

碩士學位論文

VoIP 통신을 위한 블루투스 피코넷에서의  
다중 채널 검증 및 LAN access 시스템 구현



濟州大學校 大學院

通信工學科

梁 榮 倍

2003 年 12 月

# VoIP 통신을 위한 블루투스 피코넷에서의 다중 채널 검증 및 LAN access 시스템 구현

指導教授 林 載 允

梁 榮 倍

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



梁榮倍의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 李 鎔 鶴 印

委 員 梁 斗 榮 印

委 員 林 載 允 印

濟州大學校 大學院

2003 年 12 月

Verification of multi-channel in the Bluetooth  
piconet and implementation of LAN access system  
for the VoIP communication

Young-bae Yang  
(Supervised by professor Jea-yun Lim)



A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the  
degree of Master of Science

2003. 12.

This thesis has been examined and approved.

.....  
Thesis director, Yong-hak Lee, Prof. of Telecom. Eng.  
.....  
.....

(Name and signature)

.....  
Date

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

## 목 차

Abstract .....	1
I. 서론 .....	2
II. 블루투스 기술과 응용 .....	4
1. 블루투스 링크와 패킷 형태 .....	4
2. 프로토콜 스택의 구성과 구현 .....	6
3. LAN access 프로파일 .....	8
4. 블루투스 피코넷의 구성 .....	11
5. VoIP 시스템 .....	13
III. 블루투스에서의 음성 전송 .....	17
1. SCO 채널에서의 오디오 .....	17
2. ACL 채널을 사용한 음성 전송 .....	18
3. SCO 채널과 ACL 채널에서의 음성 통신 비교 .....	19
IV. 블루투스 기반 응용 시스템 구현 .....	23
1. 블루투스 테스트 보드 .....	23
2. 블루투스를 이용한 VoIP 단말 .....	25
3. LAN access 시스템 .....	29
V. 피코넷에서의 다중 채널 검증 및 분석 .....	42
1. 피코넷 구현 .....	42
2. 실험 결과 및 분석 .....	45
VI. 결론 .....	59
참고문헌 .....	60

## Abstract

The Bluetooth technology is a publicly available specification proposed for radio frequency communications in short-range and point-to-multipoint voice and data transmission. Voice transmission in the existing Bluetooth system uses the SCO link. But high quality voice data cannot be transmitted since the SCO link has the limited bandwidth as 64Kbps. And different trade-offs of quality and robustness are available.

In this thesis, we suggested the method and the system for voice transmission through the use of the ACL link, and implemented the integrated system of the wired and wireless network extending the VoIP communication by using LAN access. Moreover, we composed a piconet that is the basis network of Bluetooth and measured the data rate of the implemented system that treats from 1:1 communication to 1:7 communication, and from this, verified the data rate for the VoIP communication.

For system configuration, we used the Bluetooth test board, the DSP board for voice processing and the embedded base LAN access point board that consists of the Bluetooth module, and implemented application programs that have RFCOMM stack in basis structure. The implemented application programs have been used in analysis of the ACL link, and by applying to voice communication, comparison with the existing way of the Bluetooth voice communication was performed. From this, it was proved that the voice communication using the ACL link has better quality than the voice communication of the SCO link. Also, by realizing the multi-channel of the ACL link in the piconet to the LAN access system, the data and the voice communication system were implemented. And then a proposal and a research for maximum practical usage of the Bluetooth technology were performed by applying actually to the commercial VoIP communication network.

## I. 서론

정보 가전 및 컴퓨터 기술의 발달로 노트북, PDA, 이동전화와 같은 단말기들은 눈부신 성장을 하였고, 사용자의 관심은 단말기들을 장소의 제약 없이 사용할 수 있는 무선 인터넷 환경에 집중되고 있다. 그러나 이러한 단말기들 상호간에는 호환성을 가진 데이터 통신 인터페이스를 보유하고 있지 않으며, 있더라도 복잡한 케이블 연결과 설치 절차를 필요로 한다. 이러한 상황에서 단말기들을 가장 합리적으로 사용하는 방법은 단말기들간에 연결된 선을 제거하고 단거리 무선 통신을 사용하는 것이다.(P. Bhagwat, 2001), (J. Haartsen 등, 1998)

언제 어디서나 필요한 정보에 접근하기 위한 다양한 무선 네트워크 솔루션들이 소개되고 있으며, 블루투스, 무선랜, Home RF 등이 대표적인 것들이다. 특히 블루투스는 이러한 환경을 위해 편리하고, 경제적으로 저렴하며, 저전력 소모로 근거리 송·수신 기능을 구현하여 모든 연결 가능한 장치들에 대해 무선으로 연결할 수 있도록 설계되었다. 블루투스는 정보 가전 및 컴퓨터 등에서 필요한 케이블을 무선으로 대체하고, 나아가 이동 단말기간의 상호 접속을 통한 애드혹(ad hoc) 망을 구성하기 위한 단거리 일대다중 무선 주파수 통신을 위해 제안된 무선 접속 규격이다. (Bluetooth SIG, 2001)

블루투스는 음성 및 데이터 전송을 위해 SCO(synchronous connection-oriented) 링크와 ACL(asynchronous connection-less) 링크를 제공하는데, SCO 링크는 음성과 같은 시간 종속 데이터 전송에 사용하는 동기화 링크이고, ACL 링크는 패킷 기반의 데이터 전송에 사용하는 비동기화 링크로써 링크의 대부분을 차지한다. 블루투스 규격은 이러한 무선 링크를 통해 하나의 피코넷(piconet)에서 최대 8개 단말간의 통신을 지원하도록 설계되어 있다. 그리고 블루투스를 활용하기 위한 프로파일(profile)로써 IP 서비스를 위한 블루투스 네트워크 구현을 위해서 현재 블루투스 SIG(special interest group)에서는 LAN access 프로파일을 제시하고 있다.(Bluetooth SIG, 2001)

블루투스 오디오는 전이중 오디오 채널을 동시에 3개까지 지원할 수 있고, 오디오

오 데이터는 몇 가지 부호화 기법을 사용하여 SCO 채널을 통하여 전달된다. 이와 같은 SCO 링크를 이용한 오디오 기능을 사용하여 무선 헤드셋, 마이크로폰, 스피커 등의 장치를 상용 제품에 접속시키기 위해 블루투스의 오디오 기능이 주로 쓰인다. 그러나 현재 블루투스의 단점 중 하나는 미래의 사용자 욕구를 만족시키기에는 사양이 낮다는 것으로 SCO 링크는 음악을 전송할 만큼의 충분한 품질을 보장해 주지 못한다는 것이다. 이에 대한 해결방안으로 블루투스 SIG 산하의 개발 그룹에서는 차기 버전에서 ACL 링크를 이용하여 디지털 오디오나 음성에 대한 전송, 그리고 그 외의 다양한 부가기능을 동시에 전송하는 방법을 연구하고 있고, 그것을 통해 CD급의 품질을 제공하는 프로파일을 결정하겠다고 하고 있다.(한국 무선네트워크, 2003), (Jennifer Bray and Charles F Sturman, 2001)

본 논문에서는 SCO 링크를 이용하는 기존 블루투스 음성 전송 방식의 개선을 위해 SCO 링크와 ACL 링크에서의 음성 통신을 구현, 비교하여 ACL 링크의 음성 통신 신뢰성 보장과 품질 우위를 입증하고, 더 나아가 ACL 링크에서의 블루투스 최대 사양인 1:7의 다중 접속에 대한 구현과 데이터율의 검증이 수행되고, LAN access로의 응용을 통해 인터넷을 이용하는 VoIP(voice over internet protocol) 통신과의 적용기법을 제시하고자 한다. 또한 블루투스를 무선 인터페이스로 하는 VoIP 시스템의 하드웨어적, 소프트웨어적 설계와 구현을 바탕으로 일반 전화 교환망(PSTN, public switched telephone network)으로 확장함으로써 실제 유·무선 통합 시스템을 구축하고, 이로써 블루투스 활용의 가능성을 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 먼저 블루투스의 개요로써 기술 규격과 프로파일의 내용을 살펴보고 구현 관련 적용 형태를 설명한다. 그리고 VoIP 시스템에 대한 설명과 블루투스를 이용하여 이를 무선화하는 응용 방안에 대해 제시한다. III장에서는 기존 블루투스 시스템에서의 음성 전송 형태를 소개한 후, 제안하는 음성 전송 기법과 형태에 대해 기술하고, 두 음성 통신을 실제 구현하여 비교한다. IV장에서는 블루투스의 응용 부분으로 앞에서 입증된 결과를 가지고 ACL 링크를 이용하여 데이터 통신과 음성 통신을 위한 LAN access 시스템을 실제 구현하여 블루투스 기술 활용의 최대화 및 실제 적용의 타당성을 보인다. V장에서는 구현된 LAN access 시스템에 대한 다중 채널의 검증을 위해 패킷 형태별 데이터율을 측정하여 비교·분석하고 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. 블루투스 기술과 응용

블루투스는 2.4GHz의 ISM(industrial, scientific, and medical) 대역을 이용하여 초단거리 무선 통신을 위한 무선 접속 규격을 제정하고 있다.(Bluetooth SIG, 2001) 각 1MHz 대역폭을 가지는 79개의 채널을 사용하며, 사용자간 간섭 방지를 위해 이들 채널에서 초당 1600번 도약하는 주파수 도약식 대역 확산(frequency hopping spread spectrum) 방식을 사용한다. 동일 채널을 공유하는 2개 이상의 블루투스 기기는 피코넷을 형성하며, 피코넷은 통신을 제어하는 하나의 마스터(master) 기기와 7개 이하의 슬레이브(slave) 기기로 구성된다. 채널은 1개의 슬롯을 기본으로 하여, 시간 분할 이중화(TDD, time division duplex) 방식으로 송·수신을 한다. 마스터와 슬레이브는 1개, 3개 또는 5개의 슬롯을 패킷 형태에 따라 전송함으로써 무선 자원 효율을 높일 수 있다.



### 1. 블루투스 링크와 패킷 형태

링크는 마스터로 동작하는 장치와 슬레이브로 동작하는 장치 사이에 설정되고, ACL과 SCO 링크가 있다. 블루투스 패킷은 Fig. 1에 나타난 것처럼 구성 성분에 따라 접속 코드, 패킷 헤더, 페이로드(payload)로 나눈다.



Fig. 1. Bluetooth standard packet format

접속 코드는 수신된 신호와 정합을 통하여 마스터가 속한 피코넷 내의 패킷을 검출하는 역할을 한다. 패킷 헤더는 18bits 정보를 포함하며, 이 정보는 1/3

FEC(forward error correction) 코드로 보호를 받아 길이가 54bits가 되고 패킷과 관련된 모든 제어 정보를 포함한다. 페이로드는 실제 메시지 정보나 스택(stack) 관련 데이터를 포함한다. 본 절에서는 ACL과 SCO 패킷의 구조와 사용되는 패킷 형태에 대해 설명한다.

### 1) ACL 링크와 패킷 형태

ACL 링크는 블루투스 기기간의 접속 설정이 이루어지면서 마스터와 슬레이브 사이에서 성립된다. 모든 ACL 패킷의 페이로드는 Fig. 2와 같이 페이로드 헤더, 페이로드 데이터 자체, CRC(cyclic redundancy check) 필드 등 3부분으로 나누어진다. 페이로드 헤더 필드는 단일 슬롯일 경우는 1byte이고 다중 슬롯일 경우는 2bytes가 되며 논리적 링크 제어 정보를 포함한다. CRC 필드는 오류 검사를 위해 항상 필요하다.



Fig. 2. ACL payload structure

ACL 링크에서 패킷은 Fig. 2에서의 페이로드 데이터의 중요도에 따라 2/3 FEC 사용 여부로 DM(data medium rate)과 DH(data high rate) 패킷 형태로 나누고, 사용 슬롯 수에 따라 단일 슬롯의 패킷 형태(DM1, DH1)와 다중 슬롯의 패킷 형태(DM3, DH3, DM5, DH5)로 다시 나눈다. 이를 사용하여 실질적인 데이터 전송을 하고, 비대칭 채널의 DH5일 경우 이론적으로 최대 723.2Kbps의 데이터율이 가능하다. 그러나 이것은 이론적 최대 비트 수이고, 실제 블루투스 기기에서는 일반적으로 이보다 낮다. 블루투스에서는 HCI(host controller interface) 명령을 통해 링크 품질을 체크할 수 있고, 링크에서 사용하는 패킷 형태를 변화시킬 수 있다.

### 2) SCO 링크와 패킷 형태

SCO 링크는 ACL 링크와는 아주 다르며, 예약된 채널 대역폭과 예약된 슬롯 형

대로 데이터의 규칙적 주기 교환을 가지고 마스터와 슬레이브 사이의 대칭 링크를 제공한다. Fig. 3은 SCO 패킷 구조를 나타내고 있다.

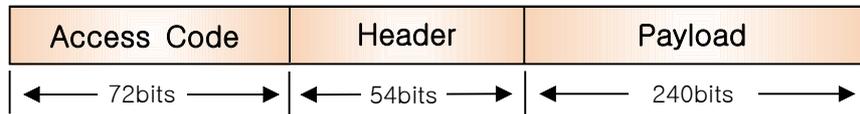


Fig. 3. SCO packet structure

SCO 패킷의 페이로드에는 CRC 필드가 존재하지 않으며, 3가지 패킷 형태(HV1, HV2, HV3)가 존재하고, 각 패킷의 원래 데이터 길이는 10bytes, 20bytes, 30bytes이지만 HV1과 HV2 패킷에는 각각 1/3 FEC와 2/3 FEC가 적용되어 모든 패킷 형태에서 페이로드 길이는 240bits로 고정된다.

## 2. 프로토콜 스택의 구성과 구현



블루투스의 프로토콜 스택은 블루투스 SIG에 의해 제정된 프로토콜들의 집합을 지칭하며, Fig. 4에서 보여지는 것처럼 하위 계층부터 상위 계층까지 쌓아올린 형태를 가진다.

RF(radio frequency) 계층은 블루투스 통신의 주파수 대역과 전기적인 사양, 변조 방식 등에 대해 정의하고 있고, 베이스밴드(baseband) 계층은 조회(inquiry)와 호출(page), 그리고 슬레이브가 마스터의 주파수 클럭에 동기화되는 방법 등을 정의하고 있으며, 송·수신에 사용되는 패킷의 구조를 다룬다. LM(link manager)은 블루투스 기기간의 링크 제어와 인증, 암호화를 통해 상대 기기의 식별, 그리고 보안기능을 수행한다. 그리고 HCI는 호스트(host)와 호스트 컨트롤러(host controller)와의 소프트웨어적인 표준 인터페이스 방법에 대한 정의로써 패킷의 구성과 절차에 대해 기술하고 있다. L2CAP(logical link control adaptation protocol)는 블루투스 기기간의 논리적인 연결을 생성하며, 비동기식 비연결형 링크인 ACL 링크를 통해 데이터 패킷을 HCI와 교환한다. 그리고 상위 프로토콜에 대한 다중화

(multiplexing)와 패킷 전송을 위한 분할과 재조립(segmentation and reassembly), QoS(quality of service) 관리 등의 기능을 수행한다. SDP(service discovery protocol)는 인식된 상대 블루투스 기기에서 사용할 수 있는 서비스를 탐색하여 연결 설정을 가능하게 하고, RFCOMM(radio frequency communications port)은 직렬 통신을 에뮬레이션(emulation)하여 RS-232를 사용하는 상위계층에게 전송 기능을 제공한다. TCS(telephony control protocol specification)는 블루투스 기기 사이의 통신과 데이터 연결 설정을 위한 호출 제어 신호를 정의하며, TCS 기기들을 관리할 수 있는 규격이다.

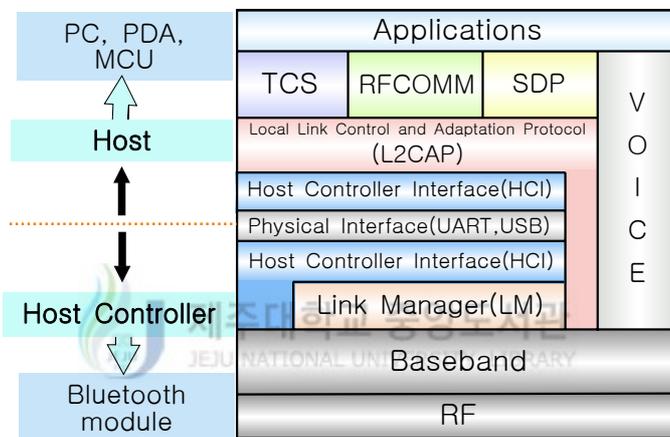


Fig. 4. Bluetooth protocol stack

프로토콜 스택은 보통 HCI를 기준으로 호스트 컨트롤러 프로토콜과 호스트 프로토콜로 나뉘게 된다. Fig. 4를 보면 HCI가 두개의 계층에 위치하는데 아래쪽 HCI가 호스트 컨트롤러에 포함되는 것이고, 위쪽의 HCI가 호스트에 포함되는 것이다. 두 개의 HCI 사이는 물리 링크인 UART, USB 등의 인터페이스로 연결된다. 호스트 컨트롤러는 블루투스 모듈에 해당되고, 호스트는 호스트 컨트롤러인 블루투스 모듈과 연결되어 블루투스 모듈을 제어하고 어플리케이션(application)을 수행하는 곳으로 그 종류는 시스템에 따라 달라질 수 있다. 보통 PC, PDA, 이동전화 등이 모두 호스트가 될 수 있고, 임베디드(embedded) 시스템의 경우 마이크로프로세서가 호스트가 된다. 그리고 호스트에 포함되는 프로토콜은 구현된 어플

리케이션의 종류나 프로파일에 따라 달라진다.

본 논문에서는 PC와 임베디드 시스템의 마이크로프로세서를 호스트로 사용하였고, 호스트 컨트롤러는 CSR 칩셋이 적용된 블루투스 모듈을 사용하였다. PC 기반 구현에서는 UART와 USB를 이용하여 호스트 컨트롤러와 인터페이스하였고, RFCOMM까지를 기본 상위 스택으로 구성하였다. 임베디드 기반 구현에서는 마이크로프로세서와 블루투스 모듈을 UART로 인터페이스하여 상위 스택을 마이크로프로세서 제어상의 펌웨어(firmware)로 구현하였다.

### 3. LAN access 프로파일

프로파일은 각 블루투스 응용에 대한 프로토콜의 사용에 대한 정의로써, 다른 제조사의 블루투스 제품들간의 상호 운용성을 확보하기 위한 것이다. 그리고 블루투스를 이용한 피코넷 망에서의 IP 서비스 제공을 위한 LAN access 방법을 표준 규격으로 정해 놓은 것이 LAN access 프로파일이다.

#### 1) LAN access 프로파일 스택의 기능 및 구현

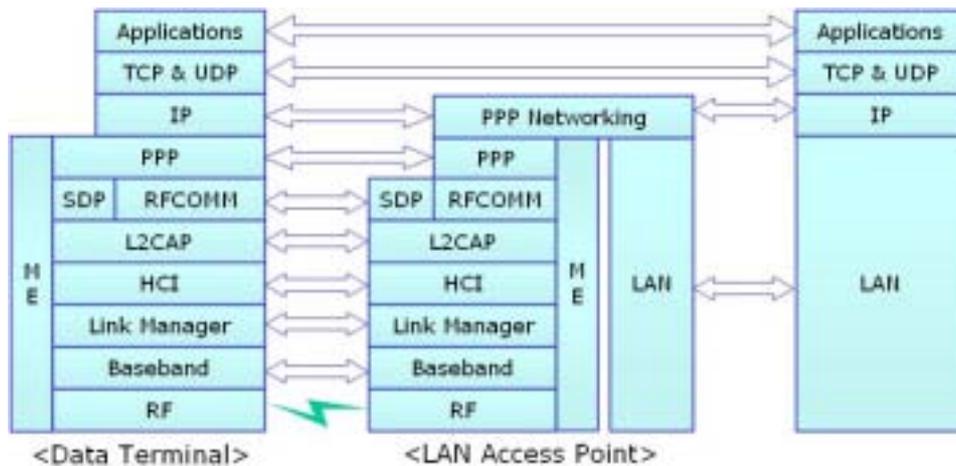


Fig. 5. LAN access profile stack

LAN access 프로파일은 블루투스 장치들의 PPP(point-to-point protocol) 이용을 통한 LAN 서비스의 사용을 정의하고 있고, Fig. 5는 LAN access 프로파일의 스택 구조를 나타내고 있다. IP 서비스를 위해 RFCOMM은 기존의 시리얼 포트를 사용하여 통신하던 응용프로그램과의 호환성 보장을 위해 모뎀 제어 신호 및 통신 환경 구성 명령을 PPP에 전달하고, PPP는 시리얼라인을 통해 데이터를 IP 네트워크까지 전송하게 된다. 따라서 블루투스가 시리얼 디바이스를 사용하더라도 IP 패킷을 송·수신할 수 있게 되는 것이다. ME(management entity)를 통해 초기 환경 설정과 연결 관리를 조정할 수 있으며, 한 피코넷에서는 최대 7개의 블루투스 기기가 연결될 수 있고, 블루투스 단말이 특정 지역에 존재하는 경우 LAP(LAN access point)를 통해 IP 서비스를 사용할 수 있다.

LAN access 프로파일 스택의 실제 구현에 있어서 LAP와 DT의 서비스를 사용하는 장치인 DT(data terminal)와는 구분이 되어 구현된다. Fig. 6은 본 논문에서 구현된 스택의 구성을 보여준다.

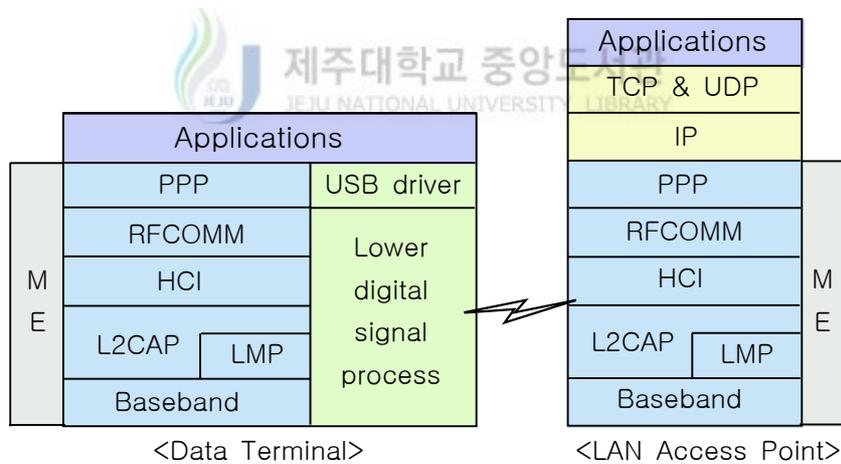


Fig. 6. Implemented Bluetooth stack configuration for VoIP LAN access system

전형적인 DT로 동작하는 블루투스 단말 장치는 노트북, PDA, 이동전화 등으로써, 본 논문에서는 PC를 호스트로 하는 블루투스 단말이 구현되었고, 상위 스택의 구성은 간략화된 형태로써 HCI/L2CAP/RFCOMM/PPP의 프로토콜로 이루어졌다. 이는 LAN access 프로파일에서 제시하고 있는 구성과 비교해 볼 때 PPP 상위의

IP와 TCP&UDP가 제외되었는데, 본 논문에서는 LAP에서 그 프로토콜 스택의 역할을 대체할 수 있게 구현하였고, LAP의 스택은 프로파일에서와 같은 구성으로 구현하였다. 이에 대한 자세한 내용은 IV장에서 설명한다.

## 2) LAN access 프로파일의 문제점 및 해결방안

LAN access 프로파일에서는 블루투스가 LAN을 지원하는 방법들을 제시하고 있는데, 블루투스 단말기가 LAN을 사용하는 경우는 어플리케이션-TCP/IP-PPP-RFCOMM-L2CAP 등으로 프로토콜을 구성한다. 이러한 각각의 응용에 대한 프로토콜 배열을 규격에서까지 정의하는 이유는 서로 다른 제조사의 블루투스 제품들 간의 상호 운용성을 보장하기 위한 것으로 블루투스 SIG에서는 하드웨어뿐만 아니라 프로토콜 및 프로파일에 대해서도 인증시험을 하여 상호 운용성을 보장하고 있다. 그러나 현재 블루투스 프로파일의 LAN access 프로파일은 블루투스 링크의 물리적 연결 후에 IP 네트워크를 사용하기 위한 연결 방안만을 제공하고 있다. 이것은 IP 네트워크에 연결하여 IP 서비스를 받는 부분에서는 어려움이 없지만 IP 주소를 할당받는 것과 서비스 관련 연결 부분, 그리고 서비스 도중 다른 피코넷으로 이동하는 경우 등에 대해서는 문제점으로 작용한다.

이러한 문제점 중에서 피코넷 이동시 서비스 지원에 대한 다중 피코넷 상에서의 IP 이동성 알고리즘 관련 블루투스 로밍(roaming) 시스템에 대한 연구는 현재 블루투스 SIG를 중심으로 그 프로파일에 대한 개발이 진행되고 있으므로 추후 업그레이드된 블루투스 규격서를 통해 가능한 구현이 제시될 것이다. 본 논문에서는 문제점 중에서 IP 주소 할당과 서비스 관련 연결에 대한 방안을 제시하고자 한다. 즉, 블루투스 단말기는 LAP와 연결 설정이 완료된 후, PPP 확립에 대한 적당한 메커니즘이 사용되고 나서, 알맞은 IP 주소가 LAP와 블루투스 단말기 사이에 결정된다. 일반적으로는 단말기 측에서 LAP에 IP 할당을 요청하여 IP 구성 절차가 수행된다. 그러나 본 논문에서는 블루투스 단말기와 LAP 사이에는 일반적 연결로써 AM\_ADDR(active member address)에 의한 슬레이브 주소 할당이 있을 뿐이고, IP 할당은 LAP가 초기화되는 과정에서 자체적인 IP 할당을 받음으로써 이루어지고, 서비스 관련 연결에 대한 제어 또한 LAP에서 그 권한이 주어진다. 구체적인 과정에 대한 내용은 IV장에서 설명된다.

#### 4. 블루투스 피코넷의 구성

블루투스 시스템은 Fig. 7에서 보는 바와 같이 점-대-점(point-to-point)과 점-대-다점(point-to-multipoint) 연결을 지원한다. 1개의 마스터와 최대 7개의 슬레이브로 구성되는 피코넷은 애드혹 형태로 연결된다. 즉, 피코넷은 정보를 교환하기 위해 같은 주파수 도약 채널을 공유하고 있는 장치들의 집합이다. 이러한 주파수 도약 채널을 공유하는 2개 또는 그 이상의 블루투스 장치들로 하나의 피코넷을 형성한다. 만약, 7개의 슬레이브를 초과하여 서비스를 하기 위해서는 파크 모드라 불리는 일종의 대기 모드를 사용하여야 하는데, 7개를 초과하여 피코넷에 들어온 슬레이브는 일시적으로 파크 모드 상태로 존재해야 하며 일정 주기마다 마스터는 피코넷 안의 모든 슬레이브 상태를 파악하여 서비스 받을 7개의 슬레이브를 선택하고, 그 외의 슬레이브를 파크 모드 상태로 두는 과정을 반복한다. 즉, 7개의 활성화 된 슬레이브와 그 외 대기 상태의 슬레이브를 주기적으로 바꾸어 주면서 서비스를 진행해 가면 최대 255개의 슬레이브에 대해 서비스가 가능하다.(김주남, 2002) Fig. 7에서 (c)는 스캐터넷(scatternet)을 나타낸 것으로 서비스 확장을 위한 또 다른 방법이며 피코넷간의 연결을 통해 이루어진다. 그러나 블루투스 규격에는 구체적으로 어떠한 방법으로 연결을 할 것인가에 대한 제시는 포함하고 있지 않다.

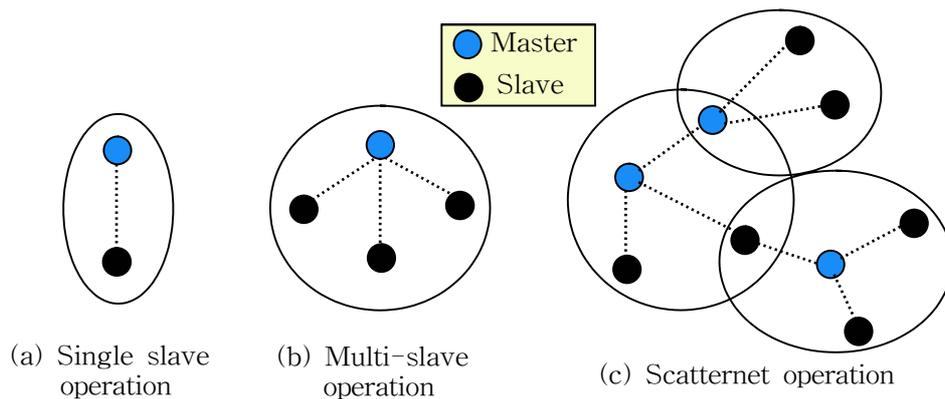


Fig. 7. Bluetooth piconet configuration

피코넷에서는 채널상의 트래픽(traffic)을 제어하기 위하여 통신에 참여하는 장치 중의 하나가 마스터가 되고, 나머지 다른 장치들은 슬레이브가 된다. 어떠한 장치도 마스터가 될 수 있지만, 피코넷을 설정한 장치가 이 역할을 맡는 것으로 간주한다. 슬레이브 장치가 마스터 역할을 넘겨받기를 원하면 역할 교환을 할 수도 있다. 피코넷에 있는 모든 장치는 마스터 장치의 주소와 클럭에 의한 주파수 도약 채널에 동기화되고, 마스터는 채널 상에서의 모든 트래픽을 제어한다. 그리고 마스터는 연결과정에서 슬레이브에 AM\_ADDR를 지정하는데, 이것은 3bits로 구성되어 있고 마스터가 다른 슬레이브로부터의 응답들 사이를 구별하는데 사용된다.

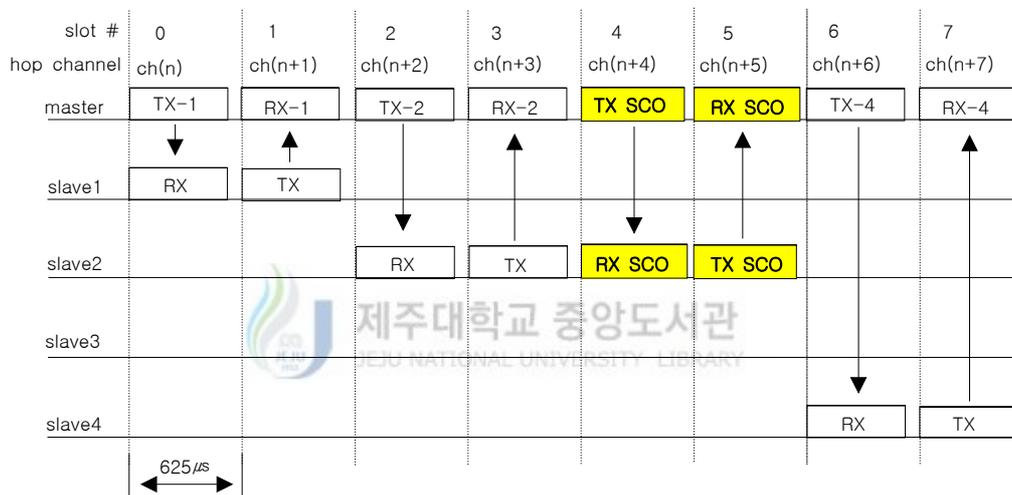


Fig. 8. Piconet in operation with ACL and SCO traffic

Fig. 8은 피코넷에서 마스터가 몇몇 슬레이브와 통신할 수 있는 방법을 나타낸 것으로, 시분할 다중접속(TDMA, time division multiple access) 방식으로 서비스가 이루어지고, 피코넷 동작의 기본 단위는  $625\mu s$ 의 슬롯이다. 마스터는 항상 짝수 슬롯에서 전송하고, 슬레이브는 홀수 슬롯에서 응답한다. 그리고 데이터 전송시를 제외하면 항상 마스터는 poll 패킷을 전송하고, 슬레이브는 null 패킷으로 응답하여 링크의 활성 여부를 확인한다. poll 패킷과 null 패킷은 하나의 슬롯을 사용하여 전송되는 패킷이고, 데이터 수신에 대한 확인 응답(ACK, acknowledge)의 역할도 가지고 있다.

데이터 전송은 패킷 형태에 따라 1, 3, 5개의 슬롯을 사용하여 이루어지고, 각 슬롯 수에 보낼 수 있는 데이터 크기는 패킷 형태의 최대 페이로드 크기에 따라 정해진다. 그리고 피코넷의 마스터/슬레이브간 채널에서 데이터 전송의 형태는 단방향이거나 양방향이 될 수 있는데, 단방향 전송에서는 데이터 전송에 대한 응답 확인 패킷 수신에 이루어지므로 한 채널에서 사용되는 슬롯 수는 각 패킷 형태별 사용 슬롯 수에서 1슬롯을 더한 값이 되고, 양방향 전송에서는 송·수신에 사용되는 각 패킷 형태의 사용 슬롯 수들을 더한 값이 한 채널에서의 사용 슬롯 수가 된다. 그러므로 이러한 슬롯 수와 각 패킷 형태에서의 최대 페이로드 크기로써 블루투스의 이론적 최대 데이터율이 결정된다.

Fig. 8에서 슬레이브 3은 데이터 송·수신이 빠져있는데, 이는 마스터가 전송할 것이 있을 때만 데이터를 전송하기 때문이다. 슬롯 4와 슬롯 5는 슬레이브 2의 SCO 링크용으로 예약되어 있다. 다른 슬롯들은 SCO용으로 예약되어 있지 않으므로 마스터는 ACL 트래픽을 전송할 장치가 있다면 어느 것이든 선택할 수 있다. SCO 슬롯은 예약되어 있기 때문에 SCO 채널을 사용하는 슬레이브는 마스터로부터 자신에게 보내온 패킷을 검출할 수 있든지 없든지 간에 예약된 슬롯 5로 응답한다. SCO 슬롯의 가장 넓은 간격은 HV3 패킷을 사용할 때이고, 세 번째 마다 반복되므로 SCO 링크의 최대 채널 수는 3이 된다.

## 5. VoIP 시스템

VoIP 시스템은 기존의 PSTN이 아닌 인터넷상에서 IP를 통해 전화 통화를 실현하는 일련의 통신 서비스 시스템이라 할 수 있다. VoIP에서 아날로그 신호인 음성은 디지털 데이터로 인코딩 된 후 RTP(realtime transport protocol)/UDP/IP로 패킷화하여 전송된다. VoIP는 대화형 서비스이므로 지연에 민감한 특성을 가지고 있다. 또한 실시간성을 요구하며 UDP를 통해 전송되기 때문에 망 내에서 손실된 데이터의 재전송이 불가능하다. VoIP 통신은 패킷교환방식을 사용하는 것으로써,

이는 특정 회선을 점유하는 것이 아니고 데이터를 전송하는 회선에 패킷이라는 음성 데이터를 규격에 맞게 분할하여 전송하게 되는데, 동일한 성격의 패킷들 사이에 전혀 다른 성격의 패킷이 끼어서 전송될 수 있기 때문에 회선 점유가 아닌 공유의 의미를 가진다. 또한 패킷은 규격화된 압축 기술의 적용으로 회선 사용의 경제성과 필요한 용도에 따른 선택성이 주어질 수 있어, 여러 가지 응용에 능동적일 수 있고 부가 서비스 창출에도 이점이 있다.

이와 발맞추어 무선 네트워크 기술이 발달하면서 편리한 사용자 인터페이스가 제공되고, 기존 멀티미디어 네트워크의 응용범위가 확대되고 있는 가운데, 무선 네트워크 기술인 블루투스를 인터페이스로 하는 개발 및 응용을 통해 VoIP 서비스에서의 장애요인인 공간 제약의 문제점을 개선하여 휴대성 및 사용의 편리성을 높일 수 있다.

### 1) VoIP 시스템의 구성과 동작 과정



Fig. 9. VoIP system configuration

VoIP 시스템은 인터넷 및 PSTN 망과 연동하여 구성할 수 있다. VoIP의 시그널링(signaling) 프로토콜로는 H.323, SIP(session initiation protocol) 등이 있으며,

이와 함께 PSTN과 연동하기 위한 게이트웨이를 포함하여 전반적인 VoIP 시스템의 구성이 이루어진다. Fig. 9는 VoIP 시스템의 구성을 나타낸다.

VoIP 통신의 동작을 위한 기본적인 기술로는 아날로그 음성 신호와 디지털 신호간의 변환을 위한 A/D, D/A 컨버터가 있고, 송신측에서는 변환된 디지털 음성 데이터를 전송에 유리한 형태로 압축하여 RTP/UDP/IP 프로토콜을 통해 음성데이터의 패킷화를 이룬다. 사용자 호출을 위해서는 H.323과 같은 시그널링 프로토콜이 필요하다. 수신측에서는 패킷을 해체하고 데이터를 추출한 다음, 아날로그 음성 신호로 변환하여 재생한다. 이러한 모든 동작은 실시간으로 이루어져야만 하는데, 그렇지 않으면 통화 음질이 떨어지게 된다.

VoIP 통신을 임베디드 시스템으로 구현할 수 있는 형태는 Fig. 10과 같으며 이는 중앙처리장치인 MCU(micro controller unit)를 중심으로 메모리(memory), 이더넷(ethernet) 통신 모듈, 음성 신호 처리 모듈(DSP, digital signal processor), 그리고 키패드(keypad)와 LCD로 이루어진 사용자 입·출력 모듈로 구성되어 있다. 음성 신호 처리 DSP의 구성은 음질 개선에 있어 장점이 된다.

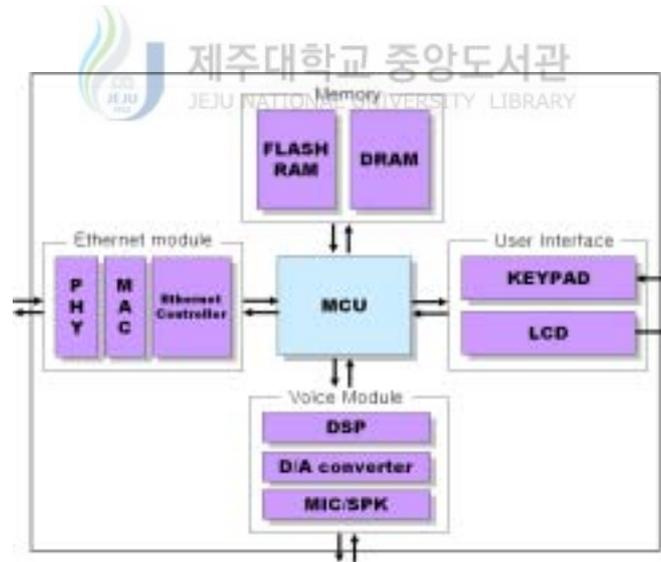


Fig. 10. Embedded VoIP system structure

## 2) 블루투스를 이용한 VoIP 시스템의 무선화 방안

VoIP 시스템의 무선화를 위해서는 기존의 유선 LAN 인터페이스를 블루투스를 이용한 무선 인터페이스로 교체해야 한다. 이렇게 함으로써 Fig. 11에서 보여주는 것처럼 무선 VoIP 단말측과 LAN access 장치와의 분리가 이루어지게 되어 VoIP 시스템의 무선화를 완성할 수 있다.

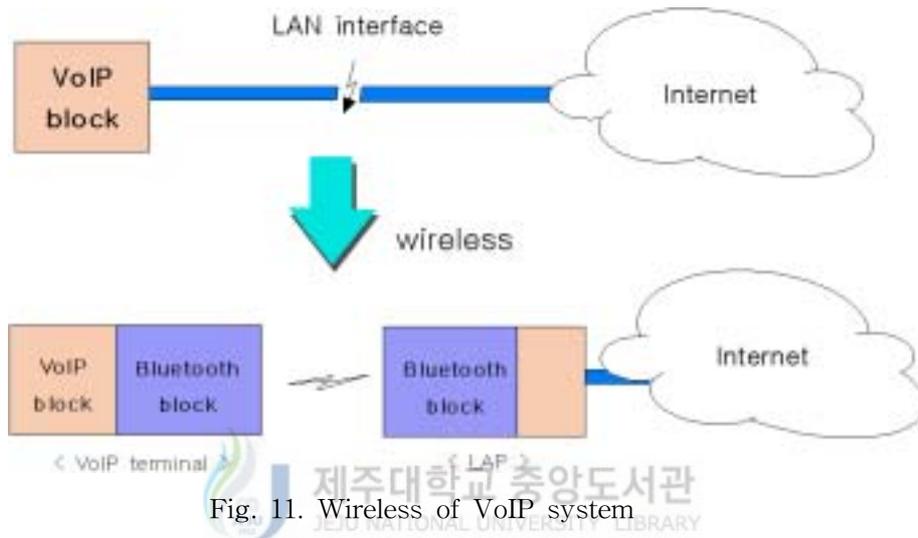


Fig. 11. Wireless of VoIP system

Fig. 11에서처럼 무선화로 인해 블루투스 인터페이스를 가지는 두 가지 VoIP 장치가 생겨나게 되는데, 각각 다른 역할로써 기능을 수행하게 된다. 무선 VoIP 단말기는 클라이언트(client)로서 LAP의 슬레이브가 되고, LAP는 서버(server)로서 마스터가 되어 둘 사이의 무선 링크를 형성한다. 클라이언트인 무선 VoIP 단말기가 서버인 LAP를 조회하여 연결 설정이 이루어지게 되고, LAP는 무선 VoIP 단말기를 피코넷의 하나의 장치로써 등록해 둔다. VoIP 통신이 이루어지기 위해서는 무선 인터페이스인 블루투스의 프로토콜과 VoIP 프로토콜의 연계가 잘 이루어져야 한다. 구현되어지는 프로토콜 구성에 대해서는 개발자에 따라 다를 수 있고, 기본적으로 블루투스 프로토콜 스택으로는 HCI/L2CAP/RFCOMM을 포함하여야 하며, LAN access를 위하여 PPP/IP/TCP&UDP 프로토콜로써 추가 구성이 되어야 한다. 더불어 PSTN 망과의 통신을 위해서는 VoIP 프로토콜로써, H.323 또는 SIP 등을 가지고 있어야 한다.

### Ⅲ. 블루투스에서의 음성 전송

블루투스 규격서에서는 응용 형태로써 오디오 서비스를 위해 동기식 연결형 채널인 SCO 채널을 사용하는 것을 명시하고 있다. 즉, 오디오는 SCO 채널로 데이터는 ACL 채널로 전송되도록 표준화되어 있다. 그러나 패킷 교환 방식에서의 음성 통신을 정의하고 있는 VoIP 시스템의 원리를 이용하면 같은 패킷 교환 방식인 ACL 링크에서의 음성 통신에 대한 구현이 가능하다. 이번 장에서는 기존 블루투스의 오디오 형태인 SCO 채널에서의 음성 통신과 제안하는 형태인 ACL 채널에서의 음성 통신에 대해 설명하고, 실제 구현하여 비교해 본다.

#### 1. SCO 채널에서의 오디오

SCO 채널은 세 가지 형태가 있으며 각 채널의 전송률은 항상 64Kbps이다. 그리고 블루투스에서 사용하는 오디오 부호화 기법에는 A-law나  $\mu$ -law를 사용한 로그 PCM 부호화 기법과 CVSD(continuous variable slope delta modulation) 기법이 있다.

블루투스 시스템을 통해 전달되는 오디오 경로에는 두 가지가 있다. 즉, HCI 패킷의 데이터로서의 HCI 경로와 베이스밴드 코덱으로의 직접적인 PCM 접속을 경유한 경로가 있는데, HCI 경로에서는 패킷들이 흐름제어 되고 HCI와 LM 작업을 수행하는 마이크로 컨트롤러에 의한 가변적 소요시간에 지배되므로 오디오 데이터를 전달하는데 있어서 단점으로 작용한다. 그래서 보편적으로는 이러한 복잡성을 피하기 위해 오디오 코덱을 8KHz에서 직렬 PCM 열로 직접 인터페이싱하는 직접 PCM 경로를 많이 사용한다. 본 논문의 실험에 사용된 블루투스 테스트 보드 또한 직접 PCM 경로로 구성되어 있다.

블루투스 SCO 링크에 의해 제공되는 64Kbps 전송률의 오디오 품질은 현재 이

동전화 오디오 채널의 품질과 거의 같다. 그러나 SCO 링크는 음악 감상을 할 정도의 양질의 오디오 전송에는 적합하지 않다. 음악 전송을 지원하는 대체 방법으로 ACL 채널을 사용할 수 있다. CD급의 음악 오디오는 1411.2Kbps의 데이터 전송률이 필요하다. 그런데 MP3(MPEG audio layer 3)와 같은 데이터 압축 기술을 사용하면 데이터율을 128Kbps로 줄일 수 있어 오디오의 전송상 지연 시간 조건이 유지되는 한 거의 생음악에 가까운 고음질의 CD급 오디오를 전송할 수 있다.(Jennifer Bray and Charles F Sturman, 2001)

## 2. ACL 채널을 사용한 음성 전송

블루투스에서 ACL 링크는 패킷 기반의 데이터 전송을 위해 사용된다. 그러므로 ACL 링크를 통해 음성을 전송하기 위해서는 반드시 디지털화된 음성 데이터가 요구된다. 즉, 패킷 교환 방식을 사용하는 VoIP 시스템에서의 음성 데이터 전송 원리를 이용할 수 있는 것이다. 이러한 음성 데이터는 음성 압축 코덱을 이용하여 만들 수 있고, 블루투스의 상위 프로토콜 스택을 통해 전송할 수 있다. 구현을 위해서는 음성 데이터 생성과 음성 재생을 할 수 있는 적절한 프로세서와 상위 프로토콜 스택을 기반으로 하는 블루투스 기기가 구성되어야 한다. 본 논문에서는 G.723.1 코덱이 적용된 DSP 프로세서와 RFCOMM 프로토콜 스택 기반의 블루투스 기기가 사용되었다. 블루투스 ACL 링크 기반의 오디오 서브시스템은 Fig. 12와 같고, 음성 데이터 처리를 위해 사용된 DSP 보드 블록과 무선 인터페이스를 위한 블루투스 모듈 블록으로 구성되어 있다. DSP 보드 블록에서는 음성 코덱을 포함하는 DSP 프로세서에 의해 실시간 음성 처리를 하여 음성 재생 또는 음성 데이터 생성을 하고, 블루투스 모듈 블록에서는 음성 데이터를 DSP 보드에서 가져와 무선 송신하거나 수신한 데이터를 DSP 보드로 넘겨준다. 사용된 DSP 프로세서는 저비트율 음성 압축 프로그램을 내장한 칩으로써 ITU-T의 G.723.1과 G.726 권고안을 만족하는 C&S의 BIRDIE 칩이다.

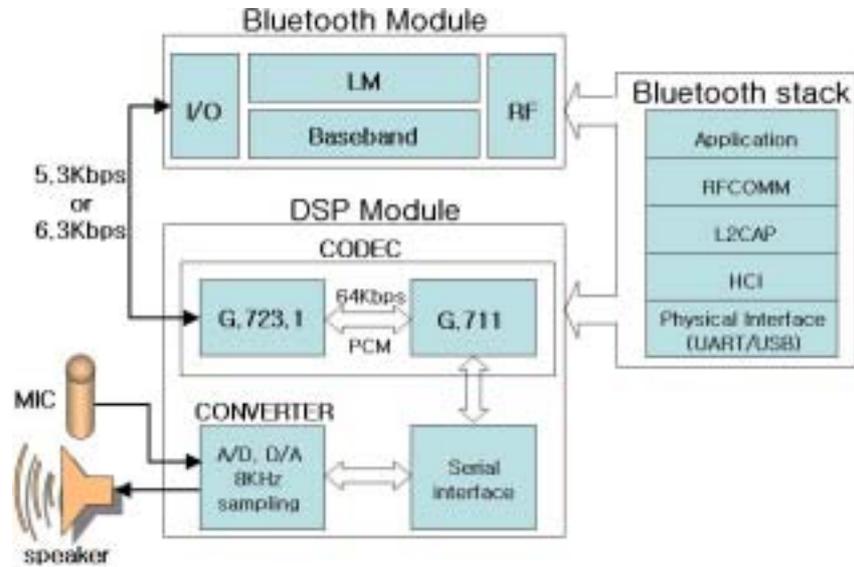


Fig. 12. Audio subsystem based on Bluetooth ACL link

동작 흐름을 살펴보면, 마이크에서 입력된 아날로그 음성은 A/D 컨버터에 의해 디지털화되어 시리얼 인터페이스를 통해 코덱 프로세서로 전송되고, G.711에 의한 64Kbps의 PCM 음성 부호화 과정을 거쳐, 마지막으로 G.723.1을 통해 6.3Kbps의 압축 음성이 30ms 간격으로 24bytes씩 패킷화되어 최종 출력된다. 출력된 음성 데이터는 블루투스 스택에 의해 다시 ACL 데이터로 패킷화되어 무선 송신된다. 또한 이러한 과정의 역 과정을 통해 음성을 재생할 수 있으며, 동시에 두 과정에 대한 실시간 음성 처리가 이루어지면 양방향 통신이 완성된다.

### 3. SCO 채널과 ACL 채널에서의 음성 통신 비교

이번 절에서는 SCO 채널과 ACL 채널에서의 음성 통신을 구현하여 실제 음성 통신에 대해 비교해 본다. 각각에 대해 통화시 음질의 수준을 평가하는 형태로써 SCO 채널과 ACL 채널에서의 음성 통신을 분석한다. 음성 통신 구현에 대한 구체

적 시스템의 구성과 구조에 대한 자세한 설명은 IV에서 이루어진다.

### 1) SCO 채널에서의 음성 통신

SCO 채널에서의 음성 통신을 위해서 블루투스 테스트 보드 두 개와 블루투스 응용프로그램을 사용하였고 시스템 구성은 Fig. 13과 같다. 각 기기의 모듈은 통신 유효 거리가 10m이다.

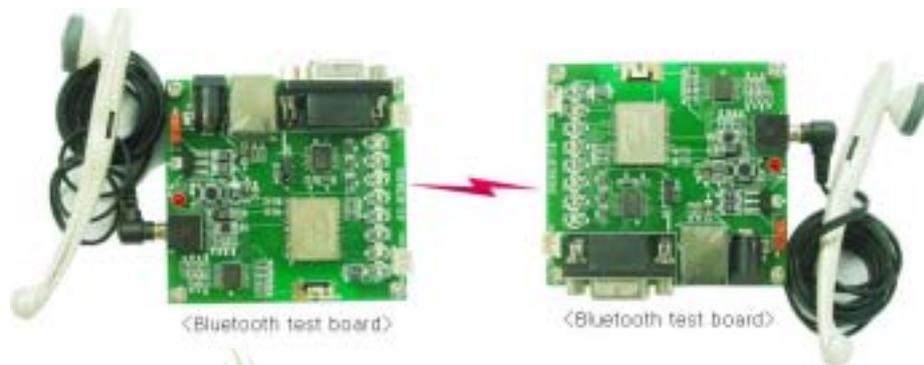


Fig. 13. System for audio transmission on SCO link

SCO 링크를 설정하기 위해서는 블루투스 응용프로그램을 통해 먼저 두 블루투스 기기간에 ACL 연결 설정이 이루어져야 한다. 그런 다음 HCI "Add\_SCO\_Connection" 명령을 통해 두 기기간에 SCO 링크 설정을 할 수 있다. HCI 명령은 마스터나 슬레이브 기기 어느 곳에서도 가능하고, "Add\_SCO\_Connection" 명령의 파라미터 값을 조정하여 SCO 패킷 형태를 조정할 수 있다.

음성 통신 결과 통화 품질은 64Kbps 전송률의 PCM 경로를 갖는 일반적 음성 통신과 비슷한 수준이었으나, 항상 어느 정도의 배경 잡음을 가졌고 시스템의 구성 상태 변화에 민감한 반응을 보였다. 이는 근본적으로 하드웨어에 의한 아날로그 신호 처리의 민감함이 음질에 많은 영향을 미치고, PCM 데이터가 처리되는 과정에서 음질에 관련된 소프트웨어적 처리 과정이 없이 하드웨어적인 처리만 수행되는 데에 큰 원인이 있는 것으로 판단된다.

## 2) ACL 채널에서의 음성 통신

ACL 채널에서의 음성 통신을 위해서 블루투스 테스트 보드와 음성 코덱 칩이 적용된 DSP 보드를 사용하였고, 시스템 구성은 Fig. 14와 같다. 그리고 두 보드는 PC와의 인터페이스로 각각 시리얼 포트와 USB 포트를 사용하여 PC상에서 음성 통화시 이용하기 편리한 형태로 구현된 응용프로그램에 의해 제어된다.

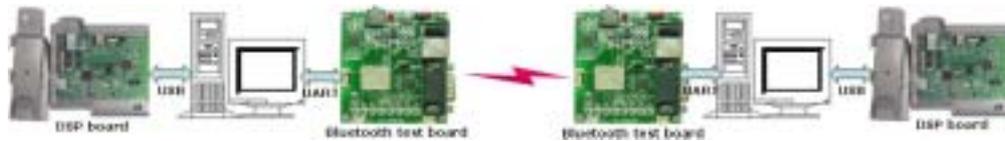


Fig. 14. System for audio transmission on ACL link

ACL 채널에서의 음성 통신에 대한 구현에 앞서 링크 품질 측정과 패킷 형태와 정규열(regular stream) 크기에 따른 데이터율에 대한 결과를 김창윤(2002)에서의 실험 내용을 통해 분석해 보면, 두 블루투스 기기간의 거리가 모듈의 유효 거리인 10m 이내이면서 인위적 장애물과 간섭 등으로 인한 나쁜 전파 환경이 아닌 경우 링크 품질의 값은 F0~FF 사이의 높은 값을 나타내고, 모듈의 유효 거리의 100~150% 범위이고 장애물이 있는 경우에는 링크 품질의 값은 D0~EF를 나타낸다. 그리고 DM1과 DH1 패킷을 제외하면 통신에 유효한 링크 품질 환경에서는 190Kbps 이상으로써 음성 통신에서 요구되는 전송률인 6.3Kbps보다 충분히 큰 데이터율을 보인다. 이를 통해 시간적 요인에 민감한 음성 통신에서의 데이터율이 확보됨을 알 수 있다.

ACL 채널에서의 음성 통신 결과 두 지점간의 실시간 양방향 음성 통화가 가능했고, 통화 품질 또한 양호했다. 음성 데이터 생성과 재생에 DSP를 사용했으므로 음성 통화의 안정도가 높았으며, DSP에서 생성한 음성 데이터를 응용프로그램을 통해 전송하는 과정에서 음질과 관련되어 불필요한 데이터는 제거하는 처리를 했으므로 SCO 채널에서 발생했던 배경 잡음은 발생하지 않았고, 확보된 데이터율을 갖는 ACL 링크의 정확한 전송이므로 전체적으로 SCO 채널에서의 음성 통화보다는 더 좋은 통화 품질을 보였다.

본 ACL 채널에서의 음성 통신에서는 두 블루투스 기기간의 연결시 응용프로그램을 이용하여 DM3로 ACL 링크를 설정하였다. 특별히 DM3로 링크를 설정한 이유는 DSP에서의 음성 처리 속도를 고려했을 경우, 데이터율에 있어서 비교적 다른 패킷 형태보다는 안정적이기 때문이다. 그리고 DSP에서는 사용되는 코덱과 관련하여 정확한 음성 데이터 생성과 음성 재생을 위해 패킷 크기와 데이터 읽기, 쓰기 간격이 정해져 있고, 블루투스 기기에서는 이를 고려해야만 하므로 적당한 페이로드를 가지면서 안정적인 데이터율을 제공하는 패킷 형태의 선택이 중요하다. 이와 관련하여 DM1과 DH1 패킷 형태는 24bytes의 데이터를 두 개로 분할하여 전송하는 형태이고, 나머지 패킷 형태는 한번에 보낼 수 있는 형태이다. 하지만, DM5와 DH5 패킷 형태는 비대칭 전송의 경우에도 6개의 슬롯을 사용하므로 비효율적이다. 이에 반해 DM3와 DH3는 다른 패킷 형태에 비해 비교적 효율적이며 안정적인 데이터율을 가진다.

다음 IV장에서는 블루투스 기반 응용 시스템을 구현하고, 음성 통신을 ACL 링크로써 적용하여 ACL 링크 기반 음성 통신의 활용도를 검증한다.



## IV. 블루투스 기반 응용 시스템 구현

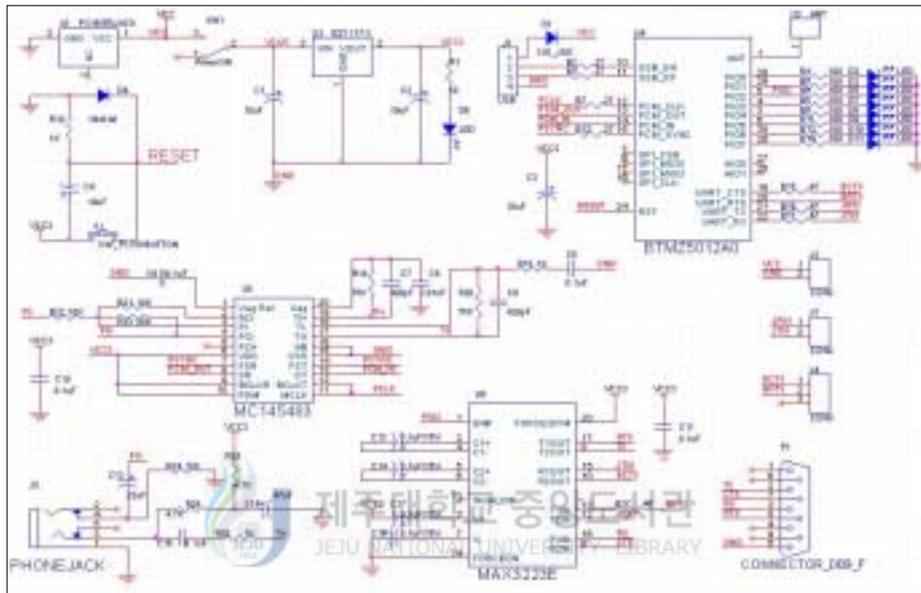
본 장에서는 블루투스를 이용한 응용에 대해서 다룬다. 블루투스 응용 시스템의 구현을 위해서는 하드웨어와 소프트웨어의 구현이 필요하다. 하드웨어의 구현에는 기본적으로 블루투스 모듈이 필요하고, 이를 위해서 CSR 칩셋이 적용된 모듈이 사용되었다. 그리고 소프트웨어의 구현에는 C 프로그램을 사용하여 PC 기반과 임베디드 기반의 구현이 이루어졌다.

세 가지 형태로 블루투스 시스템에 대한 응용 구현이 이루어졌는데, 첫째, 블루투스의 기본적 테스트를 위해 블루투스 테스트 보드를 설계·제작하였고, 이를 위한 소프트웨어로 스택을 포함하는 다섯 가지의 응용프로그램을 PC 기반에서 구현하였다. 두 번째로 클라이언트용 VoIP 단말기로써, 블루투스 테스트 보드와 음성 DSP 보드를 결합한 형태의 PC 기반 하드웨어를 구성하였으며, 이를 위한 두 가지의 PC 기반 응용프로그램을 구현하였다. 마지막으로 블루투스 LAP를 구현하였는데, PC 기반에서는 블루투스 테스트 보드를 그대로 사용하여 응용프로그램에서 제어하는 형태의 LAP를 구현하였고, 임베디드 기반에서는 마이크로프로세서에서 직접 블루투스 모듈을 제어하는 단일보드의 하드웨어를 설계·제작하였으며, 이를 위한 소프트웨어로써 펌웨어 기반의 데이터 통신용과 VoIP 통신용의 응용프로그램을 각각 구현하였다. 이러한 구현들을 바탕으로 최종 유·무선 네트워크 통합 시스템으로 재구성하여 데이터 및 음성 통신을 완성하였다.

### 1. 블루투스 테스트 보드

본 논문에서는 기본적 블루투스 테스트를 위해 CSR 칩셋이 적용된 모듈을 사용하여 테스트 보드를 설계·제작하였고, 이에 대한 설계도와 하드웨어를 Fig. 15에 나타내었다.

제작된 블루투스 테스트 보드에서 사용된 BTMZ5012A0 모듈은 블루투스 규격 버전 1.1이 적용된 모델이고, 외부 인터페이스로 UART와 USB, PCM 등이 있으며, 베이스밴드, LM, HCI 등에 대한 스택을 포함하고 있다. 1mW의 전력 레벨로써 유효 통신거리는 10m이고, 3.3V의 동작 전원을 가진다.



(a) Schematic



(b) Implemented board

Fig. 15. Bluetooth test board

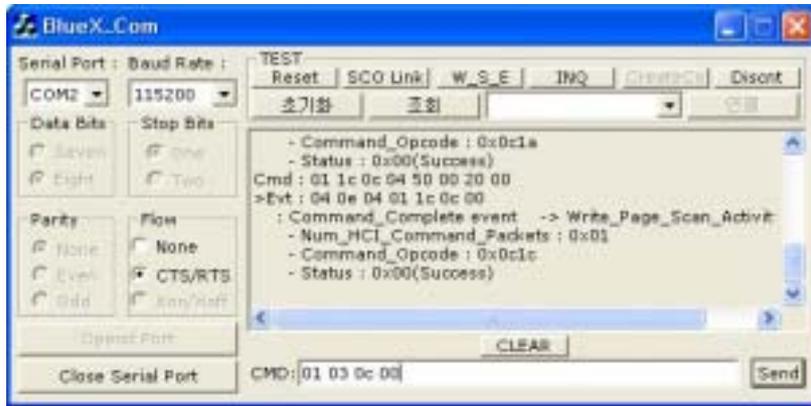


Fig. 16. Execution example of Bluetooth basic function test program

제작된 블루투스 테스트 보드는 PC와 UART 또는 USB 인터페이스로 연결하여 Fig. 16과 같은 PC 응용프로그램에 의해 컨트롤될 수 있고, 임베디드 시스템 개발 보드의 UART 라인과 연결하여 임베디드용 블루투스 응용에 사용될 수 있다. 그리고 SCO 링크를 통해 PCM 인터페이스를 이용하면 두 보드간에 직접 음성 통신을 구현할 수 있다. 본 논문에서는 블루투스 테스트 보드를 이용하여 데이터율 관련된 측정, 음성 통신 구현, LAP로의 응용 등에 사용하였다.

Fig. 16은 블루투스 테스트 보드를 통해 블루투스의 기본적 기능을 테스트하는 응용프로그램의 실행 예를 보여주고 있다. 이 응용프로그램은 UART 연결 관련 기능과 HCI 명령을 테스트할 수 있는 기능과 RFCOMM 기반의 블루투스 연결 설정의 기능 등을 가지고 있다. 본 논문에서는 주로 HCI 명령을 사용하여 링크 품질 측정, 패킷 형태 조정, SCO 채널 설정 등의 제어에 이용하였고, 이를 통해 데이터율에 대한 분석과 음성 전송에 대한 분석이 이루어졌다.

## 2. 블루투스를 이용한 VoIP 단말

본 절에서는 앞서 II장에서 설명했던 VoIP 단말의 무선화를 위한 구체적 방안

제시와 구현에 대해서 설명한다. 본 논문에서는 유선 VoIP 단말인 INETCOOL의 USB 폰을 가지고 블루투스 인터페이스를 적용하여 무선화하였다. 기존 USB 폰은 PC 기반으로써 IP 네트워크에 접속된 PC와 USB로 연결하여 VoIP용 코덱을 통해 음성 재생 및 음성 데이터 생성을 통해 VoIP 통신을 할 수 있는 단말기이다. 이러한 단말기의 하드웨어를 그대로 사용하여 블루투스 테스트 보드와의 응용이 이루어졌다. Fig. 17은 USB 폰의 음성 DSP 보드이다.



Fig. 17. DSP board for voice processing

### 1) 하드웨어

VoIP 단말 시스템 무선화의 핵심은 IP 네트워크 인터페이스를 블루투스 기술로 대체한다는 것이다. Fig. 18은 VoIP 통신용 USB 폰의 IP 네트워크 인터페이스 부분을 블루투스 인터페이스로 교체한 무선 VoIP 단말의 구성을 보여주고 있다.

DSP 보드는 USB 인터페이스로 PC와 연결되어 있는데, DSP 보드의 G.711 코덱을 포함하는 앞단에서는 마이크를 통하여 들어온 음성 신호를 64Kbps의 PCM 신호로 변경하거나 PCM 신호를 아날로그 신호로 변경하여 스피커로 보내 주는 역할을 하고, G.723.1 코덱에서는 변환된 PCM신호를 음성 압축하여 5.3Kbps 또는

6.3Kbps의 속도로 USB 컨트롤러로 보내거나 USB 컨트롤러에서 받은 압축 음성 데이터를 PCM 신호로 변환하여 G.711 코덱으로 전달하는 역할을 한다. 여기서 6.3Kbps의 전송 속도로 음성 통화시에는 고성능의 음질을 보장해주고, 5.3Kbps는 전송률을 낮추는 경우에 활용할 수 있다. 그리고 USB 컨트롤러는 DSP에서 받은 신호를 PC로 보내거나 PC에서 받은 신호를 DSP로 전달해 주는 역할을 한다. 그 외의 블록은 키패드에서 입력을 받아 DTMF(dual tone multi-frequency) 신호를 만들어 주는 블록과 이러한 DTMF 신호를 감지하여 2진 4bits의 디지털 신호로 바꾸어 USB 컨트롤러로 보내주는 블록이 있다. 사용된 BIRDIE 칩은 64Kbps PCM 음성 부호화 기법을 규정하고 있는 G.711을 하드웨어로 처리하도록 함으로써 소프트웨어의 부담을 줄이고 음질을 개선시킨 형태이다.

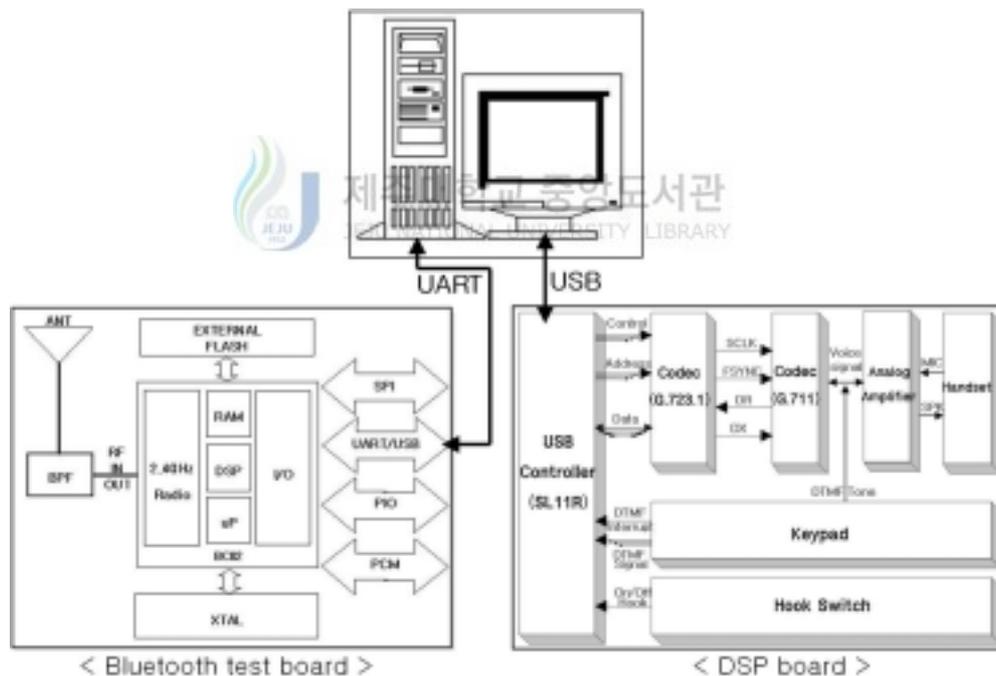


Fig. 18. Bluetooth VoIP terminal structure

블루투스 테스트 보드는 PC와 UART로 인터페이스되어 있고, 115200 baudrate로 설정되어 있다. 블루투스 테스트 보드에서는 PC로부터 받은 압축된 음성 데이

터를 RF로 송출하거나 RF로부터 받은 데이터를 PC로 넘겨준다. PC는 DSP 보드와 블루투스 테스트 보드 사이에서 압축 음성 데이터를 중계하는 역할을 한다. 이를 위해 PC에서는 DSP 보드와 블루투스 테스트 보드를 동시에 제어하는 블루투스 스택을 포함하면서 DSP 제어 USB 드라이버를 탑재한 응용프로그램이 필요하다.

## 2) 소프트웨어

II장의 Fig. 6에서 소개된 스택의 구성을 보면 알 수 있듯이 블루투스 VoIP 단말의 스택에는 TCP/IP 관련 프로토콜이 포함되어 있지 않고, 단지 G.723.1 코덱에 의한 VoIP 통신용 압축 음성 데이터만을 가지고 처리하도록 구현하였다. TCP/IP 관련 처리는 모두 서버인 LAP에서 수행할 수 있도록 구현함으로써 단말기에서의 프로토콜 단순화를 추구했다. 이는 실제 응용의 형태가 이동전화와 같은 소형 단말 시스템일 때 유리한 구성이 된다.

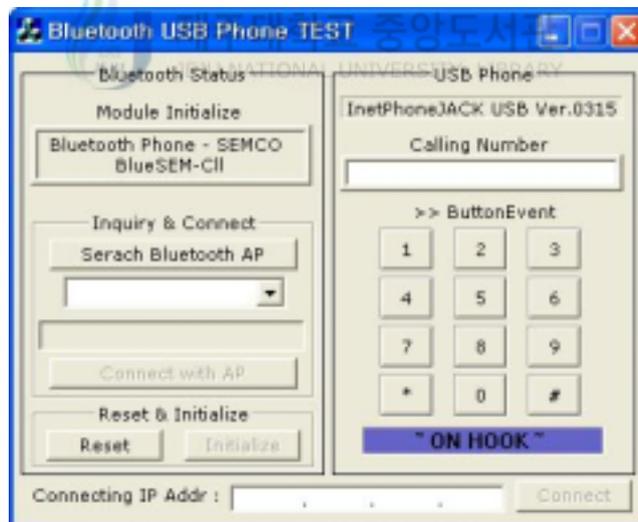


Fig. 19. Execution example of Bluetooth USB phone test program

Fig. 19는 블루투스 VoIP 단말을 위한 응용프로그램으로 기기의 초기화가 수행된 창을 보여주고 있다. Fig. 6에서 소개된 것과 같이 RFCOMM 기반의 블루투스

스택이 적용되었고, DSP 보드 제어를 위한 USB 드라이버 API(application program interface)가 내장되어 있다.

응용프로그램은 실행과 동시에 블루투스 모듈과 DSP 모듈의 초기화를 수행한다. 블루투스 모듈 초기화에는 몇 가지의 HCI 명령이 수행되는데, 최종 “Write\_Scan\_Enable” 명령을 통해 모듈을 inquiry scan 상태와 page scan 상태로 들어가게 하여 다른 블루투스 장치를 받아들일 수 있는 준비를 하게 된다. 그리고 DSP는 OpenDev()와 CheckEvent(BOOL \_IsEnable)의 수행을 통해 초기화가 이루어진다. 다음 과정으로 “Inquiry” 명령을 통해 블루투스 LAP를 찾을 수 있고, RFCOMM 스택 기반의 연결 과정을 통해 VoIP 단말과 LAP 사이의 무선 인터페이스가 완성된다. 그리고 이와 동시에 DSPCODECStart(BYTE \_CODECType = G723\_1) 함수가 수행되어 DSP 코덱이 동작하게 된다. 이후는 call setup 과정으로 PC의 키보드나 USB 폰의 키패드에 의해 call 번호를 입력받아 통신 회선이 설정되고, DSP의 음성 데이터 생성과 음성 재생이 시작된다. PC 응용프로그램에서는 GetRecordData(WORD\* \_pwData)에 의해 DSP에서 생성된 음성 데이터를 가져와서 블루투스의 ACL 채널을 통해 음성 데이터를 전송하고, RF를 통해 수신된 음성 데이터는 SetPlayData(WORD\* \_pwData)를 통해 DSP에서 음성 재생을 할 수 있게 한다.

블루투스 데이터 전송 과정에서는 DM3 패킷 형태가 사용되었고, 구현된 블루투스 VoIP 단말은 LAP를 통한 PSTN 망과의 통화외에 다른 블루투스 VoIP 단말과도 직접적인 무선 연결을 통해 통화가 가능하다.

### 3. LAN access 시스템

블루투스 LAN access 시스템은 블루투스 단말이 유선 LAN 망에 접속하게 해주는 시스템이다. 시스템 구성을 위해서는 블루투스가 적용된 클라이언트 시스템과 서버 시스템이 필요하다. 즉, 클라이언트 시스템은 단말기에 해당되고, 서버 시

시스템은 LAP에 해당된다. 이러한 시스템에서 블루투스의 주요 역할은 무선 인터페이스를 형성하는 것이고, 그 시스템의 용도에 따라서 블루투스는 무선 인터페이스 역할과 동시에 블루투스의 두 가지 링크를 이용하여 통신 형태를 결정한다.

본 절에서는 PC 기반과 임베디드 기반의 블루투스 LAP를 구현하고, 각각에 대한 하드웨어 구성과 소프트웨어 구성에 대해 설명한다. 그리고 LAN access 시스템으로 확장함에 있어 통신 형태별 시스템을 구성하고 각각의 응용프로그램을 구현하여 기존 통신망 환경에서 사용되는 케이블을 대체하고 블루투스가 제공하는 다중 전송 서비스를 지원하는 유·무선 네트워크 통합 시스템으로써의 역할에 대한 검증은 한다. 또한 블루투스가 기존의 VoIP 통신 서비스에 적용되는 구성을 제시하고 동작시험을 통해 실제 적용의 타당성을 보인다.

### 1) PC 기반 LAP 구현

Fig. 20은 본 논문에서 구현한 PC 기반 LAP의 하드웨어 구성을 나타낸 것이다. 구현된 LAP 시스템은 블루투스 모듈이 PC에 탑재된 형태의 하드웨어 구성을 가진다.



Fig. 20. Bluetooth LAN access point configuration based on PC

블루투스 모듈로 구성된 테스트 보드가 UART 또는 USB 인터페이스를 통해 네트워크에 연결된 PC에 장착됨으로써 LAP의 기능을 수행하도록 구현하였고, PC의 RS232 포트와 USB 포트를 사용하기 위해 블루투스 테스트 보드에서는 enable 기능이 있는 MAX3223 칩을 사용하였다. 이는 블루투스 모듈 내부의 UART\_RTS

와 USB\_D+, UART\_CTS와 USB\_D-가 각각 같은 선으로 연결되어 있어 USB 접속 시 UART 칩과 신호 간섭을 일으키게 되므로, USB 접속 시에는 UART 칩을 disable 상태로 만들어 줌으로써 신호 간섭을 방지하기 위해서이다. UART 인터페이스인 경우 통신 속도는 115200 baudrate로 설정하였고, USB일 때는 규격 속도인 12Mbps의 속도를 갖는다.



Fig. 21. Bluetooth LAN access point program window

블루투스 LAP 시스템의 어플리케이션은 블루투스 피코넷 관리 시스템, 데이터 패킷 교환 시스템, TCP/IP 클라이언트로의 구성을 동시에 가진다. Fig. 21은 PC 기반으로 구현된 LAP 시스템의 응용프로그램 창을 보여주고 있다. 구현된 응용프로그램은 블루투스 피코넷의 서버로써 마스터 역할을 수행하고, 유선 네트워크와의 스위칭을 수행하며, 클라이언트인 슬레이브들의 제어 및 패킷 전송을 수행하도록 설계되었다. 그리고 이 프로그램은 다중 채널에 대한 데이터 통신과 음성 통신의 용도로 구현되었는데, 데이터 통신인 경우 피코넷의 슬레이브와 네트워크상의 클라이언트간의 데이터를 주고받을 수 있고, 음성 통신인 경우 블루투스 VoIP 단말과 네트워크상의 VoIP 단말간의 음성 데이터 교환을 통해 통화를 가능하게 한다.

## 2) 임베디드 기반 LAP 구현

블루투스 기술을 임베디드 시스템화함으로써 특정 목적에 최적화를 통해 효과적인 동작 구현이 가능하고, 경제성, 이동성, 사용자 인터페이스 등 여러 가지 측면에서 우수한 장점을 얻게된다. 본 논문에서는 두 가지 형태로 블루투스를 임베디드 시스템화하여 LAP를 구현하였다. 그 하나는 32-bit 마이크로프로세서 기반의 개발 보드상에 블루투스 테스트 보드를 장착한 형태이고, 다른 하나는 블루투스 모듈과 마이크로프로세서를 직접 연결하고, DSP 프로세서를 추가한 단일보드 형태이다. 단일보드로 설계된 LAP는 LAP 기능뿐 아니라 DSP 칩을 통해 음성 통신을 위한 블루투스 단말의 기능도 가질 수 있다. Fig. 23은 블루투스 테스트 보드를 개발 보드상에 장착한 LAP의 시스템 구성을 나타내고, Fig. 24는 단일보드화한 LAP와 그것의 구성도이다.

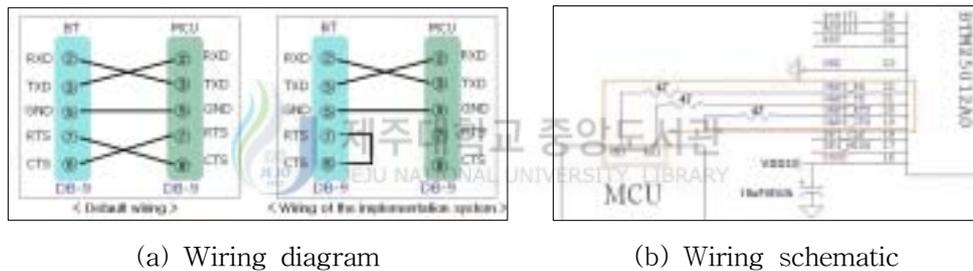


Fig. 22. Wiring diagram and schematic of the one board LAP

단일보드화의 핵심은 블루투스 모듈과 마이크로프로세서의 물리적 인터페이스에 대한 설계이다. 블루투스가 다른 정보기기에 탑재되기 위해서는 블루투스의 외부 인터페이스인 UART 혹은 USB를 이용해야 하는데, 임베디드 시스템에서 편리하게 적용할 수 있는 것은 UART 인터페이스이다. Fig. 22는 본 논문에서 구현한 임베디드 기반 LAP의 UART 인터페이스에 대한 결선도와 회로도이다. 본 논문에서 사용된 블루투스 모듈의 UART 입·출력 라인인 TXD, RXD, RTS, CTS로 구성되어 있으므로 연결될 마이크로프로세서도 같은 라인들을 가지고 있어야 정확한 결선이 된다. 그러나 사용된 마이크로프로세서는 RTS, CTS 라인을 사용하지 않

으므로 변칙적인 연결형태로써 Fig. 22에서처럼 모듈의 RTS와 CTS 라인을 자체에서 연결시켜 모듈의 UART 데이터 송·수신을 가능하게 설계하였다. 그리고 본 논문의 구현에서는 baudrate를 115200bps로 설정하였는데, 블루투스 모듈과 마이크로프로세서의 펌웨어에서의 설정과 외부 클럭 또는 내부 클럭의 조정을 통해 최대 1.382Mbps까지 높일 수 있다.

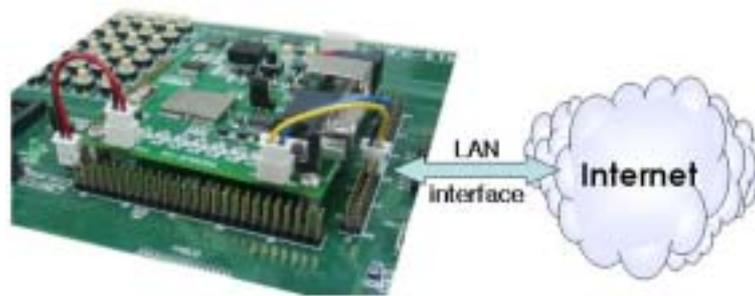
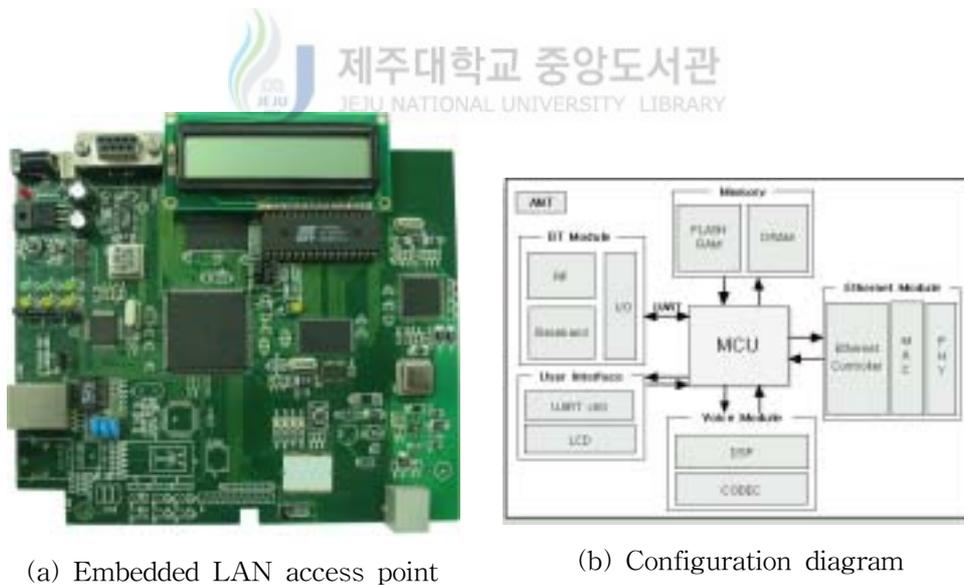


Fig. 23. Bluetooth LAN access point configuration based on embedded system



(a) Embedded LAN access point

(b) Configuration diagram

Fig. 24. Implemented embedded LAN access point and its configuration diagram

임베디드 기반 LAP의 구성은 32-bit 마이크로프로세서를 중심으로 블루투스 모

들과 이더넷 모듈, DSP 모듈 등으로 되어 있다. 마이크로프로세서를 호스트로 하여 펌웨어로 HCI/L2CAP/RFCOMM/PPP/IP/TCP&UDP 프로토콜 스택이 구성되었고, 이를 통해 블루투스 모듈과 이더넷 모듈을 제어함으로써 LAP의 기능을 수행한다. 외부 ROM에 스택을 포함하는 응용프로그램이 펌웨어로 들어가 있고, UART 채널 0번과 LCD를 통해 보드 동작에 대한 모니터링이 이루어지며, 자체 음성 재생 또는 자체 음성 데이터 전송시 DSP 모듈이 사용된다. LAP의 데이터 통신은 UDP를 포함하는 블루투스 스택을 통해 이루어지며, VoIP 통신일 경우에는 추가 구성된 H.323 프로토콜을 통해 음성 통신을 가능하게 한다.

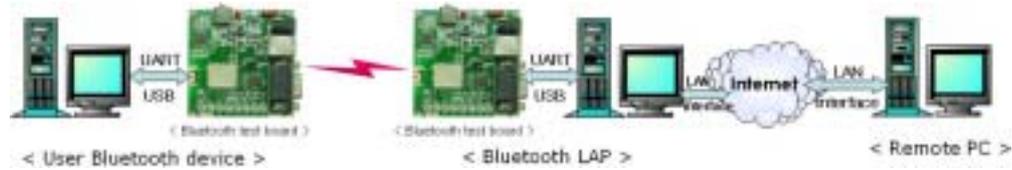
### 3) LAP를 이용한 시스템 구현과 성능 분석 및 응용

앞에서 구현한 PC 기반과 임베디드 기반의 LAP는 LAN access 시스템으로 확장될 수 있고, Fig. 25와 Fig. 26은 각각의 LAP로 구성되는 LAN access 시스템의 예이다. 사용자 블루투스 기기는 RFCOMM 프로토콜까지를 기본 스택으로 구성하고 있고, IP 네트워크 연결을 위한 PPP를 추가적으로 포함한다. 그리고 블루투스 LAP는 RFCOMM 스택 상위에 PPP/IP/TCP&UDP의 프로토콜을 구성하고 있으며, LAP 자체의 초기화 과정에서 IP 할당을 받아 IP 네트워크에 연결되고, 피코넷 구성을 위해 inquiry scan과 page scan 상태에 들어가 대기한다.

사용자 블루투스 기기가 수신지인 원격의 PC와 통신하기 위해서는 먼저 블루투스 LAP와의 연결 설정이 이루어져야 하고, 이후 IP 네트워크가 구성되어야 한다. 즉, 사용자 블루투스 기기는 초기 마스터의 역할로써 LAP를 조회하여 호출하는 과정을 통해 연결 설정을 이루고, 그 다음 마스터/슬레이브의 역할 교환을 통해 LAP가 구성하는 피코넷의 구성원으로 포함된다. 역할 교환은 LAP가 피코넷의 마스터가 되어 클럭 동기 제어, 네트워크 제어 등과 같은 링크 제어를 해야 하므로 필수적인 과정이다. 블루투스 링크 설정과 동시에 LAP에서는 연결되는 슬레이브들의 구분을 위해서 “connection handle” 값이 정해지게 되고, 이를 통해 각 슬레이브에 대한 ID 할당이 이루어진다.

통신을 위해서는 사용자 블루투스 기기가 연결하고자 하는 IP 주소를 LAP에 보내게 되고, LAP에서는 그 IP 주소로 사용자 블루투스 기기의 ID를 보내어 IP 네트워크를 설정함으로써, 이후 네트워크 서비스를 시작하게 된다. Fig. 25와 Fig. 26

의 (b)는 응용의 한 예로 데이터를 송·수신하는 채팅(chatting)의 형태를 보여주고 있다.



(a) PC base LAN access system

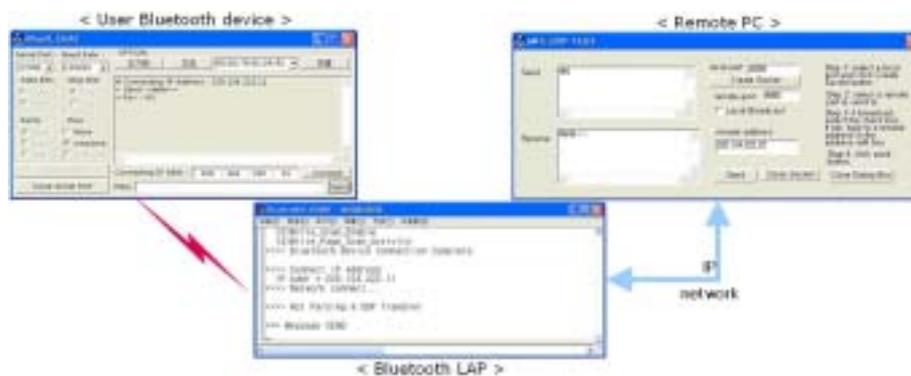


(b) Application example using PC base LAP

Fig. 25. PC base LAN access system and its application example



(a) Embedded base LAN access system



(b) Application example using embedded base LAP

Fig. 26. Embedded base LAN access system and its application example

Table 1은 위에서 설명한 PC 기반과 임베디드 기반의 LAN access 시스템에 대한 데이터율을 측정된 것으로써 각 시스템의 성능 분석을 위한 실험 결과이다. 실험은 패킷 형태에 따른 데이터율을 결정하는 형태로 세 가지 구성에 대하여 행해졌다. 즉, 파일 전송을 통해 두 블루투스 기기간의 실험과 PC 기반과 임베디드 기반 LAP를 이용한 실험을 하여 데이터율을 측정하였다. 본 실험에서는 각 시스템에 대해 같은 조건에서의 비교를 위해 일부의 특정 패킷 형태와 특정 정규열 크기로 실험하였는데, 전송 데이터 크기를 100Kbytes로, 정규열 크기를 24bytes로 하여 DM3와 DH3 패킷 형태에 대하여 데이터 전송을 수행하였다.

Table 1. Data rates for each system

패킷 형태	시스템 구분	전송시간(s)	데이터율(Kbps)
DM3	Two BT devices	17.04	46.95
	PC base LAP	17.05	46.92
	Embedded base LAP	17.04	46.95
DH3	Two BT devices	17.09	46.81
	PC base LAP	17.10	46.78
	Embedded base LAP	17.06	46.89

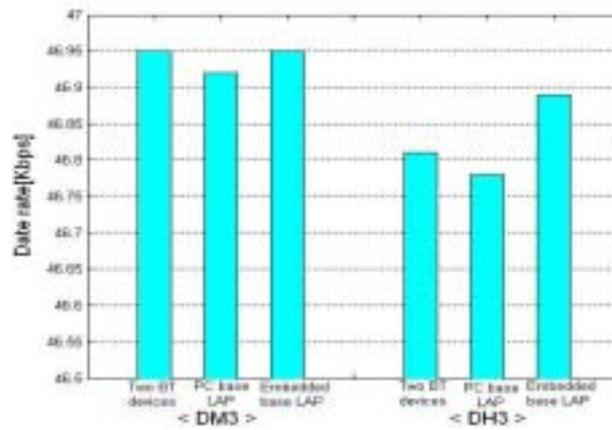


Fig. 27. Comparison of data rates for each system

Table 1과 Fig. 27을 통해 실험 결과를 확인해 보면 세 가지 시스템 구성에 대

해 대체로 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 이와 같이 두 블루투스 기기간의 데이터율과 PC 기반과 임베디드 기반의 LAN access로 확장한 시스템에서의 데이터율이 크게 차이가 없다는 것은 블루투스에 의한 LAN access 시스템 구성과 성능에 문제가 없음을 알 수 있는 결과이다.

#### 4) VoIP 통신을 위한 구현 시스템

블루투스를 VoIP 통신에 적용하여 일반 전화망과의 통화를 위해 구현된 시스템의 구성은 Fig. 28과 같고, 하드웨어 구성은 임베디드 기반 블루투스 LAP와 블루투스 VoIP 단말로 되어 있다.

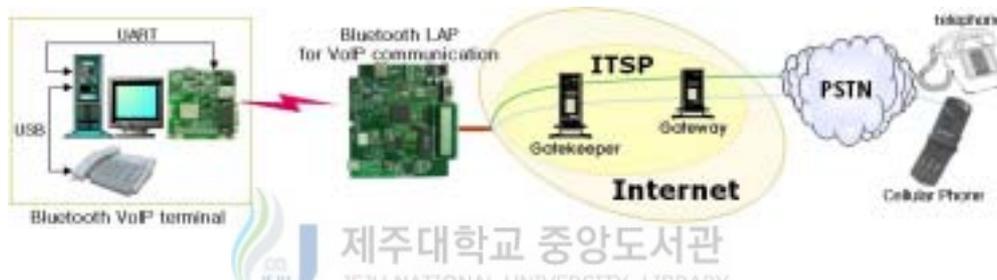


Fig. 28. Configuration of Bluetooth LAN access system for VoIP communication

앞 절에서 설명한 것처럼 블루투스 VoIP 단말은 PC 기반이며 USB 폰의 DSP 보드와 블루투스 테스트 보드를 연동하여 PC 응용프로그램을 통해 컨트롤된다. 그리고 실시간 통화와 음질 향상을 위해 LAP의 마이크로프로세서에서는 송·수신되는 음성 데이터를 UART 인터럽트와 이더넷 인터럽트를 적절하게 사용하여 처리하고 있다.

PSTN 망(이동전화 또는 일반전화)과의 통화를 위해서는 먼저 단말에서 LAP를 조회하여 연결 설정을 하고, call setup 과정을 거친 후, 통신이 이루어진다. 이를 위해 LAP에서는 블루투스 스택(HCI/L2CAP/RFCOMM/PPP/IP/TCP&UDP)과 더불어 H.323 프로토콜이 적용되었고, 이 프로토콜을 통해 ITSP(internet telephony service provider) 사업자가 제공하는 게이트키퍼(gatekeeper)와 게이트웨이(gateway)를 거쳐 통화를 할 수 있는 것이다. 여기서 게이트키퍼는 다른 게이트키퍼와 연결하거

나, 게이트웨이를 선택 연결하는 등의 기능을 수행하는 교환장치이고, 게이트웨이는 인터넷 전화로부터 걸려 온 전화를 일반전화와 연결해주는 장치이다.

현재 구현된 음성 통신은 블루투스의 ACL 링크를 이용한 것으로써, ACL 채널의 실용적 형태에 대한 타당함을 확인시켜 주는 것이다. 그러나 현재의 시스템은 VoIP 단말을 무선화 하여 유·무선 네트워크 통합 형태를 취하고는 있으나 완벽하지는 않은 구성이고, 상용적 모델로 발전할 수 있는 가능성을 제시하는 형태라 할 수 있겠다. 그리고 이러한 임베디드 형태의 응용을 통해 무선 헤드셋과 같은 소형의 무선 통신기기에 적용하는 것도 가능할 수 있을 것이고, MP3나 RA(real audio), AAC(advanced audio coding)등과 같은 적절한 압축 포맷과 적절한 DSP를 이용하면 블루투스를 이용한 고음질 무선 통신 시스템 구현 또한 가능할 것이다.

#### 5) 다중 채널에서의 데이터 통신과 음성 통신

Fig. 29는 다중 채널에서의 데이터 통신에 대한 LAN access 시스템 구성을 나타내고 있다. 블루투스 LAP에 의해 구성된 피코넷의 단말들은 각각 자신의 고유 ID를 할당받게 되고, 이를 통해 원하는 네트워크상의 원격 단말과 연결하여 데이터 통신을 할 수 있다. 피코넷 구현에 대한 구체적 설명은 V장에서 이루어진다.

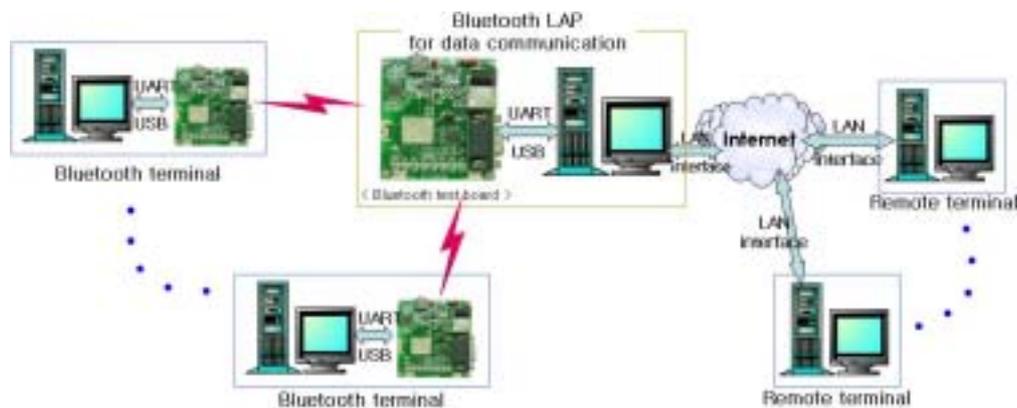


Fig. 29. LAN access system for data communication in multi-channel

본 논문에서는 채팅 형태로써 데이터 송·수신을 할 수 있는 응용프로그램을 구현하였는데, LAP와 블루투스 단말, 그리고 원격 단말에서 각각 다른 역할을 하는 응용프로그램의 실행을 통해 통신이 이루어진다. LAP의 응용프로그램에서는 ID 할당을 통해 피코넷의 단말들을 구분하여 원격 단말과의 통신 링크를 형성시켜 데이터 송·수신이 가능하도록 만들어 준다. 즉, 서버의 역할로써 블루투스 단말과 원격의 단말을 제어하도록 한 것이다.

다중채널에서의 음성 통신에 대한 구현은 USB 폰을 이용하였고, 그 구성은 Fig. 30과 같다. 블루투스 LAP에 대한 구성은 위에서 설명한 데이터 통신에서와 같고, 응용프로그램 또한 같은 역할을 한다. 단지 음성 데이터를 사용한다는 것만 다를 뿐이다. 피코넷의 블루투스 단말은 USB 폰의 DSP 보드와 블루투스 테스트 보드를 사용한 블루투스 VoIP 단말을 사용하였고, 원격 단말은 USB 폰으로 구성하였다.

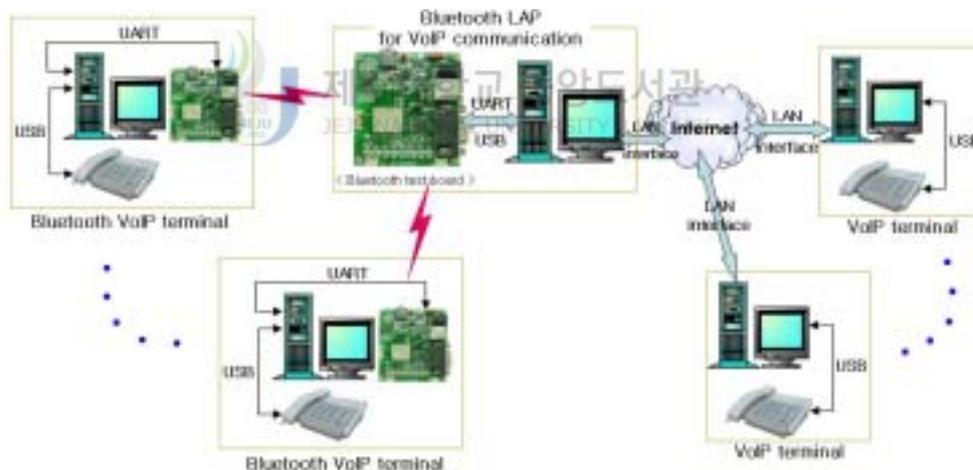


Fig. 30. LAN access system for voice communication in multi-channel

통화를 하기 위해서는 초기 블루투스 연결 설정 과정을 통해 LAP에 접속하여 ID 할당을 받게 되고, 이후 IP 번호에 의한 call setup 과정을 거쳐 원격 단말인 USB 폰과 연결 설정을 한다. 최대 7채널에 대한 통화가 가능하나, 통신 상태에 따라 음질은 고르지 않을 수 있고, 이를 개선하기 위해서는 많은 연구가 필요하다.

본 논문에서 구현한 블루투스 다중 채널을 이용한 음성 통신은 타 연구에서는 시도되지 않았던 ACL 링크를 이용한 기법이다. 타 연구의 경우 보통 SCO 링크를 이용하여 VoIP 시스템과의 응용이 이루어지는데, 이 경우 PCM 데이터를 직접 처리하는 방식으로써 블루투스 모듈에서 제공하는 PCM 인터페이스를 이용한 구현이 되어, 하나의 음성 채널에 대한 PCM 데이터 처리의 구조를 가지므로 블루투스 규격에서 정의하고 있는 동시 3개의 음성 채널은 지원할 수 없다.(윤정미 등, 2003) 그리고 이러한 방식은 모듈에 대한 특수한 하드웨어 구조 변경 또한 필요하다. 그러나 ACL 링크를 이용한 본 논문에서의 구현은 3개의 채널수를 뛰어 넘을 뿐 아니라 구현에 있어서도 용이하고, 음질 또한 신뢰할 만한 수준이다.

#### 6) 다중 채널 사용을 위한 임베디드 LAN access 시스템 구성 방안

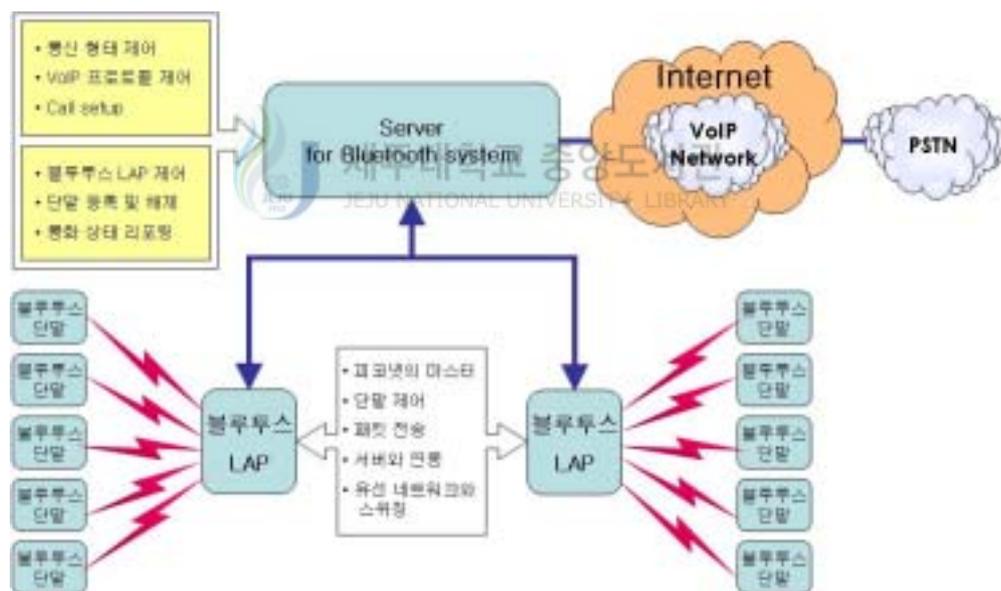


Fig. 31. Configuration of embedded LAN access system for using Bluetooth multi-channel

앞 절에서는 PC 기반 LAN access 시스템을 이용한 다중 채널에서의 데이터 통신과 음성 통신 구현을 다루었다. 그러나 임베디드 기반일 때는 현 구성 시스템을

이용하여 다중 채널을 구현하기에는 어려운 점이 많다. Fig. 31은 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 블루투스 다중 채널 사용을 위한 임베디드 LAN access 시스템의 구성을 나타낸 것이다. 여기서 블루투스 LAP의 역할은 피코넷의 마스터로써 블루투스 단말을 제어하고 패킷 전송을 수행한다. 그리고 서버와 연동하여 단말에 대한 등록 및 해제, 단말의 상태보고 등의 유선 네트워크와의 스위칭의 역할을 한다. 서버는 블루투스 단말이 등록된 피코넷 위치 정보 및 블루투스 단말의 현재 상태정보를 LAP로부터 수신하고, LAP의 요청에 대한 응답 등 정보 교환을 통해 피코넷과의 통신에 있어서 데이터 통신과 음성 통신에 대한 통신 형태를 제어하고, VoIP 통신일 경우에는 게이트웨이의 역할로써 VoIP 프로토콜에 대한 제어를 통해 다중 채널에서의 음성 통신 링크를 형성한다. 즉, 서버는 임베디드로서 기능에 제한이 있는 블루투스 LAP를 제어하여 전체적인 LAN access 시스템을 관리하는 역할을 하며, 이로써 임베디드 시스템 환경에서도 다중 채널 사용에 대한 서비스 제공이 가능하게 된다.

이상으로 본 장에서는 III장에서 블루투스 ACL 링크에 대한 검증을 기반으로 블루투스를 이용한 몇 가지 응용 구현이 이루어졌다. 전체적으로 볼 때 LAP 구현을 기반으로 이를 확장하여 블루투스 기반 VoIP 시스템과 다중 데이터 통신 및 다중 음성 통신 시스템 등, 유·무선 네트워크를 통합하는 LAN access 시스템을 구축하였고, 결과적으로 이를 통해 블루투스 기술 활용의 최대화를 추구하여 블루투스의 장점을 입증 및 부각시켰으며, 기존 멀티미디어 서비스에 대한 블루투스 적용의 타당성을 보였다.

다음 V장에서는 앞에서 논한 두 블루투스 기기간의 통신이 LAN access 시스템으로 확장되었을 때, 그 시스템 구성과 성능에 문제가 없다는 결과를 토대로, 다중 채널에서의 통신 시스템에 대한 검증으로써 최대 슬레이브로 구성되는 피코넷을 구현하여 패킷 형태별 데이터율을 통해 다중 채널을 비교·분석한다.

## V. 피코넷에서의 다중 채널 검증 및 분석

블루투스 시스템에서는 하나의 피코넷에서 최대 7개까지의 슬레이브가 서비스될 수 있다. 이러한 구성을 만족하기 위해서는 블루투스 베이스밴드에서의 지원이 필요하고, 소프트웨어 스택이 규격에 맞게 구현되어야 한다. 그리고 최대 7개의 채널 구현은 블루투스 ACL 링크에서 가능하며, 마스터가 피코넷의 서버 역할을 하고 슬레이브는 클라이언트로써 구현되어야 한다. 본 장에서는 피코넷을 구현하여 각 채널수에 대한 데이터율을 패킷 형태별로 측정한다. 이를 통해 피코넷의 가용 능력을 평가하고 응용범위를 고찰한다. 특히 VoIP 통신으로의 응용에 대한 데이터율의 비교를 통해 다중 채널에 대한 검증이 이루어진다.

### 1. 피코넷 구현

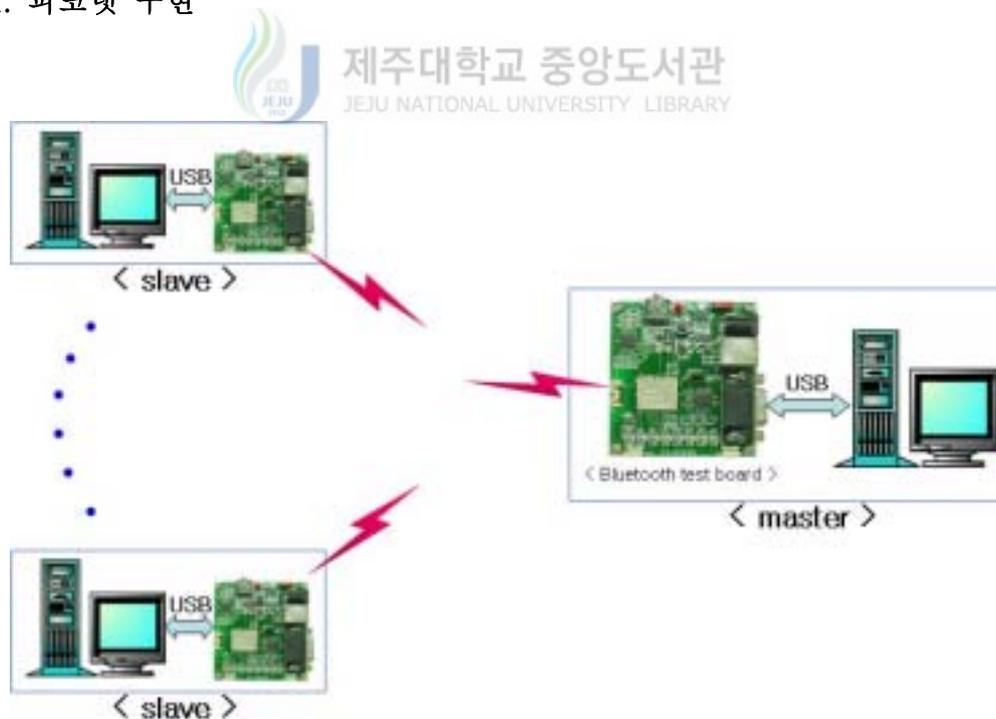


Fig. 32. Experimental configuration of a piconet for data rate measurement

피코넷을 구성하기 위해 블루투스 테스트 보드를 사용하였고, 최대 데이터율을 얻기 위해 PC와의 인터페이스는 USB 포트로 하였으며, Fig. 32와 같이 데이터를 측정할 위한 피코넷에서의 실험 형태를 구성하였다.

피코넷 채널 활성화와 데이터 전송을 위해서는 소프트웨어 스택이 필요하고, 이를 사용하기 위한 응용프로그램 구현이 요구된다. Fig. 33은 피코넷에서 응용프로그램을 통한 데이터 전송의 예를 보여주고 있다.

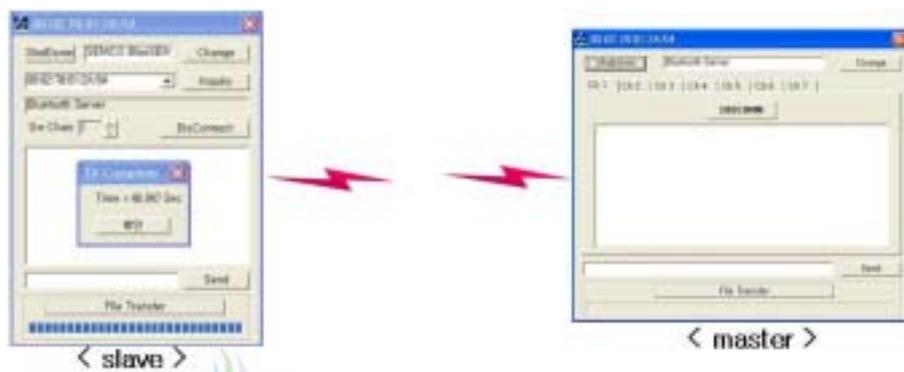


Fig. 33. Data transmission example by an application program in a piconet

피코넷 형성을 위한 응용프로그램은 서버와 클라이언트 프로그램 두 가지 형태로 구분된다. 클라이언트 프로그램은 초기에는 마스터로서 서버를 조회하여 연결 설정 과정을 수행하는데, 이 과정에서 슬레이브로 역할 교환을 한 후 연결 설정을 이루고, 활성 상태로 들어가 데이터 전송 준비를 한다. 서버 프로그램은 클라이언트의 조회·호출에 응답하여 클라이언트를 피코넷 구성에 참여시킨다. 본 실험에서는 RFCOMM 프로토콜 스택을 최상위 스택으로 가지는 응용프로그램을 구현하였고, 이에 대한 연결 과정에서의 메시지 흐름은 Fig. 34와 같다. 두 블루투스 기기 간의 연결 설정은 HCI 연결 설정 과정과 L2CAP 연결 설정 과정, RFCOMM 연결 설정 과정을 차례로 거쳐 이루어진다. 각 연결 설정 과정에서 마스터는 피코넷의 슬레이브들을 구분하기 위한 파라미터 값들을 설정하게 되고, 베이스밴드 계층에서도 호출 과정 중에 슬레이브에 3bits의 AM\_ADDR 지정을 통해 슬레이브를 구분하는 주소를 정한다. Fig. 34는 연결 설정 과정에 대한 호스트에서의 메시지 내

용을 흐름에 따라 정리한 것으로써 HCI에서 RFCOMM까지의 상위 스택에 대한 패킷화된 값들을 보여주고 있다. 그림을 보면 HCI의 Create\_Connection 과정에서 2bytes인 0x0028의 값으로 “connection handle”을 할당하게 되고, L2CAP 설정 과정에서는 L2CAP\_ConnectReq에 대한 응답인 L2CAP\_ConnectRsp를 통해 0x0040의 “channel ID”를 할당하며, 마지막으로 RFCOMM 계층에서 5bits의 “channel address”를 정하게 된다. 이러한 파라미터 값은 슬레이브들과 연결 설정을 이루는 과정에서 각각 다른 값들로 정해져 마스터에서의 관리를 통해 피코넷을 형성한다.

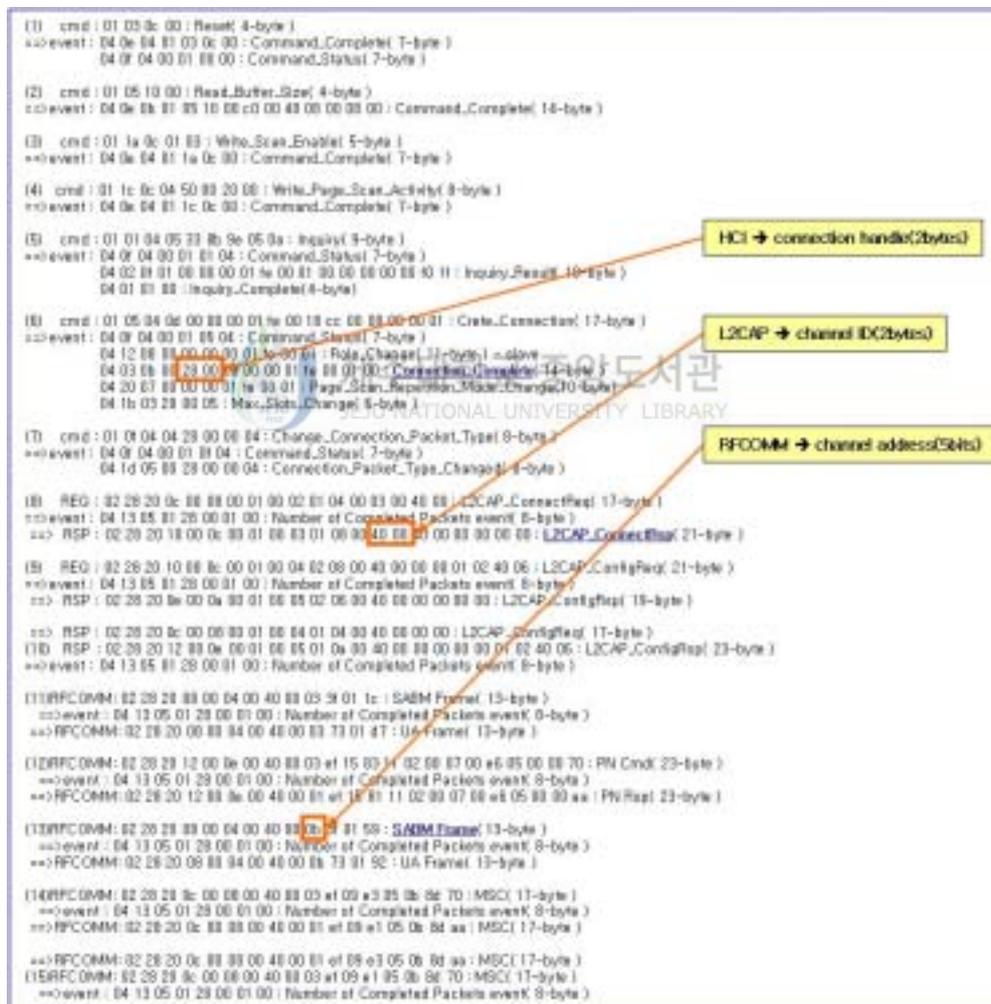


Fig. 34. Message flow for Bluetooth connection setup

## 2. 실험 결과 및 분석

실험은 블루투스의 여섯 가지 ACL 패킷 형태(DM1, DH1, DM3, DH3, DM5, DH5)에 대하여 100Kbytes의 텍스트형 파일을 전송하여 시간을 측정하는 방법으로 하였으며, 시간 측정은 PC에서 제공하는 msec 단위의 시스템 타이머를 사용하였다. 링크 품질은 블루투스 모듈의 유효 통신 거리인 10m 이내에서 장애가 없는 환경에서 실시하였으므로 양호한 것으로 가정하였고, 파일 전송에 대한 정규열 크기는 김창윤(2002)에서의 각 패킷 형태에 대한 최적 정규열 크기를 참조하였으며, 아래의 Table 2와 같다.

Table 2. Optimal regular stream size for each packet type

패킷 형태	DM1	DH1	DM3	DH3	DM5	DH5
최적의 정규열 크기 (byte)	756	936	838	723	663	951

실험은 각 패킷 형태에 대하여 1:1 전송에서부터 1:7 전송까지 채널수를 늘려가면서 행해졌고, 측정하지 않는 채널에서는 큰 용량의 파일을 전송하게 하여, 타 채널의 완전 가동 환경 하에서 한 채널에 대해 각 10회에 걸쳐 100Kbytes의 파일을 전송하여 데이터율을 측정하였다. 그리고 활성 채널수 증가에 따른 슬레이브에서 마스터로 전송하는 단방향 전송에서 마스터와 슬레이브 모두가 데이터를 주고받는 양방향 전송까지 수행하였다. 단방향 전송에서는 각 패킷 형태별 활성 채널수에 따른 데이터율의 평균값을 계산하여 그래프로 나타내었고, 이로부터 활성 채널수 증가시 각 패킷 형태에 대한 데이터율 성능 분석 자료를 얻을 수 있었다. 양방향 전송에서의 데이터율 측정은 모든 1:7 채널 가동시에 대해 두 가지 형태로 이루어졌는데, 그 하나는 7개의 슬레이브가 모두 데이터 전송시 마스터에서 어느 한 슬레이브로 파일을 전송하여 데이터율을 측정하였고, 다른 하나는 마스터에서도 7개의 슬레이브로 모두 데이터를 전송하고 슬레이브에서는 7개중 6개가 계속해서 데이터를 전송하는 가운데 나머지 한 슬레이브에서 마스터로 파일을 전송하여 데이

터율을 측정하였다. 그리고 이에 대한 각 패킷 형태별 데이터율의 평균값을 계산하여 그래프로 나타내었다.

### 1) 활성 채널수 증가에 대한 패킷 형태별 평균 데이터율

Table 3은 활성 채널수 증가에 대한 각 패킷 형태별 평균 데이터율과 1:1 전송을 기준으로 하여 계산한 평균 데이터율의 감소율을 기록한 표로써 각 패킷 형태에 대해 활성 채널수를 증가시키면서 각각 10회씩 측정한 데이터율을 평균한 결과이다.

Table 3. Average data rates of each packet type for multi-channel

패킷 형태		활성 채널수						
		1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7
DM1	평균 데이터율(Kbps)	63.84	33.73	26.55	21.74	18.55	16.89	15.24
	감소율(%)	0	47.16	58.41	65.95	70.94	73.54	76.13
DH1	평균 데이터율(Kbps)	101.65	53.37	40.17	33.58	29.72	25.65	24.13
	감소율(%)	0	47.50	60.48	66.97	70.76	74.77	76.26
DM3	평균 데이터율(Kbps)	206.03	128.21	89.72	74.22	52.70	45.27	44.18
	감소율(%)	0	37.77	56.45	63.98	74.42	78.03	78.56
DH3	평균 데이터율(Kbps)	299.19	165.14	134.48	106.75	77.68	67.77	64.85
	감소율(%)	0	44.80	55.05	64.32	74.04	77.34	78.32
DM5	평균 데이터율(Kbps)	303.72	176.67	120.63	85.95	80.76	77.47	66.06
	감소율(%)	0	41.83	60.28	71.70	73.41	74.49	78.25
DH5	평균 데이터율(Kbps)	432.90	247.84	172.06	122.83	115.11	110.18	94.37
	감소율(%)	0	42.75	60.25	71.63	73.41	74.55	78.20

본 실험에서 측정된 데이터율은 실질적 데이터 자체에 대한 전송 데이터율로써, 전송시 붙는 파라미터들을 포함해서 계산된 블루투스 규격에서 제시하는 최대 데이터율보다는 작다. 그리고 실제 데이터에 각 스택을 거치면서 붙는 헤더들과 스택을 통과하면서의 분할/조립 과정과 베이스밴드를 거쳐 RF로 보내지기 전까지의 데이터 흐름 중에 생기는 지연요소들 등으로 인해 실제 데이터율의 저하를 가져온다.

실험 결과 활성 채널수가 증가함에 따라 각 슬레이브의 데이터율은 감소함을 알 수 있다. 즉, 블루투스는 시분할 전송 방식이므로 1채널만 사용될 때 모든 시간에 대해서 이루어졌던 데이터 전송이 7채널로 확장되면 1/7로 나누어진 시간에 대해서만 데이터 전송이 이루어지기 때문에 활성 채널수 증가에 따라 한 슬레이브에서의 데이터율 감소는 필연적인 것이다.

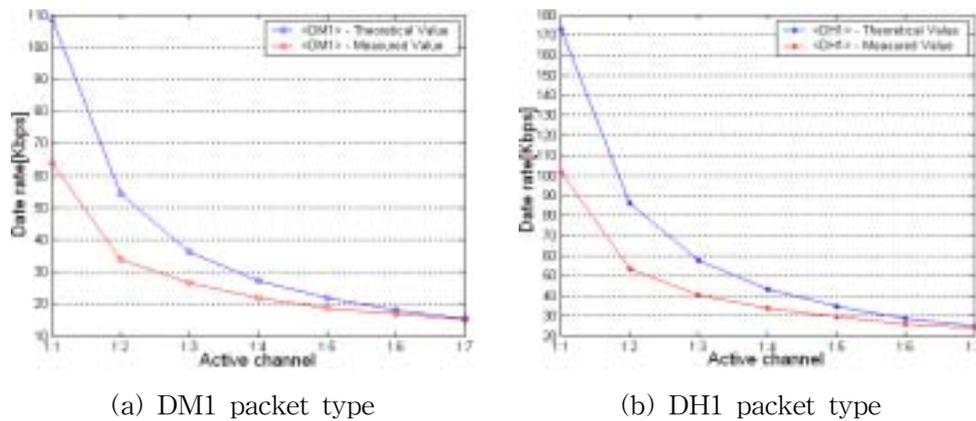


Fig. 35. Data rates variation of 1-slot packet types for multi-channel

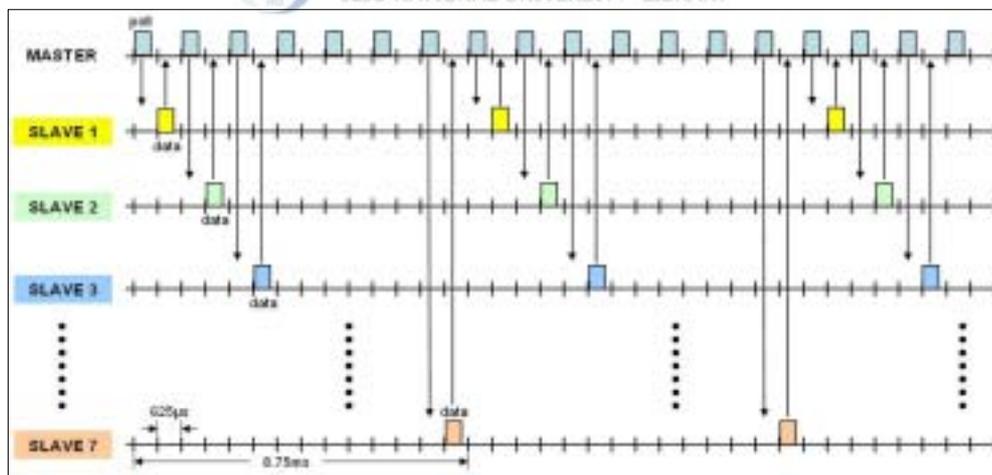


Fig. 36. TX/RX timing of 1-slot packet types for multi-channel

Fig. 35는 단일 슬롯 패킷 형태인 DM1과 DH1에 대한 활성 채널수 증가에 따른 데이터율의 변화를 나타낸 그래프로써 이론치와 측정치를 나타낸 것이고, Fig. 36

은 이러한 단일 슬롯 패킷 형태에 대한 다중채널에서의 마스터/슬레이브의 데이터 송·수신 타이밍을 나타내고 있다. 이론적으로 마스터에서 처리될 수 있는 최대 데이터율은 정해져 있으므로 피코넷의 슬레이브들은 이러한 데이터율을 나누어 가진다. 단일 슬롯인 경우 Fig. 36에서 알 수 있듯이 마스터에서는 1채널 당 2슬롯을 사용하고, 매 2슬롯마다 poll 패킷의 응답으로써 슬레이브로부터 데이터를 수신하게 된다. 슬레이브는 보낼 데이터가 없으면 null 패킷으로 응답한다. 그러므로 DM1인 경우 마스터에서 처리되는 이론적 최대 데이터율은  $(17\text{bytes} \times 8) / (0.625\text{ms} \times 2\text{slots}) = 108.8\text{Kbps}$ 가 되는 것이고, 7채널이 활성화되어 데이터 전송이 이루어질 때 각 슬레이브의 데이터율은  $108.8\text{Kbps} / 7 = 15.54\text{Kbps}$ 가 된다. 또는 각 슬레이브 입장에서는  $(17\text{bytes} \times 8) / (0.625\text{ms} \times (2\text{slots} \times 7)) = 15.54\text{Kbps}$ 와 같이 계산할 수 있다. 여기서, 17bytes는 DM1 패킷 형태에서 처리할 수 있는 최대 페이로드의 크기이다. 마찬가지로 DH1에 대해서도 계산하면 최대 페이로드의 크기가 27bytes이므로 7채널 활성화시 각 슬레이브의 데이터율은 24.68Kbps가 된다. Fig. 35의 그래프들을 보면 활성 채널수가 증가함에 따라 이론치와 측정치가 비슷해져 가는 것을 볼 수 있다. 이는 전송 채널을 형성하는 마스터의 슬롯에 대해 슬레이브들의 사용률이 증가하기 때문이다. 즉, 슬레이브는 단지 마스터의 poll 신호에 대한 응답의 형태로써 데이터를 전송하게 되는데, 1채널일 때는 앞에서 설명된 데이터율 저하의 원인과 정규열 크기에 의한 응용프로그램에서의 데이터 전송시 생기는 시간 간격 등에 의해 슬레이브에서는 연속해서 데이터를 보낸다고는 하지만 마스터의 모든 poll 패킷에 대해서 데이터 전송으로써 응답을 못하는 경우가 발생한다. 그리고 데이터 전송 오류에 의한 정정 또는 재전송 등으로 더욱더 데이터율의 감소가 생기는 것이다. 이에 반해 활성 채널수가 증가할수록 각 슬레이브에서는 데이터율이 감소되기는 하지만 마스터의 poll 패킷을 수신하는 시간 간격이 커지게 되어 데이터 전송에 여유가 생기므로 수신한 poll 패킷에 대한 데이터 전송으로써의 응답률이 상승하게 되고, 이를 통해 각 채널에 할당된 대역폭 사용의 극대화를 가져오게 되어 전체적으로 마스터 슬롯의 사용률이 높아져 이론치에 가까운 값을 얻을 수 있는 것이다. 실제 DM1과 DH1 패킷 형태에서는 7채널이 활성화될 경우 각 슬레이브에서의 데이터 전송 주기는 14슬롯으로 8.75ms이고, 데이터율은 각각 15.24Kbps, 24.13Kbps로 이론치와 거의 비슷한 값을 보인다.

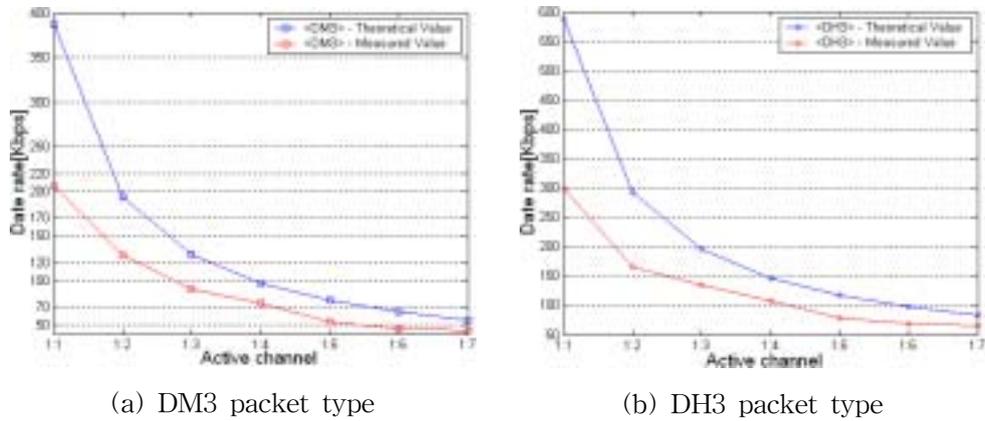


Fig. 37. Data rates variation of 3-slot packet types for multi-channel

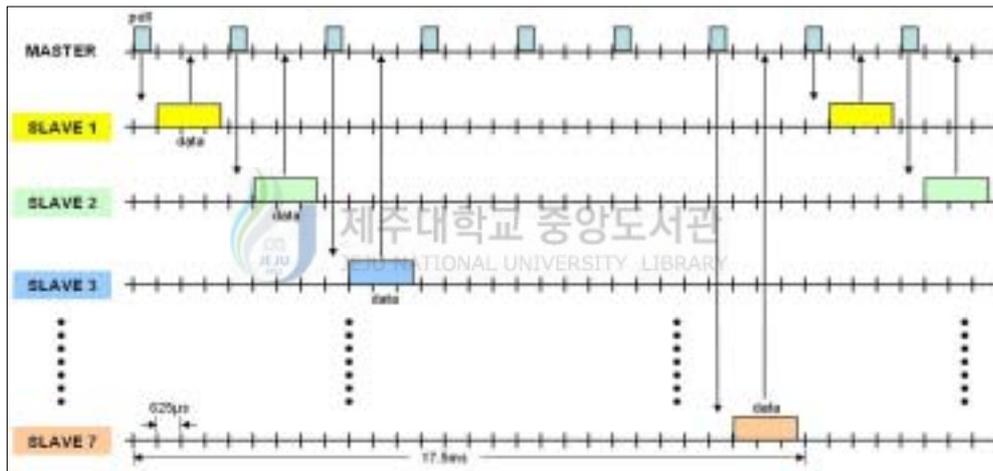


Fig. 38. TX/RX timing of 3-slot packet types for multi-channel

Fig. 37은 3슬롯 패킷 형태인 DM3와 DH3에 대한 이론치와 측정치의 데이터율 변화를 나타낸 그래프이고, Fig. 38은 이에 대한 마스터/슬레이브의 데이터 송·수신 타이밍을 나타내고 있다. 이 경우 마스터에서는 1채널 당 4슬롯을 사용하고, 매 4슬롯마다 poll 패킷의 응답으로써 데이터를 수신하게 된다. 즉, 1채널에 사용되는 시간은 2.5ms이고, 7채널이 활성화될 시 각 슬레이브가 데이터 전송으로써 응답할 수 있는 주기는 17.5ms가 된다. 그리고 DM3인 경우 최대 페이로드 크기가 121bytes이므로 이때 각 슬레이브의 이론적 최대 데이터율은  $(121\text{bytes} \times 8) / (0.625\text{ms} \times$

(4slots×7) = 55.31Kbps이고, DH3인 경우는 최대 페이로드 크기가 183bytes이므로 이론적 최대 데이터율은 (183bytes×8)/(0.625ms×(4slots×7)) = 83.65Kbps가 된다. 측정된 데이터율은 DM3가 44.18Kbps, DH3가 64.85Kbps로써 이론치와는 비교적 차이가 있는데, 이는 데이터 전송에서의 오류에 의한 정정과 재전송 등의 지연 요소와 더불어 채널간의 트래픽 등으로 인한 전송 타이밍의 불일치 및 회선 불량률의 수치가 커졌기 때문이라 예상된다. 계산상으로 한 주기 당 보통 3~4개의 슬레이브에서 전송 타이밍을 놓쳐서 데이터 전송이 이루어지지 못하는 가운데, 각 슬레이브는 4주기 중에 한번 또는 5주기 중에서 두번 데이터 전송을 놓칠 경우의 데이터율과 측정치가 비슷한 수치를 보인다.

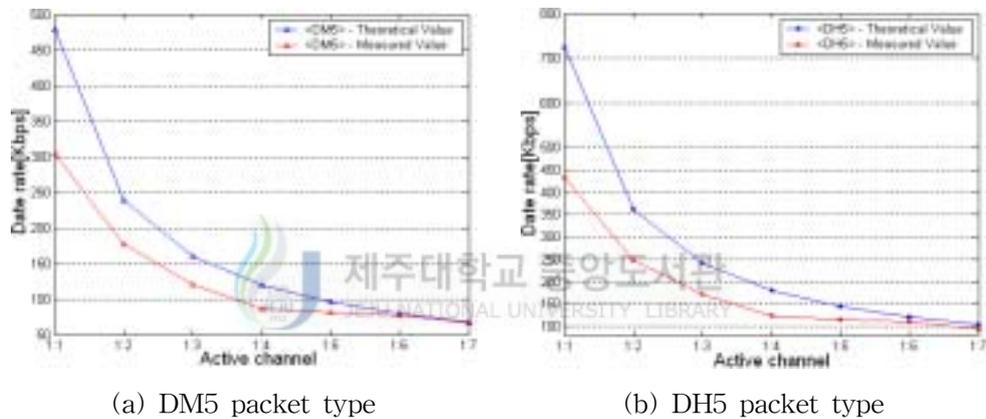


Fig. 39. Data rates variation of 5-slot packet types for multi-channel

Fig. 39는 5슬롯 패킷 형태인 DM5와 DH5에 대한 이론치와 측정치의 데이터율 변화를 나타낸 그래프이고, Fig. 40은 이에 대한 마스터/슬레이브의 데이터 송·수신 타이밍을 나타내고 있다. 이 경우 마스터에서는 1채널 당 6슬롯을 사용하고, 매 6슬롯마다 poll 패킷의 응답으로써 데이터를 수신하게 된다. 즉, 1채널에 사용되는 시간은 3.75ms이고, 7채널이 활성화될 시 각 슬레이브가 데이터 전송으로써 응답할 수 있는 주기는 26.25ms가 된다. 그리고 DM5인 경우 최대 페이로드 크기가 224 bytes이므로 이때 각 슬레이브의 이론적 최대 데이터율은 (224bytes×8)/(0.625ms×(6slots×7)) = 68.26Kbps이고, DH5인 경우는 최대 페이로드 크기가 339bytes이므로 이론적 최대 데이터율은 (339bytes×8)/(0.625ms×(6slots×7)) = 103.31Kbps

가 된다. 측정된 데이터율은 DM5가 66.06Kbps, DH5가 94.37Kbps로써 이론치와 비교적 비슷하다. 그리고 Fig. 39의 그래프를 통해 활성 채널이 6채널 이상에서부터 이론치와 측정치가 비슷함을 확인할 수 있는데, 이로부터 5슬롯의 패킷 형태인 경우 6채널 이상에서 마스터 슬롯의 사용률 증가로 데이터 수신율이 좋아짐을 알 수 있다.

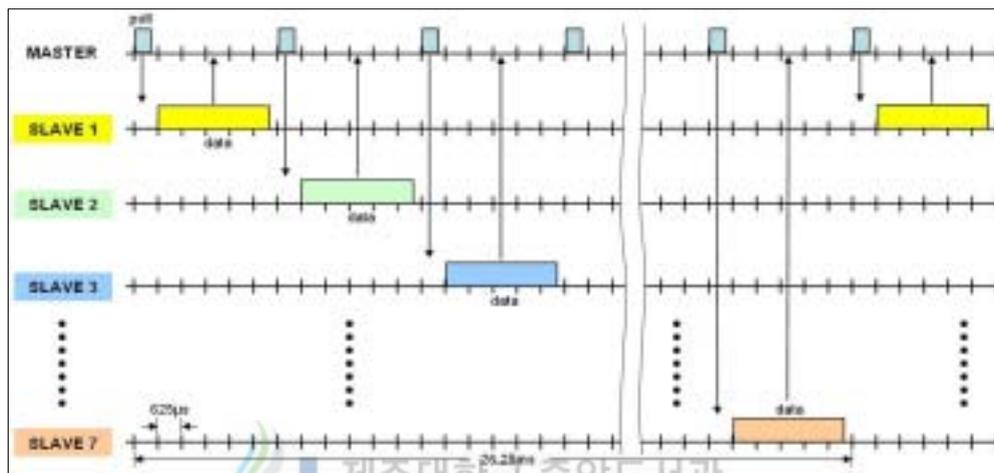


Fig. 40. TX/RX timing of 5-slot packet types for multi-channel

이상의 실험은 채널수를 늘려 가면서 슬레이브에서 마스터로의 단방향 전송에 대한 데이터율을 측정한 것으로써 피코넷 채널수 증가에 대한 블루투스 모듈의 성능 검증에 이용될 수 있다. Table 3에서 알 수 있듯이 7개의 채널 모두에서 데이터 전송이 이루어질 때, 최저 데이터율은 15.24Kbps로 DM1에서였고, 최대 데이터율은 94.37Kbps로써 DH5에서 보였다. 그러나 이러한 데이터율의 차이는 근본적으로 다른 전송 슬롯 수와 에러 정정 기법의 적용 유무에 의한 패킷 형태의 특성 때문이고, 채널수 증가와 관련하여 각 패킷 형태를 비교 분석하기 위해서는 1:1 전송에서의 데이터율을 기준 데이터율로 하여 계산된 감소율을 이용해야 한다. 각 패킷 형태에 대한 감소율의 그래프를 Fig. 41에 나타내었다.

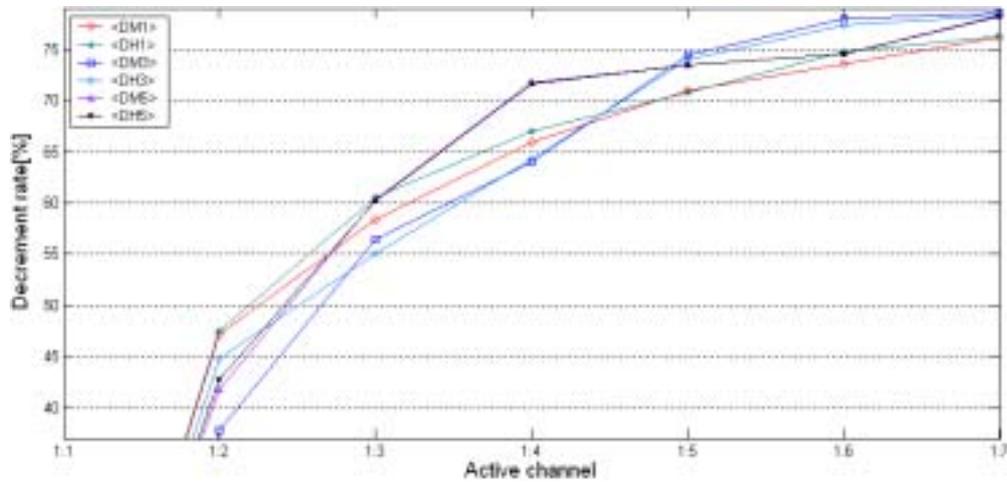


Fig. 41. Decreasing data rates of each packet type for increment of the number of active channel

최종 감소율은 모든 패킷 형태에서 거의 비슷하나 DM1과 DH1에서가 가장 적은 감소율을 보인다. 전체적으로 감소율은 같은 슬롯 수를 가지는 패킷 형태들간에 비슷한 특성을 보인다. 하나의 슬롯을 가지는 DM1과 DH1은 채널수 증가에 대해 비교적 안정적인 감소율 증가를 보이고, 세 개의 슬롯을 가지는 DM3와 DH3는 4채널까지는 가장 적은 감소율을 보이나 그 이상의 채널수일 때는 감소율이 크게 증가하여 활성 채널수가 7개일 때는 가장 높은 감소율을 보인다. 마지막으로 다섯 개의 슬롯을 가지는 DM5와 DH5는 처음 4채널까지는 감소율이 크게 증가하나 활성 채널수가 7개로 갈수록 감소율 증가가 비교적 안정적으로 된다.

이러한 결과로부터 다중 채널 사용에 대한 각 패킷 형태에 대해 분석해보면, 가장 안정적 감소율을 갖는 DM1과 DH1은 기본적으로 낮은 데이터율을 가지는 패킷 형태이므로 낮은 데이터율을 기반으로 하는 다중 통신에 적용 가능하다고 판단된다. 저비트율 음성 압축을 사용하는 VoIP 통신 또한 적당한 적용 범위라 할 수 있다. DM3와 DH3는 4채널 이하에서 안정적이고 비교적 빠른 통신을 필요로 하는 다중 통신에 적당하고, DM5와 DH5는 가장 높은 데이터율을 필요로 하는 다 채널 통신에 사용될 수 있다.

2) 양방향 전송에 대한 마스터의 데이터율

Table 4. Master's data rates for full-duplex transmission

실험 횟수	패킷 형태	DM1	DH1	DM3	DH3	DM5	DH5
		1	데이터율(Kbps)	18.13	26.83	87.82	110.65
2	데이터율(Kbps)	17.87	26.66	84.93	107.10	114.78	138.41
3	데이터율(Kbps)	17.77	26.74	83.95	109.14	114.12	138.65
4	데이터율(Kbps)	17.85	26.86	83.59	105.54	112.36	134.68
5	데이터율(Kbps)	17.97	27.05	80.48	106.52	116.96	135.82
6	데이터율(Kbps)	17.80	26.57	81.47	103.09	115.27	134.00
7	데이터율(Kbps)	17.74	27.17	82.05	106.81	114.45	133.56
8	데이터율(Kbps)	17.84	26.81	81.30	112.52	113.15	135.36
9	데이터율(Kbps)	17.81	26.73	80.16	107.82	112.52	131.58
10	데이터율(Kbps)	18.07	27.19	84.48	110.80	107.96	132.70
평균 데이터율(Kbps)		17.89	26.86	83.02	108.00	113.73	135.01
이론적 최대치(Kbps)		15.54	24.68	51.62	78.08	62.33	94.33

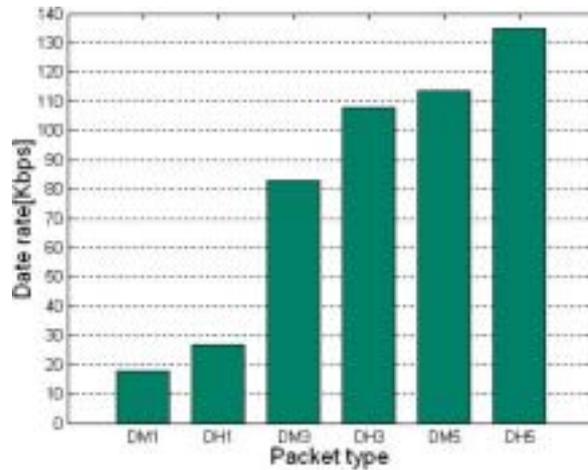


Fig. 42. Master's data rates for full-duplex transmission

Table 4는 7개의 채널이 모두 활성화되어 슬레이브에서 마스터로 데이터를 계속해서 전송하는 가운데 마스터에서 어느 한 슬레이브로 데이터를 전송하여 데이터율을 측정하는 표이다. 각 패킷 형태에 대하여 10회씩 파일 전송을 하여 데이터율을 측정하였고, 평균 데이터율을 Fig. 42에 그래프로 나타내었다. 그리고 Fig. 43은 이에 대한 마스터/슬레이브의 데이터 송·수신 타이밍을 나타낸 것으로써 3슬롯 패킷 형태의 예이다.

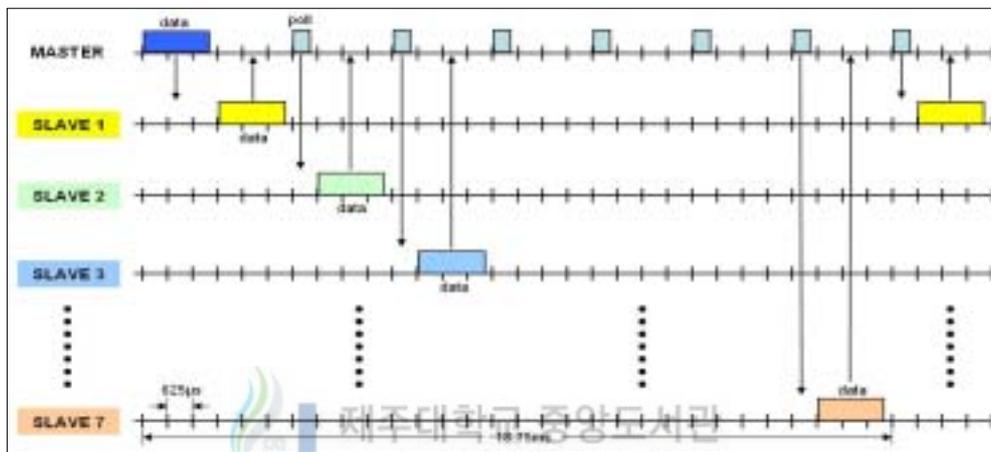


Fig. 43. TX/RX timing of 3-slot packet types for master transmission

본 실험은 마스터에서 하나의 슬레이브로 데이터를 전송하는 것이므로 모든 슬레이브로 전송할 때의 데이터율과는 다르다. 그러나 예외적으로 단일 슬롯 패킷 형태인 DM1과 DH1에서는 본 실험과 같은 결과를 얻을 수 있다. 왜냐하면 마스터에서 짝수 슬롯마다 보내는 1슬롯의 poll 패킷 대신 DM1이나 DH1의 데이터를 보내면 되기 때문이다. 그 외의 패킷 형태에서는 모든 슬레이브로 전송되면서 늘어나는 사용 슬롯 수 만큼의 데이터율의 감소가 있게 된다. 3슬롯 패킷 형태에서는 12슬롯(7.5ms), 5슬롯 패킷 형태에서는 24슬롯(15ms)만큼의 시간 지연으로 인한 데이터율 감소가 생긴다. 즉, 사용 슬롯이 큰 패킷 형태일수록 감소되는 데이터율은 커진다. 실험 결과 측정치인 평균 데이터율과 이론적 최대치와 비교해 보면, 평균 데이터율이 다소 큰 값을 보이고, 다중 슬롯인 경우 이 값은 Table 4를 통해 알

수 있듯이 활성 채널수 3~4개일 때의 데이터율과 비슷하다. 그러므로 이로부터 마스터 슬롯에 데이터 전송으로써 응답하는 채널수가 한 주기동안 3~4개인 것을 확인할 수 있고, 단일 슬롯 패킷 형태는 이에 영향을 받지 않지만 데이터율 최대화를 위해 참조된 최적 정규열 크기에 의한 이득으로 인해 이론치 보다는 조금 높은 데이터율을 보인다.

### 3) 양방향 전송에 대한 슬레이브의 데이터율

Table 5. Slave's data rates for full-duplex transmission

실험 횟수	패킷 형태	DM1	DH1	DM3	DH3	DM5	DH5
1	데이터율(Kbps)	13.96	22.65	36.66	49.26	39.76	59.61
2	데이터율(Kbps)	13.80	22.37	34.75	46.97	38.20	58.06
3	데이터율(Kbps)	14.00	22.21	34.13	48.84	39.58	57.02
4	데이터율(Kbps)	14.06	22.48	36.31	48.87	39.16	56.82
5	데이터율(Kbps)	13.93	22.23	33.36	47.37	37.79	59.04
6	데이터율(Kbps)	13.81	22.12	35.97	46.48	39.45	57.60
7	데이터율(Kbps)	13.98	22.38	34.62	46.16	39.96	58.10
8	데이터율(Kbps)	13.92	22.65	33.62	47.85	40.02	55.52
9	데이터율(Kbps)	13.96	22.27	35.86	47.59	39.45	57.39
10	데이터율(Kbps)	13.92	22.61	34.21	46.27	39.68	60.56
<b>평균 데이터율(Kbps)</b>		<b>13.93</b>	<b>22.40</b>	<b>34.95</b>	<b>47.57</b>	<b>39.31</b>	<b>57.97</b>
<b>이론적 최대치(Kbps)</b>		<b>15.54</b>	<b>24.68</b>	<b>36.87</b>	<b>55.77</b>	<b>40.96</b>	<b>61.98</b>

Table 5는 1:7 모든 채널이 완전 가동된 상황에서 한 슬레이브에서의 데이터율을 측정하여 기록한 것이다. 즉, 마스터에서 7개의 슬레이브로 계속해서 데이터를 전송하고, 6개의 슬레이브에서도 마스터로 계속해서 데이터를 전송하는 가운데 나머지 하나의 슬레이브에서 마스터로 파일을 전송하여 데이터율을 측정한 것으로써 양방향 통신에 대한 블루투스가 발휘할 수 있는 최대 용량에서의 성능 평가라 할

수 있다. 각 패킷 형태에 대해 10회에 걸쳐 파일 전송을 하여 데이터율을 결정하였고, 이에 대한 평균 데이터율을 Fig. 44에 그래프로 나타내었다. 그리고 3슬롯 패킷 형태에 대한 마스터/슬레이브의 데이터 송·수신 타이밍 예를 Fig. 45에 나타내었다.

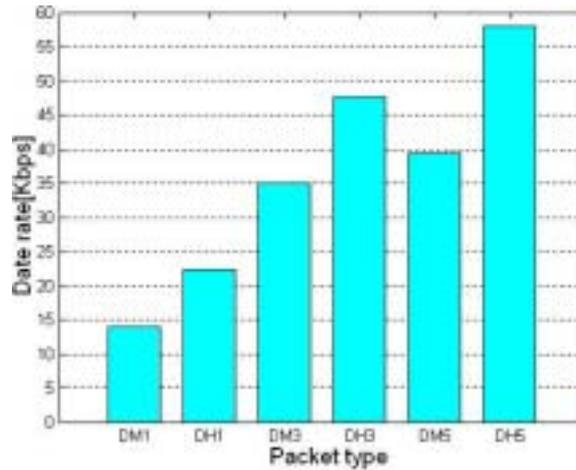


Fig. 44. Slave's data rates for full-duplex transmission

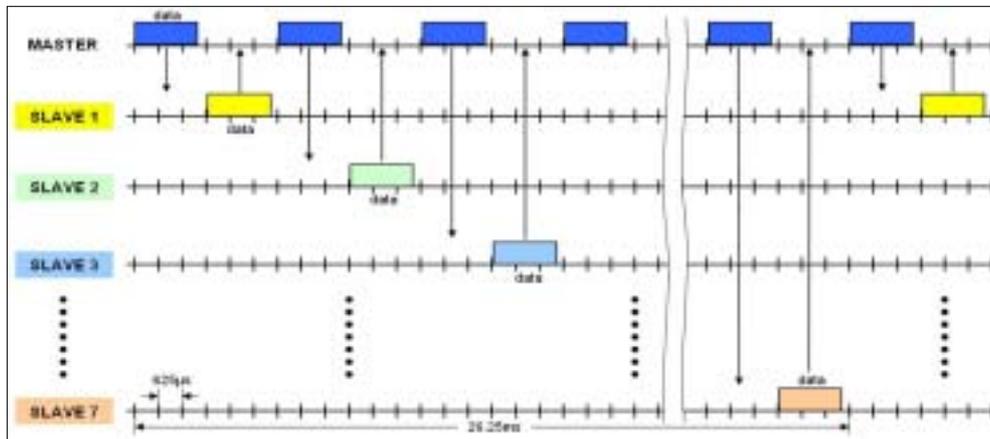


Fig. 45. TX/RX timing for full-duplex transmission of master and slave

Fig. 44는 최대 피코넷 구성이면서 모든 채널이 포화된 상태에 대한 블루투스 ACL 채널의 최대 가능한 사용 능력을 보여주고 있다. 이론치와 비교해서는 모든

패킷 형태에서 조금씩 떨어진 데이터율을 보이고, DM1에서 13.93Kbps로 가장 적고, DH5에서 57.97Kbps로 가장 크다. 이러한 값들은 블루투스 기술을 구현하는 하드웨어와 소프트웨어의 형태에 의해서도 영향을 받게 된다. 실제 본 논문에서 사용된 블루투스 모듈과 소프트웨어 스택, 그리고 응용프로그램 등에서의 최적이지 아닌 구성은 이론적 수치보다는 낮은 결과를 만들어낸다.

실험 결과 사용 슬롯 수가 큰 패킷 형태일수록 활성 채널수 증가에 따른 양방향 전송에서의 데이터율 감소는 심해진다. 이는 피코넷에서 마스터가 각 채널의 슬레이브들을 폴링(polling)하는 주기와 관계가 있는데, Fig. 45를 통해서 알 수 있다. 데이터 전송이 양방향에서 이루어질 경우에는 마스터에서도 슬레이브들에 대한 폴링과 동시에 데이터 전송이 함께 이루어지기 때문에 사용 슬롯 수가 큰 패킷 형태일수록 각 채널의 데이터 전송 주기가 커져 큰 폭의 데이터율 감소가 생기는 것이다. DM1과 DH1인 경우는 예외적인 경우로써 단일 슬롯을 이용하므로 활성 채널수에만 영향을 받을 뿐 마스터의 데이터 전송 유무에는 영향을 받지 않아 일정한 데이터율을 유지하게 된다. 7개의 채널이 모두 활성화되었을 경우 양방향 데이터 전송을 위해 단일 슬롯 패킷 형태는 1채널 당 2슬롯을 사용하므로 각 채널의 주기는 14슬롯(8.75ms)이고, 3슬롯 패킷 형태는 1채널 당 6슬롯을 사용하므로 채널 주기는 42슬롯(26.25ms)이며, 5슬롯 패킷 형태는 1채널 당 10슬롯을 사용하므로 채널 주기는 70슬롯(43.75ms)이 된다.

실험에서의 측정치가 모든 패킷 형태에서 약 14Kbps 이상의 데이터율을 보였으므로 한 채널에 대한 마스터의 데이터율 또한 슬레이브와 비슷한 14Kbps 이상으로 해석할 수 있다. 왜냐하면 어느 한 채널에서의 송·수신을 고려할 때 이론적으로 마스터와 슬레이브의 데이터율은 거의 같기 때문이다. 그리고 각 채널의 주기와 데이터율은 밀접한 관계를 가지는데, 본 실험에서 측정된 데이터율과 이론적 최대치는 최대 데이터율을 얻을 수 있도록 각 패킷 형태의 페이로드를 고려한 결과이다. 그러므로 실제 블루투스를 이용하는 통신 시스템에 적용하기 위해서는 그 시스템의 특성과 블루투스 피코넷에서의 각 채널 주기와 데이터율을 잘 부합시켜야만 한다. 특히 블루투스를 다중 통신에 이용할 때 그 중요성은 더욱 커진다.

블루투스 응용을 위한 패킷 형태 선택을 살펴 볼 때, 가정 자동화에서 일반 전자기기 제어와 같은 통신 상황이 빈번하지 않은 경우에는 어떤 패킷 형태를 사용

하더라도 그다지 큰 문제가 발생하지 않겠으나, 실시간 통신을 요구하면서 모든 채널이 완전 가동되는 최대 사용 상황을 경우의 수로써 가지는 시스템이라면 그 시스템이 필요로 하는 데이터율을 고려해서 사용할 패킷 형태를 선택해야만 할 것이다. 본 논문에서 이용한 VoIP 통신의 경우 30ms마다 24bytes를 전송해야 하므로 전송대역폭은 약 6.3Kbps이고, 이는 실험의 측정치들보다는 적으나 전송 간격이 30ms이기 때문에 모든 채널이 활성화되었을 때 각 채널의 주기가 30ms 보다 큰 5슬롯 패킷 형태인 DM5와 DH5는 사용할 수 없음을 말하는 것이다. 본 논문의 구현에서는 DM3 패킷 형태를 사용하여 시스템 구현을 하였다.

이처럼 블루투스 다중 채널에서 패킷 형태와 관련된 특성은 블루투스의 응용범위를 결정하는 중요한 조건이 된다. 데이터 전송을 위한 응용의 경우 데이터율 감소에 의한 시간 지연이라는 문제점은 어느 정도 수용 가능한 부분이므로 패킷 형태에 관계없이 어떠한 패킷 형태라도 사용할 수 있다. 다만 적용 시스템의 특성과 관련하여 망의 안정성과 전송 데이터의 크기를 고려한 패킷 형태의 선택이 필요하다. 즉, 안정적이며 작은 크기의 데이터 전송을 위해서는 단일 슬롯의 패킷 형태가 알맞겠고, 데이터 크기가 클 경우에는 다중 슬롯의 패킷 형태가 알맞겠다. 그러나 음성 전송을 위한 응용의 경우는 실시간 통신이므로 시간 지연에 민감하기 때문에 사용될 패킷 형태의 선택은 중요하다. 이는 음성 통신에서 사용되는 코덱의 특성을 고려해야 하는 부분으로써, 코덱에서 처리되는 데이터 크기와 속도에 관계된다. 본 논문의 구현에서 사용된 G.723.1 코덱인 경우 실험 결과를 통해 적용해 볼 때 3슬롯 이하의 패킷 형태가 알맞고, 5슬롯의 패킷 형태인 경우는 사용 채널수를 4채널 이하로 낮춤으로써 가능하며, 가장 안정된 다중 채널의 음성 통신을 위해서는 단일 슬롯 패킷 형태를 적용하는 것이 더 바람직하다. 그러나 단일 슬롯의 패킷 형태는 작은 페이로드 크기를 가지므로 코덱에서의 데이터를 수월하게 처리하기 위해서는 HCI 계층만 이용하는 형태로써 스택을 단순화시켜 데이터 전송이 이루어져야 효과적이라 할 수 있다. 결과적으로 본 논문의 ACL 링크의 다중 채널에 대한 데이터 통신과 음성 통신으로의 적용은 비교적 적절하다고 판단되며, 효율성을 높이기 위한 계속적 연구가 필요하다.

## VI. 결론

본 논문은 블루투스 ACL 링크에 대한 응용 연구로써 ACL 링크에서의 음성 전송 기법을 기반으로 하여 LAN access 시스템을 통한 다중 채널에서의 데이터 통신 및 음성 통신을 구현하였고, 이를 검증하기 위해 피코넷 채널수에 따른 패킷 형태별 데이터율을 측정하여 비교·분석하였다. 먼저 ACL 링크에서의 음성 통신과 블루투스 규격에서 제공하는 SCO 링크에서의 음성 통신을 구현하여 비교함으로써 ACL 링크를 이용하는 음성 통신의 가능성을 확인하였고, 이를 바탕으로 블루투스 테스트 보드, 블루투스 VoIP 단말, PC 기반 LAP, 임베디드 기반 LAP 등을 설계·구현하여 유·무선 네트워크 통합 개념의 데이터 통신용과 VoIP 통신용 LAN access 시스템을 구축하였다. 그리고 이에 대한 호스트 프로토콜 스택을 기반으로 하는 응용프로그램을 구현함으로써 다중 통신을 실현하였고, 또한 검증하였다. 검증 결과 VoIP 통신이 가능하기 위해서는 3슬롯 이하의 패킷 형태를 선택해야 하고, 5슬롯의 패킷 형태인 경우는 사용 채널수의 축소가 필요하였다.

최종적으로 블루투스 ACL 링크의 응용을 통해 VoIP 시스템에 적용함으로써 SCO 링크 사용시 발생하는 블루투스 모듈에 대한 복잡한 구조 변경과 다중 채널 통신 구현의 어려움을 해결할 수 있었고, 이로써 음성 통신을 위해 SCO 링크를 이용해야하는 단점을 극복함과 동시에 ACL 링크를 이용하면 현재의 블루투스 규격을 적절히 활용할 수 있게 된다. 또한 음성 통신에 대한 충분한 대역폭이 확보됨으로써 통신 품질 향상과 더불어 다양한 부가적 서비스까지 제공할 수 있게 되어 멀티미디어 통신을 지향하는 현재의 기술 흐름과도 발맞출 수 있게 되는 것이다.

본 논문에서는 무선 네트워크 기술인 블루투스를 기존 서비스에 적용함으로써 블루투스 기술의 실용화 및 응용에 대한 발전 가능성을 보였다. 구현된 시스템들은 기존의 VoIP 서비스가 가지는 사용 범위의 제한을 개선한 네트워크 구성을 갖게 해주고, 기존 통신망 환경에서 사용되는 케이블을 대체하여 블루투스의 다중 전송 서비스를 실현한다. 이러한 블루투스 적용 시스템의 안정화와 실용화를 위해서는 더 많은 연구가 계속 진행되어야 한다.

## 참 고 문 헌

- 안혁중, 2001, VoIP Internet Phone 시스템 구현, 한양대학교 대학원, 43 pp.
- Bluetooth SIG, 2001, Specification of the Bluetooth System Core Version 1.1, 1078 pp.
- Bluetooth SIG, 2001, Specification of the Bluetooth System Profiles Version 1.1, pp.273~308.
- David Kammer, Gordon Mcnutt, Brian Senese, and Jennifer Bray, 2002, Bluetooth APPLICATION DEVELOPER'S GUIDE, SYNGRESS, pp.265~316.
- 한국무선네트워크, 2003, 블루투스 기술을 이용한 BNAP 개발, 과학기술부, 196 pp.
- J. Haartsen, M. Naghshineh, J. Inouye, Olaf J. Joeressen, and W. Allen, 1998, Bluetooth: Vision, Goals, and Architecture, Mobile Computing and Communications Review, Vol. 2, pp.38~45.
- Jennifer Bray and Charles F Sturman, 2001, Bluetooth Connect Without Cables, Prentice-Hall, 454 pp.
- 김정근, 김영덕, 장태규, 2002, Bluetooth를 이용한 VoIP Phone의 Wireless LAN Access System 개발, 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, Vol. 25, No. 1, pp.343~346.
- 김주남, 2002, 블루투스 시스템에서의 효율적인 매체 접근 제어 및 파크 모드 스케줄링 방법, 서울대학교 대학원, pp.5~18, pp.38~39.
- 김창윤, 2002, 블루투스 ACL 링크에서 효율적인 데이터 및 음성 전송 기법, 제주대학교 대학원, pp.25~34.
- P. Bhagwat, 2001, Bluetooth: Technology for Short-Range Wireless Apps, IEEE INTERNET COMPUTING Industry Report, pp.96~103.
- 윤정미, 조위덕, 김대환, 이상학, 김용호, 2003, RTOS 리눅스 환경에서의 Bluetooth-VoIP 통합 시스템 구현, 월간 전자기술, 5th, pp.97~99.

## 감사의 글

지난 대학원 생활을 되돌아보면 너무나도 빨리 시간이 흐른 것 같습니다. 2년이라는 시간동안 나름대로 최선을 다했지만, 아직은 모자란 점이 많아 아쉬움이 남습니다. 학문의 길은 끝이 없기에 언제나 배움의 자세를 통해 아쉬움을 채워나가 고자 다짐해 봅니다.

학위 논문이 결실을 맺기까지 방향을 잡아주시고, 학부생 때부터 항상 옆에 계시면서 지도해 주신 임재윤 교수님께 깊은 감사의 마음을 전합니다. 그리고 언제나 반갑게 맞아 주셨고, 논문을 쓰는데 많은 조언과 지도를 해주신 이용학 교수님과 양두영 교수님께 진심으로 감사 드립니다. 지금까지의 대학생활 동안 너무나 많은 배움을 전해주신 문건 교수님, 김홍수 교수님, 강진식 교수님, 좌정우 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

대학원 생활하는데 많은 도움을 준 선배님이신 부식형, 성욱형, 권익형, 봉수형에게 고마움을 전합니다. 그리고 과사무실 일에 바쁘면서도 많은 도움을 준 성익형과 윤희, 그리고 먼저 졸업하신 언제나 편안한 중국형, 철우, 은진, 수미에게도 고마움을 전합니다. 우리 연구실 선배인 같이 공부하고 지금까지 많은 도움을 준 정 많은 창운형, 진숙, 그리고 언제나 신뢰할 수 있고, 믿음감을 주는 영애, 재필형에게도 고마움을 전합니다. 대학원 동기들인 현미, 영길, 그리고 같이 졸업을 못해서 아쉬운 광식, 우식형에게도 고마움을 전합니다. 연구실 후배인 나에게 제일 많은 도움을 주었고, 언제나 같이 공부하고 싶은 진아, 군선에게도 고맙다는 말을 전합니다. 회사 생활하면서 많은 도움을 준 영주, 정현, 재오, 성민에게도 고마운 마음을 전합니다. 그리고 앞으로도 계속 도움을 받을 친구 영상, 형제 같은 후배인 영석, 용문, 내 마음을 너무 잘 알아주는 민근형 정말 고맙습니다.

마지막으로 농사일로 고생하시는 아버지, 어머니, 그리고 서울서 함께 지낼 형과 형수, 그동안 함께 지낸 동생들과 논문이 완성된 기쁨을 나누고 싶습니다. 끝으로 할머니께서 좀더 건강하시길 기원합니다.