

# 제 출 문

본 보고서를 「홈 네트워킹을 위한 5GHz대 주파수 이용기술 적용방안」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2002. 12. 31.

연구책임자 : 전 호 인 (경원대학교)

연 구 원 : 최 진 산 (경원대학교)

연구보조원 : 이 한 솔 (경원대학교)

김 덕 수 (경원대학교)

## 요 약 문

1. 과제명: 홈 네트워킹을 위한 5GHz대 주파수 이용기술 적용방안

2. 연구기간: 2002년 2월 8일 ~ 2002년 12월 31일 ( 11개월 )

3. 연구책임자: 전 호 인

4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용

세부내용	연구자	월별 추진일정												비고
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
o 국내 환경에 적합한 홈 네트워킹 및 백본 구현기술 연구	전호인													
o Wireless 1394 홈 네트워킹 기술에 필요한 1394 네트워킹 전송 알고리즘 체계 연구	최진산													
o IEEE802.11 국제표준 회의의 최신자료 분석	전호인													
o 무선 전송품질(QoS)을 보장하기 위한 구현기술 연구	전호인													
o 가정내의 벽을 통하여 전파되는 해당 주파수의 투과 및 반사특성에 관한 연구	이한솔													
o 일반적인 가정 건축구조 환경에서 5GHz 대역에 속하는 전파신호의 감쇠패턴에 관한 연구	이한솔													
o OFDM 전송 적용 시 나타나는 옥내 구조에서의 전파특성 연구	김덕수													
o OFDM 전송 방식이 다른 채널에 의한 간섭 현상 분석	김덕수													
o 보고서 작성	전호인													
분기별 수행진도(%)		100		100			50			30				

## 나. 세부 과제별 추진사항

### 1) 국내 환경에 적합한 홈 네트워킹 및 백본 구현기술 연구:

홈 네트워킹 기술로서 현재 표준화가 완료되어 있는 HomePNA 기술과 PLC 기술, 그리고 IEEE1394 기술에 대한 기본적인 동작 이론과 장점, 그리고 단점 등에 대한 이론적인 분석이 완료되었습.

### 2) Wireless 1394 홈 네트워킹 기술에 필요한 1394 네트워킹 전송 알고리즘 체계 연구:

RLAN을 이용하여 홈 네트워킹 위한 백본으로 사용할 수 있도록 RLAN이 제공하는 QoS 기술을 연구하였으며 IEEE1394 신호를 전송할 수 있는 기술로 발전시키기 위하여 IEEE1394 기술 및 IEEE1394.1 기술을 연구하였습.

### 3) IEEE802.11 국제표준 회의의 최신자료 분석:

IEEE802.11 국제 표준회의의 참가를 위해 현재까지 Austin 회의, Dallas 회의, St. Louis 회의, Sydney 회의, 그리고 Vancouver 회의, Monterey 등 총 6회의 표준화 회의에 참가하였으며, 이 회의에서 입수한 자료를 분석하고 연구에 활용하였습. 또한 Spain의 Barcelona에서 열린 1394TA 표준화회의에도 참가하여 IEEE1394 기술의 홈 네트워킹에의 적용 방안을 논의하고 왔습.

### 4) 무선 전송품질(QoS)을 보장하기 위한 구현기술 연구:

QoS 보장 기술은 IEEE802.11e에서 정의하고 있는 QoS 기술을 주로 연구하고 있으며 보다 IEEE1394 신호를 RLAN으로 전송할 수 있는 보다 나은 QoS를 위해 새로운 방안을 연구하였습.

- 5) 가정내의 벽을 통하여 전파되는 해당 주파수의 투과 및 반사특성에 관한 연구:

가정내의 벽을 통하여 전파되는 해당 주파수의 투과 및 반사특성은 Ray Tracing 기법을 이용하여 이론적으로 분석하였으며 이 모델링을 적용한 결과와 실험을 통해 얻게 되는 데이터를 비교 분석하였음.

- 6) 일반적인 가정 건축구조 환경에서 5GHz 대역에 속하는 전파신호의 감쇠패턴에 관한 연구:

일반적인 가정 건축구조 환경에서 5GHz 대역에 속하는 전파신호의 감쇠패턴에 관한 연구는 다른 관련 연구에서 제시한 모델링을 중심으로 이 모델의 결과를 실험치와 비교하여 분석하였음.

- 7) OFDM 전송 적용 시 나타나는 옥내 구조에서의 전파특성 연구

OFDM 전송 적용 시 나타나는 옥내 구조에서의 전파특성 연구는 OFDM의 속성을 이론적으로 규명하고 각 주파수에서 발생하는 전파 특성을 연구하였음.

- 8) OFDM 전송 방식이 다른 채널에 의해 나타나는 간섭 현상 분석:

OFDM 전송 방식이 다른 채널에 의해 나타나는 간섭 현상 분석은 단일 주파수인 경우의 간섭이 다른 주파수에 미치는 현상에 바로 적용할 수 있으므로 이 방식을 적용하여 분석하였음.

## 5. 연구결과

- 1) HomePNA 기술의 이론적인 검토 및 홈 네트워킹 백본으로서의 가능성 검토 완료. 최고 10Mbps를 지원하는 HomePNA V2.0 기술은 CSMA/CD 기술을 이용하여 MAC을 구현하므로 QoS 지원의 한계로 인하여 홈 네트워킹의 백본 솔루션으로는 문제가 있는 것으로 판단됨.
- 2) 전력선 통신인 PLC 기술의 이론적인 검토 및 홈 네트워킹 백본으로서의 가능성 검토 완료. 최고 14Mbps를 지원하는 PLC 기술은 CSMA/CD 기술을 이용하여 MAC을 구현하며 Error Correcting Code 기법을 이용하므로 자원 낭비 문제 등 QoS 지원의 한계로 인하여 홈 네트워킹의 백본 솔루션으로는 문제가 있는 것으로 판단됨.
- 3) IEEE1394 기술의 이론적인 검토 및 홈 네트워킹 백본으로서의 가능성 검토 완료. 최대 400Mbps를 지원하므로 매우 매력적인 솔루션이지만 전송거리 4.5m의 한계로 인하여 홈 네트워킹의 백본으로는 역시 한계가 있음. 그러나 Isochronous 데이터의 실시간 전송 기능이 있으므로 RLAN을 이용한 QoS 지원은 홈 네트워킹의 가장 좋은 방식으로 판단됨.
- 4) IEEE802.11e가 지원하는 QoS 방안을 연구하였음. IEEE802.11e Version 3.0이 제공하던 많은 기술들이 Version 4.0에서 삭제되거나 변화되어 최종보고서에서 이 부분을 다시 검토하고 연구하여 그 결과를 수록하였음.
- 5) Ray Tracing 기법을 이용하여 5GHz 대역의 주파수가 가정 내의 벽면을 어떻게 전파하는지에 대해 이론적인 모델링을 설정하였으며 이로 인한 감쇠 및 반사 특성 등에 대해 연구하였음.

## 6. 기대효과

본 연구를 수행하면 5GHz대역의 주파수 이용기술 중 무선 홈 네트워크 분야의 국제표준화 동향 파악 및 최신자료를 산업체에 제공할 수 있으며, RLAN의 기술을 홈 네트워크 분야에 응용한 새로운 기술분야에서 우리 나라의 기술적 우위를 선점할 수 있다. 또한 홈 네트워킹의 백본 기술을 확보함으로써 앞으로 다가올 인터넷 정보 가전 시대의 실질적 기술을 확보할 수 있고, 따라서 미래의 시장에 대비할 수 있는 효과를 기대할 수 있다.

## 7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용도	보유현황	확보방안	비고
Digital Oscilloscope	TDS350	1	파형측정	유		
Pentium PC	Pentium III	6	컴퓨터	유		
XY Plotter	HP DesignJet 659C	1	시뮬레이션 자료출력	유		
Laser Printer	HP LaserJet 4050	1	자료출력	유		

## 8. 기타사항

없음.

# SUMMARY

Home Networking is known to be the one of the most promising applications that can promote the whole IT(Information Technology) industries as well as consumer electronics area. Because of these possibilities, a great number of manufacturing companies and Telecommunications operators showed a great interest in the technology.

It is unfortunate, however, that the wide deployment of the home networking devices over the world market has not occurred, while the perspectives of the Home Networking technology has been wide-spread over 4 years. This has happened due to the fact that there are too many standards related with home networking technologies, such as Ethernet, HomePNA(Home Phoneline Networking Alliance), PLC(Power Line Communications), IEEE1394, Bluetooth, UWB(Ultra Wide Band), IEEE802.11 WLAN, and IEEE802.15 WPAN technology. In addition to these physical layer technologies, there also exist too many control and streaming Home Networking middlewares such as UPnP, HAVi, Jini, VHN(Versatile Home Networking), LonWorks, CENELEC, HNCP(Home Network Control Protocol), CEBus, and so on. Too many working standards have been causing serious interoperability problems. Moreover, it is unlikely that a single networking technology will exist that services all the needs for AV devices. If this conjecture is accepted, applications designed to incorporate multiple Home Networking technologies will have significant overhead and serious interoperability problems between competing Home Networking technologies. We may need some sort of universal access tools, but they are not existent yet. Furthermore, little consensus for access and control of Home

Networking Architecture has been made.

In order to solve these problems, we need to adopt a well-defined home networking architecture based on backbone networks. If we adopt backbone network, it will become extremely easy to design the whole home network by designing the bridge specifications between the component networks and backbone network. Especially, if we constraint ourselves to multimedia home networking solution, we need to come up with IEEE1394 digital interfaces for the cluster network. UWB is also a good candidate for the cluster networks supporting multimedia services.

Under these circumstances, we need to find the best (or optimal, unless otherwise possible) backbone solution for the home networking. It has been shown, through this project, that solutions like Ethernet, HomePNA, PLC cannot provide a good solution for the backbone network, because of the fact that there are serious speed limitations and non-quaranteed QoS problems. IEEE1394b might be a good solution. But the drawback of IEEE1394b is that we still need to drill the wall to let the cable go through. Considering the Korean home environment, the only solution might be RLAN technology because of the fact that no new wires are needed for the installation, and we can enjoy 54Mbps at present, and higher rate upto 108Mbps using MIMO(Multiple Input Multiple Output) technology in the near future. Moreover, IEEE802.11e Task Group is working on a mechanism of providing very good QoS for the audio and video applications, and IEEE802.11i Task Group is working on a very secure security mechanisms based on RSN(Robust Security Network) and TKIP(Tenporal Key Integrity Protocol). With IEEE802.11a/e/i backbone network, we can deliver IEEE1394 A/V signals as well as control and command signals, while supporting lagacy WLAN devices. This is the concept of



Wireless 1394. Wireless 1394 requires IEEE1394.1 High Performance Serial Bus Bridge Specifications based on which PAL(Protocol Adaptation Layer) needs to be defined.

In this research project, we characterized all possible home networking technologies and derived the possibilities of utilizing each technology for the use of the home networking backbone solutions. Based on the characterization, we concluded that WLAN would be the best choice for the backbone network. Once the backbone network has been selected, we then considered how to provide necessary QoS mechanisms that will allow the A/V signals to be transported over wireless environment. After that, we defined the functionalities of the bridges that will interface between backbone network and cluster network. The final step will be to define a Korean Home networking standard that all the Korean consumer electronics manufacturers will agree to adopt. This will become a deFacto standard in Korea, and further, will be able to become a world's deFacto standard by submitting the standard to ISO/IEC JTC1 SC25 WG1, which will be our final goal.

# 목 차

표목차 .....	xii
그림목차 .....	xiii
제 1장 서 론 .....	1
제 2장 유선 홈 네트워킹 기술 .....	4
제 2-1절 서론 .....	4
제 2-2절 HomePNA 기술 .....	5
제 2-3절 PLC 기술 .....	16
제 2-4절 IEEE1394 기술 .....	21
제 3장 무선 홈 네트워킹 기술 .....	29
제 3-1절 서론 .....	29
제 3-2절 Bluetooth 기술 .....	30
제 3-3절 IEEE802.11-1995 PHY 및 MAC 구조 .....	33
제 4장 무선 홈 네트워킹을 위한 전파환경 및 전파특성 연구 .....	47
제 4-1절 서론 .....	47
제 4-2절 5GHz 대 주파수 이용 현황 및 전망 .....	47
제 4-3절 가정 내 무선 홈 네트워킹 기술을 고려한 전파특성연구 .....	51
제 4-4절 전파 측정 및 분석 .....	56
제 4-5절 결론 및 향후계획 .....	78

제 5장 무선 홈 네트워킹 백본을 위한 RLAN 기술 .....	79
제 5-1절 서론 .....	79
제 5-2절 홈 네트워킹 백본 기술의 요구 조건 .....	79
제 5-3절 QoS의 정의 .....	80
제 5-4절 IEEE802.11e의 QoS .....	83
 제 6장 결 론 .....	 101
 참고자료 .....	 103

# 표 목 차

<표 2-1> 전력선 통신의 장/단점 .....	17
<표 2-2> 전력선 통신 프로토콜들 비교 .....	20
<표 3-1> IEEE802.11 서비스의 종류와 제공처 .....	35
<표 3-2> 각 상태에서 허용되는 Class의 프레임 형태 .....	37
<표 4-1> 미국의 주파수 이용기준 .....	49
<표 4-2> 유럽의 주파수 분배현황 .....	50
<표 4-3> 일본의 주파수 분배 현황 .....	50
<표 4-4> 5GHz대역 국제주파수 분배연구 동향 .....	52
<표 4-5> 송·수신부 장비 내역 .....	56
<표 4-6> 수신 전력 및 전력지연 프로파일 측정 시스템 구성 사양 .....	59
<표 4-7> 각 위치에서 RMS 지연 확산 평균값[nsec] .....	77
<표 5-1> 전송율, 전송방식, 그리고 지연성에 따른 인터넷 응용의 분류 .....	82
<표 5-2> IEEE 802.1d의 우선 순위와 AC와의 관계 .....	85
<표 5-3> QoS 제어 필드 .....	86
<표 5-4> Default QoS Parameter Set .....	88

## 그 립 목 차

<그림 1-1> 홈 네트워킹 기술을 채택한 주택의 구조 .....	3
<그림 2-1> Home Network 구성 .....	6
<그림 2-2> 전화선 Loop의 구성 .....	7
<그림 2-3> 전화선 Loop의 전송손실 특성 .....	8
<그림 2-4> 전화선의 NEXT의 영향 .....	8
<그림 2-5> HomePNA 1M8 PHY 기준 모델 .....	10
<그림 2-6> RLL25 부호기 .....	12
<그림 2-7> 전송 펄스 파형 .....	12
<그림 2-8> HomePNA 2.0의 Frame Format .....	14
<그림 3-1> Bluetooth의 Piconet과 Scatternet의 개념적인 의미 및 이들 사이의 관계 .....	31
<그림 3-2> IEEE802.11 WLAN 구조 .....	35
<그림 3-3> IEEE802.11 표준에서 서비스 사이의 관계를 나타내는 상태 천이도 .....	36
<그림 3-4> IEEE802.11 WLAN 참조 모델 .....	38
<그림 3-5> IEEE802.11 Frame Formats .....	39
<그림 3-6> Hidden Node Problem .....	41
<그림 3-7> CSMA/CA for MAC (Medium Access Control) .....	42
<그림 3-8> DCF를 위한 IFS 사이의 관계 .....	43
<그림 3-9> IEEE802.11-1999의 IFS (InetrFrame Space) 정의 ...	44
<그림 3-10> WEP Encapsulation 방법 .....	45
<그림 3-11> WEP Decapsulation 방법 .....	45
<그림 4-1> 미국(FCC)의 5GHz대역 주파수 분배 현황 .....	48
<그림 4-2> 유럽(CEPT)의 5GHz대역 주파수 분배현황 .....	50
<그림 4-3> 밀집 주거지역인 아파트 주거환경 그림 .....	53
<그림 4-4> 25평 아파트의 전형적인 단면 구조도 .....	54
<그림 4-5> 35평 아파트의 전형적인 단면 구조도 .....	54

<그림 4-6> 5GHz 대역 주파수 이용 무선 랜 AP 및 NIC 그림 .....	55
<그림 4-7> 수신부 .....	55
<그림 4-8> 송신부 .....	55
<그림 4-9> 주파수 영역 변환 방식 시스템 .....	57
<그림 4-10> 아파트 평면도 및 측정점 위치 .....	57
<그림 4-11> 수신 전력 측정 시스템 구성도 .....	58
<그림 4-12> 전력 지연 프로파일 측정 시스템 구성도 .....	58
<그림 4-13> 평면 유전체 경계 상에 수직 편파(TE)를 가진 균일한 평면파가 비스듬히 입사하는 경우 .....	66
<그림 4-14> 평면 유전체 경계 상에 평행 편파 (TM)를 가진 균일한 평면파가 비스듬히 입사하는 경우 .....	68
<그림 4-15> 수신 전력 12층 (2.4GHz) .....	69
<그림 4-16> 수신 전력 12층 (5.3GHz) .....	70
<그림 4-17> 수신 전력 13층 (2.4GHz) .....	70
<그림 4-18> 수신 전력 13층 (5.3GHz) .....	71
<그림 4-19> 수신전력 12층 LOS(2.4GHz) .....	71
<그림 4-20> 수신전력 12층 LOS(5.3GHz) .....	71
<그림 4-21> 수신 전력 12층 LOS(2.4GHz/5.3GHz) .....	72
<그림 4-22> 수신 전력 12층 NLOS(2.4GHz) .....	72
<그림 4-23> 수신 전력 12층 NLOS(5.3GHz) .....	72
<그림 4-24> 수신 전력 12층 NLOS (2.4GHz/5.3GHz) .....	73
<그림 4-25> 수신 전력 13층 LOS 위치(2.4GHz) .....	73
<그림 4-26> 수신 전력 13층 LOS 위치(5.3GHz) .....	73
<그림 4-27> 수신 전력 13층 LOS 위치(2.4GHz/5.3GHz) .....	74
<그림 4-28> 수신 전력 13층 NLOS 위치(2.4GHz) .....	74
<그림 4-29> 수신 전력 13층 NLOS 위치(5.3GHz) .....	74
<그림 4-30> 수신 전력 13층 NLOS 위치(2.4GHz/5.3GHz) .....	75
<그림 4-31> 층간 수신 전력 LOS 위치(2.4GHz/5.3GHz) .....	75
<그림 4-32> 층간 수신 전력 NLOS 위치(2.4GHz/5.3GHz) .....	75

<그림 4-33> 그림 19 RMS delay spread(LOS) .....	77
<그림 4-34> 그림 20 RMS delay spread(NLOS) .....	78
<그림 5-1> QoS의 정의 .....	81
<그림 5-2> IEEE802.11e에서 새롭게 정의한 프레임 형태 .....	86
<그림 5-3> IEEE802.11e의 MAC 구조 .....	87
<그림 5-4> AC 맵핑에 의해 네 개의 전송 큐를 이용하여 독립적으로 채널에 접근함으로써 QoS를 지원하는 메커니즘 .....	88
<그림 5-5> 각각의 AC들이 EDCF TXOP를 획득하기 위한 Backoff를 나타내는 매체 접근 방법 .....	89
<그림 5-6> EDCF Timing 관계 .....	90
<그림 5-7> Polled TXOP .....	91
<그림 5-8> ADDTS QoS Action 요구 프레임 구조 .....	92
<그림 5-9> ADDTS QoS Action 응답 프레임 구조 .....	92
<그림 5-10> 스케줄링 예제 .....	95
<그림 5-11> 스트림이 제거된 경우 TXOP의 재할당 .....	95
<그림 5-12> DLP handshake .....	97
<그림 5-13> Group ACK 메커니즘의 Message Sequence Chart ....	99
<그림 5-14> Immediate Group ACK .....	100
<그림 5-15> Delayed Group ACK .....	100

## 제 1장 서론

지금 전 세계는 표준 전쟁을 치르고 있다. 20세기 말부터 시작된 IMT-2000 기술 표준이 세계적인 로밍 기능을 앞세운 이동통신의 표준으로 가장 대표적인 표준 전쟁의 중심에 놓여 있었다면, 21세기에 추가된 기술 표준 전쟁의 중심에는 홈 네트워킹 기술이 있는 셈이다. 그 이유는 가정 내의 모든 가전 기기 및 PC 관련 제품들을 하나의 네트워크로 연결하고, 이 모든 기기들을 인터넷 접속을 통해 제어 및 데이터 전송이 가능하게 할 수 있는 홈 네트워크 분야가 IMT-2000 기술을 앞세운 이동통신 시장보다 더 큰 잠재력을 가지고 있기 때문이다. 따라서 2000년부터 불어 닥친 가전 시장의 침체와 IT 산업을 일으켜 세울 가장 유력한 기술이 홈 네트워킹 기술이라는 사실에는 많은 공감대를 형성하고 있는 것으로 보인다. 정보통신부가 홈 네트워킹 기술을 이용하여, 기존의 가전 시장이 겪고 있는 심각한 침체 현상을 해소하고 전 국민들의 정보화 마인드 확산을 위해 지난 2000년 3월, 인터넷 정보가전 산업 협의회를 구성하여 홈 네트워킹을 위한 기술 개발 및 표준을 제정하고 있는 것이 이를 입증하고 있는 것이다.

홈 네트워킹 기술을 채택한 주택이 기존의 주택과 다른 점은 맥내의 PC와 프린터 등과 같은 PC 관련 기기는 물론 냉장고, 세탁기 등 가정내의 모든 가전 기기들을 하나의 네트워크로 연결하여, 서로의 정보를 공유하고 내부에서 제어할 수 있을 뿐만 아니라, 각각의 기기가 인터넷에 동시에 접속할 수 있으며, 이에 따라 인터넷을 통하여 외부에서도 제어가 가능한, 첨단 정보 통신 시스템을 갖춘 주택이라는 점이다. 이와 같은 기능을 수행하려면, 가정 내에는 각 기기들 간의 네트워킹이 형성되어 상호 기기간의 통신은 물론 이를 통한 정보의 공유 및 엔터테인먼트 향유, 그리고 에너지 절약 기능과 홈 오토메이션 기능 등을 제공할 수 있는 시스템과 소프트웨어가 지원되어야 한다.

홈 네트워킹의 중요한 응용 분야를 살펴보면 광대역 인터넷 서비스의 공유, 다중 전화 서비스, 멀티미디어 신호의 전송, 원격 접속, 다수가 참여하는 게임, 컴퓨터 주변 기기의 공유, 데이터와 파일의 공유, 홈 오토메이션 등 매우 다양하다. 그러나 이 중에서 홈 네트워킹 시장을 주도할 진정한 킬러 애플리케이션을 찾기는 그리 쉬운 일이 아니다. 이미 검증된 비즈니스 모델을 모두 걷어내고 새로운 홈 네트워킹 기술을 적용하기에는 너무나 많은 비용이 소요되기 때문이다. 또한 이미 나름대로 홈 네트워킹 기능을 수행하고 있는 기술들이 존재

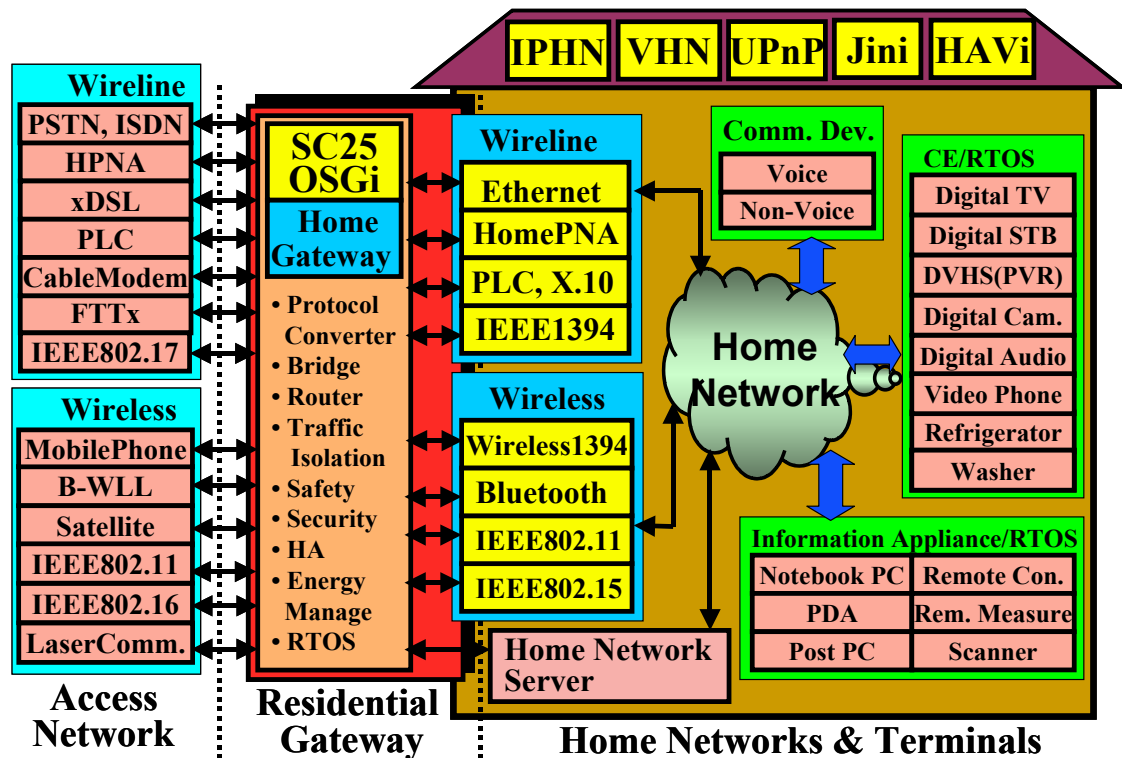


하고 있으며 이 기술들은 각각의 다른 장점과 단점들을 가지고 최선의 방안을 찾아 진화하고 있기 때문에 하나의 홈 네트워킹 기술이 댁내에 설치되면 다른 기술을 이 집안에 설치하기란 사용자가 쉽게 움직이지 않을 것이기 때문이다.

홈 네트워킹 시장이 아직 시장을 점유하지 못하고 있는 이유는 설치하기가 복잡할 뿐만 아니라 유지 보수도 어렵고 가격이 여전히 비싸며, 아직 시중에 많이 알려져 있지 않기 때문이다. 그러나 무엇보다 중요한 것은 기기들 사이의 통일된 미들웨어의 부재로 인하여 상호 운용성이 보장되지 않기 때문일 것이다. 이러한 핵심적인 문제를 대처하고 홈 네트워킹 기술이 시장의 우위를 범하기 위해서는 댁내 장치간 고속의 데이터를 전송할 능력이 있어야 하며, 댁내 통신 및 가전 기기의 공통된 접속 규격이 뒤따라야 한다. 그리고 댁내의 원하는 장소에서 이동이 가능하여야 하며, 기존 설비를 적극 활용할 수 있는 기술이어야 하고, 가능한 한 신규 배선 억제해야 하며, 신규 주택 건축 시 사이버 표준 공법을 이용하여 시공할 필요가 있다. 무엇보다 중요한 것은 Plug and Play형의 간편한 설치가 이루어질 수 있어야 하며, 저 가격으로 구현할 수 있어야 하고, Human Interface를 쉽게 구현하여야 한다. 그리고 보안 및 사생활이 보장되도록 안전 장치를 제공하여야 하며, 댁내에서 이중 망 토폴로지를 지원할 수 있도록 홈 네트워킹을 구성하여야 하고, 차세대 멀티미디어 댁내 통신 망으로의 전환이 용이하여야 한다.

전 세계적으로 기술 개발이 활발히 이루어지고 있는 홈 네트워크 기술을 고려하여, 가정 내의 여러 기기들을 연결하며, 외부에서 인터넷을 통하여 제어도 하고 인터넷에도 다중으로 접속이 가능한 새로운 개념의 미래 주택의 구조는 <그림 1-1>과 같은 구조가 될 것으로 예측된다. 홈 네트워킹 기능을 갖춘 주택은 <그림 1-1>에 보인 바와 같이 가입자망(Access Network)과 홈 네트워크로 연결된 가정용 기기들, 그리고 이들을 연결시켜주는 게이트웨이(Residential Gateway)로 구성된다.

홈 네트워킹을 위한 무선 홈 네트워킹 기술의 가장 큰 강점은 기존의 댁내에 새로운 선을 설치할 필요가 없으므로 벽에 구멍을 뚫어야 할 공정이 생략되어 설치비가 줄어들고 각각의 정보가전 기기의 이동성이 보장된다는 것이다. 그러나 무선 통신기술을 이용하므로 여러 가지 제약 조건이 따르게 된다. 즉 통신 채널의 특성이 시간에 따라 변하는 Fading Channel이므로 Error Correcting Code를 이용해야 하며 따라서 사용할 수 있는 대역폭이 Code Rate 만큼 줄어든다는 것이다. 이것은 곧 보내고자 하는 데이터의 전송 속도에 영향을 주는 중요한 요인이 된다. 또한 공중에 전파가 방사되므로 Privacy에 대한 대책을



<그림 1-1> 홈 네트워킹 기술을 채택한 주택의 구조

수립해야 하며 따라서 어떤 Security 정책을 사용하느냐에 따라 무선 네트워크의 성능이 판단된다고 해도 과언이 아니다. 거기다가 Data Security를 위한 알고리즘이 구현되면 홈 네트워킹을 위한 Plug-and-Play 기능이 지원되기가 어렵기 때문에 그 유용성에도 불구하고 쉽게 사용하기가 쉽지 않은 부분이 있다. 또한 아직 Physical Layer를 지원하는 칩의 가격이 매우 높으며, 이들 칩 간의 상호 운용성을 위한 표준 규격이 지원되어야 한다는 것이 무엇보다 중요하다.

본 연구에서는 홈 네트워킹 기술들이 가지고 있는 특성과 장점 및 단점 등을 파악하고 이 기술들이 홈 네트워킹 백본으로 활용할 수 있는 가능성에 대해 검토하였다. 그리고 홈 네트워킹 백본으로 가장 각광을 받고 있는 IEEE802.11 WLAN 기술에 대해 정리하고 홈 네트워킹 백본 네트워크가 가져야 할 요구사항을 정리한 후 WLAN이 제공할 수 있는 QoS 기술을 검토 정리하였다. 또한 WLAN 기술을 이용하여 홈 네트워킹의 백본 네트워크로 사용하여야 하므로 가정내의 전파 환경을 고려하여 이에 대한 이론적인 연구를 수행하였다.

## 제 2장 유선 홈 네트워킹 기술

### 제 2-1절 서론

<그림 1-1>의 맥내 가전 기기의 상호 연결을 가능하게 하는 홈 네트워크를 구현하는 방법은 크게 유선과 무선으로 분류된다. <그림 1-1>에 보인 전력선 통신이 갖는 가장 큰 강점은 새로 건설되는 아파트는 물론 기존의 아파트에도 전력을 공급해주는 전력선은 건축 시 이미 매설되어 있어서, 별도의 통신 선로 없이 무선과 같은 개념으로 이미 설치된 많은 콘센트를 이용하여 가정 내의 기기들을 간편하게 네트워킹 시켜줄 수 있다는 것이다. 그러나 전력선을 이용하여 네트워킹을 구성하면, 가전 기기가 플러그에 연결될 때마다 전체 네트워크의 임피던스에 변화가 생기게 되고, 이에 따라 최적의 통신 조건이 달라지게 되므로 안정적인 고속의 데이터 전송에는 어려움이 있다. 이와 같은 문제들을 해소할 수 있는 새로운 기술들이 속속 개발되고 있으며 데이터의 전송 또한 매우 빠른 속도 안정성을 확보하고 있다.

가장 저렴한 가격으로 구현할 수 있으며, 기존에 이미 가설되어 있는 전화선을 사용하기 때문에 새로운 선로를 가설할 필요가 없어 가장 큰 주목을 받고 있는 홈 네트워크 구현 기술은 HomePNA (Home Phoneline Networking Alliances) 기술이다.

HomePNA 표준은 현재 버전 1.0이 1Mbps를 지원하고 있으며 10Mbps를 지원하는 버전 2.0이 미국의 Broadcom사에 의해 칩과 보드가 공급되고 있다. 그러나 10Mbps의 전송속도로는 두 개 이상의 비디오 신호를 전송할 수 있는 대역폭은 아니므로 주로 비동기 전송만을 요구하는 데이터 통신에만 활용할 수 있는 솔루션으로 활용되고 있는 실정이다.

<그림 1-1>의 홈 네트워크를 구현하는 유선 기술 중 Ethernet 기술은 IEEE802.x 표준에 의해 이미 잘 알려져 있고 오랫동안 검증된 기술이다. 따라서 현재의 사이버 아파트 구축에 대부분 적용되는 기술이지만 Ethernet 기술은 전화선보다도 더 굵은 UTP 4P (Unshielded Twisted Pair 4 Pair) 케이블과 HUB의 도움이 없이는 홈 네트워킹에 사용될 수 없으므로, 사무실이나 SOHO에서 사용하는 LAN용이 아닌 맥내 기기의 홈 네트워킹 솔루션으로 사용하기에는 해결해야 할 부분이 아직 남아 있는 기술이다.

홈 네트워크의 궁극적인 솔루션으로 인정받고 있는 IEEE1394 기술은 미국에

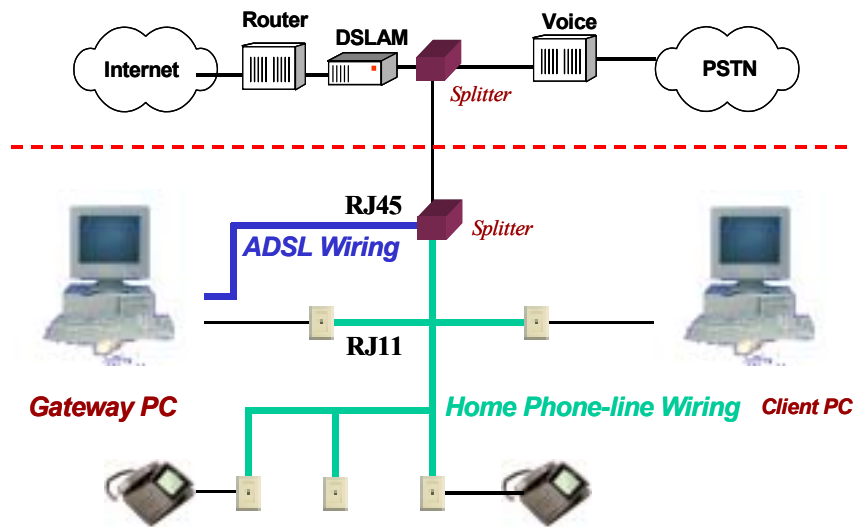
본사를 둔 1394TA (Trade Association) 표준화 기구에 의해 170여 개 회사들이 참여하여 새로운 기능을 추가하고 Interoperability 등을 검증하는 등 많은 활동을 하고 있다. IEEE1394 기술은 1995년에 IEEE 표준화기구에 의해 처음으로 확정되었으며, 이의 보완 표준인 IEEE1394-2000을 통해 400Mbps의 전송 속도를 안정적으로 지원하고 있다. 12Mbps의 전송속도를 지원하는 USB Version 1.0에 비하면 36배가 빠르며, Peer-to-Peer 동작 모드를 지원하고, 비 동기식 전송은 물론 등시성 전송도 지원하여 실시간 멀티미디어 데이터 전송에는 최적의 홈 네트워크 솔루션으로 알려져 있다. 그러나 노드간 전송 길이가 4.5m로 제한되어 있어서 댁내에 산재해 있는 전체 기기들을 연결하는 데에는 한계가 있으며, 기기들을 연결할 때 루프가 형성되는 것을 허용하지 않는다. 이러한 문제를 해소하기 위해 3.2Gbps의 전송 속도와 100m의 거리를 지원하는 P1394b 표준이 2000년 말까지 확정될 예정이며 무선 1394 기술을 가능하게 해 줄 P1394.1 표준도 함께 진행중이다.

본 장에서는 홈 네트워크를 구현할 수 있는 여러 가지 기술 중에서 유선 홈 네트워크 기술의 개요와 표준화 현황에 대해 소개하였다. 먼저 제 2.2절에서는 이미 설치되어있는 전화선을 이용하여 가장 쉽고 안정적으로 홈 네트워크를 구현할 수 있는 HomePNA 기술에 대해 알아보았다. 제 2.3절에서는 전력선을 이용하여 홈 네트워크를 구현할 수 있는 PLC (Power Line Communication) 방식에 대한 기술적인 고려 사항 및 표준화 동향에 대해 설명하였다. 제 2.4절에서는 높은 대역폭을 지원하기 때문에 미래의 홈 네트워크의 궁극적인 솔루션으로 알려진 IEEE1394 디지털 인터페이스의 기술 개발 현황 및 Midelware 솔루션에 대해 알아보았다.

## 제 2-2절 HomePNA 기술

### 2-2-1 HomePNA 기술의 개요

1998년 7월 11개의 통신관련업체들(3Com, AMD, AT&T, Wireless, Compaq, Conexant, Epigram, Hewlett-Packard Co., IBM, Intel, Lucent Technologies, Tut Systems)이 참여하여 결성된 Home Phone-line Networking Alliance (HomePNA)는 현재 정보통신 하드웨어, 소프트웨어, 가전 등 100여 개의 업체가 회원으로 참여하고 있다. HomePNA에서는 구내에 이미 설치된 전



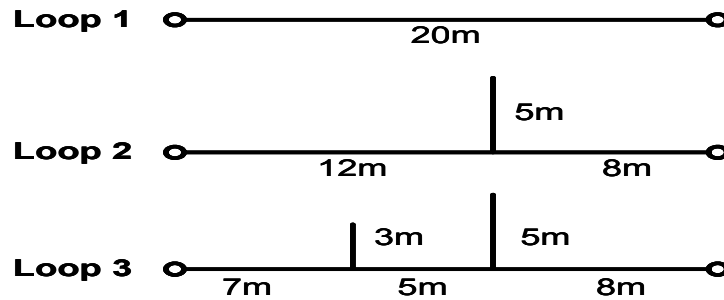
<그림 2-1> Home Network 구성

화선로를 이용하여 구내의 정보 통신 기기들을 하나의 망에 연결하여 <그림 2-1>에 보인 바와 같이 허브, 라우터 등의 별도의 장비가 없이도 구내에 LAN을 설치하는 것을 목표로 하고 있다. 현재 표준화된 규격은 1999년 6월에 발표된 1Mbps급의 HomePNA 1.0과 1999년 12월에 발표된 최대 32Mbps급의 HomePNA 2.0이 있다[1]. 본 절에서는 이 두 가지 규격의 기술적인 issue들을 소개하고자 한다.

## 2-2-2 맥내 전화선로의 특성

HPNA의 두드러진 장점은 기존의 맥내에 포설된 선로를 그대로 사용하여 홈 네트워킹 구현 시 선로에 대한 추가의 부담이 없다는 것이다. 그러나 HPNA의 경우 다수의 Bridged Tap이 존재하기 때문에 사용하는 선로의 특성이 좋지 않다. 선로에 전송되는 신호에 감쇠와 잡음을 유발하는 주요 요인으로서 (1) HAM 등 Radio Frequency 간섭, (2) 임펄스 잡음(Dimmer, ADSL etc.), (3) Bridged Tap에 의한 전송 특성 열화, (4) 인접 선로로부터의 누화(cross-talk), HomePNA Self-NEXT, (5) 비차폐 선로의 전력 제한 규정으로 선로전압제한(FCC Part 68) (270kHz ~ 6MHz, -15dBV/avg 2μs)와 방출전계 제한(FCC Part 15) (1.7~30MHz, 30uV/m @30m) 등이 있다.

$$Z_s = 200 \, \Omega, \, Z_L = 150 \, \Omega, \, Z_o = 180 \, \Omega$$



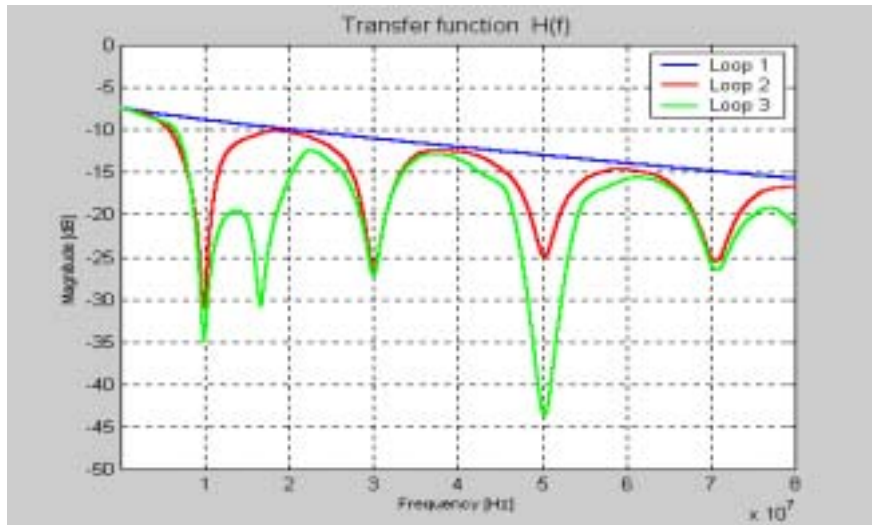
<그림 2-2> 전화선 Loop의 구성

먼저 HAM에 의한 영향을 살펴보면, 사용 주파수 대역에는 7.0 ~ 7.3MHz의 HAM Band가 하나 들어 있으며, HomePNA 노드로부터의 전력 방출(egress)은 HomePNA 1.0의 경우 평균 -73dBm/Hz, 최대 -62dBm/Hz로 제한되어 있다.

구내의 선로에 영향을 미치는 Impulse 잡음은 (1) Local Loop로부터의 잡음(분당 1 ~ 5회), (2) 전화기의 Hook Switch에 의한 잡음, 그리고 (3) 구내의 가전 기기로부터 발생하는 잡음 등 크게 3 종류로 구분한다. 전등의 밝기 조절기로서 주로 사용하는 Dimmer에 의한 Impulse 잡음의 크기는 14mV p-p, 60Hz 또는 2mV p-p, 120Hz이고 지속 시간은 3μsec 정도이다.

Bridged Tap에 의한 선로의 전송 특성의 영향을 살펴보자. 맥내의 길이  $d_{BT}$  [m]의 Bridged Tap의 종단이 개방된 경우에  $f = 50/d_{BT} \times (2n + 1)$  MHz  $n = 0, 1, 2, \dots$ 의 주파수에서 Spectral Null이 발생하여 신호의 전송 손실이 증가하게 된다. Bridged Tap에 의한 영향을 줄이기 위해서는 간단한 방법으로서 사용하지 않는 Bridged Tap은 잘라 버리면 되지만 그렇지 못한 경우는 선로의 특성 임피던스에 맞추어 종단해야 한다. 선로의 특성임피던스로 맞추어 종단해도 Bridged Tap의 길이에 비례하여 감쇠가 생기지만 종단하지 않는 경우보다는 상당히 감쇠를 줄일 수 있다.

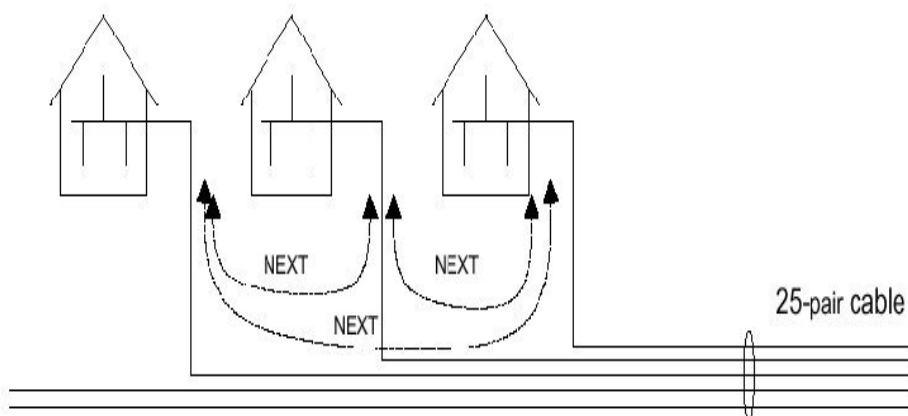
Bridged Tap에 의해 신호의 감쇠 뿐만 아니라 지연 특성도 변화하며, 임의의 두 노드 사이마다 존재하는 Bridged Tap의 수, 종단 유무 및 길이 등이 서로 다르므로, 노드 사이마다의 전달 특성이 서로 다르다. 예로서 <그림 2-2>의 여러 loop에 대한 전송손실 특성을 <그림 2-3>에 예시하였다. Loop 1의 경우



<그림 2-3> 전화선 Loop의 전송손실 특성

에는 Bridged Tap이 존재하지 않는 경우로서 주파수가 높아짐에 따라 전송 손실이 증가하는 선로의 전형적인 감쇠 특성을 보이고 있으며, Loop 3의 경우는 중간에 2개의 Bridged Tap이 존재하여 해당 주파수가 겹치는 곳에서는 깊고, 넓은 골(Spectral Null)이 존재하는 것을 보여주고 있다. Spectral Null은 역시 주파수가 높아짐에 따라 깊고, 넓어지는 양상을 보인다.

한편 <그림 2-4>에서 도시한 바와 같이 이웃하는 선로로부터 건너오는 신호에 의하여 서로 영향을 주고 받게되는 근단 누화(NEXT: Near End Cross-Talk)가 발생하며, 잡음 특성은 시간에 따라 변하는 Colored Noise이고, 수신부의 감도가 너무 예민하면 Privacy 문제를 일으킬 수 있다.



< 그림 2-4> 전화선의 NEXT의 영향

간섭하는 서비스의 종류별, Cross-Talker의 수 등의 관계를 정리하면 다음과 같다.

- Power Transfer Function:  $|H_{NEXT}|^2 = K_N \cdot f^{1.5}$ ,  $K_N$  : NEXT 계수
- n개의 Cross-Talker가 있는 경우:  $K_{Nn} = K_{N1} \cdot n^{0.6}$ , 여기서  $K_{N1}$ 은 Cross-Talker 1개인 때의 계수
- NEXT Noise의 Power Spectral Density:
 
$$PSD_{NEXT} = |H_{NEXT}|^2 \cdot PSD_{disturber}$$
- $PSD_{disturber}$  : 방해 신호의 PSD
- 총 NEXT PSD:  $PSD_{NEXT\ total} = \sum_i^M PSD_{NEXT\ i}$ , 여기서  $PSD_{NEXT\ i}$ 는 서비스  $i$ 의 NEXT PSD
- $M$  : 간섭하는 서비스의 수

그 외에 태크의 전화기를 사용하지 않는 경우(on hook)는 통상 200 ~ 500pF의 임피던스로 종단된 Bridged Tap으로 모델링하지만 전화기를 사용하는 경우(Off Hook)에는 작은 임피던스로 종단된 Bridged Tap으로서 작용하여 전송손실 특성에 상당한 영향을 미친다.

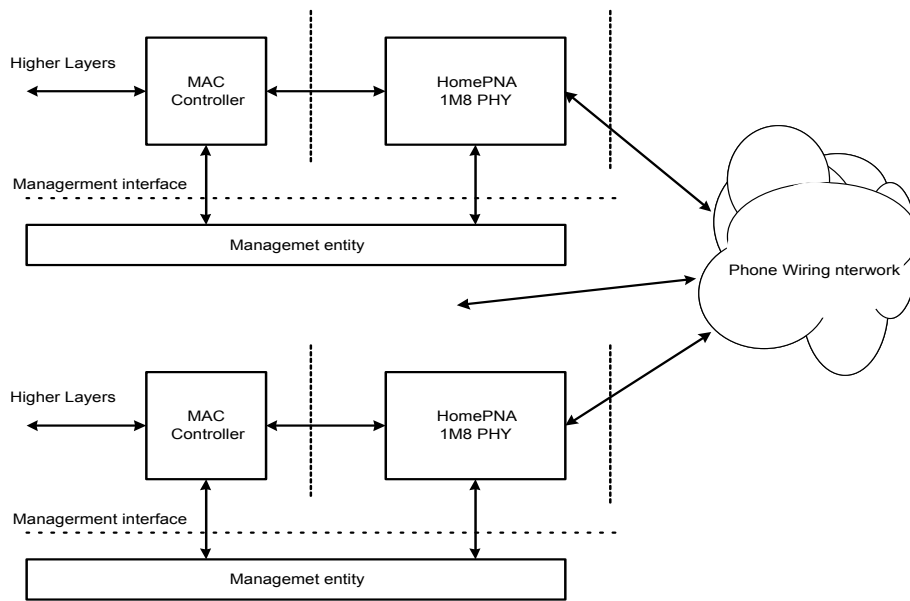
### 2-2-3 HomePNA 1M8 PHY[2]

HomePNA 규격 1M8 PHY V1.1의 물리계층 장치의 규격은 <그림 2-5>와 같이 물리매체 접속(Physical Medium Interface), Ethernet MAC 제어기 유닛과의 접속, 관리 접속(management interface)의 3부분으로 구성되어 있다. HPNA 1.1의 물리계층 규격은 Tut 시스템의 기술을 적용한 제 1세대의 규격으로서 5.5 ~ 9.5MHz의 주파수 대역을 사용하여 500ft 이내의 거리에서 1Mbps의 전송속도를 제공하도록 규정하고 있으며, MAC 프로토콜로서는 IEEE 802.3 CSMA/CD를 사용한다. 규격의 개략적인 특징을 요약하면 다음과 같다.

#### 가. 물리매체 접속

- 프레임 구성: 프레임은 1M8 PHY header 부분과 Ethernet 패킷부분으로 구성





<그림 2-5> HomePNA 1M8 PHY 기준 모델

- 전송 symbol 파형: 휴지구간과 중심주파수 7MHz인 구형파 pulse의 4 주기 구간으로 구성
- Access ID interval: AID symbol의 길이는 129 TIC(Time Interval Clock = 116 ns)이고, AID 구간은 8개의 AID Symbol로 구성된다. 프레임의 동기화, 충돌감지, Access ID 전달 등에 이용한다.
- Data Symbol: Pulse Position Modulation 방식을 사용하며, 입력 bit의 형태에 따라 송신 Pulse 위치가 25개 중 한 곳으로 정해지며 (RLL: Run-Length Limited Code), 데이터 율에 따라서 Pulse의 시작 위치도 달라진다.
- 전기적 규정 : 중심 주파수 7.5MHz, 점유대역 5.5MHz ~ 9.5MHz
- 기계적 요구사항 : RJ11 MDI Connector 사용
- Data Rate: 1Mbps
- MAC: IEEE 802.3, CSMA/CD
- 작동 범위: 25 노드, 거리 500 ft(150 m)
- FCC Part 15 Class B, FCC Part 68 적용
- 두 노드간 최대거리: 500ft(150m)
- Cable type : UTP and flat-pair

## 나. MAC 접속

- 접속 신호 : MAC controller와 접속하기 위한 신호 7종 규정
- Frame 구성 : 802.3 Ethernet MAC과 접속하는 프레임 규정
- Timing : MAC과 접속하기 위한 송수신 clock의 parameter 값 규정

## 다. 관리 접속

- Master: AID 0xFF를 가진다.
- Slave: AID 0x00~0xEF 사이의 값을 가진다.
- Reserved AID: 0xF0~0xFE 값은 Reserved되어 있다.
- AID를 통하여 명령어를 보내고 관리 메시지를 받는다. 마스터는 명령어를 내보내서 슬레이브의 1M8의 Version, 전력, 전송속도를 설정하고, 슬레이브는 1M8의 Version, 전력, 전송속도의 상태를 마스터에게 알린다.
- Local management 기능: 필수기능으로서 Loop Back, 송신속도 설정, 송신 전력 설정, Reset, 프레임 송/수신 등이 있고, 선택기능으로서 Master 명령어 전송기능, PCOM 쓰기/읽기, 최소 수신 전력레벨 설정 등이 있다.
- Link Integrity 기능

## 라. RLL25 code

데이터의 전송을 위한 송신기의 부호기는 RLL25 (Run-Length Limited) Pulse Position Modulation을 사용하여 <그림 2-6>에 표시한 바와 같이 현재의 bit와 다음에 입력되는 데이터의 bit 형태에 따라서 Pulse 위치가 정해지며 Pulse 위치에 따라서 전송되는 데이터의 bit 수는 3 ~ 6 bit 이다.

데이터 전송에 사용되는 펄스는 <그림 2-7>에 표시한 7.5MHz의 4 주기 동안의 pulse를 사용하여, 60MHz를 7분주한 클럭의 1 주기의 간격(116ns=1Tic)으로 pulse의 위치를 정하고, 결국  $28 + m$  Tics 의 형태로 pulse 위치에 따라서 지연이 발생한다.

## 2-2-4 HomePNA 2.0 10M8 PHY[4],[5]

### 가. 특징

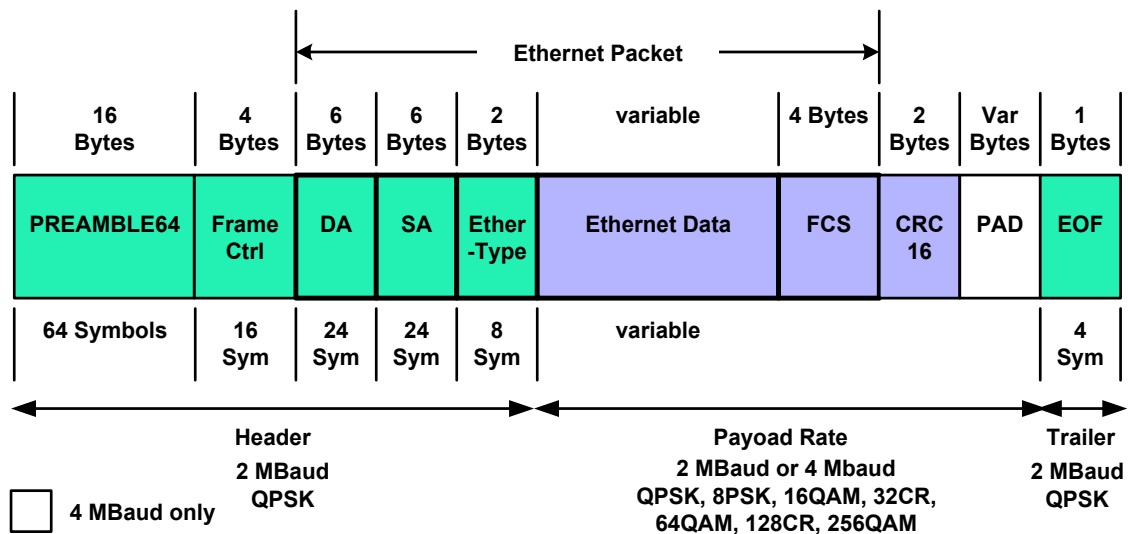
HomePNA 2.0은 1999년 12월에 발표되었으며, 댁내의 선로를 이용하여 4 ~ 32Mbps의 속도로 데이터를 전송할 수 있다. HomePNA 2.0의 특징을 아래에 요약한다.

- 사용 대역: 4 ~ 10MHz(<그림 2-11>)
- 선로의 각종 잡음에 대한 보완
  - Rate Negotiation: 4 Mbps ~ 32Mbps
  - 변조방식: Frequency Diverse QAM
  - LARQ Impulse Noise Control - Lowering PER
- IEEE 802.3 MAC + Multimedia(voice, audio, video) 지원 강화
  - Binary Exponential Back-Off 대신 Distributed Fair Priority Queuing Back-Off 채용
  - Priority Queuing을 이용한 Bounded Latency
- 호환성: HomePNA 1.0 Frame, HomePNA 1.0 Compatibility Frames (Gapped FDQAM), HomePNA 2.0 Native Frame
- QOS를 8등급으로 구분, 최대지연을 엄격히 제한하여 IEEE 802.3의 MAC을 보장함으로써 Link Layer가 Stream Mode의 Audio, Video에 적합하도록 하였다.
- POTS, V.90, ISDN, G.lite 등과 양립한다.
- 아마추어 무선 서비스와 양립하도록 해당 대역을 notching한다.

### 나. 프레임 구성

HomePNA 2.0의 Frame Format은 <그림 2-8>과 같이 Preamble, Frame Control, Ethernet Packet, CRC16, PAD, EOF로 구성되어 있다. Preamble은 QPSK Symbol 16개 × 4회 = 64 Symbol로 구성되어 있으며 전력추정, 이득조정, Baud Frequency Offset 추정, 등화기 Training, Carrier Sense, 그리고 Collision Detection의 목적으로 사용된다. 한편 EOF는 QPSK Symbol 4개로 구성되어 있으며 Carrier-Off를 검출하는데 사용한다.

Header의 전송률은 항상 2Mbaud로서 Payload에 오류가 있는 경우에도 제대로 수신되어, 수신기는 잃어버린 프레임을 알게 되고 채널의 상태를 변환하여 재전송을 요구하거나 더 낮은 데이터율로 전송하도록 한다.



<그림 2-8> HomePNA 2.0의 Frame Format

프레임 제어 필드는 프레임의 형태(FT), Scrambler의 초기화(SI), 우선순위 등급(PRI), Payload Encoding(PE) 등의 정보를 제공하며 CRC-8(HCS)을 사용하여 필드의 정보를 보호한다.

HPNA 1.0과 달라진 변조 방식으로서 패킷의 Header와 Trailer는 QPSK를 사용하고 Payload는 FD-QAM을 사용한다. Payload는 2/4 Mbauds로 전송되며 4 ~ 256 QAM을 사용하여 2 ~ 8bits/symbol을 전송한다. 두드러진 특징으로서 데이터를 Upsampling하여 QAM 변조하는 FDQAM을 사용하여 Baud Rate은 1/2로 줄지만 주파수 대역에 Redundancy가 추가되어, 같은 내용을 두개의 주파수 대역에 이중으로 전송한다[6]. 두 개의 대역이 모두 손상될 확률보다 적어도 한 개의 대역이라도 양호할 확률이 더 높을 것임을 이용한 것으로서 대역의 중앙에 나타날 수 있는 HAM RF 간섭으로부터의 영향이 적으며 보통의 QAM을 사용하는 경우에 비해 FDQAM의 경우에 Noise Margin을 간단하게 10 dB이상 증가시킬 수 있다. 또한 전송오류제어 등을 사용하지 않아 복잡도를 낮출 수 있고, time-varying 선로에 대응할 수 있도록 하였다.

Time-varying 채널의 특성상 잡음에 의해 선로가 불안정해질 수 있고 한편으로 프로토콜을 간단하게 하기 위하여 HPNA 2.0에서 등화기는 프레임마다 Training을 한다.

## 다. MAC 및 Link 계층

모든 장치들은 초기에 2 Mbaud의 전송속도로 동작하여 제어 프레임 전송하여 데이터율을 변경하도록 요구하여 선로가 좋지 않은 상황에서도 적절히 동작하도록 하며 수신기에서 적절한 데이터율을 선택하도록 하고 있다.

변경된 MAC 방식인 Distributed Fair Priority Queuing (DFPQ)와 기존의 방식 BEB(Binary Exponential Back-off)을 비교하면 다음과 같다.

- IEEE 802.3 Ethernet MAC BEB(Binary Exponential Back-off)
  - Excessive Collision Discards: e-mail 등에서는 OK
  - Latency 변화가 커서 multimedia 서비스에 부적합
  - Random한  $[0 \sim 2^N - 1] * P$  만큼 대기(N: 재시도횟수)
  - 먼저 충돌해서 재시도를 많이 할수록 더 오래기다린다.
- Distributed Fair Priority Queuing (DFPQ)
  - PRI(priority)값을 이용해 Back-off level 결정
  - 거의 round-robin 방식으로 전송순서를 결정
  - 경합중인 노드 수에 비례하는 Bounded Latency

## 라. 관련 제품

주요 vendor로서는 AMD, Intel, Conexant, Broadcom 등이 있으며, Broadcom 에서는 HomePNA 2.0 Chipset을 발표하였다. PCI 접속을 제공하는 PC card 제품이 주를 이루고 있으며, 최근에는 구내망과 가입자망을 연결하는 residential gateway 제품들이 출시되고 있고, Conexant는 2001년 6월 ADSL, V.90, Ethernet, HomePNA가 통합된 PCI 접속의 PC 내장형 Residential Gateway를 구성하는 Chipset을 발표하였다[7].

본 절에서는 구내망의 대표적인 방식인 HPNA가 적용되는 선로 환경 및 규격의 특징적인 내용에 대하여 살펴 보았다. HPNA 기술은 기존의 전화 선로를 이용하여 선로에 대한 추가의 공사비용의 부담이 없이 가정에 LAN을 설치하는 좋은 해결책이 될 것이다. 이미 많은 제품들이 출시되었고 국내에도 사용자가 계속 증가하고 있다. 구내의 통신장치들을 연결할 목적으로 출발하였지만 이에 머무르지 않고 폭발적인 인터넷 서비스 수요에 따라 가입자망과 구내망을

연결하는 residential gateway에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 외국의 경우는 이미 xDSL과 연동되는 제품이 출시되어 있다. 구내망 뿐만 아니라 외부의 망과도 연결되어 진정한 고속 통신 서비스의 시대가 열리게 된 것이다. 또한 다른 구내망의 방식인 HomeRF, Bluetooth, IrDA, IEEE1394 등과 경쟁하기 위해서는 보다 저렴한 가격의 chip set 개발이 필수적이며, 업체 주도로 빠르게 시장이 형성되고 있지만 시장의 규모에 맞추어 보다 효율적인 통신 서비스를 위한 일관성 있는 표준화 작업이 필요할 것으로 생각된다.

HomePNA 기술은 CSMA/CD 기술을 사용하며 HomePNA 기술은 보다 나은 CSMA/CD 기술을 사용하여 QoS 기능을 향상시켰지만 Isochronous 전송 모드를 지원할 정도의 능력은 아직 갖추어지지 않았으므로 홈 네트워킹의 백본 기술로는 사용하는 데에 한계가 있는 기술이다.

## 제 2-3절 PLC 기술

### 2-3-1 전력선 통신 기술 개요

전력선 통신(Power Line Communication: PLC)이란 가정이나 사무실에 이미 포설되어 있는 전력선을 통하여 통신신호를 100KHz ~ 30MHz의 고주파 신호로 바꿔 실어보내고 이를 고주파 필터를 이용, 따로 분리해 신호를 수신하는 방식을 말한다. 국내에서 사용되는 전력은 60Hz의 교류신호로서 가전 제품은 이를 전력변환기(트랜스포머)와 정류기(Regulator)를 통해 직류로 바꿔 사용하며, 전력선 통신에서의 고주파 신호는 저 출력의 신호이므로 일반 가전기기 작동에는 어떠한 영향을 미치지 않는다.

그러나 전력선통신은 앞에서 언급한 것과 같은 강점에도 불구하고 전력 운반을 목적으로 하는 전력선을 매체로 통신하기 때문에 기존의 통신용으로 제작된 동축선이나 광섬유 등을 이용한 통신과는 달리 제한된 전송전력, 높은 부하 간섭과 잡음, 가변하는 감쇄 및 임피던스 등 통신을 위해 고려해야 하는 기술적, 환경적 요소가 많은 난(難)개발 분야이다. 따라서 전력선통신은 안정적인 통신 환경의 제공을 위해서 전력선이 통신 채널로서의 특성이 어떠한지를 파악하여 이에 대응하는 기술을 접목하는 것이 필수적인 기술적 요구 사항이다. <표 2-1>에 전력선 통신의 장/단점을 간단하게 요약하였다.

<표 2-1> 전력선 통신의 장/단점

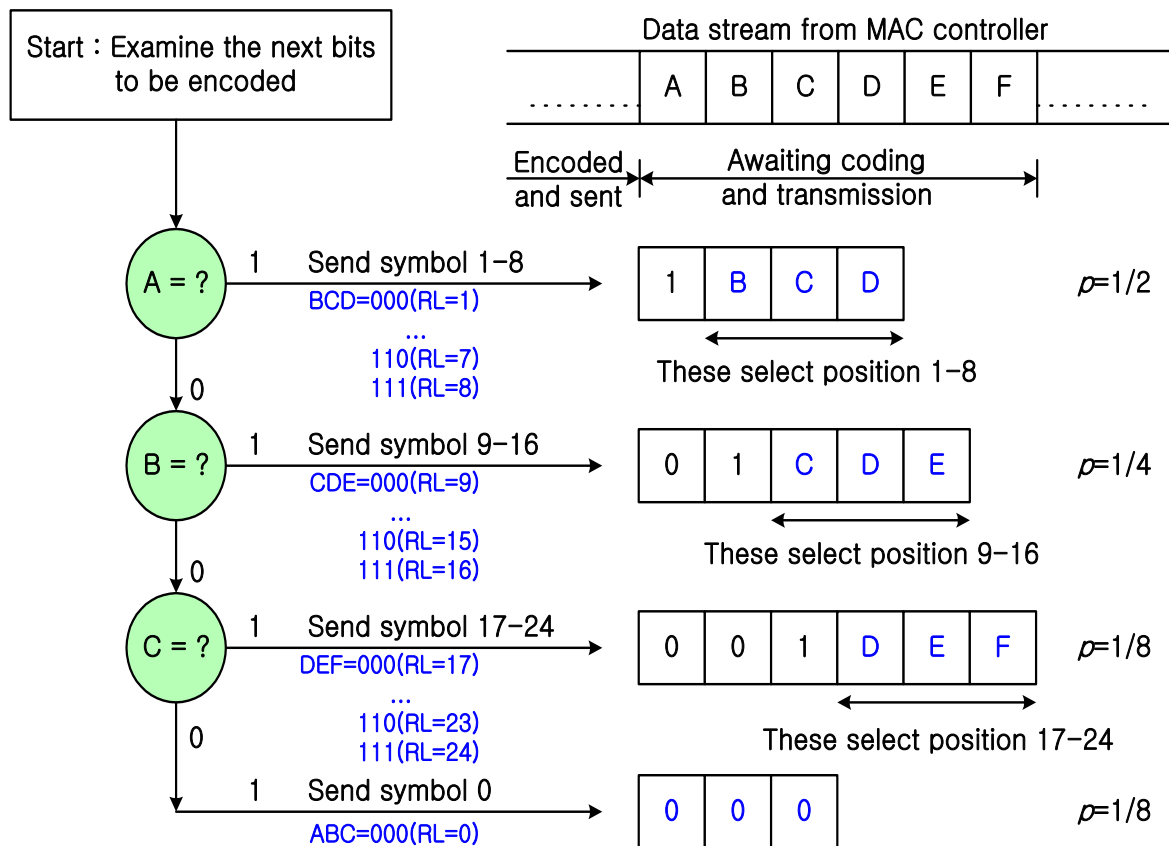
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 별도의 통신선로 불필요</li> <li>▶ 많은 콘센트를 통하여 간편하게 접근 가능</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 제한된 전송전력</li> <li>▶ 높은 부하 간섭과 잡음</li> <li>▶ 가변 감쇠 및 임피던스 레벨, 잡음</li> <li>▶ 주파수 선택적 특성</li> </ul>

## 2-3-2 전력선 통신 전송 기술

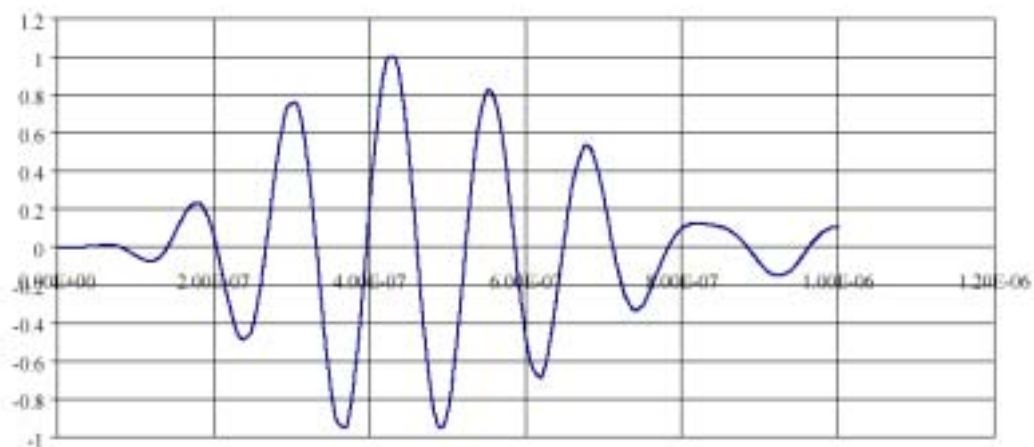
전력선의 채널 특성을 살펴보면 고주파대역의 잡음 레벨은 저주파 대역보다 줄어들지만 감쇠가 크며, 이러한 감쇠나 임피던스 및 잡음은 시간에 따라 변하고 주파수 선택적인 특성을 보인다. 이는 전력선의 채널 특성이 연결된 기기들에 의해 영향을 받기 때문이며, 이에 따라 전송 Carrier 주파수의 선택을 어렵게 한다. 따라서, 전력선 통신 모델을 개발함에 있어 이러한 전력선의 특성을 고려하여 이를 극복할 수 있는 전송방식을 선택하여야 한다. 이와 관련된 전력선 통신 기술을 (1) Front End Skill, (2) Channel Coding, (3) MODEM, 그리고 (4) MAC 등 4가지로 분류하여 기술하였다.

먼저, 전력선에 신호를 실어 주든가 전력선으로부터 신호만을 분리해내는 Front End Skill 기술은 크게 Bandpass Filtering과 Impedance Matching 기술이 있다. Bandpass Filtering 기술은 원하는 신호만 받아들이고 전력이나 각종 Noise신호는 제거하는 기술이다. Impedance Matching 기술은 선로의 Impedance와 관계된 것으로 주어진 환경에서 최대의 신호전력이 상대측에 전달되도록 하는 것이다. 초기에는 트랜스포머와 간단한 L, R, C 회로로 두 가지 기능을 동시에 행하였지만 변화가 심한 Channel의 상황에 대한 대응이 어렵고 두 기능을 완벽하게 구현하기가 쉽지 않아 이를 개선하기 위해 여러 가지 방식이 제안되었다.

트랜스포머의 권선에 변화를 주어 Coupler의 특성을 가변할 수 있도록 하는 방식, Bandpass Filtering과 Impedance Matching 기능을 별도의 기능 Block으로 구현하여 설계를 용이하게 하고 각각의 성능을 향상시키는 방식, 송신과 수신 모드별로 서로 다른 Impedance를 갖도록 모드를 Change하는 방식,



<그림 2-6> RLL25 부호기



<그림 2-7> 전송 펄스 파형



Lowpass Filter와 Highpass Filter를 Series로 연결하여 각각을 제어하므로 Filter의 특성을 가변할 수 있도록 하는 방식 등이 제안되었다.

최근 고속 모뎀을 발표하고 있는 여러 업체들마다 자신들은 변화가 심한 Channel의 Noise와 Impedance에 대응하도록 Adaptive Coupler를 채용하고 있다고 말할 정도로 Coupler의 성능은 Modem성능에 중요한 영향을 미친다.

Channel Coding 기술은 전력선에 올려지거나 올려질 신호를 어떻게 부호화(Encode)하고 역부호화(Decode) 하는가와 관련된 기술로 전력선의 노이즈 특성과 감쇠 특성으로 인해 이 부분의 기술 또한 전력선 통신에 있어서 중요한 기술 분야이며, 고속 전력선 통신의 경우 저속 전력선 통신보다 노이즈에 보다 민감하기 때문에 각별한 노력이 요구된다. 전력선통신 모뎀 개발 회사들은 주로 Reed Solomon Code (iAd), Carrier Chirp, CRC(Intellon, Echelon), Optimized FEC(ITRAN), Zero Cross Clocked Carrier (X10, ZCCC), Carrier Chirp, Convolutional Code, Viterbi Code(Planet)를 사용하고 있다.

Modem은 신호 변복조 기술로 열악한 전력선 채널 특성을 극복하고, 전송속도의 향상을 도모하기 위한 통신 방식으로 FSK, Chirped-SS, DS-SS, DS-CDMA, OFDM 등을 주로 이용하고 있다. FSK 방식의 경우 채널특성이 전송에 충분할 만큼 평탄하지가 못하며, 따라서 전송속도가 증가할수록 FSK 방식을 사용하기가 힘들어지는 단점이 있고, DSSS 방식의 경우 신호 지연이 커서 전력선 통신에 적합한 DS 방식을 선택하는 것이 중요하며, 주로 2Mbps 이하의 용도에 적합한 방식이다. Narrowband OFDM의 경우 FSK와는 달리 채널왜곡에 강하므로 성능은 SNR에 따라 달라진다. 사용대역에서 감쇄량 변동 등의 특성이 있으므로 FH와 결합한 OFDM이 적합하다. 즉 몇 개의 좋은 주파수를 Adaptive하게 사용하는 방식을 사용해야 한다. Wideband OFDM의 경우는 Adaptive Bit Loading 적용 시 매우 효율적이며 Multi-path Fading에 강하다. 이 방식은 시간에 따라 변화하는 채널특성을 파악하는 수단이 있을 때 매우 효과적인 방식이지만 Adaptive Bit Loading, 동기검출 및 Viterbi 복호기에서의 최적 복호 등을 위해서는 수시로 채널특성을 파악할 필요가 있으며 송수신기 구조가 복잡한 단점이 있다.

전력선 통신의 MAC 기술은 신호 패킷의 충돌로 인해 낭비되는 시간과 대역폭을 줄여 신호를 안정적이며, 빠르게 보내기 위한 기술로 대부분의 회사가 주로 Ethernet의 액세스 방식인 CSMA/CD방식을 이용하며 일부에서 Token Passing 방식을 이용하고 있다.

### 2-3-3 전력선 통신 관련 제품 및 표준화 동향

전력선 통신 기술은 리모콘을 이용하여 전자기기를 원격으로 제어하거나 외부에서 이동전화나 인터넷을 통한 가전기기 제어를 가능하게 해주며, 조명제어, 침입탐지와 같은 방법, 가스밸브 원격 잠금과 같은 방재, 냉난방 제어와 같은 홈 오토메이션, 자동 원격 검침, 원격 모니터링에 적합한 기술로 주목받고 있다. 특히 최근 들어 사이버 아파트 설립 붐을 타고 고가의 아파트에 기본 설비로 장착되는 등 성장세를 보이고 있다.

전력선 통신은 데이터 전송속도에 따라 저속, 중속, 고속으로 구분되며, 각각 사용 주파수 대역과 응용분야가 다르다. 사용 주파수 대역을 보면 저속, 중속은 10KHz ~ 450KHz, 고속은 0.5MHz ~ 30MHz 대역을 사용한다. 저속 전력선 통신 기술은 주로 제어용으로 이용되고 있으며 수십bps ~ 10Kbps의 전송 속도로 조명제어(Dimming), 방범 및 방재, 홈 오토메이션, 수용가 전력제어 등에 적용되고 있다. 주요업체로서 국외에는 X10, ITRAN, Echelon 등이 있고, 국내에는 유일하게 PLANET이 있다. 중속 전력선 통신 기술은 데이터 통신용으로 이용되고 있으며, 10Kbps ~ 1Mbps의 속도를 가진다. 응용분야로 무인자동검침, 정보가전, 인터넷 통신 등이 있다. 주요업체로는 국외에 Adaptive Network, Data-Linc Group, Echelon, Intellon, ITRAN, Alcatel 등이 있으며, 국내에는 (주)PLANET이 있다.

가장 많은 관심을 끌고있는 고속 전력선 통신 기술은 데이터 통신용으로 이용되며 1Mbps ~ 10Mbps의 빠른 속도를 실현한다. 응용분야로 가입자 액세스망(초고속 인터넷통신) 등에 적용을 목표로 개발하고 있다. 주요업체로서 국외에 Adaptive Network, Data-Linc Group, Echelon, Intellon, ITRAN, Alcatel, 그리고 국내에는 (주)젤라인이 있다. (주)젤라인에서는 올해 초 2Mbps의 전력선 통신 기술을 시연한 바 있다.

실제 홈 오토메이션 분야에서와 같이 각 전자기기간 데이터 송수신 또는 안방에서 마루나 부엌의 전등의 원격 제어 뿐만 아니라 외부에서 인터넷이나 전화를 통해 에어컨과 같은 냉난방 기기를 작동하는 데는 수백 bps의 저속이어도 별 어려움이 없다. 반면 PC와 PC간의 네트워킹에는 보다 고속을 요구한다. 따라서 최근에는 속도를 개선해 홈 오토메이션 뿐만 아니라 인터넷 망 액세스와 같은 홈네트워킹 솔루션으로 이용하려는 움직임이 활발하다. 따라서 이를 위한 중, 고속의 전력선 통신 기술 개발이 절대적으로 요구된다.

현재 전력선 통신 기술은 홈 오토메이션 분야에 집중되어 있는 것이 현실이

다. 미국의 X10사에서는 X10 프로토콜을 기반으로 한 홈 PLC를 개발, 미국 내에서는 상당히 활성화되어 있다. 국내에서도 PLANET에서 360bps 전송속도와 양방향 통신을 지원하는 PLC 칩을 상용화하여 홈 오토메이션 솔루션을 제공하고 있다. 전력선을 이용한 통신 프로토콜은 미국을 중심으로 발전했으나 현재는 유럽에서 더 적극적으로 연구 및 표준화 작업이 활발히 진행되고 있으며, 특히 서유럽 국가들이 주도적으로 추진하고 있다.

전력선 통신의 대표적인 프로토콜을 살펴보면 X10과 CEBus 그리고 Lonworks가 있으며, 국내에는 PLANET에서 개발되어 홈오토메이션 솔루션으로 이용되고 있는 Z256, IZ256, MZ256이 있다.

X10은 전력선을 이용한 제어를 중심으로 만들어진 프로토콜로 256개의 기기만 제어할 수 있어 여러 세대가 밀집된 주거환경에는 부적절하다. CEBus는 데이터 송신을 위주로 개발되어 직접적인 가전기기의 제어가 불가능하다. LonWorks는 2개부터 32258개의 장치들을 연결시키고, Neuron이라는 칩을 기본으로 한다. Z256 시리즈는 제어와 데이터 통신이 동시에 가능하도록 개발되었으며, 65536개의 기기를 동시에 제어할 수 있어 우리 나라나 동남아 국가와 같이 밀집형 주택지역에 용이하다. <표 2-2>에서 전력선 통신 프로토콜들을 간략히 비교하였다.

<표 2-2> 전력선통신 프로토콜 비교

구분	X10	CEBus	Lonworks	Z256/IZ256/ MZ256
통신속도	60bps	1Mbps	2 Kbps- 1.25Mbps	360bps/ 9.6Kbps/ 100K-1Mbps
제어 기기수	256	64 node	32258 (127X254)	65536
통신방법	단방향	양방향	양방향	양방향
소비전류	30mA 이하	300mA 이상	300mA 이상	30mA 이하
가격	저가	고가	고가	저가
MAC	없음	CSMA/CDCR	LonTalk (CSMD/CA)	CDMA/CDCR

최근 전세계 대부분의 전력선 통신 개발 업체들은 인터넷 응용이 가능한 고속 전력선 통신기술 개발에 초점을 맞추고 있다. 우리 나라에서도 산업자원부는 한국전력, 한국전기연구소, 멜라인, 서울대 자동화연구소와 함께 차세대 전력선 통신기술을 개발하고 있다. 오는 2004년까지 5년 동안 총 200억원을 투입, 10Mbps 이상의 고속 전력선 통신기술 개발을 완료한다는 계획이다. 이 같은 전력선 통신기술 개발 및 상용화에 성공할 경우 전력선을 국내 초고속 정보망의 가입자망으로 활용할 수 있게 되어 현재 ADSL, 케이블 TV망을 이용한 고속 인터넷 서비스의 한계를 극복할 수 있을 것으로 전망하고 있다.

한편 전력선 채널 특성을 고려한 통신의 안정성 및 신뢰성 확보의 관점에서 보면 고속 전력선 통신 개발과 함께 100Kbps ~ 1Mbps의 중속 전력선 통신 개발이 실용적이라 생각된다. 이미 일본이나 미국에서는 중속 전력선 통신기술에 훨씬 많은 관심을 가지고 접근하고 있다. 따라서 중속 전력선통신 기술 개발에도 정부의 적극적인 지원이 요청된다.

또한 사이버 홈, 인터넷 정보 가전 등에서의 응용을 위한 전력선 통신 방식에서의 표준화가 시급하다. 유럽에서는 41개 업체가 모여 표준화 작업을 진행하고 있으며, 미국에서도 13개 업체가 모여 정보 가전 표준화를 위한 활발한 활동을 벌이고 있다. 우리 나라도 최근 “PLC Forum”을 만들어 전력선 통신을 위한 표준화 작업에 들어갔다.

마지막으로 시급한 또 한가지 과제는 다양한 환경에서의 채널 특성에 대한 데이터베이스의 구축이라 할 수 있다. 전력선 채널은 케이블이나 전화와는 달리 나라마다 그 환경이나 특성이 다르고, 배선에 따라, 콘센트를 타고 들어오는 가전기기의 영향에 따라 채널 특성이 매우 열악하게 된다. 따라서 외국으로의 전력선 통신기술의 수출을 위해서는 채널 특성에 대한 정보 축적은 매우 중요한 일이라 할 수 있다.

## 제 2-4절 IEEE1394 기술

### 2-4-1 IEEE1394 기술 개요

IEEE1394 기술은 오디오 비디오 기기의 디지털화가 이루어지고 멀티미디어 환경이 부상함에 따라 이들간의 공통된 새로운 인터페이스 방식의 필요에 의해 발생한 직렬 버스 방식을 이용한 디지털 인터페이스 기술로, 고속의 실시간 데

이더 전송을 가능하게 해 주는 차세대 핵심 기술이다. 기가비트급의 높은 데이터 전송율을 자랑하는 IEEE1394 기술은 따라서 멀티미디어 PC와 오디오/비디오 등 높은 대역폭을 요구하는 가전기기를 하나로 묶어줄 수 있는 유일한 기술이며, 그 위에 TCP/IP 프로토콜을 얹어서 인터넷과도 직접 연결되므로, 무선의 강점을 살려 옥내 통신망 구축을 위해 제안되고 있는 Bluetooth나 IEEE802.11 계열의 기술들과 비교하면 그 효율성과 기능성, 그리고 필요성과 속도 면에서 다른 위치를 점유하고 있다. 따라서 IEEE1394 기술은 Home Network의 Backbone 역할을 담당할 수 있으므로, IEEE1394 기술이 갖고 있는 미래의 시장 규모는 가히 폭발적이라 할 수 있다. 우리 나라에서도 삼성과 대우, 그리고 LG 전자 등을 중심으로 IEEE1394 칩셋과 그 응용 제품들이 선보이고 있으며, 대학과 연구소 그리고 중소기업 등에서도 괄목할 만한 결과를 얻고 있다.

멀티미디어 데이터의 실시간 전송에 필수적인 디지털 인터페이스인 IEEE1394 기술은 Apple Computer사의 연구원인 Michael D. Johas Teener에 의해 그 개념이 시작되었다. 100Mbps, 200Mbps, 400Mbps를 지원하며 Asynchronous 전송 뿐만 아니라 Isochronous 전송까지도 지원하는 IEEE1394 Interface 기술을 연구하고 이를 바탕으로 새로운 디지털 시스템을 개발하여 자국의 기술을 세계적인 표준으로 구체화함으로써 자국의 이익을 극대화할 수 있는 표준화 활동기구인 1394TA 회원사의 수가 현재 170여 개를 넘는다는 사실 하나만 보더라도, 그 시장의 발전 가능성은 매우 높다는 사실을 쉽게 짐작할 수 있다. 현재의 USB (Universal Serial Bus) 기술은 12Mbps 밖에 지원하지 못하며, 480 Mbps를 지원하는 USB Version 2.0은 이제 시제품이 시중에 나오고 있는 실정이다. 반면, IEEE1394 기술은 현존하는 직렬 디지털 인터페이스 기술 중 가장 높은 대역폭을 제공해 준다.

IEEE1394-1995는 Apple사의 FireWire가 그 시초이며 1995년에 확정된 표준이다. 12Mbps의 전송속도를 지원하는 USB version 1.0에 비교해 볼 때 100, 200, 400Mbps의 높은 전송률을 지원하지만 전송 최대 거리가 4.5m로 제한되어 있어서 맥내 A/V Clustering과 PC Clustering 및 근거리 Home Networking 용으로 제한되는 것이 가장 큰 단점이다. 그러나 이를 극복하기 위한 기술로 IEEE1394b 기술 개발이 2000년 말이면 완료되어 사용되는 매질의 종류에 따라 100m에서 800m 까지 지원해 주게 된다. IEEE1394 케이블의 구리선 반경을 확대하여 10m까지도 전송이 가능한 IEEE1394-2000은 Tree 구조나 Daisy Chain 구조는 가질 수 있으나 Loop 구조는 가질 수 없고, PHY 칩 (Physical Layer)과 LINK 칩 (Link Layer) 두 개를 이용하여 구현한다. 또한

Isochronous 전송 방법 채택으로 멀티미디어 데이터와 같은 실시간 전송을 필요로 하는 응용 분야에 대역과 전송을 보장해 줄 뿐만 아니라 Asynchronous 전송 방법도 보유하여, 데이터의 성격에 맞게 전송 모드를 선택할 수 있다. Asynchronous 전송은 주로 Command의 전송에 사용된다.

IEEE1394 기술은 IEEE1212 표준이 권고하는 CSR (Control Status Register) 구조를 가지고 있으며, 6bit를 사용하여 자체의 노드를 구분하므로, 하나의 버스 당 63개까지의 노드 연결이 가능하며, SCSI Interface와는 달리 터미네이터가 필요없으므로 구성이 용이하다. 그리고 연결 즉시 자동으로 어드레스를 할당하므로 Plug-and-Play 및 Hot Plug 기능을 제공해 준다. Video, SCSI, Floppy, MODEM, Serial Communication Port, Sound Card, Scanner, Camcorder, Printer 등 수 많은 PC Peripheral들이 모두 다른 구조의 다른 규격으로 하나의 PC에서 지원하여야 하므로 케이블과 소프트웨어, 커넥터 등이 많이 필요한 단점이 있으나, IEEE1394는 Daisy Chain 구조 및 Tree 구조를 이용함으로써 이러한 복잡한 커넥터 연결 부분을 해소해 줄 수 있다. 또한 연결 기기 간의 실시간 전송이 안되거나 성능의 차등화 부여 기능이 없어서 시스템 구조를 변화시키기 어려운 응용 분야의 단점을 해소할 수 있다.

IEEE1394는 RS232-C나 USB와는 응용 분야가 완전히 다른 고속의 데이터 용이므로 이들을 대체하기보다는 상호 보완적인 위치에서 시장을 점유할 것으로 예상된다.

IEEE1394 기술 관련 표준은 자체 기술 부분과 응용 분야에 따라 크게 세 가지로 구분할 수 있다. IEEE1394 자체 기술에는 IEEE1394-1995와 IEEE1394-2000, 그리고 P1394b와 P1394.1, P1212r 등 여러 가지가 있다. PC 관련 제품으로는 IEEE1394 인터페이스를 이용한 디지털 하드디스크 규격을 위한 SBP2 표준과 IEEE1394 하드웨어 상에 IP 패킷을 전송하기 위한 표준인 IP over 1394 기술이 있고, 가전 제품으로는 IEC61883과 VESA-Home Network, 그리고 HAVi와 HWW(Home Wide Web)이 있다.

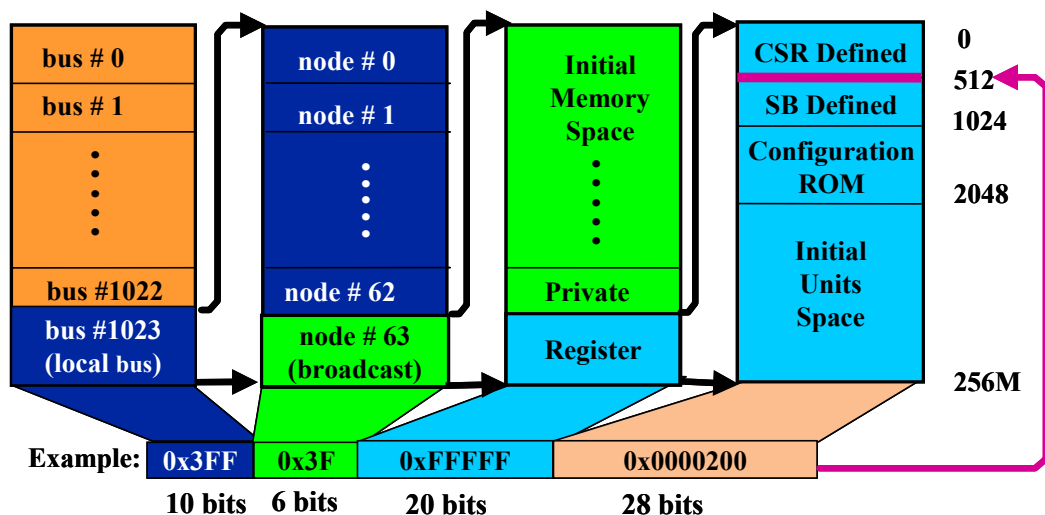
본 절에서는 IEEE1394 기술 그 자체에 직접 관련된 표준을 중심으로 설명하고 다음 절에서는 이 기술 위에서 구현되는 Middleware Solution인 HAVi와 HWW에 대해 설명하겠다.

## 2-4-2 IEEE1394-1995 [8]

IEEE1394-1995는 USB 보다 10배 이상 높은 100, 200, 400Mbps의 높은 전

송률을 지원하지만 전송 최대 거리가 4.5m로 제한되어 있어서 태내 A/V와 PC Clustering 및 Home Networking 용으로 제한되는 것이 가장 큰 단점이며, 이를 극복하기 위한 기술 개발이 진행중이다. 케이블의 반경을 확대하여 전송 거리가 현재 10m까지 가능한 IEEE1394는 Tree 구조나 Daisy Chain 구조를 가질 수 있으며 Loop 구조는 가질 수 없고 PHY 칩 (Physical Layer)과 LINK 칩 (Link Layer) 두 개를 이용하여 구현한다. 또한 Isochronous 전송 방법 채택으로 멀티미디어 데이터와 같은 실시간 전송을 필요로 하는 응용 분야에 대역과 전송을 보장해 줄 뿐만 아니라 Asynchronous 전송 방법도 보유하여, 데이터의 성격에 맞게 전송 모드를 선택할 수 있다. Asynchronous 전송은 데이터의 전송이 보장되는 것으로 주로 Command의 전송에 사용된다.

IEEE1394는 여러 가지 프로토콜을 사용하여 기존의 통신 규격과 호환성을 유지하고 있다. IEEE1394의 Addressing Mode는 <그림 4-3>에 보인 바와 같이 IEEE1212-1994이 권고하는 CSR (Control and Status Register) [9] 구조를 지원하여 모든 기기들이 표준화되어 있으며, NCITS.325-1998 SBP2 (Serial Bus Protocol-2)를 지원하여 DMA (Direct Memory Access)를 I/O 프로세스로 통합하였고, IEC61883-1997을 채택하여 오디오/비디오 기기들을 제어하며 이들 데이터를 MPEG 데이터까지 포함하여 전송 가능하게 한다. 대부분의 기기들은 AV/C Command 들로 기기들을 제어하고 데이터를 전송한다.



<그림 2-9> IEEE1394의 Addressing Mode

### 2-4-3 IEEE1394-2000 [10]

IEEE1394-2000은 IEEE1394-1995 규격이 가지고 있는 몇 가지 단점들을 보완하여 기존의 IEEE1394 규격을 모두 지원하면서 성능을 향상시킨 것이 특징이다. 그 중 대표적인 것이 Switch의 On/Off 시 발생하는 Bouncing 문제를 Filter로 해결하였으며, 버스 중재 과정에 불필요하게 사용되는 Ack 및 Subaction Gap을 효율적으로 사용하여 시리얼 버스의 대역폭을 유용한 데이터 전송에 사용할 수 있도록 하였다. 이와 같은 일은 IEEE1394-2000의 PHY 칩과 Link 칩에서 Firmware 상으로 모두 해결하므로 소프트웨어의 변화는 거의 없다. 그리고 PHY "Pinging" (신호를 보내고 다시 받는 시간을 측정하는 과정)을 이용하여 시리얼 버스의 토폴로지에 맞게 gap\_count를 조정함으로써 성능의 최적화를 구현하였고, 요구에 대한 응답은 Priority Arbitration이 가능하도록 구현하였다. 또한 Active를 제외한 모든 상태에서 많은 PHY 컴포넌트들이 전력이 공급되지 않은 채 있을 수 있으므로 Power Down 상태를 Check하여 Port를 Disable시키거나 Suspend, 혹은 Resume 시키는 기능을 추가하였다.

IEEE1394-2000은 P1394a라는 프로젝트 이름으로 IEEE1394-1995가 가지고 있는 단점을 보완하기 위해 1995년에 새로 출범하였으며 2000년에 완료되어 붙여진 이름이다. 현재 사용되고 있는 모든 IEEE1394 제품은 IEEE1394-2000 규격을 적용한 제품이다.

### 2-4-4 P1394b [11]

IEEE1394-2000은 노드간의 전송거리가 4.5m로 제한되어 있으며, 16개 이상의 홉을 가질 수 없을 뿐만 아니라 400 Mbps의 데이터 전송 속도 이상을 지원하지 않으므로 화상회의의 목적으로의 사용은 불가능하다. 따라서 기가비트급의 전송이 가능한 광케이블과 커넥터를 사용하여 최대 3.2 Gbps의 전송률을 지원하면서 100m 이상의 hop간 거리를 가능하게 하고 IEEE1394-1995와 P1394a를 완벽히 지원하도록 제정된 표준이 P1394b이다. IEEE1394-1995와 호환이 가능하도록 데이터/스트로브 인코딩 방법과 새로운 기가비트 속도, DC 균형을 위한 전기적 방법을 모두 사용하였다. 즉 FCC 규격을 맞추기 위해 Randomizing을 하였으며, 스크램블링과 8B/10B 코딩 기법을 사용하였다. 또한 8 비트의 병렬 버스를 통해서 더 높은 데이터 전송률을 지원할 수 있도록 PHY/LINK 인터페이스를 확장하였으며, 여러 가지의 버스 중재 신호들과 더



낮은 속도의 데이터 패킷을 Bit-Stuffed 패킷 방식을 이용하여 전달할 수 있는 고속 비트 프로토콜을 지원한다. P1394b가 P1394a와 다른 점은 네트워크의 토폴로지가 루프의 형태를 가질 수도 있다는 것이다. 이것은 P1394b의 초기화 시간동안에 루프들을 자동적으로 인식하여 이를 없애는 알고리즘이 포함되어 있기 때문이다.

P1394b는 단순히 속도만을 증가시키는 데에 그치지 않고 전송거리도 향상시켰다. 기존의 4.5m로는 Home Network의 Solution에 적합하지 않으므로 POF (Plastic Optical Fiber)를 전송매체로 이용하면 100Mbps의 전송 속도의 경우 100m까지 전송할 수 있게 하였다. 또한 UTP Cat5 (Unshielded Twisted Pair, Category 5) 선의 1, 2번과 7,9번 선을 이용하여 100Mbps의 1394 데이터를 100m 거리 만큼 전송할 수 있게 하였다.

#### 2-4-5 P1394.1[12]

P1394.1은 현재 표준화가 진행 중인 기술로 기존의 TCP/IP가 지원하는 브릿지의 대부분의 기능을 IEEE1394 표준으로 모두 구현하자는 것이 IEEE1394.1이 추구하는 방향이다. 예를 들어 현재의 IEEE1394는 63개의 Leaf 밖에는 가질 수 없으나 TCP/IP가 가지고 있는 HUB, Router, Bridge 등의 기능을 IEEE1394에 구현하여 이러한 제한을 줄이고 전송선의 길이의 제한도 없애자는 것이 IEEE1394.1의 기본적인 방향이다.

P1394.1은 1394 Cluster들이 다른 Cluster들과 통신을 할 수 있도록 Bus Bridge를 제공해 주는 사양이다. 이 표준은 무선으로 1394 신호를 전송할 때 필요한 기술을 제공해 준다.

#### 2-4-5 IEEE1394 네트워크 상에서의 Middleware 표준

홈 네트워크의 프로토콜을 검토해 보면 매우 다양한 물리계층 위에 여러 가지의 응용 프로그램들이 서비스를 해 주거나 받고 있다. 물리 계층이 여러 가지인 이유는 <그림 1-1>에서 이미 언급하였듯이 각각의 홈 네트워크 기술이 가지고 있지 않은 나름대로의 독특한 장점을 가지고 있기 때문이다. 따라서 서로 다른 물리 계층을 이용한 홈 네트워크 기기와의 연결은 물론이고 같은 물리 계층을 사용하더라도 연결된 기기들을 응용 계층에 관계없이 제어하고 필요한 데이터를 전송하려면 중간 계층의 제어 소프트웨어가 필요하게 된다.

홈 네트워크용으로 개발된 Middleware로는 마이크로소프트사가 제안하여 강력하게 지지하며 그 세를 키우고 있는 UPnP (Universal Plug and Play)가 있으며 Sun Microsystems사가 지원하는 Jini가 있다. 이 두 미들웨어 솔루션은 IP를 근간으로 네트워크에 연결된 기기들을 제어하는 반면 Sony와 Philips 등의 가전 회사가 지원하는 HAVi (Home Audio Visual interoperability)와 한국의 삼성 전자가 제안하여 1394 Forum을 중심으로 표준화 활동을 추진하고 있는 HWW (Home Wide Web)은 물리계층이 IEEE1394인 네트워크 상에서 동작하는 Middleware라는 점에서 커다란 차이점이 있다. 본 절에서는 IEEE1394 상에서 동작하는 Middleware Solution인 HAVi와 HWW의 특징 및 표준화 현황에 대해 소개하였다.

HAVi는 IEEE1394 기술을 채택한 오디오 비디오 기기간의 실시간 데이터 전송은 물론 상호 호환성을 위해 Sony가 처음 제안한 홈 네트워크용 Middleware 솔루션이다. 처음에는 Grundig, Hitachi, MEI, Philips, sharp, Sony, Thomson, Toshiba 등을 포함하는 8개 회원사로 출발하였으나, 지금은 42개의 회원사를 두고 이 표준에 의해 오디오/비디오 제품을 개발하고 있다.

HAVi는 IEEE1394 기술을 적용한 디지털 네트워크에 사용되는 기술로 플러그 앤드 플레이를 지원하며 AVC (Audio Visual Control) 커맨드를 사용하지만 미래에 나타날 기기도 자연스럽게 지원해 주는 모델을 개발하였다. 이러한 전방 호환성을 지원해주기 위하여 HAVi는 Legacy Device, Base Device, Intermediate Device, 그리고 Full Device로 분류하여 각각의 기기에는 다른 기능을 지원하도록 표준을 정의하였다. 이러한 Device들은 다른 제조회사가 만든 모든 기기들과 통신할 수 있도록 설계되었으며, 자바 바인딩을 통한 개방형 소프트웨어 API (Application Programming Interface)를 지원하고, 제어 신호 및 콘텐츠 등을 전송할 수 있다.

HAVi는 1394 Manager, Messaging System, Event Manager, Registry, DCM(Device Control Module), DCM Manager, Stream Manager, Resource Manager, 그리고 Level I UI Engine 등으로 구성되어 있다. 기본적인 동작 모델을 살펴보면, 새로운 기기가 HAVi 네트워크에 접속되었을 때 IEEE1394 버스에 버스 리셋이 발생하며, 이 버스 리셋으로 인하여 모든 기기는 새로운 기기가 네트워크에 참여했는지를 알게 된다. 새로 참여한 기기는 Root 기기에게 자신의 정보와 함께 자신이 보유하고 있는 DCM을 전송하고 Root는 이 내용을 Registry에 보관한다. 새로 가입한 기기를 제어해야 할 필요가 있을 때는 전송 받은 DCM을 Root 기기가 자신의 기기에서 실행하여 제어 파라미터 들을 추출

한 후 이 데이터에 따라 모든 기기들을 제어하는 방법을 사용하고 있다.

HAVi는 2000년 1월에 version 1.0이 확정되었으며 Home Page인 [www.havi.org](http://www.havi.org) Web Site를 방문하면 필요한 자료들을 다운 받을 수 있다.

HWW은 삼성전자가 자사가 개발하는 디지털 TV 및 Set Top Box에 IEEE1394 기술을 적용하면서 이들간의 상호 제어용 소프트웨어로 개발한 IP를 근간으로 하는 홈 네트워크 용 미들웨어 솔루션이다. 삼성의 HWW은 1996년에 이미 시작된 미들웨어지만 VESA Home Network Committee가 1999년 8월에 홈 네트워크의 미들웨어 솔루션의 대부분을 포함하는 VESA Home Network Spec 1.0이 발표되면서 구체화되었다. VESA-HN에 의한 홈 네트워크의 구성은 Backbone과 Subnet, 그리고 Network Device와 일반 기기들로 구성되어 있다. User-to-Device 제어 모델은 HTML과 HTTP를 사용하는 Web을 근간으로 하는 제어 모델을 사용하고 있으며, 서비스 등록과 기기 발굴은 IR(Interface Repository)를 이용하여 수행한다. 그리고 Device-to-Device 제어 모델과 이벤트 핸들링은 XML을 근간으로 하는 RPC(Remote Procedure Call)을 이용하여 수행한다.

이와 같은 VESA-HN의 기본 구조에 잘 맞아 떨어진 HWW은 2000년 2월 EIA775.1의 Web Enhanced DTV 1394 Specification 1.0 으로 표준화되었다. 기기 발굴은 CSR 구조상의 Configuration ROM을 이용하므로 1394 기기만 가능하고, HTML과 HTTP를 사용하는 Web을 근간으로 하는 User-to-Device 제어 모드는 지원하지만 Device-to-Device 제어 모드는 지원하지 않는다. 그러나 2000년 8월 EIA851에서는 VESA HN Spec 1.0을 그대로 지원하는 새로운 표준이 확정되었다. 그러나 이와 같은 Device-to-Device 제어 모드는 개념적으로는 정의가 되어 있지만 구체적인 구현 방안은 아직 확정되어 있지 않다.

## 제 3장 무선 홈 네트워킹 기술

### 제 3-1절 서론

홈 네트워크를 구현하는 무선 통신 기술 중 가장 각광을 받고 있는 기술은 Ericsson과 Nokia 등 유럽의 대형 이동통신 회사들을 포함하여 전 세계 1,790여 개의 회사들이 심혈을 기울여 표준을 주도하고 있는 Bluetooth이다. 한국에는 현재 삼성, LG 정밀, 그리고 SK Telecom 등 50여 개 업체가 이 그룹에 참여하고 있다. Bluetooth 기술을 이용한 홈 네트워킹 기술은 현재 버전 1.0이 발표되어, 2.4 GHz의 ISM 밴드를 사용함으로써 무선 자원의 사용 규제에 대한 법적인 제한이 없는 것이 강점이다. 블루투스의 동작은 동기 모드일 경우 1Mbps의 전송 속도를 지원하며, 비동기 모드일 경우 720Kbps의 전송 속도를 지원한다. 마스터로부터 10m 이내의 거리에 슬레이브 단말기가 들어 오면 Frequency Hopping 방식에 의해 데이터를 송수신한다. 무선으로 모든 정보를 교환하므로 가장 편리한 홈 네트워킹 방법이지만 다른 기기간의 간섭 문제를 해소하기 위해 대역 확산 방식을 사용함으로써 높은 대역폭을 갖는 통신은 기대할 수 없는 실정이다. Bluetooth Version 2.0은 10Mbps의 전송 속도를 지원하기 위해 준비중인 표준안이다.

이 외에 HomeRF 기술은 Bluetooth 보다는 높은 대역폭을 제공하고 전송 거리도 멀지만, 참여 기업의 수에 열세를 보여 시장에는 다소 뒤쳐지고 있는 분야이다. 이와 유사한 경우로 Wireless LAN 구현 기술인 IEEE802.11도 11Mbps의 전송 속도를 지원하지만 이 기술을 후원하는 업체의 수가 증가하고 있지 않아 시장 진입에 어려움을 겪고 있다. 최근의 노트북에 대부분 장착되는 IrDA는 850nm의 파장을 갖는 적외선을 이용하여 네트워킹을 구현하고 있어서 무선의 강점에도 불구하고 중간에 나타날 수 있는 불투명한 장애물에 의해 통신이 두절되는 현상을 극복할 수 없는 것이 가장 어려운 숙제인 셈이다.

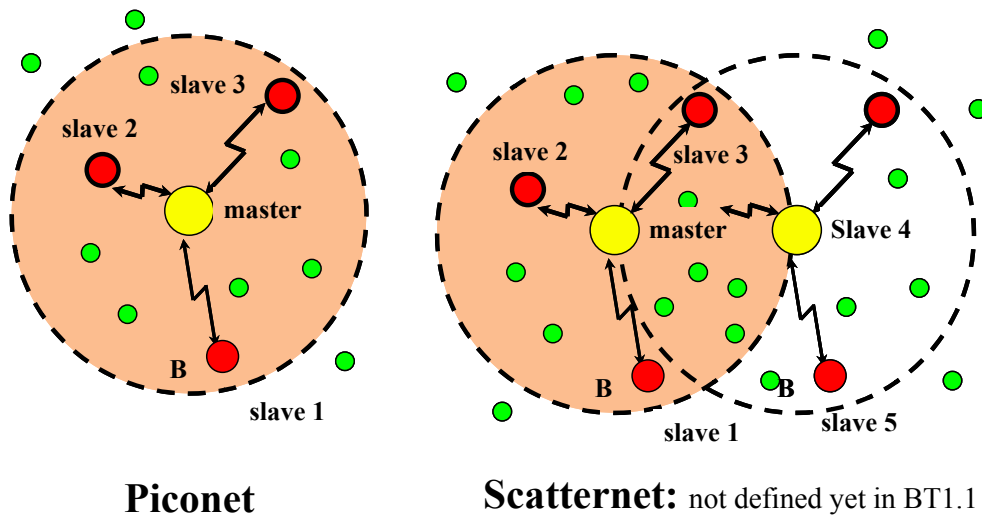
본 장에서는 무선 홈 네트워킹 기술의 하나인 Bluetooth 기술에 대해 알아보고 무선 홈 네트워킹 기술의 가장 좋은 솔루션으로 인정받고 있는 IEEE802.11 표준의 기본적인 동작 원리에 대해 소개하였다. IEEE802.11 표준은 1999년에 완성되었으며 이 표준은 CSMA/CA MAC을 이용하여 여러 단말기가 매체를 사용하도록 정의하고 있다. 이 기술의 향상된 QoS 기술은 본 연구의 핵심인 무선 홈 네트워킹 백본 기술의 기본적인 대안이 될 것이다.

## 제 3-2절 Bluetooth 기술

홈 네트워크를 구현하는 무선 통신 기술 중 가장 각광을 받고 있는 기술은 Ericsson과 Nokia 등 유럽의 대형 이동통신 회사들을 포함하여 전 세계 1,790여 개의 회사들이 심혈을 기울여 표준을 주도하고 있는 Bluetooth이다. 한국에는 현재 삼성, LG 정밀, 그리고 SK Telecom 등 50여 개 업체가 이 그룹에 참여하고 있다.

Bluetooth는 10세기경 덴마크와 노르웨이를 통일한 덴마크 왕의 이름에서 유래한 것으로, 2.4 GHz의 비인가 ISM (Unlicensed Industrial Science Medical) 주파수 대역을 사용해서, 10m이내의 개인 거리 내에서 다양한 기기간에 통신을 할 수 있도록 하는 저전력(RF 전력: 1mW ~ 100mW), 저가(\$5 정도 예정)의 무선 통신 시스템이다. 원래는 복잡한 유선 케이블을 무선으로 대체할 목적으로 시작되었지만, 늘어나는 개인 휴대용 디지털 기기들, 개인 이동 통신 기기들, 컴퓨터들, 가전 기기들 간의 멀티미디어 데이터 송수신을 무선으로 할 수 있도록 하는 기술로 진화하고 있다. 초기에는 Ericsson, Nokia, IBM, Intel, Toshiba 등의 5개사가 Promoter사로 주축이 되어 Bluetooth SIG(Special Interest Group)를 결성하였고, 이 후, Microsoft, 3Com, Lucent Technologies, Motorola의 4개사가 Promoter사로 추가되었으며, Bluetooth 사양의 제정, 보완 및 상호 접속성 인증을 주도해오고 있다. 1999년 6월에는 처음으로 Bluetooth Specification version 1.0이 나왔고, 1999년 12월에는 업그레이드된 Bluetooth Specification version 1.0B가 제정되었으며, 2000년 11월에는 기존의 사양 내용을 보다 명확히 한 Bluetooth Specification version 1.1이 나왔다. Bluetooth에 대한 관심의 증대로 현재는 전세계 2,000여 개의 통신, 반도체, 컴퓨터 등 관련 회사들이 Bluetooth SIG의 회원사로 참여하고 있다. Bluetooth를 이용하면 무선으로 개인 기기들간의 통신망을 구성할 수 있다는 개념에서 기존의 WAN이나 LAN에 대응하는 WPAN(Wireless Personal Area Network)의 표준화 제정 작업이 IEEE 802.15 working group에서 활발히 진행되고 있다.

Bluetooth는 2.4 GHz의 주파수 대역에서 1MHz 대역폭의 채널 79개를 1초에 1600번 빠르게 바꾸어가며 송수신하는 주파수 도약(Frequency Hopping) 방법을 사용한다. 디지털 데이터를 송신하기 위해서는 아날로그 신호로 변조해 주어야 하는데, 이를 위한 신호 변조 방법으로는 GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying)를 사용하고, 슬롯화된 TDD(Time Division Duplex) 방식으로 데



<그림 3-1> Bluetooth의 Piconet과 Scatternet의 개념적인 의미  
및 이들 사이의 관계

이터를 송수신한다. 한 슬롯의 시간은 625msec이다. Bluetooth의 최대 전송율은 약 1Mbps이지만 최대 유효 데이터 전송율은 ACL(Asynchronous Connectionless) 모드일 경우 723.2 Kbps이다. Master기기와 Slave기기로 구성되는 작은 네트워크인 Piconet에서 하나의 Piconet은 1개의 Master와 7개까지의 활성(active) Slave를 지원할 수 있다.

전력 절약 모드인 Park 모드를 이용하면 255개까지의 slave를 제어할 수 있다. 따라서, 두 기기간의 간단한 1:1 통신 및 여러 기기간의 1:N 통신을 지원할 수 있다. Bluetooth는 통상 휴대용 기기에 탑재될 예정이므로 배터리의 전력 소비를 최소화시키는 것이 중요한데, 이를 위해 Park, Sniff, Hold 등의 저전력 동작 모드를 정의하고 있다. 그리고, 여러 개의 Piconet이 있을 경우 Piconet간의 데이터 송수신을 위해서 Scatternet을 구성할 수 있다. <그림 3-1>은 Piconet과 Scatternet의 개념적인 의미 및 이들 사이의 관계를 나타낸 것이다.

Piconet에서 master와 slave간에 데이터 송수신을 위해 연결할 수 있는 커넥션(connection)의 종류에는 파일 전송 등 데이터 송수신을 위한 ACL(Asynchronous Connection-Less) 커넥션과 음성 전송 등을 위한 SCO(Synchronous Connection-Oriented) 커넥션이 있다.

ACL 커넥션인 경우에 master는 짝수 슬롯에서 특정 Slave에 데이터를 전송하면서 Polling하고, Polling을 받은 Slave만이 다음 홀수 슬롯에서 Master로 데이터를 전송할 수 있다. 한 번에 보낼 수 있는 데이터 패킷은 보낼 데이터의

양에 따라 1, 3, 혹은 5슬롯을 점유할 수 있다. ACL 커넥션을 이용한 최대 유효 데이터 전송율은 한 방향이 723.2kbps, 다른 방향이 57.6kbps가 된다. 양방향 모두 같은 전송율일 경우 최대 유효 데이터 전송율은 433.9Kbps이다.

SCO 커넥션인 경우에는 일정한 간격의 슬롯이 SCO 커넥션을 위해 할당되고, 그 슬롯들에서는 ACL 커넥션을 위한 패킷 전송이 금지된다. 즉, Master는 해당 Slave에 일정한 슬롯 간격 마다 짝수 슬롯에서 데이터를 보내고, 해당 Slave도 Master에 일정한 슬롯 간격 마다 홀수 슬롯에서 데이터를 보낸다. SCO 커넥션은 주로 음성 통신을 위해 사용되고 64Kbps의 고정된 전송율을 갖는다. 한 개의 Bluetooth기기는 최대 3개까지의 SCO 커넥션을 지원할 수 있다.

Bluetooth는 오류가 발생할 수 있는 무선 매체를 통해 데이터를 송수신하므로, 데이터 전송 오류를 보정하고 보다 신뢰성있는 데이터 송수신을 가능케 하기 위해 다음과 같은 방법을 사용한다. 즉, 송신측에서 보낸 데이터를 수신측에서 제대로 받지 못했을 경우, 송신측에서 이전에 전송한 데이터를 재전송하는 방법인 ARQ(Automatic Repeat Request)나 전송중에 생긴 패킷 헤더나 데이터의 비트 오류를 스스로 감지하고 보정해주는 방법인 HEC(Header Error Correction)와 FEC(Forward Error Correction)를 사용한다.

앞에서도 이미 설명하였듯이 1999년에 규격이 완료된 Bluetooth 기술이 아직 시장을 주도하지 못하고 있는 이유는 칩의 가격이 BiCMOS 기술을 채택하고 있어서 전력의 소모가 클 뿐만 아니라 아직 10달러 대를 상회하고 있기 때문이다. 이러한 Bluetooth 시장의 어려움은 현재 미국의 Silicon Valley에서 개발중인 CMOS 기술을 이용한 5 달러 대의 칩이 개발되면 해소될 것으로 보인다. TI, Ericsson, Broadcom, eWave System, Silicon Wave 등과 같은 회사에서 칩이 생산되고 있으며 한국의 삼성전자와 GCT 사 등에서도 개발한 바 있다. Bluetooth 칩이 휴대폰에 장착되면 Headset Profile이 가장 큰 시장을 점유할 것으로 보이며 Dial-Up-Networking Profile이 대형 화면의 무선 인터넷 서비스를 가능하게 해 줄 전망이다. Bluetooth 시장의 중심에는 휴대폰이 있으므로 휴대폰에의 장착의 시기에 따라 Bluetooth의 시장이 열릴 시기가 결정될 것으로 보인다.

IEEE802.15의 경우 IEEE802.15.1 Task Group은 기존의 Bluetooth 기술에 대한 성능 향상이 목적이다. 현재 10 Mbps급의 데이터 전송을 위한 규격이 준비중에 있다. IEEE802.15.2는 2.4 Ghz대의 주파수를 사용하는 다른 무선 통신 기술과의 공존에 대한 표준을 준비중이며 IEEE802.3는 54 Mbps급 이상의 고속 데이터 전송 방식을 준비중이 있다. 이 표준의 가장 큰 응용 분야는 Post PC의

한 종류인 Wearable Computer일 것이다. 끝으로 IEEE802.15.4는 가장 저렴한 가격으로 칩을 구현하여 Infrared를 사용하는 현재의 리모콘을 대체할 수 있는 방안에 대한 표준을 준비중에 있다.

### 제 3-3절 IEEE802.11-1995 PHY 및 MAC 구조[13, 14]

IEEE802.11 표준의 역사는 꽤 길다. Ethernet 표준인 CSMA/CD (Carrier Sensing Multiple Access Based on Collision Detection) Algorithm을 제정한 IEEE802.3 Working Group (이하 WG라고 씀.)이 어느 정도 작업을 마무리하던 1990년 무렵, 무선으로 Ethernet과 같은 LAN을 구성하자는 개념이 IEEE802.3 WG에서 제안되었다. 이 제안은 그리 적극적인 호응을 받지 못하였으나 PAR (Project Authorization Request)이 수락되어 이 Task Group (이하 TG라고 씀.)의 이름을 IEEE802.3L이라고 명명하기로 하였다. 그리고 현재 Agere Systems (Lucent Technologies로부터 분사된 IEEE802.11 Chipset Solution 회사)에서 근무하는 Victor Hayes 박사가 이 TG의 의장으로 추대되었다. 이 TG가 이듬해에 IEEE802.11 WG으로 추인받았으며 Hayes 박사는 이로부터 9년 반 동안 초대 Working Group의 의장으로 활동하였다. 지금의 Stuart Kerry (Philips 근무)는 IEEE802.11 WG의 12년 역사 중에서 2대 의장인 셈이다.

당시에는 무선 통신 시스템에 대한 개발 환경도 갖추어지지 않았으며 이에 대한 여러 회사의 지지도가 별로 높지 않은 상황이었어서 실력있는 참여자를 많이 끌어 모으기란 쉬운 일이 아니었다고 한다. 거기에 무선 통신 기술을 이용하여 Ethernet과 유사한 성능의 랜을 구현하기란 결코 쉬운 일이 아니었다. 즉 1999년에 제정된 IEEE802.11 표준이 채택한 CSMA/CA (Carrier Sensing Multiple Access Based on Collision Avoidance) 알고리즘 자체가 기존의 유선 환경으로부터 바로 유추해 올 수 있는 개념이 아니었던 것이다. 그 이유는 무선 환경이 유선과는 매우 다른, 다음과 같은 특징을 가지고 있기 때문이다.

1. 목적지의 주소는 목적지의 물리적인 위치와 항상 같지는 않다.
2. 외부 신호로부터 보호되어 있지 않다. 또한 나의 신호도 항상 누군가에 의해 도청될 가능성이 상존한다.
3. 유선 환경보다 훨씬 더 불확실한 환경에서 데이터를 전송해야 한다.
4. 네트워크의 토폴로지가 역동적으로 변하는 상황을 모두 극복해야 한다.
5. 모든 단말기가 하나의 네트워크로 연결되어 있다고 가정할 수 없으므로



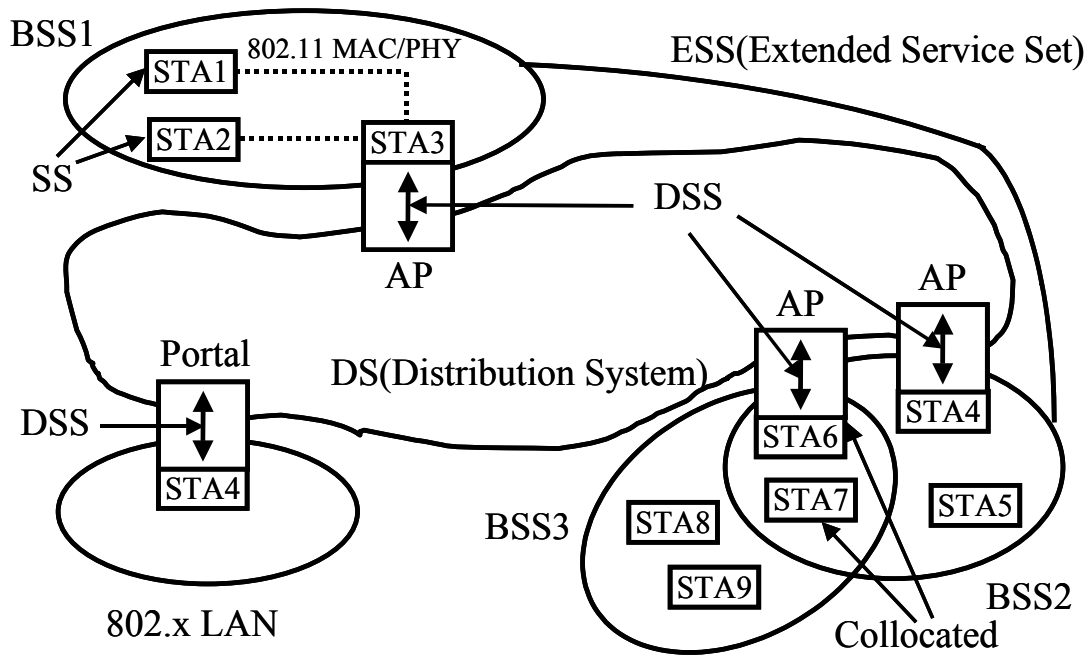
어떤 단말기든 다른 단말기로부터 숨겨져 있을 수 있다는 사실을 전제로 네트워크 시스템을 구성하여야 한다.

6. 전파의 전파 특성이 시간적으로 변하는 환경이며 비대칭적이다.
7. 무선 환경에서의 통신이므로 이동성을 지원하되 Portable Station과 Mobile Station 모두를 지원한다. 여기서 Portable Station과 Mobile Station은 서로 다른 Station을 의미한다. 즉, Portable Station은 이동할 수 있는 단말기이지만 이동하는 동안에는 데이터를 전송하지 않으며 고정되어 있을 때에만 데이터를 전송하는 반면 Mobile Station은 이동 중에도 데이터를 송수신하는 단말기이다.
8. IEEE802.11 표준은 IEEE802.2 LLC (Logical Link Control) 레이어를 거쳐 통신을 하므로 다른 IEEE802 레이어를 지원하여야 한다.

이와 같은 무선 통신 환경을 고려하여 IEEE802.11 무선 랜을 구성할 수 있는 기본적인 구조가 오랜 동안의 산고 끝에 확정되었으며 여러 개념을 통합한 구조가 <그림 3-2>에 나타나 있다. <그림 3-2>에 보인 바와 같이 STA1과 STA2, 그리고 STA3는 같은 서비스 셋에 속해 있으며 이를 BSS (Basic Service Set)라 부른다. 물론 STA1과 STA2, 그리고 STA3는 무선 랜 기술인 IEEE802.11 PHY와 MAC을 통하여 데이터를 송수신함은 당연한 일이다. 이 중에서 STA3는 DS (Distribution System)를 통하여 다른 BSS에 속해 있는 Station (예를 들어 BSS1에 있는 STA2를 BSS2에 있는 STA6)과 STA4를 통해 통신을 할 수 있게 해 주는 중요한 역할을 한다. 여기서 STA3와 STA5, 그리고 STA7과 같은 Station을 Access Point (이하 AP라고 씀)라고 한다. 이 경우 BSS1과 BSS2는 DS에 의해 서로 통신을 할 수 있게 되었으며 이와 같은 서비스 셋을 ESS (Extended Service Set)라고 부른다. STA8은 BSS2에도 소속되어 있으면서 BSS3에도 소속되어 있으므로 “Collocated”되었다고 한다. 특히 STA4의 경우 802.x LAN에 소속되어 있으면서 다른 BSS들과 통신을 할 수 있으므로 이와 같은 Station을 Bridge Portal이라 부른다.

IEEE802.11 표준이 지원하는 구조적인 서비스는 모두 9개이며 이들은 각각의 Station이 지원하는 서비스이거나 아니면 DS가 지원해 주는 서비스로 구분된다. <표 3-1>은 이와 같은 서비스의 종류와 이를 지원해야 하는 곳을 정리한 것이다. 각각의 서비스에 대한 구체적인 내용은 참고자료 [13]에 표시한 IEEE802.11 1999년 판에 잘 정리되어 있다. <표 3-1>에 주어진 IEEE802.11 표준의 서비스 사이의 관계를 나타내는 상태 천이도를 <그림 3-3>에 나타내었

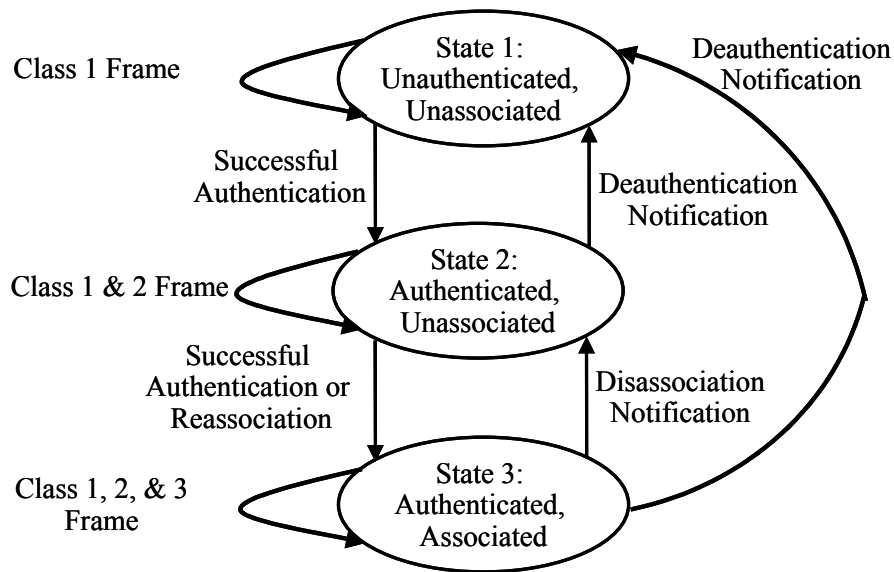
다.



<그림 3-2> IEEE802.11 WLAN 구조

<표 3-1> IEEE802.11 서비스의 종류와 제공처

서비스의 종류	서비스 제공처
인증 (Authentication)	SS (Station Service)
연관 (Association)	DSS (Distribution System Service)
인증 탈퇴 (Deauthentication)	SS (Station Service)
연관 탈퇴 (Disassociation)	DSS (Distribution System Service)
분배 (Distribution)	DSS (Distribution System Service)
통합 (Integration)	DSS (Distribution System Service)
암호화 (Privacy)	SS (Station Service)
재 연관 (Reassociation)	SS (Station Service)
MSDU 전송 (MSDU Delivery)	SS (Station Service)



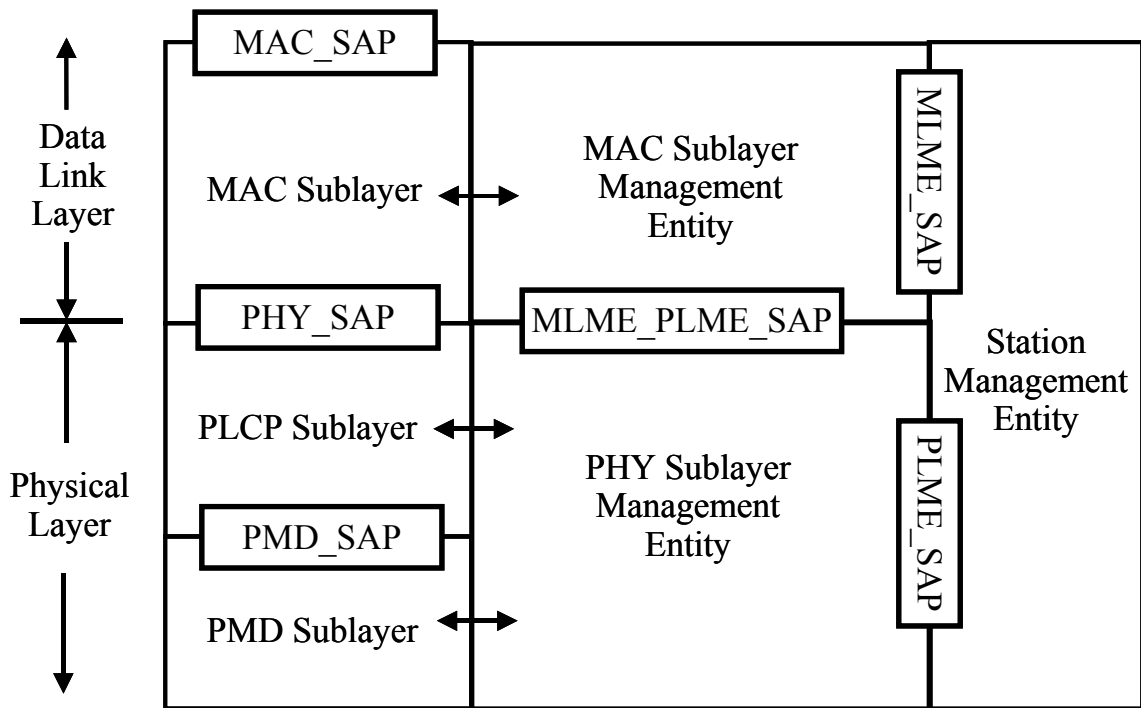
<그림 3-3> IEEE802.11 표준에서 서비스 사이의 관계를 나타내는 상태 천이도

<그림 3-3>에 나타난 바와 같이 상태1은 인증과 연관을 모두 받지 못한 초기의 시작 상태이며 가장 먼저 성공적으로 인증을 받으면 상태2가 된다. 상태2는 인증은 받았으나 연관은 아직 안된 상태이며 성공적으로 연관이 되면 상태3으로 천이하게 된다. 일반적으로 상태2에서 상태1로 천이할 때에는 인증 탈퇴 통지만 하면 되지만 상태3에서 상태1로 천이할 때에는 연관 탈퇴 통지를 하여 상태2로 천이한 후 상태1로 천이할 수도 있고 상태3에서 직접 천이할 수도 있다. 이와 같은 경우는 인증과 연관이 모두 이루어진 상태에서 데이터를 송수신하다가 갑자기 전원 공급이 끊어지면 미처 상태2로 천이한 후 상태1로 천이할 시간이 없는 경우도 발생할 수 있으며 갑자기 셀 영역을 벗어날 수도 있기 때문에 가능한 상태 천이도이다. 각각의 상태에서는 처리할 수 있는 프레임의 형태는 제한되어 있다. <그림 3-3>에 나타난 바와 같이 상태1에서는 Class 1의 프레임만 허용되며 상태2에서는 Class 1과 Class 2의 프레임만 허용이 되고 상태3에서는 Class 1, 2, 3 모두 허용된다. 각각의 Class에 대한 프레임의 형태를 <표 3-2>에 나타내었다.

<표 3-2> 각 상태에서 허용되는 Class의 프레임 형태

Class 1 Frames (상태1, 2, 3에서 허용)	Control Frames	RTS (Request to send)
		CTS (Clear to Send)
		ACK (Acknowledgment)
		Contention-Free (CF)-End+Ack
		CF-End
	Management Frames	Probe Request/Response
		Beacon
		Authentication
		Deauthentication
		Announcement Traffic Indication Message (ATIM)
	Data Frames	Data: Frame Control bit 들 중 "To DS"나 "From DS"가 1이면 잘못된 데이터임.
Class 2 Frames (상태 2, 3에서 허용)	Management Frames	Association Request/Response
		Reassociation Request/Response
		Disassociation
Class 3 Frames (상태 3에서 허용)	Data Frames	모든 종류의 Data Subtype 가능
	Management Frames	Deauthentication
	Control Frames	PS-Poll

IEEE802.11 표준은 무선 랜에 대한 표준을 정의하므로 각 단말기의 물리적인 이동성에 대해서도 어느 정도는 지원되어야 함은 당연한 일이다. 이와 같은 단말기의 이동성은 다음과 같은 세 가지의 형태로 분류할 수 있다. 첫 번째는 하나의 단말기가 자기가 속해 있는 BSS를 벗어 나지 않는 경우로 한 자리에 그냥 정체되어 있는 경우이거나 BSS 영역 안에서 움직이는 것이 이에 속한다. 두 번째 경우는 하나의 BSS로부터 같은 ESS에 속해 있는 다른 BSS로 이동하는 것으로 BSS-Transition이라 부른다. 끝으로 ESS-Transition이란 하나의 ESS에 속해 있는 BSS로부터 다른 ESS에 속해 있는 BSS로 이동하는 것을 의미한다. 이 모든 경우의 단말기의 이동은 다른 연관 서비스를 지원받게 된다.

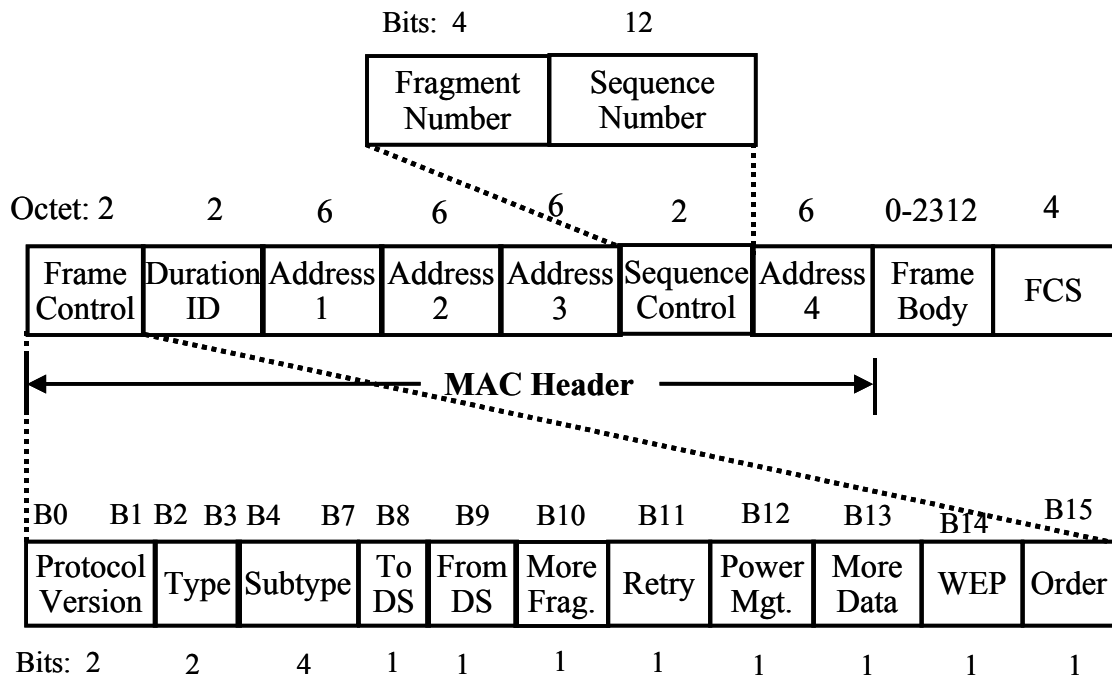


<그림 3-4> IEEE802.11 WLAN 참조 모델

IEEE802.11 표준의 1999년판은 무선 랜 시스템을 두 개의 부분으로 나누어 기술하고 있다. 그 중의 하나가 Data Link 층의 낮은 부층인 MAC (Medium Access Control) 부분이고 나머지 하나는 물리계층인 PHY이다. 이 두 층은 OSI (Open Systems Interconnection) 7 계층[14]의 참조 모델 중에서 가장 낮은 두 개의 층에 해당한다. 이 두 개의 층과 부층을 <그림 3-4>에 나타내었다. <그림 3-4>에 보인 바와 같이 각각의 층 사이를 거쳐 데이터가 전달될 때에는 SAP (Service Access Point)을 거치게 된다. 이 SAP들은 그를 중심으로 양 쪽의 층으로부터 MIB (Management Information Base)에 정의된 서비스의 Primitive에 대한 구조를 파악하여 그에 해당하는 데이터를 전달하게 된다. 구체적인 MIB Primitive들에 대해서는 참고문헌 [13]에 잘 설명되어 있다.

IEEE802.11 표준은 IEEE802 위원회가 정의하는 48bit의 주소 공간을 이용하여 각각의 다른 단말기에 대한 논리적인 주소를 부여하여 데이터를 전송한다. 앞서서도 이미 언급하였듯이 무선 랜 시스템은 유선과는 다른 독특한 통신 환경을 가지고 있는 시스템이므로 프레임의 모양이 유선과는 매우 다른 형태를 지니고 있다. <그림 3-5>는 IEEE802.11 표준이 사용하는 Frame Format의 전

형적인 형태를 나타낸 것이다. <그림 3-5>에 보인 바와 같이 IEEE802.11 표준



<그림 3-5> IEEE802.11 Frame Formats

의 Frame은 “Frame Control” 필드와 “Duration ID” 필드, 그리고 4 개의 “Address” 필드, “Sequence Control” 필드, 그리고 “Frame Body” 필드와 에러 검출을 위한 “FCS (Frame Check Sequence)” 필드로 구성되어 있다. Address Field는 모두 네 개가 필요한데 Frame Control Field에 정의되어 있는 프레임의 종류에 따라 각각의 Address Field는 다른 의미로 사용된다. Address ID 필드는 BSSID, Source Address, Destination Address, Transmitting Station Address, 그리고 Receiving Station Address를 나타내기 위해 사용되며 각각의 프레임 타입에 있는 네 개의 주소 필드는 프레임마다 BSSID, SA, DA, TA, RA 등으로 지정된다. 프레임의 종류에 따라 이 네 개의 어드레스 중 특정 어드레스는 사용되지 않을 수도 있다.

먼저 “Frame Control Field”에 대해 살펴보면 “Protocol Version” Field는 2 bit가 할당되어 있으며 본 표준에서는 0으로 정의되어 있다. 차후에 심각한 호환성이 제기되지 않는 한 이 필드는 0으로 남아 있게 된다. 2 bit인 “Type” Field와 4 bit인 “Subtype” Field는 이 프레임의 기능을 정의한 것으로 제어 필드, 데이터 필드, 그리고 관리 필드가 이에 속한다. 제어 필드에는 RTS, CTS,

ACK, PS-Poll, CF-End, CF-End + CF-Ack와 같은 제어 프레임에 대해 정의되어 있고, 데이터 필드에는 실질적인 데이터와 Data + CF-Ack, Data + CF-Poll 등과 같은 데이터에 관련된 프레임을 전송할 때 이에 맞는 비트들을 셋팅해 준다. 그리고 관리 필드에는 Beacon, Probe Request, Probe Response, Association, Authentication 등과 같은 프레임을 전송할 때 이 값이 설정된다. “To DS” 필드는 DS로 나가는 프레임일 때 1로 설정해 주는 필드이고 “From DS” 필드는 프레임이 DS로부터 들어 올 경우 1로 설정된다. “More Fragments” 필드는 현재의 MSDU (MAC Service Data Unit)나 MMPDU (MAC Management Protocol Data Unit)가 다른 프래그먼트를 가질 때 1로 설정된다. “Retry” 필드는 먼저 번 프레임을 재 전송할 때 1로 설정해 주는 필드이고 “Power Management” 필드는 어떤 단말기가 전력 관리 모드에 들어가 있으면 1로 설정된다. “More Data” 필드는 절전 모드에 들어가 있는 단말기에게 더 전송해야 할 MSDU나 MMPDU가 AP의 버퍼에 남아 있을 때 1로 설정된다. “WEP” 필드는 “Frame Body” 필드가 WEP (Wired Equivalent Privacy) Algorithm에 의해 암호화가 되어 있으면 1로 설정되는 필드이다. “Order” 필드는 MSDU나 이의 프래그먼트와 같은 순서가 매우 중요한 서비스 클래스 데이터를 전송할 때 1로 설정하는 필드이다.

“Sequence Control” 필드는 4 bit의 “Fragment Number” 필드와 12 bit의 “Sequence Number”로 구성되어 있으며 각 단말기가 MSDU나 MMPDU를 보낼 때 0부터 시작하여 4096까지 돌아가는 카운터의 값으로 반드시 붙이는 번호이며 “Fragment Number” 필드는 각각의 프래그먼트의 번호이다.

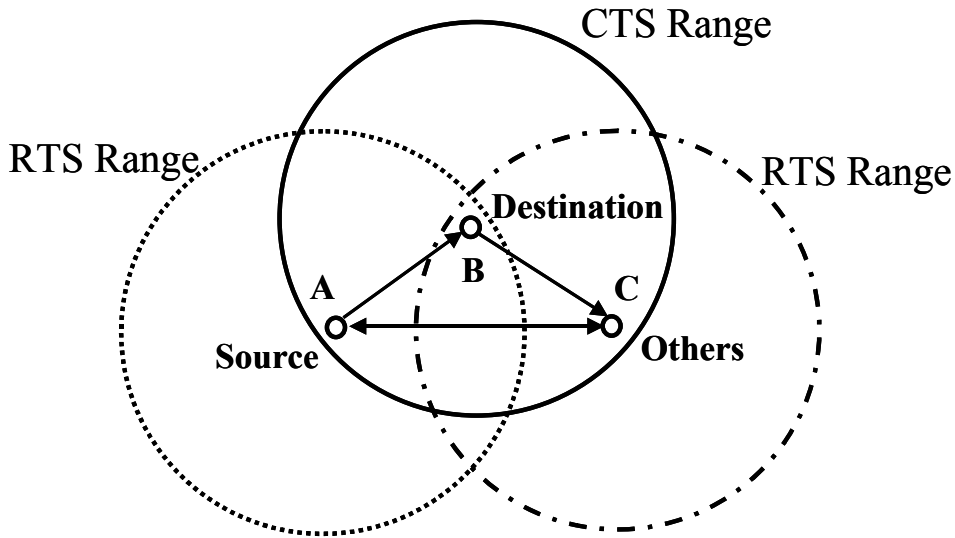
“Frame Body” 필드는 각각의 프레임 Type과 Subtype에 따라 길이가 달라지는 필드로 최대 길이는 MSDU와 ICV (Integrity Check Value), 그리고 IV (Initialization Vector) 값을 합친 값이 2,312 바이트를 넘지 않으면 된다.

끝으로 “FCS” 필드는 32 bit의 CRC (Cyclic Redundancy Code)를 갖는 필드로 다음과 같은 32차의 생성 다항식을 이용하여 FCS가 계산된다:

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1 \quad (3.1)$$

IEEE802.11의 MAC 알고리즘은 CSMA/CA를 사용하였다. CSMA/CA가 CSMA/CD와 다른 점은 <그림 3-6>을 보면 쉽게 이해할 수 있다. <그림 3-6>에 나타난 바와 같이 단말기 B는 Source A의 전파 도달 거리 안에 있으므로 A가 보낸 RTS 신호를 감지할 수 있지만 이 도달 거리 밖에 있는 다른

노드 C



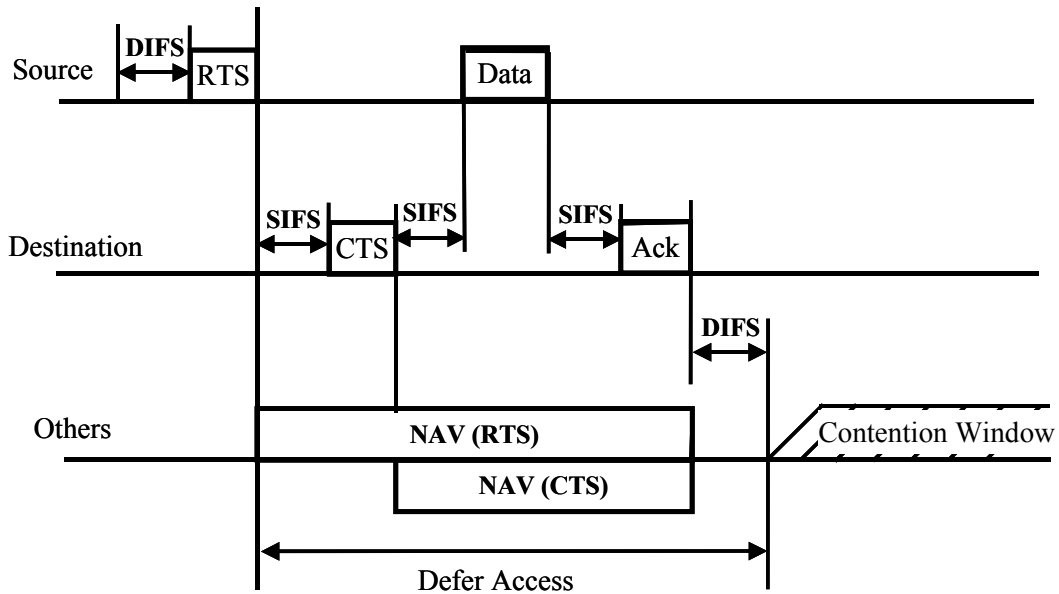
<그림 3-6> Hidden Node Problem

의 경우 A의 RTS를 감지할 수 없으므로 A가 보낸 RTS를 C는 알지 못하게 된다. 따라서 A와 동시에 C도 RTS를 보낼 가능성이 있게 되어 데이터 전송을 개시하는 데에 문제가 발생할 수 있다. 이와 같은 문제를 “Hidden Node Problem”이라 하며 B가 A로부터 RTS 신호를 받으면 이를 B의 전파 도달 거리 내에 있는 모든 단말기에게 CTS 신호를 보내 <그림 3-7>에 보인 바와 같이 NAV(Network Allocation Vector)를 다시 Setting함으로써 이러한 Hidden Node 문제를 해소하는 것이 CSMA/CA이다.

<그림 3-7>에서 DIFS(DCF Inter Frame Space) 시간이 지나면 모든 단말기는 RF 신호로 전파되는 Carrier를 감지하여 RTS를 보낼 수 있는지를 판단한다. 이 때 Source인 A가 DIFS 시간 이후에 RTS를 보내면 이 RTS 신호를 받은 다른 모든 단말기들은 즉시 자신의 NAV를 설정한다. 그러나 Hidden Node가 있을 경우 RF신호의 충돌을 피하기 위하여 수신 단말기인 B는 RTS를 받은 이후 SIFS (Short Inter Frame Space)의 시간이 지난 후 CTS 신호를 보내 자기 주변의 모든 단말기들에게 다시 NAV를 설정하도록 유도하는 것이다. 이와 같이 함으로써 Hidden Node Problem은 해결되었지만 CSMA/CD에 비해 전송 효율은 더 나빠진 결과를 야기시킨 셈이 되었다. 즉 유럽의 HiperLAN Type 2에서는 TDMA/TDD 방식을 이용하기 때문에 이와 같은 시간의 낭비도 없을 뿐만 아니라 QoS도 지원해 줄 수 있지만 IEEE802.11 위원회에서는 무선



통신 시스템이 제공할 수 있는 같은 우선 순위를 갖는 단말기들 사이의 다중

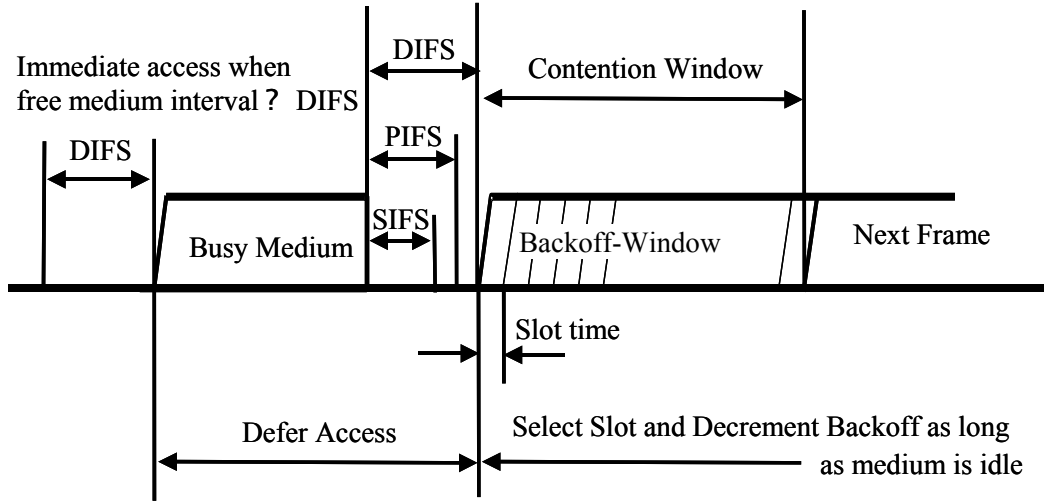


<그림 3-7> CSMA/CA for MAC (Medium Access Control)

접속 방식으로는 CSMA/CA Algorithm을 고수하고 있으며, IEEE802.11 표준이 제공하는 PCF (Poinr Cordination Function)와 HCF 등을 이용함으로써 HiperLAN Type 2보다 나은 MAC이 되도록 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다.

IEEE802.11 표준이 채택한 MAC 방식은 이미 언급하였듯이 CSMA/CA이다. CSMA/CA 알고리즘을 동작하게 하는 가장 중요한 개념은 프레임 사이의 시간을 정의한 IFS(Inter-Frame Space) 개념의 도입이다. 이 IFS에는 가장 짧은 SIFS(Short Inter-Frame Space)와 두 번째로 긴 PIFS(PCF Inter-Frame Space), 그리고 세 번째로 긴 DIFS(DCF Inter-Frame Space)와 가장 긴 EIFS(Extended Inter-Frame Space)가 있다. 이러한 시간 단위의 프레임 사이의 시간 간격의 길이를 <그림 3-8>에 나타내었다. 먼저 가장 왼 쪽에 보이는 DIFS 시간이 지나면 어느 단말기가 무선채널을 점유하여 데이터를 송신하게 된다. 송신을 마치면 매질이 사용되지 않게 되는데 데이터 송신과 ACK 사이의 시간인 SIFS 시간이 지나고 PCF가 제어하는 PIFS 시간도 지난 후 DIFS 시간이 지나는데 동안 아무도 매체를 사용하지 않으면 이 때부터 데이터를 전송하려는 단말기는 서로 경쟁을 시작하여 매질을 점유하려는 시도를 하게 된다. 이렇게 서로 매질을 점유할 수 있게 충돌할 수 있는 구간을 “Contention Window”라

부르며 이 구간 동안 어느 단말기가 이미 채널을 점유하면 나머지 단말기는 데



<그림 3-8> DCF를 위한 IFS 사이의 관계

이터를 전송할 상황이라도 Slot Time의 랜덤 정수 배만큼 뒤로 물러나 기다리면서 채널의 사용 여부를 기다린다. 이 기간을 Radom Back-Off 기간이라 한다. 그리고 RF 신호를 감지하여 채널의 사용이 가능하다는 사실을 알게 되면 이 때 자신이 전송하려는 데이터를 전송하게 되는 방식이다. 이와 같은 SIFS와 PIFS, 그리고 DIFS를 구체적인 시간으로 정의한 IFS 사이의 관계가 <그림 3-9>에 나타나 있다.

<그림 3-9>에 나타난 바와 같이 SIFS 시간과 aSlotTime은 PHY에 따라 고정된 시간으로 다음과 같이 주어진다:

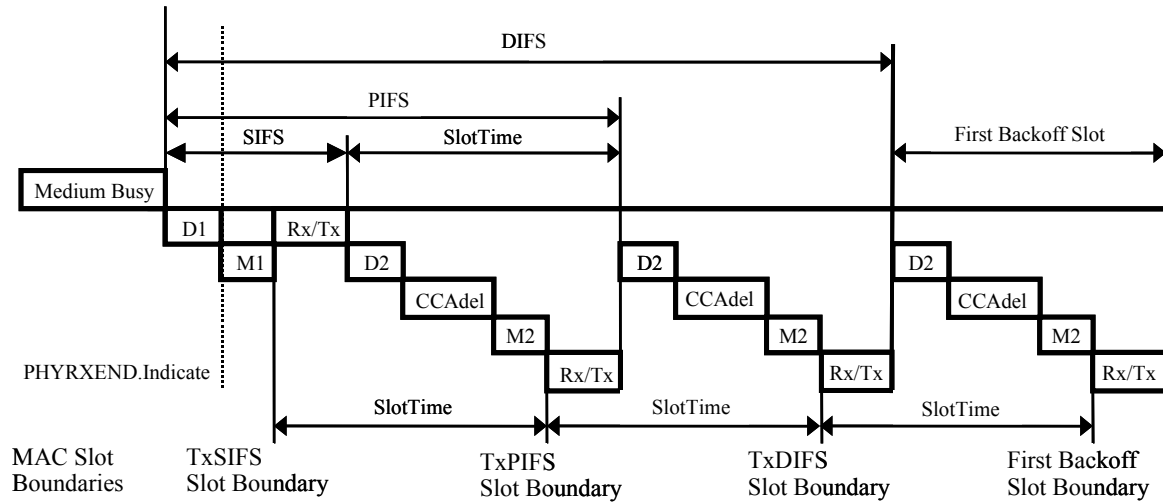
$$\begin{aligned} aSIFSTime &= aRxRFDelay + aRXPLCPDelay + aMACProcessingDelay \\ &\quad + aRxTxTurnaroundTime \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} aSlotTime &= aCCATime + aRxTxTurnaroundTime \\ &\quad + aAirPropagationTime + aMACProcessingDelay \end{aligned} \quad (3.3)$$

그리고 PIFS 시간과 DIFS 시간은 다음과 같은 식으로 유도된다:

$$PIFS = aSIFSTime + aSlotTime \quad (3.4)$$

$$DIFS = aSIFSTime + 2 \times aSlotTime \quad (3.5)$$



**D1 = aRxRFDelay + aRxPLCPDelay (Referenced from the end of the last symbol of a frame on the medium)**

**D2 = D1 + AirPropagationTime**

**Rx/Tx = aRxTxTurnaroundTime (Begins with PHYTXSTART.request)**

**M1 = M2 = aMACPrcDelay**

**CCAAdel = aCCATime - D1**

<그림 3-9> IEEE802.11-1999의 IFS (InetrFrame Space) 정의

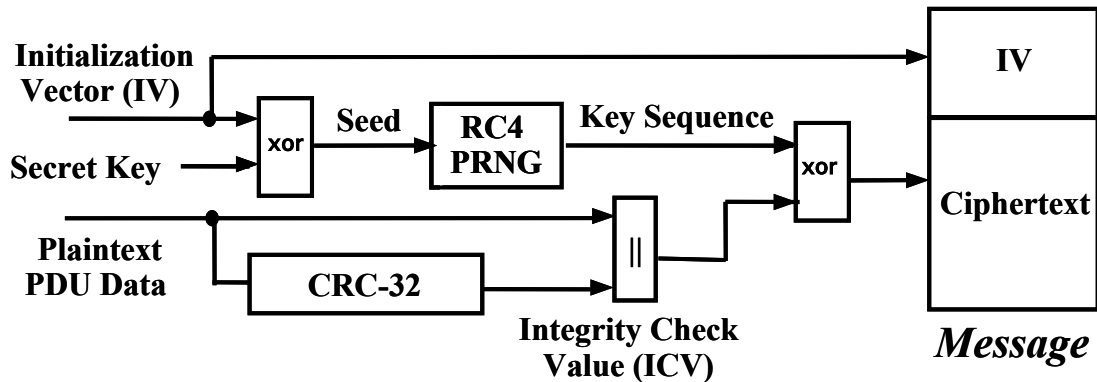
끝으로 EIFS 시간은 SIFS와 DIFS 시간에 ACK 제어 신호를 1 Mbps의 속도로 전송할 때 걸리는 시간의 길이로 결정되며 다음의 수식에 의해 주어진다:

$$\begin{aligned} \text{EIFS} = & \text{aSIFSTime} + (8 \times \text{ACKSize}) + \text{aPreambleLength} \\ & + \text{aPLCPHeaderLength} + \text{DIFS} \end{aligned} \quad (3.6)$$

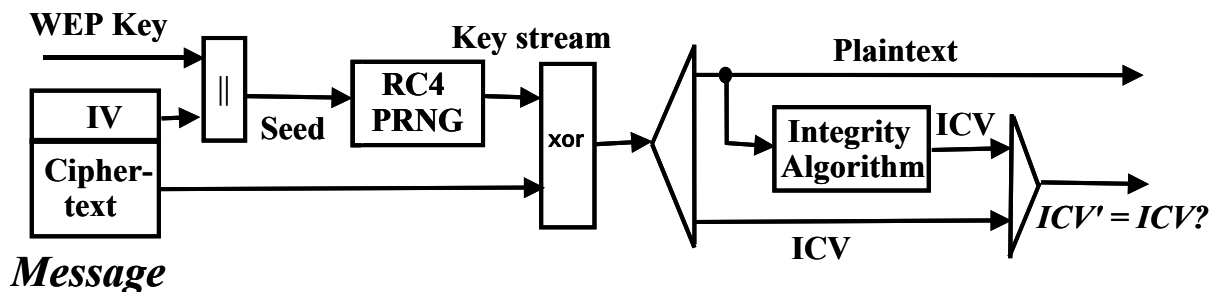
IEEE802.11 표준은 무선을 이용한 데이터 통신 시스템이므로 유선 환경과는 달리 송신 단말기가 데이터를 보낼 때 이 데이터는 송신 단말기의 전파 도달 거리 내에 있는 모든 다른 단말기도 이 데이터를 수신할 수 있게 된다. 따라서 모든 무선 통신 시스템이 그러하듯이 데이터의 보안 방식은 매우 중요한 일 중의 하나이다. 또한 내가 원하지 않는 단말기는 나의 데이터를 받더라도 인증 절차를 거친 후 연관을 허용하여 통신을 가능하게 하는 방식을 택하고 있다.

무선 랜 환경에서의 보안은 크게 둘로 구분된다. 무선 구간에서의 암호화는 WEP (Wired Equivalent Privacy)을 이용한 데이터 보안 (Confidentiality)이 이

루어지며, 허가받지 않은 사용자의 네트워크 접속을 차단하고 인증된 사용자에게



<그림 3-10> WEP Encapsulation 방법



<그림 3-11> WEP Decapsulation 방법

게만 네트워크 자원에서의 접속을 허용하는 접근 제어 및 인증 방식으로 IEEE802.1x가 권고하는 Port-based 접근 제어 기법을 이용하고 있다. WEP은 유선과 동등한 수준의 보안을 제공하려는 목적으로 AP와 단말이 공유한 세션 키를 이용하여 데이터를 암호화함으로써 보호 기능을 수행하게 하였다. WEP은 <그림 3-10>에 보인 바와 같이 비밀 키를 사용하여 RC4 (Rivest Cipher 4) 기법에 의해 데이터를 암호화하고 이를 Ciphertext로 바꾼 후 전송한다. 그리고 <그림 3-11>에 보인 복호화 방법을 이용하여 Plaintext를 찾아 내는 방법을 사용하고 있다.

WEP은 비밀 키를 찾는 데에 따르는 어려움과 비밀 키 및 IV를 수시로 바꿈으로써 얻을 수 있는 암호화 기법의 강인성, 그리고 매 메시지마다 자기 동기화 된다는 점, 그리고 하드웨어와 소프트웨어로 구현하기 쉽다는 이유 등으로 각광을 받았다. 그러나 키가 변하지 않은 공유 키이며 중앙 집중식으로 관리되지 않고 IV가 40 Bit로 비교적 짧으며 다른 독립적인 Database를 필요로 할 뿐만 아니라 RC-4 암호화 기법은 1995년에 Brute-Force Search 기법에 의해 32

시간만에 깨진 암호화 기법이다. 그리고 이 키를 분실하게 되면 다시 찾을 수 없는 것도 단점 중의 하나로 인식되고 있다. 또한 접근 제어 방식으로서는 단말의 MAC 주소를 사전에 등록하여 등록된 단말만의 접속을 허용하는 방식을 채택하였는데 이 방식의 문제는 사용자 인증이 아닌 컴퓨터, 즉 랜 카드의 인증 방식이므로 랜 카드의 분실 시 문제가 발생할 뿐만 아니라 관리 및 확장성에도 문제가 있는 방식이었다.

이와 같은 데이터 보안의 문제를 해소하기 위해 IEEE802.11i TG 에서는 보다 강화된 보안 기법을 검토중다. 다만 접근 제어 방식으로 사용한 IEEE802.1X 방식은 동적인 세션 키를 관리하므로 Dictionary Attack 가능성을 차단할 수 있고 RADIUS나 EAP 등과 같은 기본 표준을 사용하였으며 사용자를 기반으로 인증해 주는 방식을 채택하였다. 또한 RADIUS를 이용하여 중앙 집중식의 사용자 관리가 가능하며 Ethernet이나 WLAN과 같은 다양한 매체를 지원할 수 있는 장점이 있다.

지금까지는 1999년에 발표된 IEEE802.11 표준에 대해 기본적인 MAC의 동작 방식에 대해 설명하였다. 이미 언급하였듯이 이 표준은 MAC과 PHY에 대한 사양을 정의하였으며 PHY는 2.4 GHz의 ISM 밴드를 이용하여 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 변조 방식과 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) 방식 및 Infrared를 이용해 1 Mbps와 2 Mbps의 전송 속도를 제공하는 PHY 및 MAC 프로토콜을 정의하고 있다.

한편 IEEE802.11a 표준은 5GHz U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure) 대역에서 OFDM 방식을 이용하여 최대 54 Mbps의 전송 속도를 지원하는 PHY 규격이며 역시 1999년 9월 완료되었다. 그리고 이와 같은 시기에 2.4 GHz ISM 밴드를 이용하여 최대 11 Mbps의 전송 속도를 지원하는 IEEE802.11b 표준이 완성되었다. 현재 가장 먼저 제품이 출시되어 많은 사업자와 사용자를 보유하고 있는 무선 랜 기술은 IEEE802.11b 표준에 준거한 제품들이며 2002년 1월 현재 IEEE802.11a 표준을 따르는 AP와 PC Card 제품들도 이미 시장에 선보이고 있는 상황이다.

본 절에서는 IEEE802.11 표준의 MAC에 대해 주로 다루었으며 이미 표준이 확정된 IEEE802.11a, b, c, d 등에 대해서는 자세히 다루지 않았다. 그 내용이 방대할 뿐만 아니라 본 연구에 직접적으로 필요한 부분이 아니기 때문이다. 제 4장에서는 무선 홈 네트워킹을 위한 전파 환경 및 전파 특성에 대해 설명하겠다.

## 제 4장 무선 홈 네트워킹을 위한 전파환경 및 전파특성 연구

### 제 4-1절 서론

본 장에서는 무선 홈네트워킹 기술이 구현될 5GHz대 주파수 자원의 국내외 이용 동향과 전파특성 중 서비스 구현이 예상되는 일반 주거 환경 등 실내전파 환경에서의 5GHz대 전파특성을 분석하기 위한 연구 내용을 기술하였다. 우선 무선 홈 네트워킹 기술이 구현될 5GHz대역 주파수 이용의 국제적인 흐름을 미국, 유럽, 그리고 일본을 중심으로 조사하였으며, 특히 국제주파수 분배를 담당하는 WRC관련 ITU-R의 최근 연구활동과 향후 전망에 대한 내용을 기술하였다. 그리고 우리 나라의 주거 전파환경 중 비교적 Worst Case에 해당하는 아파트 주거 환경을 중심으로 무선 홈네트워킹 기술 구현을 고려한 옥내에서의 전파전파 특성을 다양한 측정 시나리오를 수립하여 수행하였으며, 광대역 통신 시스템에서 전파특성을 분석을 위한 파라미터를 중심으로 다양한 실험을 수행하였다.

### 제 4-2절 5GHz대역 국제 주파수 이용 현황 및 전망

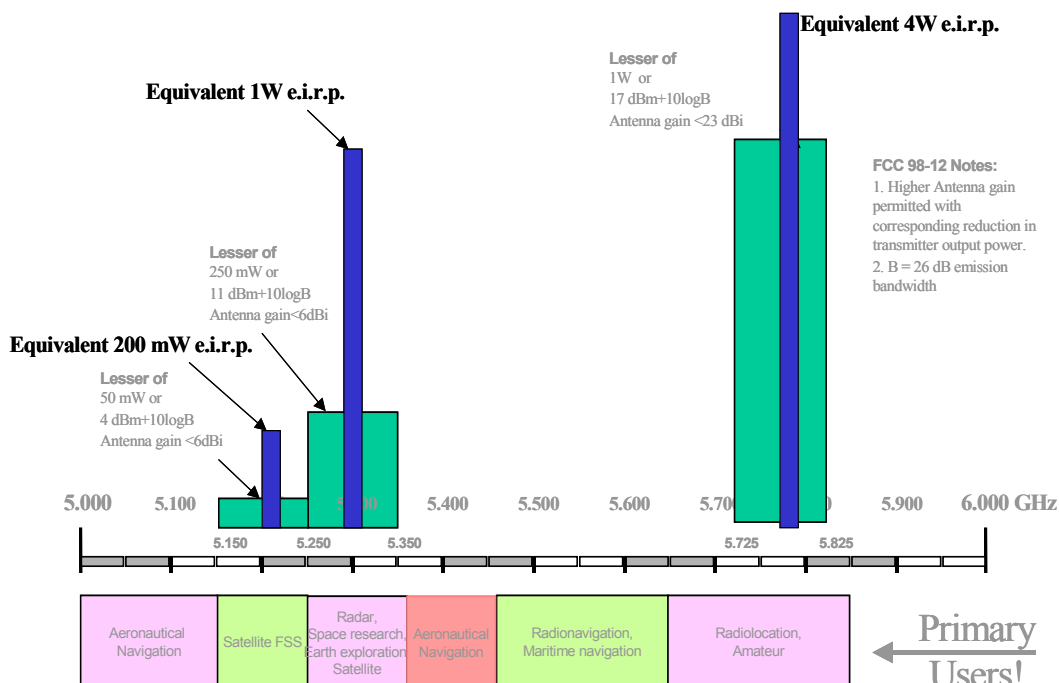
국제적으로 5GHz대역을 초고속 무선서비스 이용이 가능한 주파수 대역으로 활용하기 위한 연구가 있었으며, 미국, 유럽 등 선진 주요 국가 별로 주파수 분배 또한 이루어진 상태이다. 특히 미국, 유럽, 일본을 중심으로 무선 LAN 등의 기술이 개발되고 있으며, 관련 서비스 또한 준비중에 있다. 우리 나라는 2003년에 개최될 WRC에서 5GHz대역을 무선 랜 등과 같은 이동업무로 국제주파수 분배 지지를 계획하고 있으며, 그 이후 국내 주파수 이용 방안 수립에 따른 5GHz대역 주파수 분배 및 할당이 계획될 것이다. 무선을 이용한 홈 네트워킹 기술 구현을 위한 주파수 대역은 현재 이용 가능한 ISM대역인 5GHz대역의 5.725-5.825GHz 이외에 2003년 이후에는 5.150-5.350GHz대역 또한 이용이 가능한 후보대역으로 고려되고 있다. 다음은 미국, 유럽, 일본 등의 5GHz대 주파수 이용 현황을 정리

하였다.

#### 4-2-1 미국의 주파수 이용동향

미국 FCC는 1997년 1월, 5GHz대역에 대하여 국가 정보 인프라망 구축 차원에서 UNII(Unlicensed National Information Infrastructure) 밴드로 지정하여 이용을 권고하였다. 이 권고안을 살펴보면, 관련 산업활성화 차원에서 상당히 완화된 주파수 이용지침을 제시하였다. <그림 4-1>과 <표 4-1>은 미국의 5GHz 대역 주파수의 이용 현황을 나타낸 그림이다.

<그림 4-1>과 <표 4-1>에서 알 수 있듯이 미국은 5.150~5.350GHz의 200MHz대역을 무선LAN이 가능한 대역으로 할당하고 있으며, 또한 특히 5.250~5.350GHz의 100MHz대역은 실외에서도 사용이 가능한 대역으로 일부 FWA등의 Point-Multi Point의 무선서비스가 가능한 대역으로 활용 중에 있다. 또한 5.725~5.825GHz의 100MHz대역도 Omni 안테나를 사용 최대 4W까지 송신출력이 가능하도록 주파수 이용정책을 제시하였다.



<그림 4-1> 미국(FCC)의 5GHz대역 주파수 분배 현황

<표 4-1> 미국의 주파수 이용기준

주파수 대역	주파수	최대출력전력
UNII Lower Band	5.150 - 5.250GHz	Minimum of 50mW or 4dBm + 10logB
UNII Middle Band	5.250 - 5.350GHz	Minimum of 250mW or 11dBm + 10logB
UNII Upper Band	5.725 - 5.825GHz	Minimum of 1W or 17dBm + 10logB
B: -26dB Emission Bandwidth in Mhz		

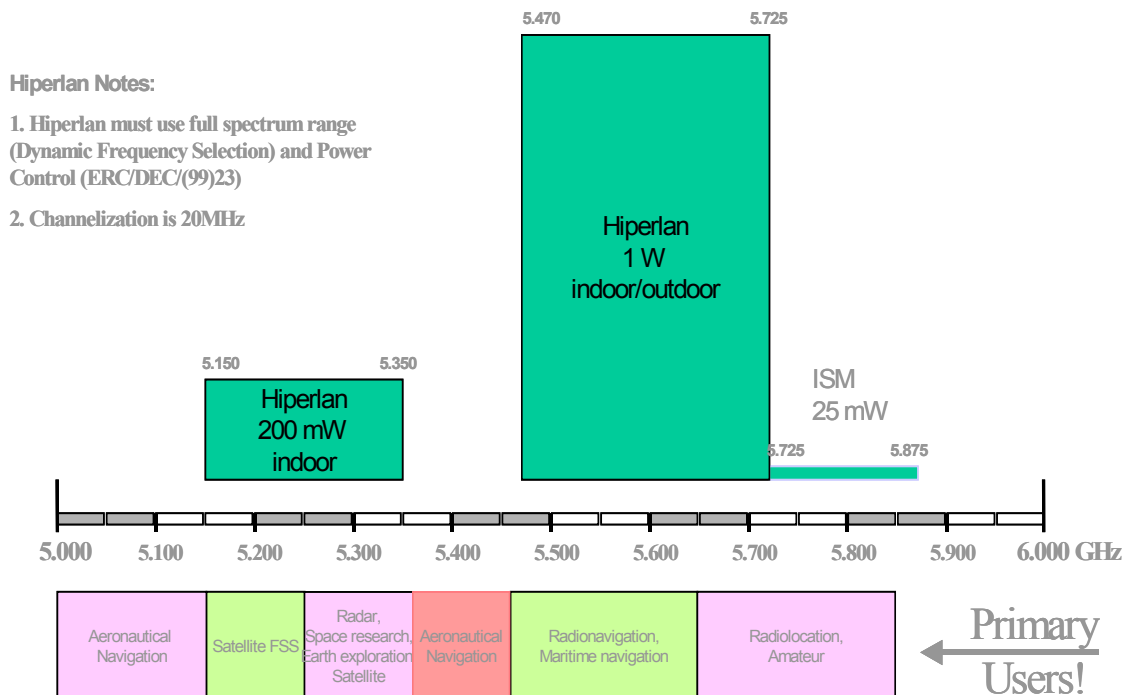
#### 4-2-2 유럽의 주파수 이용동향

유럽은 1992년경부터 향후 PC나 노트북 등과 같은 업무용 장비간의 네트워크와 가정 내의 가전, 그리고 PC 등의 무선 네트워크에 대한 요구가 증가할 것을 예상하여 RLAN에 대한 연구와 준비를 해왔다. 지난 1996년 ERC(European Radiocommunications Committee)는 ERC/DEC/(96)03에서 HIPERLAN을 위한 주파수로 5.150-5.250GHz대역을 지정하였고, 그 이후 1998년 ETSI의 요청으로 ERC에서는 증가하는 향후 멀티미디어 서비스를 수용하기 위해 HIPERLAN을 위한 5GHz대역 추가 주파수 지정을 위한 연구를 진행하였다. <그림 4-2>와 <표 4-2>에 유럽의 주파수 분배와 관련한 주파수 이용 방안을 설명하였다.

#### 4-2-3 일본의 주파수 이용동향

1999년 11월 우정성은 5GHz대역 중 5.150-5.250GHz대역을 Broadband Mobile Access System에서의 기술적 조건에 관한 전기통신 기술심의회 보고서에서 <표 4-3>과 같은 주파수 분배 및 기술적 조건을 제시하였다. 그 이외에 5.250-5.350GHz대역에 대한 주파수 이용검토를 우정성 산하 전기통신기술 심의회에 의뢰하였으며, 그 결과 무선랜 등 이동업무로 인한 동 주파수자원 이용은 기존 무선 설비인 레이더와 지구탐사위성 업무와의 주파수 간섭이 예상되어 무선 랜 등의 이동업무용 주파수 이용은 불가능한 것으로 결론지었다.





<그림 4-2> 유럽(CEPT)의 5GHz대역 주파수 분배현황

<표 4-2> 유럽의 주파수 분배 현황

주파수 대역	주파수	최대 평균출력전력
Band A (Indoor)	5.150 - 5.350GHz	200mW EIRP
Band B (In/Outdoor)	5.470 - 5.725GHz	1W EIRP
	5.725 - 5.825GHz	25mW EIRP

<표 4-3> 일본의 주파수 분배 현황

주파수 대역	채널 수	할당 및 지정 주파수	점유주파수 대역폭	최대 평균출력전력
5.150-5.250GHz	4개	5.170, 5.190, 5.210, 5.230GHz	18MHz이내	10mW/MHz 이하

#### 4-2-4 ITU-R 및 WRC 국제주파수 분배 연구동향

국제 주파수 분배를 결정하는 세계전파통신회의(WRC-2000)가 2000년 5월 터키 이스탄불에서 열렸으며, 이 회의에서 5GHz대역의 국제 주파수 분배와 관련한 국제 결의가 있었다. “결의 736”의 Resolves 1은 5GHz대역에서의 455MHz 대역을 이동업무가 가능하도록 국제 주파수를 개정하는 사항을 WRC-2003에 결정하기로 하였다. 본 사항은 WRC 의제 1.5에 해당한다. “결의 736”의 4개의 Resolves를 검토하여 5GHz대역 국제 주파수 분배를 연구하고자 관련 ITU-R의 연구반인 WP4A, WP7C, WP8B, WP9B 그리고 JRG8A-9B가 공동으로 전담반을 구성한 JTG4.7.8.9가 지난 2000년 9월 제네바에서 제 1차 회의를 시작으로 결성되었다. JTG4.7.8.9 산하에 4 개의 Working Group으로 나뉘어 작업을 하였으며, Resolve 1에서 Resolve 4의 각각의 소 작업반을 나누어 해당 주제에 대한 기고문 검토와 CPM Text Chapter 2.2절 작성을 수행하였다. 2002년 5월초 제네바에서 본 JTG4.7.8.9의 마지막 회의인 제 3차 회의가 개최되었으며, CPM Text의 해당 파트인 2.2절 문안 작성을 마무리하였다. CPM 보고서 2.2절(WRC 의제 1.5)인 5GHz대역 국제 주파수 분배에 관한 국제 합의 사항을 요약 정리하면 <표 4-4>와 같다.

#### 제 4-3절 가정 내 무선 홈 네트워킹 기술을 고려한 전파특성 연구

앞 절에서도 언급하였듯이, 향후의 홈 네트워킹 기술은 무선으로 발전할 것이며, HD급의 대용량 디지털 데이터를 대내 정보 가전 기기간에 실시간으로 전송할 수 있을 정도의 기술 요구사항을 만족하도록 구현될 것이다. 이러한 사실을 고려할 때 현재 5GHz대역을 이용한 무선 랜 기술인 IEEE802.11a의 전송 성능을 응용한 홈 네트워킹 기술은 기존의 가전기기 성능과 활용에 많은 변화를 가져올 것으로 예상된다.

본 절에서는 향후 무선 홈 네트워킹 기술이 구현될 우리 나라 가정 구조물 환경에서 전파의 특성 실험 등 연구를 수행하였으며, 특히 아파트와 같이 구조적으로 개개의 가정환경이 조밀하게 밀집되어있는 한국의 전파환경을 중점 연구대상으로 하였다. 실내에서의 전파전파의 특성은 옥외의 전파특성과는 달리 눈, 비, 구름, 기온의 변화와 같은 요인에 의해 변화되지 않고, 실내 구조의 크

<표 4-4> 5GHz대역 국제주파수 분배연구 동향

주제별 분류	JTG4-7-8-9 합의사항
Resolves 1 (RLAN 등 이동업무 주파수분배)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5150~5250MHz는 실내용을 출력 최대 200mW 이하로 사용할 수 있다는 방안과 5250~5350MHz은 실내 200mW, 실외 최대 1W의 주파수 공유기술(DFS, TPC)의 강제 적용을 전제로 이용할 수 있다는 주파수 이용 방안을 마련</li> <li>- 5470~5725MHz는 실내외 최대 1W의 주파수 공유기술(DFS, TPC)의 강제 적용을 전제로 이용할 수 있는 주파수 이용방안을 합의하였으나, WP8B에서 연구 진행중인 레이더 업무와 간섭에 대한 연구 결과를 준수키로 함</li> </ul>
Resolves 2 (FWA 등 고정업무 주파수 분배)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CPM 보고서(안) 최종문안에 Region 3에서 FWA를 원하는 일부 국가에 한하여 Resolves 1의 이동업무용 국제 주파수 분배 이외에 추가적으로 5250~5350MHz 대역을 Region 3 일부 국가에서 FWA용 고정 업무로 분배한다는 문안 추가 합의</li> </ul>
Resolves 3 (EESS 등 위성업무 주파수 분배)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wirelss Access System(RLAN포함)과 EESS, SRS 등 위성 업무간의 간섭문제와 관련하여서는 Resloves 1의 5150~5350, 5470~5725MHz대역에서 RLAN 이동 업무용 주파수 이용 방안을 참조하기로 합의함</li> </ul>
Resolves 4 (Radar 등 무선측위업무 주파수 분배)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5350~5570MHz 대역에서 국제적으로 이용되고 있는 EESS 지구탐사 위성업무와 무선측위 업무간의 간섭은 없는 것으로 분석되었으나(권고안 SA1280 참고), 특히 5350~5650MHz 대역에서 이용되고 있는 무선험해(인명, 안전) 업무를 무선측위 업무로부터 보호한다는 Footnote 작성을 고려하기로 함.</li> <li>- Wirelss Access System(RLAN포함)과 무선 측위 업무간의 간섭문제와 관련하여서는 Resloves 1의 5150~5350, 5470~5725MHz대역에서 RALN 이동업무용 주파수 이용 방안을 참조하기로 함.</li> </ul>

기, 모양, 벽면 재질과 벽면 구조물 등에 의해 크게 영향을 받으며 옥외보다 복잡한 다중경로 현상을 겪는 것으로 알려져 있다. 무선 홈 네트워킹의 구현기술은 OFDM의 통신방식을 이용한 Wideband 채널 특성을 가지고 있으므로, 이러한 전파 특성을 정확히 분석하기 위한 실험 시나리오를 고려하여 전파 특성 분석을 위한 측정과, 이에 대한 분석을 수행하였다.

#### 4-3-1 실험 시나리오 및 측정장비

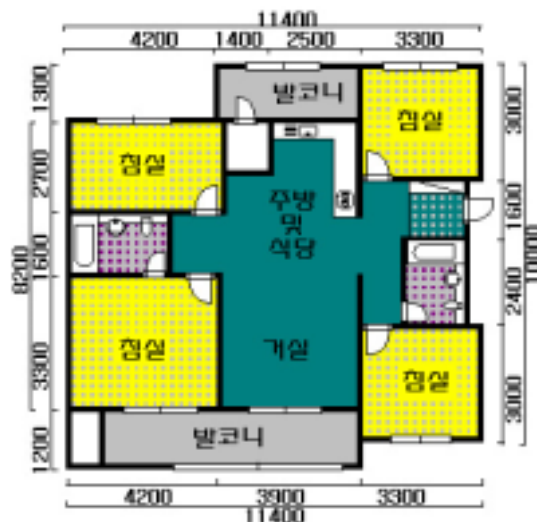
무선 홈 네트워킹의 기술 구현 상 다른 나라와 비교하여 우리 나라의 주거환경의 특징 중 하나인 대단위 아파트 주거 형태를 우선의 실험 환경으로 고려하였다. <그림 4-3>은 아파트 주거환경의 실제 그림이다. 또한 <그림 4-4>는 25평형의 아파트 주거환경의 단면 구조도이다. 벽면간의 거리가 10m 정도로 비교적 단순한 구조 환경으로 분류될 수 있으며, 거실에 무선 홈 네트워크를 위한 송신기가 설치된다고 가정한다면, 벽면 한 개 정도의 장애물 이외에 거의 가시권 영역에 수신지점이 존재한다.



<그림 4-3> 밀집 주거지역인 아파트 주거환경 그림



<그림 4-4> 25평 아파트의 전형적인 단면 구조도



<그림 4-5> 35평 아파트의 전형적인 단면 구조도

<그림 4-5>는 35평형 아파트의 전형적인 단면 구조도이다. 벽면간의 거리가 11m 정도로 위 25평형 보다는 조금 복잡한 구조 환경으로 분류될 수 있으며, 거실에 무선 홈 네트워크를 위한 송신기가 설치된다고 가정한다면, 수신기까지 벽면 한 개 정도의 장애물 이외에 거의 없다고 할 수 있다.

그 이외의 실험 시나리오는 보다 복잡하고, 큰 평형의 아파트를 실내 구조 환경에서의 전파특성을 연구 계획하고 있으며, 이웃 가정간의 전파 투과 영향과 윗 층과 아랫 층간의 전파 투과 영향 분석 또한 실험 시나리오에 포함하여 다

양한 전파환경에서의 연구를 계획하였다.

<그림 4-6>은 5GHz대역 주파수를 이용하는 무선 랜 AP 및 NIC 카드의 사진이며, 실험을 위한 연구 시스템은 <그림 4-7>에 송신부와 <그림 4-8>에 나타난 수신부 사진과 같이 구성하였다. 그리고 송신부와 수신부의 각각의 사용 장비에 대한 내역은 <표 4-5>와 같다.



<그림 4-6> 5GHz 대역 주파수 이용 무선 랜 AP 및 NIC 그림



<그림 4-7> 수신부



<그림 4-8> 송신부

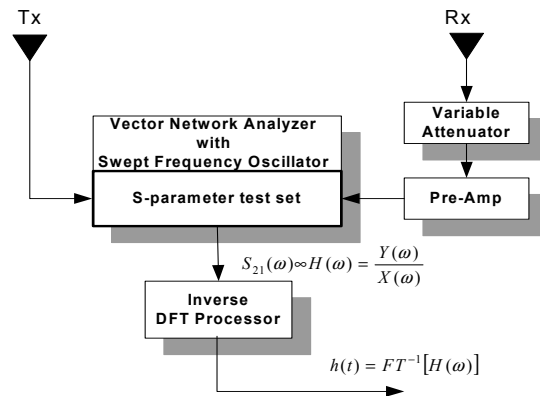
<표 4-5> 송·수신부 장비 내역

항 목	사 양	비 고
안테나	3dBi (Type: Omni)	
신호발생기	5.3GHz (Marconi2052)	
앰프	최대20W출력 (AI 20T4G18)	
스펙트럼분석기	최대40GHz (HP8564e)	
계측기 제어	HP VEE 6.0	
전송성능 분석	Chariot 4.0	
제어기	Notebook	
전원공급기	UPS(2시간-용)	
무선랜1	IEEE802.11a (Proxim Harmony, US)	
무선랜2	IEEE802.11a (Sony Japan)	

## 제 4-4절 전파 측정 및 분석

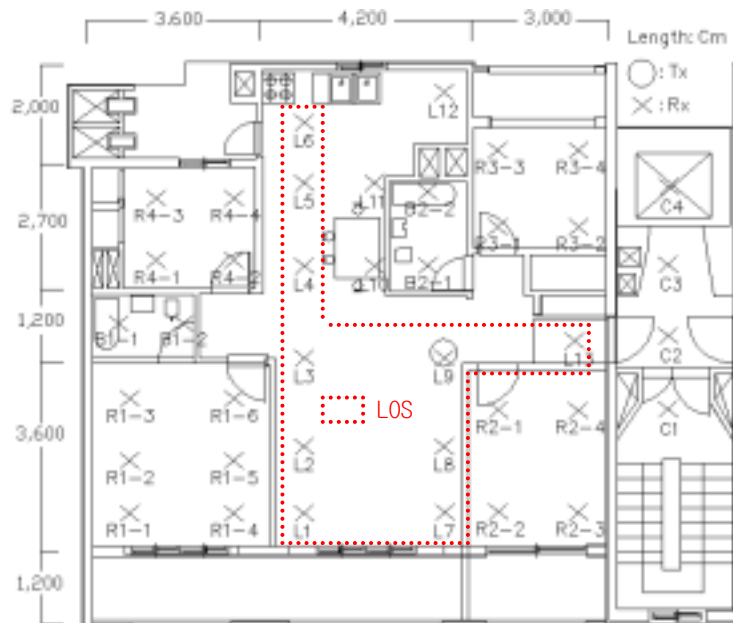
### 4-4-1 측정

<그림 4-9>는 본 논문에서 사용한 광대역 채널 특성 측정 방법인 주파수 영역 변환 방식으로서 대역내의 일정한 주파수를 샘플링하여 주파수 응답을 구하고 이를 역푸리에 변환하여 시간영역 특성으로부터 채널의 주파수축상의 페이딩을 관찰할 수 있다[10]. 송수신이 하나로 되어 있기 때문에 송수신 사이의 동기가 불필요하고 시스템의 구성도 간단하게 구현할 수 있지만 송수신단을 서로 분리시킬 수 없으므로 거리에 따른 제한이 있어 주로 가까운 거리에서만 측정이 가능하다. 반면에 대역폭이 넓을수록 측정 분해능이 좋아지므로 실내 전파 환경에서 짧은 반사경로를 가지는 지연 신호의 측정에 유리하다.



<그림 4-9> 주파수 영역 변환 방식 시스템

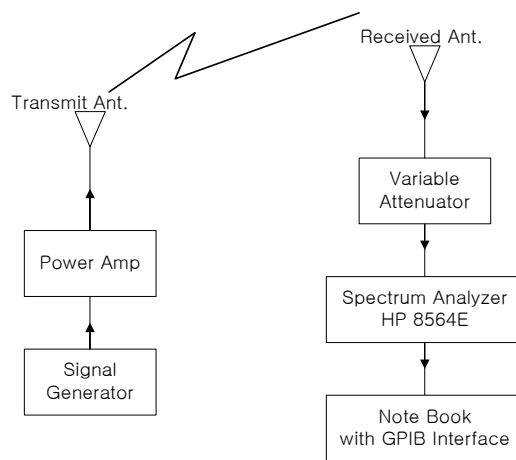
2.4GHz ISM 대역 및 5GHz 대역의 채널 특성에 대한 파라미터로 수신 전계강도, Power Delay Profile 등을 측정하였다. 802.11 시스템의 일반적인 무선 성능은 AP 사이의 거리, 다른 AP와의 간섭, 사용자 수 등의 다양한 외부 환경에 의해 주요한 영향을 받는다. 고정된 송신기에 대하여 각 수신점에서의 데이터를 획득하기 위해 PC(노트북)에 802.11 WLAN Client Card 및 GPIB Card로 Spectrum Analyzer, Network Analyzer를 연결하고 이를 VEE 프로그램으로 제어하는 방법으로 수행하였다. <그림 4-10>은 측정 건물에 대한 송수신단 위치와 평면도를 나타낸 것이다.



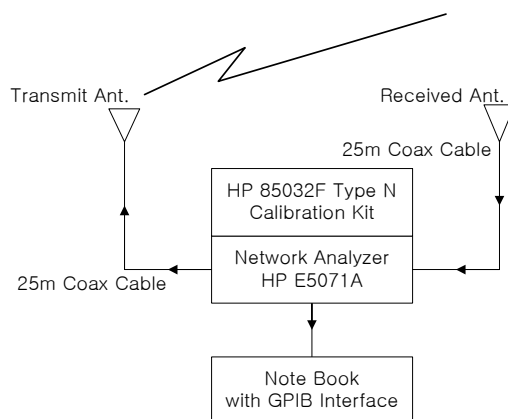
<그림 4-10> 아파트 평면도 및 측정점 위치



<그림 4-10>의 아파트 및 <그림 4-3>의 대형 사무실 환경에 대한 실내 전파 특성을 LOS 환경 및 NLOS 환경에 대해 실시하였다. 아파트의 전체 크기는 10.8m×10.7m×2.7m(높이)이며, 중앙의 거실을 통해 각 Room 들이 분리되어 있으며, 각각의 방은 블럭(콘크리트)에 의해 완전하게 분리되어 있고 내부 장식물은 목재 옷장, 책꽂이, 침대 등을 비롯해 알루미늄 창틀로 된 유리창과 철재 출입문으로 구성되어 있다. 대형 사무실은 42m×22m×2.7m(높이)이며, 일반적인 사무실 칸막이, 책상, 컴퓨터, 의자, 책꽂이 등으로 구성되어 있으며 바닥은 카페트로 되어 있다. <그림 4-11>과 <그림 4-12>는 수신 전력 및 전력 지연 프로파일의 측정 시스템 구성도이다.



<그림 4-11> 수신 전력 측정 시스템 구성도



<그림 4-12> 전력 지연 프로파일 측정 시스템 구성도

<표 4-6> 수신 전력 및 전력지연 프로파일 측정 시스템 구성 사양

구 분	측 정 도 구	제 품 모 델
H/W	Spectrum Analyzer	Hewlett-Packard 8564E
	Network Analyzer	Agilent Technologies E5071A
	Signal Generator	Marconi Digital & Vector Signal Generator 2052
	Amplifier	Amplifier Research 25S1G4 and
	Antenna	2.4GHz 대역 전방향 안테나
	Cable	25m Coaxial Cable
	Attenuator	30dB 가변 감쇠기
	GPIB Card	National Instruments PCMCIA-GPIB
	노트북	Pentim III 900MHz
S/W	운영체제	Windows 2000
	VEE	Hewlett-Packard VEE 5.01

본 실험에서 사용한 주파수는 2.4GHz 및 5.3GHz의 중심 주파수에 200MHz의 대역폭으로 무변조신호를 연속적으로 송신하였다. <그림 4-11>에서와 같이 전력증폭기를 사용하여 케이블이나 커넥터 등에 의한 추가 손실을 보상하고 동작 영역의 범위도 확장하도록 시스템을 구성하였다. 또한 Variable Attenuator는 송수신단 사이의 거리가 짧아 수신되는 신호의 세기가 너무 클 경우, 이를 낮추기 위해 사용하였다. <표 4-6>은 수신 전력 및 전력 지연 프로파일 측정 시스템의 사양에 대해 나타낸 것이다.

실내 전파 환경의 모든 측정에서 송신안테나의 높이와 수신안테나의 높이는 각각 바닥에서 1.8m, 80cm로 고정하고 송신 전력을 50mW로 하였으며, 사용된 송수신 안테나는 모두 전방향 안테나로 하였다. 수신안테나 높이를 80cm로 한 것은 일반적인 사무실 환경에서 책상 높이와 비슷한 실제 사용 공간에서의 특성을 보기 위해서이다. 측정은 다음의 세 가지 절차에 의해 수행하였는데 우선 첫째로 경로 손실을 알아보기 위해 송신기를 거실 중앙 출입문 쪽에 고정시켜 놓고 수신기를 고정된 위치로 이동하면서 LOS와 NLOS 환경에 대해 실시하였다. LOS 환경은 <그림 4-3>와 같은 아파트 환경에서는 송신기로부터 일정한 간격으로 10개를 선정하고, NLOS 환경으로는 각 Room, 출입문 복도, 그리고 엘리베이터 안에 대해 모두 29개의 위치에 대해서 측정하였으며, 대형 사무실

환경에 대해서는 동일층에 대해 그림에서와 같이 60개의 위치에 대해 측정하였다. 다음 두 번째로 RMS 지연 확산을 구하고자 주파수 변환 방식을 적용해 각 수신점에서의 전력지연 프로파일을 측정하였는데, 송수신기가 하나로 되어 있어 지정한 모든 측정점에서의 측정정보는 LOS 및 NLOS 환경에 대한 각 지점에서의 대표 위치를 선정해 데이터를 얻는 방식으로 하였다. 이는 주파수 변환 방식의 단점인 송수신기를 분리할 수 없기 때문에 원거리 측정이 수월하지 않으며, 케이블이 너무 길면 그에 따른 왜곡의 정도가 심하기 때문이다.

실내 전파환경에서 무선 LAN 사용을 위한 광대역 채널의 전파 특성 및 성능 측정 결과로부터 경로손실, 평균 초과 지연, RMS 지연 확산 등의 파라미터를 송·수신안테나가 같은 층에 위치한 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 LOS 환경과 NLOS 환경으로 구분하여 실내 전파 특성을 분석하였다. 층간 전파 특성 측정은 송수신 안테나가 같은 층에 위치하지 않고 서로 다른 층에 위치하게 되는 경우의 전파전파 특성 및 데이터 전송속도를 파악하기 위해서 이루어졌다. 송신기가 있는 층에서 방사된 전파들은 바닥을 투과하거나 층간 매질을 따라 산란 및 회절을 겪으면서 위층 및 아래층으로 전달되며, 위층 및 아래층에서는 다시 복도, 벽, 층 바닥, 천정, 문, 실내 장식물 등과 같은 여러 반사체를 거쳐 전파되는 과정을 겪게 된다.

#### 4-4-2 전파특성의 기본 이론적 고찰

##### 4-4-2-1 일반적인 실내 무선 채널

송신기로부터 나온 신호는 다중 경로를 통해 수신기에 도달하며, 다중 경로 전파 때문에 수신 신호의 크기, 위상 및 도달 각도의 변화가 생기게 되어 페이딩이 발생한다. 일반적으로 이러한 채널은 충격 응답  $h(t, \tau)$ 을 지니는 시변 선형 필터로 나타내어질 수 있으며, 다중 경로 신호들이 존재할 때의 충격 응답  $h(t, \tau)$ 는 식 (4.1a)와 같다.

$$h_b(t, \tau) = \sum_{i=1}^N a_i(t, \tau) \delta(\tau - \tau_i(t)) e^{j\theta_i(t)} \quad (4.1a)$$

위의 식에서  $a_i(t, \tau)$ 는 시간  $t$ 에서  $i$ 번째 신호들의 크기,  $\tau_i(t)$ 는 신호의 초과 지연을 나타내며,  $\theta_i(t)$ 는  $i$ 번째 전파가 진행하는 중에 발생한 위상 변화를

나타내고 이것들이 각각의 다중 경로 신호들의 특성을 결정한다. 또한  $N$ 은 다중 경로의 수를 나타내고,  $\delta(\cdot)$ 는 단위 임펄스 함수를 나타내고 있다. 이와 같이 채널은 경로 변수들에 의해서 결정되며, 채널의 임펄스 응답의 순간 파형이 측정 구간에 걸쳐 시간 불변이거나 혹은 WSS(Wide Sense Stationary)이라면 위의 모델은 식 (4.1b)와 같이 간략화 할 수 있다.

$$h_b(\tau) = \sum_{i=1}^N a_i \delta(\tau - \tau_i) e^{-j\theta_i} \quad (4.1b)$$

위 식으로부터 채널의 특성을 측정하고 예측하는 것은 수신기에 도달하는 각각의 다중 경로 신호의 크기, 지연 시간 및 위상 등으로부터 채널의 충격 응답  $h(\tau)$ 을 통해 구한다.

#### 4-4-2-2 주파수 선택적 채널 특성

광대역 전송 시스템에서 다중경로에 기인한 시간영역에서의 분산은 채널 내에서 주파수 선택적 페이딩을 발생시키게 되어 수신된 신호의 세기는 주파수의 함수로 변화하게 된다. 이때 채널의 임펄스 응답은 전송신호 대역의 역수보다 큰 다중 경로 지연 확산을 갖게 되므로 수신된 신호는 시간적으로 지연되고 감쇄된 전송신호들의 중첩이 발생해 상호심별간(ISI) 간섭이 일어나게 되어 신호의 왜곡 및 시스템의 성능 저하를 가져오게 된다. 이동 무선 채널의 임펄스 응답은 일반적으로 시변필터로 나타낼 수 있으므로 채널에 인가된 신호를  $s(t)$ 라 하면 수신된 신호  $r(t)$ 는 식 (4.2)와 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = \oint_{-\infty}^{\infty} h(t, \tau) s(t - \tau) d\tau + n(t) \quad (4.2)$$

여기에서  $h(t)$ 는 채널의 시변 복소 임펄스 응답이고  $n(t)$ 는 전송중 채널내에서 부가된 잡음이다. 주파수 선택적 채널은 송신된 신호의 스펙트럼  $S(f)$ 의 대역폭이 채널의 코히어런스 대역폭보다 큰 경우의 채널 모델이므로 이 경우 주파수 영역에서의 수신 신호  $R(f)$ 는 식 (4.3)과 같이 표현된다.

$$R(f) = H(f) \cdot S(f) \quad (4.3)$$

위 식에서  $R(f) = \mathcal{F}\{r(t)\}$ 이고  $H(f) = \mathcal{F}\{h(t)\}$ 이다. 다중 경로 채널의 주파수 상관 함수  $R_T(f)$ 가 0.9보다 큰 값이 되도록 코히어런스 대역폭이 설정되면 코히어런스 대역폭  $B_c \cong 1/(50\tau_{rms})$ 로 근사화될 수 있으며,  $R_T(f)$ 가 0.5보다 큰 값으로 설정되면  $B_c \cong 1/(5\tau_{rms})$ 로 근사화된다. 이러한 코히어런스 대역폭은 채널의 응답이 거의 일정한 주파수 범위를 결정하는데, 만약  $\tau_{rms}$ 가 증가되면  $B_c$ 가 감소되어 송신된 신호는  $H(f)$ 의 진폭 특성에 의해 주파수 영역에서 왜곡된다[21]. 이러한 시간분산적인 특성에 의해 채널을 통해 전송하고자 하는 데이터 전송율이 결정되는데 빠른 데이터 전송을 위해서는 RMS 지연 확산이 작아야 한다.

#### 4-4-2-3 경로 손실

실내 무선통신채널의 경로손실은 건물의 구조, 재질 등의 환경적 특성에 의해 크게 영향을 받으며 실험에 의한 여러 통계적 모델이 제시되어 있으며, 일반적으로 많이 사용하는 경로 손실 모델은 식 (4.4)와 같이 로그-정규 분포(log-normal distribution)를 갖는 로그거리 경로손실 모델이다.

$$P_L(d) = P_L(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (4.4)$$

여기서  $P_L(d)$ 는 거리  $d$ 에서의 수신 전력,  $P_L(d_0)$ 는 기준 거리  $d_0$ 에서의 수신 전력,  $X_\sigma$ 는 0dB 평균의 로그-정규 랜덤 변수와  $\sigma(dB)$ 의 표준 편차,  $n$ 는 경로손실 지수를 나타낸다. 로그-거리 경로손실 모델의 예측치는 측정치와 비교해 볼 때 약 13dB정도 차이가 나며, 실내 채널에서 경로 손실 모델의 정확성을 높이기 위해서 Seidel이 건물의 재질이나 구조에 따른 영향을 고려해서 장애물에 따른 변화 정도를 보완하여 그 차이를 4dB 정도로 줄인 식 (4.5)와 같이 발전된 감쇠지수 모델이 있다.

$$P_L(d) = P_L(d_0) + 10n_{SF} \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + FAF \quad (4.5)$$

위 식에서  $n_{SF}$ 는 송수신 안테나가 같은 층에 위치한 경우의 경로 손실 지수,  $FAF$ 는 층간 감쇠지수를 나타내며, 같은 층에서의 경로 손실 지수 값이 정확하게 도출된다면 층간 감쇠 요소 (floor attenuation factor)를 파악하여 건물

내 대부분의 지점에서 경로 손실을 예측할 수 있다.

이 밖에도 통계적인 방법에 의한 실내 무선 채널의 경로손실을 예측하기 위한 여러 형태의 모델이 제시되어 있으나 이러한 모델들은 실험을 통해 정확하게 예측할 수 있지만 시간과 인력이 많이 드는 단점이 있다. 일반적인 해석학적인 방법으로 실내환경의 복잡한 구조적 특성이나 매질특성을 효과적으로 예측하기 위해서는 전파 경로 추적방법을 사용해야 한다.

#### 4-4-2-4 광대역 채널 분석 파라미터

광대역 무선 채널은 다중 경로에 기인한 시간 분산적 특성을 갖게 된다. 수신 신호의 전력지연 프로파일로부터 평균지연확산(mean excess delay spread), RMS 지연확산(RMS delay spread) 등의 광대역 채널의 시간 분산적 매개변수를 통해 채널 특성을 분석할 수 있다. 이러한 매개변수들로부터 전송된 신호간의 간섭을 예측할 수 있어 BER과 연계된 최대 데이터 전송속도 등의 주요 시스템 파라미터를 결정하는데 이용된다.

##### 1) 평균 초과 지연확산(mean excess delay)

평균 초과 지연확산은 수신기에 첫 번째로 도달한 신호를 기준으로 한 평균 전파 지연 시간으로 식 (4.6)과 같이 주어진다.

$$\bar{\tau}_m = \int_{-\infty}^{\infty} t P_{norm}(t) dt \quad (4.6)$$

여기서  $P_{norm}(t)$ 은 정량화된 전력 지연 프로파일로서  $P_{norm}(t) = P(t) / P_{total}$ ,  $P_{total} = \int_{-\infty}^{\infty} P(t) dt$ 이다.

전력지연 프로파일을 분석하는데 있어서 수신신호 성분에 대한 한계 레벨 설정이 매우 중요하며, 이 한계 레벨은 수신된 다중경로 성분과 순수 잡음 성분이 구별토록 하여 분석의 오류를 방지하는데 사용된다. 또한 시간의 원점에 따라 mean excess delay가 달라지게 되는데, 본 논문에서는 전력 지연 프로파일의 첫 rising edge 즉, 첫 번째 신호가 도착한 시간을 시간의 원점으로 정의하였다.

##### 2) RMS 지연확산과 코히어런스 대역폭

RMS 지연 확산과 코히어런스 대역폭은 국부 지역에서의 시간 분산적인 특성을 나타내는 매개 변수로서 RMS 지연확산은 반사와 산란에 의한 전파 경로

에 의해 결정되는 평균 초과 지연을 기준으로 전력 지연 프로파일이 어느 정도 퍼져 있는지는 나타내는 것으로서 식 (4.7)과 같이 주어진다.

$$\tau_{rms} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (t - \tau_m)^2 P_{norm}(t) dt} \quad (4.7)$$

$\tau_{rms}$ 는 다중 경로에 의한 시간지연확산을 정량화 하는 척도로서 신호간 간섭 현상을 피할 수 있도록 전송 속도를 결정하는데 매우 중요한 파라미터이며, 이 값에 의해 무선통신 시스템의 성능이 매우 민감하게 반응하므로 채널을 특성화하는데 빈번히 사용되는 매개변수이다.

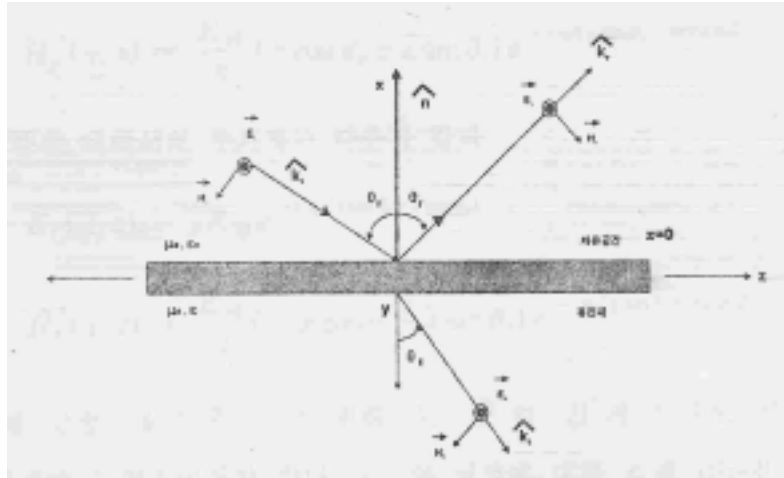
코히어런스 대역폭  $B_c$ 는 채널이 평탄하다고 간주되는 주파수영역 폭의 통계적인 수치 혹은 주파수 영역에서 크기에 강한 연관성을 갖는 두 신호의 간격을 나타내는 것으로서 rms지연확산으로부터 유도되는 관계로 정의되며, 모든 주파수 성분들이 채널을 통과하면서 같은 이득과 선형적인 위상 천이를 가진다고 간주할 수 있는 대역폭을 말한다.

RMS 지연 확산과 코히어런스 대역폭은 반비례의 관계를 갖지만 정확한 관계식은 규정되어 있지 않다. RMS 지연 확산 값으로 채널이 주파수 선택적 페이딩 채널인지의 여부를 판명할 수 있는데, 일반적으로 RMS 지연 확산 값이 전송 데이터 심볼주기의 0.1배가 넘는 경우 채널은 주파수 선택적 페이딩을 겪게 되고 이 때 시스템은 등화기를 요구하게 된다.

### 3) 도플러 확산과 코히어런스 시간

도플러 확산  $B_D$ 는 이동 통신 채널 상에서 시간 변화에 따른 주파수 상에서의 신호 확산을 의미하며, 수신된 도플러 스펙트럼이 영이 아닌 주파수 범위로 정의된다. 만약 송신단에서 하나의 주파수 성분  $f_c$ 만이 전송되었을 경우, 도플러 스펙트럼은  $f_c - f_d$ 에서  $f_c + f_d$  범위 내에 존재하게 되며, 도플러 천이  $f_d$ 는 이동체의 속도와 방향 및 전파의 도달 방향이 이루는 각도에 의해서 결정된다.

코히어런스 시간은 기저 대역에서의 신호 대역폭이 도플러 확산보다 훨씬 크다면 수신단에서 도플러 확산과 반비례의 관계를 가지며 채널의 임펄스 응답이 시간에 불변이라고 간주될 수 있는 시간 간격의 통계적인 수치를 말한다. 즉, 코히어런스 시간 내에 수신되는 두 신호는 크기의 상관 정도가 매우 크고, 코히어런스 시간 보다 큰 시간 간격을 가지고 도달하는 두 신호들은 채널에 의해서 매우 상이한 영향을 받게 됨을 의미한다.



<그림 4-13> 평면 유전체 경계 상에 수직 편파(TE)를 가진 균일한 평면파가 비스듬히 입사하는 경우

실내환경에서는 아파트 내의 구조물에 의한 반사나 굴절, 산란에 의해 수신단에 하나 이상의 경로를 통해 송신 신호가 도달하는 다중 경로 현상이 발생한다. 이런 경우 수신단이 받는 신호는 전파들이 결합에 의해 왜곡된 형태가 되며, 협대역 송신에서는 다중경로 현상이 수신신호의 모양과 위상을 변화시키고 광대역 송신에서는 전파신호 세기가 다른 여러 신호가 지연된 형태로 나타난다. 디지털 신호를 전송할 경우 이런 지연 확산은 정보전송률에 영향을 주므로 중요한 요소가 된다. 참고 문헌들을 살펴보면 건물의 종류에 따라 지연확산 정도가 다르며 금속재질을 많이 가진 건물이 더 큰 지연확산 현상을 보이는 것으로 알려져 있다. 실내에서의 전파 전달은 주로 실내 벽면에 의한 전파의 반사나 투과의 현상이 주된 영향이므로 이에 대한 기본 이론적 고찰을 서술하였다.

#### 가. Fresnel 평면파 반사 및 투과 계수 이론

<그림 4-13>은 평면 유전체 경계 상에 수직 편파(TE)를 가진 균일한 평면파가 비스듬히 입사하는 경우를 나타낸다. 전계  $\vec{E}$ 가 입사 평면파 직각이므로 편파는 직각이다. 입사 평면은 벡터  $k_i$ 와  $n$ 을 포함하고 있는 평면이다. 경계 아래의 전체 영역은 유전 물질로 구성되어 있고  $z$  방향으로 무한히 뻗어 있다. 자유 공간의 소스가 없는 영역에서의 시간 조화계의 입사 전계 및 자계 위상은



다음과 같다.

$$\vec{E}_i(x, z) = \hat{y}E_{\text{0}} e^{-jk_0(x \sin \theta_i + z \cos \theta_i)} \quad (4.8a)$$

$$\vec{H}_i(x, z) = \frac{E_{\text{0}}}{\eta} (-\hat{x} \cos \theta_i + \hat{z} \sin \theta_i) e^{-jk_0(x \sin \theta_i + z \cos \theta_i)} \quad (4.8b)$$

자유 공간 영역 내에서의 반사계수는 다음과 같다.

$$\vec{E}_r(x, z) = \hat{y}E_{r0} e^{-jk_0(x \sin \theta_r + z \cos \theta_r)} \quad (4.9a)$$

$$\vec{H}_r(x, z) = \frac{E_{r0}}{\eta} (-\hat{x} \cos \theta_r + \hat{z} \sin \theta_r) e^{-jk_0(x \sin \theta_r + z \cos \theta_r)} \quad (4.9b)$$

유전 물질 내에서의 투과계는 다음과 같다.

$$\vec{E}_t(x, z) = \hat{y}E_{\text{0}} e^{-jk_0(x \sin \theta_t + z \cos \theta_t)} \quad (4.10a)$$

$$\vec{H}_t(x, z) = \frac{E_{\text{0}}}{\eta} (-\hat{x} \cos \theta_t + \hat{z} \sin \theta_t) e^{-jk_0(x \sin \theta_t + z \cos \theta_t)} \quad (4.10b)$$

맥스웰 방정식을 만족시키기 위해서는,  $\vec{E}$  와  $\vec{H}$  의 탄젠트 성분이 반드시 경계에서 연속이어야 한다. 반사와 굴절에 대한 스넬(Snell)의 법칙에 따르면 다음과 같다.

$$\theta_r = \theta_i \quad (4.11a)$$

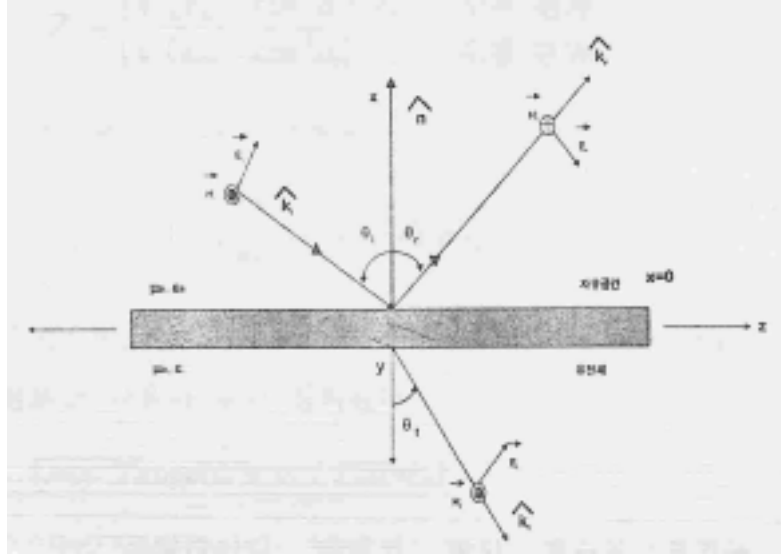
$$\sin \frac{\theta_t}{\sin \theta_i} = \frac{k_0}{k} = \frac{\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}{\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{1}{n_2} \quad (4.11b)$$

표면상의 경계 조건을 만족하기 위해서는 다음이 필요하다

$$E_{\text{0}} + E_{r0} = E_{\text{0}} \quad (4.12a)$$

$$\frac{1}{\eta_0} (E_{\text{0}} - E_{r0}) \cos \theta_i = \frac{E_{\text{0}}}{\eta} \cos \theta_i \quad (4.12b)$$

TE 편파에 대한 반사 및 투과 계수를 입사계의 크기에 대한 반사계 및 투과계의 크기로 나타내면 다음과 같다.



<그림 4-14> 평면 유전체 경계 상에 평행 편파 (TM)를 가진 균일한 평면파가 비스듬히 입사하는 경우

$$\Gamma_{\perp} = \frac{E_{r0}}{E_{i0}} = \frac{(\eta / \cos \theta_i) - (\eta_0 / \cos \theta_t)}{(\eta / \cos \theta_i) + (\eta_0 / \cos \theta_t)} \quad (4.13a)$$

$$T_{\perp} = \frac{E_{t0}}{E_{i0}} = \frac{2(\eta / \cos \theta_t)}{(\eta / \cos \theta_i) + (\eta_0 / \cos \theta_t)} \quad (4.13b)$$

$$k = 2\pi/\lambda = \omega\sqrt{\mu\epsilon} \quad (4.13c)$$

$$\eta_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0}, \quad \eta = \sqrt{\mu_0/\epsilon} \quad (4.13d)$$

$$\theta_t = \sin^{-1}(\sin \frac{\theta_i}{\sqrt{\epsilon_r}}) \quad (4.13e)$$

한편, 반사 계수와 투과 계수는 다음과 같은 관계가 있다.

$$1 + \Gamma_{\perp} = T_{\perp} \quad (4.14)$$

마찬가지로, <그림 4-14>과 같은 평행(TM) 편파에 대해서도 비슷한 과정을 거치면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\Gamma_{\parallel} = \frac{E_{r0}}{E_{i0}} = \frac{(\eta \cos \theta_i) - (\eta_0 \cos \theta_t)}{(\eta \cos \theta_i) + (\eta_0 \cos \theta_t)} \quad (4.15a)$$

$$T_{\parallel} = \frac{E_{\theta}}{E_{\theta_0}} = \frac{2(\eta \cos \theta_i)}{(\eta \cos \theta_i) + (\eta_0 \cos \theta_t)} \quad (4.15b)$$

$$T_{\perp} = (1 + \Gamma_{\parallel}) \left( \frac{\cos \theta_i}{\cos \theta_t} \right) \quad (4.15c)$$

한편, 지면의 거침을 고려하여 반사 계수를 계산할 수도 있다. 즉, 거친 반사 계수(Rough Reflection Coefficient)는 다음과 같다.

$$R_i = \rho_i R_{si} \quad (4.16)$$

여기서, 거친 정도를 나타내는 인자 (Roughness Factor)는

$$\rho_i = \exp \left[ -8\pi^2 \left( \frac{\Delta h \sin \alpha_i}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (4.17)$$

이며, Smooth 반사 계수는 다음과 같다.

$$R_{si} = \frac{\sin \alpha_i - Z_i}{\sin \alpha_i + Z_i} \quad (4.18a)$$

여기서  $\alpha_i$ 는 입사각이며

$$Z_i = \frac{(\sqrt{(\epsilon_{ri} - \cos^2 \alpha_i)} / \epsilon_{ri})}{\sqrt{(\epsilon_{ri} - \cos^2 \alpha_i)}} \quad \begin{array}{l} : \text{수직 편파} \\ : \text{수평 편파} \end{array} \quad (4.18b)$$

이다. 또한, 복소 상대 유전율은

$$\epsilon_{ri} = \epsilon_r (1 - j \frac{\sigma_i}{\omega \epsilon}) = \epsilon_r - j 60 \sigma_i \lambda \quad (4.19)$$

로 주어지며,  $\epsilon_r$ 은 자유공간의 유전율 (=1)이고,  $\sigma_i$ 는 전도도이다. 한편, 손실 탄젠트는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Loss Tangent} = \sigma_i / (2\pi f \epsilon_{ri}) \quad (4.20)$$

여기서  $f$ 는 주파수이다. 따라서, 반사 계수의 크기는  $|R_i|$ , 위상은

$\tan^{-1}\left[\lim \frac{R_i}{\text{Re}[R_i]}\right]$ 로 구할 수 있다. 복소 투과 계수(Complex Transmission Coefficient)의 계산도 반사 계수의 경우와 비슷하다.

$$T_i = 1 + R_i \quad \text{for Perpendicular [Horizontal, TE]} \quad (4.21a)$$

$$T_i = (1 + R_i)\left(\frac{\cos \theta_i}{\cos \theta_t}\right) \quad \text{for Parallel [Vertical, TM]} \quad (4.21b)$$

크기는  $|T_i|$ , 위상은  $\tan^{-1}[\text{Im}(T_i) / \text{Re}(T_i)]$  이다.

#### 4-4-3 실험 결과 분석

##### 4-4-3-1 경로 손실

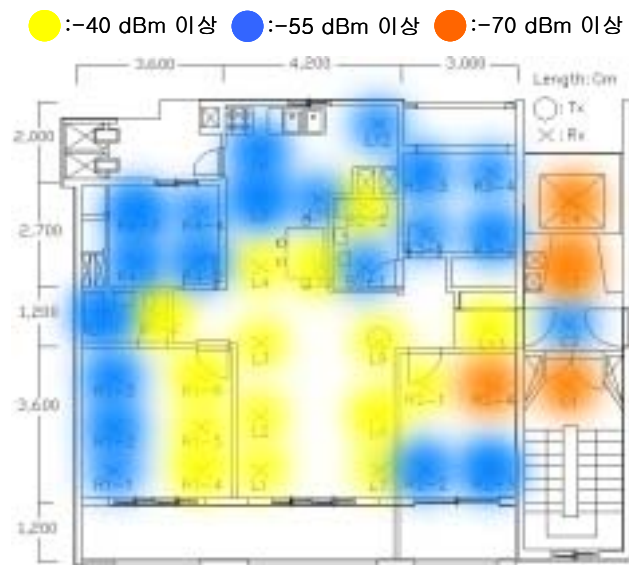
송 · 수신 안테나가 동일 층 및 다른 층에 위치한 경우에 대해 수신 전력을 비교 분석하였으며, LOS 환경에 대한 다음과 같은 특성을 나타내었다.

$$PL(dBm) = 12.5 \log(d) + 28.5 + 6(NLOS) : 12\text{층}(2.4\text{GHz})$$

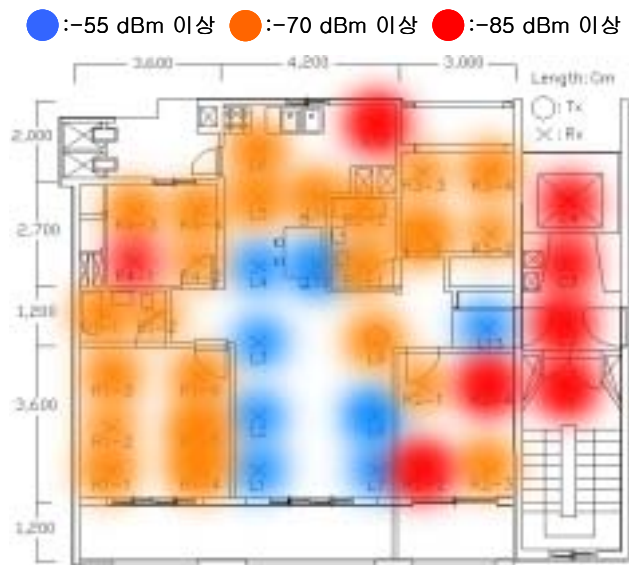
$$PL(dBm) = 12.5 \log(d) + 28.5 + 30(FAT) + 6(NLOS) : 13\text{층}(2.4\text{GHz})$$

FAT : 층간 경로손실 지수,

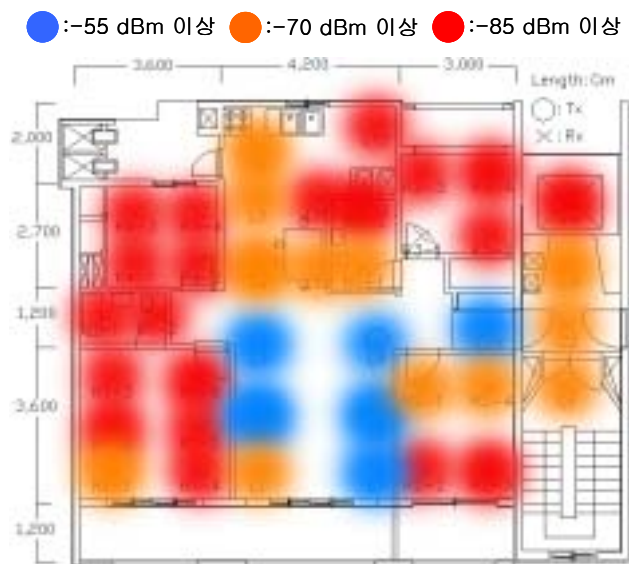
NLOS : 비가시 영역 경로손실 지수



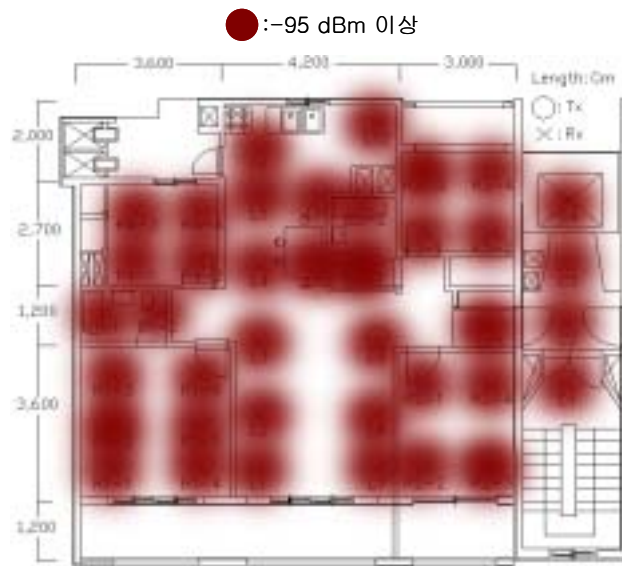
<그림 4-15> 수신 전력 12층 (2.4GHz)



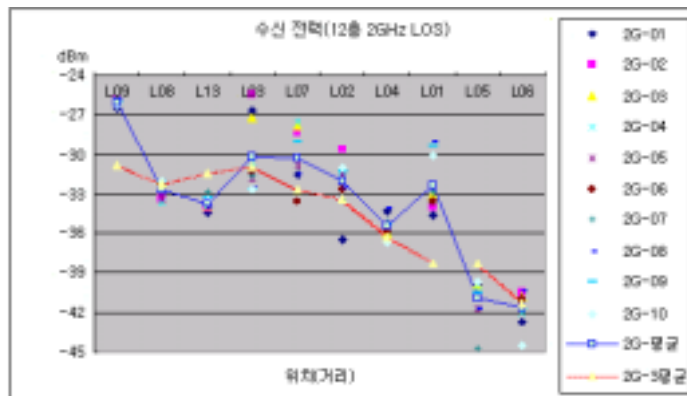
<그림 4-16> 수신 전력 12층 (5.3GHz)



<그림 4-17> 수신 전력 13층 (2.4GHz)



<그림 4-18> 수신 전력 13층 (5.3GHz)



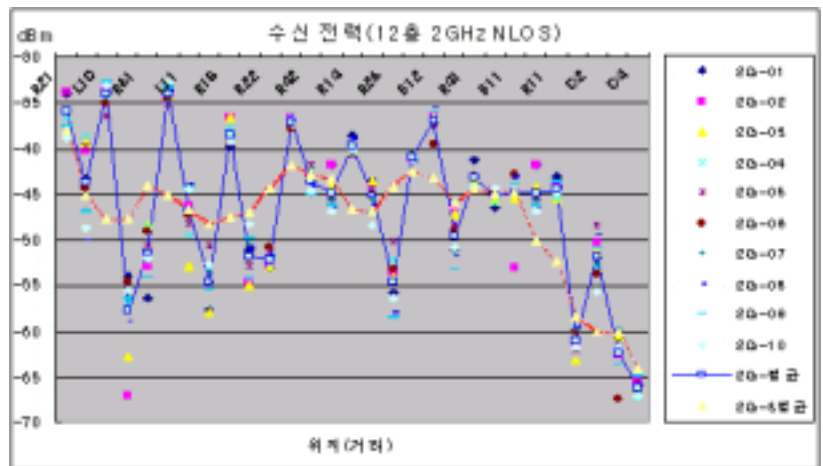
<그림 4-19> 수신전력 12층 LOS(2.4GHz)



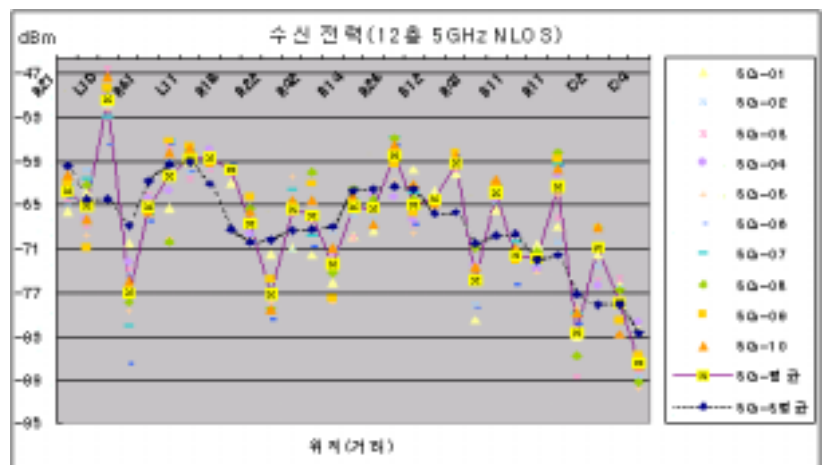
<그림 4-20> 수신 전력 12층 LOS(5.3GHz)



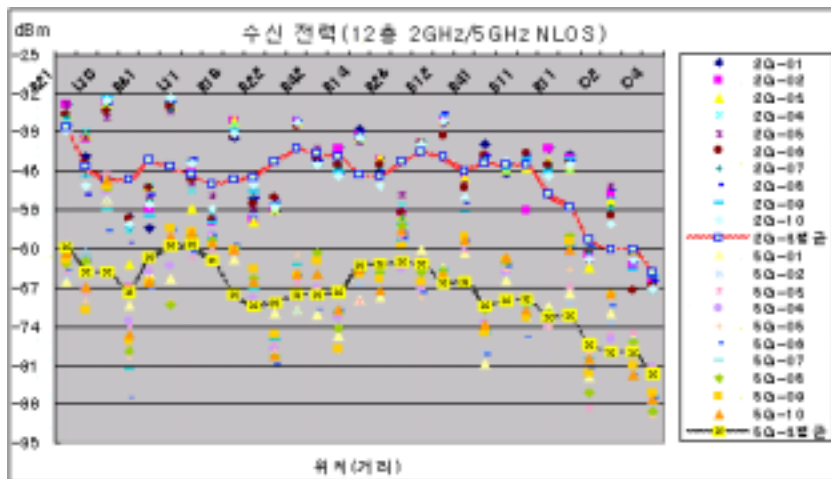
<그림 4-21> 수신 전력 12층 LOS(2.4GHz/5.3GHz)



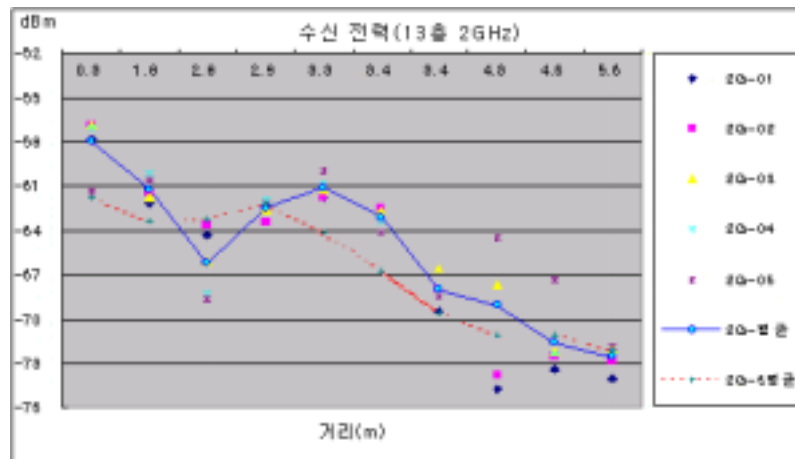
<그림 4-22> 수신 전력 12층 NLOS(2.4GHz)



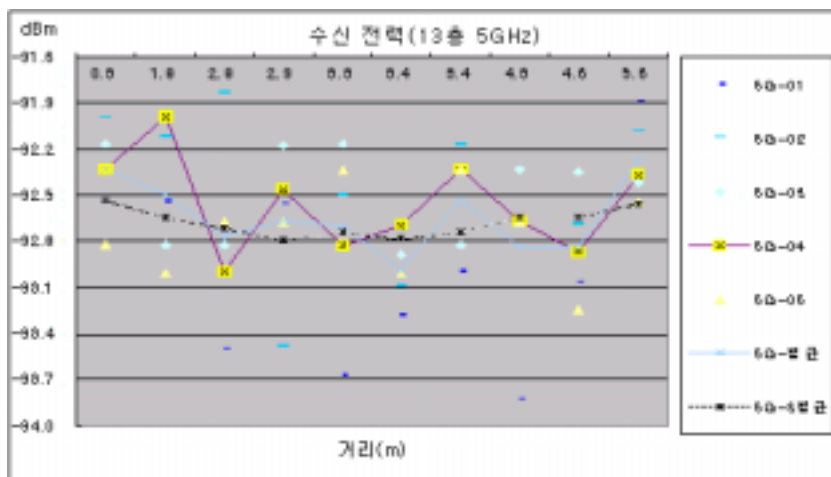
<그림 4-23> 수신 전력 12층 NLOS(5.3GHz)



<그림 4-24> 수신 전력 12층 NLOS (2.4GHz/5.3GHz)



<그림 4-25> 수신 전력 13층 LOS 위치(2.4GHz)

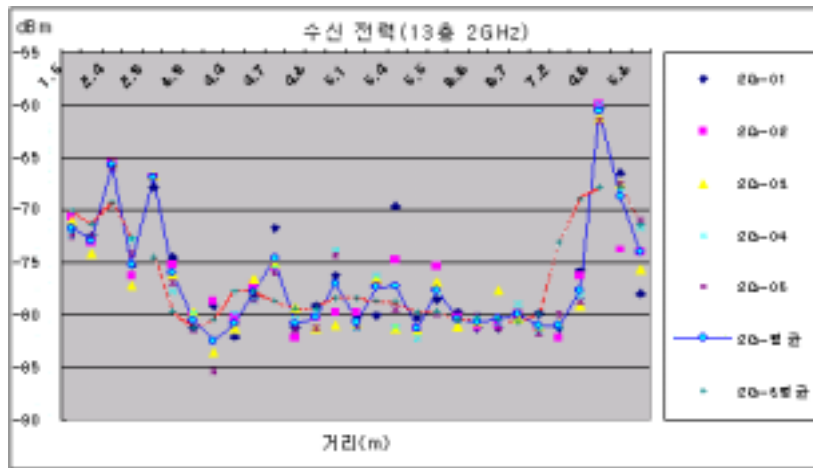


<그림 4-26> 수신 전력 13층 LOS 위치(5.3GHz)

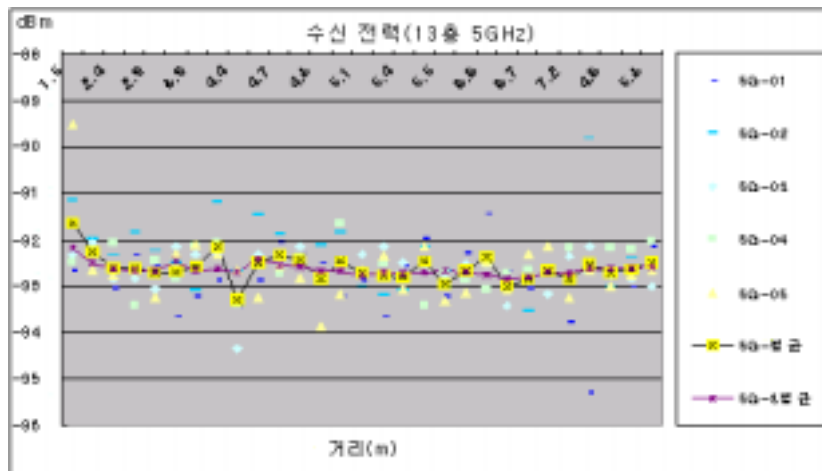




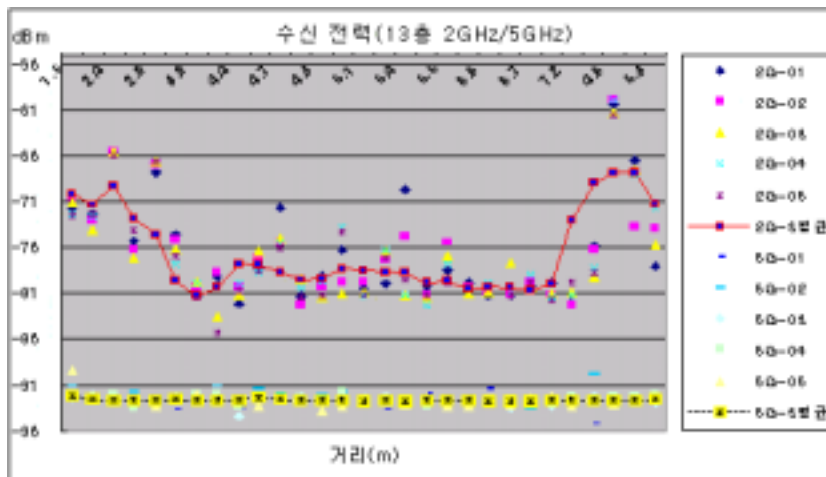
<그림 4-27> 수신 전력 13채 LOS 위치(2.4GHz/5.3GHz)



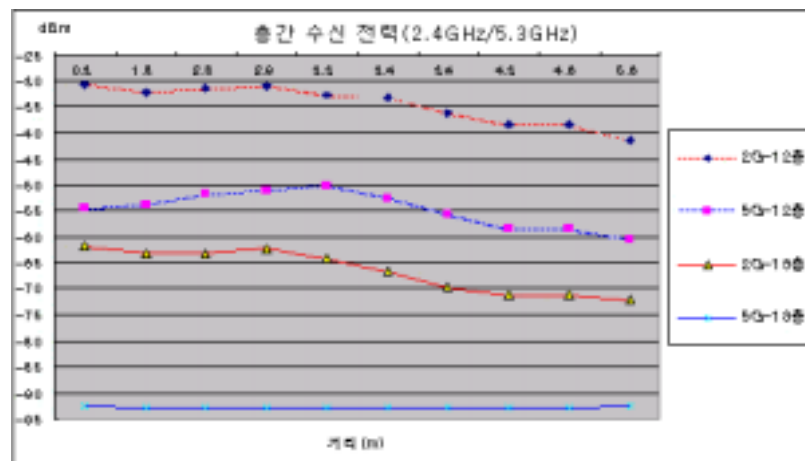
<그림 4-28> 수신 전력 13채 NLOS 위치(2.4GHz)



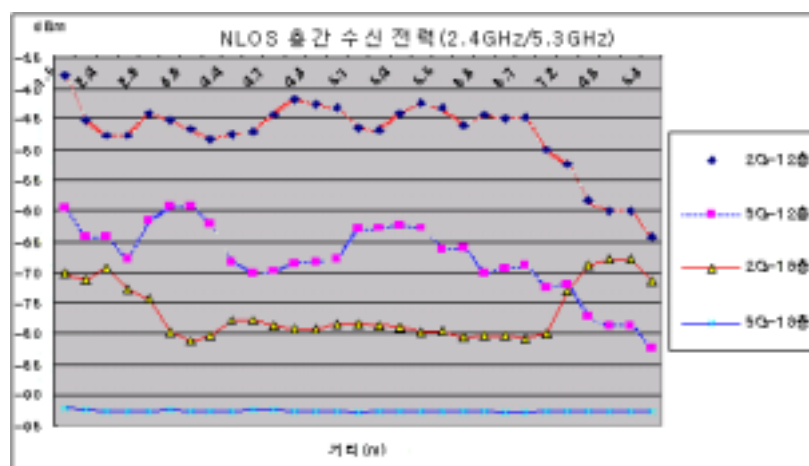
<그림 4-29> 수신 전력 13채 NLOS 위치(5.3GHz)



<그림 4-30> 수신 전력 13층 NLOS 위치(2.4GHz/5.3GHz)



<그림 4-31> 층간 수신 전력 LOS 위치(2.4GHz/5.3GHz)



<그림 4-32> 층간 수신 전력 NLOS 위치(2.4GHz/5.3GHz)

<그림 4-15>에서 <그림 4-32>까지의 결과로부터 송신기 위치에 따른 거리별 경로 손실은 LOS 환경이 NLOS 환경보다 적고, 송수신 안테나가 동일한 층에 위치한 경우가 그렇지 않은 경우보다 적으며, 거리가 가까울수록 더 적음을 알 수 있다. 같은 NLOS 환경일지라도 하더라도 송신 안테나로부터 직접 전달되는 전파가 보다 적은 출입문 현관과 엘리베이터 내에서는 급속한 수신 전력의 감쇠가 일어남을 알 수 있다. 그림에서 보듯이 NLOS 환경에서의 경로 손실은 LOS 환경에서보다 급격한 증가를 보이며, 송수신 안테나 사이 상대적 거리의 증가에 따른 경로 손실 증가의 정도도 LOS 환경에 비해 훨씬 크며, 호구내 각 Room에서의 경로 손실보다 호구 밖 복도에서의 손실이 더 크다는 것을 알 수 있다.

2.4GHz 대역의 수신 전력은 평균적으로 LOS 환경인 거실 일부에서는 -33.95dBm(12층), -65.34dBm(13층)이었고, NLOS 환경인 거실 및 각 Room에서는 -46.80dBm(12층), -76.63dBm(13층)이었다. 그리고 층 전체에 대한 평균은 12층에서는 -40.38dBm이었으며, 13층에서는 -70.99dBm이었다.

5.3GHz 대역의 수신 전력은 평균적으로 LOS 환경인 거실 일부에서는 -54.47dBm(12층), -92.64dBm(13층)이었고, NLOS 환경인 거실 및 각 Room에서는 -67.26dBm(12층), -92.62dBm(13층)이었다. 그리고 층 전체에 대한 평균은 12층에서 -60.86dBm이었으며, 13층에서는 -92.63dBm이었다.

이상의 결과로부터 NLOS 환경에서 광대역 무선 신호의 채널 특성은 송수신 단 사이의 거리가 상당히 짧음에도 불구하고 LOS 환경보다 주파수 선택적 페이딩이 심하게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 비가시 영역의 경우 직접파가 존재하지 않고, 수신되는 신호가 다중반사 및 회절에 의한 전파의 벡터합으로 이루어지기 때문이다. 즉, 수신 신호 레벨에 주도적인 영향을 미치는 전파 경로가 미약하거나 존재하지 않기 때문이다.

#### 4-4-3-2 RMS delay spread

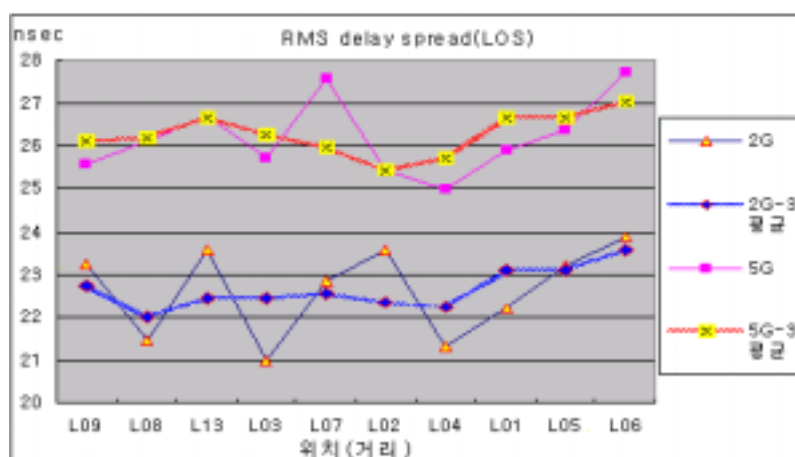
<표 4-7>은 아파트 환경에 대한 각 지점에서 측정된 전력 지연 프로파일로부터 계산된 RMS 지연 확산 값들의 평균을 보이고 있다.

<표 4-7> 각 위치에서 RMS 지연 확산 평균값[nsec]

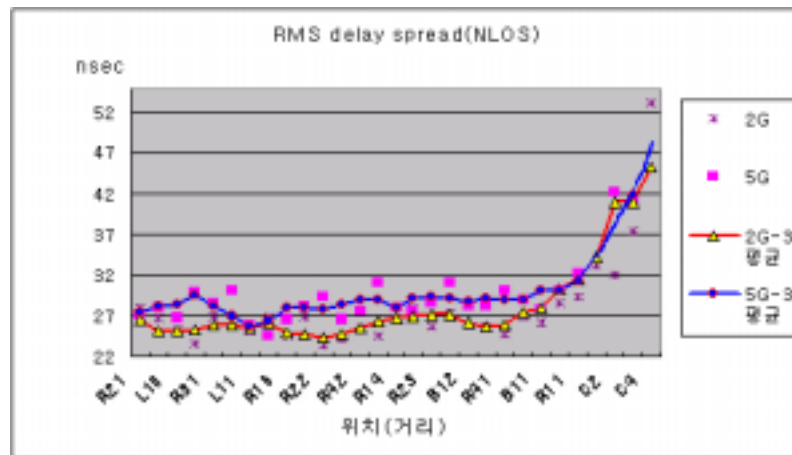
B:차단

위 치	2.4GHz				5.3GHz			
	-1	-2	-3	-4	-1	-2	-3	-4
R1	29.3	28.5	25.6	26.5	32.3	30.1	28.0	27.9
R2	27.9	23.3	25.6	23.5	27.1	29.3	28.5	29.9
R3	26.9	26.7	26.8	27.8	28.5	24.5	28.1	27.6
R4	24.7	26.0	27.0	27.3	30.1	27.5	28.9	31.1
B1	26.2	28.2			27.6	28.1		
B2	26.7	25.6			27.9	30.0		
C	33.2	32.1	37.3	53.2	B	42.1	41.1	B
L	22.2	23.6	20.9	21.3	25.9	25.4	25.7	24.9
L	-5	-6	-7	-8	-5	-6	-7	-8
	23.2	23.9	22.8	21.5	26.4	27.7	27.6	26.1
	-9	-10	-11	-12	-9	-10	-11	-12
	23.2	25.3	25.2	24.5	25.6	26.7	26.0	31.0
	-13				-13			
	23.6				26.7			
R1	24.2	24.6			26.6	26.5		

5.3GHz 대역에 대해 13층에서는 수신 신호를 측정할 수 없어서 12층에서 2.4GHz대역과 5.3GHz대역의 측정값을 비교 분석하였다. <그림 4-33>, <그림 4-34>는 아파트 환경에 대한 RMS 지연 프로파일이다. 전력 지연 프로파일의 측정 결과를 보면 200ns 이후에도 도달하는 전파가 있는 것으로 보여지나, 실제로 약 -110(120)dB 이하의 신호는 거의 잡음 성분으로 간주되므로 고려 대상에서 제외하였다.



<그림 4-33> 그림 19 RMS delay spread(LOS)



<그림 4-34> 그림 20 RMS delay spread(NLOS)

그림에서 보이고 있듯이 RMS 지연 확산 값들은 송신기에서 멀어질수록 LOS 및 NLOS 환경의 각 위치에서 점차 증가하게 되며, LOS 환경에 비해 NLOS 환경에서 더 많이 증가한다는 것을 알 수 있다. 2.4GHz 대역에 대해 평균적으로 LOS 환경인 거실 일부에서는 22.7nsec였고, NLOS 환경인 거실 및 각 Room에서는 28.3nsec였으며, 층 전체에 대한 평균은 25.5nsec이었다. 5.3GHz 대역에 대해 평균적으로 LOS 환경인 거실 일부에서는 26.3nsec였고, NLOS 환경인 거실 및 각 Room에서는 32.8nsec였으며, 층 전체에 대해서는 29.6nsec였다.

## 제 4-5절 결론 및 향후계획

지금까지 우리 나라 주거 환경 중 아파트 실내 구조에서의 무선 홈 네트워킹 기술 구현에 필요한 전파전파 특성과약을 위한 다양한 실험 시나리오와 측정 시스템에 대한 구축 현황에 대해 기술을 하였으며, 이를 분석하기 위한 실내 전파 채널의 특징과 전파의 투과 및 반사의 기본 해석적 이론을 기술하였다. 그리고 전파특성 분석에 필요한 채널 파라미터에 대한 고찰과 상반기 때 수립된 실험 시나리오별 전파특성 측정실험을 통한 측정 데이터를 확보하였으며, 이에 대한 분석을 통하여 우리 나라 주거환경 중 아파트 환경에서의 무선 홈 네트워킹 실제 구현에 필요한 전파채널 특성을 분석하였다.

## 제 5장 무선 홈 네트워킹 백본을 위한 RLAN 기술

### 제 5-1절 서론

홈 네트워킹 기술을 통해 가정의 기기들이 하나의 네트워크로 연결이 되면 가장 기본적인 홈 오토메이션 기능인 전구의 온/오프 제어는 물론 TV나 냉장고, 그리고 집안의 문을 자동으로 여닫는 일 등은 매우 쉽게 이루어 질 것이다. 그러나 이와 같은 낮은 수준의 홈 오토메이션 기능은 홈 네트워킹과 같은 높은 수준의 통신 및 네트워킹 기술을 이용하지 않더라도 구현이 가능한 일이며 이로한 단순한 일들이 홈 네트워킹의 Killer Application으로 보이지는 않는다. 홈 네트워킹을 설계하고 기획하는 많은 전문가들의 의견을 종합해 보면 홈 네트워킹의 중심에는 오디오/비디오 신호의 전송 등을 포함하는 실시간 엔터테인먼트 기능이 반드시 포함되어야 한다는 것이다. 따라서 오디오/비디오 신호의 실시간 전송을 위한 백본 네트워크의 대역폭 요구 조건은 매우 중요한 요소가 될 것이다.

본 장에서는 먼저 홈 네트워킹 백본 기술의 요구 조건을 알아보고 이러한 요구 조건이 다른 인터넷과 홈 네트워크에서 제공하는 QoS 관점에서 보았을 때 어느 기술이 가장 좋은 솔루션을 제공하는지를 파악하도록 하겠다. 그리고 연구에서 홈 네트워킹 백본으로 사용하고자 하는 IEEE802.11 WLAN 기술의 차세대 기술인 IEEE802.11e 기술이 어떤 유형의 QoS를 제공하고 있는지를 소개하였다.

### 제 5-2절 홈 네트워킹 백본 기술의 요구 조건

홈 네트워킹 백본 기술의 요구 조건을 알아보려면 실시간 전송을 필요로 하는 데이터의 성질에 대해 조사할 필요가 있다. 먼저 음성 신호 및 CD(Compact Disk)급의 오디오 신호의 실시간 전송에 대한 요구 대역폭을 알아보면, 압축되지 않은 음성 신호의 경우 Nyquist Sampling Rate에 의해 적어도 64 Kbps의 대역폭은 보장해주어야 한다. 그러나, CDMA 휴대폰에 사용하기 위해 Qualcomm사가 제안한 QCELP 기술을 이용하여 음성 신호를 압축하면 13 Kbps정도만 보장해 주어도 음성 신호의 실시간 전송이 가능하며 음성 신호의 왜곡 없이 정상적인 통신을 할 수 있는 속도이다. 한편, CS-ACELP(Congugate

Sstructure-Algebraic Code Excited Linear Predictive Coding) 기법을 이용한 G.726 압축 기술을 이용하면 8 Kbps 정도의 전송 속도의 보장으로 음성 통신이 가능하며, 현재 VoIP에 사용되는 음성 압축기법인 G.723.1 기법을 이용하면 4.8 Kbps 혹은 5.6 Kbps의 낮은 속도로 음성 신호의 전송이 가능하다. 따라서 음성 신호의 전송은 음성 데이터의 압축을 위한 신호처리 지연 시간이 어느 속도를 유지해주면 전송을 위한 대역폭의 1호가보에는 큰 문제가 없는 실정이다. 압축하지 않은 CD급의 오디오 신호는 352.8 Kbps가 요구되며 이 정도는 Bluetooth 기술로도 전송이 가능하므로 음성 신호나 오디오 신호에 대한 대역폭의 부담은 그리 큰 것이 아니다.

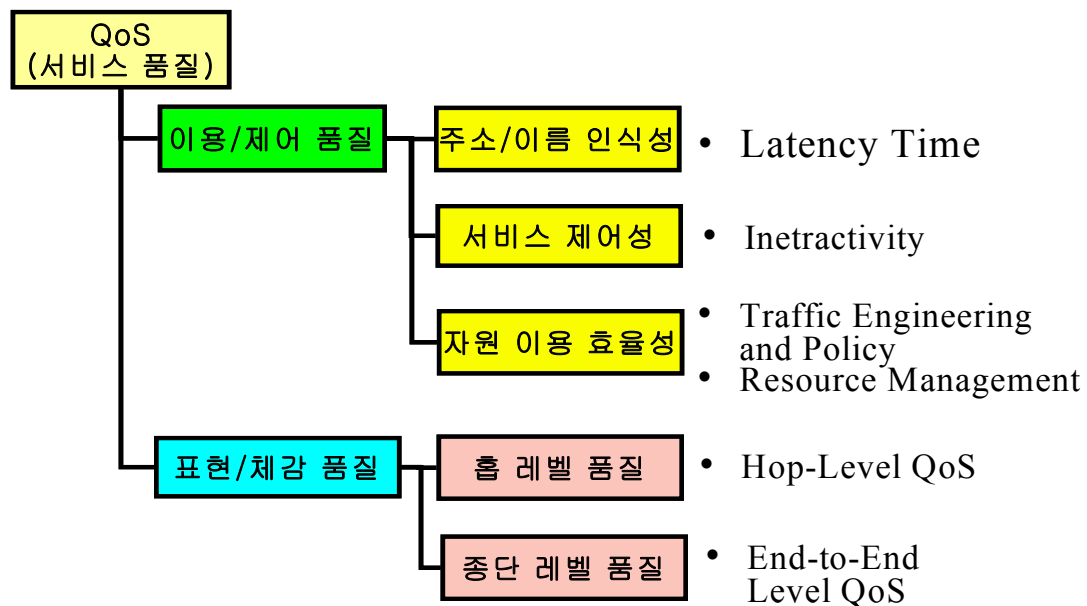
그러나 영상 신호의 경우를 보면 대역폭에 대한 요구 조건은 음성 신호와는 차원이 다르다. 압축되지 않은 VGA급 SDTV 영상이 필요로 하는 대역폭을 살펴 보면 약 221 Mbps 정도가 필요하다. 압축하지 않은 HDTV의 경우는 1.3 Gbps의 대역폭을 필요로 하므로 3.96Gbps를 지원하는 DVI(Digital Visual Interface) 인터페이스를 제외하고는 이 요구조건을 맞추어 줄 기술은 없는 셈이다. IEEE1394a 기술은 최대 400Mbps를 지원하므로 압축하지 않은 SDTV급 영상은 전송 가능하지만 3.2Gbps를 지원하는 IEEE1394b 기술로도 HDTV 신호는 전송할 수 없다. 그러나 영상 신호를 MPEG2-TS 등과 같은 기술을 이용하여 압축하면 SDTV 영상은 약 4 Mbps ~ 8 Mbps가 필요하며 HDTV 영상은 약 20Mbps 정도의 대역폭이 필요하다. 따라서 이와 같은 실시간 영상 신호 전송을 위한 대역폭의 확보는 매우 중요한 홈 네트워킹 백본 기술의 중요한 사안이며 이를 위한 각 홈 네트워킹 기술의 특성 파악은 매우 중요한 일이라 하겠다.

### 제 5-3절 QoS의 정의

현재의 인터넷 망은 전 세계의 인터넷 사용자 수를 기하급수적으로 확장하면서 비디오 컨퍼런스, VOD(Video on Demand), 가상 현실 등과 같은 새로운 응용들 뿐만 아니라 기존의 전화, 라디오 및 TV 서비스까지 제공하면서 엄청난 트래픽의 증가를 가져왔다. 이로 인하여 인터넷 망의 대대적인 대역폭 확대를 요구하고 있으며 단순한 대역폭의 증가 만으로는 이로한 엄청난 대역폭의 수요를 충족시킬 수 없는 것이 사실이다. 그 이유는 인터넷 트래픽이 양적으로 증가할 뿐만 아니라 트래픽의 특성이 다양하게 변화하고 있으며 Mobile 환경을

수용해야 하는 등 다양한 새로운 요구에 부응하기 위한 변화가 동반되어야 하기 때문이다.

특히 인터넷은 IP를 기반으로 데이터를 전송하기 때문에 대부분의 지능은 네트워크의 종단으로 몰고 네트워크의 내부에서는 목적지 주소를 바탕으로 단순히 정보를 전달하기만 하는 구조를 가지고 있기 때문이다. 따라서 인터넷은 네트워크 전달장치인 라우터 자원의 여부에 따라 데이터의 전달이 지연되거나 혹은 손실될 수도 있는 최선형 서비스의 특성만 가지고 있는 것이다. 따라서 사용자 수요의 폭발적인 증가와 요구의 다양성은 이러한 최선형 서비스에 자원만 늘리면 해결되는 문제가 아니라 엄격한 시간적인 전달 요구 사항 및 one-to-many 혹은 many-to-many의 전달 요구 사항을 가지게 되었다. 다시 말하면 인터넷의 근본 철학인 네트워크의 단순성을 탈피하고 지능을 첨가해야 하는 상황이 된 것이다. <표 5-1>은 인터넷 응용을 전송율, 전송방식, 그리고 지연성에 따라 분류한 것이다.



<그림 5-1> QoS의 정의



<표 5-1> 전송율, 전송방식, 그리고 지연성에 따른 인터넷 응용의 분류

	최선형		통제형	보장형
다방향 (many-to-many Bi-directional)	Asynchronous Burst - News - Session Announcement	Interactive Stream - Distance Learning - MultiPlayer Game Interactive Burst - Chat (IRC) - Resource Discovery - Shared Editing	Isochronous Stream - A/V Conferencing - Distributed Simulation - Real-Time Modeling	Mission-Critical Stream - Distributed Process Mission Critical Burst - Auction
양방향 (one-to-one Bi-directional)		Interactive Stream - Thin Client - X-Windows Interactive Burst - Web Browsing - Resource Sharing - Database Access - POS Transaction - Remote Login - Chat	Isochronous Stream - Telephone Isochronous Burst - DB Updates	Mission-Critical Stream - Telemedicine - Remote Control Mission-Critical Burst - Financial X-actions
단방향 (one-to-one Uni-directional)	Asynchronous Burst - E-mail - File Transfer - Push Media	Synchronous Stream - Streaming Media - Data Collection - Push Media	Isochronous Stream - Data Collection - Process Monitoring - Push Media	Mission-Critical Stream - Data Collection - Process Monitoring - Push Media

<표 5-1>의 다양한 요구 사항을 가진 응용들을 지원하기 위해서는 대역폭의 증대 뿐만 아니라 전송 신뢰성, 실시간성 등 충족시켜야 할 많은 기술들이 필요하다. 이러한 기술들을 간단히 표현하면 서비스/응용의 QoS 관리 기술이라고 통칭할 수 있다. 즉 최선형 서비스에서 탈피하여 차세대 인터넷의 상업용 QoS 서비스를 제공하기 위해서는 QoS 관리 기술이 필수 불가결한 일이다.

QoS는 크게 사용자가 실제적으로 서비스 QoS를 느끼는 표현 및 체감 QoS와 사용자의 서비스 이용 및 제어의 편리성을 보장하는 이용 및 제어 품질 QoS로 나눌 수 있다. <그림 5-1>은 이들간의 관계를 보여주는 그림이다.

종단 사용자간의 서비스 QoS는 사용자 단말, 전달 링크, 스위치나 라우터 같은 망 장치에서의 지연 및 Throughput, 손실 특성 등에 의해 복합적으로 영향

을 받게 되므로 종단간 QoS 보장형 서비스를 지원하기 위해서는 이들 QoS 요소 변수들을 제어할 수 있는 네트워크 서비스 측면에서의 제어 메카니즘이 필요하다. 예를 들어 망에서 실시간 서비스를 지원하기 위해서는 요구되는 자원을 미리 예약하거나 망 내의 트래픽 부하를 반영하여 라우터의 큐잉 기능을 적절히 설정하거나 혹은 설정된 트래픽 특성이 제대로 운영되는지를 모니터링하는 기능 등이 이에 해당한다. 이와 같이 네트워크 서비스 레벨에서 사용자의 QoS 보장을 위한 기술이 QoS 관리 기술로 정의할 수 있다.

QoS 관리 기술은 크게 QoS 보장 기술과 제공된 QoS의 상태를 측정하기 위한 QoS 모니터링 기술로 나뉘어진다. QoS 보장 기술은 다시 각 네트워크 장비에서 제공되어야 할 트래픽 관리 기술, 네트워크 전체 입장에서 QoS 보장 기술 및 이를 관리할 수 있는 정책 기반의 QoS 관리기술로 나뉘어진다. 또한 QoS 모니터링 기술은 프로토콜 모니터링, 네트워크 모니터링, 그리고 종단간 QoS 모니터링 기술로 세분된다.

트래픽 관리 기술은 다양한 세부 기술들이 소개되어 있으며 크게 큐 관리(Queue Management), 트래픽 셰이핑(Traffic Shaping), 수락 제어(Admission Control), 폴리싱(Policing), 혼잡관리(Congestion Management)의 분야로 나뉘어진다. 이들 각각은 독립적으로 사용될 수도 있지만 대표적인 QoS 관리 모델로 알려진 인터넷의 통합 서비스(Integrated Service) 모델[15]과 차등 서비스(Differentiated Service) 모델[16]에서와 같이 복합적으로 사용되기도 한다.

네트워킹 기술에 사용되는 QoS에 관한 보다 자세한 내용은 본 연구의 남은 기간동안 보다 심도있게 연구되어 최종보고서에서 구체적으로 소개될 것이다. QoS에 대한 보장 기법은 홈 네트워킹 기술을 RLAN을 이용하여 구현하는 데에 매우 중요한 역할을 할 것이기에 홈 네트워킹 백본을 위한 요구조건을 충분히 검토한 후 이 요구조건을 충족시키는 RLAN의 핵심 개발 기술을 파악해낼 것이다. 그러나 IEEE802.11e 표준은 이미 QoS 기술을 나름대로 제공하고 있으므로 다음 절에서는 IEEE802.11e 표준이 제공하는 QoS 기술에 대해 알아보겠다.

## 제 5-4절 IEEE802.11e의 QoS

IEEE802.11 TGe는 기존의 MAC 방식을 향상시켜 오디오 및 비디오와 같은 실시간 데이터 전송을 요구하는 QoS(Quality of Service)를 지원하기 위해 새

로운 MAC을 정의하는 Task Group이다. 2000년 3월에 처음으로 PAR이 승인 되었으며 당시에는 QoS와 Security를 동시에 지원하는 표준을 개발하기로 결정하였으나 두 표준을 동시에 처리하기에는 너무나 많은 분량의 표준화 작업이 있으므로 Security 관련 표준은 IEEE802의 TGi에서 처리하기로 한 것이다. TGe에서 결정한 가장 최근의 표준안은 2002년 11월에 결정된 Draft 4.0이다.

TGe는 음성 데이터를 위해 20 msec의 전송 속도를 필요로 하는 ADPCM 데이터를 지원할 수 있어야 하며, MPEG 비디오로는 3Mbps의 대역폭을 필요로 하는 MPEG2와 IEEE1394 디지털 인터페이스 전송을 지원하여야 한다. 또한 TCP/IP 프로토콜을 지원하는 Ethernet 데이터 스트림을 10 Mbps의 속도로 전송할 수 있는 규격을 준비하기로 결정하였다. 그리고 Latency와 지연 변화율을 최소화하고 데이터의 전송 효율을 최대화하는 일과 Ad-Hoc 모드는 물론 Infrastructure 전송 모드 모두를 지원하는 트래픽 모델을 개발하는 것이 TGe의 목표이었다.

이와 같이 향상된 QoS를 위해 TGe가 채택한 새로운 개념을 정리하면 다음과 같다:

1. Access Category (AC)
2. Contention Free Burst (CFB)
3. Controlled Access Phase (CAP)
4. Hybrid Coordination Function (HCF) and Hybrid Coordinator (HC)
5. QoS AP (QAP) and QoS BSS (QBSS)
6. Traffic Category (TC) and Traffic ID (Traffic Identifier)
7. Traffic Specification (TSPEC)
8. Traffic Stream (TS)
9. Transmission Opportunity (TXOP)
10. Automatic Power-Save Delivery (APSD)
11. Group Acknowledgement
12. Direct Link Protocol (DLP)

이 개념들은 기존의 IEEE802.11e Draft 에서 이미 기술된 내용들과 Draft 4.0에서 새롭게 추가된 내용들이다.

본 절에서는 IEEE802.11e에서 정의하고 있는 QoS의 제공 방안에 대해 설명하고 그 특징들에 대해 논하였다.

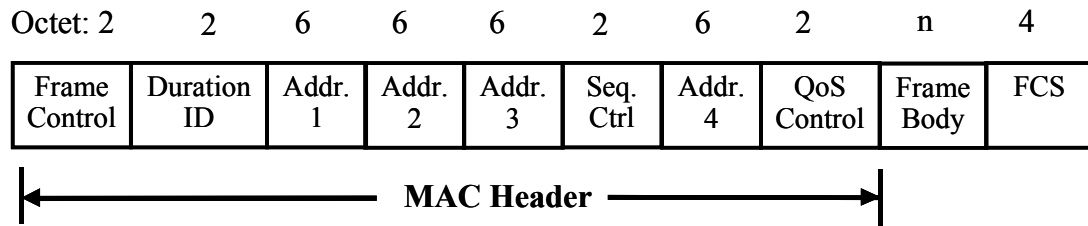
#### 5-4-1 IEEE802.11e에서의 트래픽 차별화

IEEE802.11e는 QoS를 제공하는 데이터 전송을 위해 공유 매체에 차별화된 접근제어를 제공한다. 이를 위해 IEEE802.1d에서 사용하는 0에서 7까지의 총 8개의 우선 순위와 이 우선 순위로부터 유도된 4개의 Access Category (AC)를 사용한다. <표 5-2>에서 IEEE802.1d의 우선 순위와 AC와의 관계를 설명하였다. 이 우선 순위 값은 IEEE802.11e MAC 프레임에서 새롭게 추가된 QoS 제어 필드의 앞 3 비트인 Traffic Identifier (TID) 필드에 표시하고 이 값을 기반으로 트래픽을 차별화 시킨다. <그림 5-2>에서 새롭게 정의한 프레임 형태를, <표 5-3>에서 QoS를 제공하기 위한 제어 필드를 설명하였다. QoS Null 프레임의 Queue Size나 TXOP duration 값을 통해 다음 프레임을 보내는데 필요한 Queue의 크기나 TXOP 길이를 요구할 수도 있다.

QoS 제어 필드에서 각각의 비트를 살펴보면, TID는 앞에서 설명한 8가지의 우선 순위를 가지는 Prioritized QoS (TC)를 위한 우선 순위 값 또는 Parameterized QoS (TS)를 위한 TSID 값을 가진다. Ack Policy는 Ack의 종류 (Normal ACK, No ACK, Group ACK)를 나타내고, 비트 8에서 15 값은 각각의 프레임에 따라 필요로 하는 값들을 나타낸다. 비트 7은 pending Schedule QoS Action 프레임에 따라 설정된다. QSTA의 이 비트가 1로 설정된 프레임을 HC로부터 수신하면 그 STA은 Schedlue QoS Action 프레임을 수신하기 위해 TXOP가 끝난 후에도 계속 awake 상태로 남아 있어야 한다.

<표 5-2> IEEE 802.1d의 우선 순위와 AC와의 관계

IEEE 802.1d 우선 순위	IEEE802.1d 트래픽 분류	Access Category	IEEE802.1e 트래픽 분류
1	Background	0	Best Effort
2	-	0	Best Effort
0	Best Effort	0	Best Effort
3	Excellent Effort	1	Video Probe
4	Controlled Load	2	Video
5	Video	2	Video
6	Voice	3	Voice
7	Network Control	3	Voice



<그림 5-2> IEEE802.11e에서 새롭게 정의한 프레임 형태

<표 5-3> QoS 제어 필드

Bits 0-3	Bits 4	Bits 5-6	Bits 7	Bits 8-15	Usage
TID	Reserved	Ack Policy	Schedule Pending	TXOP Limit (32 $\mu$ s)	QoS data type frames that include CF-Poll sent by HC
TID	Reserved	Ack Policy	Schedule Pending	Reserved	QoS data type frames without CF-Poll sent by the HC
TID	Reserved	Ack Policy	Reserved	Queue Size (256 octets)	QoS data (non-null) frames sent by the non-AP QSTAs
TID	0	Ack Policy	Reserved	TXOP duration (32 $\mu$ s)	QoS null frames sent by non-AP QSTAs
TID	1	Ack Policy	Reserved	Queue Size (256 octets)	

#### 5-4-2 IEEE802.11e의 MAC 구조

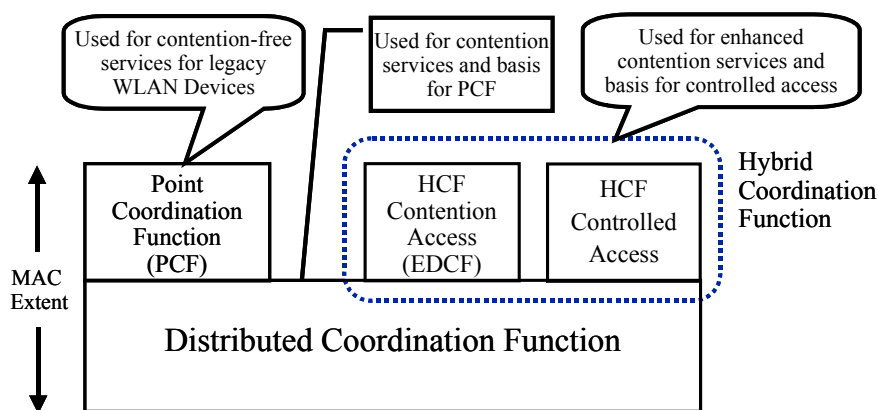
<그림 5-3>은 IEEE802.11e의 MAC 구조를 나타내고 있다. IEEE802.11e는 기존의 IEEE802.11에서 제공되는 DCF와 PCF 기능을 제공하고, QoS를 제공하기 위해 Hybrid Coordination Function (HCF)이 추가되었다.

HCF는 Contention을 기반으로 Prioritized QoS를 위한 Enhanced DCF (EDCF)와 Polling, Parameterized QoS를 위한 Controlled Channel Access 두 가지 매체 접근 메커니즘을 제공한다. EDCF와 Controlled Access 메커니즘은 각각 기존의 DCF와 PCF에 새로운 기능을 추가한 것이다. QoS STA(QSTA)들은 이 채널 접근 메커니즘들을 통해 Transmission Opportunity (TXOP)들을 획득할 수가 있는데, QSTA들은 이 TXOP를 획득해야만 프레임들을 전송할 수 있는 권한을 가지게 되어, IEEE802.11e에서 정의한 방식에 따라 TXOP 동안 프레임들을 전송하게 된다. TXOP은 이전 프레임이 끝난 이후 새로운 프레임

의 시작 시간으로부터 사용할 수 있는 최대 시간 길이로 정의된다. TXOP은 EDCF를 통해 획득한 EDCF TXOP과 Controlled Access 메커니즘을 통해 획득한 Polled TXOP 두 가지 종류로 나뉘어진다.

#### 5-4-2-1 HCF의 경쟁 기반 채널 접근 방식, Enhanced DCF (EDCF)

먼저 EDCF를 살펴보면, EDCF는 이름 그대로 DCF 메커니즘을 향상시킨 것으로서 AC에 따라 다음 값들이 차별화 된다.



<그림 5-3> IEEE802.11e의 MAC 구조

CWmin[AC]  
 CWmax[AC]  
 AIFS[AC]  
 TXOPLimit[AC]  
 TXOPBudget[AC]  
 Load[AC]  
 SurplusFactor[AC]

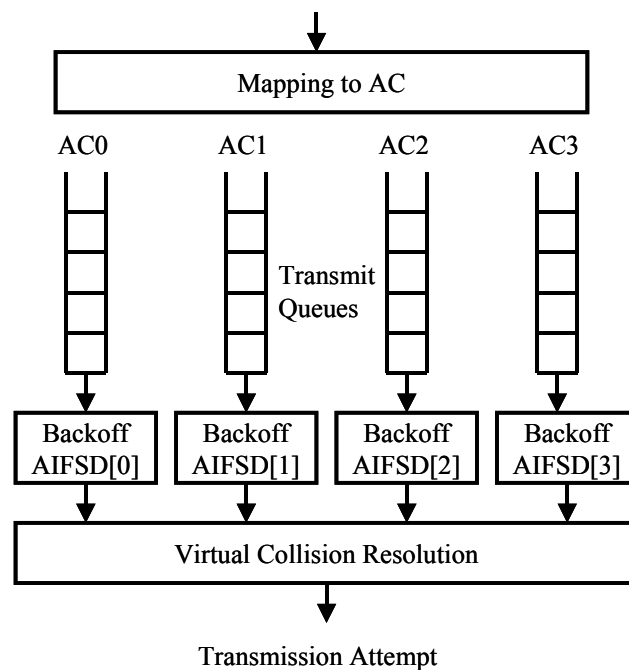
CWmin, CWmax 값은 Backoff 시에 사용되는 Contention Window (CW)의 최소 값과 최대 값을 나타내고, AIFS 값을 사용하여 AIFSD값을 결정하는데 이 값은 QSTA이 매체를 접속하기 위해 사용하는 접속 시간으로 이 시간 동안 연속적으로 idle하다고 판단되어야한다. TXOPLimit는 한번의 접속에 의해 QSTA이 사용할 수 있는 최대 시간을 나타낸다. 나머지 값들은 분산 접근 제

어(Distributed Admission Control)에 의해 필요한 값들이다. <표 5-4>에서 이 값들에 대한 디폴트 값을 나타내었다.

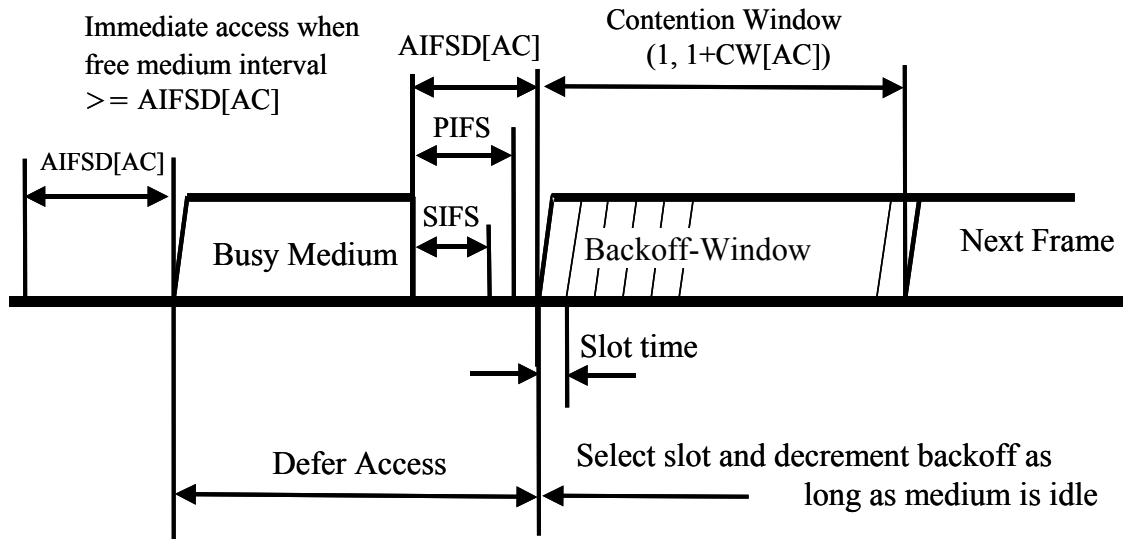
프레임 타입 또는 8개의 우선 순위에 따른 AC 맵핑에 의해 네 개의 전송 큐를 이용하여 독립적으로 채널에 접근함으로써 QoS를 지원하는 메커니즘을 <그림 5-4>에 나타내었다. 여러 AC들은 각각 경쟁하여 전송권을 획득한 AC만이 프레임을 전송한다.

<표 5-4> Default QoS Parameter Set

AC	CWmin	CWmax	AIFS	TXOP Limit (802.11b)	TXOP Limit (802.1a/g)	TXOP Budget
0	aCWmin	aCWmax	2	0	0	N/A
1	aCWmin	aCWmax	1	3.0 ms	1.5 ms	32767( $\infty$ )
2	$(aCWmin+1)/2-1$	aCWmin	1	6.0 ms	3.0 ms	32767( $\infty$ )
3	$(aCWmin+1)/4-1$	$(aCWmin+1)/2-1$	1	3.0 ms	1.5 ms	32767( $\infty$ )



<그림 5-4> AC 맵핑에 의해 네 개의 전송 큐를 이용하여 독립적으로 채널에 접근함으로써 QoS를 지원하는 메커니즘



<그림 5-5> 각각의 AC들이 EDCF TXOP를 획득하기 위한 Backoff를 나타내는 매체 접근 방법

<그림 5-5>는 각각의 AC들이 EDCF TXOP를 획득하기 위한 Backoff를 나타낸 것이다. AIFSD[AC] 값은 다음과 같이 결정된다.

$$\text{AIFSD[AC]} = \text{AIFS[AC]} \times \text{aSlotTime} + \text{aSIFSTime}$$

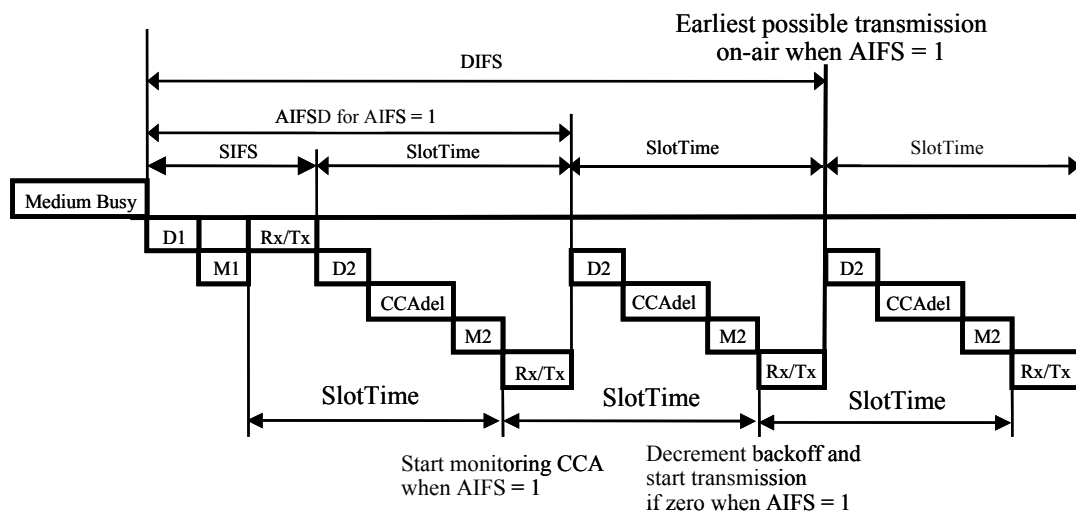
Clear Channel Assessment (CCA)와 Virtual Carrier Sense를 통해 AIFSD[AC] + aSlotTime 시간 동안 이상 매체가 Idle 한 경우 EDCF TXOP를 얻을 수 있고, 매체가 Busy인 경우 Backoff를 하게 된다. 이 때, Backoff 시간은 (1, 1+CW[AC]) 사이의 Random 수  $\times$  aSlotTime이 된다. 또한 동시에 보다 높은 우선 순위의 AC와 동시에 내부적으로 충돌이 발생할 때도 Backoff를 하게 된다. 이 경우 CW[AC] 값은 Backoff 프로시저가 시작하기 전에 aShortRetryLimit 또는 aLongRetryLimit 값이 되면 CWmin[AC]로 재설정된다. <그림 5-6>은 EDCF 타이밍에 대해 설명한 것이다.

#### 5-4-2-2 HCF의 제어된 채널 접근 방식

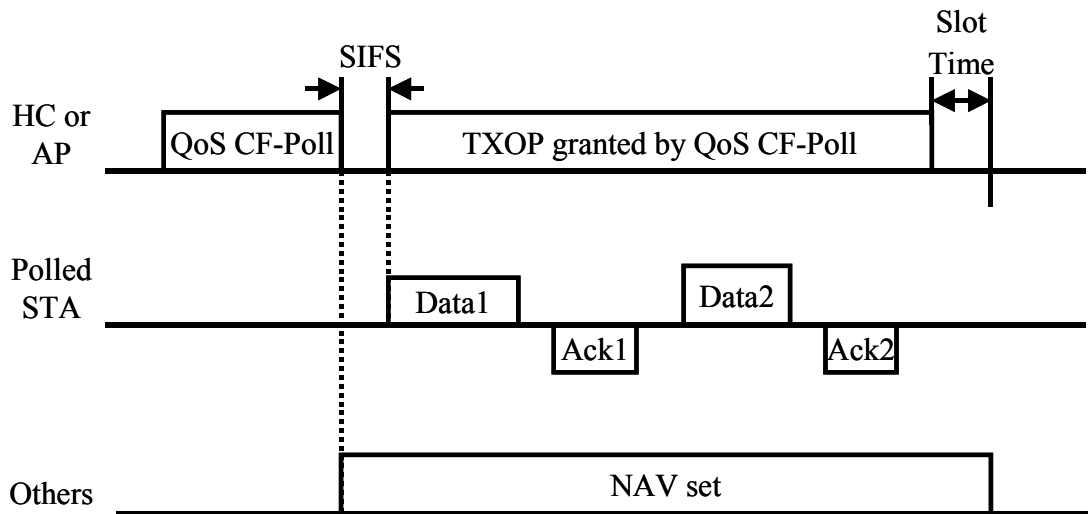
HCF의 Controlled Channel Access 메카니즘은 AP가 아닌 QSTA들보다 우선 순위가 보다 높은 Hybrid Coordinator (HC)를 사용하여 Wireless Medium



(WM)으로의 접근을 관리한다. 즉, QoS 트래픽을 QSTA들에 전송하거나 QoS(+)CF-Poll들을 QSTA들에 전송하기 위해서 Wireless Medium (WM)의 제어가 필요한 경우, EDCF나 DCF를 사용하는 QSTA들보다 짧은 시간(PIFS)을 기다린다. TXOP 동안 HC 또는 현재 TXOP 권한을 가진 QSTA는 다음 프레임을 전송하기 전에 SIFS를 기다린다. HC는 Point Coordinator(PC)와 비슷하게 Polling을 기반으로 하지만, 차이점은 HCF는 Contention Period(CP)와 Contention Free Period(CFP) 동안 프레임을 전송할 수 있다. 또한 PC로서 필요한 CF Parameter Set element를 Beacon 프레임에 넣어 전송한다. HC는 QoS(+)CF-Poll 프레임에 설정된 Polled TXOP를 제공하여 해당 QSTA이 프레임들을 전송할 수 있게 한다. <그림 5-7>에 보인 바와 같이 이 Polled TXOP를 얻은 QSTA는 프레임을 전송하게 되고, 이 Polled TXOP는 NAV를 통해 보장받는다. QoS(+)CF-Poll을 수신한 QSTA들은 SIFS 후 응답을 해야하는데, 그 때 QSTA에서 전송할 데이터가 없거나 전송할 데이터가 TXOP 보다 긴 경우, QoS(+)Null 프레임으로 전송한다.



<그림 5-6> EDCF Timing 관계

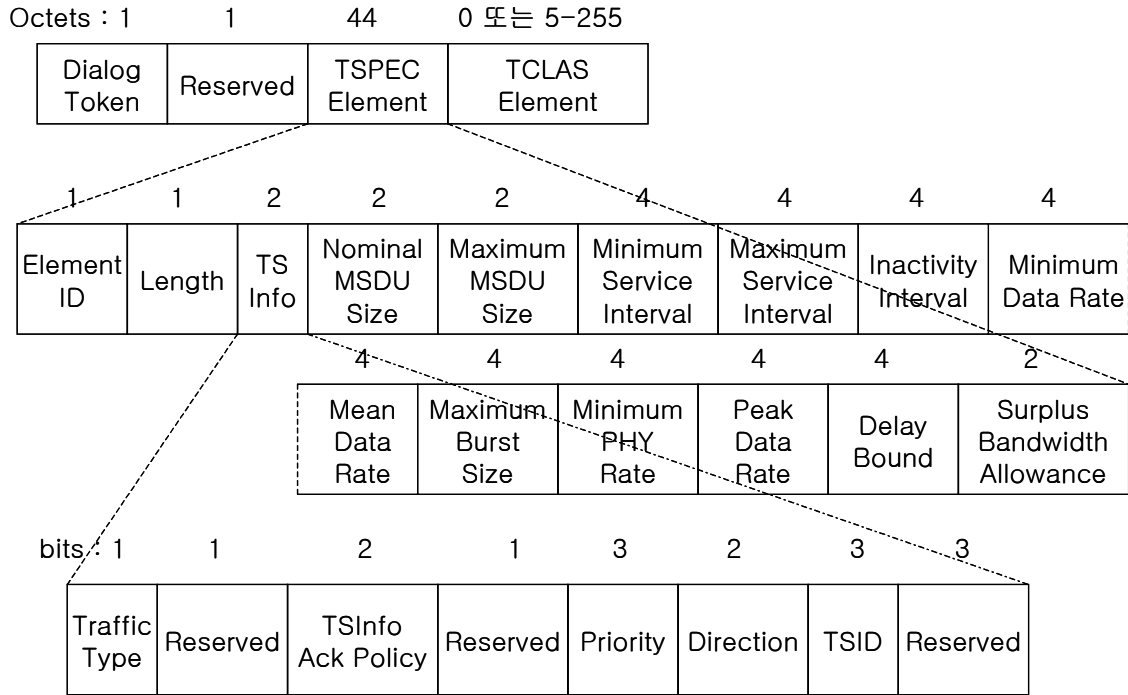


<그림 5-7> Polled TXOP

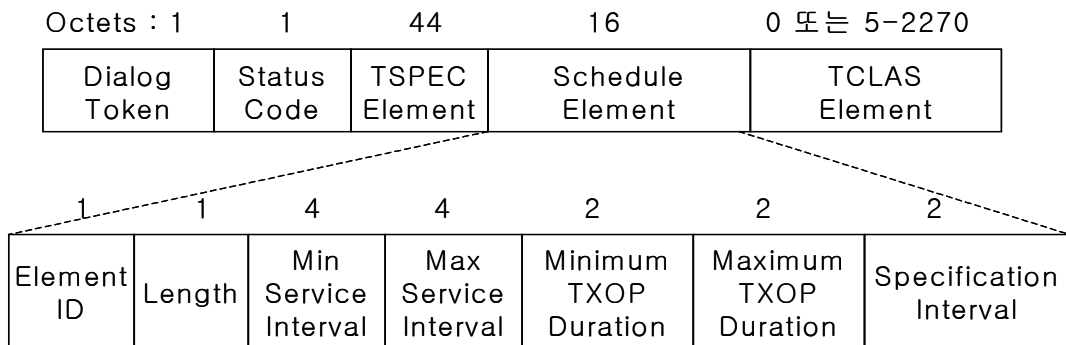
HCF의 Controlled Channel Access는 각 TS(Traffic Stream)의 서비스 요구 사항을 TSPEC(Traffic Specification)을 통해 다음과 같은 값들을 정의한다.

- Nominal, Maximum MSDU Size
- Minimum, Maximum Service Interval
- Inactivity Interval
- Minimum, Mean Data Rate
- Maximum Burst Size
- Minimum PHY Rate
- Peak Data Rate
- Delay Bound
- Surplus Bandwidth Allowance

Inactivity Interval은 TS이 Active 상태를 유지하기 위해서 트래픽이 발생해야 하는 최대 간격으로 이 동안 트래픽이 발생하지 않으면 그 TS는 삭제되어야 한다. Surplus Bandwidth Allowance는 재전송을 고려할 때 추가적으로 필요한 대역폭 요구량의 추가 비율로서 일반적으로 1보다 큰 값을 가지게 된다. HC의 Polling에 의하여 각각 QSTA은 각 TS에 대해서 QoS를 만족시키기 위한 적절한 전송 기회를 HC의 스케줄 관리를 통해 할당받게 된다.



<그림 5-8> ADDTS QoS Action 요구 프레임 구조



<그림 5-9> ADDTS QoS Action 응답 프레임 구조

QSTA이 TS를 설정하기 위해서 HC에게 ADDTS QoS Action 프레임을 전송하게 되는데, HC가 ADDTS QoS Action 요구 프레임을 QSTA으로부터 수신하면, HC는 그에 해당하는 ADDTS QoS Action 응답 프레임을 QSTA에게 전송하게 된다. 각각의 프레임은 <그림 5-8>과 <그림 5-9>에 나타내었다 이 프레임들을 통해서 각각의 QSTA들은 QoS를 요구하고, HC는 그에 해당하는 스케줄에 필요한 응답 값들을 전달하게 된다.

### 5-4-3 분산 접근 제어 (Distributed Admission Control)

HCF Controlled Channel Access는 CP(Contention Period) 구간과 CFP(Contention Free Period) 구간 모두에서 동작할 수 있다. 이러한 이유 때문에 CP에서는 EDCF에 의한 트래픽과 HCF Controlled Channel Access에 의한 TS이 서로 충돌할 가능성이 존재한다. 이 때문에 HC의 Centralized Admission Control에 의해 수용된 TS의 전송을 보장하기 위하여 EDCF에 의한 트래픽 전송 시에 비컨으로부터 각 AC별 전송 가능 시간에 관한 정보 (TXOPBudget[AC], Load[AC])를 받게 된다. EDCF에 의한 WM 접속 시에 이런 정보로부터 추가 전송 가능 시간이 가능하지 않다고 판단되면 QSTA은 EDCF에 의한 전송을 포기하게 된다.

Transmission Budget이 남아 있지 않게 되면 새로운 노드들은 전송할 수 있는 시간을 얻지 못하고, 기존에 전송하고 있는 노드들은 전송 시간을 더 이상 증가시킬 수 없게 된다. AP는 Beacon 기간동안 각각의 AC별로 전송에 사용되는 시간을 TxTime[AC]라는 카운터로 측정한다. 그래서 이 카운터를 통해 실제 TxBudget을 계산하여 다음 Beacon의 QoS Parameter Set element에 보내게 된다.

$$TxBudget[AC] = \text{Max}(aACTransmitLimit[AC] - TxTime[AC] * \text{SurplusFactor}[AC], 0)$$
여기서 aACTransmitLimit[AC]는 AP의 MIB 변수로서 어떤 AC의 전송에 사용되는 최대 시간을 나타낸다. 또한 AP와 각각의 QSTA들은 TxCounter[AC], TxUsed[AC], TxLimit[AC], TxRemainder[AC], TxMemory[AC]라는 네 개의 변수들을 사용하여 Admission 제어를 하게된다. TxCounter[AC]는 각각의 AC별로 Beacon 기간동안 성공적으로 전송하는데 사용된 시간을, TxUsed[AC]는 전체 전송 시간을 나타낸다. TxUsed[AC]가 TxLimit[AC]를 넘지 못하도록 제어를 한다. 이런 제어 방식은 전송 속도를 일정하게 유지해야 하는 비디오나 음성 같은 트래픽에 사용될 수 있다.

### 5-4-4 HC의 스케줄 관리

QSTA들의 채널 사용 가능 여부는 수락된 TSPEC을 기반으로 폴링(polling)을 할 것인지 HC가 결정하게 된다. 모든 QSTA들의 QoS 요구에 맞도록 협상을 통해 수락된 TSPEC 파라미터들을 기반으로 HC는 스케줄링을 하게 된다. 그래서 TSPEC 파라미터중 Minimum Service Interval과 Maximum Service

Interval 사이에 HC는 폴링을 하게 된다. Minimum TXOP duration은 TSPEC에 정의된 minimum PHY rate으로 전송할 때, 적어도 하나의 최대 MSDU 길이를 전송할 수 있는 시간이어야 한다. QSTA들은 서비스 스케줄을 직접 거절할 수는 없고, 현재 TSPEC들을 제거하거나 수정함으로써 서비스 스케줄에 영향을 줄 수는 있다. HC는 Minimum PHY rate이 있는 경우 이 값으로 TXOP들을 계산하거나 없는 경우 관찰된 PHY 전송 속도를 사용할 수도 있다. Minimum Service Interval은 QoS(+)CF-Poll들은 전송하는 최소 시간 간격으로 나타낸다. TSPEC 협상을 통해 설정하여, 스케줄러가 스트림들을 스케줄하는데 필요한 최소의 필수적인 파라미터로는 Mean Data Rate, Nominal MSDU Size, Maximum Service Interval이 필요하다. Maximum Service Interval이 없는 경우 Delay Bound로 대체할 수 있다. 이 파라미터들은 ADDTS QoS Action 요구 프레임을 통해 HC에 요구하게 된다. 이 파라미터들은 MAC 위의 계층에 있는 엔티티에서 설정하거나 MAC에서 자동적으로 설정할 수도 있다. 현재 TGe에서는 서비스 스케줄 파라미터 설정과 Admission Control에 대해 표준 밖으로 해놓았지만, 참조하기 위한 간단한 스케줄러를 설명하고 있다. 이 간단한 스케줄러는 필수적인 파라미터들을 사용하여 최소의 성능 요구를 만족시키게 한다. 즉, 스케줄된 서비스 간격(Scheduled Service Interval; SI)과 TXOP 길이를 계산한다. 먼저 SI는 다음과 같이 계산된다. 수락된 스트림들에 대한 모든 Maximum Service Interval들중에서 최소 값을 'm'이라고 하면, 비컨 간격의 약수중 이 'm'값 보다 바로 작은 값이 SI가 된다. 수락된 스트림의 TXOP 길이를 구하는 방법은 다음과 같이 계산된다. 협상된 TSPEC으로부터 Mean Data Rate( $\rho$ ), Nominal MSDU Size( $L$ )를 구하고, 위에서 구한 SI와 PHY의 전송 속도( $R$ ), 최대 MSDU 크기( $M$ ), Overhead 시간( $O$ )들을 사용한다. PHY 전송 속도는 협상된 TSPEC의 Minimum PHY Rate을 사용하거나 이 값이 없는 경우는 측정된 PHY의 전송속도를 사용한다. Overhead 시간은 Interframe 시간(IFS), ACK, CF-Poll들의 시간을 나타낸다. 먼저 SI 동안 Mean Data Rate으로 도착하는 MSDU 수( $N$ )를 계산하면 다음과 같다.

$$N_i = \left\lceil \frac{SI \times \rho_i}{L_i} \right\rceil$$

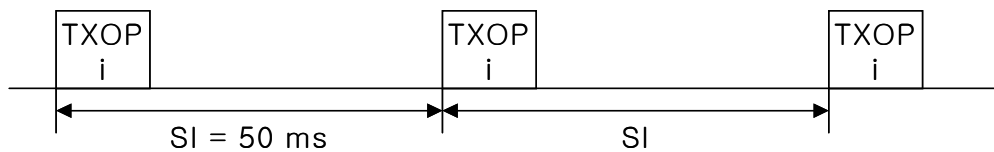
TXOP 길이는  $R_i$ 의 전송 속도로  $N_i$  수만큼 프레임을 전송하는데 필요한 시간에 Overhead( $O$ )를 더한 시간과  $R_i$ 의 전송 속도로 하나의 MSDU 최대 크기

를 전송하는데 필요한 시간중 긴 시간이 TXOP 길이가 된다. 수식으로 나타내면 다음과 같다.

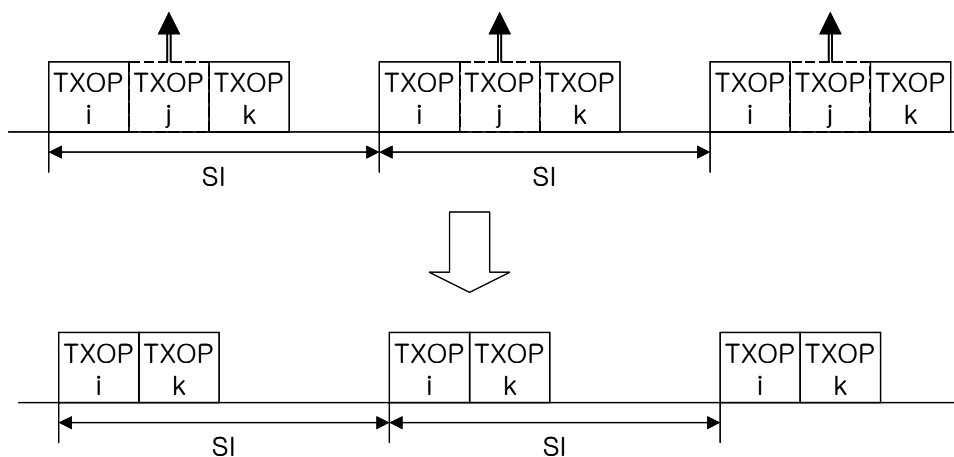
$$TXOP_i = \max(\frac{N_i \times L_i}{R_i} + O, \frac{M}{R_i} + O)$$

<그림 5-10>는 비컨 간격이 100ms 이고 Maximum Service Interval이 60ms 일 때, QSTA "i"로부터 전송되는 스트림을 수락한 경우를 나타낸다. 이 경우 SI 값은 50ms가 된다.

현재 SI 보다 작은 Maximum Service Interval을 가지는 새로운 스트림이 수락되면, 스케줄러는 비컨 간격의 약수중 이 Maximum Service Interval 보다 작은 값으로 SI를 변경한다. 이런 여러 스트림들이 동작하는 동안, 어느 한 스트림이 제거되면, 그 제거된 시간(TXOP)동안 Contention을 할 수 있는 시간으로 사용하거나, <그림 5-11>처럼 제거된 스트림의 다음 스트림 TXOP을 앞으로 이동할 수도 있다. 이 경우 모든 QSTA들에게 변경된 스케줄을 알려줘야 한다.



<그림 5-10> 스케줄링 예제



<그림 5-11> 스트림이 제거된 경우 TXOP의 재할당

표준에서 제시하는 간단한 스케줄러보다 성능이 높은 스케줄러를 구현하기 위해 수정할 수 있다. 또한 QSTA들마다 서로 다른 SI를 생성할 수도 있고, 재전송을 고려한 TXOP을 계산하기 위한 완충 요소를 고려할 수도 있다.

표준에서는 TSPEC들의 수락을 관리하는 Admission Control Unit(ACU)을 설계하는데 참조할 수 있는 방법도 제시를 하였다. 새로운 스트림을 요구하면, ACU는 SI 동안 Mean Data Rate으로 도착하는 MSDU들의 수( $N_i$ )를 계산하고, 이 스트림을 할당하는데 필요한 TXOP 길이( $TXOP_i$ )를 계산한다. 그 후, 다음 수식을 만족하면 그 스트림을 수락한다.

$$\frac{TXOP_{k+1}}{SI} + \sum_{i=1}^k \frac{TXOP_i}{SI} \leq \frac{T - T_{cp}}{T}$$

$k+1$ 은 새롭게 도착하는 스트림을 나타내고,  $i$ 부터  $k$ 까지의 합계는 이전에 수락된 스트림들을 나타낸다.  $T$ 는 비컨 간격을 나타내고  $T_{cp}$ 는 EDCF 트래픽에 사용되는 시간을 나타낸다. 또한 스케줄러는 할당된 TXOP들이 dot11CAPlimit를 넘지 않게 수락해야 한다. 그 외에 재전송에 필요한 추가 시간을 고려하거나, 우선 순위를 고려하여 스트림을 수락하거나 기존의 우선 순위가 낮은 스트림을 제거할 수도 있다.

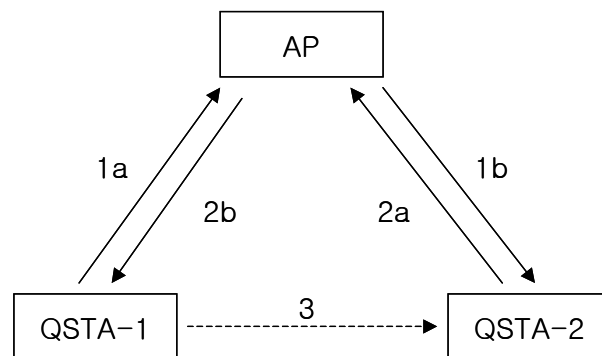
#### 5-4-5 트래픽 스트림(TS) 동작

TSPEC은 ADDTS와 DELTS QoS Action 프레임을 통해 전송되어 트래픽 스트림의 QoS 특성을 나타내고, HC에서 자원들의 할당과 스케줄링을 조정하는데 사용된다. 또한 트래픽을 구분하고 ACK 방식을 나타내는 파라미터도 포함하고 있다. <그림 5-8>에서 보는바와 같이 TS가 설정되면, QSTA에서 각각의 TS는 TSID와 Direction으로 구분하고, QAP에서는 TSID, Direction, QSTA 주소의 조합으로 구분한다. TS의 방향과는 상관없이 TS를 생성시키는 요구는 QAP가 아닌 QSTA에서 항상 요구한다. TSPEC들은 MAC 계층의 정보를 가지고, SME를 통해 제공되는 어플리케이션의 요구에 의해 MLME에서 생성된다. 그래서 MLME-ADDTS와 MLME-DELTS 프리미티브를 MLME SAP을 통해 전달하게 된다. 또는 SME를 통하지 않고 MAC에서 자동적으로 생성될 수도 있다. TGe에서는 TSPEC 생성 방법에 대해서 정의를 하지 않고 있다. 그러나 정보 제공용으로 어떻게, 어디서, 어떤 파라미터들을 선택해야 하는지 방

법을 제시하였다. Minimum Service Interval이 MAC에서 결정된다면, Nominal MSDU Size와 Mean Data Rate으로 계산될 수 있다 Maximum Service Interval도 마찬가지로 Delay Bound와 재시도 횟수로 계산될 수 있다. 한 QSTA에서 여러 스트림들이 존재하는 경우, 이런 요구하는 모든 Service Interval들은 합쳐지기 때문에, TXOP들은 QSTA마다 할당되지 어떤 특정 스트림에 할당되지는 않는다. 즉, TXOP는 여러 스트림을 포함하게 된다.

#### 5-4-6 Direct Link Protocol (DLP)

기존의 IEEE802.11에서 Infrastructure BSS에서는 각 QSTA의 Power Save 상태를 AP가 관리하기 때문에 각 QSTA는 다른 QSTA의 Power Save 상태를 직접 파악할 수 없다. 따라서 각 QSTA는 AP를 통해서만 프레임을 전송할 수 있다. IEEE802.11e에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 DLP라는 프로토콜을 통해 QSTA간 직접 전송이 가능하다. 그러나 Hidden Node Problem 같은 문제에 대한 해결책이 필요한 상황이다. DLP Handshake를 통해 Direct Link가 설정되면 전송 대상인 QSTA은 Power Save 상태로 전환될 수 없다.



<그림 5-12> DLP handshake

<그림 5-12>에서는 DLP를 사용하여 프레임을 전송하기 위해 설정하는 과정을 나타내고 있다. 프레임을 전송하려는 QSTA-1은 DLP-request 프레임을 AP에 전송하여 DLP를 시동시킨다(1a). 이 request 프레임에는 전송 속도, QSTA-1의 capability, QSTA-1과 QSTA-2 각각의 MAC 주소가 들어 있다. AP는 수신된 DLP-request 프레임을 실제 수신 QSTA인 QSTA-2에 발송(forward)한다(1b). QSTA-2가 Direct Stream을 수락하면 AP에 DLP-response



프레임을 전송한다(2a). 이 response 프레임에도 request 프레임과 마찬가지로 전송 속도, QSTA-2의 capability, QSTA-1과 QSTA-2의 MAC 주소가 들어 있다. AP는 수신한 DLP-response를 QSTA-1에 발송한 후(2b), Direct Link는 설정되고 프레임들을 직접 전송할 수 있게 된다. QSTA-2에서 DLP-response 프레임을 전송한 후에는(2a), QSTA-2는 aDLPIdleTimeout 시간 동안, power-save 상태로 변환할 수 없다. Direct Link가 설정된 후, QSTA-1은 DLP-probes(3) 프레임을 사용하여 QSTA-1과 QSTA-2간 링크의 상태를 점검할 수 있다. aDLPIdleTimeout 동안 전송할 프레임들이 없게되면 Direct Link는 해제되고 QSTA-2에 AP를 통해서 프레임들을 전송하게 된다.

#### 5-4-7 Automatic Power-Save Delivery

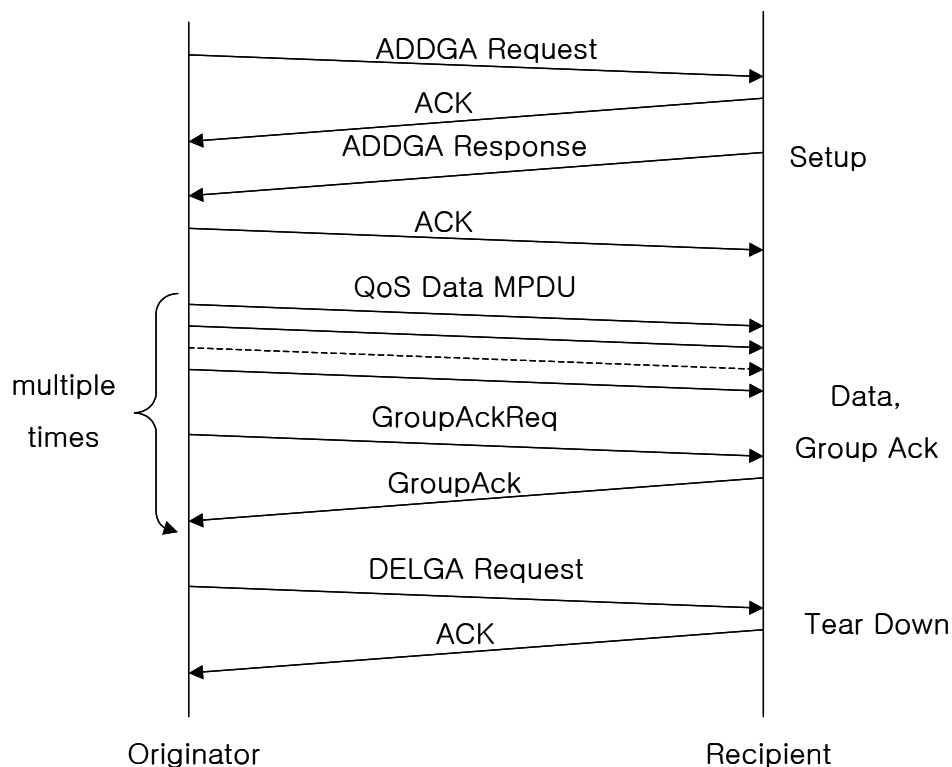
기존의 IEEE802.11에서 AP가 Power Save Mode에 있는 STA에 프레임을 전송하기 위해서는 STA으로부터 PS-Poll 프레임이 수신되어야만 한다. 이것은 AP가 STA이 Power Save Mode에 있을 경우 Awake State에 있는지 Doze State에 있는지 알 수 없기 때문인데 STA으로부터의 PS-Poll 프레임은 PS-Poll 프레임을 전송한 STA이 현재 Awake State에 있다는 것을 나타내기 때문에 AP는 STA에 프레임을 전송할 수 있다. 따라서 이러한 비효율적인 문제를 해결하기 위해 IEEE802.11e에서는 APSD를 통해 STA이 언제 Awake State에 있을 것인지를 Association 때 설정하여 PS-Poll 프레임을 통해 전송할 필요가 없다. AP가 아닌 QSTA들은 (re)association 또는 action management 프레임을 통해 QAP에게 Power Save에 관한 정보를 미리 알려준다. 그러면 QAP는 데이터들을 저장한 후 APSD mode에 있는 QSTA에게 해당 Wakeup 주기의 Beacon 기간동안 전송한다.

#### 5-4-8 Group ACK

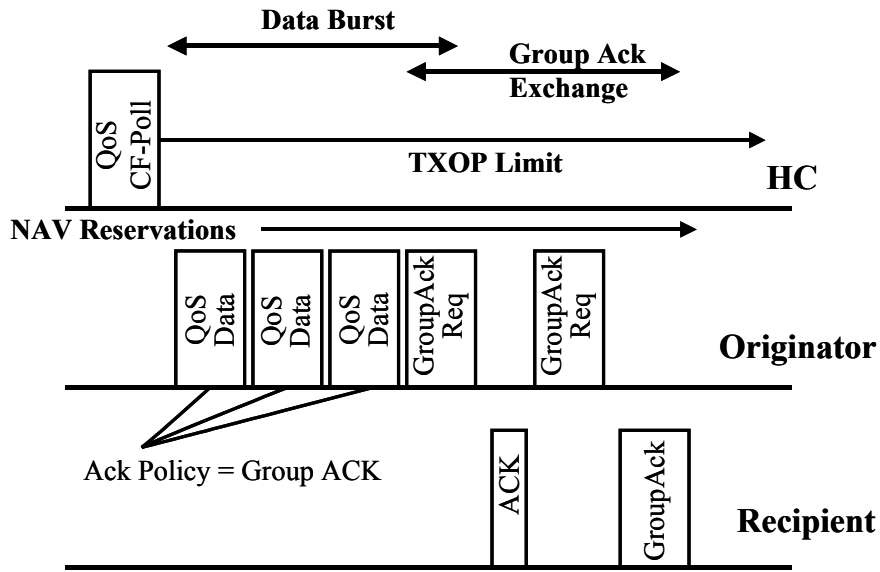
기존의 IEEE802.11에서 ACK 프레임은 각각의 MDPU가 전송될 때마다 전송되어야 한다. IEEE802.11e에서는 효율을 높이기 위해 최대 64개의 MSDU에 대해 한 개의 ACK 프레임으로 처리가 가능한 Group ACK 프레임을 정의하였다. <그림 5-13>에서는 Group ACK 메커니즘에서 주고받는 메시지를 나타내었다. ADDGA Request와 Response를 통해 Group ACK를 설정하고 여러 프레임들을 전송한다. 이 때 여러 프레임들을 전송하기 위해서는 polled TXOP 또는

EDCF TXOP를 얻어야 전송할 수 있다. 일반적으로 이렇게 여러 프레임들을 전송하는 것은 한 TXOP동안에서 이루어지고 SIFS 간격으로 전송한다.

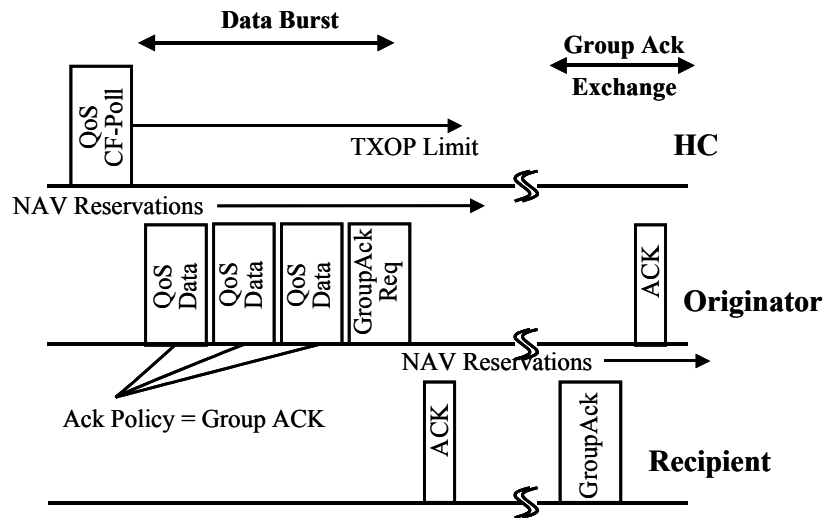
GroupAckReq 제어 프레임을 통해 ACK를 요구하여 GroupACK를 받은 후, DELGA Request를 전송하여 해제하게 된다. GroupACK는 두 가지 종류로 나뉘지는데, <그림 5-14>과 <그림 5-15>는 각각 Immediate Group ACK와 Delayed Group ACK 방식을 설명하였다. Immediate Group ACK는 Group ACK 프레임이 도착할 때까지 전송 QSTA이 계속적으로 Group ACK Request 프레임을 전송하는 방식이고, Delayed Group ACK 방식에서 전송 QSTA은 한번의 Group ACK Request 프레임 전송 후에 Group ACK 프레임이 도착할 때까지 기다린다. Immediate Group ACK는 높은 대역폭의 latency가 적은 트래픽에 적합하고, Delayed Group ACK는 일반적인 latency용의 어플리케이션에 적합하다.



<그림 5-13> Group ACK 메커니즘의 Message Sequence Chart



<그림 5-14> Immediate Group ACK



<그림 5-15> Delayed Group ACK

이상과 같이 본절에서는 향상된 QoS를 지원하는 IEEE802.11e의 표준에 있어서 핵심 이슈가 되었던 새로운 개념의 구현 방법들에 대해 논의하였다. IEEE802.11e가 제공하는 QoS의 성능에 따라 앞으로 연구할 홈 네트워킹 기술이 제공할 성능이 크게 영향을 받게 될 것임은 자명한 일이다. 보다 자세한 내용은 참고자료 [18 - 22]에 설명되어 있다.

## 제 6장 결 론

홈 네트워킹 기술은 맥내의 PC와 프린터 등과 같은 PC 관련 기기는 물론 냉장고, 세탁기 등 가정내의 모든 가전 기기들을 하나의 네트워크로 연결하여, 서로의 정보를 공유하고 내부에서 제어할 수 있을 뿐만 아니라, 각각의 기기가 인터넷에 동시에 접속할 수 있으며, 이에 따라 인터넷을 통하여 외부에서도 가정 내의 기기를 제어할 수 있게 해 주는 기술이다.

그러나 현재까지 개발되고 표준화가 이루어지고 있는 홈 네트워킹 기술들을 살펴보면 유선의 경우 높은 대역폭을 지원하지만 새로운 선을 설치해야 하는 문제가 있으며 무선인 경우 대역폭의 한계 등의 단점이 있다. 따라서 홈 네트워킹 기술이 각 가정 내에 Deploy되려면 이러한 문제점들을 어느 정도 해소할 수 있어야 한다. 이와 같은 문제의 해소 방식의 중심에 WLAN 기술이 있는 것이다. IEEE802.11 위원회가 제정하고 있는 WLAN 기술은 다양한 QoS 기술과 다른 주파수 사용자와의 간섭 문제 해소 기술 등 많은 방안을 제시하고 있기 때문이다.

본 연구에서는 이와 같은 홈 네트워킹 기술 중에서 WLAN을 이용하여 홈 네트워킹의 백본을 구축하고 이를 통해 가정 내의 모든 기기들이 하나의 네트워크로 통신을 할 수 있는 방안을 마련할 수 있는 기반을 마련하였다. 이와 같은 연구를 위해 본 연구의 상반기에는 먼저 국내 환경에 적합한 홈 네트워킹 및 백본 구현 기술들에 대해 연구하였다. 이의 일환으로 홈 네트워킹 기술로서 현재 표준화가 완료되어 있는 HomePNA 기술과 PLC 기술, 그리고 IEEE1394 기술에 대한 기본적인 동작 이론과 장점, 그리고 단점 등에 대한 이론적인 분석을 완료하였다.

또한 Wireless 1394 홈 네트워킹 기술에 필요한 1394 네트워킹 전송 알고리즘 체계를 연구하였는데, RLAN을 이용하여 홈 네트워킹 위한 백본으로 사용할 수 있도록 RLAN이 제공하는 QoS 기술을 연구하였으며 IEEE1394 신호를 전송할 수 있는 기술로 발전시키기 위하여 IEEE1394 기술 및 IEEE1394.1 기술에 대해 연구하였으며 이를 위해 IEEE802.11 국제표준 회의에 참석하여 최신자료 분석하였다. IEEE802.11 국제 표준화회의인 Austin 회의, Dallas 회의, St. Louis 회의, Sydney 회의, Vancouver 회의, 그리고 Monterey 회의 등 총 6회의 표준화 회의에 참가하였으며, 이 회의에서 입수한 자료를 분석하고 연구에 활용하였다. 또한 Spain의 Barcelona에서 열린 1394TA 표준화회의에도 참가하

여 IEEE1394 기술의 홈 네트워킹에의 적용 방안을 논의하였다.

그리고 무선 전송품질(QoS)을 보장하기 위한 구현 기술을 연구하였다. QoS 보장 기술은 IEEE802.11e에서 정의하고 있는 QoS 기술을 주로 연구하였으며 IEEE1394 신호를 RLAN으로 전송할 수 있는 보다 나은 QoS를 위해 새로운 방안을 계속해서 연구할 계획이다.

가정내의 벽을 통하여 전파되는 해당 주파수의 투과 및 반사특성에 관한 연구도 수행하였다. 가정내의 벽을 통하여 전파되는 해당 주파수의 투과 및 반사 특성은 Ray Tracing 기법을 이용하여 이론적으로 분석하였으며 이 모델링을 적용한 결과와 실험을 통해 얻게 되는 데이터를 비교 분석하였다.

일반적인 가정 건축구조 환경에서 5GHz 대역에 속하는 전파신호의 감쇠패턴에 관한 연구도 수행하였다. 일반적인 가정 건축구조 환경에서 5GHz 대역에 속하는 전파신호의 감쇠패턴 및 OFDM 전송 적용 시 나타나는 옥내 구조에서의 전파특성에 관한 연구에 관한 연구를 수행하여 그 결과를 제시하였다.

## 참 고 자 료

- [1] <http://www.homepna.org>.
- [2] Home Phone-line Networking Alliance 1M8 PHY Spec. (V1.1).
- [3] HomePNA Certification Document (V1.0).
- [4] Interface Specification for HomePNA 2.0 10M8 Technology.
- [5] Interface Specification for HomePNA 2.0 Link Layer Protocols.
- [6] HomePNA 2.0 System for High-Speed Networking, Broadcom.
- [7] <http://www.conexant.com/>.
- [8] IEEE Std. 1394-1995, Standard for a High Performance Serial Bus
- [9] ISO/IEC 13213:1994, Control and Status Register (CSR) Architecture for Microcomputer Buses
- [10] IEEE Project P1394a, Draft Standard for a High Performance Serial Bus (Supplement)
- [11] IEEE1394 Project P1394b, Draft Standard for a High Performance Serial Bus (Supplement)
- [12] IEEE P1394.1 Document, Draft 0.15, January 11, 2001.
- [13] ISO/IEC 8802-11: 1999, Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
- [14] ISO/IEC 7498-1: 1994, Information Technology - Open Systems Interconnections - Basic Reference Model: The Basic Model.
- [15] R. Braden, D. Clark, S. Shenker, Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview, RFC1633, June 1994.
- [16] Y. Bernet, J. Binder, S. Blake, M. Carson, et. al., A Framework for Differentiated Services, Internet Draft, October 1998.
- [17] IEEE Standard 802.11e/D2.1: Draft Supplement to STANDARD FOR Telecommunications and Information Exchange Between Systems -LAN/MAN Specific Requirements - Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications:

- Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS)
- [18] IEEE Standard 802.11e/D4.0: Draft Supplement to STANDARD FOR Telecommunications and Information Exchange Between Systems – LAN/MAN Specific Requirements – Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS)
  - [19] IEEE Standard 802.11f/D3.0: Draft Recommended Practices for Multi-Vendor Access Point Interoperability via an Inter-Access Point Protocol Across Distribution System Supporting IEEE802.11 Operation.
  - [20] IEEE Std 802.11g/D2.5, DRAFT Supplement to STANDARD [for] Information Technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Further Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band.
  - [21] IEEE Std 802.11h/D2.0, Draft Supplement to STANDARD FOR Telecommunications and Information Exchange Between Systems – LAN/MAN Specific Requirements – Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Spectrum and Transmit Power Management extensions in the 5GHz band in Europe
  - [22] IEEE Std 802.11i/D2.0, Draft Supplement to STANDARD FOR Telecommunications and Information Exchange Between Systems – LAN/MAN Specific Requirements – Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Specification for Enhanced Security