RF 통신에서 사용하는 방식을 대부분 그대로 적용하고 있다는 것이다. 따라서 본 과제를 통해 기존의 기술적 문제점을 해결하려 한다.

국외 기술현황을 보면 일본에서는 게이오 대학에서 2002년 백색 LED를 이용하여 실내조명과 통신을 접목하는 연구결과를 내놓은 이후[Tanaka], 2003년부터는 'VLCC'라는 컨소시엄을 구성하여 본격적으로 가시광통신의 연구에 뛰어들었다. VLCC는 현재 일본 내 50개 이상의 회사 및 기관으로 구성되어 있다. 게이오 대학의 나카가와 교수 팀은 현재까지도 VLC 관련 연구를 지속적으로 수행해 오고 있으며, 조명을 이용하여 헤드폰에 음악이나 전시 안내 등을 다운로드할 수 있는 시스템을 선보이기도 하였다. NEC와 마쓰시다에서는 2004년 LED를 이용하여 10 미터 거리에서 데이터를 전송하였으며, 이후 이들 회사에서는 백색 LED를 이용하여 최고 80 Mbps, 적색 및 초록색 LED를 이용해서는 200 Mbps 전송을 가능하게 하였다. 또한 도시바에서는 R,G,B LED를 각각 독립 광원으로 이용하고 3채널의 파장다중화 전송을 가능하도록 함으로써 전송속도를 증가시키는 기술을 개발하였다. 카시오에서는 디지털 카메라에 VLC 수신부를 두어서 원거리에 위치한 건물의 LED 조명에서 내보내는 정보를 수신할 수 있는 기술을 특허 등록하였다. NEC에서는 전철역사에서 조명에 의해 내보내는 전철 시간표를 휴대전화를 이용해 수신할 수 있는 기술을 개발하였다. 미국의 경우 펜실베이니아 주립대학에서 전력선 통신과 결합된 가시광통신 시스템을 제안하고 시뮬레이션을 통해 1 Gbps에 이르는 광대역폭 전송 시험에 성공하였다. 한편, 유럽연합에서는 '오메가 프로젝트'를 진행하며 주요 응용 분야로 무선랜을 대체하고자 노력하고 있으나 기술적으로는 초기 단계이다. 기본적인 기술 개발과 더불어 채널을 정의하고자 많은 노력을 하고 있으며 고속 데이터 전송을 가능하게 하기 위한 새로운 변조방식에 관한 연구를 하고 있다. 하지만 현재까지 제시된 기술은 기존의 전파 무선 통신에서 사용되는 기술들을 직접적으로 응용하는 수준에 머물고 있다. 이는 채널과 특성이 다른 가시광 통신에 이들 기술을 응용하는데 한계가 있다는 것을 의미하며, 따라서 광세기 변조와 같은 극히 원시적인 기술만을 적용하거나 고효율의 기술들은 극히 간단한 방법으로 적용하고 있다.

국내에서는 한국광기술원(KOPTI)에서 최초로 가시광통신에 관한 연구를 시작하였다. 이 기관에서는 2005년에 백색 LED 조명을 이용한 연구를 시작하였으며 2008년 10 Mbps 가시광통신을 구현하였다. 현재는 가시광통신을 제공할 수 있는 유비쿼터스 가로등을 개발하고 있다. 삼성전자에서는 휴대단말기 및 멀티미디어 기기 간의 근거리통신 분야 및 LED 전광판을 이용한 가시광통신 연구를 수행하고 있다. 최근에는 320mm×320 mm 크기의 전광판에 RGB LED를 16×16 배열로 배치한 후, 10 Mbps 및 20 Mbps 데이터를 전송하고 컬러 및 거리에 따른 비트오율을 측정하였다[박성범]. 한국전자통신연구원(ETRI)에서는 2008년 10월 개최된 한국전자전(KES 2008)에서 LED 가시광을 이용해 음악을 무선 전송하였으며, 수 미터 거리에서 최대 5 Mbps 정도의 데이터 전송이 가능한 것으로 알려져 있다[강태규]. ETRI에서는 또한 LED 교통신호등에서 정보를 전송하고 차량에서는 이를 수신하여 엔진을 제어하도록 함으로써 차량에 사용되는 연료를 절감하도록 하는 기술을 개발 중에 있다. 이 밖에도 레드윈 테크놀로지 로봇연구소의 경우 가시광통신 기술을 로봇에 적용하여 로봇과 로봇 혹은 로봇과 주변 기계와의 통신에 적용함으로써 전기적인 잡음이 많은 환경에서도 안정적인 통신이 가능하도록 하는 기술을 연구하고 있다. 하지만 이들 기술 개발은 개발 초기 상태이며 실제 상황과 신호 환경을 고려한 상용화 기술 개발에는 상당한 시간과 노력이 들것으로 판단한다. 더욱이 이들 개발은 기존 기술을 이용한 데모 수준의 개발 단계이며 새로운 기술의 도입이 절대적으로 필요한 상황이다.

가시광 통신의 표준화를 위해 국내에서는 2007년 5월 TTA 산하에 'VLC Service Working Group'을 구성하여 표준화 활동을 전개하고 있으며, 국외 표준에 발 맞추어 국내 표준을 제정하는 작업을 진행하고 있다. 국제적으로는 2007년 11월 IEEE 802.15에서 LED를 이용한 VLC IG (Visible Light Communication Interest Group)을 결성한 이후 계속적으로 관심이 증가하자 2009년 1월에 802.15.7 VLC Task Group으로 격상되어 본격적으로 표준화 활동을 하고 있다. 이 그룹에서는 VLC 관련 물리계층(PHY)과 MAC 계층에 관한 규격을 개발하여 2011년 말까지 표준화 규격을 완성하는 것을 목표로 활동하고 있다[김아정]. 현재 이 그룹에서는 기술제안 단계를 완료하고 이들 기술들을 종합하여 작업을

완료하는 단계에 와 있다[IEEE802.15.7]. 수 차례의 IEEE802 내에서의 working group ballot과 sponsor ballot 절차를 걸쳐 많은 코멘트 작업을 통하여 초안을 개정하는 작업을 진행하고 있으며 거의 마무리 단계에 와 있다. 그러나 이는 가시광 분야에서 처음 기술 표준을 제정하는 것이므로 최적의 기술이 표준화 된다고 보기는 힘들 것으로 판단된다. 다양한 응용 분야가 제시된 점을 감안하고 다른 표준화 그룹의 예를 보면 각 응용 분야에 대한 최적의 기술을 갖는 표준의 제정이 차후 요구 될 것이므로 이들을 위한 새로운 그룹들이 결성되어 다양한 표준이 향후 새로 제정될 것으로 판단된다.

3. 연구수행 내용 및 결과

(1) PON 기반 센서네트워크 알고리즘

본 연구에서는 많은 개수의 센서 노드가 존재할 때 PON을 이용하여 이들을 클러스터링 함으로써 센서 네트워크의 성능을 향상하는 효과적인 방식을 제안하였고, 또한 센서노드들끼리의 데이터를 전달하는 시간을 획기적으로 줄일 수 있는 프로토콜을 제안하였다. 센서 네트워크에서는 총 센서노드의 개수 혹은 홉 개수가 증가함에 따라 데이터 지연시간이 길어지는 것이 큰 문제가 되고 있다. 특히 상향 전송의 경우 한 개 홉의 전송마다 한 개 프레임에 해당하는 지연 시간이 발생하여, 홉 개수가 늘어나면 전송 지연이 매우 커져서 긴급을 요구하는 센서네트워크의 경우 사용이 어렵게 된다. 또한 무선 센서네트워크는 각 노드의 에너지사용을 줄이기 위해 노드 동작시간을 매우 짧게 할 필요가 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 본 연구를 통해 그림 1과 같이 PON 시스템에 기반을 둔 대형 센서 네트워크의 구조를 제안하였다.

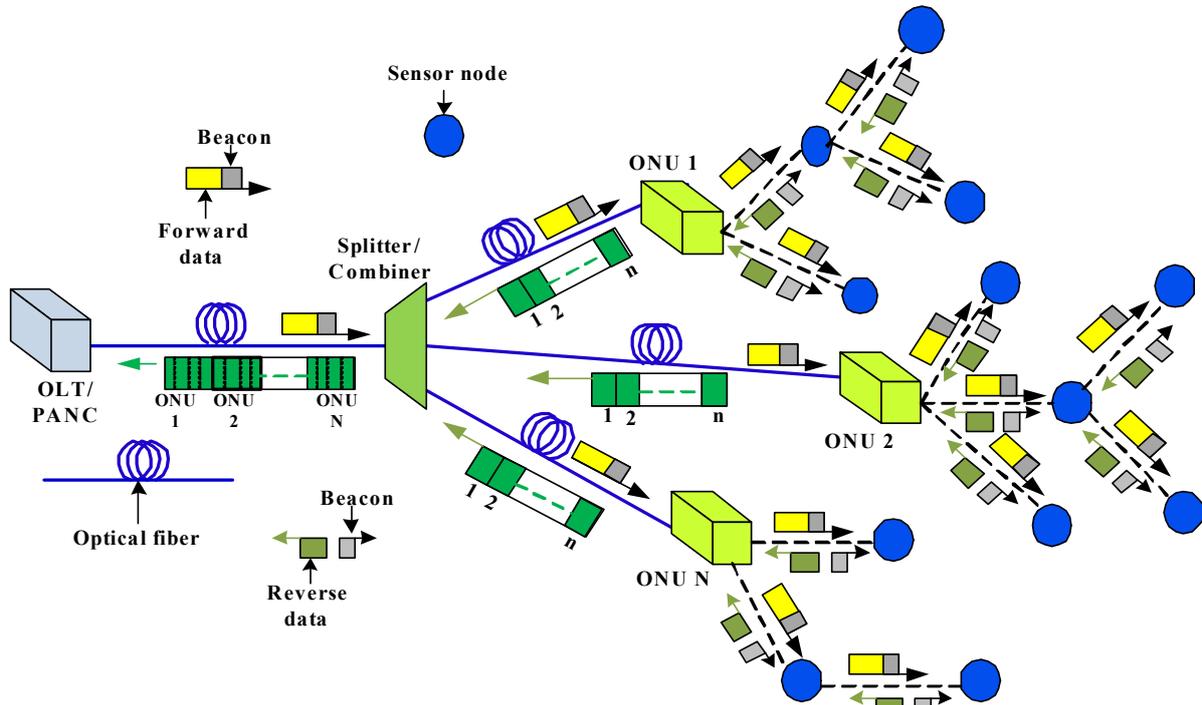


그림 1. PON기반 센서네트워크의 상방향 데이터전송

그림 1에서 다수 개 센서 노드의 클러스터링 방식에는 각 센서 노드들이 각 ONU에 위치한 허브를 기준으로 독립적으로 클러스터링을 할 수도 있으나, 이 경우 각 그룹이 포함하는 센서의 개수 및 홉 개수는 크게 달라진다. 따라서 본 과제를 통해 OLT에서 제어신호를 이용하여 각 허브의 클러스터링을 돕는 상호 협력적 클러스터링 방식을 그림 2와 같이 제안하였다. 이 방식에서는 그림 2(a)와 같이

PAN Coordinator에 해당하는 OLT에서 PON을 통해 연결된 각 ONU와의 통신을 통해 각 ONU가 순차적으로 한 개 홉에 해당하는 센서 노드를 추가하도록 제어를 한다. 추후 새로운 노드가 추가되면 그림 2(b)와 같이 홉 개수가 일정 값을 초과하는 경우 OLT에 정보를 전송하고, OLT에서는 홉 개수를 최소화 할 수 있는 ONU와 해당 센서 노드를 연결해 준다. 이 방식을 500개의 센서노드로 구성된 센서 네트워크에 적용한 결과를 그림 3에 보이고 있다. 그림과 같이 OLT에서 제어하는 클러스터링 알고리즘을 이용할 경우 매우 효율적으로 클러스터링이 되어서 홉 개수가 최소화되는 것을 볼 수 있다.

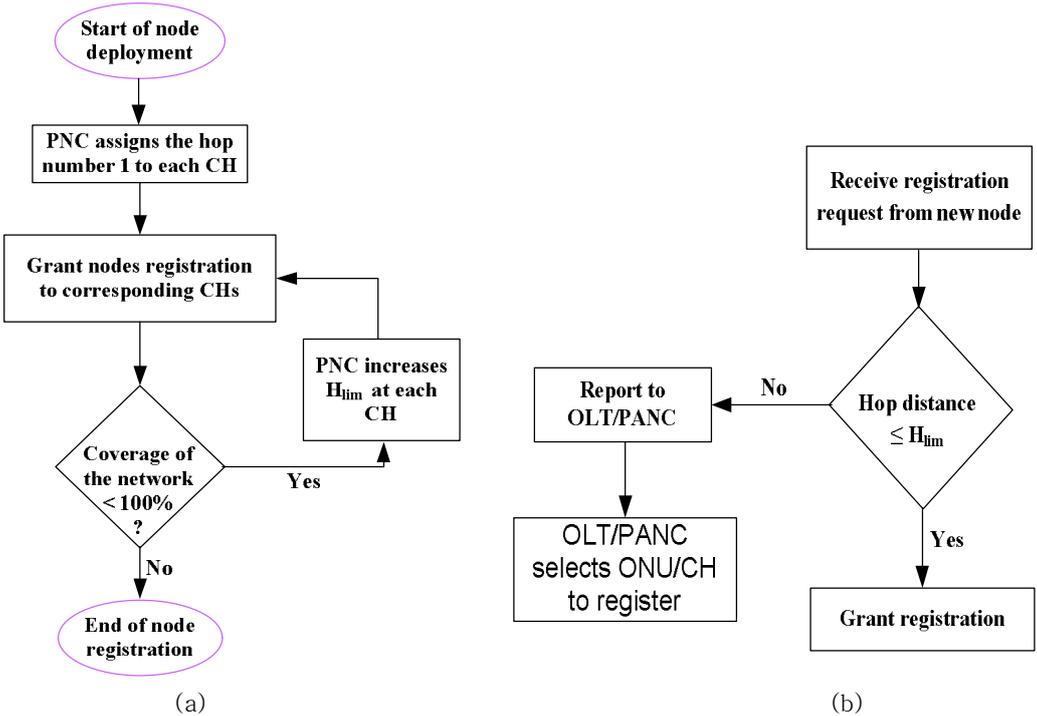


그림 2. OLT 제어 기반의 클러스터링 알고리즘 순서도 (a) 네트워크 초기 센서 노드 등록 (b) 노드 추가 시 등록

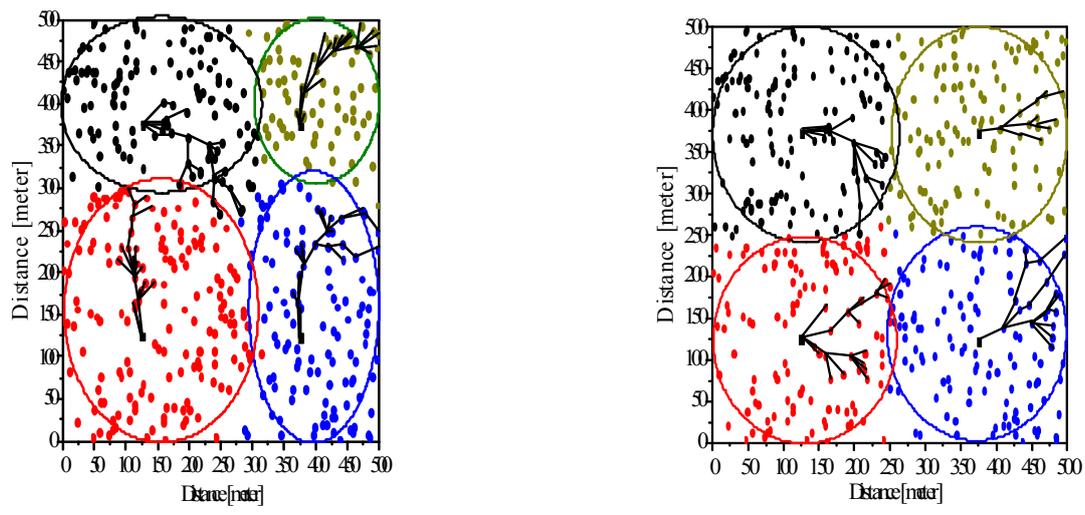


그림 3. 클러스터링 알고리즘을 500개의 센서노드에 적용한 결과 (a) 허브 독립적 클러스터링 알고리즘 (b) OLT제어 기반 클러스터링 알고리즘

한편 기존의 센서프로토콜을 적용하는 경우 상향 전송지연시간이 너무 길어진다. 따라서 본 과제에서는 그림 4와 같이 전송지연시간을 획기적으로 줄일 수 있는 Synchronized-LS(Latency Secured) 프로토콜을 제안하였다. 상향 전송의 경우 프레임의 시작 지점에서 각 센서 노드는 하위 노드를 향해 비컨을 송신한다. 최종 노드에 도달한 후에는 다시 바로 위의 노드에서부터 sleep time 이후에 비컨을 송신하며 이를 수신한 하위 노드는 상향 데이터 전송을 한다. 이와 같이 순차적으로 상향 전송을 하여 CH (Cluster Head) 까지 이르게 된다. 이러한 전송 프로토콜을 이용하는 경우 한 개 프레임 내에서 모든 센서 노드는 상향 전송을 완료하게 되며, 비컨을 이용하는 기존의 다른 방식들에 비해 획기적으로 전송 시간이 줄어들게 된다. 이 경우 전송에 소요되는 총 시간은 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$D(N) = t_q + N(t_{fw} + t_{rev}) + t_{margin} \quad (1)$$

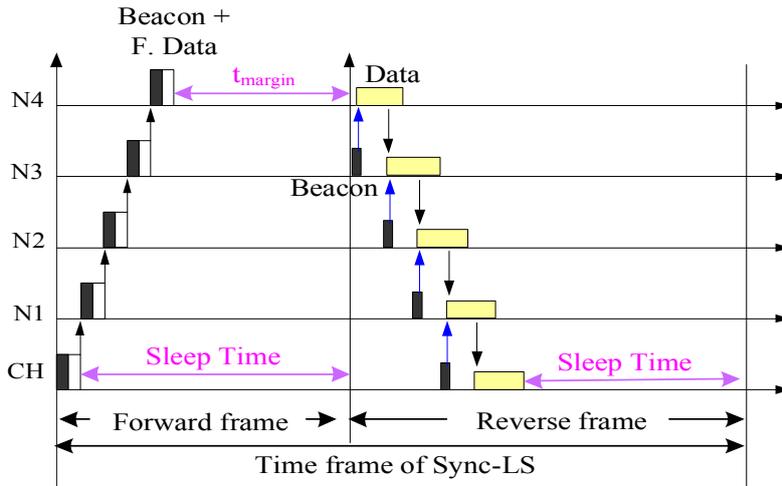


그림 4. Synchronized-LS 프로토콜

또한 이 프로토콜에 적용 가능한 패킷 프레임을 그림 5와 같이 제안한다.

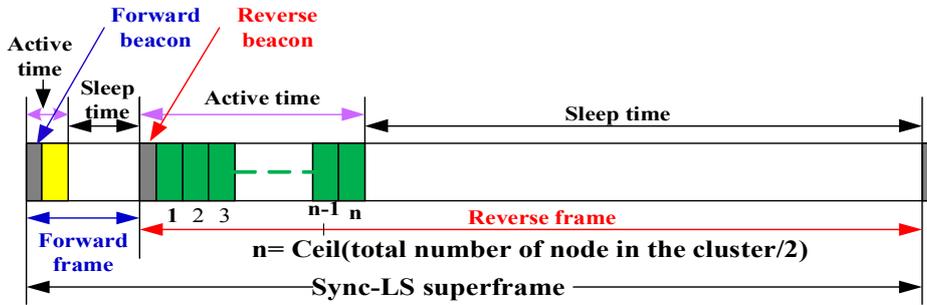


그림 5. Synchronized-LS 프로토콜의 슈퍼프레임 구조

그림 6에서는 기존에 이용하던 프로토콜들과 본 연구에서 제안하는 Sync-LS의 전송지연 시간을 비교하였다. 전체 홉 수의 증가에 따라 다른 방식에서는 전송지연이 선형적으로 증가하는 것에 비해 Sync-LS 전송방식에서는 한 개의 time frame 내에서 여러 홉의 상향 전송을 모두 해결하기 때문에 전송 지연이 거의 늘어나지 않음을 볼 수 있다. 따라서 본 과제에서 제안하는 방식은 홉 수가 매우 늘어날 경우 다른 방식들에 비해 성능이 매우 좋은 것을 볼 수 있다. 한편 한 개의 슈퍼 프레임에 들어가는 데이터 패킷 크기에 따라서 전송지연의 차이가 발생하게 된다. 즉, 슈퍼 프레임 내 수용 가능한 패킷 크기가 증가하면 트래픽 용량이 늘어나더라도 이를 한 개 프레임 내에서 수용할 수 있기 때문에 전송 지연이 유지된다. 반면 트래픽이 적을 경우에는 할당 패킷 크기가 작은 경우에 비해 에너지가 더 많이 소모된다. 그림 7에서는 한 개의 슈퍼 프레임에 들어가는 데이터 패킷 크기에 따른 전송지연의 차이를 보여주고 있다.

본 연구결과를 이용하면 센서 네트워크의 성능을 유지하면서도 홉 개수를 증가함으로써 우수한 성능의 센서 네트워크를 가능하게 해준다.

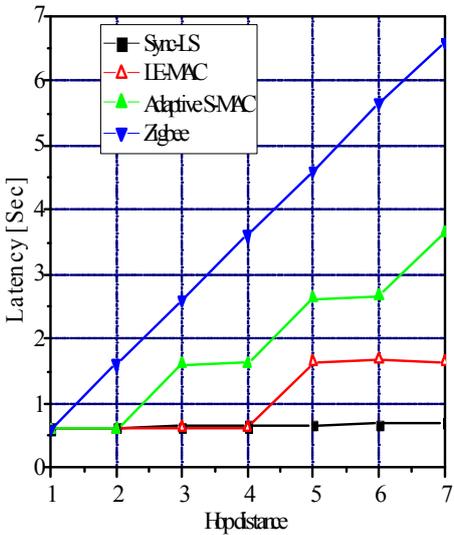


그림 6. 프로토콜에 따른 전송지연 비교

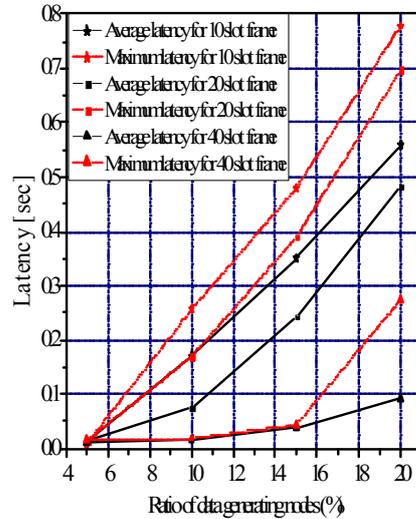


그림 7. 프레임 크기에 따른 전송지연 비교

(2) 다중 OLT 기반의 PON 시스템

EPON, GPON 등의 TDM-PON 시스템은 기본적으로 1개의 OLT와 최대 64개의 ONU (혹은 ONT)가 연결된 트리 구조를 갖고 있으며, OLT는 사업자의 중심국에 위치하고 ONU는 가입자 지역에 위치해서 상하향 대역폭을 공유한다. 그런데 현재의 구조로는 다음 측면에서 한계가 있다. 첫째, 현재는 서비스 경쟁 시대이며, 가입자들은 다양한 사업자로부터 양질의 서비스를 받기 원하는데 반해 현재의 PON 시스템은 한 개의 사업자만 서비스 제공이 가능하다. 1:N 트리 구조에서 N개의 ONU는 한 개의 OLT와만 연결되고, OLT는 사업자의 중심국에 위치하므로 가입자는 여러 사업자의 서비스를 함께 받을 수 없기 때문이다. 따라서 다른 사업자가 서비스를 제공하기 위해서는 그림 8과 같이 별도의 PON 시스템을 설치해야 한다. 즉, 각 가입자 ONU가 2개 사업자로부터 서비스를 제공받기 위해서는 2개의 ONU를 가지고 있어야 하며, 각 ONU는 별도의 PON에 연결되어야 한다. 사업자의 숫자가 늘어나면 PON 개수도 늘어나야 할 것이다. 이는 통신 인프라의 큰 낭비 요인이 된다.

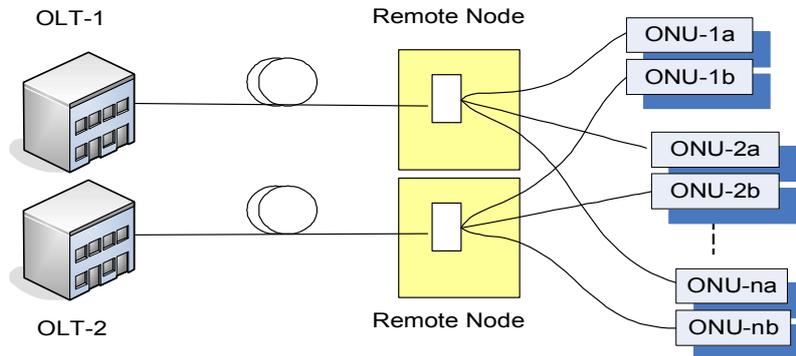


그림 8. 설비 이중 투자의 문제점: 경쟁 서비스 수용을 위한 2개 PON 설치

두 번째로 PON 시스템의 속도가 높아지고 공공기관, 금융기관 등 중요 기관들의 서비스에 사용되면서 시스템의 보호/절체 기능이 중요한 시점에 있는 반면 현재의 PON 시스템으로는 기존 SONET 수준의 보호가 불가능하다. GPON 표준화에서는 그림 9와 같은 OLT-RN 사이의 선로 이중화를 포함하고 있

어서 만일 working 선로에 사고가 생긴다면 protection 선로가 이를 대체하도록 하고 있다. 일반 점대점 시스템의 경우에는 한 개의 송신장치가 다른 한 개의 수신장치에 연결되므로 이런 1:1 전환에 문제가 없다. 그러나 TDM-PON 시스템의 경우에는 동작선로(working) 사고 시 보호선로(protection) 교체에는 지연이 발생한다. 상향 패킷의 충돌을 피하기 위해 OLT와 각 ONU의 거리 차이를 측정하고 이를 고려하여 각 ONU의 전송 시작 시간을 다르게 하는 MAC 프로토콜을 동작시켜야 하기 때문이다. 따라서 보호선로로의 교체를 위해서는 보호선로를 이용한 OLT와 각 ONU의 경로차를 새롭게 적용해 주어야 하므로 이를 위한 시간 지연을 피할 수가 없게 된다. 따라서 음성통화의 경우에는 호 중단이 발생하고, 인터넷의 경우에도 지연시간 동안 장애가 발생하게 되어 중요 서비스에 지장을 초래하게 된다.

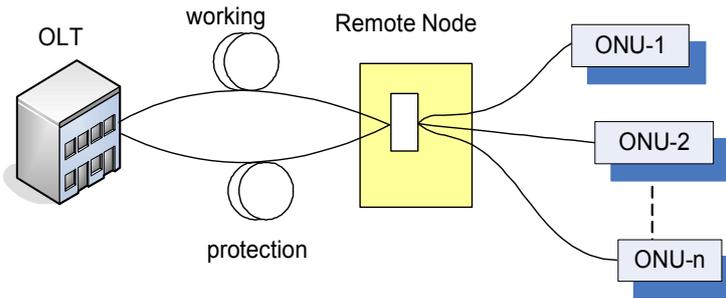


그림 9. 네트워크 신뢰성 문제점: 선로 이중화를 이용한 PON 보호 선로 거리차로 스위칭 지연

본 과제에서는 최초로 Multi-OLT 구조의 PON을 연구하고 이를 통해서 위와 같이 PON 시스템이 가지고 있는 구조적인 문제점을 해결을 시도하였다. 그림 10은 2개의 OLT를 갖는 Multi-OLT PON 시스템으로서 각 ONU마다 다른 OLT의 서비스를 제공받도록 설정할 수 있다. 또는 그림의 ONU-2와 같이 동일 ONU 내에서도 서비스에 따라 다른 OLT와 연결이 가능하다. 또한 이 구조를 활용하여 두 개의 OLT 중 한 개를 protection 용도로 지정해서 평소에 주기적으로 거리를 측정하고 제어 패킷을 전송함으로써 상시 절체 준비를 하고 있도록 하며, working 파이버 혹은 working OLT 고장 시 즉시 protection OLT 및 protection 파이버로의 절체가 가능하도록 한다.

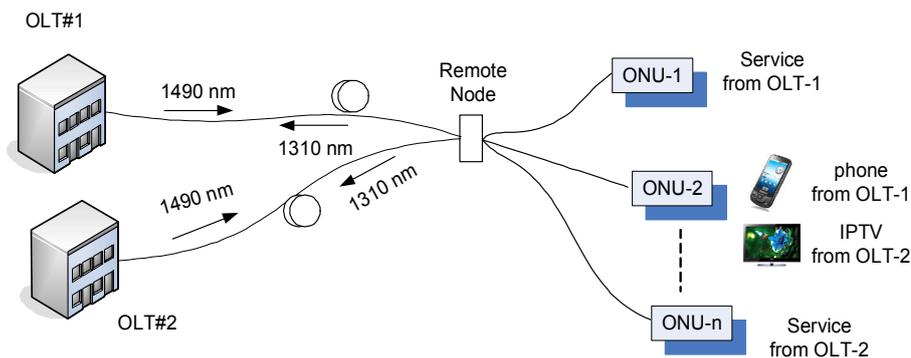


그림 10. 제안된 Multi-OLT PON을 이용한 ONU에서의 선택적 서비스 이용

본 과제를 통해서 위 그림 10의 구조에 적합한 상·하향 데이터 전송 프로토콜을 제시하고 이의 성능을 계산하였다. 상·하향 데이터의 전송은 다음 그림 11과 같이 이루어진다. 두 개의 OLT는 서로의 패킷 전송에 관한 정보를 주고받으며, 한 개의 하향 채널을 이용해서 데이터를 전송한다. 다수 개의 ONU는 OLT로부터 데이터 전송 메시지를 받고 이에 의해서 데이터를 전송해야 한다. 이 때 OLT는 상향 패킷의 충돌이 없도록 전송에 걸리는 시간을 미리 측정해서 각 ONU 별로 전송 시작 시간을 알

려주어야 한다. OLT_M 및 OLT_S 의 전송 시작 시간은 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

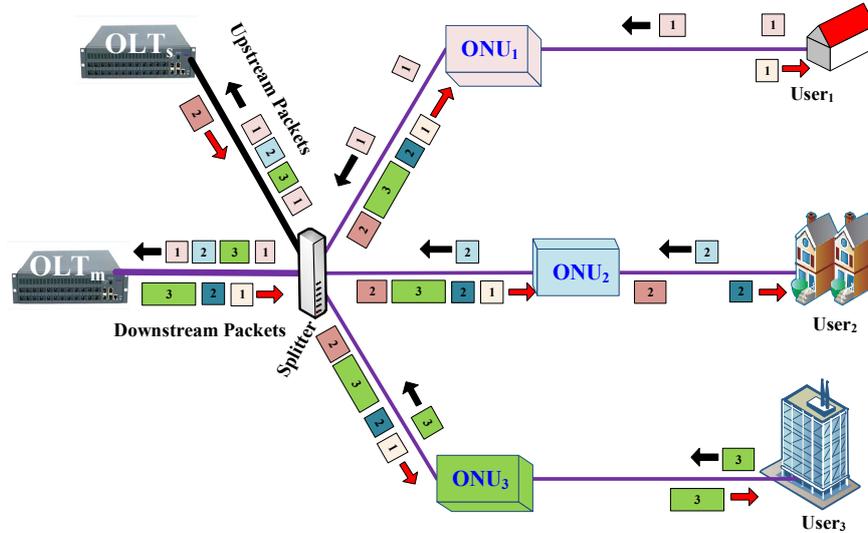


그림 11. 제안된 Multi-OLT PON 시스템에서 상·하향 데이터 전송

$$T_{begin_m} = T_{begin_s} + P_s + \frac{1}{2}RTT_s - \frac{1}{2}RTT_m + T_g \quad (2)$$

$$T_{begin_s} = T_{begin_m} + P_m + \frac{1}{2}RTT_m - \frac{1}{2}RTT_s + T_g \quad (3)$$

식 (2)는 OLT_M 의 패킷 전송 시작 시간을 의미하며, 식 (3)은 OLT_S 의 패킷 전송 시작 시간을 나타내고 있다. RTT는 round trip time을 T_g 는 guard time을 각각 의미한다. 제안된 PON에서 OLT와 ONU 사이의 제어 메시지 전달은 다음 그림 12와 같이 이루어진다.

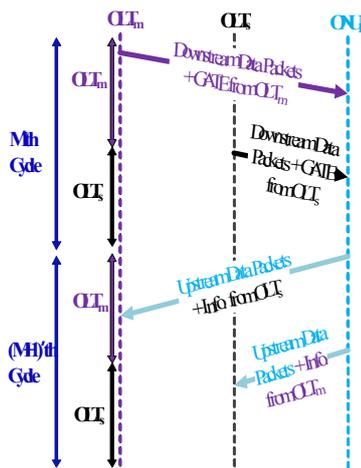


그림 12. Multi-OLT PON에서 제어 메시지 전달

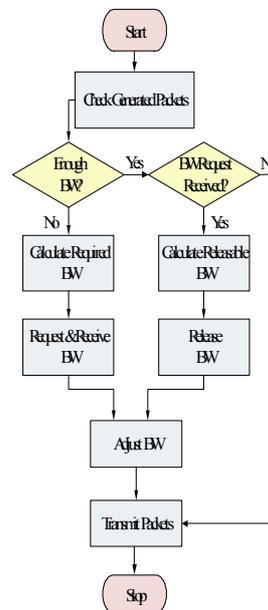


그림 13. 하향전송 GLDBA 알고리즘

한편 위에 제시된 Multi-OLT PON 구조에서 두 개 OLT는 한 개의 하향 채널을 통해 데이터를 전송해야 하는데, 두 OLT에 발생하는 트래픽은 시간에 따라 달라진다. 또한 두 OLT는 서로 계약에 의

해 일정 비율의 하향 대역폭을 예약할 것이다. 이 상황에서 두 OLT에 가장 좋은 채널 할당 방식은 두 OLT가 예약한 대역폭은 보장(Guarantee) 하면서, 남은 대역폭은 상대 OLT에 할당하는 것이다. 이 경우 대역폭을 대여하는 OLT 입장에서는 발생한 트래픽에 제한하여 (Limited) 대역폭을 사용하지만, 계약에 의한 만큼은 항상 보장(Guarantee)을 받기 때문에 본 연구에서는 이 동적대역 할당 알고리즘의 이름을 GLDBA (Guaranteed Limited Dynamic Bandwidth Allocation)이라 부른다. 이 알고리즘을 그림 13의 순서도에서 제시하고 있으며, 시간에 따른 두 OLT의 대역폭 할당을 그림 14(a)에서 보이고 있다.

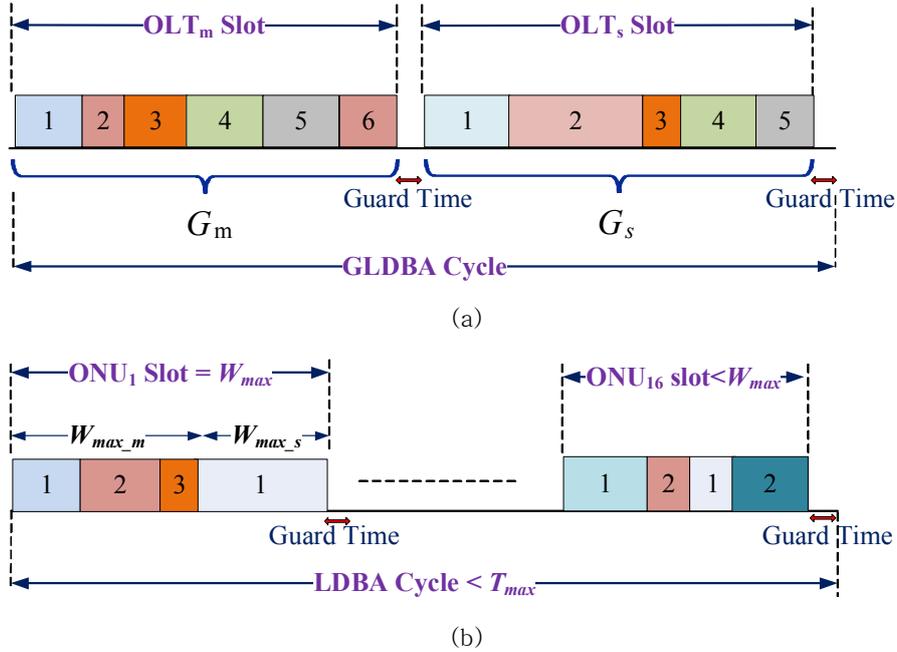


그림 14. 상·하향 데이터 전송 시간 할당
(a) 하향 전송에서의 GLDBA (b) 상향 전송에서의 LDBA

GLDBA 알고리즘에서 공유하는 대역폭을 결정하는 과정은 다음과 같다. 두 개의 OLT에 해당하는 OLT_m 과 OLT_s 의 부하량을 각각 L_m 과 L_s 라 하자. 이 경우 비율은 다음과 같이 서술한다.

$$G_m = L_m / (L_m + L_s) \text{ and } G_s = L_s / (L_m + L_s) \quad (4)$$

만일 다음 식 (5)의 조건이 만족한다면 OLT_m 은 OLT_s 에게 여유 대역폭을 제공하게 된다. 이 때 R_m R_s 는 각각 OLT_m 과 OLT_s 의 보장된 대역폭 비율을 의미하고 있다.

$$G_m < R_m \text{ and } L_m < R_m \quad (5)$$

일정 주기로 위 판단을 실시한 후 적정 대역폭을 대여하는 과정을 반복하면서 하향 전송을 하게 되며, 이 결과를 그림 15(a)에서 보여주고 있다. 이 그림에서는 FBA (Fixed Bandwidth Allocation)과 제안한 GLDBA의 결과를 비교하고 있다.

한편, 상향 전송의 경우 각 ONU는 두 개의 OLT를 향해 데이터를 전송해야 한다. 이 환경에서 가장 적절한 방식으로 본 과제에서는 LDBA 알고리즘을 제안하였다. 식 (6)은 모든 ONU가 전송을 한 번씩 하는 주기를 cycle time (T) 이라 정의할 때 최대 cycle time 을 계산하는 식이다.

$$T_{max} = N (W_{max} + T_g) = N (W_{max_m} + W_{max_s} + T_g) \quad (6)$$

위 식에서 N 은 최대 ONU 개수, W_{max_m} 은 한 개 ONU에서 보낼 수 있는 최대 time slot, T_g 는 guard time 을 각각 의미한다. 또한 식 (7)은 한 개 ONU에서 전송하는 최대 time slot의 계산식에 해당한다.

$$W_{max_m} = (W_{max} \times R_m) \text{ and } W_{max_s} = (W_{max} \times R_s) \quad (7)$$

그림 14(b)는 이를 위한 대역폭 할당 타임 슬롯을 보이고 있으며, 15(b)에서는 이 경우 상향 데이터 전송 지연을 보이고 있다.

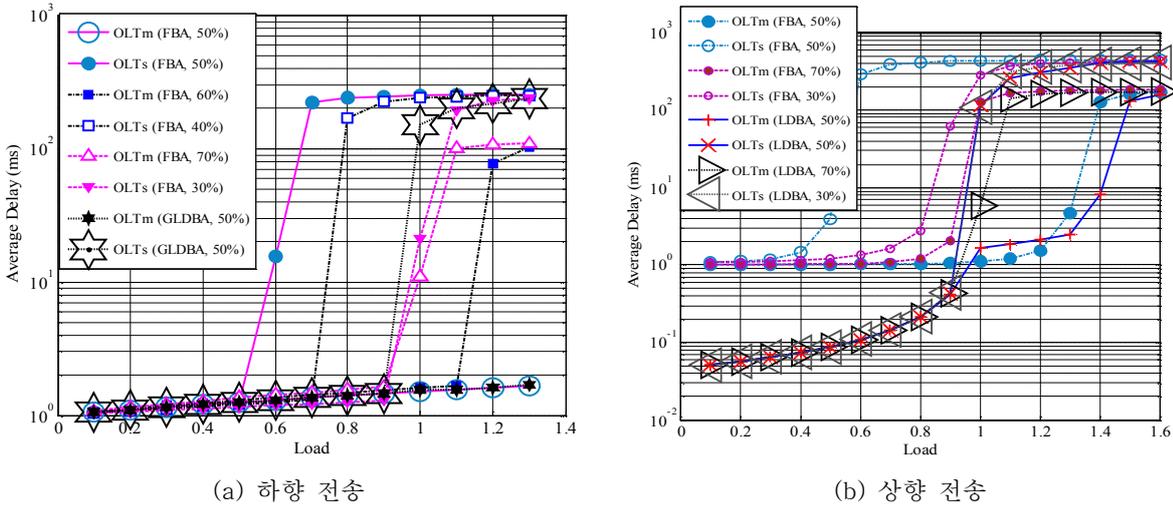


그림 15. 제한한 2-OLT PON 시스템의 전송지연 시간 비교 (두 OLT 계약 비율 70:30)

(3) PON 시스템의 고장위치 탐색

PON 시스템을 이용한 서비스가 점차 늘어나고, 또한 전송용량이 커지면서 실시간 PON 감시기능도 매우 중요하게 되었다. 그런데 점대점 망과는 달리 점대다점의 트리구조를 갖는 PON에서는 고장위치를 찾기가 쉽지 않다. 특히 선로 사고 지점이 ODN-ONU 구간에 있을 경우 어떤 파이버에 고장이 있는지를 알아내기는 매우 어렵다. 따라서 이를 해결하기 위해 각 ONU 단에 반사 파장이 다른 필터를 부착하고 OTDR 송신부 파장을 변화하며 각 선로를 감시하는 방법이나, 또는 ONU 위치에 OTDR을 두어 선로특성을 측정하는 방법 등이 제안되고 있다. 그러나 위 방법들은 비용이나 관리의 용이성 등에서 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 OTDR의 측정원리를 그대로 이용하면서 실시간 측정값을 기준값과 비교함으로써 사고 여부 및 고장 위치를 탐색하는 방법을 제안한다.

트리구조에서 OTDR을 이용할 때 분기 선로 위의 사고에 의한 손실은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다. 식에서 c . loss(cumulative loss)는 사고 지점 직전(before) 혹은 직후(after)까지의 누적 손실을 의미하고 있다. PON에서의 손실이 이와 같이 나타나는 이유는 한 개 분기에서 사고가 발생하더라도 다른 분기의 해당 거리에서는 계속해서 Rayleigh 산란이 발생하고 있기 때문이다.

$$OTDR \text{ loss [dB]} = 5 \times \log \left[\sum_{i=1}^N 10^{-c.loss\ before/5} \div \sum_{i=1}^N 10^{-c.loss\ after/5} \right] \quad (8)$$

따라서 사고 지점에서는 식 (8)에 해당하는 만큼의 손실이 OLT에 위치한 OTDR에 측정되며, PON 시스템의 분기수가 많을수록 이 손실값은 작아진다. 만일 선로 단절 사고라면 Fresnel 반사값에 해당하는 크기의 반사를 보인 후 위 손실이 나타나게 될 것이다. 한편, PON 시스템의 단말인 각 ONU와 분기 선로의 연결점에서는 커넥터 반사값이 측정된다. 따라서 선로 단절 사고 발생 시에는 해당 선로에 연결된 ONU 커넥터에서의 반사는 OTDR의 측정에서 사라지고, 사고 위치에서 새로운 반사값이 나

타나며, 곧 이어 식 (8)에 해당하는 손실이 나타나게 된다. 만일 OTDR을 이용해서 전체 PON 시스템을 분석하여 각 ONU에 의한 반사위치를 기준값으로 가지고 있다면, 추후 실시간 감시값을 이 기준값과 비교함으로써 사고 선로 및 위치를 파악할 수 있게 된다. 위 과정을 시험하기 위해 그림 16과 같은 환경에서 OTDR 측정을 하였다. 1:4 분배기를 이용하여 OTDR과 4개의 다른 길이를 갖는 광파이버를 연결하였고 600 meter 광파이버의 500 meter 부근을 절단하여, 절단 사고 전후의 OTDR 측정값을 비교하였다. 그 결과 그림 17과 같은 측정값을 얻을 수 있었다. 즉, 사고 전에는 각 선로의 끝에 해당하는 600 m, 1 km, 2 km, 5 km에서 커넥터 반사를 보이고 있으나, 사고 후에는 600 m 반사점은 사라지고 대신 500 m 위치에서 새로운 반사점이 생기며, 이 지점 직후에서 추가 손실이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이 때 500 m 위치에서의 추가 손실값을 식(1)에 의해 계산하면 0.62 dB 정도이지만 측정값은 약 0.26 dB 정도이었다. 이는 반사 펄스에 의한 dead zone의 영향으로 보인다.

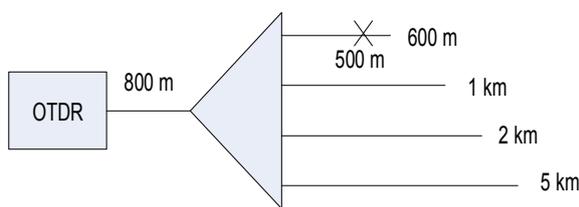


그림 16. PON 시스템 선로감시를 위한 시험 환경

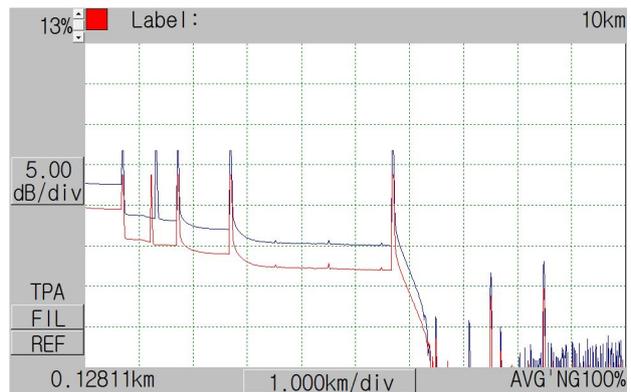


그림 17. 사고 발생 전(위)과 사고 발생 후(아래)의 OTDR 측정 결과

한편 위와 같은 방식을 이용하여 PON 선로고장을 찾고자 할 때는 각 분기선로의 길이가 달라야 한다. 길이가 일치하는 두 선로 중 한 개에서 고장이 발생할 경우 어떤 선로의 고장인지 판단이 어렵기 때문이다. 그러나 최근 OTDR의 해상도가 수 meter 이내로 향상되고 있어서 대부분의 경우에는 판단 가능할 것으로 예상된다. 다만 해상도를 높이기 위해서는 OTDR 송신 펄스폭을 줄여야 하고 이 경우 측정 거리가 줄어드는 문제점이 발생하므로 이의 보상을 위해서는 OTDR 송신 출력을 증가해서 측정해야 한다. 그림 18에서는 선로감시를 위한 알고리즘을 제시한다. OTDR을 이용해서 주기적으로 각 ONU의 위치를 먼저 파악하고 이를 데이터베이스화 한다. 이후 PON 선로감시 작업을 계속적으로 수행하고 이를 이전에 저장된 ONU 각 위치와 비교하여 차이를 계산하는 작업을 반복한다. ONU 정보를 새롭게 저장하는 이유는 ONU의 위치 이동, 커넥터 반사값의 변화 등이 발생할 수 있기 때문이다. 위 기능을 갖는 감시시스템을 이용한다면 PON 서비스 도중에도 기존 OTDR의 기능을 그대로 이용하여 PON 시스템을 감시할 수 있을 것으로 판단된다. 위의 연구 결과를 2009.12 광자기술학술회의에서 발표하였다.

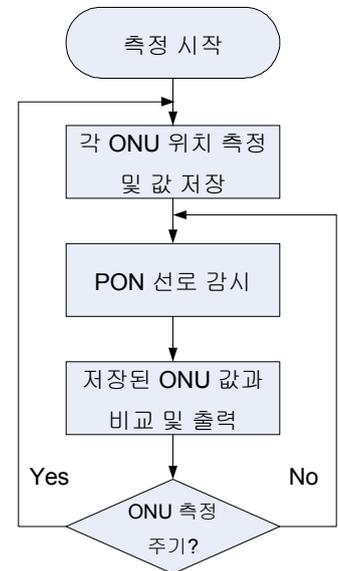


그림 18. 선로감시 알고리즘

(4) FTTH 시스템과 연계한 맨체스터 기반 Full-color 가시광 통신 시스템

최근까지 가시광통신에 관한 연구는 주로 한 가지 색상의 LED를 이용한 통신에 국한되어 왔다. 그러나 향후 LED는 R,G,B를 이용한 Full-color로 발전할 것이며, 본 연구를 통해 이러한 full-color 환경에서도 가시광통신을 할 수 있는 방식에 대해 연구하였다. R,G,B 색상의 LED는 과거에는 대형 전광판이나 설치예술 등 특정 용도로 사용이 제한되었지만, 최근에는 효율이 좋은 광원으로써 조명에도 많이 사용되고 있다. 가시광 무선 통신은 조명에 활용되는 LED를 통신에 이용함으로써 편리하면서도 간섭 현상 등 RF통신의 여러 문제점들을 해결할 수 있는 통신방식으로 알려지고 있다. R,G,B LED의 색상을 제어하는 데는 PWM(Pulse Width Modulation) 변조 방식이 많이 이용되는데, 이는 디지털 구현이 용이하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 PWM 기반으로 LED 색상을 제어하면서 이를 다시 통신에도 이용할 수 있는 방법을 제시하였다.

PWM 기반 R,G,B LED 제어는 그림 19와 같이 Red, Green, Blue 색상의 ON/OFF 시간을 조절함으로써 LED의 색상과 밝기를 조절하는 방법이다. 제어 주기 내에서 R,G,B 동작 구간을 독립적으로 설정하고 각 구간 내에서 R,G,B LED에 PWM을 적용하여 각 색상 LED의 ON/OFF 비율을 제어함으로써 다양한 색상을 구현할 수 있다. 그런데 LED는 ON 시간에만 신호를 전송할 수 있으므로 R,G,B LED를 그림 19와 같이 연속적으로 ON/OFF 한다면 다음과 같은 두 가지 문제가 발생할 수 있다. 첫째, LED ON 지속 시간이 짧아서 데이터 전송 시간도 매우 짧다는 점이다. 이 경우 R,G,B 각 동작 시간에 맞도록 패킷 길이가 제한되며, 또한 새롭게 패킷을 보낼 때마다 오버헤드가 추가되어야 하므로 전송 효율이 매우 낮아진다. 둘째, 전송 데이터의 '0'과 '1'의 비율이 같지 않은 경우 데이터의 종류에 의해 조명의 색상이 변한다는 점이다. 따라서 본 연구에서는 원하는 조명의 색상을 유지하면서도 효율적인 통신을 하기 위해서 다음 방법을 제시하였다. 먼저 그림 20(a)와 같이 조명 색상을 제어할 때 한 주기 내의 R,G,B를 각 주기의 앞쪽에 채움으로써 한 번에 전송하는 패킷 길이를 최대한으로 한다. 또한 데이터 값에 의한 컬러 변화의 문제점은 그림 20(b)와 같이 데이터에 따라 ON/OFF 비율이 달라지는 OOK 변조 대신 '0'과 '1' 모두 ON/OFF 비율이 1/2이 되는 맨체스터 코딩을 이용함으로써 해결한다.

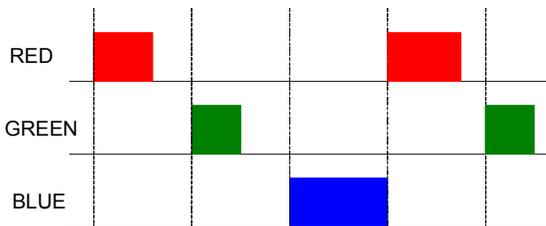


그림 19. PWM 기반 RGB LED 제어

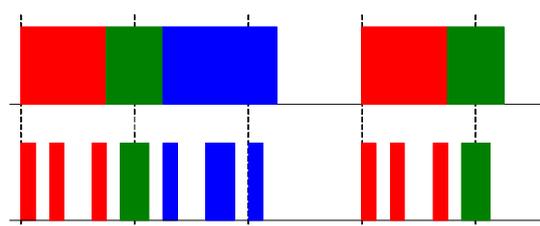


그림 20. 컬러 가시광통신을 위한 LED 변조(a) 연속된 R,G,B 동작 (b) R,G,B LED의 맨체스터 코딩

본 연구에서 제시한 가시광통신 변조 방식을 ISE 툴과 VHDL을 이용해서 코딩하였고, 이를 Xilinx의 Spartan 3E FPGA Board에 다운로드 하여 구현하였다. 그림 21은 제안된 알고리즘의 송신 블록도를 보이고 있다. 컬러 제어 정보를 갖는 PWM 신호로부터 밝기와 R,G,B 폭의 두 가지 정보를 분리하여, 밝기 신호는 LED Driver의 전류 출력을 제어하는데 이용하고 R,G,B 폭 정보는 R,G,B LED의 ON/OFF에 활용한다. 또한 입력된 NRZ 데이터는 맨체스터 코딩을 하고, 이 값은 다시 조명 제어를 위한 RGB Width 신호와 함께 AND 게이트를 통해 R,G,B LED 드라이버 회로의 동작을 결정한다. 그림 22에서는 제안된 알고리즘의 VHDL 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 그림 22(a)는 송신단에서 맨체스터 코딩된 데이터에 따라서 각 R,G,B가 연속적으로 ON/OFF되는 것을 볼 수 있다. 이 때 R,G,B 비율을 임의로 바꿔도 맨체스터 코딩

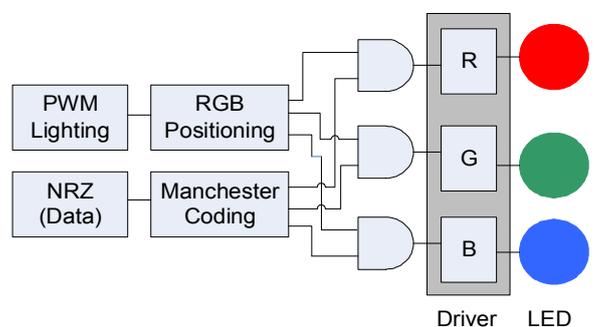


그림 21. 제안된 컬러 VLC 변조기

된 데이터는 연속적으로 전송 된다. 그림 22(b)는 수신 데이터에서 클럭을 복구하고, 이를 이용하여 데이터를 복조하는 과정을 보인다. 그림 23에서는 송수신용 FPGA에 각각에 해당하는 프로그램을 다운로드하여 전송한 결과를 보여 준다. R,G,B의 각 LED는 연속적으로 맨체스터 코딩된 데이터를 송신하고 있으며, 수신단에서는 정확하게 송신된 데이터를 복조하는 것을 볼 수 있다.

본 논문에서 제안된 알고리즘을 이용하면 R,G,B LED를 이용한 컬러 조명의 기능을 그대로 이용하면서도 통신을 가능하게 함으로써 가시광통신의 적용 범위를 한층 더 넓힐 수 있을 것이다.

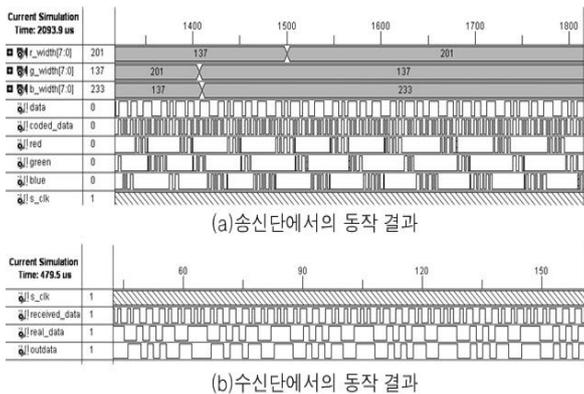


그림 22. VHDL 시뮬레이션 결과

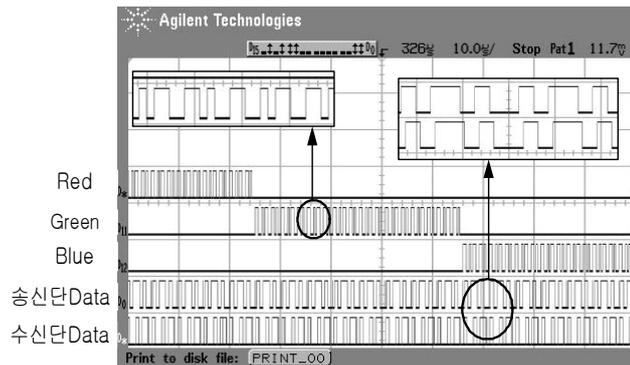


그림 23. FPGA를 이용한 전송 실험 결과

(5) FTTH 시스템과 연계한 CDMA 기반 가시광 통신 시스템

FTTH를 이용해 홈 내부에 들어오는 신호는 여러 가지 방식으로 홈 내부의 멀티미디어 기기들과 연결 된다. 한편 LED 조명이 점차 많은 곳에서 이용되면서 LED 조명을 이용한 가시광통신도 더욱 많은 관심을 받고 있다. 따라서 본 연구과제를 통해 FTTH와 가시광통신을 서로 연계하는 연구를 하게 되었다. 가시광통신은 실내 및 실외 환경에서 이용되기 위해서 주변 잡음, 즉, 다른 조명이나 햇볕 등에 강한 특성을 가지고 있어야 한다. 또한 주변에서 이용되고 있는 다른 가시광통신 신호의 간섭에도 강해야 한다. 본 연구에서는 이런 열악한 채널 환경에서의 신호 전송에 대역확산 변조 기법을 이용하는 것을 제안하였다. 대역확산 변조는 큰 외부잡음에도 불구하고 우수한 전송 특성을 제공하기 때문이다.

대표적인 외부잡음에 해당하는 형광등의 경우를 그림 24에서 보여주고 있다. 그림에서는 20 Watt 형광등을 PIN-Photodiode에 근접하였을 때의 잡음을 주파수 영역에서 보여주고 있다. 이 잡음은 주로 88 kHz 주파수의 하모닉스로 나타나고 있는데, 이 주파수 성분을 좀 더 상세히 본다면 매우 좁은 스펙트럼 성분으로 구성되어 있으며, 따라서 일종의 jamming 신호라 할 수 있다. Jamming 신호와 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 잡음이 함께 존재하는 경우 대역확산코딩 수신단 출력부의 신호 대 잡음비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SNR = \frac{s^2}{E(n^2) + E(j^2)} = \frac{A^2 T}{N_0 + P_j T_c} \quad (9)$$

위 식에서 A는 송신신호 크기, T는 신호의 주기, N0는 AWGN 잡음의 PSD, Pj는 jamming 신호 파워, Tc는 대역확산코드의 주기를 각각 의미한다. 따라서 대역확산 chip의 주기가 짧을수록, 즉, 처리이득(T/Tc)이 커지면 jamming 신호는 SNR에 영향을 미치지 못하게 된다. 그림 26에서는 대역확산 변조를 이용한 가시광통신 송수신 시스템의 전체 블록도를 보이고 있다. 송신부에서는 전송데이터와 PN 코드가 곱해져서 대역확산 데이터가 생성되고, 이 신호는 LED 드라이버 회로를 통해 LED광원 변조에 이용된다. 수신부에서는 입력신호로부터 PN 데이터의 동기를 복구하고 이를 이용하여 데이터를 복구하는 과정이 있어야 한다. 실험 모델 성능의 검증을 위하여 VHDL을 이용해 제안된 알고리즘을 프로

그레밍하고 FPGA에 구현하였다. 그림 25에 보이는 VHDL 스키메틱 송신부(Tx)는 송신데이터의 발생, PN 코드 발생, PN에 의한 데이터 변조를 포함하고 있다. 또한 수신부의 Acquisition에서는 수신된 신호로부터 PN 신호를 한 개 chip 이내 오류 범위에서 복원하고 Tracking에서는 PN을 1/10 chip 이내의 정밀도를 갖도록 복원한다. 복원된 PN 코드를 이용해서 입력 신호로부터 송신 데이터를 복원한다. 그림 27 및 그림 28에서는 송수신 프로그램을 FPGA에 다운로드 후 실험한 결과를 보여주고 있다. 위부터 차례로 송신부 전송데이터, 송신부 PN, PN-acquisition, PN-tracking, 수신데이터를 보여주고 있다. 대역확산 변조를 이용해서 가시광통신을 함으로써 잡음에 강한 통신을 할 수 있음을 보였다. CMDA는 채널간 간섭을 상쇄할 수 있기 때문에 인접한 여러 송수신 모듈에서 동시에 전송을 할 수 있다. 단, 변조 과정에서 사용 대역폭이 처리이득에 비례하여 증가하기 때문에 수 십 MHz 이내로 제한되는 LED의 대역폭을 고려하면 대용량 전송에는 적합하지 않을 것이다. 그러나 LED를 이용한 음성이나 텍스트파일을 전송에는 매우 적합한 것으로 판단된다.

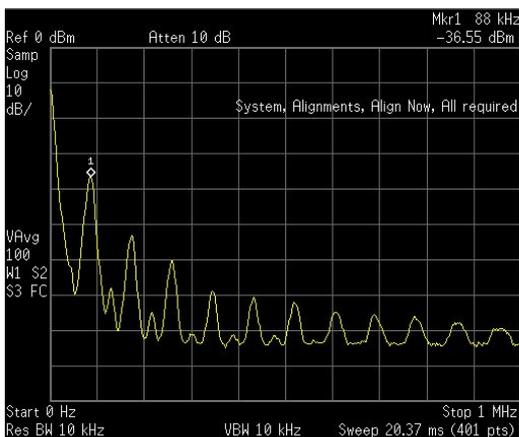


그림 24. 형광등 잡음의 주파수 스펙트럼

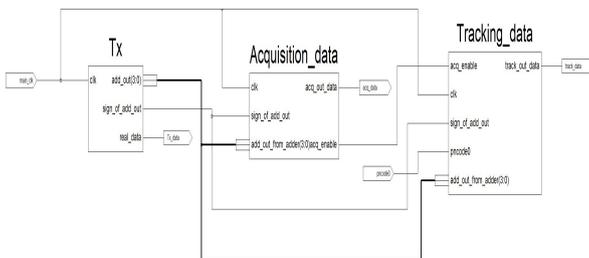


그림 25. VHDL 스키메틱

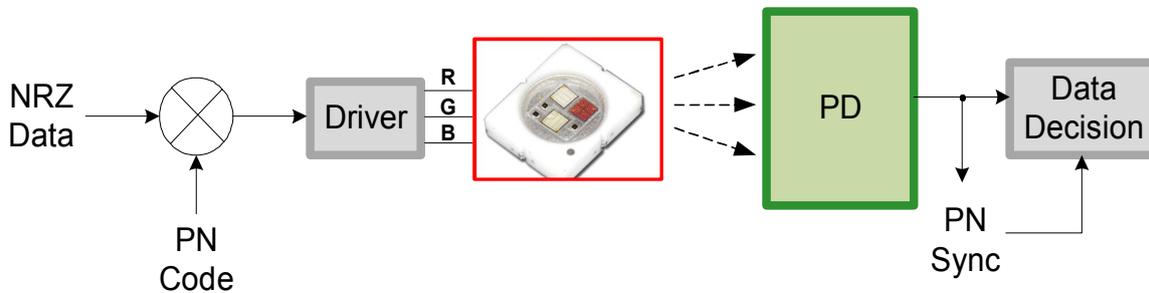


그림 26. 대역확산 변조를 이용한 가시광통신 송수신 블록도



그림 27. FPGA를 이용한 전송시험 결과(1)
(위부터 송신데이터, 전송PN, PN-acquisition,
PN-tracking)

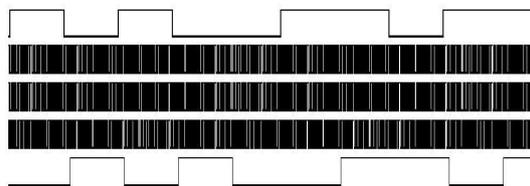


그림 28. FPGA를 이용한 전송시험 결과(2)
(위부터 송신데이터, 전송PN, PN-acquisition,
PN-tracking, 수신데이터)

(6) FTTH 시스템과 연계한 OFDM 기반 가시광 통신 시스템

최근 많은 통신시스템들에서는 대역폭을 효율적으로 이용하기 위해 반송파들에 직교 주파수를 이용하는 OFDM 변조방식을 적용하고 있다. 가시광통신 분야에서도 조명용 LED의 대역폭 한계를 극복하기 위해서 OFDM 방식을 활용할 수 있는데, 이 때 LED의 비선형성으로 인해 OFDM 변조 시 성능저하를 가져올 수 있다[Elgala,ASAT]. 이를 피하기 위해서는 변조지수를 제한해야 하는데, 이 경우 전송거리 제한 등의 영향을 미치게 된다. 따라서 본 논문에서는 LED 송신부에 전치왜곡을 적용하여 LED의 비선형성을 보상함으로써 전송 성능을 개선하였다.

가시광통신에 이용되는 LED의 비선형성을 확인하기 위해 인가전류에 따른 LED(KWT728-S)의 출력 광세기를 측정했더니 다음 그림 29와 같았다. 그림의 위 곡선은 LED를 동작시킨 직후의 광세기이고, 아래 곡선은 일정 시간이 지난 후 LED 칩의 온도가 상승했을 때의 광세기이다. 그림으로부터 LED의 전류-광세기 관계는 비선형성이 존재할 뿐 아니라, 시간과 환경에 따라 전류-광세기 함수 자체도 달라지는 것을 알 수 있었다. 그림 30은 OFDM을 이용한 가시광통신시스템에 전치왜곡을 이용하는 경우의 송수신 블록도이다. 송신부에서 데이터는 N-QAM 변조 후 IFFT를 거쳐 LED를 구동한다. 이 때 LED의 비선형성은 IFFT의 출력 신호를 왜곡시키고, 이는 주파수 성분 간 직교성을 손상하므로 전송 오류를 일으킨다. 따라서 그림과 같이 LED의 전류-광세기 관계의 역함수를 이용한 전치왜곡부를 LED 구동부에 삽입함으로써 IFFT의 출력 신호와 LED 출력광신호 간의 선형성을 보장하고 성능을 향상시킨다. 수신부에서는 PD에서 광신호를 수신하고 FFT 블록 및 N-QAM 복조부를 거쳐 데이터를 재생한다.

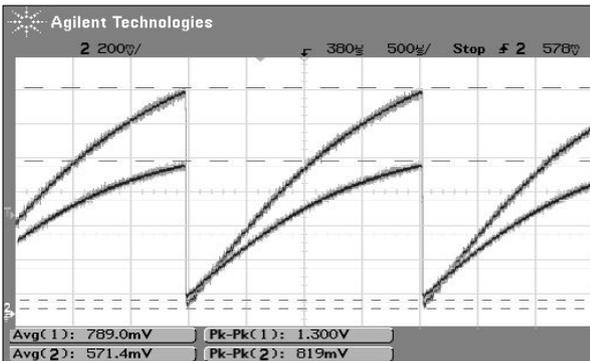


그림 29. LED 전류-광세기의 시간에 따른 비선형성

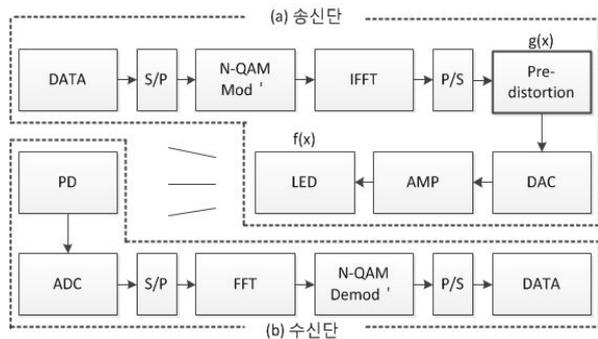


그림 30. 전치왜곡을 적용한 OFDM 송수신 블록도

측정된 LED의 비선형성을 이용해서 전치왜곡 전후의 전송성능을 계산한 결과를 그림 31에 나타내고 있다. 16QAM, 64QAM 두 경우 모두에서 비선형성으로 인해 발생한 전송오류가 전치왜곡을 이용해 비선형성을 보상한 후보다 크다. 전치왜곡을 적용한 경우는 각 QAM 방식의 이론값에 근접하고 있는 결과를 보인다. 전치왜곡부의 특성함수를 계산하기 위해서는 사용하는 LED의 특성함수를 주기적으로 측정해야한다. 이 때 전류-광세기 크기 측정을 위한 샘플링 개수를 많이 하면 역함수 연산 과정이 복잡하고 시간이 지연되므로, 샘플링 개수를 최소로 제한하고 측정값 사이의 선형변화로 가정한 후 계산을 하였으며 그 과정을 그림 32에 나타내고 있다. 그림33에서는 샘플링 개수에 따른 비트오율을 나타내는데 샘플링 개수가 3개 이상일 경우 비트오율은 이론적인 비트오율에 매우 근접함을 알 수 있다. 그림 34는 그림 30과 같은 전송블록을 갖는 테스트베드를 만들고 측정한 전송 시험 결과이다. 변조 신호의 크기를 줄여서 LED의 ‘좁은 선형영역’만을 전송에 활용하는 경우와 변조 신호의 크기를 넓게 이용한 ‘전치왜곡 전’의 경우, 또한 넓은 변조영역을 이용하며 이때의 비선형성을 보상한 ‘전치왜곡 후’의 세 가지 경우에 대한 전송 시험을 하고 비트오율을 측정하였다. 그 결과 그림 34와 같이 선형적이지만 좁은 영역을 사용하는 경우 잡음에 취약하였고, 비선형영역 전 범위를 사용한 경우 신호가 왜곡되어 성능이 저하되는 것을 볼 수 있다. 이때 조도가 낮을 경우에는 LED의 비선형성보다는 변조신호가 작을

경우 잡음에 의한 비트오율 증가가 더 큰 원인으로 작용하고 있다. 반면 변조영역을 넓게 이용하며 동시에 전치왜곡을 적용하는 경우 선형영역범위가 넓게 확장됨으로써 가시광통신 시스템의 전송 성능이 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

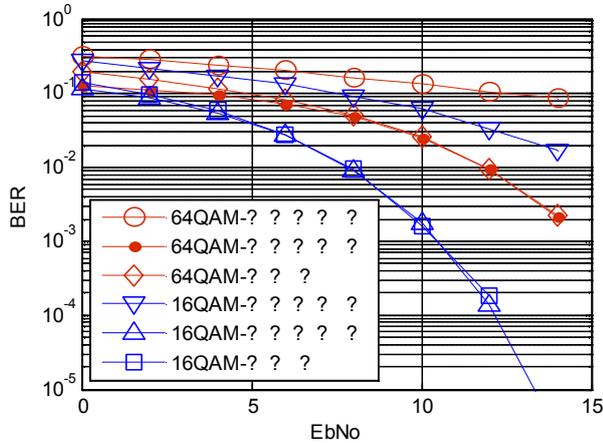


그림 31. 전치왜곡 적용 전후의 N-QAM 성능 비교

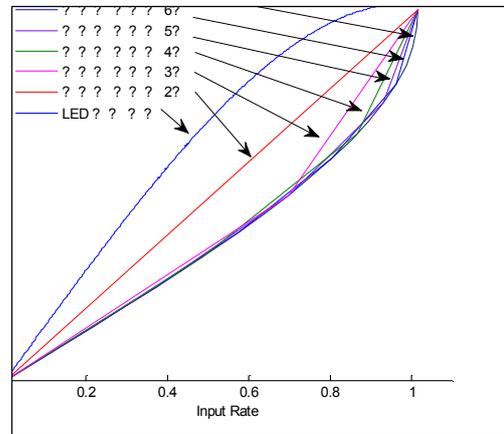


그림 32. 샘플링 개수에 따른 역함수

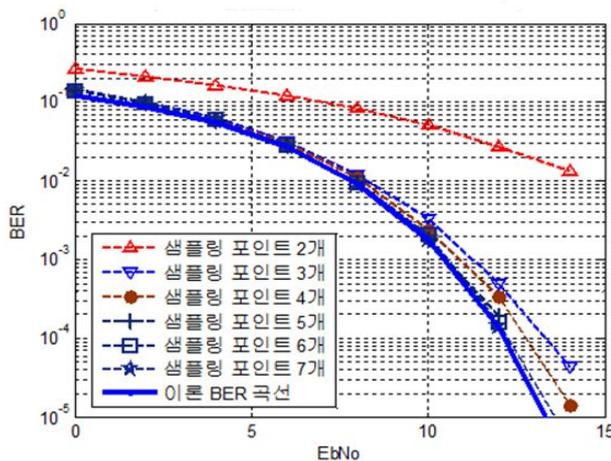


그림 33. 전치왜곡 샘플링 개수에 따른 비트오율

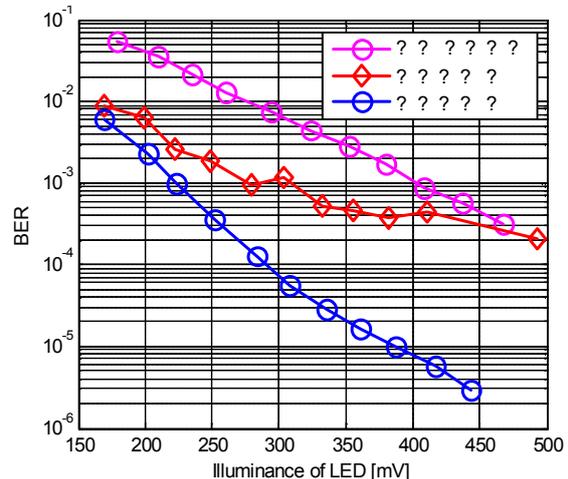


그림 34. 조도에 따른 비트오율

본 연구를 통해 OFDM 변조를 사용하는 가시광통신에서 전치왜곡의 필요성을 살펴보았다. 전치왜곡은 LED의 비선형성을 보상하여 통신성능을 향상시킨다. 제안된 방식은 대역폭 이용효율을 개선하는데 매우 효율적임을 확인하였다.

(7) 색채 공간 기반의 가시광 통신 변조기법 연구

본 연구에서는 가시광 통신 변조기법 중 하나인 색채 공간 기반의 가시광 통신의 성능 개선 방법으로 색채 공간의 특성을 반영한 수신 심벌 판정 기법을 연구하였다. 동일한 채널 잡음 조건하에서 2차원 색채 공간 기반 심벌판정 기법과 3차원 색채 공간 기반 심벌판정 기법, 기존의 빛의 세기 기반의 WDM 기법의 BER 성능을 시뮬레이션을 통해 비교하여 제안한 방법의 성능의 우수함을 입증하였다.

CCM(Color Code Modulation)은 그림 35의 색채 공간을 이용한 변조 방식을 의미한다[802.15]. CIE 1931 색채공간을 이용하는 CCM에서의 변조 방식은 심벌을 색채 공간 위의 x, y 좌표로 매핑(mapping)하고 이를 이용하여 x, y 좌표로부터 R, G, B 삼원색의 비율로 변환한다. 수신 심벌의 판정은 색채 공간의 x, y 좌표를 이용하여 송신심벌과 수신심벌의 좌표상 거리를 기준으로 하였다. 그림

36은 AWGN채널 환경에서 수신된 심벌을 x, y 좌표로 변환한 것을 보여준다. 그림에서는 잡음의 영향을 받은 심벌이 그 위치에 따라 퍼짐의 모양과 정도가 불균일함을 볼 수 있다. 이는 CCM에서 수신 심벌을 판정할 때 색채 공간에서 심벌 좌표간 거리만으로 판정하게 될 경우 심벌경계가 겹치게 되어 에러확률이 증가하게 될 수 있음을 보여준다. 따라서 색채 공간을 이용하는 가시광 통신에서 에러확률을 줄이기 위해서는 심벌의 위치에 따라 서로 다른 크기의 심벌경계가 설정 되어야 한다.

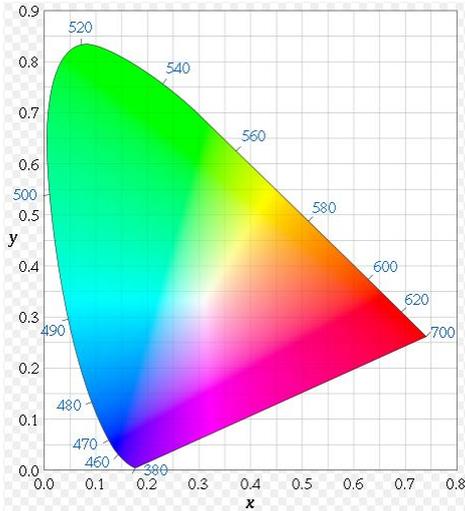


그림 35. CIE 1931 색채 공간

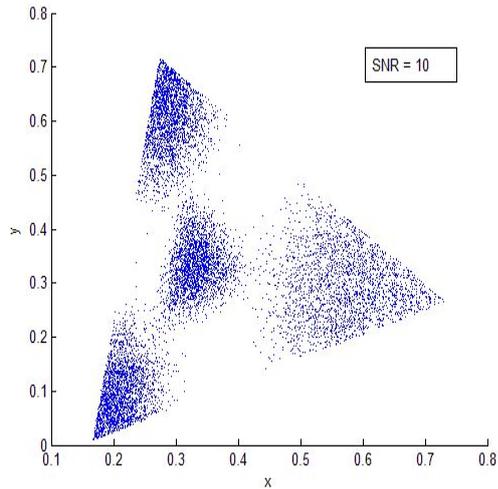


그림 36. AWGN 채널 환경에서 수신된 심벌

삼원색을 X, Y, Z 값으로 변환하는 과정은 비선형적이다. 따라서 두 색을 똑같은 양만큼 섞어 만들어진 색은, 두 점의 중간에 있지 않다. 다시 말해, 색채 공간상의 거리는 두 색의 차이와 일치하지 않는다. 이를 색채 공간의 불균일도라 한다. 또한 RGB 삼원색이 섞여서 표현되는 색은 채도와 명도로 구분지어 표현될 수 있다. CIE1931 색채공간은 채도를 나타내는 2차원 색 좌표계이므로 명도를 표현할 수 없다. RGB 삼원색을 이용한 가시광 통신 심벌의 위치는 3차원 공간으로 표현하지만 실제 심벌판정 과정은 2차원 색 좌표계에서 이뤄진다. 이러한 이유로 색채 공간에서 심벌간 거리만으로 심벌판정을 하게 될 경우에 에러확률이 높아진다. 따라서 색채 공간의 불균일도를 반영한 새로운 판정기법이 필요하며, 본 연구에서는 이를 고려한 새로운 수신 심벌 판정 기법을 제시한다.

2차원 색채공간을 이용한 심벌판정 과정은 다음과 같은 네 단계로 나누어 설명할 수 있다. 첫째, 심벌을 색채 공간의 x, y 좌표로 매핑한다. 이때 x, y 좌표는 색채 공간 내에서 인접 심벌간 거리가 최대가 되도록 한다. x, y 좌표로 매핑된 각 심벌의 좌표값은 식 (10)과 (11)을 통해 R, G, B 값으로 변환한다.

$$X = \frac{Y}{y}x, Z = \frac{Y}{y}(1-x-y) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} R &= 0.4184657X - 0.15866Y - 0.08283Z \\ G &= -0.091169X + 0.252431Y + 0.015708Z \\ B &= 0.0009209X - 0.00255Y + 0.178599Z \end{aligned} \quad (11)$$

기존 RF통신의 성좌도에서는 주파수나 위상으로 심벌을 구분한다. 이와 달리 CCM에서는 RGB의 조합에 의해 심벌을 구분한다. 심벌 네 개를 구성하는 방법을 예로 들면 그림 37과 같다. R, G, B에 해당하는 색을 나타내는 좌표에 세 개의 심벌이 위치하고 나머지 하나의 심벌은 R, G, B 세 좌표의 가운데 점인 백색에 해당하는 좌표에 위치한다. 둘째, 각 심벌의 3차원 R, G, B 좌표를 중심으로 하고 서로 겹치지 않는 범위에서 최대크기를 갖는 구(sphere)를 형성한다. 이 구는 채널을 통과하면서 잡음

의 영향을 받아 심벌의 intensity가 변하는 모습을 가정한 것이다. 서로 겹치지 않는 범위에서의 최대 크기를 갖는 구를 구하기 위해서 각 심벌의 R, G, B 좌표에서 가장 가까운 심벌과의 거리를 지름으로 한다. 그림 38은 최종적으로 심벌의 intensity가 변하는 모습을 가정한 구의 그림이다.

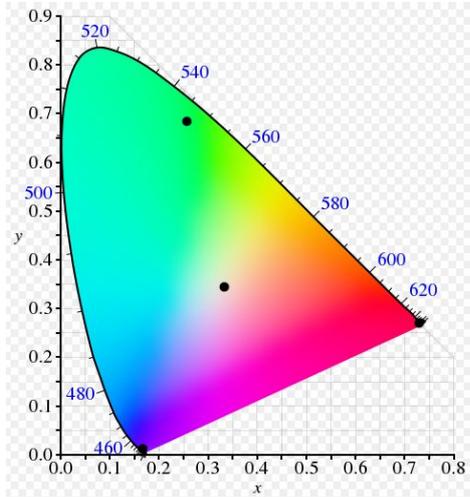


그림 37. 2차원 색채공간에서의 성좌도

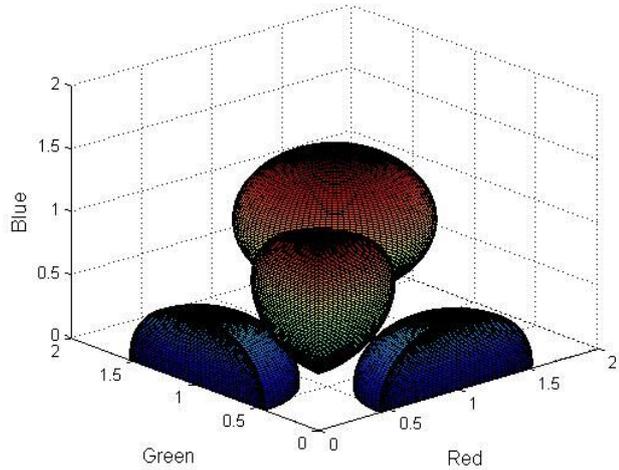


그림 38. 심벌의 intensity가 변하는 모습을 가정한 구

셋째, x , y 좌표에서의 심벌경계를 구하기 위해 두 번째 단계에서 구한 구의 표면좌표를 색채 공간으로 변환한다. 두 번째 단계에서 서로 겹치지 않는 범위에서 최대크기를 갖는 구를 구하였으므로 변환된 표면좌표는 에러없이 판정이 가능한 심벌영역의 최대크기이다. 이렇게 만들어진 선이 심벌경계선이 되고 심벌을 판정하는 기준이 된다. 그림 39는 구의 표면 좌표가 색채 공간으로 변환된 형상을 나타낸다. 넷째, 심벌을 판정하는 기법은 수신된 심벌이 각 경계영역 내부에 위치하였을 경우에 그 영역에 해당하는 심벌로 판정한다. 영역 외부에 위치하였을 경우에는 수신심벌로부터 가장 가까운 거리에 위치한 경계선을 찾은 후, 그 경계선에 해당하는 심벌을 송신심벌로 판정한다.

제안한 기법은 심벌영역을 색채 공간에서 바로 구하는 것이 아니고 R, G, B값에서부터 구하고 이를 x , y 좌표로 변환하기 때문에 색채 공간이 가지고 있는 불균일도를 반영하고 있다. 따라서 제안한 판정기법은 심벌간 거리로 수신심벌을 판정하는 기법에 비해 에러확률을 줄일 수 있다.

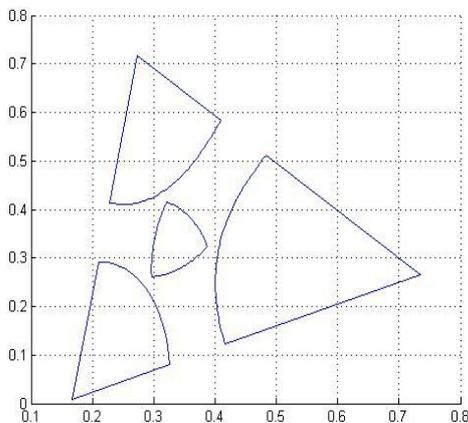


그림 39. 색채 공간으로 변환된 구의 표면 좌표

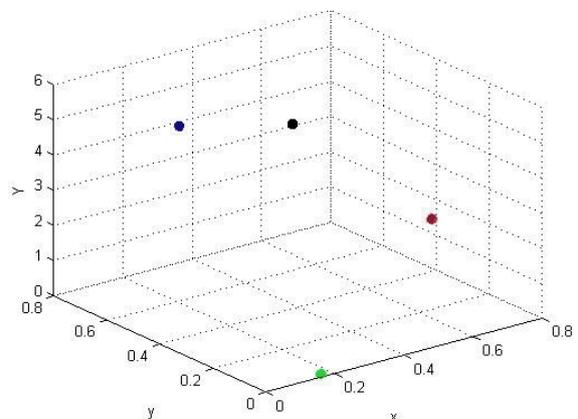


그림 40. 3차원 색채공간에서의 심벌 위치

색채공간에서의 인접한 심벌간의 구분을 더 용이하게 하기 위한 3차원 색채공간을 이용한 심벌판정 과정은 다음 네 단계로 나누어 설명할 수 있다. 첫째, 심벌을 3차원 색채 공간의 x, y, Y 좌표로 매핑한다. 이때 x, y, Y 좌표는 색채 공간 내에서 인접 심벌간 거리가 최대가 되도록 한다. x, y, Y 좌표로 매핑된 각 심벌의 좌표값을 식 (10)과 (11)을 통해 R, G, B 값으로 변환한다. 그림 40은 3차원 색채 공간에서의 심벌위치를 보여준다.

둘째, 각 심벌의 3차원 R, G, B 좌표를 중심으로 하고 서로 겹치지 않는 범위에서 최대크기를 갖는 구(sphere)를 형성한다. 이 구는 채널을 통과하면서 잡음의 영향을 받아 심벌의 intensity가 변하는 모습을 가정한 것이다. 서로 겹치지 않는 범위에서의 최대 크기를 갖는 구를 구하기 위해서 각 심벌의 R, G, B 좌표에서 가장 가까운 심벌과의 거리를 지름으로 한다.

셋째, x, y, Y 좌표에서의 심벌경계를 구하기 위해 두 번째 단계에서 구한 구의 표면좌표를 색채 공간으로 변환한다. 두 번째 단계에서 서로 겹치지 않는 범위에서 최대 크기를 갖는 구를 구하였으므로 변환된 표면좌표는 에러 없이 판정 가능한 최대크기의 심벌 영역을 유지하면서 심벌 판정을 할 수 있는 축이 한 개가 증가하게 된다. 이렇게 만들어진 영역은 심벌 경계 영역이 되고 심벌을 판정하는 기준이 된다. 그림 41은 본 연구에서 제안한 3차원 색채 공간 심벌경계이다.

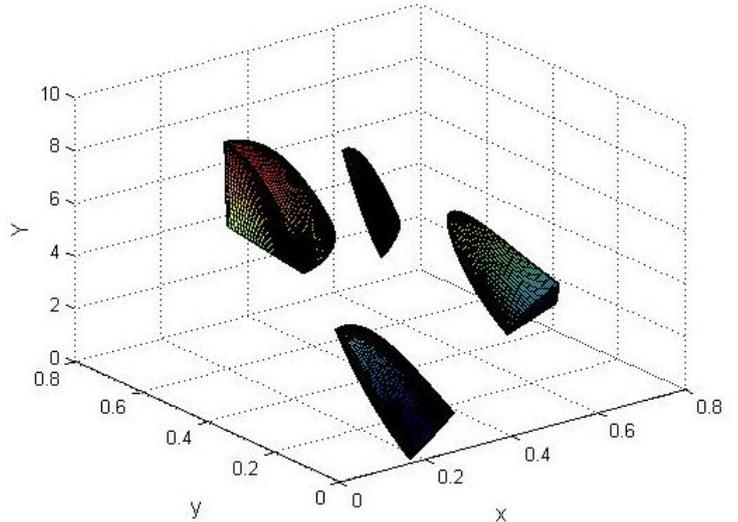


그림 41. 3차원 색채 공간으로 변환된 구의 표면좌표

넷째, 심벌을 판정하는 기법은 수신된 심벌이 각 경계 영역 내부에 위치하였을 경우에 그 영역에 해당하는 심벌로 판정한다. 영역 외부에 위치하였을 경우에는 수신심벌로부터 가장 가까운 거리에 위치한 경계선을 찾은 후, 그 경계선에 해당하는 심벌을 송신심벌로 판정한다.

제안한 기법은 심벌 영역을 R, G, B 값으로부터 x, y, Y 좌표로 변환하기 때문에 색채 공간이 가지고 있는 불균일도를 반영하고 있으면서 심벌 공간도 명도를 나타내는 Y값이 한 개의 차원으로 추가되어 3차원으로 확장되었다. 심벌 판정을 할 때 채도를 나타내는 x, y 좌표값 뿐만 아니라 명도를 나타내는 Y값을 추가해 판정을 내리므로 2차원 색채 공간을 이용하는 심벌판정 기법에 비해 에러 확률을 줄일 수 있다. 본 연구에서는 편의상 송신심벌과 수신심벌의 좌표 상 거리차이로 심벌 판정을 하는 기법을 'Distance Decision', x, y 좌표를 갖는 2차원 색채 공간을 이용한 심벌 경계로부터의 거리에 따른 수신심벌 판정기법을 '2D-Boundary Decision', x, y, Y 좌표를 갖는 3차원 색채 공간을 이용한 수신심벌 판정기법을 '3D-Boundary Decision' 이라고 명한다.

본 연구에서는 색채 공간의 불균일도를 반영한 새로운 수신 심벌 판정기법을 제안하였다. 제안한 기법은 색채 공간의 불균일도가 반영된 심벌영역을 기준으로 심벌 판정을 한다. 2D-boundary decision은 2차원 x, y 좌표로 매핑된 심벌을 3차원 R, G, B 로 변환한 다음 이를 원점으로 하고 서로 겹치지 않는 범위에서 크기가 최대인 구(sphere)를 그리고, 그 구의 표면 좌표를 색채 공간내의 x, y 좌표로 변환하여 심벌 경계를 설정한다. 3D-boundary decision은 x, y 좌표에 Y값을 추가하여 3차원 색채 공간에서 심벌을 판정한다. 본 연구에서 제안한 2D-boundary decision을 적용한 CCM의 경우 AWGN만 고려된 채널과 AWGN+common mode noise채널에 대하여 WDM과 distance decision을 적용한 CCM에 비해 향상된 BER 성능을 보여주었다. 그 이유는 R, G, B의 비율에 따라 x, y 좌표가 정해지는 색채 공간 특성과 색도도의 불균일도를 고려해 수신 심벌을 판정하기 때문이다. 2차원 색채공간에 Y값을 추가하여 3차원으로 색채공간을 확장한 3D-boundary decision을 적용한 CCM에서는 2차원 x, y 좌표

에 Y값을 추가하여 성좌 다이어그램에서의 인접한 심벌간의 거리를 증가 시켰다. 이로 인해 AWGN만 고려하였을 경우와 AWGN+common mode noise를 고려한 경우 모두 2D-boundary decision에 비해 향상된 BER 성능을 보여주었다.

(8) 실내 LED 조명을 이용한 위치 인식 시스템

LED 보급이 활성화됨에 따라 LED를 이용한 가시광 통신 연구가 활발히 진행되고 있다. 가시광 통신을 이용한 가장 좋은 응용으로는 LED 조명을 이용한 실내 위치 측정으로써 일본을 중심으로 전 세계적으로 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 이미지 센서를 이용한 실내 위치측정방법에 관하여 제안하였다. 제안된 시스템은 그림 42에서와 같이 서로 각각 이격되도록 설치되며 변조신호에 따라 광신호를 발생시켜 조사하는 다수개의 LED, 다수개의 LED에서 조사되는 광신호를 전기신호로 변환시켜 출력하는 듀얼 이미지센서, 듀얼 이미지센서로부터 각각 출력되는 전기신호를 수신 받아 목표위치의 좌표를 산출하는 제어기로 구성된다. LED 어레이는 (A, B, C, D)에는 각각의 위치정보를 가지고 그 정보를 변조하여 전송하는 특정한 ID (x1, y1, z1), (x2, y2, z2), (x3, y3, z3) 및 (x4, y4, z4)를 가지는 LED가 각각 위치한다. 듀얼 이미지센서는 서로 이격되도록 위치되며 각각 광학렌즈와 이미지 촬상 소자를 갖는 제1이미지센서와 제2이미지센서로 이루어진다. 제어기는 제1이미지센서와 제2이미지센서를 이용하여 그림 43의 "P(x, y, z)"의 좌표를 산출하는데, 4개의 기준 LED A, B, C 및 D로부터 위치 P와의 거리 d1, d2, d3 및 d4를 구하는 것에서 시작한다. 이러한 거리는 2개의 이미지 센서 상에 각각 수용된 LED 이미지의 차이에 의한 기하학적 관계로부터 계산된다.

$$d_i = |Pi_2 - Pi_1|, \quad h = \frac{f \times L}{d_i} \quad (12)$$

$$c = \sqrt{f^2 + i_1^2}, \quad d = \sqrt{f^2 + i_2^2} \quad (13)$$

$$a = \frac{h \times c}{f}, \quad b = \frac{h \times d}{f} \quad (14)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 + L^2 - b^2}{2aL} \right), \quad d_1 = \sqrt{a^2 + \left(\frac{L}{2} \right)^2 - 2a \frac{L}{2} \cos \theta} \quad (15)$$

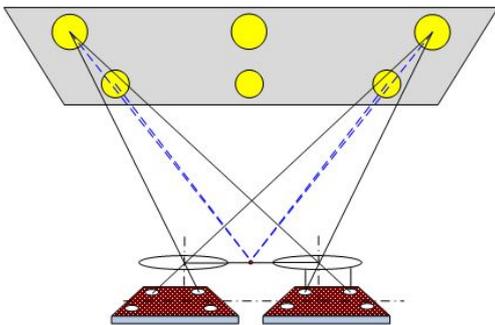


그림 42. 제안하는 VLC 위치측정 시스템

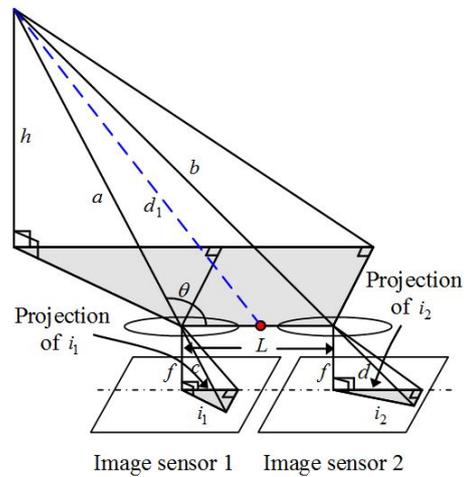


그림 43. LED와 렌즈 중앙간의 거리를 구하는 방법

제안된 위치 측정의 기하학적 관계는 그림 43에 상세히 나타나 있다. 그림은 LED로부터 위치 “P”까지의 거리 d_1, d_2, d_3 및 d_4 를 결정하기 위한 절차를 설명한다. 여기서, 렌즈의 초점거리 f 및 렌즈의 중앙 사이의 거리 L 은 알고 있는 값이다. 각 이미지 센서의 중앙으로부터 맺힌 이미지 센터의 거리가 i_1, i_2 라면, 이미지 센서의 주축상($p \sim p'$)의 맺힌 이미지의 투사점은 P_{i1}, P_{i2} 이고, 거리 d_1 은 다음과 같이 계산하게 된다. 유사하게, d_2, d_3 및 d_4 는 각각 다른 3개의 LED로부터 얻을 수 있고, 이로부터 다음 4개의 2차 방정식을 구성할 수 있다.

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = d_1^2 \tag{16}$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = d_2^2 \tag{17}$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = d_3^2 \tag{18}$$

$$(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2 = d_4^2 \tag{19}$$

주어진 4개의 2차 방정식으로부터 목표 위치를 계산하기 위해 Least square 방법과 Vector Estimation 방법을 함께 사용한다. 본 연구의 MATLAB 시뮬레이션은 듀얼 이미지센서의 주축이 위치 측정 면적의 x축에 평행하다고 가정한다. 그리고 듀얼 이미지센서는 니콘 카메라 D40, D50, D70, D100 및 팬탁스 K100D 등에서 사용하는 APS-C 타입 6 메가 화소 이미지 센서를 적용하게 된다. 그리고 시뮬레이션 변수는 표 2와 같다.

실내 측정방법 중 최소제곱추정법에 따른 MATLAB 시뮬레이션 결과는 다음과 같다. 본 연구의 실내 측정방법 중 최소제곱추정법의 시뮬레이션은 고정된 목표위치(U)의 좌표(x,y,z)에 대하여 먼저 평가하고, 다른 요소들은 일정하게 유지하며, 듀얼 이미지센서의 라인당 화소의 수는 20화소의 스텝으로 500에서 3008로 증가시키면서 실시한다. 시뮬레이션 결과는 그림 44에서 보여준다.

표 2. 시뮬레이션 변수

Parameter	Value
Image sensor dimension	23.7×15.8 mm
Number of pixels	3008×2000
FOV	45°
Focal length of lens	2.5 cm
Distance between center of two lenses	10 cm
Vertical distance of image sensor and LED array	3.5 m
Positioning area	1.8×1.8 m
Distance between adjacent positions in x-axis	1 cm
Distance between adjacent positions in y-axis	1 cm
Total estimating positions	32761

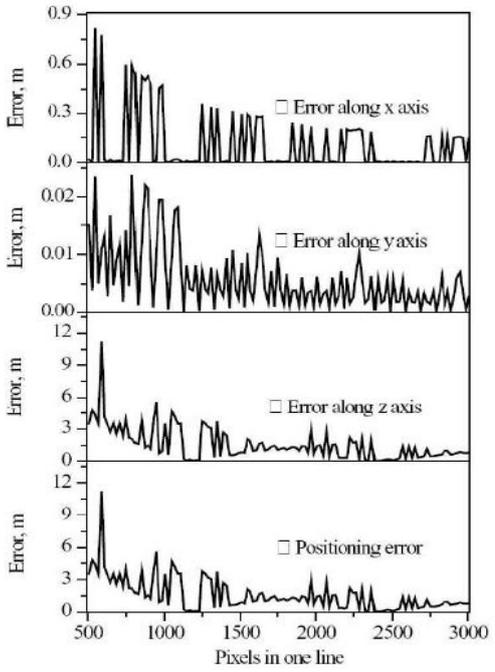


그림 44. 최소제곱추정법에 따른 MATLAB 시뮬레이션 결과

그림에서, 수평축은 라인당 화소(pixel)를 나타내고, 수직축은 미터(m)로 위치에러를 나타낸다. 위치에

러는 화소수가 증가하므로 감소하게 된다. 에러는 화소의 양자에러에 기인하여 발생한 변동상태를 나타낸다. 그 이유는 이미지 중심은 이미지 중심 추정으로부터 얻어진 화소의 중심이다. 그러나, 발광다이오드의 이미지의 실제 중심은 항상 화소 중심은 아니다. 그 결과, 양자화 에러를 얻게 된다. 그림으로부터 추정에러는 라인당 화소가 2948일 때 각기 x, y 및 z축을 따라서 0.156, 0.007 및 0.867m이다. 이 경우 전체에러는 0.88m 이다. x축 및 y축을 따른 에러는 z축을 따른 에러보다 훨씬 작다. 최소제곱 추정법에서, 계산을 위하여 'D' 기준 발광다이오드의 z축에 작은 길이를 추가하였다. 그 결과, z축 추정에러는 증가하였다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 3개의 기준 즉 위치정보(A,B,C)를 각각 갖는 발광다이오드로부터 벡터추정법을 이용한 미지의 z축을 추정하게 된다.

벡터추정법에 따른 MATLAB 시뮬레이션 결과는 다음과 같다. 3차원 미지위치의 벡터추정법에 대하여 3개의 기준 발광다이오드를 필요로 하고, 기준 발광다이오드에 상응한 데이터를 사용하게 된다. 라인당 화소는 추정 에러 상 화소 크기의 영향을 이해하도록 500으로부터 3008로 증가시키게 된다. 모든 다른 변수는 변하지 않게 유지하게 된다. 벡터 추정법의 결과는 그림 45에 보여준다.

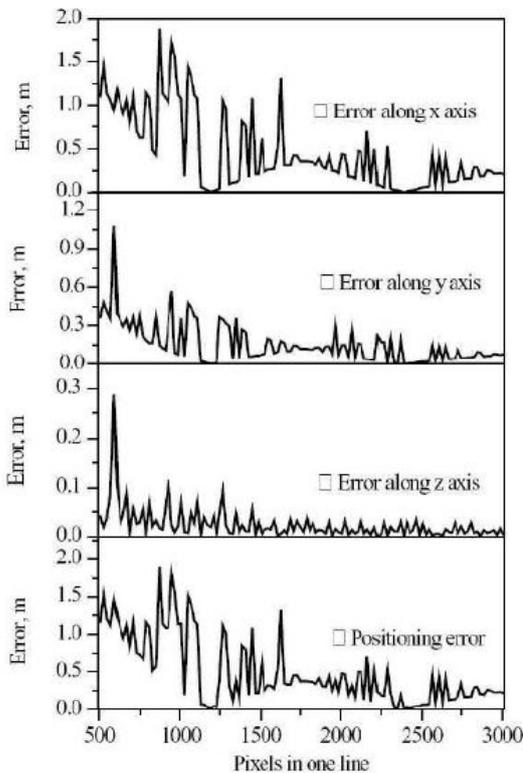


그림 45. 벡터추정법에 따른 MATLAB 시뮬레이션 결과

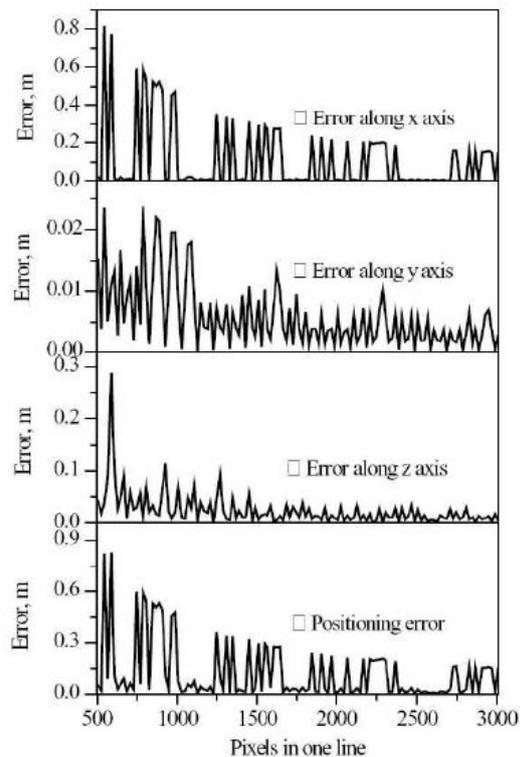


그림 46. 최소제곱추정법, 벡터 추정법 조합 추정 에러

수평 및 수직축은 라인당 화소의 수와 추정 에러를 각기 나타낸다. 추정 에러는 라인당 화소가 2948 일 때 각기 x, y 및 z축을 따라서 0.212, 0.078 및 0.013m이다. 전체 에러는 0.226m 이다. 또한, 그림에 도시된 바와 같이, 벡터추정법은 최소제곱추정법보다 z축을 따른 더 작은 에러를 준다. 이와 반대로, x 및 y축을 따른 에러는 최소제곱추정법 보다 더 크게 된다. 또한 x축을 따른 에러가 y축을 따른 에러보다 더 크게 나오는데, 시뮬레이션에서, 듀얼 이미지센서의 주축은 x축에 평행이고, 그 이유로 x축을 따른 에러는 y축을 따른 에러 보다 크기 때문이다. 2개의 결과를 요약하면, 목표위치(U)의 좌표 (x,y,z)를 전체적으로 양호한 추정을 얻기 위하여 x축 및 y축에 대하여는 최소제곱추정법이 사용되고, z축에 대하여는 벡터추정법이 사용되어야 한다. 다른 축에 따른 최소제곱추정법 및 벡터 추정법의 조합으로부터 추정 에러와 전체 추정에러는 그림 46이 보여준다. 특정위치에 따른 전체 추정에러는 라인당 화소의 수가 2948일 때 0.156m 이다.

4. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

본 연구과제에서는 다음의 4가지 연구 분야를 정하고, 이에 관해 과제를 수행하였다. 연구분야별 목표 달성도에 관해 다음과 같이 기술한다.

1) 무선중계 및 센서네트워크를 고려한 FTTH 네트워킹 연구

이 연구 분야에서는 트리구조의 수동광가입자망(PON: Passive Optical Network)을 이용하여 센서네트워크의 인터페이스 및 무선중계 기능을 수행하는 것을 목표로 하였다. 이 목표를 달성하기 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

. PON 시스템과 센서네트워크를 결합하는 방식에 관해 연구함. PON 시스템의 OLT 및 ONU를 각각 센서네트워크의 중심국과 허브로 이용할 수 있도록 하였으며, 이런 결합을 통해 센서 노드의 개수가 증가하더라도 효과적으로 수용할 수 있는 방안을 제시하였다.

. 위 경우에 센서네트워크 지연시간을 획기적으로 줄일 수 있는 방식을 개발함. 기존의 센서네트워크에서는 홉 개수가 증가하는 경우 전송지연, 특히 상향 전송지연이 매우 크게 발생하였다. 본 과제를 통한 개 슈퍼 프레임 내에서 상/하향 전송을 모두 완료할 수 있도록 하였고, 다른 방식들에 비해 획기적으로 전송 시간이 줄어들게 하였다.

2) PON 시스템 기반 홈게이트웨이 및 센서네트워크를 위한 PON 프로토콜 연구

이 연구 분야에서는 PON 시스템에서 센서 데이터 혹은 기타 무선 데이터의 서비스를 잘 할 수 있도록 하기 위한 PON 프로토콜을 연구하였다. 이 목표를 달성하기 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

. Multi-OLT PON 구조제시 및 하향 DBA 프로토콜을 제시함. 데이터 신호 뿐 아니라 센서네트워크 신호, 기타 무선신호 등을 함께 전송할 수 있는 2개 이상의 OLT를 갖는 Multi-OLT PON 구조를 제시하였다. 이 구조에서 하향 데이터를 서로 충돌 없이 전송하고, 대역폭을 효과적으로 공유할 수 있는 GLDBA 프로토콜을 제시하고 성능을 분석하였다.

. Multi-OLT PON 기반 상향 DBA 프로토콜 제시함. 위 제시한 Multi-OLT PON에서 여러 ONU가 2개 이상의 OLT로 데이터를 전송하기 위해서는 기존 PON과는 다른 프로토콜을 제시해야 한다. 이를 위해 Modified-LDBA 방식을 제시하고 성능을 분석하였다.

3) FTTH 홈게이트웨이를 이용한 센서네트워크 연구

이 연구 분야에서는 PON 시스템에서 센서 네트워크를 효과적으로 운용하기 위한 방법을 연구하였다. 이 목표를 달성하기 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

. PON 기반 센서네트워크 프로토콜 제시 및 성능 평가함. 위 연구분야 (1)에서 제시한 PON 기반 센서네트워크에서 사용할 수 있는 Synchronized-LS(Latency Secured) 프로토콜을 제시하였다.

. 위 제시한 프로토콜을 이용하여 센서 노드 개수, 홉 개수 등을 변화하면서 성능을 평가하였다. 평가 결과 제안한 프로토콜을 이용할 때 전송 지연이 획기적으로 감소할 수 있다는 결론을 얻었다.

4) PON 시스템을 이용한 홈 내부 무선환경 개선에 관한 연구

이 연구 분야에서는 PON 시스템과의 연결을 통해 홈 내부에서 무선환경을 개선하기 위한 연구를 하였다. 이 목표를 달성하기 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

. PON과 연계한 LED 조명을 이용하여 무선 데이터 전송을 가능하도록 한다. 벽내에 위치한 PON 시스템의 ONU (혹은 OTN)으로부터 추출된 데이터 신호는 전력선 모뎀을 통해 LED 조명으로 전달되고 이를 이용하여 무선 데이터를 전송한다.

. 위 LED 조명을 이용한 통신을 효율적으로 하기 위해, 컬러 조명하에서의 통신 방식, CDMA 혹은 OFDM 방식을 이용한 통신 방식, 색채공간 기반 통신 방식 등에 관한 연구를 수행하였다.

- . LED 조명을 이용하여 실내에서 단말의 위치를 측정하는 측위 기술을 개발하였다.
- . 위 연구들은 현재 테스트베드를 제작하였으며, 이 연구 결과를 향후 가시광통신 산업체에 기술 이전할 계획이다.

5. 연구결과의 활용계획

1) 다중 OLT 기반의 PON 시스템

본 과제를 통해 연구한 Multi-OLT PON 시스템은 경쟁적 서비스를 도입하기에 매우 적절한 PON 시스템이라 할 수 있다. 가입자 망에서는 여러 종류의 서비스를 사용하려 하는데, 현재 상용화 중인 한 개 OLT를 갖는 시스템에서는 한 개의 서비스 회사만 서비스를 제공할 수 있었다. 따라서 여러 회사로부터 서비스를 제공받기 위해서는 여러 PON 시스템이 설치되어 있어야 한다. 그러나 본 과제를 통해 제안한 Multi-OLT PON 시스템을 도입하는 경우 한 개의 PON 시스템을 이용해서도 여러 회사로부터 서비스를 공급받을 수 있다. 혹은 한 개의 OLT를 빌딩 관리 혹은 아파트 등 대형 단지의 관리 목적으로만 활용할 수도 있다. 또한 위 시스템은 향후 PON 시스템의 이중화에도 유용하게 이용될 수 있을 것으로 보인다. 그런데 이 시스템이 더욱 효율적으로 이용되기 위해서는 넓은 대역폭이 필요하다. 현재 표준화가 완성된 10 Gbps TDM-PON이 상용화 된다면 위 제안 시스템이 이용되기에 매우 좋은 환경이 된다. 따라서 10G 시스템 도입 후 실용성 더욱 높아질 것 예상된다. 제안된 PON 시스템에 관해서 향후 MAC 부분을 구현하고 표준화에 반영할 예정에 있다. 특히 TDM-PON 시스템에서 상대적으로 취약한 보호 및 절체 관련 표준화 및 상용화를 위해 추가 연구를 수행할 예정이다.

2) PON 기반 센서 네트워크

센서 네트워크는 그 동안 좁은 반경 혹은 4~5개 이내의 홉 정도만을 서비스 하는데 이용되어 왔다. 그러나 PON 시스템과 연계를 하는 경우 그 범위 및 홉 개수를 크게 확장할 수 있다. 본 과제를 통해 500개의 센서 노드의 성능을 분석하는 실험을 하였다. 센서 노드가 U-city, 대형 빌딩, 대형 주차장, 환경관리 등에서 활용된다면 노드 숫자는 1천 개 이상으로 늘어날 수도 있다. 이런 환경에서 PON 시스템은 매우 유용하게 이용될 수 있다. 본 과제를 통해서 연구된 구조 및 프로토콜을 향후 구현 시험을 할 계획이다. 임베디드 시스템을 이용하여 MAC을 구현하고, 여러 개의 센서 노드와 PON을 이용하여 통신 네트워크를 구현하는 실험을 통해 상용화를 준비할 계획이다.

3) 조명 LED를 이용한 실내 무선환경 제공

실내 조명용 LED를 이용한 가시광통신 서비스는 향후 LED의 확산으로 말미암아 매우 성장이 커질 전망이다. 또한 가시광을 이용한 실내 측위 시스템도 실내에서 GPS를 대체할 기술에 해당한다. 본 과제를 통해서 가시광통신을 이용한 전송시스템 테스트베드를 구축하고, 이를 이용하여 음성 및 센서 데이터를 전송할 수 있도록 하였다. 향후 이를 확장하여 음성, 화상 전송, 위치인식 등 다양한 서비스 제공에 활용할 계획이다. 가시광통신 분야는 최근 IEEE 802.15.7에서 표준화가 완성되어 향후 상용화 가능성이 더욱 높아지고 있다. 본 과제를 통해서 색채공간 가시광통신, 맨체스터변조, 컬러 가시광변조 등 수 개의 특허를 출원하였는데, 향후로도 계속해서 OFDM, CDMA 등 분야에서 특허를 출원할 계획이며, 산업체 기술 이전을 추진할 계획이다.

6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

본 과제 수행 과정을 통해 가시광 통신 관련한 해외 자료를 많이 접할 기회를 가졌다. 일본에서는 게이오 대학에서 2002년 백색 LED를 이용하여 실내조명과 통신을 접목하는 연구결과를 내어놓은 이후[Tanaka], 2003년부터는 'VLCC'라는 컨소시엄을 구성하여 본격적으로 가시광통신의 연구에 뛰어들었다. VLCC는 현재 일본 내 50개 이상의 회사 및 기관으로 구성되어 있다. 게이오 대학의 나카가와 교수 팀은 현재까지도 VLC 관련 연구를 지속적으로 수행해 오고 있으며, 조명을 이용하여 헤드폰에 음악이나 전시 안내 등을 다운로드할 수 있는 시스템을 선보이기도 하였다. NEC와 마쓰시다에서는 2004년 LED를 이용하여 10 미터 거리에서 데이터를 전송하였으며, 이후 이들 회사에서는 백색 LED를 이용하여 최고 80 Mbps, 적색 및 초록색 LED를 이용해서는 200 Mbps 전송을 가능하게 하였다. 또한 도시바에서는 R,G,B LED를 각각 독립 광원으로 이용하고 3채널의 파장다중화 전송을 가능하도록 함으로써 전송속도를 증가시키는 기술을 개발하였다. 카시오에서는 디지털 카메라에 VLC 수신부를 두어서 원거리에 위치한 건물의 LED 조명에서 내보내는 정보를 수신할 수 있는 기술을 특허 등록하였다. NEC에서는 전철역사에서 조명에 의해 내보내는 전철 시간표를 휴대전화를 이용해 수신할 수 있는 기술을 개발하였다. 미국의 경우 펜실베이니아 주립대학에서 전력선 통신과 결합된 가시광통신 시스템을 제안하고 시뮬레이션을 통해 1 Gbps에 이르는 광대역폭 전송 시험에 성공하였다. 한편, 유럽연합에서는 '오메가 프로젝트'를 진행하며 주요 응용 분야로 무선랜을 대체하고자 노력하고 있으나 기술적으로는 초기 단계이다. 기본적인 기술 개발과 더불어 채널을 정의하고자 많은 노력을 하고 있으며 고속 데이터 전송을 가능하게 하기 위한 새로운 변조방식에 관한 연구를 하고 있다.

하지만 현재까지 제시된 기술은 기존의 전파 무선 통신에서 사용되는 기술들을 직접적으로 응용하는 수준에 머물고 있다. 이는 채널과 특성이 다른 가시광 통신에 이들 기술을 응용하는데 한계가 있다는 것을 의미하며, 따라서 광세기 변조와 같은 극히 원시적인 기술만을 적용하거나 고효율의 기술들은 극히 간단한 방법으로 적용하고 있다.

가시광통신 분야에서는 표준화도 활발하게 진행되고 있었다. 국제적으로 2007년 11월 IEEE 802.15에서 LED를 이용한 VLC IG (Visible Light Communication Interest Group)을 결성한 이후 계속해서 관심이 증가하자 2009년 1월에 802.15.7 VLC Task Group으로 격상되어 본격적으로 표준화 활동을 하고 있다. 이 그룹에서는 VLC 관련 물리계층(PHY)과 MAC 계층에 관한 규격을 개발하여 2011년 말까지 표준화 규격을 완성하는 것을 목표로 활동하고 있다. 현재 이 그룹에서는 기술제안 단계를 완료하고 이들 기술들을 종합하여 초안 작업을 완료하는 단계에 와 있다[802.15.7]. 수 차례의 IEEE802 내에서의 working group ballot과 sponsor ballot 절차를 걸쳐 많은 코멘트 작업을 통하여 초안을 개정하는 작업을 진행하고 있으며 거의 마무리 단계에 와 있다. 하지만 짧은 시간 내에 표준화를 마무리하기 위하여 기존의 고주파 기술을 대부분 활용하고 있으므로 이에 적용된 기술이 실제 상용화에 적용되기는 어렵다고 판단된다. 이는 IEEE802.11의 경우에서처럼 향후 새로운 수정본(amendment)이나 특별한 응용에 각각 적용할 수 있는 새로운 표준으로의 제정 작업이 불가피해 보인다. 또한 참여한 기관들이 대부분 기술 개발 중인 기술들을 제시하였으므로 표준화 후에도 이들을 상용화에 적용하기 위하여 입증하고 채택하는 데에는 상당한 시간이 소요될 것으로 판단된다. 이들 활동으로 가시광 분야에서 처음 기술 표준을 제정하는 것이므로 최적의 기술이 표준화 된다고 보기는 힘들 것으로 판단된다. 다양한 응용 분야가 제시된 점을 감안하고 다른 표준화 그룹의 예를 보면 각 응용 분야에 대한 최적의 기술을 갖는 표준의 제정이 차후 요구 될 것이므로 이들을 위한 새로운 그룹들이 결성되어 다양한 표준이 향후 새로 제정될 것으로 판단된다.

7. 주관연구책임자(공동연구원) 대표적 연구실적

번호	논문명/특허명/기타	소속기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국가	논문게재일 /특허등록일	특기사항 (SCI여부)
1	지연에 민감한 대규모 센서네트워크에서 지연시간 보장을 위한 알고리즘	국민대학교	교신저자	대한민국	2010.05.30	
2	전치왜곡을 이용한 OFDM 가시광통신 시스템의 성능개선에 관한 연구	국민대학교	교신저자	대한민국	2011.06.30	
3	감성조명 기반 컬러가시광통신 시스템	국민대학교	교신저자	대한민국	2011.07.30	
4	3차원 색채 공간 기반의 가시광 통신 변조기법 성능개선 연구	국민대학교	교신저자	대한민국	2010.12.30	
5	실내위치 측정장치 및 방법	국민대학교	교신저자	대한민국	2010.07.12	

8. 참고문헌

- [강태규] 강태규, 김태완, 정명애, 손승원, “LED 조명과 가시광 무선통신의 융합 기술 동향 분석,” 전자통신동향분석, 23권, 5호, pp. 32-39, 2008.
- [광산업] 한국광산업협회, 전자신문 2005년 9월 6일자 1면 재인용
- [김아정] 김아정, "무선 가시광통신 시스템의 기술 및 성능", pp.1-12, 주간기술동향 통권 1391호 2009.4.8.
- [박성범] 박성범 외, “RGB LED전광판을 이용한 가시광 정보 방송 시스템”, 한국통신학회지 26권 5호, pp.10-14, 2009.5월.
- [시야] 矢野경제연구소, Future Market in Japan and its Future Prospects 2005', Sep. 1, 2005
- [최정훈] 최정훈, “GE-PON, FTTH시장 기선제압”, 전자신문, 2005.06.29.
- [ASAT] K. ASATANI and T. KIMURA, "Linearization of LED Nonlinearity by Predistortions, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 13, Issue 1, pp.133-138, 1978.
- [Elgala] H. Elgala, R. Mesleh, H. Haas, “Predistortion in Optical Wireless Transmission Using OFDM”, International Conf. on Hybrid Intelligent Systems, pp.184-189, 2009.
- [Hori] S. Horikawa, T. Komine, S. Haruyama, and M. Nakagawa, Pervasive visible light positioning system using white LED lighting, IEICE Technical Report, vol. 103, no. 721 (CS2003 178-197), 2004, pp. 93-99.
- [Light] Light reading, "Teknovus, Corecess Win KT Deal", www.lightreading.com/document.asp?doc_id=77089, July 12, 2005.
- [Liu] X. Liu, H. Makino, and Y. Maeda, “Basic study on indoor location estimation using visible light communication platform,” in Proc. of the 30th Annual International IEEE MEBS Conference, Vancouver, British Columbia, Canada, 2008, pp. 2377-2380.
- [Maeda] Y. Maeda, K. Nakanishi, "Broadband access network systems and services in Japan", OECC 2004, pp. 582-583, 2004.
- [SJPark] S. J. Park, C. H. Lee, K. T. Jeong, H. J. Park, J. G. Ahn and K. H. Song, "Fiber-to-the-Home services based on WDM passive optical network,"IEEE J. Lightwave Technol. 22, 2582-2590 (2004).
- [Sert1] C. Serthth, E. Tsuji, S. Haruyama, and M. Nakagawa, “The performance of a visible light communication based indoor positioning system experiment,” 5th International Conference on Ubiquitous

Robots and Ambient Intelligence, Seoul, Republic of Korea, 2008.

[Sert2] C. Sertthin, E. Tsuji, M. Nakagawa, S. Kuwano, and K. Watanabe, "A switching estimated receiver position scheme for visible light based indoor positioning system," in Proc. of the 4th International Conference on Wireless Pervasive Computing, Melbourne, Australia, 2009, pp.64-68.

[Tanaka] Yuichi Tanaka, "A study on optical wireless communication systems and their application," Ph.D. Dissertation, Keio University, January 2002.

[Yosh] M. Yoshino, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "High-accuracy positioning system using visible LED lights and image sensor," IEEE Radio and Wireless Symposium, Orlando, FL, USA, 2008, pp.439-442.

[802.3] IEEE 802.3ah standard, approved 24 June 2004.

[802.15] Project: IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks, "Samsung, Intel ETRI and CSUS merged proposal text," Nov. 2009.

[802.15.7] IEEE 802.15.7 Draft D4: PHY and MAC standard for short-range wireless optical communication using visible light

9. 연구성과

사업명	핵심연구지원사업(협동)	연구책임자	박영일	주관기관	국민대학교 산학협력단
과제번호	2008-0061675	과제명	FTTH 기반 홈게이트웨이를 이용한 센서네트워크 및 무선 중계환 경 구축에 관한 연구		

과학기술/학술적 연구성과(단위 : 건)													
전문학술지 논문게재				초청 강연 실적	학술대회 논문발표		지식재산권				수상 실적	출판실적	
국내논문		국외논문			국내	국제	출원		등록			저역 서	보고 서
SCI	비SCI	SCI	비SCI				국내	국외	국내	국외			
0	7	0	1	0	10	10	5	0	0	0	1	0	0

인력양성 및 연구시설(단위 : 명,건)									
학위배출		국내외 연수지원						산학강좌	연구기자재
박사	석사	장기		단기					
		국내	국외	국내	국외				
1	7	0	0	0	0	0	0	0	

국제협력(단위 :명,건)						
과학자교류		국제협력기반			학술회의개최	
국내과학자 해외파견	외국과학자 국내유치	MOU체결	국제공동연구	국제사업참 여	국내	국제
0	0	0	0	0	0	0

산업지원 및 연구성과 활용(단위 : 건)					
기술확산			연구성과활용(사업화 및 후속연구과제 등)		
기술이전	기술지도	기술평가	후속연구추진	사업화추진중	사업화완료
0	0	0	0	0	0

전문학술지 논문게재 성과정보											
과제번호	게재 연월	논문제목	총저자명	출처	학술지명	권 (호)	학술 지 구분	SCI여 부	IF	국제 공동 여부	기여도
2008-0061675	2009.08	Radio over Fiber as a Cost Effective Technology for Transmission of WiMAX Signals	MohammadShaifurRahman, JungHyun Lee, YoungilPark, andKi-DooKim	직접 입력	World Academy of Science, Engineering and Technology	2009(56)	국외	SCI미 등 재		아니 오	100%
2008-0061675	2009.01	고정 소수점 연산을 이용한 WCDMA 중 계기에서의 귀환 신호 제거 알고리즘의	정희석[국민대학교]/윤기방[서림인천전문대학]/김기두[국민대학교]	KCI	전자공학회 논문지 - SP	46(1)	국내	SCI미 등 재		아니 오	50%

		개발										
2008-0061675	2009.08	Color Space Mapping and Medium Access Control Techniques in Visible Light Communication	모하마드사 이퍼라만[국민대학교 전자공학부]/김병연[국민대학교 전자공학부]/방민석[국민대학교 전자공학부]/박영일[국민대학교]/김기두[국민대학교]	KCI	한국인터넷 방송통신학회 논문지	9(4)	국내	SCI미 등재		아니오	70%	
2008-0061675	2010.05	자연에 민감한 대규모 센서네트워크에서 지연시간 보장을 위한 알고리즘	국내전문학술지	KCI	한국통신학회 논문지	35(5)	국내	SCI미 등재		아니오	100%	
2008-0061675	2010.08	색채 공간 기반의 가시광 통신 변조기법 성능개선 연구	이경근[국민대학교전자정보통신대학전자공학부]/박영일[국민대학교]/김기두[국민대학교]	KCI	한국인터넷 방송통신TV학회 논문지	10(4)	국내	SCI미 등재		아니오	100%	
2008-0061675	2010.12	3차원 색채 공간 기반의 가시광 통신 변조기법 성능개선 연구	이경근[국민대학교전자공학부]/윤기방[인천대학교]/박영일[국민대학교]/김기두[국민대학교]	KCI	전자공학회 논문지 - IE	47(4)	국내	SCI미 등재		아니오	100%	
2008-0061675	2011.06	전치왜곡을 이용한 OFDM 가시광통신시스템의 성능개선 연구	이대천[국민대학교전자공학부]/최경목[국민대학교전자공학부]/박영일[국민대학교]	KCI	한국통신학회 논문지	36(6)	국내	SCI미 등재		아니오	60%	
2008-0061675	2011.07	감성조명 기반 컬러가시광통신 시스템	여은모[국민대학교대학원전자공학부]/이대천[국민대학교전자공	KCI	한국통신학회 논문지	36(7)	국내	SCI미 등재		아니오	60%	

			학부]/김기 두[국민대 학교]/박영 일[국민대 학교]							
--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--

지식재산권 성과정보										
과제번호	출원등록 연월	재산 권 구분	출원 등록 구분	발명제목	출원 등록 인	출원 등록 국	발명자명	출원등록 번호	활용 형태	기여도
2008-00 61675	2009.03 .31	특허	출원	구조물 윤곽선 추 출장치 및 방법	기관	대한 민국	노이주, 김기두, 김호섭	10-2009 -0027707	기술이전 준비중	30%
2008-00 61675	2009.10 .08	특허	출원	로컬 디밍 백라이 트용 제어 컨트라 스트제어 방법 및 그 장치	기관	대한 민국	정진영, 김기두	10-2009 -0095785	기술이전 준비중	30%
2008-00 61675	2010.07 .12	특허	출원	실내위치 측정장 치 및 방법	기관	대한 민국	김기두, 모하마드 사이퍼 라 만, 김병 연	10-2010 -0066964	보유기관 자체활용	100%
2008-00 61675	2010.12 .16	특허	출원	R,G,B LED를 이 용한 가시광통신 시스템	기관	대한 민국	박영일,여 은모	10-2010 -0129352	보유기관 자체활용	50%
2008-00 61675	2010.12 .16	특허	출원	맨 체스터 코드 용 디코더 및 이의 제어방법과, 이를 포함하는 데이터 수신장치	기관	대한 민국	박영일, 여은모	10-2010 -0129341	보유기관 자체활용	50%

학술대회 논문발표 성과정보						
과제번호	발표년월	학술대회명	저자	논문제목	학술대회 구분	개최국
2008 -0061675	200902	ICACT	Mohammad Shaifur Rahman, Youngil Park, Ki-Doo Kim	Relative Location Estimation of Vehicles in Parking Management System	국제 학술 대회	대한민국
2008 -0061675	200902	ICACT	Monir Hossen, Byung-Jun Jang, Ki-Doo Kim, Youngil Park	Extension of Wireless Sensor Network By Employing RoF -based 4G Network	국제 학술 대회	대한민국
2008 -0061675	200907	OECC	Byungchul Choi , Jaesung Kim, Eun-mo Yeo and Youngil Park	Detection of Failed ONUs in TDM-PON Using CDMA Coding Scheme	국제 학술 대회	홍콩
2008	200907	OECC	Byungchul Choi	Transmission of	국제 학술	홍콩

-0061675			, Eun-mo Yeo, Jaesung Kim, Byoung-whi Kim and Youngil Park	Sensor Data over WDM-PON Using CDMA Coding	대회	
2008 -0061675	200908	ICCCIT	Mohammad Shaifur Rahman, Youngil Park, Ki-Doo Kim	Radio over Fiber as a Cost Effective Technology for Transmission of WiMAX Signals	국제 학술 대회	싱가폴
2008 -0061675	200909	ISCIT 2009	Mohammad Shaifur Rahman, Youngil Park, and Ki-Doo Kim	Localization of Wireless Sensor Network Using Artificial Neural Network	국제 학술 대회	대한민국
2008 -0061675	201002	ICACT	Monir Hossen, Ki-Doo Kim, and Youngil Park	Synchronized Latency Secured MAC Protocol for PON Based Large Sensor Network	국제 학술 대회	대한민국
2008 -0061675	201007	COIN	Monir Hossen, Ki-Doo Kim, and Youngil Park	Efficient Clustering Algorithm for Delay Sensitive PON-based Wireless Sensor Network	국제 학술 대회	대한민국
2008 -0061675	201007	OECC	Jaesung Kim, Daechun Lee, Ki-Doo Kim, Youngil Park	Performance Improvement in Visible Light Communication By Using Spread Spectrum Coding	국제 학술 대회	일본
2008 -0061675	201106	ICUFN 2011	장량, 김병연, 박영일, 김기두	Performance Analysis of Hybrid FSO/RF System	국제 학술 대회	중국
2008 -0061675	200912	광자기술학술회의	강상구, 김재성, 여은모, 이봉영, 박영일	OTDR 측정값 비교를 이용한 PON 시스템 고 장위치 탐색	국내 학술 대회	대한민국
2008 -0061675	200912	광자기술학술회의	여은모, 김재성, 김기두, 박영일	R,G,B LED를 이용한 컬러 가시광통신 시스 템	국내 학술 대회	대한민국
2008 -0061675	200912	광자기술학술회의	김재성, 여은모, 김기두, 박영일	대역확산 변조를 이용 한 가시광통신의 잡음 성능 개선	국내 학술 대회	대한민국
2008 -0061675	201012	광자기술학술회의	파미다라우산, 박영일	다수 개 OLT를 갖는 TDM-PON 시스템 제 안 및 성능 분석	국내 학술 대회	대한민국
2008 -0061675	201012	광자기술학술회의	이대천, 여은모, 김재성, 박영일	전치왜곡을 이용한 OFDM 가시광 통신 시 스템의 성능 개선	국내 학술 대회	대한민국
2008 -0061675	201012	광자기술학술회의	여은모, 김재성, 이대천, 박영일	맨체스터 코딩을 이용 한 컬러 가시광 통신 시스템	국내 학술 대회	대한민국
2008 -0061675	201012	광자기술학술회의	김재성, 여은모, 이대천, 박영일	대역확산코드를 이용 한 가시광통신의 다중	국내 학술 대회	대한민국

2008-0061675	201106	통신학회 하계 종합학술발표회	이대천, 최경목, 장윤선, 박영일	접속 및 성능개선 전치왜곡을 이용한 가시광통신 시스템의 비선형성 보상에 관한 연구	국내 학술대회	대한민국
2008-0061675	201106	통신학회 하계 종합학술발표회	최경목, 장윤선, 이대천, 여은모, 김기두, 박영일	LED감성조명을 이용한 가시광통신 시스템 구현	국내 학술대회	대한민국
2008-0061675	201106	통신학회 하계 종합학술발표회	파미다 라우산, 박영일	Multi-OLT PON 구조에 적합한 DBA 알고리즘 연구	국내 학술대회	대한민국

수상실적 성과정보

과제번호	수상연월	수상명	수상자		시상기관	시상국가	수상사유
			성명	소속기관			
2008-0061675	201012	광자기술학술회의 우수논문상	김재성, 여은모, 이대천, 박영일	국민대학교	한국광학회	대한민국	우수학술발표 논문 선정

학위배출인력 성과정보

과제번호	학위취득연월	학위구분	학위취득자				진로
			성명	성별	대학	학과	
2008-0061675							
2008-0061675							
2008-0061675							
2008-0061675							
2008-0061675							
2008-0061675							
2008-0061675							
2008-0061675							
2008-0061675							
2008-0061675							
2008-0061675							
2008-0061675							
2008-0061675							
2008-0061675							
2008-0061675							

10. 기타사항

해당사항 없음

[별첨1]

< 대표 연구 성과 >

대표연구성과 요약문			
연구업적 제목	지연에 민감한 대규모 센서네트워크에서 지연시간 보장을 위한 알고리즘		
연구업적 유형	학술지게재논문(O) 특허() 저서() 역서() 기타()		
주관연구책임자 또는 공동연구원 성명	박영일, 김기두	참여자수	3

센서네트워크가 넓은 영역에서의 환경 감시 혹은 u-City에서의 정보전송 등에 이용될 경우 노드 개수, 혹은 홉 수는 대폭 증가하게 된다. 이 때 발생하는 문제점 중 하나는 역방향 전송 지연시간이 급격하게 늘어난다는 점이다. 현재 많이 이용되고 있는 지그비 프로토콜의 beacons 방식의 경우 각 노드에서 다음의 노드로 이 논문에서는 대규모 센서네트워크에서 역방향 패킷의 지연시간을 최소화할 수 있는 LS-MAC (Latency Secured MAC) 프로토콜을 제시하였다. 현재 이용되고 있는 지그비 등 다른 프로토콜의 경우 한 개의 time frame 내에서 비컨이 발생할 때마다 한 단계의 상향 전송이 일어난다. 따라서 N개의 홉을 경유하여 상향데이터를 전송하기 위해서는 N개의 time frame이 필요하게 되며 따라서 홉 개수의 증가에 따라 상향 전송지연이 매우 커지게 된다. 본 논문에서 제안한 LS-MAC 프로토콜을 다음 그림 1에서 보이고 있다. 그림에서와 같이 제안된 프로토콜에서는 한 개의 time frame 내에서 N개 홉의 상향 전송이 일어난다.

이 때 k번째 홉 노드는 하향 비컨 수신으로부터 다음의 시간을 기다린 후 상향전송을 하게 된다.

$$T_W(k) = (N_{hop} - k) \times (TS_{fw} + TS_{rev}) - T_{margin} \quad (1)$$

그림 2에서는 기존에 제시된 S-MAC, Adaptive S-MAC, 지그비 등의 프로토콜과 비교할 때의 홉 개수에 따른 상향전송 지연 시간을 비교하고 있다. 제안된 방식을 이용할 때 에너지 소비는 지그비와 거의 비슷하면서도 지연시간을 90% 이상 줄일 수 있음을 확인하였다.

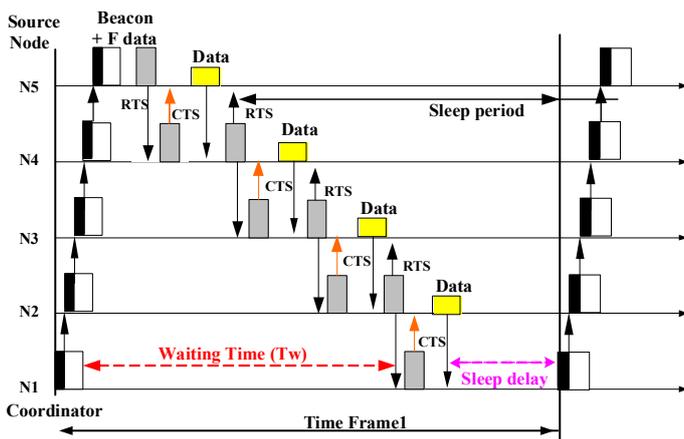


그림 1. LS-MAC 프로토콜의 동작

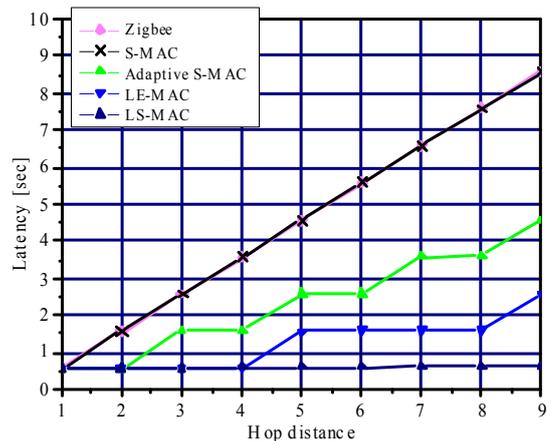


그림 2. 총 홉 수에 따른 상향데이터 평균 지연시간 (1초 time frame, 10% duty)

〈 대표 연구 성과 〉

대표연구성과 요약문			
연구업적 제목	전치왜곡을 이용한 OFDM 가시광통신 시스템의 성능개선에 관한 연구		
연구업적 유형	학술지게재논문(O) 특허() 저서() 역서() 기타()		
주관연구책임자 또는 공동연구원 성명	박영일	참여자수	3

본 논문에서는 조명용 LED의 OFDM 변조 시 발생 가능한 LED의 비선형성 문제를 전치왜곡으로 보상함으로써 전송 성능을 개선하였다. 조명 LED의 비선형성을 측정했더니 그림 1과 같았다. 그림 2는 OFDM을 이용한 가시광통신시스템에 전치왜곡을 이용하는 경우의 송수신 블록도이다. LED의 전류-광세기 관계의 역함수를 이용한 전치왜곡부를 LED 구동부에 삽입함으로써 LED 출력광신호 간의 선형성을 보장할 수 있다. 수신부에서는 PD에서 광신호를 수신하고 FFT 블록 및 N-QAM 복조부를 거쳐 데이터를 재생한다.

측정된 LED의 비선형성을 이용해서 전치왜곡 전후의 전송성능을 예측한 결과를 그림 3에 나타내고 있다. QAM 변조 적용 경우 비선형성으로 인해 발생한 전송오류가 크게 발생하고 있으며, 전치왜곡을 적용한 경우 이론값에 근접하는 결과를 보인다. 그림 4는 테스트베드 측정 전송 시험 결과이다. 좁은 선형 영역을 변조에 사용하는 경우 잡음에 취약하였고, 비선형영역 전 범위를 사용한 경우 신호가 왜곡되어 성능이 저하되는 것을 볼 수 있다. 반면 넓은 변조영역에서 전치왜곡을 적용하는 경우 가시광통신 시스템의 전송 성능이 개선되는 것을 확인했다.

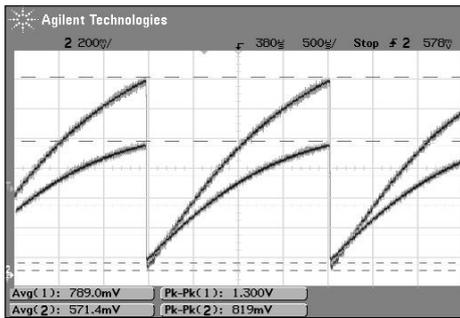


그림 1. LED 비선형성

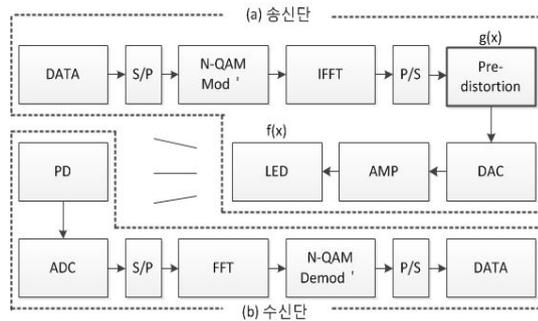


그림 2. 전치왜곡 적용 OFDM 송수신

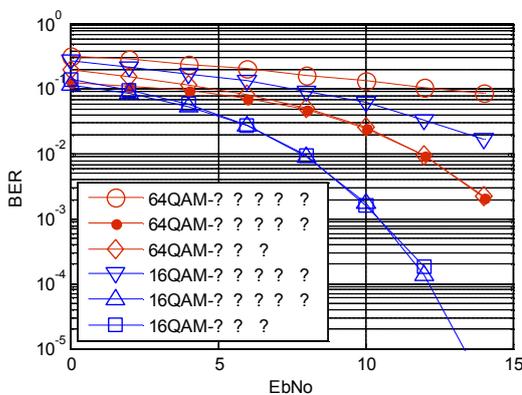


그림 3. 전치왜곡 적용 전후의 성능

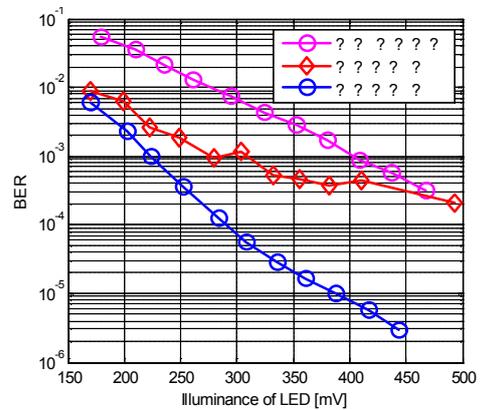


그림 4. 조도에 따른 비트오율

〈 대표 연구 성과 〉

대표연구성과 요약문			
연구업적 제목	감성조명 기반 컬러 가시광통신 시스템		
연구업적 유형	학술지게재논문(O) 특허() 저서() 역서() 기타()		
주관연구책임자 또는 공동연구원 성명	박영일, 김기두	참여자수	4

본 논문에서는 R,G,B 3색상의 LED를 이용하여 연속적으로 원하는 색상을 구현하면서 데이터를 전송하는 컬러 가시광통신 시스템을 위한 전송방식을 제안하고 실험 결과를 제시하였다. 원하는 조명의 색상을 유지하면서 연속적으로 통신을 하기 위해 다음 방법을 제시하였다. 그림 1과 같이 조명 색상을 제어할 때 한 주기 내의 R,G,B 비율을 이용하여 주기 전체를 채움으로써 통신 신호의 연속 전송이 가능하도록 한다. 또한 데이터 값에 의해 색상이 변하는 문제점은 데이터에 따라 ON/OFF 비율이 달라지는 OOK 변조 대신 하나의 심벌 안에서 ON/OFF 비율이 동일한 맨체스터 코딩을 이용함으로써 해결한다. 그림 2에서는 제안한 컬러 가시광통신을 위한 송신부 블록도를 보이고 있다. 색상 정보는 PWM 블록을 통해 변조가 된 후 각 색상의 넓이를 결정한다. 또한 데이터 정보는 블록 코더, 바이트 인터리버를 거친 후 맨체스터 코딩된다. LED를 이용하여 데이터를 전송하는 과정에서 각 LED 및 PD의 특성에 차이가 있기 때문에 이로 인한 오류가 발생할 수 있으며, 이를 줄이기 위해 8B/10B 블록코딩과 바이트 인터리빙을 이용한다. 그림 3은 전송속도 1.56 Mbps 데이터를 맨체스터 코딩하여 50cm 떨어진 거리에 전송한 결과를 오실로스코프에 보이고 있다. 그림 4는 컬러를 변화하면서 1.56 Mbps 데이터를 전송할 때 거리에 따른 비트오율을 보여준다. 40cm 거리에서는 10^{-7} 이하의 비트오율이 측정되고 있으며, 60 cm 거리에서 약 10^{-4} 의 비트오율을 보이고 있다. 본 실험은 제안한 변조방식에 의한 컬러 가시광 전송 가능성을 검증하기 위한 것이었으며, LED의 광세기 및 개수를 증가한다면 전송거리를 수 미터 이상으로 늘릴 수 있을 것이다.

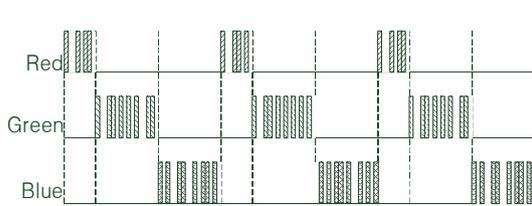


그림 1. 컬러 조명에서 맨체스터 코딩을 이용한 데이터 전송

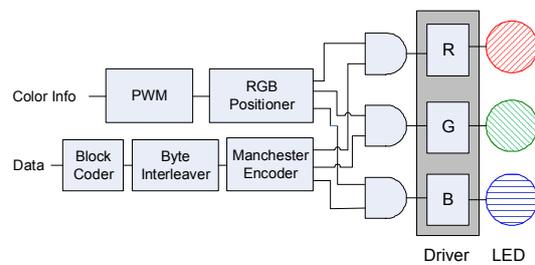


그림 2. 송신부 블록도

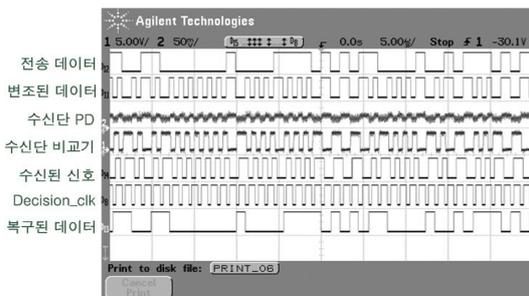


그림 3. 컬러 가시광을 이용한 전송 신호

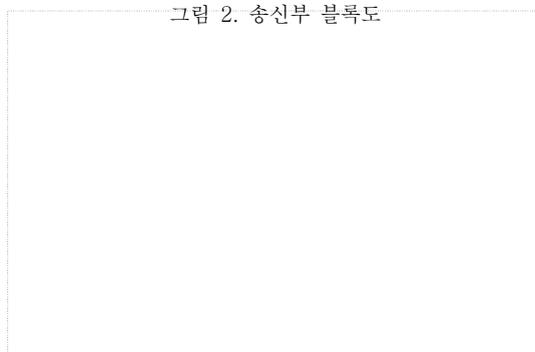
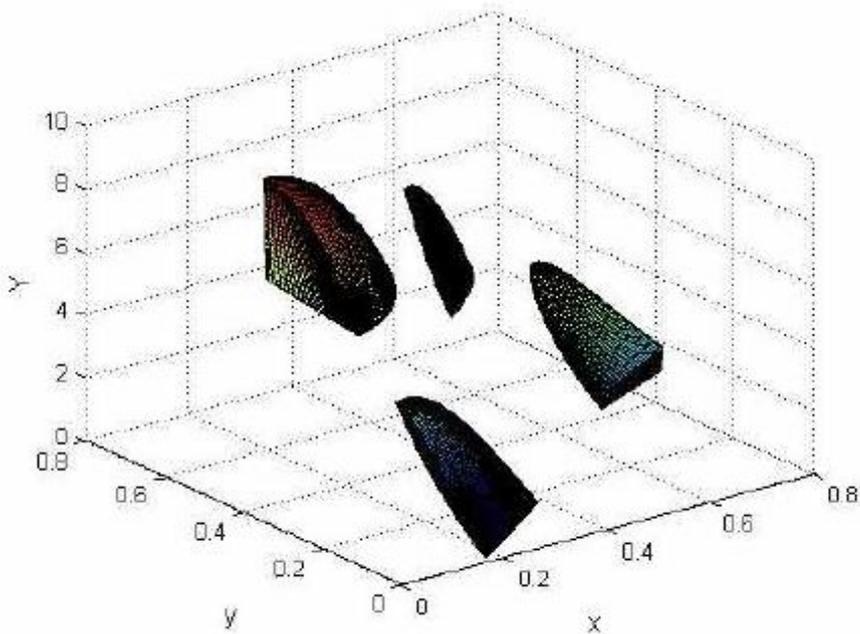


그림 4. 거리에 따른 비트오율 측정

〈 대표 연구 성과 〉

대표연구성과 요약문			
연구업적 제목	3차원 색채 공간 기반의 가시광 통신 변조기법 성능개선 연구		
연구업적 유형	학술지게재논문(O) 특허() 저서() 역서() 기타()		
주관연구책임자 또는 공동연구원 성명	김기두	참여자수	4

본 연구는 색채 공간의 불균일도를 반영한 3차원 색채공간에서의 심벌판정 기법을 제안하고, 2차원 색채 공간에서의 심벌 판정 기법과의 BER 성능을 비교 분석한다. 제안한 방법은 색채 공간에서의 심벌 영역을 3차원 RGB 공간에서 색채공간으로 변환하여 구하기 때문에 불균일도를 반영하고 있으면서 Y값에 해당하는 한 개의 차원이 증가함으로써 생기는 이득으로 인하여 2차원 색채 공간 기반 판정기법에 비하여 BER 측면에서 우수한 성능을 보여준다. 본 연구에서는 AWGN 및 common mode noise의 채널 환경에서 2차원 색채 공간 기반 심벌판정 기법과 비교하여 제안한 3차원 색채 공간 기반 심벌판정 기법의 BER 성능 개선 가능성을 수치적 시뮬레이션을 통해 입증한다.



3차원으로 확장된 색채 공간에서의 심벌 경계

〈 대표 연구 성과 〉

대표연구성과 요약문			
연구업적 제목	실내위치 측정장치 및 방법		
연구업적 유형	학술지게재논문() 특허(O) 저서() 역서() 기타()		
주관연구책임자 또는 공동연구원 성명	김기두	참여자수	3

출원일 2010.07.12

출원번호 10-2010-0066964 (접수번호 1-1-2010-0448314-43)

PCT 출원일 2010. 8. 28

PCT 출원번호 PCT/KR2010/005779

본 연구는 LED 기반 가시광 통신 및 이미지센서를 이용한 실내 위치 측정장치 및 방법에 관한 것이다. 실내 위치 측정장치는 다수개의 발광소자와, 조사되는 광신호를 전기신호로 변환시켜 출력하는 듀얼 이미지센서와, 상기 듀얼 이미지센서로부터 각각 수용된 LED 이미지의 차이에 의한 기하학적 관계로부터 거리를 구하고, 각각 출력되는 전기신호를 수신 받아 목표위치의 좌표를 산출하는 제어기로 구성된다.

본 연구의 물리적 정렬은 그림 1로부터 충분히 이해할 수 있다. 그림 1에서, "U"는 2개의 렌즈의 중점을 연결한 직선의 중간지점을 나타낸다. 지점 U(x,y,z)의 미지의 3차원 좌표는 이러한 체계로부터 측정하게 된다. 4개의 기준 LED A, B, C 및 D로부터 위치 U의 거리는 각기 d1, d2, d3 및 d4로 나타내었다. 이러한 거리는 그림 2에서 보는 바와 같이 2개의 이미지센서(30,40)상에 각각 수용된 LED 이미지의 차이에 의한 기하학적 관계로부터 계산된다.

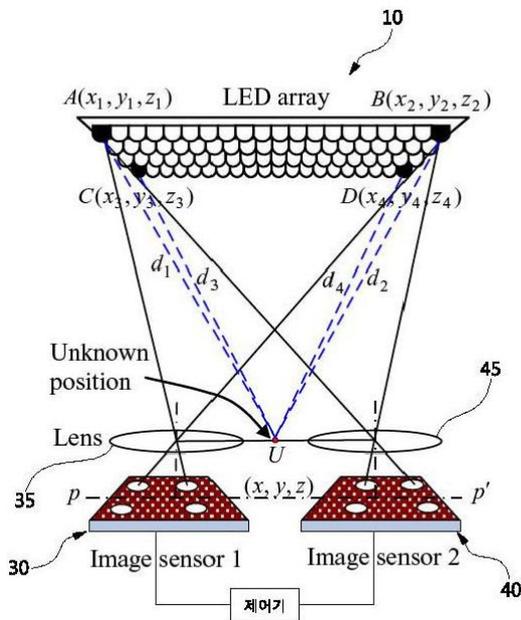


그림 1. VLC 위치 측정 시스템

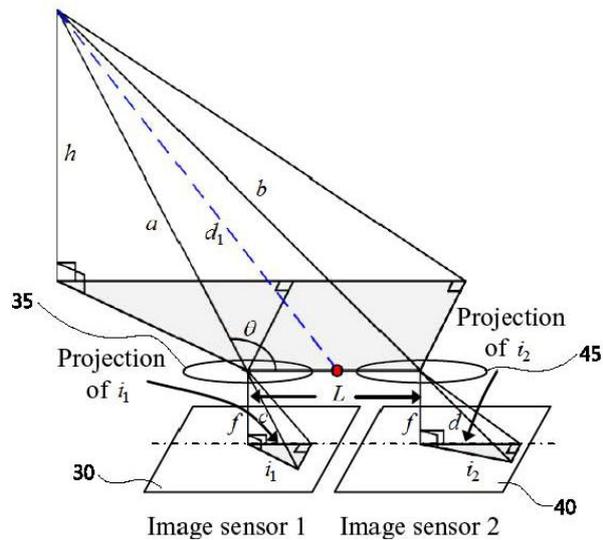


그림 2. Positioning technique

양식

자체평가 의견서

1. 과제 현황

	과제번호				
사업구분	기초연구사업				
연구분야			과제구분	단위(√)	
사업명	중견연구자지원사업(핵심연구)			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	FTTH 기반 홈게이트웨이를 이용한 센서네트워크 및 무선중계환경 구축에 관한 연구		과제유형	(기초, 응용, 개발)	
연구기관	국민대학교		연구책임자	박영일	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간 (yyyy.mm ~ yyyy.mm)	정부	민간	계
	1차년도	2008.09.01 ~ 2009.08.31	80,000		80,000
	2차년도	2009.09.01 ~ 2010.08.31	86,600		86,600
	3차년도	2010.09.01 ~ 2011.08.31	80,000		80,000
	4차년도				
	5차년도				
	계(총연구기간)	2008.09.01 ~ 2011.08.31	246,600		246,600
참여기업					
상대국		상대국연구기관			

2. 평가일 : 2011. 08. 20

3. 평가자(연구책임자)

소속	직위	성명
국민대학교	교수	박영일

4. 평가자(연구책임자) 확인

본인은 평가 대상 과제에 대한 연구 결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초 자료로 활용되기를 바랍니다.

확약

I. 연구 개발 실적

※ 다음 각 평가 항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구 개발 결과의 우수성 및 창의성

■ 등급 : (아주 우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 과제는 FTTH 방식 중 하나인 PON 시스템을 활용한 각종 무선 서비스에 관한 연구로서 센서네트워크 및 무선광 전송 분야에서 많은 독창적인 연구결과를 얻었다. 대표적인 결과로서는 PON을 이용한 센서네트워크 구현, 다중 OLT를 이용하는 PON 시스템 프로토콜, PON 시스템 고장위치 탐색, LED 조명을 이용한 데이터 전송, LED 조명을 이용한 실내 측위 알고리즘 등을 들 수 있으며, 위 연구들은 모두 최초 수행한 내용들로서 독창성이 뛰어나며 큰 후속 성과가 기대되고 있다.

2. 연구 개발 결과의 파급 효과

■ 등급 : (아주 우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 과제의 연구 성과는 매우 독창성이 있는 원천 연구 결과들로서 향후 다양한 응용 분야들을 예상할 수 있다. 예로써 Multi-OLT PON 시스템의 경우 현재 존재하고 있는 Single-OLT PON에서는 불가능한 가입자망 경쟁 서비스 환경 제공, 가입자망 이중화를 통한 신뢰성 향상의 제공이 가능하기 때문에 현재 많은 관심을 받고 있다. 또한 조명용 LED와 PON 시스템을 이용한 무선광 연구 성과는 향후 다양한 형태로 LED 융합 분야에 적용될 수 있다. 위 연구 성과들과 관련해서 향후 다양한 후속 연구를 수행할 예정이다.

3. 연구 개발 결과에 대한 활용 가능성

■ 등급 : (아주 우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 과제의 여러 연구 결과들은 후속 연구를 통해 표준화에 반영하고 또한 상용화를 추진할 계획이다. Multi-OLT PON의 경우 향후 진행될 PON 시스템의 표준화에 반영할 수 있도록 노력할 예정이다. 이 분야에 관해서는 연구재단의 지원을 받아 구현에 관해 후속 연구를 할 수 있게 되었다. 이를 통해 구현을 시도하고 산학협력을 통해 상용화를 시도할 계획이다. LED를 이용한 무선광시스템의 경우 본 과제를 통해 제작한 결과에 여러 회사들에서 관심을 보였으며, 상용 시스템에 적용할 가능성이 매우 높은 것으로 판단된다.

4. 연구 개발 수행 노력의 성실도

■ 등급 : (아주 우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

우수한 연구성과를 도출하기 위해 책임급 연구원 2명과 대학원생 총 11명이 최선의 노력을 경주하여 연구를 하고 결과물을 도출하였다. 2개의 연구실에서 역할을 분담하여 연구를 수행하였으며, 지난 3년 동안 매주 금요일 오후에 2개 연구실이 정기적인 미팅을 통해 과제 결과를 토론하고 향후 계획을 세웠다. 그 결과 위에서 언급한 바와 같이 창의성이 뛰어난 연구 결과들을 도출할 수 있었으며, 연구에 참여하고 졸업한 8명의 학생들이 전원 전자공학 관련 분야의 대기업, 중소기업에 취업하게 되었다. 이러한 연구 동기를 제공한 본 과제와 연구재단에 큰 감사를 드린다.

5. 공개 발표된 연구 개발 성과(논문, 지식재산권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주 우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 과제를 통해 총 8편의 국내외 학술지에 논문을 게재하였고, 학술대회 발표는 국제 10편 국내 10편에 이르렀다. 또한 본 과제의 연구 성과를 5건의 국내 특허로 출원하였고, 현재 1건의 국제 특허 출원을 준비하고 있다. 1편의 논문에 대해서는 한국 광학회로부터 우수 논문상을 수상하였다. SCI 학술지 게재를 위해서는 현재 4편을 투고하여 심사가 진행 중이므로 추후 게재가 결정되는 대로 성과로 입력할 예정이다.

II. 연구 목표 달성도

세부 연구 목표 (연구계획서 상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
무선중계 및 센서네트워크를 고려한 FTTH 네트워킹 연구	20	100	다중 OLT PON 시스템 구조를 제시하고, PON 기반 센서네트워크에 적합한 구조를 제시하였다.
PON 시스템 기반 홈게이트웨이 및 센서네트워크를 위한 PON 프로토콜 연구	30	90	다중 OLT PON 시스템의 상·하향 전송 프로토콜 및 구현방식을 제시하고 이들의 성능을 분석하였다.
FTTH 홈게이트웨이를 이용한 센서네트워크 연구	20	90	PON과 함께 사용할 수 있는 센서네트워크 프로토콜을 제시하고 구현방안 및 성능을 보였다.
PON 시스템을 이용한 홈 내부 무선환경 개선에 관한 연구	30	100	PON과 연계한 LED조명을 이용하여 무선데이터 전송을 할 수 있는 여러 방식을 제시하고 이를 구현하였다. 또한 조명을 이용한 측위알고리즘을 개발하였다.
합계	100만점	95	연구 목표를 거의 달성한 것으로 평가하며, 후속 연구를 통해 활용범위를 더욱 높일 예정이다

Ⅲ. 종합 의견

1. 연구 개발 결과에 대한 종합 의견

본 과제의 연구 성과는 매우 독창성이 있는 원천 연구 결과들로서 향후 다양한 응용 분야들을 예상할 수 있다. Multi-OLT PON 시스템의 경우 현재 존재하고 있는 Single-OLT PON에서는 불가능한 가입자망 경쟁 서비스 환경 제공, 가입자망 이중화를 통한 신뢰성 향상의 제공이 가능하기 때문에 많은 관심을 받고 있으며, 후속 연구를 통해 표준화 및 상용화가 가능할 것으로 예측된다. 이를 통해 새로운 형태의 가입자망 서비스의 제공이 가능할 것이다. 또한 조명용 LED와 PON 시스템을 이용한 무선광 연구 성과는 시스템으로 테스트베드를 제작하여 시험을 하였으며, 기업체들에서도 많은 관심을 보이고 있다. 향후 다양한 형태의 연구 성과를 도출할 수 있을 것으로 보인다. 15편에 이르는 학술지와, 수많은 국내외 학술대회에서 연구성과를 발표하였으며, 연구목표 달성을 위해 매우 성실하게 연구를 수행하였다.

2. 평가 시 고려할 사항 또는 요구사항

평가 시 본 연구의 결과물들이 기존 개발 결과들과는 전혀 다른 매우 독창성이 있다는 점들을 평가해주길 요청 드린다. Multi-OLT PON이나 PON 시스템을 이용한 센서네트워크 등에 관한 연구 성과는 기존에 전혀 없었던 새로운 분야를 개척한 결과이다. 실내 무선광 시스템 역시 컬러 및 밝기를 동시 제어 가능한 LED 통신, CDMA 및 OFDM 다중화 방안, 1개의 수신기만을 이용한 실내 측위 시스템 등은 기존 연구들과는 차별성이 매우 큰 연구 성과들이라 할 수 있다.

3. 연구 결과의 활용 방안 및 향후 조치에 대한 의견

본 과제의 여러 연구 결과들은 추후 표준화에 반영하고 또한 후속 연구, 기업체 이전 등을 통해 상용화를 추진해나갈 계획이다. Multi-OLT PON의 경우 향후 진행될 PON 시스템의 표준화에 반영할 수 있도록 노력할 예정이다. 이 분야에 관해서는 연구재단의 지원을 받아 구현에 관해 후속 연구를 할 수 있게 되었다. 이를 통해 구현을 시도하고 산학협력을 통해 상용화를 시도할 계획이다. LED를 이용한 무선광시스템 또한 완성도를 더욱 높이기 위해 후속 연구가 진행되고 있다. 현재 제작된 결과에 여러 회사들에서 관심을 보이고 있으며, 상용화에 이를 수 있도록 노력할 예정이다.

IV. 보안성 검토

○ 연구책임자의 보안성 검토 의견, 연구기관 자체의 보안성 검토 결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

해당사항 없음

2. 연구기관 자체의 검토 결과

해당사항 없음