

IEEE 802.15.3c WPAN 표준화 기술 동향

이우용 | 김경표 | 김용선 | 김진경 | 권형진
한국전자통신연구원

요약

본고에서는 비/저활용(57~66GHz) 대역에 대한 새로운 주파수 자원을 개척하여 HDTV급 신호를 케이블 및 위성방송 셋톱박스, 게임콘솔, DVD플레이어, 캠코더 및 이동식 멀티미디어 장비와 무선으로 연결시키는 전송 기술 개발을 위하여 Intel, Philips, Motorola, IBM, SiBeam, Panasonic, Sony 등 세계적인 기업들이 국제 표준화(IEEE802.15, ETSI/BRAN, ECMA International) 공동 협력 및 기술 개발 경쟁을 벌이고 있는 상황이다. 본 표준기술은 국내 기업이 세계 시장을 장악하고 있는 LCD, PDP 및 차세대 DVD 플레이어 등에 적용될 Wireless HD-SDI(High Definition Serial Data Interface)/ DVI(Digital Visual Interface)와, 외장 하드 디스크, 메모리 등 외부 기억 장치와의 자원 공유에 사용될 Multi-Gbps 급 Wireless LAN, Wireless PAN, Wireless SAN(System Area Network) 등에 적용될 무선 전송 기술이다. 비/저활용 59~66GHz 대역에 대한 국제 표준화로 IEEE802.15.3c를 중심으로 활발히 일어나고 있는 표준기술과 표준화 동향을 살펴본다.

1. 서론

본고에서는 전 세계적으로 주파수 자원의 부족을 해소하

기 위한 해결책으로 비/저활용 밀리미터파 대역에 대한 사용 방안이 비허가 또는 ISM 대역으로 할당되면서 관심이 집중되고 있다. 미국의 경우 1994년 FCC는 59~64GHz 주파수 대역을 허가 없이 사용할 수 있는 저 전력 장치에 할당하였고 1997년과 2000년 규칙 개정을 통해 주파수 대역을 57~64GHz 대역으로 확장하였다. 일본과 캐나다, 유럽 등도 이러한 국제 주파수 정책에 발맞추어 빠르게 대응하고 있으며 국내에서도 지난 2006년 7월 정보통신부가 새로 57GHz에서 64GHz에 걸친 7GHz의 주파수 대역을 무선 통신용으로 할당하였고 2007년 4월에는 이에 대한 기술 기준이 완료되었다.

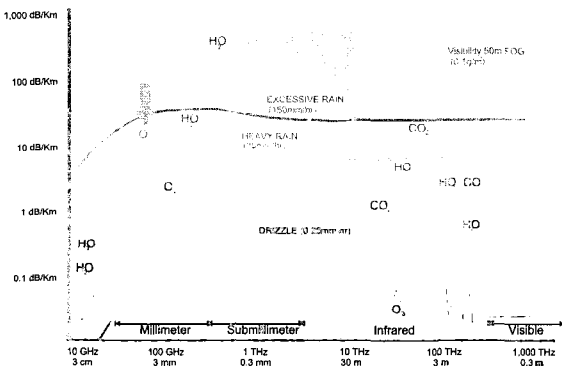
밀리미터파 대역에 대한 표준화 동향을 살펴보면 유럽의 ETSI/BRAN(무선 LAN 응용), 북미의 IEEE 802(무선 PAN/LAN 응용, 사실상 국제 표준(de-facto international standard)), ISO 21216(ITS 통신 응용), 그리고 최근에 60GHz 대역 WPAN 응용과 관련하여 WiHD 컨소시엄과 ECMA(European Computer Manufacturers Association)에서도 활발한 표준화가 진행 중이다. 본고에서는 현재 60GHz 대역 WPAN과 관련하여 가장 많은 업체들이 참여하여 적극적으로 표준화를 진행하고 있는 IEEE 802.15.3c Task Group의 표준화 동향에 대해 살펴보도록 하겠다. 먼저 1장에서 각각 60GHz 대역 채널 특성과 주파수 할당 동향을 살펴보고, 2장 본론에서는 IEEE 802.15.3c WPAN 표준화 동향, IEEE 802.15.3c PHY 계층 표준화 기술, MAC 계층 표준화 기술에 대해 살펴보고 3장에서 결론을 맺는다.

가. 60GHz 대역 채널 특성

60GHz 주파수 대역은 초 광대역을 사용하여 높은 데이터 전송률을 얻을 수 있다는 점 이외에도 직진성이 강해 주변 간섭에 매우 강하고, 보안성이 뛰어나며, 주파수 재사용이 용이하다는 등의 강점을 가지고 있다. 또한, 파장이 짧아 각종 소자의 소형화 및 경량화가 가능하다.

반면, 산소 분자에 의한 흡수 및 강우에 의한 감쇄현상으로 인해 전파거리가 짧고, 직진성의 특징으로 인해 가시거리(Line of Sight)가 확보되어야 하는 문제점이 발생한다.

(그림 1)은 주파수 대역에 따른 산소분자의 흡수현상과 강우감쇄를 보여주고 있다[1]. (그림 1)에서 볼 수 있듯이 57~66 GHz 대역에서는 Km당 12~16dB의 산소 분자에 의한 신호감쇄가 발생한다.



(그림 1) 주파수 대역에 따른 산소분자의 흡수 현상과 강우감쇄

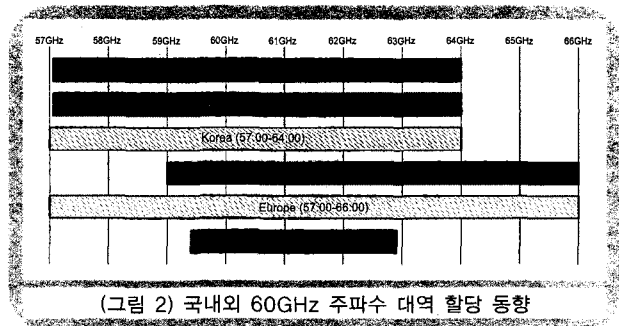
그러나 60GHz 주파수 대역에서는 짧은 전파 거리와 직진성의 특징으로 인해 오히려 보안성을 높일 수 있는 강점을 가진다. 60GHz 주파수 대역을 사용한 Point-to-Point 무선 통신은 높은 보안성으로 인해 정보 기관에 의해 주로 보안이 필요한 무선 통신에 많이 사용되었고, 또 군에 의해서 인공 위성간의 통신에도 사용되었다. 그리고, 우리나라와 같이 아파트가 보편화 된 곳에서는 IEEE 802.11 무선 LAN을 사용할 때 발생하는 보안 문제를 60GHz 주파수 대역을 사용함으로써 해결할 수 있다. 위의 주파수 특성으로 인해 생기는 또 다른 장점 중의 하나는 주파수 재사용이다. 60GHz 대역 주파수는 무선 링크의 거리가 길어짐에 따라 주파수의 방사 전력이 급격하게 낮아져서 주변의 다른

60GHz 링크에 간섭을 줄 수 없을 정도의 수준으로 낮아지게 되므로, 지리적으로 근접한 위치에서 동일한 60GHz 주파수 채널을 이용해서 여러 무선 링크를 형성하여 통신을 하는 데에 문제가 없기 때문에 주파수의 재사용이 용이하다. 이러한 장점이 단점으로도 작용하여, 먼 거리의 단말과 통신하기 위해서는 큰 감쇄를 극복하기 위해 소모되는 전력이 매우 크다. 이러한 단점을 극복하기 위해 지향성 안테나를 사용할 수 있다.

나. 60GHz 대역 주파수 할당 동향

한국을 비롯해 미국, 캐나다 등의 북미 지역은 현재 57GHz~64GHz, 일본은 59GHz~66GHz의 7GHz 대역폭의 주파수를 각각 할당하였고 미국, 한국, 일본은 이미 기술 기준을 마련하여 원천 기술 개발 및 산업 활성화를 주도하고 있다. (그림 2)는 주요 국가들의 60GHz 주파수 대역 할당을 보여준다. 유럽의 경우는 아직 주파수 할당 과정이 진행 중으로 57GHz~66GHz 전 대역 할당을 ETSI(European Telecommunications Standards Institute) 및 ECC(Electronic Communications Committee)에 요청해 놓은 상태이다[3].

(그림 2)에서 보는 바와 같이 각 국가별로 할당된 주파수에 다소간의 차이가 있으므로 IEEE 802.15.3c PHY 표준을 제안하는 그룹 및 업체별로 서로 다른 채널 분배 정책을 제안하고 있다.



(그림 2) 국내외 60GHz 주파수 대역 할당 동향

일반적으로 59GHz에서 64GHz에 이르는 주파수 대역은 한국, 북미, 유럽 및 일본에서 공통으로 할당된 대역이므로 공통 채널로 사용하지만, 각 국가별로 주파수가 일치하지 않는 대역에 대해서는 독립적인 별도의 고속 데이터 전송 채널로 할당하거나, 낮은 데이터 전송률을 지원하는 채널

또는 제어 채널로 할당하는 추세이다. 각 업체별로 제안하고 있는 채널 분배 정책에 대해서는 2장 본문 PHY 계층 표준화 동향에서 보다 자세히 살펴보고자 한다.

II. 본 론

IEEE 802.15.3c는 IEEE 802.15.3a의 표준화 기고서로 제안된 일본 OKI 사의 밀리미터파 기반의 광대역 무선 접속 시스템 제안서를 기반으로 표준화를 시작하였고, IEEE 802.15.3a의 권고에 따라 새로운 SG(study group)를 결성하기로 하고, 2005년 3월 60GHz 대역의 밀리미터파를 이용한 무선 기술 개발 TG(Task Group)로 승격되어 2007년 8월 현재까지 본격적인 활동을 하고 있다. 현재 IEEE 802.15.3c TG에서는 IEEE 802.15.3 WPAN(Wireless Personal Area Network)과의 호환성을 유지하면서 57GHz~66GHz의 밀리미터파 주파수 대역을 이용하여 PHY-SAP Payload Bit Rates 측면에서 의무조항으로 2Gbps 이상, 선택조항으로 3Gbps 이상의 전송률을 제공하는 새로운 PHY(Physical Layer)표준을 개발하고 있다.

IEEE 802.15.3c의 응용으로는 HD(High Definition) 급 무압축 영상의 고속 실시간 스트리밍, 고속 무선 Ad-hoc 통신, 고속 파일 전송, 무선 USB 등을 들 수 있다.

2007년 7월 현재, ETRI, France Telecom, GEDC, IHP, IMEC, Intel, Motorola, NewLANs, NiCT, NTT, OKI, Panasonic, Phiar, Philips, 삼성전자, SiBeam 등의 다양한 업체, 기관 및 학교를 중심으로 표준화 회의가 진행되고 있고, Silicon Transceiver 뿐만 아니라 CMOS RF 칩의 성공적인 개발로 인해 표준화 회의는 더욱 활발해지고 있는 실정이다.

가. 표준화 최근 동향

IEEE 802.15.3c에서는 TG내에 Channel modeling sub-group, Technical requirement sub-group, Usage model sub-group을 구성하여 각각 60GHz 채널 모델링 문서[8], 기술 요구사항 문서[9][10] 및 UM(Usage Model) 문서[11] 작업을 수행한 결과, 지난 2007년 1월에 모든 문서가 완료되었다. 그리고 26개 업체에서 2007년 3월 1일까지 CFI(Call For Intent)

에 대해 응답을 하였으며, 최종적으로 2007년 5월 7일까지 16개 업체 또는 그룹에서 CFP(Call For Proposal) [12]에 대해 채널 모델링 문서, 시스템 요구사항 문서 및 UM 문서를 반영한 PHY 표준 제안서를 제출하였다. 2007년 5월 캐나다 몬트리올 회의에서는 <표 1>과 같은 16개 업체 또는 그룹에서 제안한 표준 기고에 대한 발표가 진행되는 등 본격적으로 PHY 표준화가 시작되었다.

<표 1> IEEE 802.15.3c 표준 제안서 리스트

순서	제안업체	문서번호
1	TensorCom Inc.	07/700r4
2	NICT/ CoMPA	07/693r3
3	NewLANs Inc	07/685r1
4	IMEC	07/691r1
5	Astrin Radio	07/703r1
6	Tohoku Univ./ Mitsubishi	07/690r1
7	Matsushita/ Panasonic	07/698r5
8	NICTA	07/686r1, 07/687r1
9	Philips/Korea Univ./ETRI/GEDC	07/681r2
10	Decawave	07/683r7
11	Motorola/ Phiar	07/695r2
12	N. Taiwan Univ./CSIST/Yuan-ze Univ.	07/615r2, 07/692r0
13	FranceTelecom/ IHP	07/688r1
14	WirelessHD/Samsung/LG/Panasonic/Toshiba/ NEC/Sony	07/702r0
15	Samsung Electronics	07/701r5
16	IBM Research	07/694r1

가장 최근인 2007년 7월 미국 샌프란시스코회의에서는 Down selection 절차에 들어 갔으며, 표준 제안서를 제안한 모든 업체에게 매우 중요한 회의로 어떤 업체와 merge를 하여야 할지 또는 첫 번째 down selection에서 살아남기 위해 어떤 업체와 상호협력 할지 등을 매 세션마다 고민하였고 분주하지만 은밀한 회의가 이루어졌다. 그리고 down selection을 진행하는 과정에서 열띤 토론과 때로는 감정적인 격렬한 발언들도 많았다.

첫 번째 down selection이 시작되기 전에 <표 1>의 16개의 업체 또는 그룹들에 대한 presentation이 다시 한번 진행되었다. 그러나 16개 업체 또는 그룹 중에 NewLANs Inc, IMEC, Motorola/Phiar, FranceTelecom/IHP 이렇게 4개 업체 또는 그룹은 NICT/CoMPA에 merge되었다고 선언하여 presentation을 포기하였다. 나머지 12개 업체 또는 그룹에 대한 presentation이 진행되었다. 12개 업체 또는 그룹 중에 IBM은 이번 회의에 불참하여 presentation 여부를 확인하기 위해 일단 presentation 그룹으로 분류하였다. 그러나 IBM에

서 최종적으로 proposal 발표를 포기하고 CoMPA와의 merge를 선언하여 최종적으로 11개의 업체 또는 그룹의 proposal에 대한 발표가 진행되었고 그 이후에 down selection 절차에 대한 검토를 하였다. 각 그룹의 proposal을 발표하는 과정에서 ETRI/Philips/KU/GEDC 그룹에 Decawave가 merge하기로 합의하였다고 발표하였지만, down selection은 그대로 진행하기로 했다.

그리고 미국 현지 시각 7월 18일 수요일 오후 첫 번째 세션에서 down selection이 진행되었고 그 결과는 아래 <표 2>와 같다. <표 2>에서 보듯이 Astrin Radio와 NICTA가 탈락하고 나머지 9개 업체 또는 그룹은 20% 득표를 넘어 1차 라운드를 통과하였다. 사실 탈락한 NICTA도 CoMPA에 merge하기로 한 상태이므로 실질적으로 탈락한 곳은 Astrin Radio가 유일하다고 볼 수도 있겠다. 이렇게 9개의 업체 또는 그룹이 첫 번째 down selection 라운드를 통과한 것은 모든 voter가 multiple choice가 가능했기 때문이다. 이런 multiple choice는 과반 이상의 voter를 보유한 업체 또는 그룹에 의해 의도적으로 특정 업체를 떨어뜨리게 하는 방식으로 악용될 소지가 있어 보완이 필요하다고 판단된다. 이러한 multiple choice에 대한 문제점이 업체들간 협력회의 내내 제기되었지만 규칙을 변경하기 위해서는 75% 이상의 득표가 필요하므로 수정되기는 힘들 것으로 보인다. 2007년 9월 미국 하와이에서 있을 회의에서도 1개의 제안서만 남을 때까지 down selection 절차가 계속 될 것이다. 1개의 제안서가 남았을 때

마지막으로 confirmation voting을 수행하여 75% 이상의 득표를 얻은 경우 baseline draft로 채택되게 될 것이다. 이러한 절차 속에서 표준 제안이 유사하거나 이해관계가 있는 업체끼리는 계속 그룹을 형성하여 표준 제안들에 대한 계속적인 통합과정이 일어날 것이다.

IEEE 802.15.3c에서 제안된 주요 PHY 표준기고와 관련하여 가장 주목해야 하는 그룹은 일본 NICT를 주축으로 한 일본 컨소시엄 그룹인 CoMPA (Consortium of Millimeter-wave Practical Applications), 그리고 ETRI, GEDC, 고려대학교 및 Philips 등의 업체 및 기관이 참여한 ETRI/GEDC/ KU/Philips 그룹, 마지막으로 SiBeam, 삼성전자, LG전자, NEC, Sony, Toshiba 등의 가전 업체들을 중심으로 한 WIHD 컨소시엄으로써, 현재 위의 그룹들에 의해 표준화가 주도적으로 진행되고 있다고 볼 수 있다.

MAC(Medium Access Control)의 경우는, IEEE 802.15.3b 규격과의 호환성을 유지하면서 IEEE 802.15.3c의 고속 데이터 전송 응용을 지원하는 방안에 대해 표준화 일정과 별개로 지속적으로 계속 논의 중에 있다.

다음 절에서는 IEEE 802.15.3c의 PHY 표준 제안 시 반드시 고려해야 하는 채널 모델링 문서, 기술 요구사항 문서 및 UM 문서에 대해 간략히 살펴보고자 한다.

나. 60GHz 대역 채널 모델[8]

채널 모델 문서는 IEEE 802.15.3c에 제출되는 여러 업체 및

IEEE802.15.3c Down selection Ballot Result on July 18 2007

Proposal #	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12
Proposer	T.Matsumoto M. Sim Y. Zhan	H. Nakase Y. Nagai	A. Astrin	S. Skafidas T. Walsh K. Saleem B. Beresford	C. Ngo E. Kwon	A. Seyedi Y.C. Ko Y.S. Kim S. Pinel	J. Gilb S. Kim B.J. Jeon H. Shimawaki Y. Nakajima T. Okuyama	T.W. Huang Y.M. Chuang	H. Harada	I. Lakkis	M. Mc Laughlin B. Gaffney
Affiliation	Matsushita Panasonic	Tohoku Univ. Mitsubishi	Astrin Radio	NICTA	Samsung Korea Univ. ETRI GEDC	Philips Samsung LG NEC Sony Toshiba	Sibeam CSIST Yuan-ze Univ. N. Chiao Tung Univ.	N. Taiwan Univ. (CoMPA)	NICT	Tensorco	Decawave
DCN	07/698r5	07/757r0	07/703r2	07/686r1 07/687r1	07/701r3	07/681r1	07/702r4 07/767r0	07/615r1 07/692r0 074/762r0	07/761r4	07/760r1	07/683r6
Consider	54	39	16	5	41	35	40	44	61	49	33
%	57	41	17	5	43	37	42	46	64	52	35
>20%	PASS	PASS	FAIL	FAIL	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS

기관들의 PHY 표준 제안들을 서로 평가 및 비교하는 데에 도움을 주고자 만들어진 문서로서, 채널 모델링 서브 그룹에서 그동안 논의 및 연구되어 왔던 60GHz 대역 채널 관련 작업들을 요약 및 정리한 보고서이다.

채널 모델 문서에서 정의된 채널 모델들은 다음의 <표 3>에 자세히 기술되어 있다.

<표 3> 60GHz 대역 채널 모델

Channel Model	Scenario	Environment	Description
CM1	LOS	Living Room	Typical home with multiple rooms and furnished with furniture, TV sets lounges, etc. The size is comparable to the small office room. The walls/floor are made of concrete or wood covered by wallpaper/carpet. There are also windows and wooden door in different rooms within the residential environment.
CM2	NLOS		
CM3	LOS	Office	Typical office setup furnished with multiple chairs, desks, computers and work stations. Bookshelves, cupboards and whiteboards are also interspersed within the environment. The walls are made by metal or concrete covered by plasterboard or carpet with windows and door on at least one side of the office. Cubical, laboratory, open and closed office can be treated as a generic office. Typically these offices are linked by long corridors.
CM4	NLOS		
CM5	LOS	Library	Typical small size library with multiple desks, chairs and metal bookshelves. Bookshelves are filled with books, magazines, etc. Some tables and chairs were interspersed between the bookshelves. At least one side of room has windows and/or door. The walls are made of concrete.
CM6	NLOS		
CM7	LOS	Desktop	Typical office desktop and computer clutter. Partitioning surrounded this environment
CM8	NLOS		
CM9	LOS	Kiosk	Typical kiosk server with human body holding a portable device. The portable device is pointed to the kiosk server.

위의 표에서, 시나리오의 경우는 LOS 및 NLOS로 나누어 정리하였다. LOS의 경우는 송신단과 수신단 사이의 직선 경로에 장애물이 없는 경우를 고려한 것이고, NLOS는 송신단과 수신단 사이의 직선 경로에 장애물이 있는 경우를 고려한 것이다. 다음 절에서 소개할 UM 문서에 다양한 응용 모델이 기술되어 있고, 각 응용 모델은 본 채널 모델 문서에 정리되어 있는 채널 모델들 중 해당 응용을 가장 잘 묘사하는

채널 모델을 포함하고 있다.

다. 기술적 요구사항 [9][10]

기술 요구사항 문서(Technical requirement document)는 시스템 요구사항 문서(System requirement document)와 선택 기준 문서(Selection criteria document)로 구성되며 이 문서들은 IEEE 802.15.3c PHY 표준 제안들이 기술해야 하는 내용 등을 제공한다.

이 중 시스템 요구사항 문서는 SG(Study Group)의 CFA(Call For Application) 기고문들을 정리 및 요약하고, 또한 명확하게 기술되어 있지는 않지만 응용들에 의해서 충분히 유추될 수 있는 기초적인 요구 사항들을 정의하는 것을 목적으로 한다.

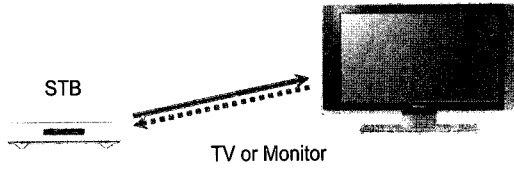
시스템 요구사항에서 다루고 있는 물리 계층의 기술적 특징들은 비트율, 지연, 채널 분할, 공존 및 간섭 저항, 채널 모델, 전력 소모, 장치의 크기 및 형태, 복잡도, 802.15.3-2003 표준의 기능에 대한 보충, 규정 등이 있다.

그리고, 선택 기준 문서는 IEEE 802.15.3c PHY 표준 제안 중에서 표준 초안 문서를 선택하는 기준을 기술한 문서이다. 선택 기준 문서에는, 제출된 표준 제안들을 정확하고 일관성 있게 평가하기 위해 TG3c UM(Usage Model) 문서에 기술되어 있는 응용 시나리오들을 반영한 구체적인 기술 요구사항이 정리되어 있다. 이 문서는 일반 해법 기준, MAC 프로토콜 보충 기준, PHY 계층 기준 등의 3개의 부분으로 이루어져 있다.

라. 응용 모델 (UM: Usage Model)

UM 문서에서는 IEEE 802.15.3c의 PHY 표준 제안과 관련하여 5가지 Usage Model을 제시하여 PHY 표준의 시뮬레이션 환경으로 사용하여 성능 비교 및 검증을 돕기 위한 목적을 가지고 있다.

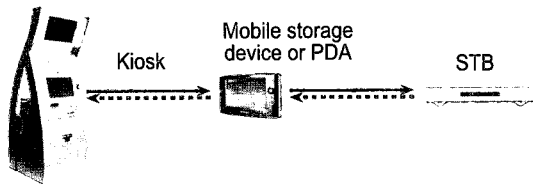
UM 문서는 UM1과 UM5의 point-to-point 통신을 의무조항으로 하고 UM2,3,4의 point-to-multipoint 통신을 선택조항으로 제시하고 있다. (그림 3)과 (그림 4)는 각각 무압축 비디오 스트리밍(UM1), Kiosk 파일 다운로드(UM5)의 환경을 보여주고 있다. 그리고 <표 4>과 <표 5>는 각 Usage Model에 대한 요구사항을 보여주고 있다.



(그림 3) 무압축 비디오 스트리밍 (UM1)

<표 4> 무압축 비디오 스트리밍 요구사항

환경	MAC-SAP에서의 전송률	거리
LOS/NLOS	1080i, 24bit 60Hz: 1.78Gbps	5m/10m
Residential	1080p, 24bit, 60Hz: 3.56Gbps	



(그림 4) Kiosk 파일 다운로드 (UM5)

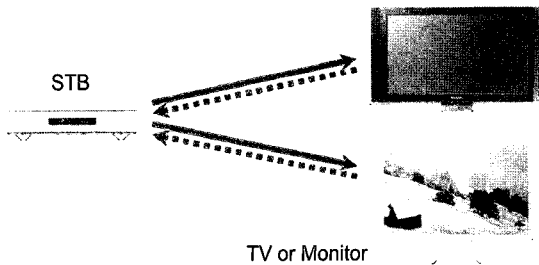
<표 5> 무압축 비디오 스트리밍 요구사항

환경	MAC-SAP에서의 전송률	거리
LOS	1.5Gbps burst	1m
Office	2.25Gbps burst	

(그림 5), (그림 6), (그림 7)는 각각 Point-to-Multipoint 무압축 비디오 스트리밍 (UM2), Office Desktop (UM3), Conference Ad-hoc(UM4)의 환경을 보여주고 있다.

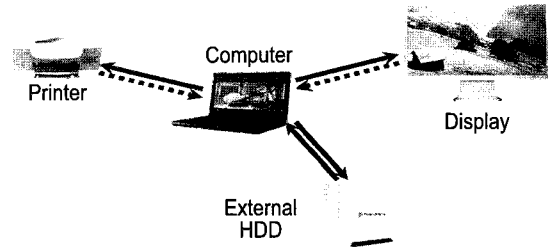
<표 6> Point-to-Multipoint 무압축 비디오 스트리밍 요구사항

환경	MAC-SAP에서의 전송률	거리
Residential	TV1: 1.75 Gbps 1.49, W/O Blk Stream	- STB-TV1 및 STB-TV2: 5m - TV1-TV2 : 5m
TV1: LOS	1080i, 24, 60	
TV2: NLOS	TV2: 0.62 Gbps 0.497, W/O Blk Stream	
	720x480p, 24,60	



(그림 5) Point-to-Multipoint 무압축 비디오 스트리밍(UM2)

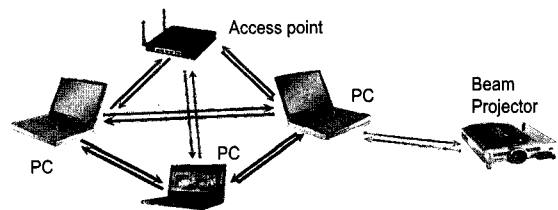
그리고 <표 6>, <표 7>, <표 8>은 각 Usage Model에 대한 요구사항을 보여주고 있다.



(그림 6) Office Desktop (UM3)

<표 7> Office Desktop (UM3) 요구사항

환경	MAC-SAP에서의 전송률	거리
NLOS, Desktop (C-TV)	3.56 Gbps 2.98, W/O Blk Stream 1080p, 24, 60	1 m
LOS, Desktop (C-HDD)	And/or 1.75 Gbps	
NLOS, Office (C-PR)	1.49, W/O Blk Stream 1080i, 24, 60	1 m
	0.25 Gbps, average async. Each direction for HDD	
	0.5 Gbps, Average async.	5 m



(그림 7) Conference Ad-hoc (UM4)

<표 8> Conference Ad-hoc (UM4)

환경	MAC-SAP에서의 전송률	거리
LOS, office. (C0-BP or TV)	1.75 Gbps 1.49, W/O Blk Stream	5 m
LOS, Desktop (C0-C1-C2)	1080i, 24, 60	
LOS, office (C0,C1,C2)-AP	0.0416 Gbps, average async. Each direction	1 m
	0.125 Gbps, average async. Each direction for AP	3 m

마. IEEE 802.15.3c 표준화 진행 일정

2007년 9월 Interim 회의에서는 계속 표준 제안 간의 통합이 이루어진 후 다시 그룹별로 통합된 표준 제안이 제출되어 발표가 이루어질 예정이다. 이렇게 통합이 이루어진 표준들의 발표가 종료된 후에 Down-Selection 절차를 수행하여 최종적으로 한 개의 표준 초안 문서가 채택될 때까지 계속될 것이다. 이러한 Down-Selection 절차가 종료되면 바로 표준 초안 작성이 이루어질 예정이다. 이후 표준화 진행 일정은 다음 <표 9>와 같다.

<표 9> IEEE 802.15.3c 표준화 진행 일정

일 정	내 용
2007년 11월	첫 번째 Letter Ballot
2008년 1월	Recirculation
2008년 3월	802 Sponsor Ballot
2008년 5월	802 Sponsor Recirculation
2008년 7월	표준 종료

바. IEEE 802.15.3c PHY 계층 표준화 기술

현재 IEEE 802.15.3c 표준화는 2008년 7월 표준 종료를 목표로 계속 표준화 절차가 진행 중에 있다. 본론 가 절에서 언급한 바와 같이 최근 회의인 2007년 5월 회의에서 각 업체들은 PHY 표준 제안서를 제출하였고, 2007년 7월에 Down-selection을 시작하였고 Down-selection 절차가 완료되면 바로 표준 초안 작성에 착수할 계획이다. 본 절에서는 먼저, 지금까지 제출된 PHY 표준 제안들에 포함되어 있는 주요 변조 방식에 대해서 간단히 살펴본 후, PHY 표준 제안을 제출한 업체 및 기관들 중 가장 관심 있게 지켜보아야 할 3개 진영의 표준 제안의 특징을 살펴보고자 한다.

1) 주요 변조 방식

IEEE 802.15.3c PHY 표준 규격에서 주로 제안된 변조 방식은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 WiHD 컨소시엄 등에서 주장하고 있는 OFDM 방식, 두 번째는 IBM, Panasonic, IHP, Motorola 등의 업체에서 주장하고 있는 아날로그 변조 방식을 이용한 단순한 단일 반송파 방식, 마지막으로 세 번째는 ETRI/GEDC/KU/Philips 그룹, CoMPA 등에서 주장하고 있는 주파수 영역 등화기를 사용하는 단일 반송파 방식이다. 각 변조 방식의 특징 및 장단점을 보면 다음과 같다.

OFDM 방식은 광대역을 이용하여 데이터를 전송할 때 협대역을 가지는 여러 개의 반송파로 데이터를 분담하여 전송하는 방식으로 광대역을 사용함에도 불구하고 다수의 협대역 반송파로 정교하게 나누어 다중 경로 간섭에 의한 주파수 선택적 페이딩 환경에서도 데이터 전송이 가능한 장점을 가지지만, 주파수 오차에 민감하고, 높은 데이터 전송률을 가지는 OFDM 시스템의 경우는 구현이 매우 복잡하며, PAPR(Peak-to-Average Power Ratio) 문제가 있는 등의 단점도 있다.

아날로그 변조 방식을 이용한 단순한 단일 반송파 방식은 제안된 PHY 규격들 중 가장 구현이 간단하고, 제품을 만들어 시장에 내놓는 시간 등을 고려할 경우 가장 매력적인 변조 방식이지만, 광대역을 사용하는 것에 비해 데이터 전송률이 높지 않는 등 주파수 효율 면에서 다른 변조 방식에 비해 성능이 떨어지고, 더 높은 데이터 전송률을 달성하기 위한 디지털 변조 방식으로의 전환 및 호환이 까다롭다는 단점이 있다.

위에서 제시한 두 가지 PHY 표준의 단점을 어느 정도 해결한 방식이 바로 주파수 영역 등화기를 사용하는 단일 반송파 방식이다. 이 방식은 기본적으로 단일 반송파 방식이므로 OFDM 방식의 가장 큰 문제점인 PAPR 문제가 없고, 간단한 구조의 주파수 영역 등화기 및 디지털 변조 방식을 사용하여 주파수 효율도 높으며, 다중 경로에 의한 주파수 선택적 페이딩이 상대적으로 약한 60GHz 환경에 잘 어울리는 변조 방식이라고 할 수 있다. 그러나 여전히 구현은 아날로그 변조 방식을 사용하는 단일 반송파 방식에 비해 구현이 복잡하다는 단점이 있다.

2) 빔 성형 (Beam Forming) 기술

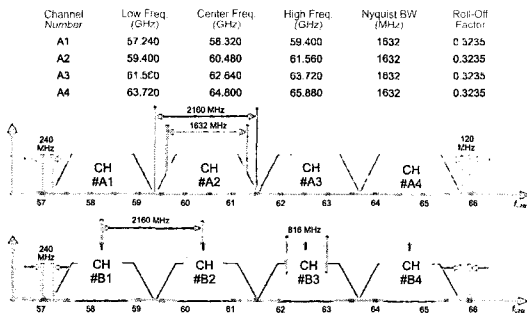
60GHz 주파수 대역의 약점인 주파수 전파 범위를 극복하기 위해 많은 PHY 표준 제안들이 지향성 안테나를 고려하고 있는데 이 지향성 안테나의 구현 방식 중의 하나가 바로 빔 성형이다. 빔 성형은 여러 개의 안테나를 배열하여 파형이 일정한 방향성을 가지도록 성형하는 기술로서, 적응적으로 빔의 패턴을 성형하도록 하여 LOS(Line-Of-Sight) 상에 있는 장애물을 회피해서 데이터의 전송이 이루어 질 수 있도록 하는 Beam Steering 기술도 60GHz 주파수 대역 통신 시스템에서 고려되고 있다.

3) CoMPA PHY 표준 제안 (CoMPA: Consortium of Millimeter-wave Practical Applications) [13]

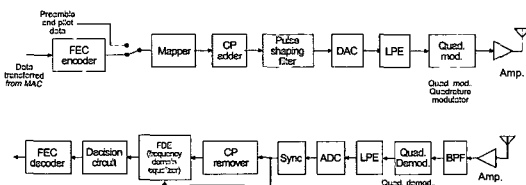
CoMPA의 PHY 표준 제안의 가장 중요한 특징은 주파수 영역 등화기를 사용하는 단일 반송파 변조 방식을 사용하는 것으로, 채널 코딩으로 RS(Reed-Solomon) 코드 및 LDPC(Low Density Parity Check) 코드를 사용하고, 8PSK 변조를 사용하여 PHY-SAP(Service Access Point)에서 최대 2Gbps의 데이터 전송률을 지원하도록 설계되어 있다.

CoMPA에서의 채널 할당은 IEEE 802.15.3c에서 고려하고 있는 57GHz ~ 66GHz에 해당하는 전체 9GHz의 대역폭을 다음의 (그림 8)과 같이 할당하였다. 크게 4개의 채널을 가지도록 채널을 할당하였고, 각 채널당 2160MHz의 대역폭을 가지도록 하였다. CoMPA PHY의 송신부 및 수신부의 기본 구조는 (그림 9)에 나타난 바와 같으며, 주파수 영역 등화기(FDE : Frequency Domain Equalizer) 및 단일 반송파 변조 방식이 가장 큰 특징이다.

이와 더불어, 송신부는 RS(Reed-Solomon) 코드 및 LDPC(Low Density Parity Check) 코드를 채널 코딩 기법으로 사용하고, BPSK, QPSK, 8PSK 등으로 신호를 대응시켜 주는 심볼 매핑(Mapper), 펄스 성형 필터(Pulse shaping



(그림 8) CoMPA의 채널 할당

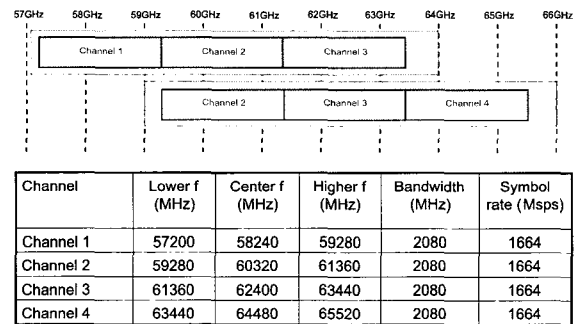


(그림 9) CoMPA PHY 시스템 구조

filter) 등을 포함하고 있으며, 수신부는 주파수 영역 등화기 및 채널 코드 복호기 등을 포함하고 있다.

4) SCBT(Single Carrier Block Transmission) 기반 60GHz PHY 표준 제안 (ETRI/GEDC/KU/Philips 그룹) [14]

ETRI/GEDC/KU/Philips 그룹의 PHY 표준 제안의 경우는, 적응형 CP(Cyclic Prefix)를 가지는 SCBT(Single Carrier Block Transmission) 기반의 시스템으로, UEP(Unequal Error Protection), 전송 안테나 스위치 다이버시티 등의 기법을 사용하여 16QAM 변조 사용시 PHY-SAP에서 최대 7Gbps의 데이터 전송률을 지원한다. 57GHz ~ 66GHz의 주파수 대역을 북미 지역, 한국, 일본, 유럽 등의 주파수 배정을 고려하여 아래의 (그림 10)과 같이 4개의 채널을 가지도록 주파수를 할당하였다.

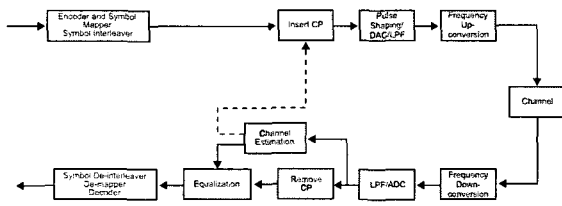


(그림 10) ETRI/GEDC/KU/Philips 그룹 채널 할당

위의 (그림 10)과 같이 각 채널은 2.08GHz의 주파수 대역폭을 가지고, 각 지역별로 3개의 채널이 서로 겹치지 않도록 할당되어 있다. 채널 결합(Channel Bonding)을 통해 채널당 더 넓은 주파수 대역을 허용함으로써 더 높은 데이터 전송률을 가능하게 할 수 있는 여지를 마련해 두었다.

ETRI/GEDC/KU/Philips 그룹의 시스템 구조는 (그림 11)에서 보는 바와 같이 단일 반송파 변조 방식 및 주파수 영역 등화기를 이용한 SCBT 기술을 기반으로 하고 있다. 또한 채널 상태 및 응용에 따라 적응적으로 변하는 적응형 CP(Cyclic Prefix) 기술을 사용하며, 송신부는 RS 코드 및 TCM(Trellis Coded Modulation) 등을 채널 코딩 기법으로 사용하고, 심

볼 때, 펄스 성형 필터 등을 포함하고 있다. 수신부는 등화기, 채널 코드 복호기 등을 포함한다. 그리고 송신 시 두 개 이상의 안테나 중 채널 상태가 좋은 하나의 안테나를 통해 데이터를 전송하는 전송 안테나 스위치 다이버시티 기법 및 데이터의 중요도에 따라 채널 코딩을 다르게 하여 중요한 데이터의 신뢰도를 높이는 UEP(Unequal Error Protection) 기법 등이 시스템 구조에 포함되어 있다.



(그림 11) ETRI/GEDC/KU/Philips 그룹 시스템 구조

5) HD AV (High Definition Audio/Video) 및 데이터 전송 지원을 위한 PHY 표준 제안 (WiHD 컨소시엄) [15]

WiHD 그룹은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조 방식을 기반으로 최소 10m 이상의 범위에서 최고 해상도의 HD A/V를 지원하도록 설계되어 있다.

주요 특징으로는, Beam Steering 기술을 이용하여 NLOS (Non-Line-Of-Sight) 환경을 극복할 수 있고, HRP (High Rate PHY)와 LRP (Low Rate PHY)의 두 가지 모드로 동작하게 하여 각각의 데이터 전송률(HRP : 4Gbps, LRP: 10Mbps) 및 전송 범위를 다르게 하여 응용에 차별을 두고 있다.

WiHD 컨소시엄에서는 9GHz의 주파수 대역을 HRP를 위한 4개의 채널로 크게 나누고, 2GHz의 주파수 대역폭을 가지는 HRP 채널 하나를 다시 LRP를 위한 3개의 채널로 작게 나누는 식으로 채널을 할당하였다. <표 10>과 <표 11>은 각각 HRP 및 LRP를 위한 채널 할당을 표로 간단히 보여주고 있다.

<표 10> HRP를 위한 채널 할당

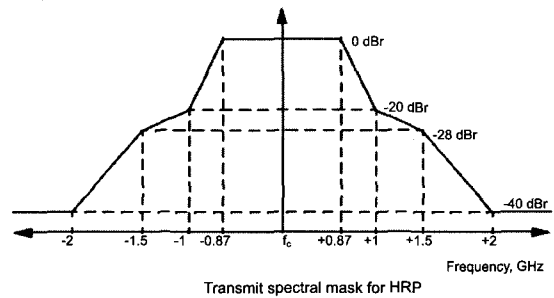
Channel index	Start frequency	Center frequency	Stop frequency
1	57.240 GHz	58.320 GHz	59.400 GHz
2	59.400 GHz	60.480 GHz	61.560 GHz
3	61.560 GHz	62.640 GHz	63.720 GHz
4	63.720 GHz	64.800 GHz	65.880 GHz

<표 11> LRP를 위한 채널 할당

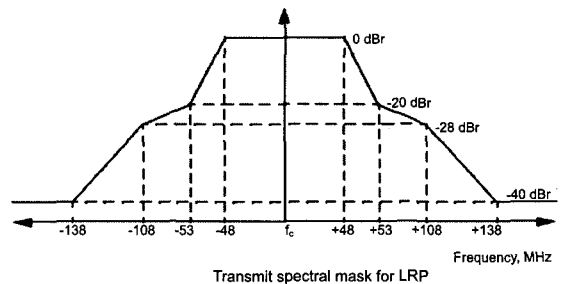
Channel index	Start frequency	Center frequency	Stop frequency
1	$f_{chRP} - 207.625$ MHz	$f_{chRP} - 158.625$ MHz	$f_{chRP} - 109.625$ MHz
2	$f_{chRP} - 49$ MHz	f_{chRP}	$f_{chRP} + 49$ MHz
3	$f_{chRP} + 109.625$ MHz	$f_{chRP} + 158.625$ MHz	$f_{chRP} + 207.625$ MHz

채널 할당에 대한 HRP 및 LRP 모드에서의 각 전송 마스크 구조는 다음의 (그림 12) 및 (그림 13)과 같다. WiHD 컨소시엄의 시스템 구조는 OFDM을 기반으로 하고 있다. WiHD 컨소시엄 시스템의 송신부 구조를 보면 아래의 (그림 14)과 같다.

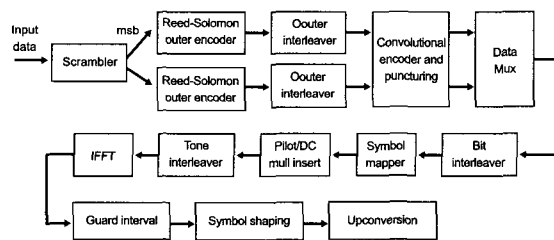
(그림 14)에서 보는 바와 같이 RS 코드 및 Convolutional 코드를 채널 코딩 기법으로 사용하고 있고, MSB와 LSB에 대해



(그림 12) HRP 전송 마스크 구조



(그림 13) LRP 전송 마스크 구조



(그림 14) WiHD 컨소시엄의 시스템 구조

서로 다른 경로로 채널 코딩을 수행하는 UEP 기법이 시스템 구조에 포함되어 있는 것을 특징으로 한다.

사. IEEE 802.15.3c MAC 계층 표준화 기술

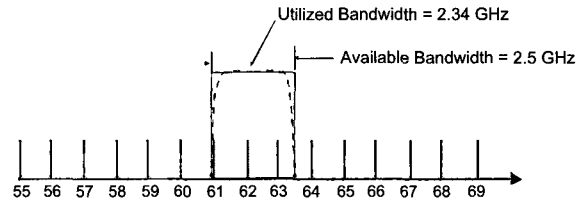
IEEE 802.15.3c는 IEEE 802.15.3 MAC과의 호환성을 유지 하면서 PHY-SAP(Service Access Point)에서 2~3Gbps 전송 률을 지원하는 PHY에 대한 규격을 만드는 것을 목적으로 하고 있다. 2007년 6월 현재까지 PHY에 대한 표준 초안 문 서가 채택되지 않았으므로 IEEE 802.15.3c에서의 주요 기 고는 PHY에 초점이 맞추어져 있다. 그러나 PHY 규격에 대한 채택이 완료되면 PHY를 지원하기 위한 MAC에 대한 이슈가 매우 중요하게 다루어 질 것으로 판단된다.

IEEE 802.15.3c의 MAC에 대한 이슈는 주로 PHY 규격을 지 원하기 위해 기존 IEEE 802.15.3의 MAC을 수정하거나 60GHz 주파수 환경 또는 그 응용에 적합한 기술들을 접목 시키는 방법을 사용하고 있다. 다음은 IEEE 802.15.3c에서 제안되었던 MAC 관련 기고 내용을 바탕으로 기술 별로 살 펴보도록 한다.

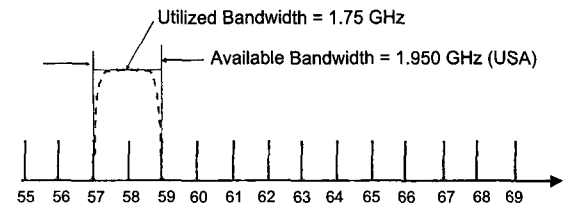
1) 고속 전송 모드 / 저속 전송 모드 지원

IEEE 802.15.3c PHY 표준 제안들 중 WiHD, CoMPA 등 많 은 표준 제안에서 고속 전송 모드 및 저속 전송 모드를 나누 어서 고려하고 있다. 각 표준 제안마다 다양한 기준으로 고 속 및 저속 전송 모드를 기술하고 있는데, 국가마다 주파수 규정 및 주파수 대역 할당이 다르므로, 이를 종합적으로 고 려하여 채널을 나눌 때 적절한 수의 광대역 채널 및 협대역 채널을 두어 광대역 채널은 고속 데이터 전송에 사용하고, 협대역 채널은 저속 데이터 전송에 사용하는 표준들도 있 고, 또한 같은 채널을 사용하지만 채널 코딩을 달리 하여 전 송 속도를 줄이는 대신 신뢰도를 높여 다양한 응용에 대응 하여 고속 전송 모드 및 저속 전송 모드를 활용하는 표준 제 안도 있다. 전자의 경우는 참고 문헌 [13], [14] 표준제안이 해 당되고 후자의 경우는 참고 문헌 [16], [17] 표준제안이 해당 된다. 경우에 따라서는 두 가지 방법을 모두 고려하고 있는 표준제안도 발표되었다[15]. (그림 15)는 표준제안 [16]에서 제안하고 있는 고속 전송 모드/저속 전송 모드 채널을 나타 내고 있고 (그림 16)은 표준제안 [17]에서 제안하고 있는 고 속 전송 모드/저속 전송 모드 채널을 보여준다.

참고 문헌[17]에서는 저속 모드 채널은 제어 채널로 사용하 고 고속 모드 채널은 데이터 채널로 사용하는 것을 특징으 로 한다.

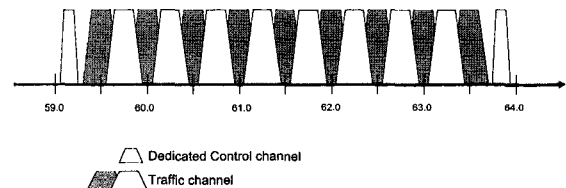


(a) Motorola/Phiar의 고속 전송 모드 채널



(b) Motorola/Phiar의 저속 전송 모드 채널

(그림 15) Motorola/Phiar의 고속/저속 전송 모드 채널



(그림 16) Tohoku University, Mitsubishi Electric Corp의 고속/저속 전송 모드 채널

2) 지향성 / 전방향성 안테나 지원

60GHz 주파수 대역의 특성상 서론 가 절에서 언급한 바와 같이, 거리에 따른 감쇄를 극복할 수 있는 등의 여러 장점들 때문에 IEEE 802.15.3c에서는 지향성 안테나가 고려되고 있 다. 그러나, 60GHz 주파수의 높은 직진성 때문에 송신기 및 수신기 사이의 일직선상에 장애물이 있는 경우 통신이 불가 능하게 되기 때문에 장애물 및 간섭 회피 수단으로 전방향 안테나도 여전히 고려되고 있다. 각 안테나 형태의 장단점 을 살펴보면, 지향성 안테나의 경우는 장치의 형태 및 크기 와 전송거리, 전송률, 안테나 이득 등을 고려할 때 유리하지 만 장애물을 회피하기에는 좋은 안테나 형태가 아니다.

반면에 전방향 안테나는 Beacon을 전송할 때 사용하면, 자동 장치 검색(Automatic Device Discovery) 및 간섭 회피에 유리하지만, 낮은 안테나 이득 때문에 전송률이 상대적으로 떨어지게 되고, 또 전송 거리도 짧아지게 된다. 구현의 입장에서 볼 때에도 60GHz 주파수 대역 안테나를 설계할 때, 지향성 안테나보다 전방향 안테나의 설계가 다소 어렵다. 그 밖에 위의 두 형태의 안테나의 단점들을 해결하기 위해 고려중인 안테나가 섹터 안테나(Sectorized Antenna)이다. 평면 형태의 안테나를 섹터를 나누어 360도 전방향을 감당할 수 있도록 만든 안테나인데, RF 패키징 및 전방향 안테나의 이점을 모두 고려한 형태이나 이런 형태의 안테나를 구현할 경우, 안테나 및 RF가 차지하는 면적이 넓어지는 단점이 있다.

참고문헌 [15]에서는 고속데이터 전송을 위해서는 지향성 안테나를 사용하고 비콘 등의 제어데이터 전송을 위해서는 전방향성 안테나를 사용하고 있다.

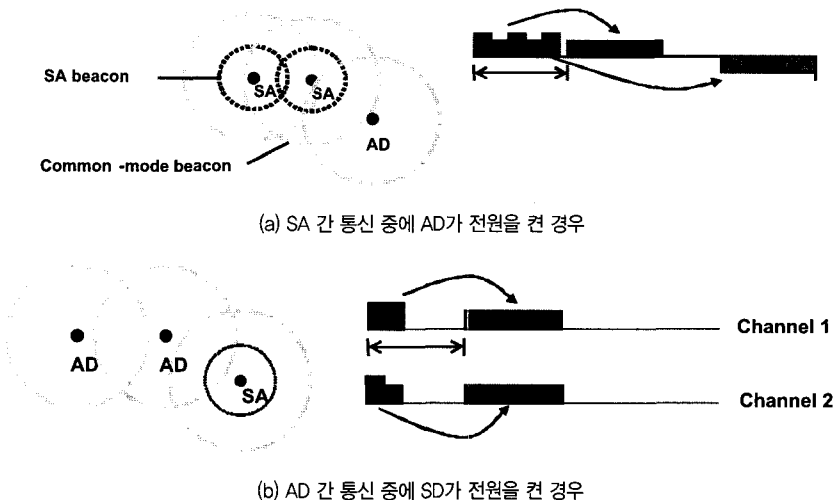
3) 공통 비콘 모드 (Common beacon) 지원

IEEE 802.15.3c PHY 표준 제안들의 상당수가 이중 모드의 PHY(Dual PHY) 규격을 지원 및 허용하고 있고, 표준이 2개의 PHY 규격을 수용할 가능성도 존재한다. 이러한 경우, 서로 다른 규격의 PHY를 구분해내고, 서로의 공존 및 상호 동

작을 지원하기 위해서는 공통 비콘이 존재해야 하며, 앞으로 IEEE 802.15.3c 표준화 회의에서 논의가 될 가능성이 높다. 이미, ECMA International과 같은 표준화 기구에서는 60GHz 대역 표준에 대해 서로 상당한 차이가 있는 AD(Advanced Device) 와 SD(Simple Device)의 공존 및 상호 동작을 위한 공통 비콘에 대한 논의가 상당히 진행되었으며, IEEE 802.15.3c에서는 TensorCom을 비롯한 몇몇 업체에서 OFDM, SCBT 등의 서로 다른 변조 방식의 공존을 위해서 공통 비콘 내에 Spreading Code을 제안하는 등 공통 Beacon에 대한 논의가 곧 시작될 것으로 보인다. (그림 17)는 ECMA International 국제 표준 기구에서 논의되고 있는 AD 와 SD의 공존을 위한 공통 비콘 통신의 예를 보여준다 [18]. [18]에서는 AD는 multipath 환경에 강해 SD에 비해 큰 반경을 가지고 있고 공통 모드 비콘의 송/수신이 가능하지만 SD는 공통 모드 비콘을 송신만 가능하다고 가정하고 있다. 또한, 서로 다른 모드의 PHY를 가진 SAP (Service Access Point) 들을 수용하는 방안도 고려하고 있다.

4) 간섭 회피 / 장애물 회피

채널 특성 상 전방향성 안테나 (Omni-directional antenna) 보다는 지향성 안테나(Directional antenna)를 사용하여 데이터를 전송하는 60 GHz 대역의 무선 통신 시스템에서 지



(그림 17) AD와 SD의 공존을 위한 공통 비콘 통신의 예

향성 안테나를 장착한 두 송수신기의 가시 거리(Line of Sight) 선상에 사람 혹은 장애물이 존재하여도 원활하게 데이터를 송수신할 수 있는 장애물 회피 기술과 동일 주파수의 공간적 재사용에 따른 간섭 회피 및 전력조절 기술에 대한 논의가 활발히 진행되고 있다. (그림 18)은 Ad-hoc 환경에서 지향성 안테나를 이용하여 두 장치가 서로 데이터 통신을 수행하는 중에 새로이 통신을 시도하고자 하는 장치로 인해 간섭이 일어나는 시나리오를 보여준다[1]

III. 결론

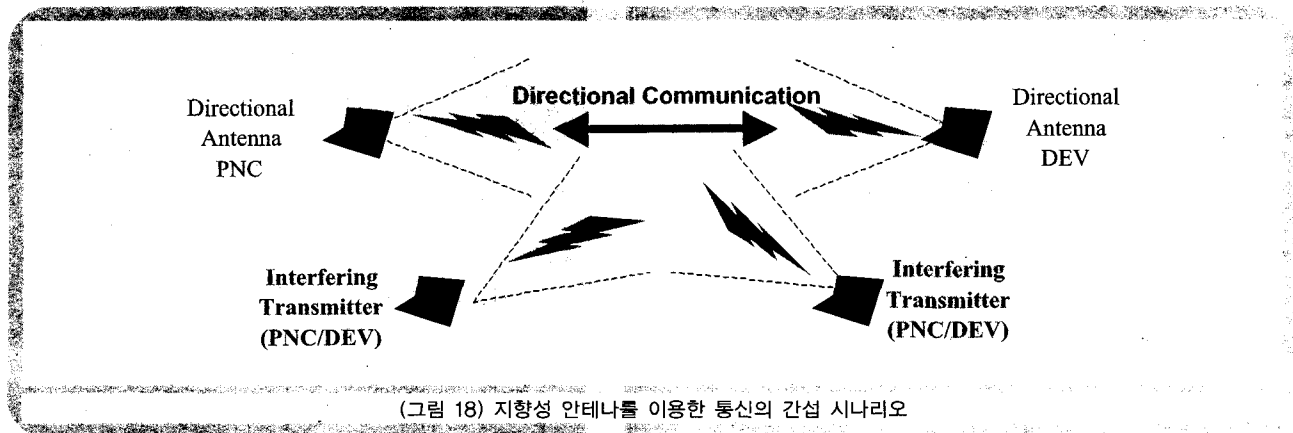
본고에서 살펴본 표준 기술은 비/저활용 주파수인 57~64GHz 대역에 대한 새로운 주파수 자원을 개척하여 HDTV급 신호를 케이블, 위성방송 셋톱박스, 게임콘솔, DVD플레이어, 캠코더 및 이동식 멀티미디어 장비와 무선으로 연결시키는 전송 기술이다.

이에 대한 표준 기술 주도권을 쟁탈하기 위하여 Intel, Philips, Motorola, IBM, SiBeam, NICT, Sony 등 30 여개 세계적인 대기업들이 국제 표준화(IEEE802, ETSI/BRAN, ECMA/ISO) 거구에서 협력 및 경쟁을 벌이고 있는 상황이다. 더구나 국내 기업이 세계 시장을 장악하고 있는 LCD, PDP 및 차세대 DVD 플레이어 등에 적용될 Wireless HD-SDI(High Definition Serial Data Interface)/ DVI(Digital Visual Interface)와, 외장 하드 디스크, 메모리 등 외부 기억

장치와의 자원 공유에 사용될 Muli-Gbps급 Wireless LAN, Wireless PAN, Wireless SAN(System Area Network) 등에 적용될 차세대 무선 전송 표준기술이라는 점에서 더욱 중요한 위치를 차지한다고 판단된다.

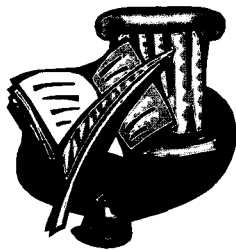
참 고 문 헌

- [1] Bruce Bosco, Celestino Corral, Shahriar Emami, Gregg Levin, and Abbie Mathew, "Status report of the subgroup on channel modeling," IEEE 802.15-05-0133-00-003c.
- [2] Brian Gaucher, "Completely Integrated 60 GHz ISM Band Front End Chip Set and Test Results," IEEE 802.15-06-0003-00-003c.
- [3] Alireza Seyedi, "Proposed European Regulations," IEEE 802.15-06-0247-00-003c.
- [4] Kyeongpyo Kim, Jinkyong Kim, Yongsun Kim, and Wooyong Lee, "Notice of Korean 60 GHz Unlicensed Band Allocation," IEEE 802.15-06-0330-00-003c.
- [5] Yongsun Kim, Wooyong Lee, Jinkyong Kim, and Kyeongpyo Kim, "Technical regulations for Korean 60GHz unlicensed band," IEEE 802.15-07-0554-00-003c.
- [6] 전파연구소고시 제2007-22호 "57~64 GHz대 용도미지정 무선기기 기술기준 제정(안)," 2007.03.29.



(그림 18) 지향성 안테나를 이용한 통신의 간섭 시나리오

- [7] "FCC 47 CFR 15.255: Operation within the band 57-64 GHz," [http://law.justia.com/us/cfr/ title47/47-1.0.1.1.12.3.236.35.html](http://law.justia.com/us/cfr/title47/47-1.0.1.1.12.3.236.35.html).
- [8] Su-Khiong Yong, "TG3c Channel Modeling Subcommittee Final Report," IEEE 802.15-07-0584-01-003c.
- [9] Alireza Seyedi, "TG3c System Requirements," IEEE 802.15-07-0583-01-003c.
- [10] Alireza Seyedi, "TG3c TG3c Selection Criteria," IEEE 802.15-05-0493-27-003c.
- [11] Ali Sadri, "802.15.3c Usage Model Document (UMD)," IEEE 802.15-06-0055-22-003c.
- [12] Reed Fisher, Hideto Ikeda, "TG3c Call for Proposals (CFP)," IEEE 802.15-07-0586-02-003c.
- [13] Hiroyo Ogawa et al, "CoMPA PHY Proposal," IEEE 802.15-07-0693-03-003c.
- [14] Alireza Seyedi et al, "SCBT Based 60GHz PHY Proposal," IEEE 802.15-07-0681-00-003c.
- [15] James P. K. Gilb et al, "Proposal for HD AV and data support," IEEE 802.15-07-0702-03-003c.
- [16] Bruce Bosco et al, "Low Cost, Low Complexity ASK-Based PHY for 802.15.3c," IEEE 802.15-07-0695-02-003c.
- [17] Hiroyuki Nakase et al, "PHY/MAC proposal for TG3c," IEEE 802.15-07-0690-01-003c.
- [18] I. Lakkis, "TensorCom Physical Layer Proposal," 802.15-07-0700-04-003c.



박 경



1989년 고려대학교 학사
 1991년 한국과학기술원 석사
 1997년 한국과학기술원 박사
 1997년 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원
 관심분야: 이동통신 모델/MAC 개발

이 우 용



2002년 경북대학교 학사
 2004년 한국과학기술원 석사
 2004년 ~ 현재 한국전자통신연구원 연구원
 관심분야: 이동통신 모델 개발

김 경 표



1997년 고려대학교 학사
 1999년 고려대학교 석사
 1999년 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 관심분야: 이동통신 MAC 개발

김 용 선



1992년 인하대학교 학사
 1994년 인하대학교 석사
 1994년 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 관심분야: 이동통신 MAC/모델 개발

김 진 경



1999년 한국과학기술원 학사
 2001년 한국과학기술원 석사
 2001년 ~ 현재 한국전자통신연구원 연구원
 관심분야: 이동통신 MAC/모델 개발

권 형 진