

# 무선ATM 접속망에서 VBR 트래픽의 셀 손실을 분석 및 개선방안

정회원 이하철\*, 이병섭\*\*

## CLR Performance Analysis and Improvement of VBR Traffic in Wireless ATM Access Network

Ha-Cheol Lee\*, Byung-Seub Lee\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 무선 접속노드와 무선링크로 구성되는 무선ATM 접속망에서 접속망의 CLR(Cell Loss Ratio) 성능을 정량적으로 분석하였다. 무선ATM 통신망에서 ATM기술을 무선링크에 적용하는 경우에 Rayleigh 및 Rician 페이딩 채널특성, 전력제한, 단일 및 버스트 에러로 인해 유선링크에서 보다 상당한 전송성능 열화가 발생하는 것은 필연적이며 이를 보상하기 위한 방안들이 강구되어야 한다. 따라서 이러한 전송성능 열화현상을 극복하기 위한 에러제어 방안을 제시하였으며 VBR 트래픽에 적합한 ARQ와 type I Hybrid ARQ 기법의 적용방안 검토 후, 패킷 에러율과 처리율을 이용하여 두 기법간 성능을 비교 분석한 결과 type I Hybrid ARQ 기법의 성능이 우수함을 정량적으로 입증하였다.

### ABSTRACT

In this paper CLR(Cell Loss Ratio) performance of VBR(Variable Bit Rate) traffic on wireless ATM access networks which consist of access node and wireless channel is evaluated. Because a terrestrial wireless channel can be approximated as an Rayleigh or Ricean fading channel, wireless systems are power limited and produces random bit or burst errors, it causes severe problems when ATM data is transmitted over an error-prone channel, wireless channel. So error control architecture must be considered to improve CLR performance degradation caused by channel bit errors. Error control scheme considered include the concatenated FEC(Forward Error Correction) for delay-sensitive traffic such as CBR traffic and type I Hybrid ARQ(Automatic Repeat reQuest) for nondelay-sensitive traffic such as VBR traffic. Especially this paper provides performance comparison between SR(Selective Repeat) ARQ and type I Hybrid ARQ through the use of packet error rate and throughput. It is confirmed that the performance of type I Hybrid ARQ scheme is superior to that of ARQ scheme.

### I. 서 론

ATM기술은 광 케이블과 같이 우수한 전송특성을 갖는 전송매체를 기반으로 개발된 기술이며 ATM 데이터를 광 전송로를 이용하여 전송할 경우에는 오버헤드가 감소하고 처리율을 증가시킬 수

있는 장점을 갖고 있다. 다시말하면 광전송을 기반으로 한 ATM기술은 랜덤특성의 단일비트 에러만 보상하도록 설계되었기 때문에 Rayleigh 및 Rician 페이딩 특성을 갖는 무선링크를 통해서 ATM데이터를 전송할 때 무선채널에서 버스트 에러(10-40비트)가 발생하면 ATM 데이터의 전송성능은 상당히 저

\* 유한대학 정보통신과

\*\* 한국항공대학교 항공통신정보공학과

논문번호 : 99011-0330, 접수일자 : 1999년 3월 30일

※ 이 연구는 1998년도 유한대학 학술연구비 지원에 의하여 수행되었음.

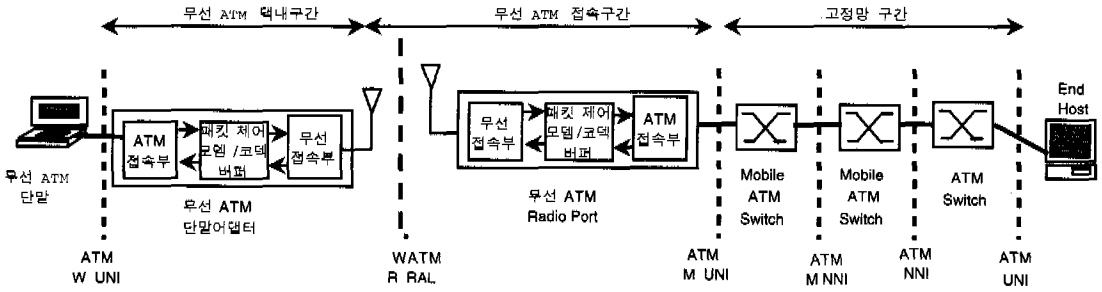


그림 1. 무선ATM 접속망의 구성

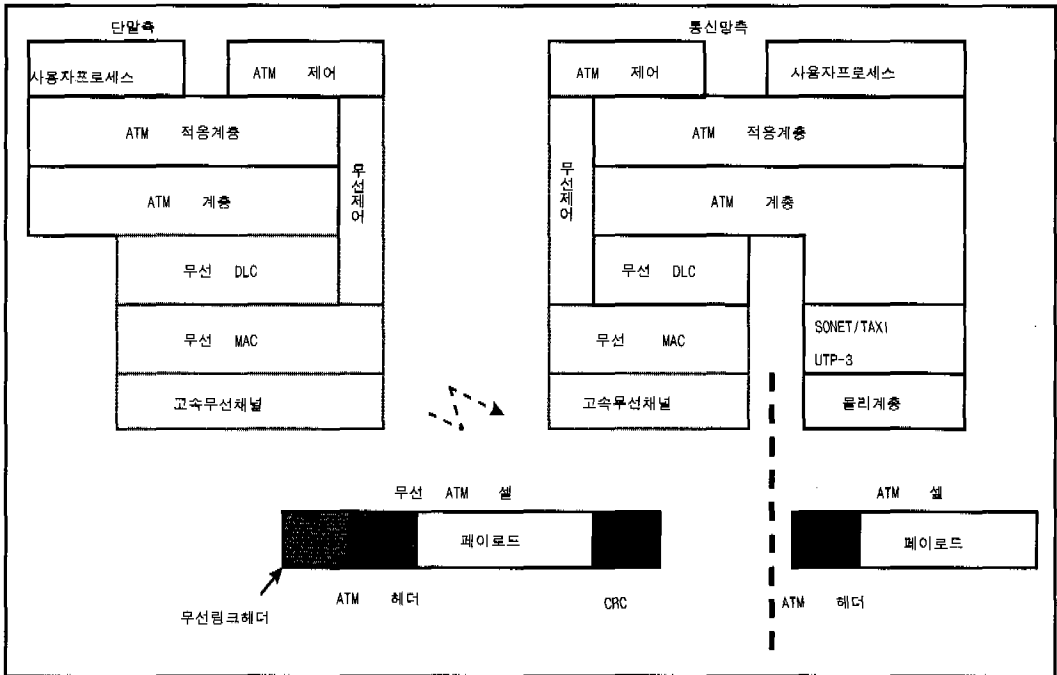
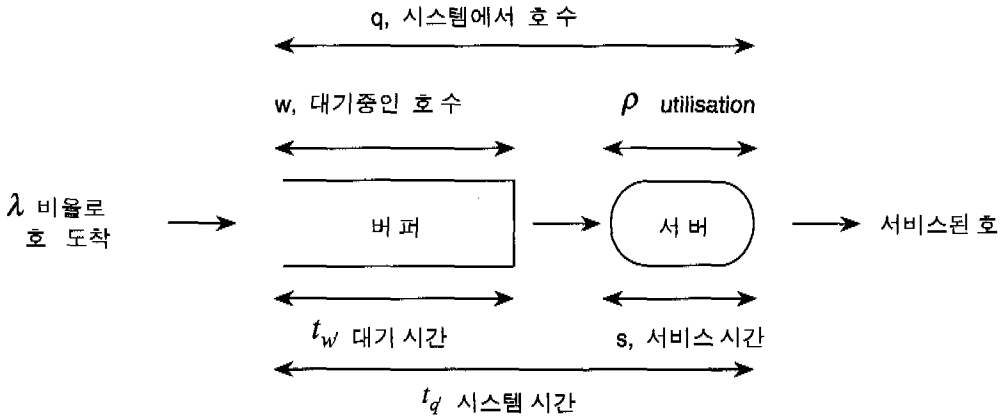


그림 2. 무선ATM 접속망의 프로토콜 계층구조

하된다<sup>(1,2)</sup>. 한편, 기존의 현대역 무선통신에서는 열악한 무선 전송로의 성능을 개선하기 위해서 트래픽 속성에 상관없이 다이버시티, 등화, FEC 및 ARQ기법 등을 일괄적으로 적용하는 것이 연구되고 있다<sup>(3)</sup>. 그러나 음성, 데이터, 영상 등의 등시성 멀티미디어 트래픽을 처리해야 하는 광대역 무선통신에서는 트래픽별로 QoS(Quality of Service) 목표치가 다르므로 트래픽 속성에 상관없이 일괄적으로 성능개선 기법들을 적용하는 것은 또 다른 성능저하 현상을 초래한다. 결국 멀티미디어 서비스 제공을 목표로 하는 무선 ATM망에서는 각각의 트래픽별로 QoS목표치를 만족시키면서 최상의 통합성능

(셀 손실율, 셀 에러율, 패킷 에러율, 처리율등)을 얻을 수 있는 대책이 강구되어야 한다.

따라서 본 논문의 2장에서는 무선ATM 통신망의 구조 및 프로토콜에 대하여 살펴보았으며 3 장에서는 접속노드와 무선링크로 구성되는 무선ATM 접속망의 성능을 ATM 데이터의 QoS(Quality of Service) 파라미터인 셀 손실율을 이용하여 성능을 분석하였다. 4장에서는 무선링크를 통한 VBR 형태의 ATM 데이터 전송에 적합한 ARQ기법들을 적용한 후 성능분석을 통해 성능개선 효과를 확인하였다. 5 장에서는 본 논문의 주요 연구내용 및 결과를 요약하였으며 향후 연구방향등 결론을 맺었다.



- λ : 단위시간당 평균 호도착 횟수
- ρ : 이용률(서버가 busy인 시간 비율)
- q : 시스템에 존재하는(기다리고 있거나 서비스중인) 평균 가입자수
- t<sub>w</sub> : 가입자가 시스템에서 머무르는 평균시간
- tw : 가입자가 서비스되기 전에 대기하는 평균시간
- s : 각 가입자당 평균 서비스시간
- w : 서비스되기 전에 대기하는 평균 가입자수

그림 3. queueing 시스템

## II. 무선 ATM망

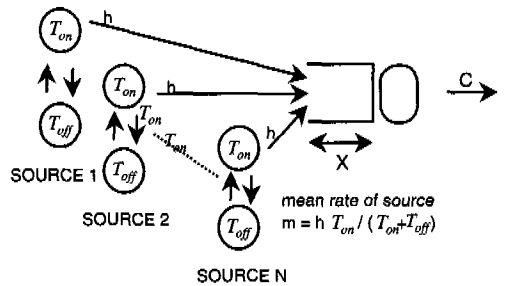
### 1. 망구조 및 프로토콜

무선 ATM망은 무선환경에서 유선 ATM망과 접속할 수 있고 유선 ATM망에서 제공하는 다양한 광대역 통신서비스를 제공할 수 있는 유선 ATM망의 확장된 개념이다. 그러나 무선 전파환경의 열악한 전송특성을 고려할 때 무선 ATM망에서 제공할 수 있는 서비스의 질과 양적인 측면에서 유선 ATM망과 많은 차이가 예상된다. 무선 ATM망의 기준구성은 (그림1)과 같이 라디오 액세스 부분과 고정망 부분으로 구성되며 고정망 부분은 “M(mobile ATM)” UNI 및 NNI에 의해서 규정되고 라디오 액세스 부분은 “R(Radio)” RAL(Radio Access Layer)로 규정된다. 다시 말하면 ATM망에 무선 액세스 기능을 확장하는 것은 (그림2)와 같이 유선 ATM망의 프로토콜 계층구조에 많은 변경이 요구된다. 즉, 무선채널관련 MAC(Medium Access Control), DLC(Data Link Control) 및 무선망 제어계층(Wireless Control Layer)이 기존의 ATM 프로토콜 계층구조에 추가되어야 한다<sup>(4,5)</sup>.

### 2. 트래픽모델

가입자가 제한된 자원을 경쟁할 때마다 통신시스템에서는 queue가 형성되기 때문에 queueing 프로세스를 분석하는 것은 성능 평가의 필수요소이다.

ATM통신망에서도 성능분석을 위해 queueing이론을 도입하는 것은 예외가 아니며 이를 위해 (그림 3)과 같은 queueing 시스템을 이용한다.



- $T_{ON}$  : ON 상태의 평균시간
- $T_{OFF}$  : OFF 상태의 평균시간
- h : active 상태의 셀율
- m : 각 source에 대한 평균셀율
- X : queue의 버퍼용량
- C : queue의 서비스율

그림 4. 다중 ON-OFF source 모델

랜덤 트래픽이나 CBR 트래픽의 경우에는 cell scale 성분만이 존재하며 burst성의 source가 존재하는 경우에, 즉 active 상태의 수가 cell slot 율을 초과하는 경우에 cell scale과 burst scale 이 모두 존재한다. burst scale queueing은 동시에 발생하는 burst의 총입력율이 ATM버퍼의 cell slot rate를 초과하는 경우이다. 예를들면 50%, 25% 및 33%의

셀발생률을 갖는 source를 생각할 때 총 셀 발생률은 queue의 서비스율을 초과하고 일정기간동안 셀이 지연되게 된다. 이와같이 장기간의 queueing을 burst-scale queueing이라고 하며 (그림4)의 ON-OFF source 모델을 적용한다.

### III. 접속망 성능분석

#### 1. 접속노드 성능

VBR 트래픽인 경우에는 무선 접속노드에서 cell scale queueing 및 burst scale queueing이 존재하게 되며 burst scale queueing의 경우 burst scale loss factor와 burst scale delay factor가 존재한다. burst scale queueing의 경우 excess-rate에 대하여 분석하면 도착셀이 excess-rate cell일 확률과 excess-rate 셀이 소실될 확률을 생각할 수 있다. 결국 셀이 손실될 확률은 식 (1)과 같고 총 CLR은 식 (2)와 같이 계산된다<sup>(6)</sup>.

$$\Pr\{\text{cell 손실}\} = \Pr\{\text{셀 손실} \mid \text{셀이 버퍼를 필요로 함}\} \times \Pr\{\text{셀이 버퍼를 필요로 함}\} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{CLR} &= \text{CLR}_{cs} + \text{CLR}_{bsl} \text{CLR}_{bsd} = \\ & \exp\left[-2x\left(\frac{1-\rho}{\rho}\right)\right] + \\ & \exp\left[-N_0 \frac{x}{b} \frac{(1-\rho)^3}{4\rho+1}\right] \times \\ & \sim \frac{1}{(1-\rho)^2 N_0} \frac{(\rho N_0)^{\lfloor N_0 \rfloor}}{\lfloor N_0 \rfloor!} e^{-\rho N_0} \quad (2) \end{aligned}$$

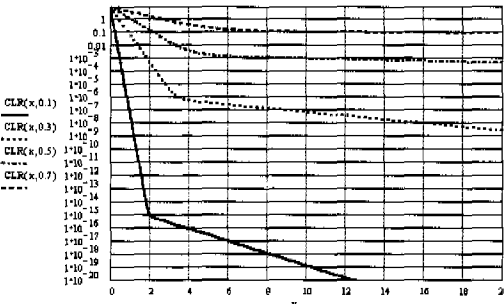


그림 5. N개 VBR source인 경우 접속노드의 버퍼용량에 따른 셀 손실율

$\text{CLR}_{cs}$ 은 cell scale queueing 환경에서의 셀 손실율,  $\text{CLR}_{bsl}$ 은 burst scale queueing 환경에서의 burst scale loss option,  $\text{CLR}_{bsd}$ 은 burst scale queueing 환경에서의 burst scale delay option,  $\rho$ 는 이용률,

$x$ 는 버퍼의 크기,  $N_0$ 는 셀 슬롯율과 1개 source가 발생하는 최대 셀율의 비 ( $\frac{C}{h}$ ),  $\lfloor N_0 \rfloor$ 는  $N_0$  이하의 첫 번째 정수값,  $b$ 는 burst당 평균 셀수를 말한다. (그림5)는 E1급 회선을 이용하고  $b = 10$  셀,  $C = 4528$  셀/sec,  $h = 226$  셀/sec일때의 셀손실율  $\text{CLR}(x, \rho)$ 를 나타낸다. 이때  $x$ 는 버퍼크기,  $\rho$ 는 이용도이다.

#### 2. 무선링크 성능

ATM계층의 성능은 물리계층의 BER(Bit Error Rate)등 비트에러 특성에 따른다<sup>(1)</sup>. 광전송 링크에서는 비트에러가 랜덤하게 분포하나 무선전송 환경에서는 최소의 전력으로 최대의 전송 품질을 얻기 위해 모뎀에 FEC기능이 도입되는 데 이 기능이 정상적으로 동작되지 못하는 경우에 비트에러가 버스트형태로 발생한다. 이렇게 무선링크에서 발생된 버스트 에러는 ATM 프로토콜 동작에 영향을 미치며 ATM셀 손실의 정도는  $\text{CLR}(\text{Cell Loss Ratio})$ 로 나타내어 진다.

2.1 랜덤 비트에러 환경에서 ATM CLR 분석  
독립적이고 동일하게 분포된 랜덤 단일 비트에러가 일정한 BER값  $p$ 로 전송링크에서 발생하는 경우 식 (3)과 같이 이항 분포식을 따른다. 이는 길이  $h$ 의 블록에  $n$  비트 에러가 발생하는 확률로서 CLR, CER, SECR 산출의 기본식이 되며  $s$ 는 단일 랜덤 비트 에러를 의미한다.

$$P_s(n) = {}_h C_n p^n (1-p)^{h-n} \quad (3)$$

CLR은 셀이 폐기되는 확률로서 HEC가 단일 비트에러를 정정할 수 있으므로 2개 이상의 에러가 발생하는 확률, 즉  $1 - P_s(0) - P_s(1)$ 로 계산된다. 그러나 버스트 에러에 대한 취약성을 해소하기 위해서 (그림6)과 같이 HEC의 dual-mode상태가 채택된다.

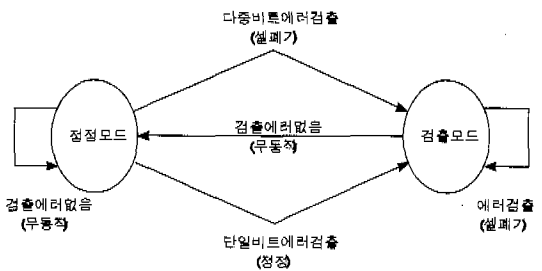


그림 6. HEC 알고리즘의 dual-mode상태

셀 손실율(CLR)은  $P(\text{정정모드}) \cdot P(\text{헤더에 2개이상 에러 발생}) + P(\text{검출모드}) \cdot P(\text{헤더에 1개이상 에러 발생}) = P_c[1-P_s(0)-P_s(1)] + P_d[1-P_s(0)]$ 가 된다. 여기서  $P_c$  및  $P_d$ 는 각각 수신측이 정정 및 검출모드에 있을 확률을 말한다.  $P_c$  및  $P_d$ 는 dual mode 상태를 갖는 HEC를 2개의 상태를 갖는 Markov chain으로 모델링하여 계산될 수 있다. 상태방정식을 이용하면  $P_c = P_s(0)$ 이고  $P_d = 1-P_s(0)$ 가 된다<sup>(1)</sup>.

$$CLR = P_s(0)[1-P_s(0) - P_s(1)] + [1-P_s(0)][1-P_s(0)] = 1 - P_s(0) - P_s(0)P_s(1) \quad (4)$$

2.2 Burst에러 환경에서 ATM CLR 분석

무선통신시스템에서는 전력효율을 향상시키기 위해서 FEC 기법을 사용하며 convolution 코드와 viterbi decoder를 이용한다. 이 때 FEC가 정상적으로 동작하지 못하는 경우에 burst에러가 발생할 수 있으며 이때 decoder 출력에서 burst 에러모델이 주요연구대상이다. 즉, 평균 burst 길이와 burst에서의 에러가 poisson 분포를 따른다고 하면 Neyman-A contagious 모델을 적용할 수 있다<sup>(1)</sup>. 이 경우에 평균에러 burst 길이가  $b$ 이고  $n$ 비트의 간격에  $n$  비트의 에러가 발생할 확률  $P_B(n)$ 은 (식5)와 같다.

$$P_B(n) = \frac{b^n}{n!} \exp\left(-\frac{hb}{b}\right) \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{hb}{b} \exp(-b)\right)^i \frac{i^n}{n!} \quad (5)$$

CLR은 2개이상의 에러가 발생하는 확률로 모델링할 수 있고 이 경우 HEC의 dual-mode 동작상태와 에러가 검출되지 않는 경우는 무시하기로 한다.  $P(2\text{개이상의 에러 발생}) = 1 - P_B(0) - P_B(1)$ 가 된다.

$$CLR = 1 - P_B(0) - P_B(1) = 1 - \exp\left(-\frac{40p}{b}\right) \left[1 + \frac{(1+b)40p}{b} \exp(-b)\right] \quad (식6)$$

2.3 결과검토

변조방식은 QPSK를 이용하고 convolution 코드(코드율 :  $r=1/2$ , 구속장 :  $\nu=7$ )와 viterbi decoder를 이용한다. 여기서  $p$ 는 viterbi decoder 출력에서 BER이며  $p_e$ 는 복조기의 출력 비트에러,  $\gamma$ 는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비를 말하고  $D$ 는 Bhattachayya의 상한식,  $M$ 은 신호의 상태수를 말한다<sup>(7)</sup>.

$$\text{즉, } p \leq 1/2(7D^7 + 39D^8 + 104D^9 + 352D^{10}), \quad D = 2 \sqrt{\frac{p_e(1-p_e)}{M-1} + \left[\frac{M-2}{M-1}\right]p_e}, \quad p_e = \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{2}{\gamma}}\right]$$

를 이다. 본 분석에서는 버스트의 길이( $b$ )를 6, 15, 30, 40으로 가정하였으며 (그림7)의 시뮬레이션 결과에서 보듯이 CLR은 전반적으로 버스트에러 환경이 랜덤에러 환경보다 성능이 저하된다. 버스트에러환경인 경우 버스트길이가 6이고  $\gamma = 5, 10, 15, 20, 25, 30$ 일 때 CLR값은 각각  $0.481, 9.257 \times 10^{-3}, 9.596 \times 10^{-5}, 1.097 \times 10^{-6}, 1.468 \times 10^{-8}, 2.204 \times 10^{-10}$ 이며 랜덤에러 환경에서는  $\gamma = 5, 10, 15, 20, 25, 30$  일 때  $0.984, 4.484 \times 10^{-3}, 5.103 \times 10^{-7}, 6.673 \times 10^{-11}, 1.553 \times 10^{-14}, 4.951 \times 10^{-15}$ 이 된다.  $\gamma$ 값이 거의 10 dB이상인 경우 랜덤에러 환경보다 버스트에러환경에서의 성능이 저하된다.

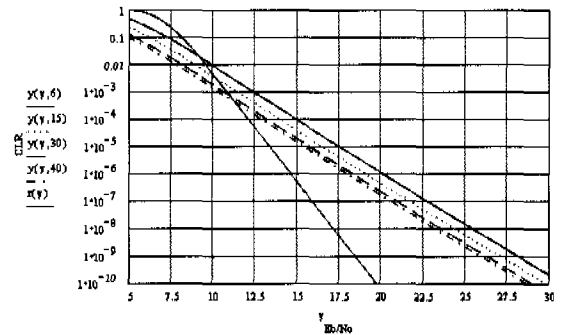


그림 7.  $\gamma$ 에 따른 CLR 분석결과

3. 접속망의 통합성능

무선 ATM 접속망의 성능은 무선 접속노드 및 무선채널을 모두 고려한 CLR로 평가한다. 무선접속노드의 버퍼 오버플로로 인한 CLR( $CLR_c$ )과 무선채널의 BER에 따른 CLR( $CLR_e$ )은 서로 독립적인 프로세스이므로 접속망의 CLR은 식 (7)과 같다<sup>(8)</sup>. 즉, N개의 VBR source에서 ATM 데이터가 발생되어 무선채널에 전송되는 경우에 무선채널 및 무선 접속노드에서 발생하는 통합 CLR을 말한다. (그림8)은  $CLR_B(x, \rho, \gamma)$ 와  $CLR_S(x, \rho, \gamma)$ 로 표시되는 버스트에러 및 랜덤에러 환경에서의 버퍼용량( $x$ )에 따른 통합 CLR값을 나타낸다. 이때  $\rho$ 는 이용도,  $\gamma$ 는 비트당 에너지 대 잡음전력 밀도비를 말한다. 무선채널을 고려하지 않은 경우(그림5)보다 무선채널을 고려한 경우(그림8)에 CLR성능이 더욱 더 저하되는 것을 알 수 있고 이러한 현상은 접속노드의 이용도가 적을수록 심해진다. 그리고 랜덤에러 환경

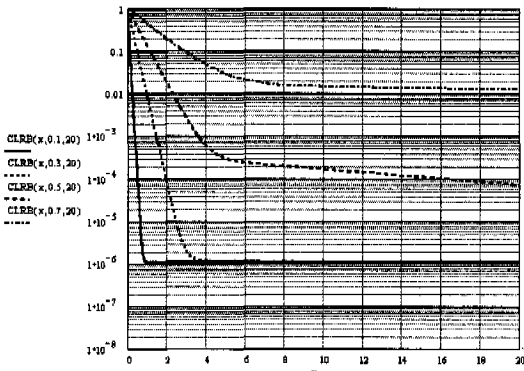
에서보다 버스트에러 환경에서 더 열악해 진다는 것을 알 수 있다.

$$CLR_T = CLR_O + (1-CLR_O)CLR_C \quad (7)$$

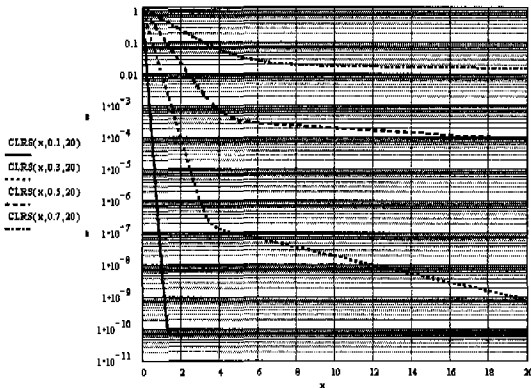
$$CLR_O = CLR_{cs} + CLR_{bst}CLR_{bsd} \quad (2)$$

$$CLR_C = 1 - P_s(0) - P_s(0)P_s(1) \text{ (랜덤 에러)} \quad (4)$$

$$CLR_C = 1 - P_B(0) - P_B(1) \text{ (버스트 에러)} \quad (6)$$



(a) 버스트에러 환경에서 VBR트래픽의 통합CLR



(b) 랜덤에러 환경에서 VBR 트래픽의 통합CLR

그림 8. VBR source의 통합 CLR

#### IV. 전송성능 개선기법

ATM셀을 무선링크를 통하여 전송하는 경우에 광 전송링크를 통하여 전송하는 경우보다 CLR값이 상당히 저하된다는 것을 (그림7) 또는 (그림5)와 (그림8)의 성능 비교분석 결과에서 알 수 있다. 이는 ATM셀이 무선 프레임에 삽입되어 이동단말과 기지국사이에서 송수신되는데 무선구간에서의 송수

신시 다중경로 페이딩, 간섭 및 shadowing현상으로 비트에러율이 증가하기 때문이다. 따라서 ATM셀을 무선링크를 통해 전송할 때 트래픽 형태별로 <표1>을 만족하도록 성능 저하현상을 보상할 수 있는 방안이 강구되어야 하는데 대표적인 방안은 <표2>와 같다<sup>(9,10)</sup>.

표 1. 트래픽 형태별 서비스 요구조건

트래픽등급	BER	CLR	CDV	CTD
CBR	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup> ~ 10 <sup>-6</sup>	0 ms	10ms ~ 2sec
rt-VBR	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup> ~ 10 <sup>-7</sup>	0 ms	10ms ~ 2sec
nrt-VBR	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-7</sup> ~ 10 <sup>-9</sup>	100ms ~ 500ms	-

표 2. 무선 ATM망의 전송성능 개선기법

계 층	전송성능 개선기법	비 고
ATM 계층	-	-
DLC 부계층	ARQ	기존 ATM 프로토콜에 추가
MAC 부계층	-	기존 ATM 프로토콜에 추가
TC 부계층	다중접속, FEC, 인터리빙	-
PMD 부계층	섹터 안테나, 다이버시티, 등화	-

#### 1. 전송성능개선을 위한 에러제어구조

무선채널환경은 변화의 폭이 매우 크기때문에 전송성능을 최적화하기 위해서 에러제어 기법들을 선택하는 것은 무선채널 특성에 의해서 결정되며 기법들간에 trade-off가 따르게된다. 그러므로 서로 다른 채널환경에 대해서 적절한 파라미터를 선택하는 것은 매우 다양하며 에러제어 구조는 채널환경에 따라 달라진다. 인터리버/디인터리버는 버스트성 잡음채널에서만 필요하고 지연에 민감하지 않은 신뢰성있는 트래픽 전달을 필요로 하는 경우에 주로 적용되며 지연에 민감한 트래픽에 대해서는 적합치 않다. 이를 위해서 트래픽을 형태별로 구분하여 적합한 에러제어 기법을 적용하기 위한 다중화/역다중화 기능을 도입한다. 지연에 민감한 실시간성 트래픽에 대해서는 가급적 작은 인터리버 길이를 사용하고 블록코드와 콘벌루션코드를 직렬 결합한 con-

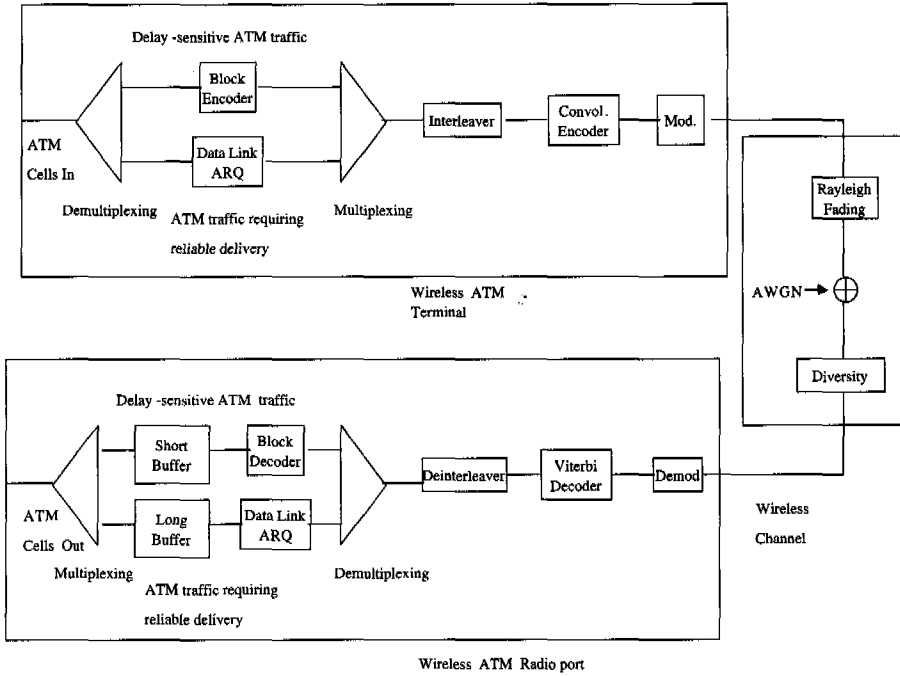


그림 9. 무선ATM 접속망의 전송성능 개선을 위한 에러제어구조

catenated FEC 기법을 적용한다. 그리고 지연에 민감하지 않고 높은 신뢰도를 필요로 하는 ATM 트래픽에 대해서는 길이가 더 큰 인터리버를 사용함과 동시에 콘벌루션코드와 데이터링크 ARQ 프로토콜을 이용하는 적응형 type I Hybrid ARQ 기법을 적용한다. 결국 각 에러제어 기법들이 무선 ATM망의 트래픽 속성에 따라 인터리빙 기법과 함께 (그림 9)의 통합 에러제어 구조하에서 융통성 있게 적용되어야 한다.

2. VBR 트래픽에 적합한 에러제어기법 비교 및 성능분석

지연에 민감하지 않고 높은 신뢰도를 필요로 하는 VBR ATM 트래픽에 대해서는 ARQ 프로토콜이나 길이가 더 큰 인터리버를 사용함과 동시에 콘벌루션코드와 데이터링크 ARQ 프로토콜을 이용하는 type I Hybrid ARQ 기법을 적용한다. ARQ기법은 FEC기법과는 다른 형태인데 송신측으로 정보 전달에 대한 성공 또는 실패여부를 통보하기 위한 feedback채널을 갖고 있다. ARQ기법은 이동 무선 채널에 적용되는 경우에 FEC기법보다 더 신뢰성이 높으며 SW(Stop and Wait), GBN(Go-Back-N), SR(Selective Repeat)기법이 있다. Hybrid ARQ기법은 FEC와 ARQ기법을 결합한 방식인 데 FEC를

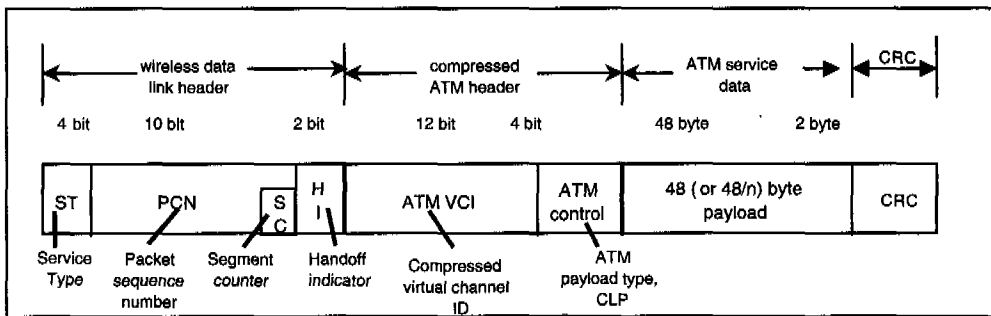


그림 10. 무선 ATM셀 구조

사용하는 이유는 소량의 버스트 에러를 정정함으로써 재전송 횟수를 줄이려는 것이다. 그러나 대량의 버스트 에러가 발생하는 경우는 ARQ 기법이 효과적일 수 있다. Hybrid ARQ 기법에는 Type I과 TYPE II가 있으며 Type I의 경우 수신기는 에러를 검출하여 정정하며 에러를 정정할 수 없는 상태가 되면 수신된 코드워드를 버리고 재전송을 요구한다. 그러나 채널의 비트 에러율이 변하는 경우 Type I은 처리율측면에서 성능의 기록이 매우 심하며, 따라서 이를 보완하기 위한 적응형 Type I 및 Type II Hybrid ARQ 기법이 사용되기도 한다.

기법들의 성능분석을 위해 무선 채널환경은 Rayleigh 페이딩 채널이라고 하고 변조기법은 QPSK가 사용된다. 무선 ATM셀의 크기는 (그림10)과 같이 54 바이트이며, 이 중 48 바이트는 페이로드이고 5 바이트의 길이를 갖는 표준 ATM셀의 헤더는 2 바이트로 압축되며, 여기에 각각 2 바이트의 무선 데이터링크 헤더와 CRC코드가 추가된다. 그리고 각 기법의 성능은 패킷에러율과 처리율로 평가하며 패킷의 크기는 2 바이트로 압축된 ATM셀의 헤더와 48바이트의 페이로드로 구성되는 50바이트가 된다

2.1 Selective Repeat ARQ기법

ARQ기법은 FEC기법과는 다른 형태인데 송신측으로 정보전달에 대한 성공 또는 실패여부를 통보하기 위한 feedback채널을 갖고 있다. ARQ기법중 SR(Selective Repeat)기법의 성능을 분석하기 위해 패킷에러율과 처리율로 평가하기로 한다. 패킷 에러율은 식 (8), 처리율은 식 (9)과 같으며 (그림11)에 나타내었다<sup>[3]</sup>.

$$P_e(\gamma) = \frac{P_e}{1 - P_r} \tag{8}$$

$$\eta(\gamma) = \frac{k'}{n'}(1 - P_r) = \frac{k'}{n'}(1 - p)^n \tag{9}$$

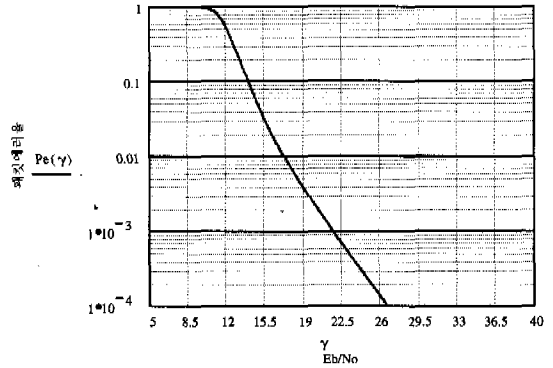
이때  $P_e \leq 2^{-(n-k)}[1 + (1-2p)^n - 2(1-p)^n]$ ,

$$P_r = 1 - P_c - P_e, P_c = (1-p)^n,$$

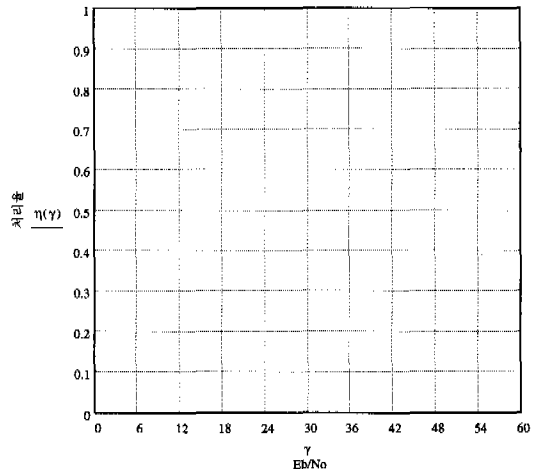
$p = \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{n}{k'}}} \right]$  을 이용한다. 그리고 사

용되는 기호에서  $p$ 는 채널의 비트 에러율,  $P_e$ 는 수신된 패킷이 검출 불가능한 에러패킷을 포함할 확률,  $P_r$ 은 수신된 패킷이 검출가능한 에러패킷을 포함할 확률( $P_r < 1$ ),  $P_c$ 은 수신된 패킷이 error-free 일 확률,  $n$ 은 에러검출코드의 총 비트수(400 bit +

9 bit),  $k$ 는 에러검출코드의 정보비트수(400 bit),  $n'$ 는 코딩된 무선 ATM셀의 총 비트수(432 bit + 9 bit),  $k'$ 는 ATM셀의 페이로드 비트수(384 bit)를 말한다.



(a) SR ARQ방식의 패킷에러율



(b) SR ARQ방식의 처리율

그림 11. SR ARQ기법의 성능

2.2 Type I Hybrid ARQ기법

(SR ARQ + FEC/ED)

Hybrid ARQ기법은 Type I과 TYPE II가 있으며 Type I Hybrid 방식중에서도 2개의 코드를 사용하는 시스템의 성능을 분석하기로 하며 패킷에러율과 처리율로 평가한다. 패킷 에러율 및 처리율은 2개의 코드를 사용하는 경우에 식 (10), 식 (11)과 같이 유도된다<sup>[3]</sup>.

$$P_e(\gamma) = \frac{P_{de}P_e}{1 - P_{de}P_r} \tag{10}$$



$$\eta(\gamma) = \left(\frac{k'}{n'}\right)(1 - P_r, P_{de}) \quad (식11)$$

이 기호들간의 관계식은

$$P_r = 1 - P_e - P_c, \quad P_c \geq (1 - p_{be})^{n_1}, \quad P_{de} \leq 1 - P_c, \\ P_e \leq 2^{-(n_1-k)} [1 + (1 - 2p_{be})^{n_1} - 2(1 - p_{be})^{n_1}],$$

$$p = \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{n_2}{k\gamma}}} \right], \quad p_{be} \leq \sum_{d=d_{min}}^{\infty} a_d P(d) \text{를 만족}$$

한다. 이 때  $d_{free}$ 는 free distance이고  $a_d$ 는 weight spectra이며  $P(d)$ 는 식 (12)와 같다.

$$P(d) = \sum_{j=\frac{d-1}{2}}^{\frac{d}{2}} \binom{d}{j} p^j (1-p)^{d-j} \quad (d : odd) \quad (12a)$$

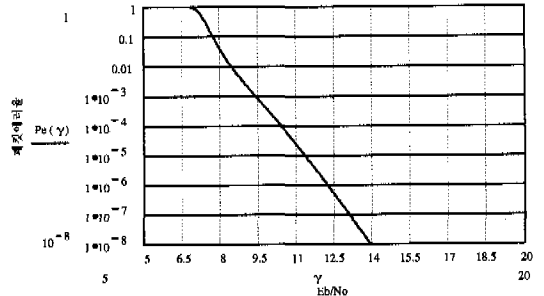
$$\sum_{j=\frac{d}{2}+1}^{\frac{d}{2}} \binom{d}{j} p^j (1-p)^{d-j} + \frac{1}{2} \binom{d}{d/2} (p(1-p))^{d/2} \quad (12b) \\ (d : even)$$

계산을 간략히 하기 위하여  $p_{be}$  ( $M=4$  인 경우)  $\leq 1/2(7D^7 + 39D^8 + 104D^9 + 352D^{10})^{(9)}$ ,  $D = 2\sqrt{\frac{p(1-p)}{M-1}} + \left[\frac{M-2}{M-1}\right]p$ 를 이용하여 패킷 에러율 및 처리율을 구한다. 사용된 각 기호의 경우  $p_{be}$ 는 convolutional 코드의 비트에러율,  $P_{de}$ 는 convolutional 코드의 디코더 에러확률,  $P_e$ 는 수신된 패킷이 검출 불가능한 에러패킷을 포함할 확률,  $P_r$ 은 수신된 패킷이 검출 가능하나 정정 가능하지 못한 에러패턴을 포함할 확률(재전송요구),  $P_c$ 는 수신된 패킷이 error-free이거나 정정 가능한 에러패턴일 확률,  $n_1$ 은 ED코드의 총 비트수(400 bit + 9 bit),  $n_2$ 는 FEC코드( $r = 1/2$ , 구속장 = 7)의 총 비트수(400 bit + 9 bit + 409 bit),  $n'$ 는 코딩된 무선 ATM셀의 총 비트수(432 bit + 9 bit + 409 bit),  $k'$ 는 무선 ATM셀의 페이로드 비트수(384 bit),  $A_j$ 은 무게  $j$ 의 코드워드 수,  $k$ 는  $k' + 16$  비트이다. 이와 같은 조건에서 패킷 에러율과 처리율은 (그림 12)와 같다.

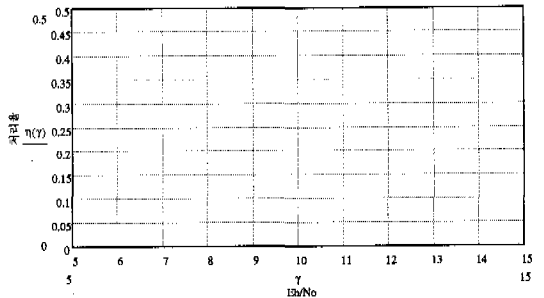
Type I Hybrid ARQ 기법은 채널의 품질이 열악한 경우에 처리율 성능이 떨어지는 단점을 갖고 있는데, 이를 개선하기 위한 적응형 type I Hybrid ARQ 기법은 실시간으로 채널의 BER을 측정하여 채널 상태정보에 따라 최적의 코드율을 선택, 항상 최대 처리율을 얻을 수 있다.

적응형 Type I Hybrid ARQ 기법에서는 (그림13)과 같이 코드  $C_1$ (외부코드)은 블록코드  $(n, k)$ 를 이

용하며 에러검출기능을 수행하고, 코드  $C_2$ (내부코드)는 punctured 콘벌루션 코드를 이용하며 메모리 차수(구속장)는  $\nu$ , 코드율은  $R=(b-1)/b$ 로 에러정정기능을 수행한다. 처리율은 식 (13)과 같으며 코드율에 따른 분석결과는 (그림14)에 나타내었다.



(a) 패킷에러율



(b) Type I Hybrid ARQ기법의 처리율

그림 12. Type I Hybrid ARQ기법의 처리율

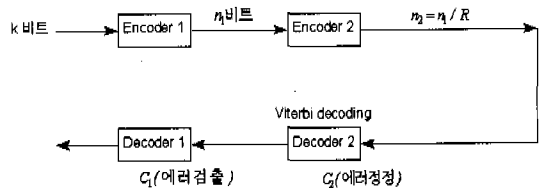


그림 13. 적응형 Type-I Hybrid ARQ 시스템

$$\eta = \frac{\text{정보비트의 평균수}}{\text{전송된 채널비트수}} = \frac{k'}{n'} (1 - P_r, P_{de}) \\ = \frac{k'}{\frac{n_1}{R} + 32} (1 - P_r, P_{de}) \\ = \frac{384R}{409 + 32R} (1 - P_r, P_{de}) \\ = \frac{384R}{409 + 32R} [1 - (1 - P_c - P_e)(1 - P_c)] \quad (13)$$

이때

$$P_c \geq [1 - P_{be}]^{n_1},$$

$$P_e \leq 2^{-(n_1-k)} [1 + (1 - 2P_{be})^{n_1} - 2(1 - P_{be})^{n_1}],$$

$$P_{be} \leq \sum_{d=1}^{\infty} a_d P(d), \quad p = \frac{1}{2} \left[ 1 - \sqrt{1 + \frac{n_1/R}{k\gamma}} \right],$$

$P_r = 1 - P_e - P_c$ ,  $P_{de} \leq 1 - P_c$ 를 이용하며 특히  $P(d)$ 는 식 (12)를 이용한다<sup>(7)</sup>. 사용된 각 기호의 경우  $k$ 는 페이로드의 비트수로 384 비트,  $k$ 는 페이로드와 압축된 ATM 셀 헤더의 비트수로 400 비트,  $\nu$ 는 7,  $n_1$ 은 코드  $C_1$ 의 출력 비트수로  $k + 9$ ,  $R$ 은 콘벌루션 코드의 코드율(7/8, 6/7, 5/6, 4/5, 3/4, 2/3, 1/2),  $n_2$ 는 코드  $C_2$ 의 출력 비트수로  $n_1/R$ ,  $n'$ 는 코딩된 무선 ATM셀의 총 비트수로  $n_2 + 32$ 를 의미한다. (그림14)는 채널의 상태에 따라 코드율을 변경하면 처리율을 향상시킬 수 있다는 결과를 보여준다. 즉 채널의 BER값이 수시로 변하는 경우에 채널의 BER상태에 따라 부호율을 바꾸어 주면 최대의 처리율을 얻을 수 있다는 것을 입증하는 결과이다.

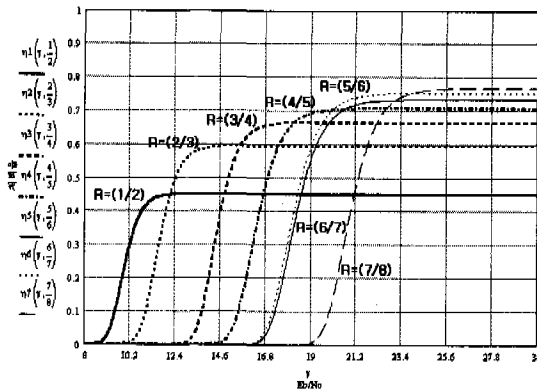


그림 14. 적응형 type I hybrid ARQ 기법의 처리율

2.3 결과검토

패킷에러율의 경우 SR ARQ기법은  $E_b/N_0=12, 20, 30, 40$  dB에서 각각 0.996, 0.371,  $5.422 \times 10^{-3}$ ,  $5.451 \times 10^{-5}$  이며 신호대 잡음비가 증가할수록 패킷 에러율이 감소하나 <표1>의 CLR 서비스 요구조건을 만족시키기 위해서는 신호대 잡음비가 40dB정도 되어야 한다. Hybrid Type-I ARQ기법은  $E_b/N_0=12, 13, 15$  dB일 때 각각  $1.8 \times 10^{-6}$ ,  $1.245 \times 10^{-7}$ ,  $5.403 \times 10^{-10}$ 이며 신호대 잡음비가 증가할수록 패킷 에러율이 감소하고  $E_b/N_0=12$  dB에서 <표1>의 CLR 서비스 요구조건을 만족시킨다.

처리율의 경우 SR ARQ기법은  $E_b/N_0=11, 18$  dB에서 각각  $3.206 \times 10^{-4}$ , 0.169이고  $E_b/N_0=27$  dB에서는 0.707로  $E_b/N_0$ 가 증가하면 처리율이 증가하나,  $E_b/N_0$ 가 계속 증가해도 처리율은 0.9이하의 값으로 유지된다. Type I Hybrid ARQ기법은  $E_b/N_0=9, 10, 11, 13, 15$  dB일 때 각각 0.171, 0.352, 0.429, 0.451, 0.452가 되며 신호대 잡음비가 계속 증가해도 처리율은 0.5이하의 값을 유지한다. 이는 코드율이 1/2인 콘벌루션 코드를 사용한 결과이며 요구되는 패킷 에러율을 유지하면서 처리율을 높이기 위해서는 (그림14)의 결과에서 보여주듯이 적응형 type I Hybrid ARQ기법을 이용하면 코드율이 7/8인 경우에  $E_b/N_0=30$  dB에서 처리율이 0.769로 증가한다. 결국 각 기법들간 최대 처리율의 차이는 코드율에 의존한다고 할 수 있다.

V. 맺음말

본 논문에서는 접속노드와 무선링크로 구성되는 무선 ATM접속망의 성능을 셀 손실을 측면에서 검토하였으며 특히 무선 링크의 전송성능을 개선하기 위해 VBR 트래픽에 적합한 ARQ와 Hybrid ARQ 등의 오류제어 기법을 적용, 성능개선효과를 확인하였다. 결론적으로 ATM기술을 무선통신에 적용하는 경우에 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널 특성, 전력제한, FEC(Forward Error Correcting) 코드의 디코딩 어려움, 무선환경에서 발생하는 버스트 에러의 영향으로 랜덤 비트에러의 유선환경에서 보다 상당한 전송성능 열화가 필연적이므로 전송성능을 개선시킬 수 있는 기법들이 적용되어야 할 것이다. 앞으로 CLR외에 CER(Cell Error Rate), CDV(Cell Delay Variation), 버퍼용량, 전달 지연 및 호손율등의 QoS를 추가로 고려하여 종합적인 연구가 수행될 것이다.

참고문헌

[1] S. Ramseier, "ATM over Satellite : Analysis of ATM QoS Parameters," Proc. of ICC'95, Vol. 3, pp. 1562-1566, 1995  
 [2] S. Agnelli, "Transmission of Framed ATM Cell Streams over Satellite : A Field Experiment," Proc. of ICC'95, Vol. 3, pp. 1567-1571, 1995  
 [3] Stephen B. Wicker, "Error Control Systems

