

## ARQ를 고려한 블루투스 무선 링크의 성능 분석 Performance Evaluation of Bluetooth Radio Link with ARQ Protocol

박 홍 성\*                      정 명 순\*\*  
Park, Hong-Seong      Jung, Myoung-Soon

---

### Abstract

This paper analyzes the performance of the several types of ACL(Asynchronous ConnectionLess) packets used in Bluetooth according to a BER(Bit Error Rate) and a packet length and proposes an optimal packet type and an optimal size of the packet being able to be used under the given BER.

This paper proposes how to obtain the optimal packet type and the optimal size of the packet maximizing the performance measure under the given BER. In addition, this paper shows that the optimal type and size of the packet maximizing the throughput are different from those maximizing the mean transmission time. This occurs because the Bluetooth uses not only one type of packet but also various types of packets.

키워드 : 블루투스, ACL 패킷, ARQ, FEC  
Keywords : Bluetooth, ACL packets, ARQ, FEC

---

### 1. 서론

블루투스는 근거리 무선 인터페이스를 통하여 음성 및 데이터의 전송 서비스를 지원하는 통신 프로토콜이다[1]. 블루투스 무선 링크의 특징은 RF 단에서는 FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum)를 사용하고 데이터 전송을 하고 다중 사용자의 무선 링크 접속 방법은 TDD(Time Division Duplex)를 이용하는 것이다. 또한 무선 링크로 전송되는 패킷에 대한 여러 정정 방법으로 FEC(Forward Error Correction)와 ARQ(Automatic Repeat reQuest)를 사용한다.

ARQ와 FEC 각각은 가변적인 전송 시간 지연과 오버로드가 크다는 단점이 있다. 이를 해결하기

위하여 제안된 것이 Hybrid ARQ 방법이다[2-5]. 이러한 Hybrid ARQ는 무선 ATM[4]이나 IP 기반 네트워크[5] 등과는 다른 형태로 적용되었다. 즉, 블루투스의 ACL(Asynchronous ConnectionLess) 패킷 중에서 DM(Data-Medium rate : DM1/3/5)에는 Hybrid ARQ를 적용하고 DH(Data-High Rate : DH1/3/5)에는 ARQ만 적용한 것이다. DM형은 패킷 헤더 부분에 1/3 FEC, 유효부하 부분에 2/3 FEC가 적용되고 DH는 헤더 부분은 DM과 동일하지만 유효부하 부분에는 어떤에러 정정 방법도 사용하지 않고 전송한다. ARQ는 DM, DH 모두에 적용된다.

블루투스 시스템의 성능에 대해서는 다양한 연구들이 이루어지고 있다. [6]에서는 전송 패킷을 대상으로 하여 무선 링크의 질(QoS)에 따라 2개의 상태로 나누어 FEC의 사용 여부를 결정하고 사용 가능한 슬롯의 개수에 따라 전송하는 메시지를 알맞게 분할하는 적응적 Hybrid ARQ의 사용을 제안하였고, [2]에서는 피코넷의 중첩 환경에서 간섭

---

\* 강원대학교 전기전자정보통신공학부 부교수, 공학박사  
\*\* 강원대학교 전기전자정보통신공학부 BK21 계약 교수

을 고려하여 구한 실패(outage) 확률로 패킷의 성능을 제시하였다. 이러한 기존의 블루투스 성능 연구에서는 앞에서 기술한 블루투스 ACL 패킷의 다양한 특성을 고려한 개별 패킷에 대한 성능, 전송 효율 및 메시지의 평균 전송시간이 분석되지 않았을 뿐만 아니라, 이러한 성능을 최대/최소화하는 각 패킷의 최적 유효부하 길이에 대한 고려도 이루어지지 않았다.

본 논문에서는 Hybrid ARQ를 고려하여 블루투스 데이터 링크 계층의 성능, 전송 효율 및 메시지의 전송시간을 분석하였다. 이로부터 얻어진 결과를 기초로 주어진 BER 조건에서 메시지의 평균 전송 시간을 최소화하는 ACL 패킷의 종류와 해당 패킷의 최적 유효부하 길이를 구하여 제시하였다.

2장에서는 블루투스 시스템에 대하여 개략적으로 소개하고 3장에서는 블루투스 무선 링크에서의 ACL 패킷의 PER 및 전송 효율과 평균 전송시간과 같은 성능 지표를 해석적으로 제시하며, 4장에서 3장의 해석적인 방법으로 구한 결과를 분석하였다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 블루투스 시스템 개요

본 블루투스용 무선 링크 성능 해석에 사용한 네트워크 구조가 그림 1에 있다. 여기서 점선으로 그려진 원은 한 개의 마스터 통신 영역인 피코넷이며, 일곱 개까지의 통신을 수행하고 있는 슬레이브가 존재할 수 있다. 그림 1에서는 한 개의 마스터와 슬레이브만으로 구성된 피코넷을 가정하였다.

피코넷의 형성은 마스터가 주변에 블루투스 기기가 있는지를 조사하는 inquiry 과정을 수행하고 이에 대한 응답으로 임의의 블루투스 기기로부터 블루투스 디바이스 주소(BD\_ADDR)를 받으면 이루어진다. 이 후에 통신을 위한 채널의 확보를 위해 페이징 과정을 거치면 슬레이브는 마스터의 클럭 정보를 받아 마스터에 시간 동기를 맞추고 AM\_ADDR를 할당받아 통신 채널을 설정하여 데이터 송수신을 한다. 본 논문에서는 블루투스 패킷을 송수신하는 마스터와 슬레이브 사이의 채널은 미리 설정되어 있고, 패킷의 전송 중에는 채널이 끊기지 않는다고 가정하였다.

블루투스 무선 링크는 두 가지 형식, SCO(Synchronous Connection-Oriented)와 ACL(Asynchronous ConnectionLess)이 있다. SCO 링크는 회선 교환 방식의 일종으로 음성과 같은 지연에 민감한 데이터를 위한 링크로 일정한 구간으로 예약된 TDD(Time Division Duplex) 프레임용 사용하는 동기화 링크이다. 반면에 ACL은 일종의 패킷 교환 방식으로 대칭, 비대칭의 서비스를 모두 제공하는 것으

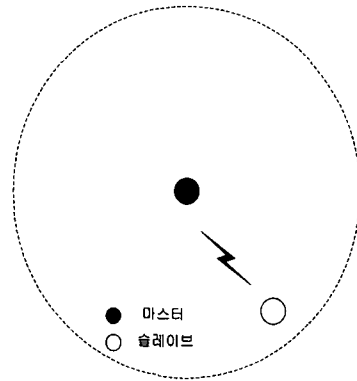


그림 1. Bluetooth 전송 서비스 모델

로 SCO 형식과는 다르게 폴링 방법으로 사용자들에게 TDD 프레임이 제공되는 비동기화 링크이다. 따라서 ACL를 이용하는 전송의 경우 슬레이브는 직전 슬롯에서 자신의 MAC 주소가 설정된 패킷을 수신한 경우에만 다음 슬롯에서 전송이 가능하다. 블루투스 시스템에서는 모든 데이터를 패킷 형태로 만들어 SCO나 ACL 링크로 전송이 이루어지며 12개의 패킷 형태가 정의되어 있다.

본 논문에서는 여러 정정 방법에 따른 무선 링크의 성능 분석을 수행하였기 때문에 ACL 링크만을 고려하였다. 본 논문에서 성능 분석을 수행한 ACL 패킷은 사용자 데이터와 제어 데이터를 전송하며, 데이터의 전송에 필요한 시간 슬롯의 개수(1, 3, 5)와 유효부하 부분에 여러 정정 방법의 적용 여부에 따라 표 1에 표시된 바와 같이 7개의 형태가 정의되었다. 본 논문에서는 이러한 7개의 패킷 형태중 AUX1 패킷형은 고려하지 않는다. 블루투스 ACL 패킷의 형과 특성이 표 1에 간략하게 표시되어 있다. DM(Data-Medium rate : DM1/3/5)은 패킷의 유효부하에 2/3 FEC를 적용한 것이고 DH(Data-High Rate : DH1/3/5)는 여러 정정 방법을 적용하지 않은 것이다. 또한 DM1은 DM 패킷을 한 개의 시간 슬롯 구간(625 μs)동안에 전송하는 패킷의 형태이고 DH5는 DH 패킷을 다섯 개의 시간 슬롯 구간(5 · 625 μs)을 이용하여 전송하는 패킷을 정의한 것이다.

블루투스 시스템의 여러 정정 방법으로는 헤더에 적용되는 1/3 FEC 방식과 유효부하에 적용되는 2/3 FEC 방식이 있으며, FEC 방식으로 정정하지 못하는 패킷에 대해서는 ARQ 방식을 사용하여 정정한다. DM 패킷에서는 1/3 FEC 방식과 2/3 FEC 방식이 동시에 적용되지만, DH 패킷에는 1/3 FEC 방식만 적용된다. ARQ 방식은 DM 및 DH 패킷들에 모두 적용이 된다.

블루투스 패킷은 액세스 코드, 헤더, 유효부하로

표 1. ACL 패킷

타입	유료부하 헤더	사용자 유료부하	FEC	CRC	Symmetric Max. Rate(kbps)	Asymmetric Max. Rate (kbps)	
						순방향	역방향
DM1	1	0 ~ 17	2/3	Yes	108.8	108.8	108.8
DH1	1	0 ~ 27	No	Yes	172.8	172.8	172.8
DM3	2	0 ~ 121	2/3	Yes	258.1	387.2	54.4
DH3	2	0 ~ 183	No	Yes	390.4	585.6	86.4
DM5	2	0 ~ 224	2/3	Yes	286.7	477.8	36.3
DH5	2	0 ~ 339	No	Yes	433.9	723.2	57.6
AUX1	1	0 ~ 29	No	No	185.6	185.6	185.6

구성된다. 액세스 코드는 모든 패킷의 시작부분으로 뒤에 유료부하가 있는 경우에는 72비트의 코드가 그렇지 않은 경우에는 68비트가 되고 동기화, DC 오프셋 보상, 패킷의 구분에 이용된다. 헤더는 하위 계층 링크 제어 정보를 포함하는 것으로 TYPE(4비트), FLOW(1비트), ARQN(1비트), SEQN(1비트), HEC(8비트)로 전체 18비트이지만 에러 정정 방법(1/3 FEC)으로 실제 54비트의 길이로 전송된다. 유료부하는 상위 계층으로 실제 사용자 정보와 제어 정보를 전송하는데 이용되는 것으로 최대 342 바이트까지의 가변 길이를 가진다.

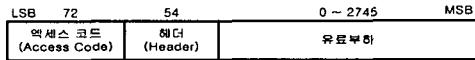


그림 2. 블루투스의 표준 패킷

블루투스 패킷의 액세스 코드 및 헤더에 사용되는 인코딩 방식은 1/3 FEC로 그림 3과 같이 1비트의 정보를 세 번 반복하여 전송하는 방식이다.

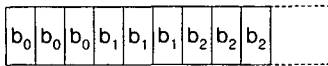


그림 3. 1/3 FEC

블루투스 패킷 중 DM의 유료부하 부분의 인코딩은 (15, 10) 해밍 코드를 사용하는 2/3FEC가 이용된다. 해밍 코드의 생성기는 그림 4에 나타내었다[1].

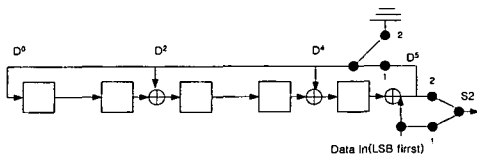


그림 4. (15, 10) 해밍 코드 생성 LFSR

DM 패킷에 2/3 FEC의 적용은 유료부하 10비트마다 5비트의 잉여 비트를 붙여 15비트의 코드 워드를 생성하는 것이다. 2/3 FEC은 한 개의 비트만을 정정할 수 있고 두 개의 비트까지 에러 검색이 가능하다. 예를 들어, 패킷의 길이가 90비트라고 가정하면 정보는 60비트이고 나머지 30비트가 잉여 비트가 된다. 이러한 구성의 패킷이 전송에 성공하려면, 전체 90비트가 전송에 성공해야만 에러 정정도 가능하므로 90비트 모두의 성공확률을 고려해야 한다. 또한 전송할 비트수가 82 비트라고 하면, 8 비트를 널(null) 비트를 추가하여 10의 배수로 만든 후 해밍 코드를 생성한다. 즉, 82 비트인 경우에는 90 비트를 보내는 경우와 동일하게 된다.

블루투스 시스템에서는 전송 패킷의 신뢰성을 보장하기 위하여 ARQ를 사용한다. ARQ의 수행과정은 다음과 같다. 전송 단말기는 ACL 패킷을 전송한 후에 다음 슬롯 구간 동안 패킷을 수신한다. 수신된 패킷 내의 ARQN 필드가 설정(ARQN=1)되어 있으면, 자신이 전송한 패킷이 성공적으로 전송된 것으로 인지하고 다음 패킷을 전송한다. 반대로 ARQN이 0이면 패킷 전송이 실패한 것으로 생각하여 직전에 전송한 패킷의 사본을 재전송한다. 이러한 동작은 ACK를 받거나 해당 채널의 플러시(flush) 타이머가 종료될때까지 반복된다. 이러한 ARQ 과정에서 ACL 패킷 유료부하 부분의 에러 검색은 CRC 패킷의 에러 검사로 이루어진다. 블루투스 시스템에서 제공하는 ARQ 방식은 빠른 데이터 전송을 목적으로 ACK(ARQN=1)나 NAK(ARQN=0)를 직전에 수신한 패킷의 응답으로 송신측에 돌려보내는 방식이다. 만일 데이터를 수신한 측에서 송신측으로 보낼 데이터 패킷이 있을 경우에는 해당 데이터 패킷에 ARQN 필드만 설정하는 방식, 즉 피기백(piggy-back) 방식으로 수신 확인 응답을 보낸다. 그러나 송신측으로 보낼 데이터 패킷이 없는 경우에는 NULL 패킷을 이용하여 ARQN 필드를 설정하는 방식, 즉 ACK/NAK 패킷을 보내는 방식을 사용한다고 볼 수 있다. 예를 들

어, 그림 1과 같은 구조의 피코넷에서 마스터가 슬레이브로 ACL 패킷을 전송하였다고 가정하자. 마스터는 전송 패킷을 전송 버퍼에 저장하여 상대방으로부터 NAK이 수신될 때를 대비한다. 이를 수신한 단말기에서는 패킷 내의 CRC 비트들을 이용하여 에러를 검출한다. 패킷을 수신한 단말기가 해당 패킷의 에러를 검출을 알리면, 즉 NAK이 전송되어 오면, 전송 버퍼에 저장한 패킷 사본을 재전송한다. 이러한 과정이 그림 5에 나타나 있다.

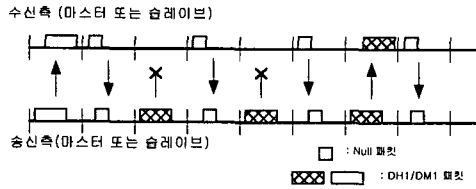


그림 5. 블루투스 ARQ 수행 과정

### 3. 패킷 에러율, 처리율 및 메시지 전송 시간

본 논문에서는 유료 부하와 사용자 유료 부하를 구분하였다. 즉, 사용자 유료 부하는 실제 사용자가 전송하고자 하는 사용자 데이터로 하고 유료 부하는 사용자 유료 부하와 사용자 유료 부하를 전송하는데 첨부되는 유료부하 헤더와 CRC 부분을 모두 합친 것으로 하였다.

본 논문의 성능 분석 과정에서 이용하는 기호 중에 패킷(i,j)에서 i는 M과 H를 j는 1, 3, 5를 표시하는 첨자이다.

다음에서는 해석의 단순화를 위하여 피드백 채널에는 에러가 없는 것으로 가정하였다. 즉, 수신자의 정상 여부를 알려주는 패킷은 항상 에러 없이 수신되는 것으로 하였다. 먼저, 한 개의 패킷(i,j)를 성공적으로 전송하는데 필요한 평균 패킷 수,  $E(F_{ij})$  는 식 (1)로 구할 수 있다.

$$E(F_{ij}) = \sum_{m=1}^{\infty} m \cdot P(F_{ij} = m) \quad (1)$$

$$= \frac{1}{1 - P_{ij}}$$

여기서,  $P_{ij}$ 는 무선 링크의 BER에 대해 구한 패킷(i,j)의 PER이다.

길이가 L 바이트인 메시지를 전송하는데 필요한 패킷(i,j)의 개수,  $N_{ij}(L, 0)$  는 (2)와 같다.

$$N_{ij}(L, 0) = \lceil \frac{L}{L_{ij}} \rceil \quad (2)$$

여기서,  $L_{ij}$ 는 메시지 전송을 위해 선택된 전송 패킷(i,j)에 이용될 유료부하 길이이다. 다음에서는 표현의 단순화를 위하여  $N_{ij}(L, 0)$  를  $N_{ij}$ 로 표기하였다.  $N_{ij}(L, p_b)$  에 대하여  $N_{ij}(L, 0)$  는 비트 에러가 없는 무선 링크에서의 실제 전송 패킷의 개수이다.  $N_{ij}(L, p_b)$  은 (3)으로 구할 수 있다. 식 (3)에서 사용한 패킷(i,j) 타입의 PER,  $P_{ij}$  는 무선 링크의 비트 에러율,  $p_b$ 를 이용하여 구한 것이다.

$$N_{ij}(L, p_b) = N_{ij} + N_{ij} \cdot E(F_{ij}) \quad (3)$$

여기서,  $N_{ij} \cdot E(F_{ij})$ 는 에러가 검출되어 재전송되는 패킷의 평균 개수이다.

패킷  $N_{ij}(L, p_b)$  개를 전송하는데 걸리는 평균 패킷 전송 시간,  $T_{ij}(L, p_b)$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$T_{ij}(L, p_b) = N_{ij}(L, p_b) \cdot (j+1) \cdot T_{slot}, \quad j=1,3,5 \quad (4)$$

여기서, j는 패킷(i,j)의 전송 슬롯 개수이고  $T_{slot}$ 는 슬롯 구간의 단위 시간인  $625\mu s$ 이다.

다음에서는 패킷(i,j)의 PER,  $P_{ij}$ 를 구한다. 먼저 패킷 헤더의 에러 발생 확률과 유료부하의 에러 발생 확률은 독립적인 것으로 가정하였다. 따라서 패킷 전체의 에러 확률,  $P_{ij}$ 는 식(5)와 같다.

$$P_{ij} = 1 - (1 - P_H) \cdot (1 - P_{p_{ij}}) \quad (5)$$

여기서,  $P_H$ 는 패킷 헤더의 PER이고  $P_{p_{ij}}$ 는 유료 부하의 PER이다.

블루투스 패킷 헤더에는 1/3 FEC가 적용된다. 따라서 패킷 헤더의 에러 확률은 (6)과 같다.

$$P_H = 1 - \left[ \sum_{x=0}^n \binom{n}{x} p_b^x (1 - p_b)^{n-x} \right]^{\lceil \frac{m}{n} \rceil} \quad (6)$$

여기서, n은 코드 워드의 길이를 비트로 표현한 것이고 k는 잉여 비트, t는 정정 비트 수이다.

$\lceil \frac{m}{n} \rceil$ 는 전송 패킷 헤더에 포함된 순수 정보

비트의 개수이다.

ACL 패킷의 유료부하 부분에 FEC가 적용되지 않는 DH 패킷 타입 유료부하 부분의 패킷 에러율,  $Pp_{H,j}$ 는 식 (7)과 같다.

$$Pp_{H,j} = \sum_{x=1}^m \binom{m}{x} p_b^x (1-p_b)^{m-x} \quad (7)$$

여기서, m은 DH 패킷의 유료 부하 길이를 비트 단위로 표현한 것이다. 따라서 m은 사용자 유료 부하  $L_{H,j}$ , 유료 부하 헤더 길이, CRC 비트의 개수를 합한 것이다.

DM 패킷이 유료부하 부분의 PER,  $Pp_{M,j}$ 는 식 (8)로 구할 수 있다.

$$Pp_{M,j} = 1 - \left[ \sum_{x=0}^n \binom{15}{x} p_b^x (1-p_b)^{15-x} \right]^{\lceil \frac{m}{15} \rceil} \quad (8)$$

여기서, n은 15, k는 5, t는 1이고 m은 유료부하의 비트 단위 길이로 15의 배수가 되지 않을 경우에 NULL 비트를 채워서 전송한다.

DM과 DH 패킷의 전체 PER은 식(7), 식(8)를 식(5)에 대입하여 식(9), 식(10)으로 나타낼 수 있다.

$$P_{M,j} = 1 - \left[ \sum_{x=0}^3 \binom{3}{x} p_b^x (1-p_b)^{3-x} \right]^{24} \cdot \left[ \sum_{x=0}^n \binom{15}{x} p_b^x (1-p_b)^{15-x} \right]^{\lceil \frac{m}{15} \rceil} \quad (9)$$

$$P_{H,j} = 1 - \left[ \sum_{x=0}^3 \binom{3}{x} p_b^x (1-p_b)^{3-x} \right]^{24} \cdot (1-p_b)^m \quad (10)$$

일반적으로 패킷 전송 방법의 전송 처리율 (Transmission Throughput)은 전송되어야 할 패킷의 개수에 대한 실제 전송된 평균 패킷 수의 비율로 표현한다. 따라서, 블루투스 ARQ가 사용되는 블루투스 시스템에서 패킷(i,j)의 전송 처리율,  $\eta_{ij}$ 는 식 (11)로 구할 수 있다.

$$\eta_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{ij}(L, p_b)} \quad (11)$$

여기서,  $\eta_{ij}$ 는 개별 패킷(i,j)에 대한 것을 구하였다. 왜냐하면, 서로 다른 형의 패킷을 비교하면 기준이 달라지기 때문에 의미가 없기 때문이다.

#### 4. 성능 분석 결과

다음에서는 3장에서 제시한 성능 지표인 PER, 메시지의 평균 전송 시간, 전송 효율을 구하고 이를 기초로 최적 패킷형과 해당 패킷의 최적 유료 부하 길이를 보였다. 먼저, 무선 링크의 BER에 따른 모든 DM, DH 패킷의 PER를 그림 3에 보였다. 여기서, 전송 패킷의 길이는 전송에 허용된 최대 길이로 전송하는 것을 가정하였다.

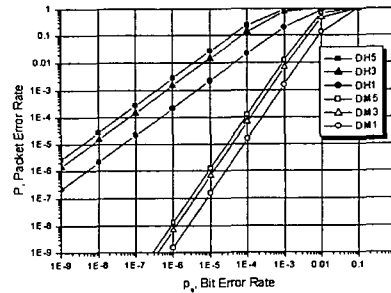


그림 6. BER의 변화에 따른 DM, DH 패킷의 PER

2M 바이트 길이의 메시지를 DM1/ 3/5, DH1/3/5 패킷 중의 한 종 종류의 패킷만을 사용하여 마스터에서 슬레이브(1:1)로 전송하는 것을 가정하여 구한 최적 유료부하 길이에 대한 평균 전송 시간과 전송 효율의 결과를 표 2에 보였다.

여기서, 전송에 사용된 각 패킷형은 1, 3, 5 개의 슬롯 구간에 ACK 혹은 NAK를 수신할 수 있는 피드백용 슬롯을 합쳐 2, 4, 6개를 사용하는 것으로 하고 피드백 슬롯 구간에서는 에러가 없는 것으로 가정하였다.

표 2의 항목 중 구분에서 ①은 최적유료부하길이[Byte]를 ②는 평균전송시간[Sec]을 ③은 전송효율 항목을 표시한 것이다. 또한 검게 칠한 칸의 값이 해당 BER 조건에서 가장 작은 평균 전송 시간과 가장 좋은 전송 효율을 보인 것을 표시한 것이다.

최대 전송 효율을 보이는 패킷은 모든 BER 조건에서 DM1 형이고 최소 평균 전송 시간을 보이는 패킷의 종류는 모든 BER 조건에서 다르게 나타났다. 예를 들어, BER이  $10^{-2}$ 에서는 DM3,  $10^{-3}$ 에서는 DM5이고  $10^{-4}$ 인 경우에는 DH5가 된다. 이러한 결과는 평균 전송 시간의 결과가 전송 효율과 마찬가지로 ARQ 방법에서의 재전송 회수와 패킷 길이의 합수이지만 전송에 사용되는 슬롯 구간의 크기가 고려되었기 때문이다. 표 2의 결과는 주어진 BER 조건에서 패킷의 평균 전송 시간을 최소화하는 패킷의 최적 유료부하 길이도 보

여준다. 예를 들어, DH3을 사용할 경우에 BER이  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ 에서 유효부하의 최적 길이는 각각 10, 120, 183 바이트이다.

표 2. 블루투스 무선 링크의 성능

BER 패킷형	구 분	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$
		DM1	① 17	17
	②	182.29	154.48	154.20
	③	0.846	0.998	0.999
DH1	①	15	27	27
	②	694.22	122.47	99.371
	③	0.140	0.793	0.977
DM3	①	121	121	121
	②	115.47	43.79	43.335
	③	0.375	0.989	0.999
DH3	①	10	120	121
	②	1509.9	116.95	43.335
	③	0.020	0.245	0.999
DM5	①	120	224	224
	②	174.66	35.794	35.119
	③	0.201	0.981	0.999
DH5	①	5	150	339
	②	3030.2	178.44	30.506
	③	0.008	0.130	0.761

### 5. 결론

본 논문에서는 블루투스 무선 링크의 성능을 분석하였다. 이를 위하여 ACL 패킷의 PER를 무선 링크의 BER과 패킷 유효부하 길이의 함수로 제시하고 PER과 이에 따른 ARQ 방법에서의 재전송 회수를 고려하여 메시지의 평균 전송 시간 및 전송 효율을 구하는 방법을 제시하였다. 또한 주어진 BER하에서 평균 전송시간을 최소화하는 패킷의 종류와 해당 패킷의 최적 유효 부하길이를 보였다.

블루투스 표준안의 권고 BER 조건,  $10^{-3}$ 에서 최대 전송 효율을 보이는 패킷은 DM1이지만 최소 평균 전송 시간은 나타내는 패킷은 DM5이었다. 이러한 블루투스 시스템의 무선 링크에서 전송 패킷 타입을 선택하는데 사용하는 기준은 통신 시스템의 일반적인 성능 기준인 전송 효율보다는 평균 전송 시간을 사용하는 것이 적합할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] <http://www.bluetooth.com>
- [2] A. R. Prasad, et al., "Performance of Hybrid ARQ for IP Packet Transmission on Fading Channel," IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 48, No. 3, pp. 900-910, May 1999.
- [3] B. Vucetic, "An Adaptive Coding Scheme for Time-varying Channels," IEEE Transaction Communications, Vol. 39, No. 5, May 1991.
- [4] S. Kallel, D. Haccoun, "Generalized Type-II Hybrid ARQ Scheme Using Punctured Convolutional Coding," IEEE Transaction Communications, Vol. 38, no. 11, pp.828-1846, Feb. 1990.
- [5] M. A. Kousa, A. K. Elhakeem, H. Yang, Performance of ATM Networks Under Hybrid ARQ/FEC Error Control Scheme," IEEE ACM, Vol. 7, No. 6, pp. 917-925, Dec. 1999.
- [6] Das, A., et al., "Adaptive Link-level Error Recovery Mechanisms in Bluetooth," Personal Wireless Communications, 2000 IEEE International Conference on, pp. 85-89, 2000.
- [7] Zurbes, S., et. al., "Radio network performance of Bluetooth," ICC'2000, Vol. 3, pp. 1563-1567, 2000.