

## 1. 블루투스 Overview

### 1. 블루투스(Bluetooth)란?

블루투스(Bluetooth) 기술은 작고, 저렴한 가격, 저전력 소모(100mW이하)로 근거리 송.수신기를 모빌 디바이스(Mobile device)에 직접 또는 PC카드와 같은 어댑터를 통해 탑재되어 무선 환경을 제공해 주는 하나의 기술적인 규격 사양이다.

무선환경은 세계적으로 이용 가능한 전역 주파수 대역인 2.45GHz band를 이용하고 721kbps 데이터 전송 속도와 3개의 음성 채널을 지원한다. 또한 블루투스는 전력 소모량이 30micro amps인 ‘대기모드’에서부터 3~30milli amps 범위의 전송량이 많은 장치에 이르기까지 다양한 제품을 대상으로 하고 있다. 도달 거리 측면에서 블루투스는 “In Room(사무실/회의실/가정)”과 “Personal(사용자의 주변)” 공간 내에서 지원하도록 개발 되었다. 블루투스 장치는 사용요구에 따라 다양한 거리를 지원하는 장치들과 10미터 반경 내에서 정보 교환 능력을 갖는다. 그리고 Data Access Point로 강력한 전송수단(+ 20dB 정도)과 감도 좋은 수신단(-90dB 정도)을 사용한다면 개방된 공간에서 100m까지 도달 할수 있다.

### 2. 블루투스(Bluetooth)이름의 유래

1994년 에릭슨의 이동통신그룹(Ericsson Mobile Communication) 휴대폰과 주변기기들간의 소비전력이 적고 가격이 싼 무선(Radio)인터페이스를 연구하기 시작했다. 1997년 초에 다른 휴대장치 제조사와 접촉을 시작해 마침내 1998년 2월 에릭슨, 노키아, IBM, 도시바, 인텔로 구성된 표준화 단체인 BlueTooth SIG(Special Interest Group)가 발족되었다.

현재 블루투스 Promoter Group에 참여하고 있는 회사는 모토로라, 마이크로소프트, 루슨트테크놀로지, 3COM등 4개사가 가세해 9개사로 늘어났으며, 회원사는 이미 1600여개 사에 이른다. 앞으로도 계속 늘어날 추세여서 그 위용을 과시하며 확고 부동한 세계적 규격으로 자리잡고 있다. 그리고 이미 Ericsson에서는 2000년 상반기에 Bluetooth를 지원하는 Headset을 출시하였고 많은 회사들이 블루투스를 탑재한 제품들을 속속이 출시하고 있다.

그러면 왜 Bluetooth이란 이름을 붙여 놓았는가? 그 이름은 10세기 스칸디나비아 국가인 덴마크와 노르웨이를 통일한 바이킹으로 유명한 헤럴드 블루투스(Harald Bluetooth)의 이름에서 유래되었다. 헤럴드가 스칸디나비아를 통일한 것처럼 블루투스 기술이 서로 다른 통신장치들 간에 선이 없고 단일화된 연결장치를 이룰 것이라는 뜻을 지니고 있다. 또 헤럴드 블루투스가 여행가로도 유명한 것처럼 호환성을 지닌 블루투스 기술이 전세계를 어디를 여행하든, 단일 장비로 통신이 가능하도록 모든 통신 환경을 일원화시켜 주길 바라는 뜻이다. 블루투스는 단순히 초기에 진행 중이던 프로젝트의 이름에 불과했다. 기억하기 좋고 흥미를 유발할 수 있어 SIG에 의해 공식명칭으로 결정됐다.

### 3. Bluetooth 규격의 개요

규격은 크게 2 개로 나누어지는데 물리적 부분과 그에 필요한 Firmware 를 기술한 Core 사양과 상호 기기간의 호환성을 위해 마련한 Profile 로 나뉘어 있다.

현 V1.0B 의 규격에 따른 Bluetooth 의 사양은 다음과 같다.

- 2.4GHz 대역의 ISM(Industrial Scientific Medical) 대역 (2.402GHz ~ 2.480GHz)
- 1Mbps의 전송 속도 (실제 723kbps : 721kbps로 잘못 표기된 곳이 많음)
- 간섭방지를 위한 주파수 호핑 방식 (79/23 hop, 1600 hop/sec)
- 저소비전력 (대기상태 0.3mA, 송수신시 최대 30mA)
- 전송거리 10m 및 Option으로 100m까지 가능
- Class 1,2,3의 송신 파워 (각 100mW, 2.5mW, 1mW)
- 변조방식 : GFSK (Guassian Frequency Shift Keying)
- 3채널의 Voice 지원 (A-Law, u-Law PCM, CVSD)
- Point to Point, Point to Multi 방식의 연결 가능

Profile 은 블루투스를 최상위 Application 에서 어떻게 사용할 지를 정의한 규격이다. 현재 10 종류가 있으며, 점차 확대가 될 것이다. 대표적인 Profile 로는 Headset 을 들 수 있다. Headset 은 휴대폰이나 PC 등을 이용하여 음성 통화를 할 수 있는 마이크가 내장된 헤드폰을 생각하면 된다. Bluetooth 마크가 부착이 된 헤드셋을 구입했다면 전세계 어디서나 호환이 된다.

Part 1	Generic Access Profile
Part 2	Service Discovery Profile Application Profile
Part 3	Cordless Telephony Profile
Part 4	Intercom Profile
Part 5	Serial Port profile
Part 6	Headset Profile
Part 7	Dial-up Networking Profile
Part 8	Fax Profile
Part 9	Lan Access Profile
Part 10	Generic Object Exchange Profile

Part 11	Object Push Profile
Part 12	File Transfer Profile
Part 13	Synchronization Profile

<블루투스 시스템의 프로파일>

#### 4. 블루투스 주파수 밴드 및 전력 사용

현재 블루투스의 무선 주파수는 전 세계적으로 사용할 수 있는 ISM 밴드 2.4GHz 대역에 놓여 있다. 하지만 각 나라마다 조금씩 차이는 있지만

미국과 유럽의 대부분의 나라들은 83.5MHz의 주파수 밴드를 사용하고 79개의 채널을 각각 1MHz의 스페이스를 두고 사용 중이다. 그러나 일본, 스페인, 프랑스는 이 보다 적은 23개의 채널을 각각 1MHz의 스페이스를 두고 사용하고 있다. 지금까지 일본은 Bluetooth에 주파수를 23MHz로 할당하고 있었으나, 1999년 10월 일본 MPT에서는 미국과 마찬가지로 2400 ~ 2483.5 MHz로 확장해 나가기로 발표했다.

각 나라별 채널 할당표는 아래와 같다.

나라	주파수 범위	무선 채널	
미국 및 유럽	2400 ~ 2483.5 MHz	$f = 2402 + k \text{ MHz}$	$k = 0, \dots, 78$
일본	2471 ~ 2497 MHz	$f = 2473 + k \text{ MHz}$	$k = 0, \dots, 22$
스페인	2445 ~ 2475 MHz	$f = 2449 + k \text{ MHz}$	$k = 0, \dots, 22$
프랑스	2471 ~ 2497 MHz	$f = 2454 + k \text{ MHz}$	$k = 0, \dots, 22$

<블루투스 채널 할당표>

송신 파워는 다음과 같이 3 개의 방법을 사용한다.

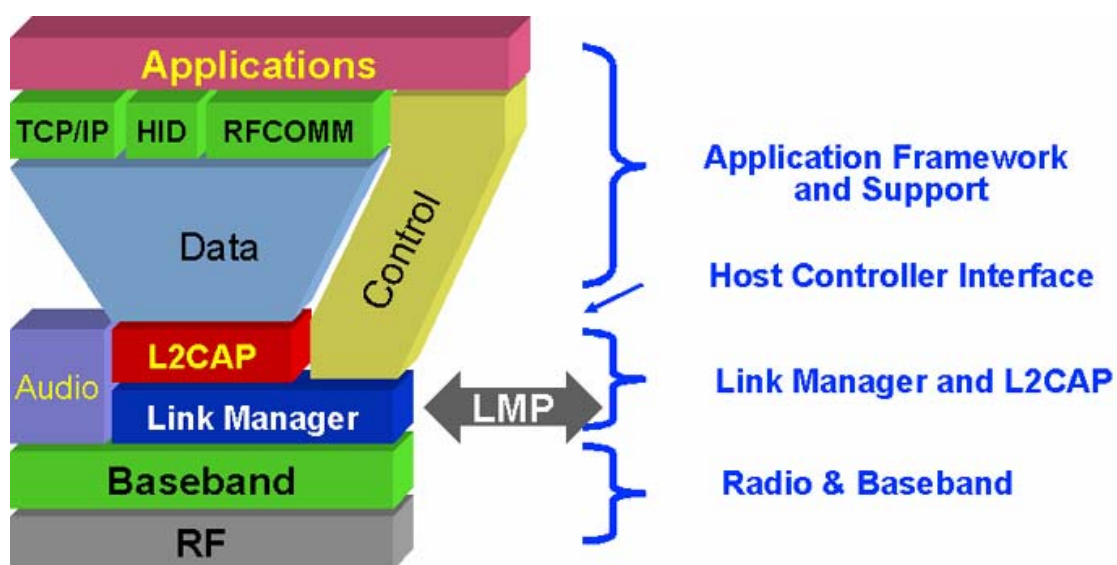
파워 Class	최대 파워	최소 파워	Power Control
1	100mW (20 dBm)	1 mW (0 dBm)	0 dB 이상일 경우 필요
2	2.5mW (4 dBm)	0.25 mW (-6 dBm)	선택
3	1 mW (0 dBm)	없음	선택

<Bluetooth Power Class>

#### 4. 블루투스 구조

물리층을 규정하는 RF, 호핑 패턴 등을 규정하는 베이스밴드, 패킷의 구성 등을 규정하는 링크 매니저, L2CAP와 그 위의 host system간의 인터페이스를 규정하는 HID와 RFCOMM의 부분으로 나누어진다.

베이스밴드의 상위에서 프레임을 구성하거나, 오류제어, 인증(Authentication), 암호화(Encryption) 등을 여기서 정의하고 있다. 음성 CODEC은 64kbps의 CSVD 및 logPCM을 채용하고 있다. 또 TCP/IP의 프로토콜 스택 등은 L2CAP의 상위에 실장하게 된다. 호스트와의 인터페이스로서는 USB, EIA-232, 가 탑재되어 있다.



<블루투스 구조>

## 2. 블루투스 베이스 밴드 및 링크 관리

### 1. 블루투스 망구성(Topology)

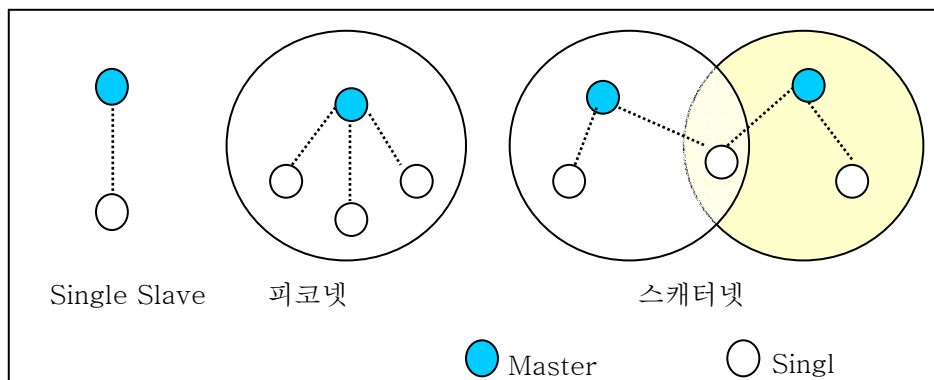
Bluetooth시스템은 점-대-점(point-to-point) 그리고 점-대-다점(point-to-multipoint)연결을 지원한다. 1개의 마스터 유닛(Master unit)와 최대 7개의 슬레이브 유닛(Slave unit)로 구성되어 있는 피코넷(Piconet)은 ad-hoc형태로 연결된다.

즉 피코넷은 정보를 교환하기 위해 같은 채널을 공유하고 있는 장치들의 집합이다. 하나의 채널을 공유하는 2개 또는 그 이상의 블루투스 장치는 하나의 피코넷을 형성한다. 채널상의 트래픽을 제어하기 위하여 통신에 참여하는 장치 중의 하나가 피코넷의 마스터가 되고 나머지 다른 장치들을 슬레이브가 된다. 어떠한 장치도 마스터가 될 수 있지만, 피코넷을 설정한 장치가 이 역할을 맡는 것으로 간주하고 슬레이브 장치가 마스터 역할을 넘겨받기를 원하면 역할을 교환할 수 있다. 이렇게 자동적으로 장치들간의 마스터 슬레이브 역할 교환

설정을 하는 것을 ad hoc 연결이라 할 수 있다. 모든 장치는 자신의 free running 클럭을 가지고 있는데, 피코넷에 있는 모든 장치는 호핑 채널을 따르기 위하여 마스터 장치의 주소와 클럭을 사용한다. 연결이 설정되면 슬레이브 클럭과 마스터 클럭의 동기를 맞추기 위하여 클럭 옵셋이 더해진다. 자기 자신의 클럭을 조정하지 않고, 다만 연결 동안에는 옵셋만이 유효하다.

마스터 장치는 채널 상에서의 모든 트래픽을 제어한다. 마스터 장치들은 슬롯을 보유하여 SCO링크에 대한 용량을 할당한다. ACL 링크에 대해서는 폴링 방식을 사용한다. 먼저 master-to-slave 슬롯에서 MAC 주소에 의해 지정되었을 때에만 슬레이브는 slave-to master 슬롯에 전송을 할 수 있다. Master-to-slave 패킷은 슬레이브를 선택한다. 즉, 하나의 슬레이브로 보내진 트래픽 패킷은 자동적으로 슬레이브를 선택한다. 슬레이브로 보낼 정보가 없다면, 마스터는 슬레이브를 선택하기 위한 패킷을 사용할 수 있다. 이 패킷은 액세스 코드와 헤더만으로 구성되어 있다. 이러한 중앙 폴링 방식은 슬레이브 전송간에 충돌을 없앨 수 있다.

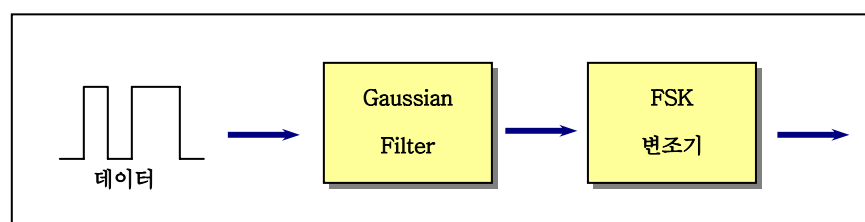
그리고 스캐터넷(Scatternet)은 이런 피코넷들이 한 슬레이브 유닛을 공유하면서 통신 범위를 확장한 형태를 말한다.



<블루투스 연결 형태>

## 2. Bluetooth 주파수 변조 방식

변조방식은 전송 Rate 1Mbps 의 GFSK 이라 불리는 방법을 사용한다. 이 방식은 아래그림에 표시되는 것처럼, FSK 변조에 Gaussian 특성을 갖는 필터를 앞단에 둔 변조기를 사용하는 변조방식이다. 소비전력은 표준모드에서 30 $\mu$ A, 송신시에는 8~30mA 에 제한 되는 것을 목표로 하고 있다.

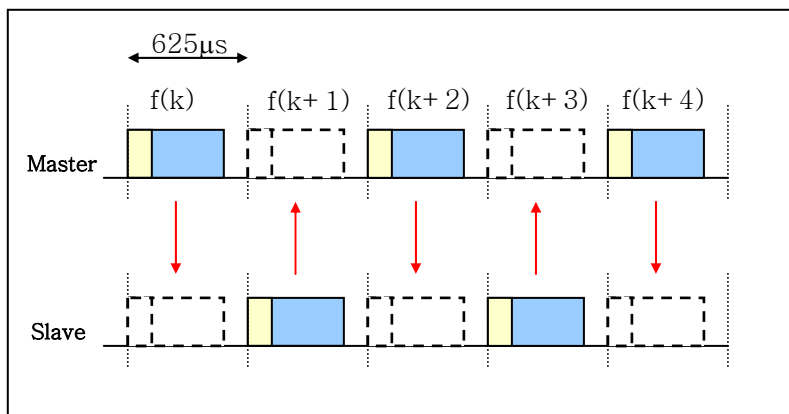


### <Bluetooth 에서 채용한 GFSK>

또한 Bluetooth 는 다른 기기와의 간섭을 적게하기 위한 스펙트럼확산 방식의 일종인 주파수 호핑 방식을 채용하였다. 이 방식은 1 Time Slot 마다 Random 한 주파수를 바꾸는 것으로 고정된 송신 주파수에 의한 간섭을 방지하는 동작을 한다. 블루투스의 경우에는 1 Time Slot 이  $625\mu\text{s}$  로 초당 1600 번의 주파수 호핑이 일어난다.

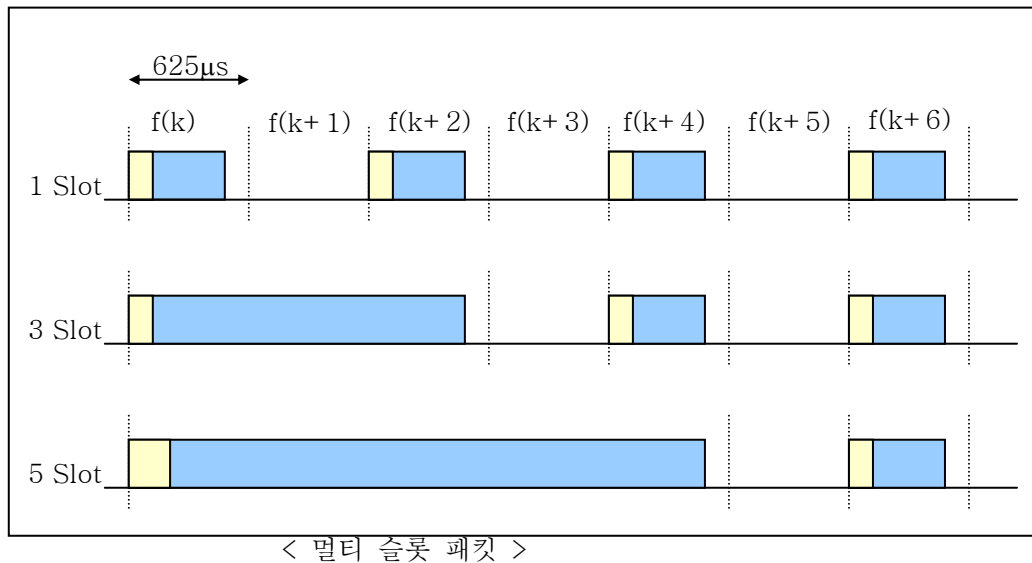
### 3.채널 및 슬롯

기본적으로는 1호핑 슬롯( $625\mu\text{s}=1/1600\text{초}$ )를 단위로 하여 TDD(Time Division Duplex)로 송수신을 한다. 데이터 전송의 처리량으로는 단일방향/비대칭으로 최대 721kbps이다. 데이터 전송 및 수신에 있어서 Master는 항상 짝수 슬롯을 사용하고 Slave 는 항상 홀수 슬롯을 사용하게 된다.



< TDD에 의한 액세스 제어>

슬롯은 동기화 패킷을 위해 예약될 수 있다. 각 패킷은 다른 호핑 주파수에서 전달된다. 패킷은 보통 하나의 슬롯을 커버하지만, 다섯 슬롯까지 커버할 수 있게 확장될 수 있다. Bluetooth는 하나의 비동기 데이터 채널, 동시에 세 개의 음성 채널까지 지원할 수 있고, 또는 비동기 데이터와 동기 음성을 동시에 지원할 수 있다. 각 음성 채널은 64 Kbps 의 동기적인(음성) 링크를 지원한다. 비동기 채널은 한 방향으로 최대 721 Kbps와 역 방향으로 56.7 Kbps를 허용하는 비대칭 링크를 지원할 수 있고, 또는 432.6 Kbps의 대칭 링크를 지원할 수 있다



#### 4. 물리 링크

두 종류의 물리 링크가 음성과 데이터가 혼합된 멀티미디어 어플리케이션을 지원하기 위해 정의되었다.

\*동기식 연결 지향형 링크(synchronized connection oriented link) : SCO link

\*비 동기식 비연결형 링크(asynchronous connectionless link) : ACL link

SCO 링크는 보통 음성에 사용되는 대칭형의 회선 교환방식, 점-대-점 연결을 제공한다. 이러한 링크들은 채널에서 일정한 간격으로 연속된 두개의 슬롯을 예약함으로써 정의된다.

ACL 링크는 보통 bursty data 전송에 사용되며 대칭 또는 비대칭, 패킷 교환, 점-대-다점 연결을 지원한다. Master 유닛은 ACL 연결을 제어하기 위해 폴링(polling) 기법을 사용한다. 각각의 물리 링크에 대하여 패킷의 집합이 정의되었다.

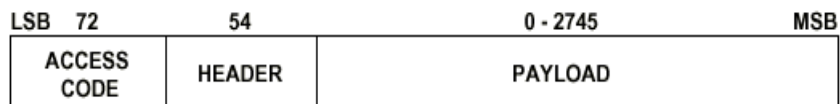
SCO 링크에는 세 종류의 단일 슬롯 음성 패킷이 정의되었고 각각이 64 Kbps 의 속도로 음성을 전송한다. 음성은 보호되지 않은 채 전달되지만 SCO 간격이 줄어들면 2/3 또는 1/3 율의 전방향 오류 수정이 적용될 수 있다.

ACL 링크에는 1-슬롯, 3-슬롯, 5-슬롯 데이터 패킷이 정의되었다. 하나의 패킷이 한 개 이상의 타임 슬롯을 차지하면, 적용되는 홉 주파수는 패킷 전송이 시작된 타임 슬롯에 적용된 홉 주파수가 적용된다. 데이터는 1/3 혹은 2/3 FEC rate 으로 보호되거나 또는 보호되지 않은 채 전송될 수 있다.

각각의 음성 채널은 64kb/s의 동기화된 연결을 지원한다. 비동기 채널은 최대 721kb/s(어느 한쪽의 방향으로를 말하며 .이 경우 되돌아오는 속도는 57.6kb/s까지 허용된다)의 비대칭 연결과 432.6kb/s의 대칭 연결을 지원한다

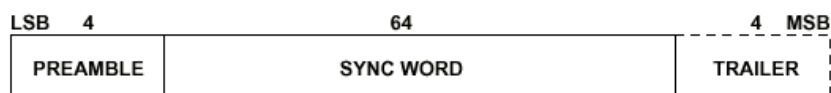
## 5. 패킷의 형태

각 슬롯마다 마스터 장치와 슬레이브 장치 하나 사이에 하나의 패킷이 교환된다. 패킷은 액세스 코드(access code), 헤더(header), 페이로드(payload)의 순서로 일정한 형태를 가지며, 각 패킷은 72비트의 액세스 코드로 시작되고, 이것은 마스터 장치의 주소로부터 발생되어 채널에 대해 유일하다. Bluetooth의 Packet 구성을 아래에 나타냈다. ACCESS CODE와 HEADER는 고정 길이로 PAYLOAD는 Packet의 종류에 따라 달라진다.



<Bluetooth Packet의 구조 (단위는 bit)>

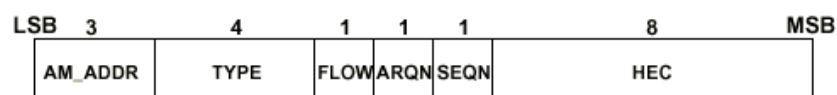
피코넷에서 수신장치들은 입력신호와 액세스 코드를 비교하여 두 개가 일치하지 않으면 수신 패킷은 채널상에서 유효하지 않은 것으로 간주하여 그 내용의 나머지는 무시한다.



<ACCESS CODE의 구조 (단위는 bit)>

패킷의 확인 이외에 액세스 코드는 동기화와 오프셋을 보상하는데 이용된다. 액세스 코드는 간섭에 견고하기 때문에 잘 견디면, 수신 장치에서 액세스 코드의 상관관계(correlation)는 직접 대역 확산에서처럼 처리 이득 (processing gain)을 얻는다.

액세스 코드 다음에는 헤더가 온다. 헤더에는 중요한 제어 정보를 포함하고 있으며, 이 정보의 내용으로는 3비트의 MAC(media access control)주소, 패킷 형태(Type), 흐름제어 비트(Flow), ARQ(automatic retransmission query)방법, header error check 영역 등을 포함한다. 헤더의 길이는 54비트로 정의하는데, 이것은 1/3 FEC(forward error correction)방식을 써서 원래 18bit인 것을 54bit로 확장시킨 것이다.

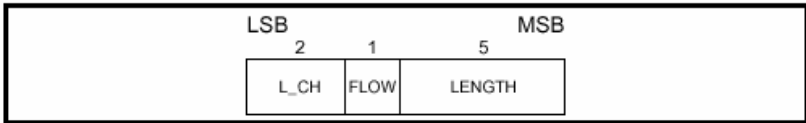


<HEADER의 구조 (단위는 bit)>

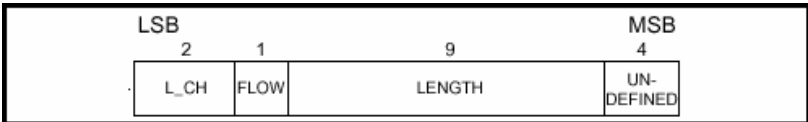
헤더 다음에 반드시 페이로드가 올 필요는 없으며, 페이로드의 길이는 0에서 2,745비트



까지 변한다. 이는 0에서 2,745비트까지 변한다.  
아래 표에 Payload 포맷의 헤더 부분을 나타내었다.



<단일 슬롯 사용할때의 Payload 포맷 (단위는 bit)>



<다중 슬롯 사용할때의 Payload 포맷 (단위는 bit)>

Packet 에는 HEADER 중의 TYPE 비트에 규정되어진 14 종류의 Packet 이 있다.  
Packet 의 종류에는 SCO, ACL 양 Link 에 공통으로 사용되는 NULL, POLL, FHS, DM1 의 Packet 과 각각 독립적으로 사용하는 Packet 등 2 종류가 있다. 공통으로 사용되는 Packet 은 주로 접속 제어에 사용된다.

Segment	Type code b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub>	Slot occupancy	SCO link	ACL link
1	0000	1	NULL	NULL
	0001	1	POLL	POLL
	0010	1	FHS	FHS
	0011	1	DM1	DM1
2	0100	1	Undefined	DH1
	0101	1	HV1	Undefined
	0110	1	HV2	Undefined
	0111	1	HV3	Undefined
	1000	1	DV	Undefined
	1001	1	Undefined	AUX1
3	1010	3	Undefined	DM3
	1011	3	Undefined	DH3
	1100	3	Undefined	Undefined
	1101	3	Undefined	Undefined
4	1110	5	Undefined	DM5
	1111	5	Undefined	DH5

<SCO and ACL 링크 패킷 타입>

## SCO Packet

### 1) HV1 Packet

HV 는 High-quality Voice 의 약어로 이것은 10 바이트의 데이터를 송신하는 Packet 이다. 데이터는 1/3 FEC 로 에러에 대한 보호를 하고 있다. PAYLOAD 의 길이는 240 비트로 PAYLOAD 내의 Header 는 없다. 이 Packet 을 사용하여 64kbps 의 음성데이터를 송신하는 경우 1.25ms 주기로 송신하는 것이 가능하다.

### 2) HV2 Packet

이것은 20 바이트의 데이터를 송신하는 Packet 이다. 데이터는 2/3 FEC 로 에러 보정을 하고 있다. PAYLOAD 의 길이는 HV1 과 동일한 240 비트로 PAYLOAD 내의 Header 는 없다. 이 Packet 을 사용하여 64kbps 의 음성데이터를 전송하는 경우 2.5ms 주기의 전송이 가능하다.

### 3) HV3 Packet

이것은 30 바이트의 데이터를 송신하는 Packet 이다. 데이터는 FEC 로 에러 보정이 되지 않으며, PAYLOAD 의 길이는 HV1 과 동일한 240 비트, PAYLOAD 내의 Header 는 없다. 이 Packet 을 사용하여 음성을 전송하는 경우 3.75ms 주기의 전송이 가능하다.

### 4) DV Packet

DV 는 Data Voice 의 약자로 이것은 음성정보와 비음성정보를 동시에 전송하는 Packet 이다.

아래에 표시된 PAYLOAD 의 부분은 80 비트의 음성 필드와 최대 150 비트의 데이터 필드가 구성되어 있다. 음성필드는 FEC 에 의한 에러 보정이 되어 있지 않다.

LSB	72	54	80	32 - 150	MSB
	ACCESS CODE	HEADER	VOICE FIELD	DATA FIELD	

< DV Packet 의 구성 (단위는 비트)>

## ACL Packet

### 1) DM1 Packet

DM 은 Data-Medium rate 의 약어로 이것으로 18 바이트의 데이터와 16 비트의 CRC 를 전송한다. 데이터는 2/3 FEC 로 에러 보정되고 있다. DM1 은 1slot/packet 송신을 한다.

### 2) DH1 Packet

DH 는 Data-High rate 의 약어로 이것으로 28 바이트의 데이터와 16 비트의 CRC 를 전송한다. 데이터는 FEC 에러보정은 하지 않고 있다. DH1 은 1slot/packet 송신을 한다.

### 3) DM3 Packet

DM3 Packet 은 DM1 Packet 의 PAYLOAD 를 확장한 것으로 3 slot/packet 송신을 하며, 123 바이트의 데이터와 16 비트의 CRC 를 전송한다. 데이터는 2/3 FEC 에 의한 에러보정을 하고 있다. 3 Slot 을 송신하는 중간에는 주파수 변환을 실시하지 않는다.

#### 4) DH3 Packet

DH3 Packet 은 FEC 를 하지 않는 것 이외에는 DM3 와 동일하다. FEC 를 하지 않으므로 185 바이트의 데이터 전송이 가능하다.

#### 5) DM5 Packet

DM5 Packet 은 DM1 Packet 의 PAYLOAD 를 확장한 것으로 5 slot/packet 송신을 한다. 226 바이트의 데이터와 16 비트의 CRC 를 전송하며, 데이터는 2/3 FEC 로 에러보정을 한다. 5 slot 을 송신하는 중간에는 주파수 변환을 하지 않는다.

#### 6) DH5 Packet

DH5 Packet 은 FEC 를 하지 않는 것 이외에는 DM5 packet 과 동일한다, FEC 를 하지 않기 때문에 341 바이트의 데이터 전송이 가능하다.

#### 7) AUX1 Packet

AUX1 Packet 은 CRC 에러 체크가 없는 것 이외에는 DH1 Packet 과 동일하다. CRC 가 없으므로 30 바이트의 데이터 전송이 가능하다.

## 6. 에러 정정

패킷은 에러 정정기법에 의하여 보호된다.

-1/3 rate FEC(forward error correction)

-2/3 rate FEC(forward error correction)

-ARQ(automatic retransmission query)

의 3가지 에러 정정기법이 있다. 데이터 payload에 대한 FEC방식의 목적은 재전송의 횟수를 줄이는 것이다. 하지만, 다소 에러가 없는 환경에서 FEC는 처리량을 감소시키는 불필요한 오버헤드를 만든다. 그러므로 패킷 정의는 payload에서 FEC를 사용할지 안 할 지에 따라 유동적이다. 패킷헤더는 항상 1/3 rate FEC에 의해 항상 보호된다. 패킷 헤더는 유용한 link 정보를 포함하며 bit error들을 살아남게 해야한다. 데이터 패킷은 소실된 데이터 패킷이 자동적으로 재전송되는 ARQ 방식에 의하여 보호된다. 수신장치는 각각의 수신된 패킷에 대하여 에러를 체크한다. 에러가 검출되면 return 패킷의 헤더에 이것을 나타낸다. 이러한 방법을 fast ARQ라고 하며, 지연 시간은 단지 한 슬롯에 불과하며 소실된 패킷은 재전송한다. 그러나 음성은 결코 재전송되지 않는 대신 견고한 음성 인코딩 기법이 사용된다. CVSD (continuous variable slope delta) 변조를 기반으로 한 이 기법은 비트 에러를 잘 견딘다.

## 1)FEC, CRC 방법

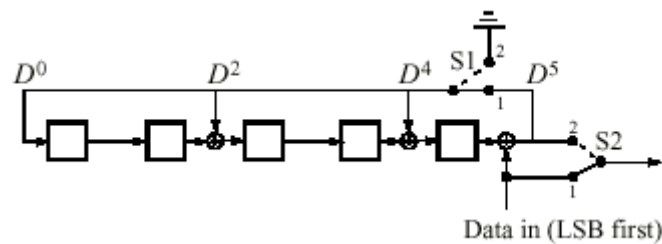
PAYLOAD 는 에러보정으로 FEC 가, 에러검출로는 CRC 가 부가되는 경우가 있다. 여기서는 이러한 에러의 제어에 관해 설명토록 한다.

FEC

FEC 에는 1/3 과 2/3 의 2 종류가 있다. 1/3 의 경우가 강력한 에러 보정이 가능하다. 1/3 FEC 는 1 비트를 3 회(3 비트) 송신하는 것이다. 수신측에서는 3 비트 단위로 다수를 판별하여 1 과 0 을 판단한다.

2/3 FEC 는 (15, 10)의 단축형 Hamming Code 를 사용한다. 생성 다항식은  $g(D) = (D+1)(D^4+D+1)$ 로 회로로 생성 가능하다. 이하에 이 회로의 동작을 설명한다.

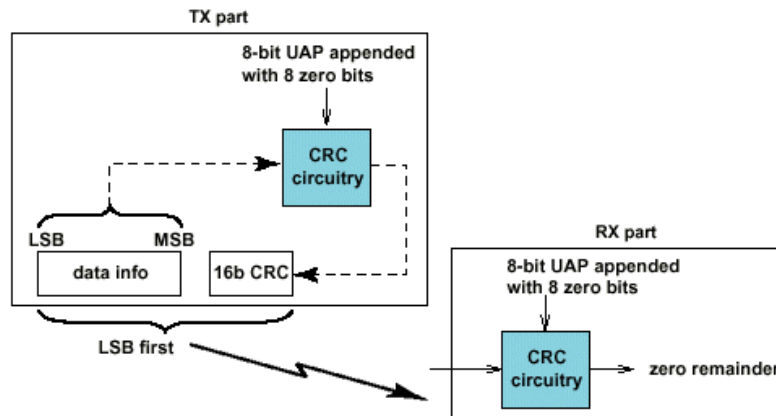
- (1) 데이터를 10 비트씩 구분한다.
- (2) S1, S2 를 1 로 전환한다.
- (3) DATA in 에 10 비트의 데이터를 입력한다.
- (4) 10 비트를 종료후에는 S1, S2 를 2 로 전환한다.
- (5) 5 비트분의 데이터를 출력한다.
- (6) 5 비트를 출력후에는 (2)부터 반복한다.



<2/3 FEC 의 구성>

CRC

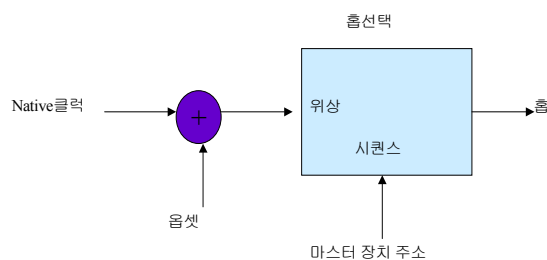
PAYLOAD 의 종류에 따라 CRC 를 부가하여 수신측에서 에러체크를 행하며, 이것의 방법은 아래에 표시되어 있다.



<CRC 체크 방법>

## 7. Bluetooth 클럭

주파수 호핑 채널은 주파수 호핑 시퀀스와 이 시퀀스의 위상에 따라 결정된다. 블루투스 시스템의 시퀀스는 피코넷 마스터 장치의 주소에 의해 결정되며, 위상은 마스터의 시스템 클럭에 의하여 결정된다. 슬레이브 장치에서 마스터 클럭을 발생시키기 위해서 슬레이브는 자신의 native클럭에 오프셋을 더한다. 매우 긴 주파수 홉 시퀀스의 반복률은 클럭에 의하여 결정된다. 주어진 채널 상에서 모든 장치가 홉 선택 박스의 입력으로 같은 주소와 클럭을 사용한다면, 각각의 장치는 계속해서 같은 홉 캐리어를 선택하여 동기가 유지된다. 또한 모든 피코넷은 고유한 채널을 발생시키는 마스터 파라미터의 집합을 가지고 있다.



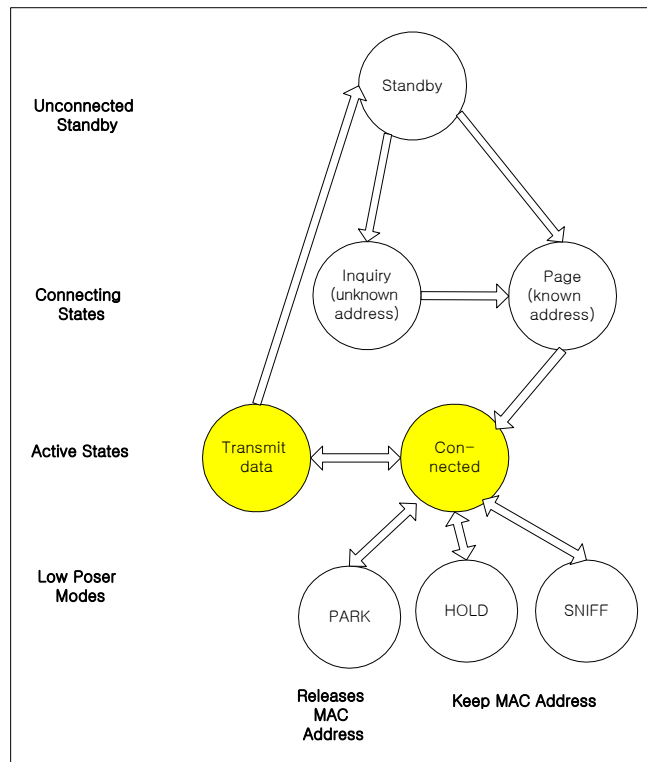
## 8. 인증과 암호화

사용자 보호와 정보 비밀을 유지하기 위하여 시스템은 안전 대책을 강구해야 한다. 즉 블루투스의 각 장치는 같은 방법으로 인증과 암호화 알고리즘을 구현해야 한다. 주요한 보안의 특징으로는 인증을 위한 challenge-response routine, 암호화를 위한 stream cipher, session key 발생 등이 있다. 블루투스 기저대역은 물리층 단계에서 사용자 보호와 정보 보안 메커니즘을 제공한다. 주요한 보안의 인증과 암호화는 네트워크의 ad-hoc 특성에 맞추어 각각의 블루투스 장치에 같은 방식으로 구현된다. 연결은 한 방향, 양방향, 무확인을 요구할 수 있다. 인증은 요구-응답 알고리즘을 기본으로 한다. 인증은 사용자에게 개인용 블루투스 장치들 사이의 신뢰성을 높여주기 때문에 블루투스 시스템의 핵심 요소이다. 예를 들면 인증은 소유자의 셀룰러 전화기를 통해 소유자의 노트북 컴퓨터만이 통신을 할 수 있도록 해준다. 암호화는 비공개 연결을 보호하기 위해 사용된다. 블루투스는 0, 40, 64비트 길이의 암호 키를 가지며 실리콘으로 쉽게 구현 가능한 stream cipher를 사용한다. 암호 키의 관리의 좀더 높은 소프트웨어 층에서 맡는다.

블루투스에서 보안 메커니즘의 목적은 블루투스의 단거리 특성과 세계적인 환경에서의 사용을 위해 적절한 수준의 보호를 제공하는 것이다. 확고한 보호를 요구하는 사용자들이 네트워크 전송 프로토콜과 응용 프로그램에서 이용할 수 있는 좀더 강력한 보안 메커니즘을 이용할 수 있게 촉진한다. 보안 알고리즘에는 블루투스 장치의 주소, private user key, random number가 사용된다. 위에서 언급하였듯이 블루투스 주소는 inquiry절차에 의해 얻어진다.

## 9. 블루투스 연결

### 1) 블루투스 상태



<블루투스 상태 및 연결 >

Standby(대기) : 같은 Piconet 내에 있지 않은 장치들은 대기 모드로 연결된다. 이 모드에서는 각 장치들은 매 1.28 초 동안 32 hop 주파수(일본, 스페인, 프랑스에서는 더 적다)동안 메시지를 기다리게 된다.

Page(예약)/Inquiry(질의) : 만약 한 장치가 다른 장치와 연결하고 싶다면, 장치는 상대방의 주소를 알고 있을 경우 Page 메시지를 보내게 되고 아닐 경우 Page message 이후에 Inquiry 메시지를 보내게 된다. 마스터 유닛은 16 개의 동일한 Page 메시지를 16 개의 Hop 주파수에 실어서 슬레이브 유닛으로 보낸다. 만약 응답이 없으면, 마스터는 다시 16 Hop 주파수에 거쳐서 재전송을 한다. Inquiry 방법은 마스터에게 MAC 어드레스가 알려지지 않았으므로 슬레이브에서 추가적인 응답을 요구한다.

- Active: 데이터 전송이 이루어지고 있음을 의미한다.

- Hold (중지) : 마스터나 슬레이브가 원할 경우, 중지 모드로 전환이 가능하고, 이 도중에는 데이터가 전송되지 않는다. 이것의 주 목적은 전력 소비를 절감하기 위함이다. 이 모드 이외에는 지속적으로 데이터 교환이 이루어진다. Hold 모드로 들어가는 전형적인 이유중 하나는 몇몇 Piconet 과의 연결을 하기 위함이다.

- Sniff : 스니프 모드는 슬레이브 유닛에만 해당되는 모드이고 이것은 전력 소비를 절감하기 위한 모드이지만, Hold 모드만큼은 아니다. 이 모드에서는 슬레이브는 Piconet 에서 스스로 데이터 전송을 하고 있지는 않지만 이보다 낮은 레벨에서 전송되는 데이터에 귀를 기울이고는 있게 된다. 이것은 일반적으로 프로그램을 통해 설정이 가능하다.
- Park(임시 정지) : Park 모드는 Hold 모드보다 더욱 낮은 활동 레벨이다. 이 모드에서는 슬레이브가 Piconet 에 동기화되므로 완전한 재 가동을 필요로 하지 않게 되지만 데이터 전송의 부분이 아니다. 이 상태에서는 MAC 어드레스를 장치가 가지고 있지 않게되지만 마스터와 동기화 하고 전해지는 메시지를 확인하기 위해서 신호를 듣는 상태이다.

## 2)연결설정

통신 장치가 피코넷에 참여하지 않을 때는 대기 상태가 되며 주기적으로 1.28초(2048슬롯)마다 페이징 메시지를 체크한다. 장치가 wake-up할 때마다 그 장치의 정의된 32개의 홉주파수의 집합으로 메시지를 체크한다. 장치의 주소를 알 경우 페이징 메시지에 의해 연결이 설정되고, 주소를 모를 경우 inquiry 메시지가 실행된 후에 페이징 메시지가 보내지게 된다. 수신장치가 inquiry를 수신하면, 장치의 주소와 클럭을 포함하는 패킷을 전송한다. 페이징 장치와 수신 장치가 같은 wake-up캐리어를 선택하면, 수신장치는 액세스 코드를 수신하고 승인신호를 되돌려 보낸 후 페이징 장치는 그 장치의 주소와 현재 클럭을 포함하고 있는 패킷을 전송한다. 수신장치가 이 패킷을 승인한 후에 각각의 장치는 홉 선택을 위하여 페이징 장치의 파라미터를 사용하며, 페이징 장치가 마스터로 동작하는 피코넷을 형성한다. 페이징 장치는 각각의 응답을 받은 후에 페이징할 특정한 장치를 선택하고 이때부터는 활성화 상태가 되어 데이터를 전송한다.

피코넷에서 전송할 데이터가 없는 경우에는 저전력 모드가 사용되는데, 그런 저전력 모드로는 PARK, SNIFF, HOLD모드가 있다.

HOLD모드에서는 슬레이브가 내부타이머로 동작하게 설정된다. 슬레이브들이 HOLD 모드에서 벗어날 때는 데이터 전송이 즉각적으로 재시작된다. HOLD모드는 온도감지기와 같은 저전력 장치들을 관리하거나 여러 개의 피코넷을 연결할 때 사용된다.

SNIFF모드에서는 슬레이브가 자신의 duty cycle을 감소시키므로 느린 속도로 피코넷에 주의를 기울인다. SNIFF 상태에서는 프로그램가능하고 응용 프로그램에 따라 달라진다.

PARK모드에서는 피코넷에 여전히 동기화되어 있지만 전송에 참여하지는 않는다. PARK 모드에 있는 장치들은 자신의 MAC address를 포기하고 가끔씩 재동기화 하기 위해 마스터의 전송에 신경을 쓰고 broadcast message를 체크한다.

만일 파워효율을 오름차순으로 정렬한다면 SNIFF모드가 좀더 높은 duty cycle을 가지며 그 다음으로 HOLD모드가 낮은 duty cycle을 가지는데 마지막으로 PARK모드가 가장 낮은 duty cycle을 가지게 된다.

### 3. 결론

Bluetooth 는 SIG 가 결성된지 2 년이라는 짧은 기간동안 전세계 1600 여개사를 가입시켰고 2005 년 20~30 억불의 시장을 창출하는 등 비약적 발전을 이루었다. 그러나 아직 Bluetooth 가 안고 있는 문제점도 있다. 1Mbps 의 저속, IEEE802.11 등과의 간섭 문제, 완벽한 상호 호환성을 이루기 위한 인증문제, 그리고 전자 상거래를 위한 보안 문제등이 있다. 이러한 문제점들은 시간이 지나면 해결이 가능하리라 믿으며, Bluetooth 는 이동통신 및 인터넷의 급격한 보급에 편승하여 발전하리라 생각된다.