

# 무선 ATM 네트워크에서 신뢰성 있는 멀티캐스트를 위한 하이브리드 ARQ 방법

정희원 김 선 명\*, 조 영 중\*\*

## Hybrid ARQ Scheme for Reliable Multicast in Wireless ATM Networks

Sun-myeong Kim\*, Young-jong Cho\*\* *Regular Members*

### 요 약

일반적으로 유니캐스트(Unicast) 환경에서는 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장하기 위해 ARQ 방법이 사용된다. 그러나 수신 단말 수가 많은 멀티캐스트 환경에는 확장하기가 쉽지 않다. 셀 손실의 비상관성으로 인해 재전송 효율을 감소시키기 때문이다. 이런 경우에는 블록 코드를 사용하여 서로 다른 수신 단말에서의 독립적인 셀 손실에 따른 영향을 크게 줄일 수 있다. 본 논문에서는 무선 ATM 네트워크에서 여러 수신 단말에게 신뢰성 있는 멀티캐스트 데이터 전송을 보장하기 위해 블록 코드를 사용한 ESMC(Early Stop Multicast) 방법을 제안하고 성능 분석을 한다. ESMC 방법은 원래의 데이터를  $m$ 개의 셀을 갖는 여러 개의 블록으로 나눈 후 각 블록을  $k$  ( $k > m$ )개의 셀로 인코딩한다. 그리고 무선 채널을 통해 멀티캐스트 수신 단말에게 인코딩된 셀을 전송한다. 한 블록의 전송은 모든 수신 단말이  $k$ 개의 셀 중에서  $m$ 개 이상의 셀을 에러없이 수신할 때까지 계속된다. 무선 채널에서 발생한 에러로 인해 셀 손실이 많을 때는 ARQ 방법을 사용해서 손실된 셀을 재전송한다. 제안한 방법을 수학적으로 분석한 결과와 AWGN(Additive White Gaussian Noise), 레일리(Rayleigh) 채널 환경에서 모의 실험을 통해 얻은 결과를 비교 분석하였다.

### ABSTRACT

In general, ARQ techniques are used in a unicast environment to guarantee reliable data delivery. However, they do not scale well to the multicast environment where large numbers of receivers reside, since uncorrelation of cell losses reduces the effectiveness of retransmissions. In such cases, erasure codes can be used to reduce the effects of independent cell losses among receivers. In this paper, we propose a simple and effective hybrid ARQ scheme, which we shall refer to as the ESMC(Early Stop Multicast) scheme that uses erasure codes to guarantee reliable data delivery to a group of receivers in wireless ATM networks. In this scheme, source data are segmented into a number of blocks, each with  $m$  cells, then encoded into  $k$  ( $k > m$ ) cells. The encoded cells are transmitted to the multicast receivers over wireless channels. The transmission of one block may be finished as long as all multicast receivers succeed to receive more than  $m$  out of the  $k$  cells correctly. And ARQ techniques are used for retransmitting the corrupted cells, when numerous cell losses are occurred by errors in wireless environments. In particular, efficiency has been derived analytically and compared with investigated efficiency by means of simulations in AWGN(Additive White Gaussian Noise) and Rayleigh fading channels.

### 1. 서론

멀티캐스트는 하나의 전송단에서 수많은 수신 단

말에게 데이터를 전송하기에 효율적인 방법이다. 멀티캐스트는 네트워크에 있는 모든 수신 단말에게 전송하는 브로드캐스트(Broadcast)나 각각의 수신

\* 아주대학교 정보통신공학과(mimir@madang.ajou.ac.kr), \*\* 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 (yjcho@madang.ajou.ac.kr)

논문번호 : K01215-1020, 접수일자 : 2001년 10월 20일

※본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호:97-0100-14-01-5)에 의해 수행되었음.

단말에게 전송하는 유니캐스트보다 네트워크와 시스템의 비용이 적게 들어간다. 멀티미디어 회의, 온라인 게임과 같은 응용은 QoS(Quality of Service)의 보장과 멀티캐스트 통신을 필요로 한다. 앞으로의 네트워크는 수많은 이동 수신 단말을 포함할 것이다. 그러므로 수신 단말의 이동 환경에서 사용자가 요구하는 QoS를 보장할 수 있는 네트워크가 필요하다.

무선 ATM은 무선 환경에서 다양한 QoS 요구를 갖는 여러 가지 타입의 트래픽을 지원하기 위해서 유선 ATM 네트워크를 무선 구간까지 확장한 네트워크이다. 그러나 무선 ATM 채널은 유선 ATM에서 사용하는 광 링크와 달리 페이딩, 다중경로, 간섭의 영향으로 인해 에러율이 높고 변화도 다양하다. 또한 대역폭 자원에도 제한을 받는다. 에러 특성과 대역폭의 제한으로 인해 발생하는 손상으로부터 ATM 네트워크 계층을 분리시키기 위해 무선 ATM 네트워크에서는 에러 제어를 할 수 있는 데이터 링크 프로토콜이 필요하다. 무선 채널 환경에서 신뢰성을 향상시키기 위해 두 가지 에러 제어 방법이 많이 사용된다. FEC(Forward Error Correction)와 ARQ(Automatic Retransmission reQuest), 또는 두 방법을 같이 사용하는 것이다.

본 논문에서는 무선 ATM 네트워크에서 에러 정정, 에러 검출, 셀 복구와 ARQ 방법을 사용하여 신뢰성 있는 멀티캐스트를 제공하는 ESMC(Early Stop Multicast) 방법을 다룬다. ESMC 방법은 최근 많이 연구되고 있는 블록 코드를 이용한 멀티캐스트 방법<sup>13,14,15,16</sup>으로 블록 코드를 이용하여 유니캐스트 환경에서 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 제안된 HMEC(Hybrid Multilevel Error Control)<sup>9,10</sup> 방법을 멀티캐스트 환경에 적용시킨 방법이다. HMEC 방법의 주 동작원리는 다음과 같다. 전송단에서 전송될 데이터는  $m$ 개의 셀을 갖는 여러 개의 블록으로 나누어진다. 그리고 RS(Reed Solomon) 블록 코드<sup>11</sup>를 사용하여  $k$  ( $k > m$ )개의 셀로 인코딩된다. 에러 검출을 위한 CRC와 에러 정정을 위한 FEC 비트가 추가되고 수신 단말에게 전송된다. 수신 단말은 에러 없는  $m$ 개의 셀을 수신하면 원래의 데이터 블록을 복구할 수 있다. 수신 단말에서 한 블록의 손상된 셀의 수가  $k-m$ 개 이상이면 에러없는  $m$ 개의 셀을 수신할 때까지 손실된 셀을 재전송하기 위해 변경된 "Early Stop" ARQ 방법을 사용한다. 수신 단말이  $m$ 개 이상의 에러없는 셀을 수신하면 전송단이 현 블록의 셀을 더 이상 전송하

지 않고 다음 블록의 셀을 전송하도록 피드백 채널을 통해 전송단에 "Stop Sending" 시그널링을 전송한다. 전송단은 "Stop Sending" 시그널링을 수신하면 현 블록에 해당하는 셀의 전송을 멈추고 다음 블록의 셀을 전송한다. 이 방법은 버스트(Burst) 에러로 인한 셀의 재전송 가능성을 줄일 수 있다. 그러므로 낮은 채널 에러율에서는 패리티 셀이 전송되지 않기 때문에 네트워크의 대역폭과 전송 전력을 절약할 수 있다. 그리고 ARQ의 재전송으로 인해 발생하는 전송 지연을 줄일 수 있다.

HMEC 방법을 신뢰성 있는 데이터 전송을 요구하는 멀티캐스트 환경에 적용하기 위해서는 확장성 문제를 해결해야 한다. 컴퓨터 네트워크에서 신뢰성 있는 멀티캐스트에 대한 기존 접근은 손실된 셀에 대해 재전송을 하는 방법이다. 수신 단말 수가 많아질 때 발생하는 확장성 문제는 재전송의 부하를 공유하기 위해서 단말들의 트리를 구성하거나 피드백 폭주를 피하는 방법들을 사용함으로써 해결한다<sup>8</sup>. 확장성 문제를 해결하기 위해서 ESMC 방법은 리더 선정 방법을 사용한다<sup>16</sup>. 멀티캐스트 수신 단말 중에서 한 단말을 리더로 선정한다. 리더로 선정된 단말은 수신한 셀에 에러가 검출되면 어떤 신호도 전송하지 않는다. 리더가 아닌 일반 수신 단말은 수신한 셀에서 에러가 검출되면 NACK 신호를 전송하여 리더가 에러없이 수신할 때 전송한 ACK 신호와 충돌이 발생하게 함으로써 전송단에 ACK 신호가 전송되지 않게 한다. 전송단은 ACK 신호를 받지 못하기 때문에 하나 이상의 수신 단말이 에러가 발생한 셀을 수신한 것을 알 수 있다. 수신 단말의 ACK와 NACK 신호는 전송단으로부터 셀을 수신한 즉시 전송한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 제안하는 ESMC 방법의 동작원리에 대해서 설명한다. III장에서는 수학적 성능 분석을 하고 수치적 결과와 모의 실험을 통한 결과는 IV장에서 나타내고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. ESMC (Early Stop Multicast) 방법

ESMC 방법은 신뢰성 있는 멀티캐스트 데이터를 수많은 수신 단말에게 전달하기 위한 하이브리드 FEC+ARQ 프로토콜이다. ESMC 방법에서 FEC는 에러가 발생한 셀에 대해 에러 정정을 수행함으로써 수신 단말이 전송하는 피드백을 줄이기 위해서 사용된다. 그리고 ARQ는 FEC 방법으로 에러 정정

을 할 수 없어서 에러가 발생한 셀을 재전송하기 위해서 사용된다. 본 논문에서 제안하는 ESMC 방법은 유니캐스트 환경에서 제안된 HMEC 방법<sup>19,10</sup>을 멀티캐스트 환경에 적용시킨 방법으로 동작원리는 다음과 같다.

1. HMEC(Hybrid Multilevel Error Control) 방법

셀 전송과정은 그림 1에 나타난 시스템 모델을 따라서 실행된다. 원 데이터는  $m$ 개의 ATM 셀을 갖는 여러 개의 블록으로 나뉜다.  $m$ 개의 ATM 셀은 RS(Reed Solomon) 블록 코딩 방법<sup>11</sup>을 이용하여  $k$  ( $k > m$ )개의 셀로 인코딩된다. 즉, 무선 채널에서의 셀 손실을 허용하기 위해  $k-m$ 개의 패리티 셀이 생성되고 블록에 추가된다. 그리고 수신 단말에게 전송되기 전에 각 셀에 에러 검출과 에러 정정을 위해 추가적인 비트가 더해진다. 추가적인 비트를 위해 CRC(Cyclic Redundancy Checksum) 코드와 RS 코드 또는 BCH(Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) 코드가 사용된다.

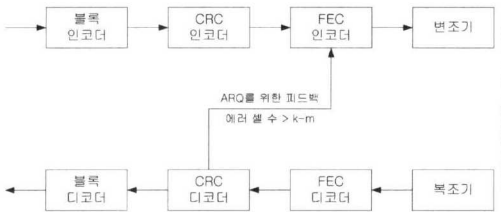
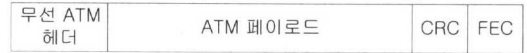


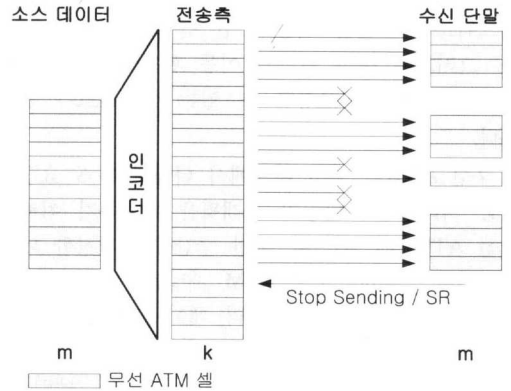
그림 1. ARQ 방법을 위한 시스템 모델

그림 2(a)에 무선 ATM의 프레임 구조를 나타냈다<sup>3,4,12</sup>. 무선 ATM 헤더는 ARQ를 위한 순서 번호와 ATM 헤더의 정보를 포함하고 있다. 그리고 여러 개의 ATM 페이로드가 한 프레임에 포함될 수 있다. 본 논문에서는 한 프레임에 하나의 ATM 페이로드가 포함된다고 가정한다. 그러므로 프레임과 셀의 의미를 구분하지 않는다.

HMEC 방법에서 중요한 점은 한 블록에서 정정할 수 없는 에러 셀의 수가  $k-m$ 개 이상이면 원래 데이터는 RS 블록 코딩 방법을 사용하여 복구할 수 없다는 것이다. 블록을 복구하기 위해 블록 전체를 재전송하는 것은 무선 채널의 효율을 감소시킨다. 그러므로 한 블록의 원래 데이터를 재구성하기에 충분한  $m$ 개의 에러없는 셀을 수신할 때까지 에러가 발생한 셀을 재전송하기 위해 ARQ 프로토콜이 필요하다. ARQ 프로토콜은 네트워크의 신뢰성



(a). 무선 ATM 셀 구조



(b). "Early Stop" ARQ 방법을 이용한 HMEC  
(a). HMEC with "Early-Stop" ARQ

그림 2. 무선 ATM 네트워크에서 HMEC의 동작원리

을 향상시키고 무선 채널의 에러율이 높을 때 효율을 증가시킨다. 반면에 블록 전송이 끝나기 전에 수신한 셀의 수가 원래 데이터를 재구성하기에 충분하면 전송단 버퍼에 저장된 현 블록의 남은 셀에 대한 계속적인 전송은 사용자의 자원과 네트워크의 대역폭을 낭비하게 된다. 즉, 네트워크 효율의 감소를 야기한다. HMEC 방법은 수신 단말이  $m$ 개의 에러없는 셀을 수신하자마자 전송단에서 더 이상의 셀 전송이 없도록 전송단에 "Stop Sending" 시그널링을 전송하는 방법을 사용한다. 전송단이 "Stop Sending" 시그널링을 수신했을 경우 버퍼에 저장된 현 블록의 남은 셀은 바로 폐기한다. 이 과정을 그림 2(b)에 나타냈다. "Stop Sending" 시그널링의 사용은 HMEC 방법을 낮은 채널 에러율에서 기존 FEC+ARQ 방법보다 더 좋은 효율을 이룰 수 있게 한다. 또한 넓은 범위의 채널 에러율에서도 높은 효율을 유지할 수 있게 한다. 그러므로 HMEC 방법은 채널의 에러율이 높거나 낮은 경우에도 네트워크의 신뢰성과 효율을 향상시키기 위해 동적으로 채널 특성에 적응할 수 있다.

위에서 언급한 것처럼 HMEC 방법은 잡음과 페이딩을 갖는 무선 채널 환경에서의 에러를 정정하기 위해 에러 정정 코드를 사용한다. 그리고 수신한 셀의 에러를 검출하기 위해 에러 검출 코드를 사용한다. 두 단계의 처리과정을 거친 후 다음 단계에서 셀의 재전송을 요구하거나 셀의 복구를 실행한다.

## 2. 피드백 채널

멀티캐스트 환경에서 여러 수신 단말이 피드백 채널을 이용하기 위한 여러 가지 방법이 연구되어 왔다. 모든 수신 단말이 피드백 채널을 따로 갖는 방법<sup>[2,16]</sup>과 모든 수신 단말이 하나의 피드백 채널을 이용하는 방법<sup>[6,7]</sup>이 있다. 본 논문에서는 피드백 채널 수를 최대한 줄이면서 필요한 모든 피드백 정보를 전송단에 전달하기 위해서 두 개의 피드백 채널을 사용한다. 즉, ARQ 피드백 채널과 ES(Early Stop) 피드백 채널이다. ARQ 피드백 채널은 수신 단말이 수신한 셀에 대해서 에러 정정과 에러 검출을 한 후 ACK/NACK 신호를 전송하는 채널이다. 그리고 ES 피드백 채널은 수신 단말이  $m$ 개의 에러없는 셀을 수신하면 현재 전송중인 블록의 셀을 전송단에서 더 이상 전송하지 않게 하기 위해 "Stop Sending" 시그널링을 전송하는 채널이다.

## 3. 전송단 동작 원리

전송단의 전송 과정은 HMEC 방법과 동일하다. 그러나 HMEC 방법을 멀티캐스트 환경에 적용시키기 위해 약간의 기능을 추가해야 한다. 추가된 기능을 살펴보면 다음과 같다.

ARQ 피드백 채널을 통해서 ACK 신호를 수신한 셀은 전송단 버퍼에서 삭제하고 ACK 신호를 수신하지 못한 셀은 삭제하지 않고 버퍼에 저장한다. 재전송을 할 경우에는 버퍼에 저장되어 있는 셀로 SR>Selective Repeat) ARQ 방법을 이용하여 재전송한다. 재전송은 모든 단말이 에러 없는 서로 다른  $m$ 개의 셀을 수신할 때까지 계속한다. 그리고 ES 피드백 채널을 통해서 "Stop Sending" 시그널링을 수신하면 현재 전송하고 있는 블록의 셀들은 버퍼에서 삭제하고 새로운 블록의 셀들을 전송한다.

## 4. 수신단 동작 원리

수신단에서는 많은 수신 단말의 ACK/NACK 및 "Stop Sending" 시그널링을 피드백 채널을 통해서 전송단에 정확히 전달하기 위해서 수신 단말중에서 리더를 선정하는 방법을 사용한다<sup>[6]</sup>. 본 논문에서 사용되는 수신 단말은 두 종류로 구분된다. 즉, 리더 수신 단말과 일반 수신 단말이다. 리더를 선정하는 방법은 여러 가지가 제안되어 있으나 본 논문에서는 수신 단말중에서 임의 선정하는 방법을 사용한다. 리더 수신 단말은 수신한 셀에 대한 ACK와 "Stop Sending" 시그널링을 전송하는 단말이다. 그리고 일반 수신 단말은 수신한 셀에 따라서 일정한

타임 슬롯에 NACK와 재밍 패킷을 전송하는 단말이다.

리더 수신 단말의 동작 원리는 다음과 같다. 새로운 셀을 수신하면 RS 또는 BCH 코드를 이용한 에러 정정과 CRC를 이용한 에러 검출을 한다. 에러 검출 결과 에러가 검출되지 않으면 ARQ 피드백 채널을 통해서 수신한 셀에 대해 ACK 신호를 전송한다. 그리고 에러가 검출되면 수신한 셀은 폐기하고 어떤 신호도 전송하지 않는다. 만약 현재 전송중인 블록 중에서 이전에 에러없이 수신한 셀과 같은 순서 번호를 갖는 셀을 수신하면(중복 수신) 에러 검출 결과와 상관없이 ARQ 피드백 채널을 통해서 ACK 신호를 전송한다.  $m$ 개 이상의 에러없는 셀을 수신했을 경우에는 ES 피드백 채널을 통해 "Stop Sending" 시그널링을 전송한다. 이 시그널링은 새로운 블록의 셀을 수신할 때까지 계속 전송한다.

일반 수신 단말의 동작 원리는 다음과 같다. 새로운 셀을 수신하면 리더 수신 단말과 마찬가지로 에러 정정과 에러 검출을 한다. 에러 검출 결과 에러가 검출되지 않으면 리더 수신 단말과는 달리 ARQ 피드백 채널을 통해서 어떤 신호도 전송하지 않는다. 그리고 에러가 검출되면 수신한 셀은 폐기하고 ARQ 피드백 채널을 통해 NACK 신호를 전송한다. 만약 현재 전송중인 블록 중에서 이전에 에러없이 수신한 셀과 같은 순서 번호를 갖는 셀을 수신하면(중복 수신) 에러 검출 결과와 상관없이 ARQ 피드백 채널을 통해서 어떤 신호도 전송하지 않는다. ES 피드백 채널을 통해서 재밍 패킷을 계속 전송하다  $m$ 개 이상의 에러없는 셀을 수신했을 경우에는 어떤 신호도 전송하지 않으므로써 리더 수신 단말이 전송한 "Stop Sending" 시그널링이 전송단에 전달되게 한다.

수신단에서 리더와 일반 수신 단말 두 종류로 구분함으로써 모든 수신 단말이 한 셀을 에러없이 수신하였을 경우에는 ARQ 피드백 채널을 통해서 전송단에 ACK 신호가 전달되게 하고 어느 한 수신 단말에서라도 에러가 검출되면 NACK 신호가 전달되게 하거나 어떤 신호도 전달되지 않게 함으로써 전송단은 전송한 셀에 대해 모든 수신 단말이 에러없이 수신했는지를 알 수 있다. 그리고 ES 피드백 채널을 통해서 어느 한 수신 단말이라도  $m$ 개의 에러없는 셀을 수신하지 못하면 "Stop Sending" 시그널링이 전달되지 않고 모든 수신 단말이  $m$ 개 이상의 에러없는 셀을 수신한 경우에만 "Stop Sending" 시그널링이 전송단에 전달되게 함으로써

전송단이 현재 전송중인 블록의 전송 완료 시점과 다음 블록의 전송 시작 시점을 알 수 있게 할 수 있다.

### III. 성능분석

시스템 성능을 평가하는데 있어 가장 중요한 요소 중의 하나가 효율(Efficiency)이다. ESMC 방법은 데이터 셀에 패리티 셀을 추가함으로써 시스템의 신뢰성을 향상시킨다. 그러나 패리티 셀은 데이터 셀의 오버헤드이고 시스템의 효율을 감소시킨다.

ESMC 방법의 효율을 분석하기 위해서 채널은 BER(Bit Error Rate)이  $\epsilon$ 인 랜덤 에러를 갖는 BSC(Binary Symmetric Channel) 이고 피드백 채널은 에러 없는 채널로 가정한다.

프레임 길이가  $n$  비트일 때,  $t$  비트 에러를 정정할 수 있는 프레임의 에러 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{errc} = 1 - \sum_{j=0}^t \binom{n}{j} \epsilon^j (1-\epsilon)^{n-j} \quad (1)$$

일반적으로 한 셀에서 검출할 수 없는 에러 확률 ( $P_{ud}$ )은 강력한 에러 검출 코드를 사용함으로써 매우 작게 할 수 있다. 그러므로 수신 단말이 한 셀을 에러없이 수신할 확률은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_{ac} = P_{ud} + (1 - P_{errc}) \approx 1 - P_{errc} \\ = \sum_{j=0}^t \binom{n}{j} \epsilon^j (1-\epsilon)^{n-j} \quad (2)$$

본 논문에서 효율은 데이터 비트 수와 이 데이터 비트를 모든 수신 단말에게 에러없이 전달하기 위해 전송된 총 비트 수의 비로 나타낸다. ESMC 방법의 효율 ( $\eta$ )을 표현하면 다음과 같다.

$$\eta = \frac{m}{E[T]} \left( \frac{l}{n} \right) \quad (3)$$

여기서  $E[T]$ 는  $R$ 개의 수신 단말이  $m$ 개의 데이터 셀을 에러없이 수신할 때까지 전송된 총 셀 수이다.  $n$ 은 CRC와 FEC 비트를 포함한 한 셀의 비트 수이고  $l$ 은 한 셀에 포함된 데이터 비트 수이다.

총 전송 셀 수 ( $E[T]$ )는 재전송이 일어나기 전

에 전송단에서 전송한 평균 전송 셀 수 ( $T_k$ )와 전송단에서  $k$ 개의 셀을 전송할 때까지  $R$ 개의 수신 단말 중  $m$ 개 이상의 에러 없는 셀을 수신하지 못한 수신 단말로 인해 재전송을 할 경우의 재전송된 평균 셀 수 ( $T_r$ )의 합이다.

$$E[T] = T_k + T_r \quad (4)$$

재전송 전에 전송된 평균 전송 셀 수 ( $T_k$ )는 부수 이항 분포(Negative Binomial Distribution)를 사용하여 유도할 수 있다.

수신 단말이 한 셀을 정확히 수신할 확률  $P_{ac}$ 을 갖고 에러없이 수신한 셀은 서로 독립적이라고 할 수 있다. 하나의 데이터 블록은  $m$ 개의 서로 다른 셀을 수신함으로써 재구성될 수 있다.  $X_i$ 를 임의의 한 수신 단말이 에러 없는  $m$ 개의 셀을 수신하기 위해 필요한 총 셀 수라 하면  $X_i$ 는 파라미터 ( $m, P_{ac}$ )를 갖는 부수 이항 랜덤 변수이고 PMF(Probability Mass Function)은 다음과 같다.

$$P\{X_i = x\} = \binom{x-1}{m-1} P_{ac}^m (1 - P_{ac})^{x-m} \quad (5)$$

$x = m, m+1, \dots$ 는  $m$ 개의 셀을 수신할 때까지 전송된 셀 수이다. 식(5)를 이용하여  $x$ 개의 셀 전송으로 모든 수신 단말이 에러 없는  $m$ 개의 셀을 수신할 확률 ( $f_{X_i}(R, x)$ )과  $x$ 개의 셀을 전송할 때까지 에러 없는  $m$ 개의 셀을 수신하지 못한 수신 단말이 있을 확률 ( $F_r(R, x)$ )을 구하면 아래 식 (6), (7)과 같다<sup>11</sup>. 즉,  $f_{X_i}(R, x)$ 는  $R$ 개의 수신 단말 중  $r$ 개 이상의 단말이  $x$ 번째 전송에서 에러 없는  $m$ 개의 셀을 수신하고 나머지 단말 ( $R-r$ )은  $x$ 번째 이전에  $m$ 개의 셀을 수신할 확률이고  $F_r(R, x)$ 은  $r$ 개 이상의 단말은  $x$ 번째 전송까지 에러 없는  $m$ 개의 셀을 수신하고 나머지 단말 ( $R-r$ )은  $m$ 개의 셀을 수신하지 못할 확률이다.

$$f_{X_i}(R, x) = \sum_{j=r}^R \binom{R}{j} (P\{X_i = x\})^j (F(x-1))^{R-j} \quad (6)$$

$$F_r(R, x) = \sum_{j=r}^R \binom{R}{j} (F(x))^j (1 - F(x))^{R-j} \quad (7)$$

$$\text{단, } F(x) = \sum_{j=0}^x P\{X_i=j\}$$

재전송하기 전의 평균 전송 셀 수 ( $T_k$ )는 식(6), (7)을 이용하여 구할 수 있다. 그리고 전송단에서  $k$ 개의 셀을 전송할 확률은  $k$ 개의 셀을 전송할 때 모든 수신 단말이 에러 없는  $m$ 개의 셀을 수신할 확률과 에러 없는  $m$ 개의 셀을 수신하지 못한 수신 단말로 인해 재전송이 일어날 확률의 합이다.

$$\begin{aligned} T_k &= \sum_{i=m}^k i f_{X_i}(R, i) + k(1 - F_R(R, k)) \\ &= \sum_{i=m}^k i f_{X_i}(R, i) + \\ &\quad k \left( 1 - \left( \sum_{j=0}^k P\{X_i=j\} \right)^R \right) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서  $(1 - F_R(R, k))$ 은  $R$ 개의 수신 단말 중  $k$ 개의 셀을 전송할 때까지  $m$ 개의 셀을 수신하지 못한 수신 단말로 인해 재전송이 일어날 확률이다.

재전송에 의해 전송된 평균 셀 수 ( $T_r$ )를 일반적인 확률변수의 평균을 구하는 식으로 나타내면 다음과 같다. 즉, 확률변수의 값에 대응하는 확률을 곱한 값의 모든 합이다.

$$T_r = \sum_{i=1}^H \frac{w_i}{H} c_i \quad (9)$$

여기서  $H$ 는 일어날 수 있는 모든 경우의 수이고  $w_i (i=1, 2, \dots, H)$ 는 기대하는 것이 일어나는 경우의 수이다. 그러므로  $\frac{w_i}{H}$ 는 기대하는 것이 일어날 확률이다. 그리고  $c_i$ 는 기대하는 것이 취하는 값이다.

$N$ 개의 수신 단말이  $L$ 개의 셀에 대해 재전송을 요구할 때 재전송이 요구된 각 셀에 대해 몇 개의 수신 단말이 재전송을 요구했는지에 대한 분포를 나타낼 경우 나타낼 수 있는 모든 경우의 수 ( $T_o(N, L)$ )는 식(10)과 같다. 즉, 식(9)에서  $H$ 에 해당된다. 한 셀에 대해 재전송을 요구할 수 있는 최대 수신 단말 수는  $N$ 개다. 즉, 재전송을 요구한 모든 수신 단말이 같은 셀을 정확히 수신하지 못해 재전송을 요구하는 경우이다. 그리고 최대 재전송되어야 하는 서로 다른 셀 수는  $m$ 개다. 즉, 하나 이상의 수신 단말이  $k$ 개의 셀 중에서 에러없이 수신한 셀이 하나도 없는 경우이다.

$$T_o(N, L) =$$

$$\begin{aligned} &\sum_{i_1=0}^{b_1} (1 + \sum_{i_2=0}^{b_2} (1 + \sum_{i_3=0}^{b_3} (1 + \dots \\ &+ \sum_{i_{z-1}=0}^{b_{z-1}} (1 + \sum_{i_z=0}^{b_z} 1))) \dots)) \\ &- \sum_{i_1=0}^{d_1} (1 + \sum_{i_2=0}^{d_2} (1 + \sum_{i_3=0}^{d_3} (1 + \dots \\ &+ \sum_{i_{z-1}=0}^{d_{z-1}} (1 + \sum_{i_z=0}^{d_z} 1))) \dots)) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{단, } b_j &= \min(N, L - \sum_{s=1}^{j-1} i_s) \\ d_j &= \min(N, L - 1 - \sum_{s=1}^{j-1} i_s) \\ z &= \min(m, L) \end{aligned}$$

식(10)의 첫 번째 항목은 재전송이 요구된 셀의 수가 0에서  $z$ 개까지 모든 범위에 대해서 모든 경우의 수를 구한 것이다. 그리고 두 번째 항목에서 0에서  $(z-1)$ 개까지 범위에 대해 모든 경우의 수를 구한 후 첫 번째 항목에서 뺄으로써 재전송이 요구된 셀의 수가  $z$ 개일 경우에 대해서만 모든 경우의 수를 구한다.

그림 3은  $N=2, L=3$ 이고 블록 코드 파라미터가 ( $k=10, m=5$ )일 때 각 셀의 재전송을 요구한 수신 단말의 수에 대한 분포를 나타낸 예이다. 그림 3에서 경우의 수 1에 대해 살펴보면 재전송 셀1은 재전송을 요구한 수신 단말이 하나도 없고 재전송 셀2는 하나의 수신 단말이 재전송을 요구하고 재전

재전송 셀	1	2	3
경우의 수 1	(0)	(1)	(2)
경우의 수 2	(0)	(2)	(1)
경우의 수 3	(1)	(0)	(2)
경우의 수 4	(1)	(1)	(1)
경우의 수 5	(1)	(2)	(0)
경우의 수 6	(2)	(0)	(1)
경우의 수 7	(2)	(1)	(0)

( ) : 재전송을 요구한 단말 수

그림 3. 재전송을 요구한 수신 단말 수에 대한 분포

송 셀3은 두 개의 수신 단말이 재전송을 요구하는 경우이다. 경우의 수2는 재전송 셀1은 재전송을 요구한 수신 단말이 없고 재전송 셀2는 두 개의 수신 단말이 재전송을 요구하고 재전송 셀3은 한 개의 수신 단말이 재전송을 요구하는 경우이다. 나머지 경우의 수에 대해서도 마찬가지로이다. 각 셀의 재전송을 요구한 수신 단말의 수에 대한 분포는 모두 7 가지이다. 그러므로  $T_o(2,3)$ 은 7이다.

$Y_i$ 를 에러 없는 셀을 수신할 확률이  $P_{ac}$ 일 때 임의의 한 수신 단말에게 한 개의 셀을 에러 없이 전송하기 위해 전송된 셀 수라 하면  $y$ 번째 전송에서 수신 단말이 정확히 수신할 확률은 다음과 같다.

$$P\{Y_i=y\} = P_{ac} (1 - P_{ac})^{y-1} \quad (11)$$

그리고  $u$ 개의 모든 수신 단말이 에러 없는 한 셀을 수신하기 위해 필요한 평균 전송 셀 수 ( $E[u, P_{ac}]$ )는 다음과 같다<sup>[2]</sup>.

$$\begin{aligned} E[u, P_{ac}] &= \sum_{j=1}^{\infty} jP\{Y=j\} \\ &= \sum_{j=1}^{\infty} jP\{\max_i [Y_i]=j\} \\ &= \sum_{j=0}^{\infty} [1 - P\{Y_i \leq j\}]^u \end{aligned} \quad (12)$$

단,  $P\{Y_i \leq y\} = \sum_{j=0}^y P\{Y_i=j\}$

기대하는 것이 일어나는 경우의 수와 기대하는 것이 취하는 값의 곱에 대한 모든 합 ( $T_s(N, L)$ )을 나타내면 식(13)과 같다. 즉, 식(9)에서  $\sum_{i=1}^H w_i c_i$ 에 해당된다. 그림 3에서 보는 것처럼 기대하는 것이 일어나는 경우의 수는 모두 한가지이다. 그러므로  $\sum_{i=1}^H w_i c_i$ 를 다시 표현하면  $\sum_{i=1}^H c_i$ 이다. 그리고  $c_i$ 는  $i$ 번째 경우의 수가 취하는 값으로 그림 3의 경우의 수 1에 대해 살펴보면 재전송 셀 1은 0개의 수신 단말에게, 재전송 셀 2는 1개의 수신단말에게 그리고 재전송 셀 3은 2개의 수신 단말에게 에러없이 전달하기 위해 필요한 평균 전송 셀 수의 합이다. 식(12)을 이용해서  $c_1$ 을 다시 표현하면  $(E[0, P_{ac}] + E[1, P_{ac}] + E[2, P_{ac}])$ 이다.  $c_2, c_3, \dots, c_H$ 도  $c_1$ 처럼 표현할 수 있다. 그래서  $T_s(N, L)$ 는 모든 경우의 수들의 평균 전송 셀 수의 합으로 표현될 수 있다. 식

(10)과 마찬가지로 한 셀에 대해 재전송을 요구할 수 있는 최대 수신 단말 수는  $N$ 개이고 최대 재전송 되어야 하는 서로 다른 셀 수는  $m$ 개다.

$$\begin{aligned} T_s(N, L) &= \sum_{i_1=0}^{b_1} (E[ i_1, P_{ac}] T_o(N, L - \sum_{s=1}^1 i_s) \\ &+ \sum_{i_2=0}^{b_2} (E[ i_2, P_{ac}] T_o(N, L - \sum_{s=1}^2 i_s) \\ &+ \sum_{i_3=0}^{b_3} (E[ i_3, P_{ac}] T_o(N, L - \sum_{s=1}^3 i_s) \\ &+ \dots \dots \dots \\ &+ \sum_{i_{z-1}=0}^{b_{z-1}} (E[ i_{z-1}, P_{ac}] T_o(N, L - \sum_{s=1}^{z-1} i_s) \\ &+ \sum_{i_z=0}^{b_z} E[ i_z, P_{ac}]) \dots \dots \dots)) \\ &- \sum_{i_1=0}^{d_1} (E[ i_1, P_{ac}] T_o(N, L - \sum_{s=1}^1 i_s) \\ &+ \sum_{i_2=0}^{d_2} (E[ i_2, P_{ac}] T_o(N, L - \sum_{s=1}^2 i_s) \\ &+ \sum_{i_3=0}^{d_3} (E[ i_3, P_{ac}] T_o(N, L - \sum_{s=1}^3 i_s) \\ &+ \dots \dots \dots \\ &+ \sum_{i_{z-1}=0}^{d_{z-1}} (E[ i_{z-1}, P_{ac}] T_o(N, L - \sum_{s=1}^{z-1} i_s) \\ &+ \sum_{i_z=0}^{d_z} E[ i_z, P_{ac}]) \dots \dots \dots)) \end{aligned} \quad (13)$$

단,  $b_j = \min(N, L - \sum_{s=1}^{j-1} i_s)$

$d_j = \min(N, L - 1 - \sum_{s=1}^{j-1} i_s)$

$z = \min(m, L)$

식(13)은 식(10)을 구한 것과 마찬가지로 첫 번째 항목은 재전송이 요구된 셀의 수가 0에서  $z$ 개까지 모든 범위에 대해서 모든 경우의 수들의 평균 전송 셀 수의 합을 구한 것이다. 그리고 두 번째 항목에서 0에서  $(z-1)$ 개까지 범위에 대해 모든 경우의 수들의 평균 전송 셀 수의 합을 구한 후 첫 번째 항목에서 빼으로써 재전송이 요구된 셀의 수가  $z$ 개 일 경우에 대해서만 모든 경우의 수들의 평균 전송 셀 수의 합을 구할 수 있다. 각 항목에서

$T_o(N, L - \sum_{s=1}^j i_s)$ 이 사용된 이유는 재전송이 요구된 셀을 순차적으로 놓았을 때 첫 번째 재전송 셀 부터  $j$ 번째 재전송 셀 까지 재전송을 요구한 수

신 단말의 수에 대한 분포가 같은 경우의 수가 몇 가지인지 계산하기 위해서이다. 예로 그림 3에서  $j=1$ 일 때는 첫 번째 셀에 대해 수신 단말 수가 0 개인 경우는 두 가지(경우의 수 1, 2)이고 1개인 경우는 세 가지(경우의 수 3, 4, 5), 2개인 경우는 두 가지(경우의 수 6, 7)이다. 그리고  $j=2$ 일 때 첫 번째 셀은 0개의 수신 단말이 그리고 두 번째 셀은 1개의 수신 단말이 재전송을 요구한 경우는 한가지(경우의 수 1)이다. 그리고 0개와 2개인 경우도 한가지(경우의 수 2)이다. 나머지 경우도 이와 마찬가지로 몇 가지의 경우의 수가 있는지를 알 수 있다. 그러므로 재전송 셀에서 수신 단말 수가 0인 경우(경우의 수 1, 2)의 평균 전송 셀 수의 합은  $(E[0, P_{ac}] \times 2 + E[1, P_{ac}] \times 1 + E[2, P_{ac}] \times 1 + E[2, P_{ac}] \times 1 + E[1, P_{ac}] \times 1)$ 이다. 재전송 셀에 대해 수신 단말 수가 1인 경우(경우의 수 3, 4, 5)와 2인 경우(경우의 수 6, 7)에 대해서도 구할 수 있다. 그리고 재전송 셀 1의 수신 단말 수가 0, 1, 2일 때 구한 각 평균 전송 셀 수의 합을 모두 더하면  $T_s(N, L)$  값을 계산할 수 있다. 그리고  $N, L$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$V_i$ 를 에러없는 한 셀을 수신할 확률이  $P_{ac}$ 일 때 임의의 한 수신 단말이 전송된  $k$ 개의 셀 중에서 에러없이 수신한 셀 수라 하면  $v$ 개를 수신할 확률은 다음과 같다.

$$P\{V_i=v\} = \binom{k}{v} P_{ac}^v (1 - P_{ac})^{k-v} \quad (14)$$

$L_i$ 를 임의의 한 수신 단말이  $k$ 개의 셀을 전송할 때까지  $x$  ( $x < m$ )개를 에러 없이 수신하여 재전송을 요구한 셀 수 ( $m-x$ )라 하면 요구된 재전송 셀이  $l$  개일 확률은 다음과 같다.

$$P\{L_i=l\} = \begin{cases} \left(1 - \sum_{j=0}^{m-1} P\{V_i=j\}\right), & l=0 \\ P\{V_i=m-l\}, & 1 \leq l \leq m \end{cases} \quad (15)$$

임의의 한 수신 단말이 요구한 평균 재전송 셀 수 ( $E[L_i]$ )는 다음과 같다.

$$E[L_i] = \sum_{j=0}^m j \cdot P\{L_i=m-j\} \quad (16)$$

그리고  $R$ 개의 모든 수신 단말이 요구한 총 재전송 셀 수 ( $L$ )는 다음과 같다<sup>[15]</sup>.

$$L = \sum_{i=1}^R E[L_i] \quad (17)$$

임의의 한 수신 단말이  $k$ 개의 셀을 전송할 때까지 정확한  $m$ 개의 셀을 수신하지 못하여 재전송을 요구할 확률 ( $P\{N_i\}$ )은 다음과 같다.

$$P\{N_i\} = 1 - P\{L_i=0\} \quad (18)$$

식(18)을 이용하여  $R$ 개의 수신 단말중 재전송을 요구한 평균 단말 수 ( $N$ )를 구하면 다음과 같다<sup>[15]</sup>.

$$\begin{aligned} N &= R \cdot P\{N_i\} \\ &= R(1 - P\{L_i=0\}) \\ &= R \sum_{j=0}^{m-1} P\{V_i=j\} \end{aligned} \quad (19)$$

식(17), (19)에서 구한 값을 식(10), (13)에 대입하고 얻은 값을 이용하여 재전송에 의해 전송된 평균 셀 수 ( $T_r$ )를 식(9)처럼 표현하면 다음과 같다.

$$T_r = T_s(N, L) / T_o(N, L) \quad (20)$$

식(8)과 식(20)에서 구한 값을 식(4)에 대입함으로써 모든 수신 단말이 에러없는  $m$ 개의 셀을 수신하기 위해 필요한 총 전송 셀 수를 구할 수 있다. 그리고 구한 총 전송 셀 수를 이용하여 식(3)의 효율을 구할 수 있다.

#### IV. 수치적 분석과 모의실험 결과

본 장에서는 무선 ATM 네트워크에서 많은 수신 단말에게 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 제안한 ESMC 방법의 성능 분석을 하기 위해 AWGN 채널 환경에서 분석한 수치적 결과와 AWGN과 레일리 채널 환경에서 모의 실험한 결과를 제시한다.

효율 분석을 위한 시스템 모델은 그림 1과 같은 절차를 따른다. 모의실험에서 에러 검출과 에러 정정을 위해 CRC-32와 BCH 코드를 사용하였다. BCH 코드는 일반적으로  $(n, k, t)$ 로 표현된다. 여기서  $n$ 은 BCH 인코딩을 한 후의 비트 수이고,  $k$ 는 한 셀의 데이터 비트 수이다. 그리고  $t$ 는 무선 채널을 통해 수신한 셀에서 수신 단말이 정정할 수 있는 비트 수를 나타낸다. 표 1은 BCH 코드 길이에 따른 에러 정정 비트 수를 보여준다. 본 논문에서는 456 비트(헤더-5바이트 + 페이로드-48바이트 + CRC-4바이트)를 갖는 하나의 ATM 셀에서 2비



표 1. BCH 코드 길이에 따른 에러 정정 비트 수

(n, k)	t
(511, 502)	1
(511, 493)	2
(511, 484)	3
(511, 475)	4
(511, 466)	5
(511, 457)	6

트 에러를 정정하기 위해 (511, 493) 코드를 단축시킨 (474, 456) 코드를 사용하였다. 변복조 방식은 BPSK(Binary Phase Shift Keying)를 사용하고 모든 수신 단말은 이상적인 동조 검출(Coherent Detection)을 한다고 가정하였다. 레일리 채널 환경에서 수신 단말의 이동 속도는 보행 속도(3km/h)이고 수신 신호의 각도가 25°인 도플러 효과(Doppler Effect)를 고려하였다. 그리고 무선 ATM의 헤더는 모든 수신 단말에게 에러없이 전달되고 피드백 채널을 통한 전송도 에러없이 전달된다고 가정하였다.

그림 4-7은 블록코드 파라미터가 (10, 5)일 때 AWGN 채널 환경에서 성능 분석한 결과를 보여준다. 그림 4, 5는 수신 단말 수(R)가 1, 10, 100일 때 SNR 값의 변화에 따른 데이터 셀을 모든 수신 단말에게 에러없이 전달하기 위해 전송된 총 전송 셀 수와 이 때의 효율을 수치적 결과와 모의 실험 결과를 보여준다. SNR 값이 낮아질수록 급격한 총 전송 셀 수의 증가와 효율의 감소를 볼 수 있다. 그러나 채널이 좋은 환경에서 뿐만 아니라 좋지 않은 환경에서도 수신 단말 수에 따른 총 전송 셀 수와 효율에서 큰 차이를 보이지 않는다. 그림 6, 7은 SNR 값이 8, 9, 10 (dB)일 때 수신 단말 수에 따

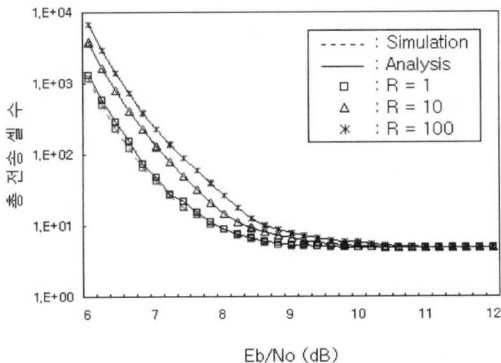


그림 4. AWGN 채널 환경에서 SNR에 따른 총 전송 셀 수

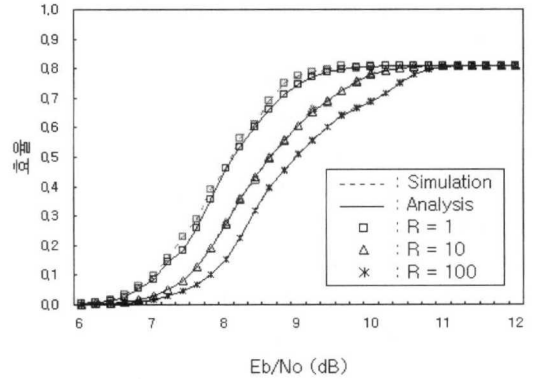


그림 5. AWGN 채널 환경에서 SNR에 따른 효율

른 총 전송 셀 수와 효율을 나타낸다. 그림 6, 7을 통해서 수신 단말 수가 한 개에서 20개까지는 총 전송 셀 수의 증가와 효율의 감소를 보이지만 20개 이상의 수신 단말에서는 차이가 거의 없음을 알 수

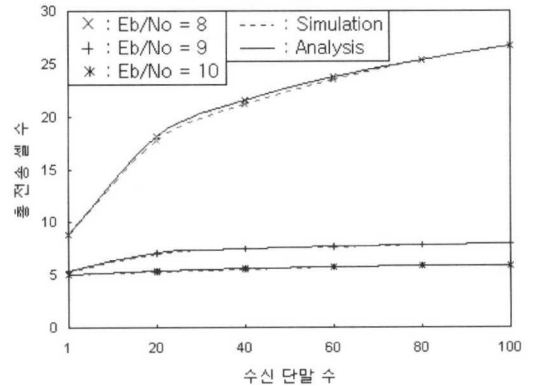


그림 6. AWGN 채널 환경에서 수신 단말 수에 따른 총 전송 셀 수

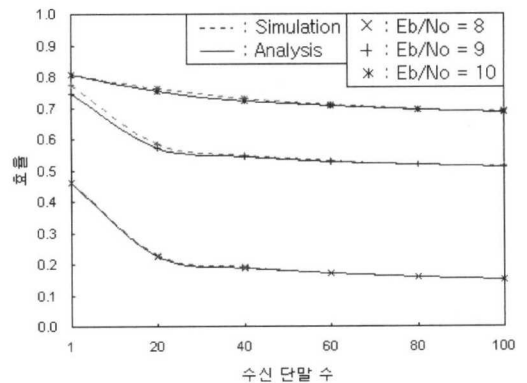


그림 7. AWGN 채널 환경에서 수신 단말 수에 따른 효율

있다. 그러므로 본 논문에서 제안하는 ESMC 방법은 수신 단말 수가 많은 멀티캐스트 그룹에 쉽게 확장할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그림 4, 5, 6, 7에서 보는 것처럼 수치적 결과와 모의 실험 결과는 수신 단말 수가 한 개일 경우에만 약간의 오차를 보일 뿐 단말 수가 많을 경우에는 거의 오차가 없음을 알 수 있다.

그림 8-11은 블록코드 파라미터가 (10, 5)일 때 레일리 채널 환경에서 모의 실험을 통해 얻은 성능 분석 결과를 보여준다. 그림 8, 9는 수신 단말 수 ( $R$ )가 1, 10, 100 일 때 SNR 값의 변화에 따른 전송된 총 전송 셀 수와 이 때의 효율을 나타낸다. 그림 8, 9에서 보여주는 결과를 그림 4, 5와 비교하면 비슷한 그래프 모양을 보여주고는 있으나 그림 4, 5에 비해 상대적으로 더 높은 SNR 값에서 급격한 총 전송 셀 수의 증가와 효율의 감소를 보여준다. 이는 AWGN 채널 환경에서의 비트 에러보다 레일리 채널 환경에서의 비트 에러가 버스트로 발생하기 때문이다. 그리고 AWGN 채널 환경에서와

마찬가지로 레일리 채널 환경에서도 수신 단말 수에 따른 총 전송 셀 수와 효율에서는 큰 차이를 보이지 않는다. 그림 10, 11은 SNR 값이 15, 18, 21 (dB)일 때 수신 단말수에 따른 총 전송 셀 수와 효율을 나타낸다. 그림 6, 7과 마찬가지로 단말 수가 한 개에서 20개까지는 총 전송 셀 수의 증가와 효율의 감소를 보이지만 20개 이상의 수신 단말에서는 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 그러므로 레일리 채널 환경에서도 ESMC 방법은 수신 단말 수가 많은 멀티캐스트 그룹에 쉽게 확장할 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 12는 수신 단말 수가 10일 때 블록 코드 파라미터 ( $k, m$ )와 비율 ( $\frac{m}{k}$ )에 따른 효율을 모의 실험 결과를 통해 보여주고 있다. 블록 크기 ( $k$ )가 같을 때 패리티 셀 수 ( $k-m$ )가 적을수록 효율이 더 빨리 감소함을 볼 수 있다. 그리고 비율이 같은 두 블록 크기 ( $k=10, m=5$ ), ( $k=100, m=50$ ) 또는 ( $k=10, m=8$ ), ( $k=100, m=80$ )를 비교하

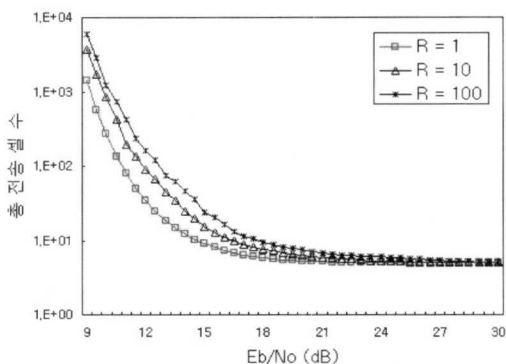


그림 8. 레일리 채널 환경에서 SNR에 따른 총 전송 셀 수

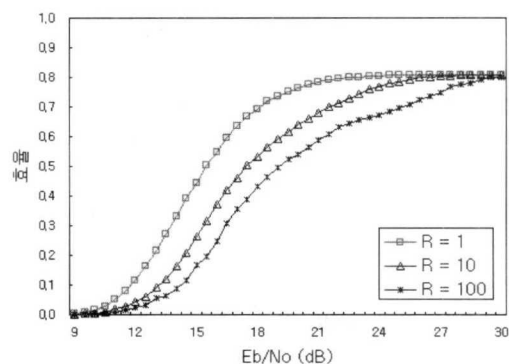


그림 9. 레일리 채널 환경에서 SNR에 따른 효율

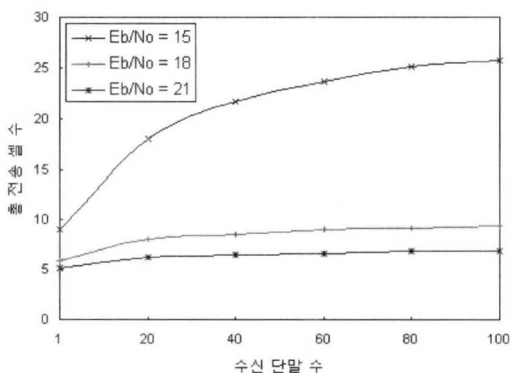


그림 10. 레일리 채널 환경에서 수신 단말 수에 따른 총 전송 셀 수

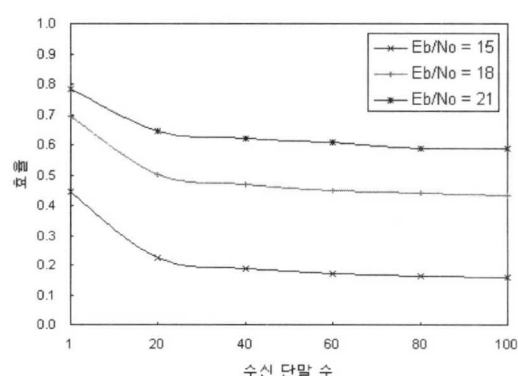


그림 11. 레일리 채널 환경에서 수신 단말 수에 따른 효율

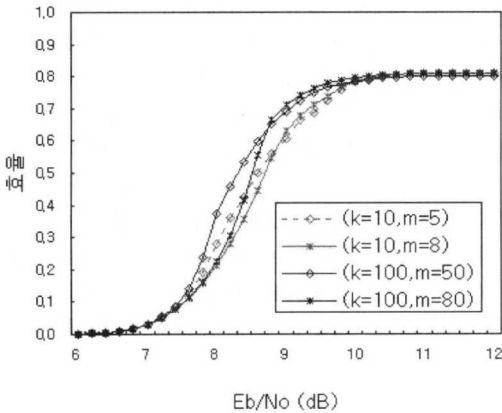


그림 12. AWGN 채널 환경에서 블록 코드 파라미터( $k, m$ )에 따른 효율

면 블록크기가 클수록 더 좋은 효율을 보여줄 수 있다. 그러므로 본 논문에서 제안하는 ESMC 방법은 데이터 셀의 크기 ( $m$ )가 클수록, 패리티 셀 수가 많을수록 더 좋은 효율을 얻을 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 무선 ATM 네트워크 환경에서 에러 검출, 에러 정정 그리고 "Early Stop"을 사용하는 셀 재전송 방법을 사용하여 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장하는 멀티캐스트 방법을 제안했다. 그리고 수치적 분석 및 AWGN과 레일리 페이딩 채널 환경에서의 모의 실험을 통해 성능 분석을 하였다. 성능 분석 결과 SNR 값이 낮은 채널 환경일수록 급격한 총 전송 셀 수의 증가와 효율의 감소를 보인다. 그러나 수신 단말 수에 따라서는 총 전송 셀 수와 효율에서 큰 차이를 보이지 않는다. 그리고 알맞은 블록 코드 파라미터 ( $k, m$ )를 선택함으로써 ESMC 방법은 다양한 채널 에러에서 셀의 재전송 확률을 낮추고 높은 효율을 유지할 수 있다. 결과적으로 수신 단말 수가 많은 멀티캐스트 환경에서도 신뢰성 있는 데이터 전송을 할 수 있다. 그러므로 ESMC 방법은 무선 ATM 네트워크의 멀티캐스트 환경에 적당하다.

### 참고 문헌

[1] H. A. David, "Order Statistics", John Wiley & Sons, 1970  
 [2] B. H. Deng, "Hybrid ARQ Schemes for Point-

to-Multipoint Communication Over Nonstationary Broadcast Channels", *IEEE Trans. Commu.*, vol.41, pp.1379-1387, September 1993

[3] I. Joe, "An Adaptive Hybrid ARQ Scheme with Concatenated FEC Codes for Wireless ATM", *MOBICOM'97*, pp.131-138, 1997  
 [4] J. B. Cain, D. N. McGregor, "A Recommended Error Control Architecture for ATM Networks with Wireless Links", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.15, no.1, pp.16-27, 1997  
 [5] J. Nonnenmacher, E. Biersack, D. Towsley, "Parity-Based Loss Recovery for Reliable Multicast Transmission", *ACM SIGCOMM '97*, pp.289-300, 1997  
 [6] J. Kuri, S. K. Kasera, "Reliable Multicast in Multi-access Wireless LANs", *INFOCOM '99*, pp.760-767, 1999  
 [7] J. Nonnenmacher, E. Biersack, "Optimal Multicast Feedback", *INFOCOM'98*, pp.964-971, 1998  
 [8] S. Floyd, V. Jacobson, S. McCanne, C. Liu, L. Zhang, "A reliable multicast framework for light-weight sessions and application level framing," *ACM SIGCOMM'95*, pp. 342-356, August 1995  
 [9] Q. L. Ding, "An Effective Hybrid Multilevel Error Control Scheme for Wireless ATM Networks", *IEEE GLOBECOM'98*, pp.1828-1833, 1998  
 [10] Q. L. Ding, H. Lin, "Throughput Analysis of A Hybrid Error Control with Early-Stop ARQ Scheme for Wireless ATM", *IEEE VTC'99*, pp.1859-1863, 1999  
 [11] L. Rizzo, "Effective Erasure Codes for Reliable Computer Communication Protocols", *ACM Computer Communication Review*, vol.27, n.2, pp.24-36, 1997  
 [12] I. F. Akyildiz, I. Joe, "A New ARQ Protocol for Wireless ATM Networks", *IEEE ICC'98*, pp.1109-1113, 1998  
 [13] L. Rizzo, L. Vicisano, "RMDP : An FEC-based Reliable Multicast protocol for wireless environments", *Mobile Computer and*

Communication Review v.2 n.2 April 1998

- [14] L. Rizzo, L. Vicisano, "A Reliable Multicast data Distribution Protocol based on software FEC techniques", *Proc. of the Fourth IEEE HPCS'97*, 1997
- [15] D. Rubenstein, J. Kurose, D. Towsley, "Real-Time Reliable Multicast Using Proactive Forward Error Correction", *IEEE NOSSDAV '98*, 1998
- [16] H. Djandji, "An Efficient Hybrid ARQ Protocol for Point-to-Multipoint Communication and Its Throughput Performance", *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol.48, no.5, pp.1688-1698, 1999

김 선 명(Sun-myeng Kim)

정회원



2000년 2월 : 아주대학교 정보  
및 컴퓨터공학부 졸업

2002년 2월 : 아주대학교 정보통신  
공학 석사

2002년 3월 ~ 현재 : 아주대학교  
정보통신공학과 박사과정

<주관심 분야> 유/무선 ATM, 차세대 인터넷, 컴퓨터 통신

조 영 중(Young-jong Cho)

정회원



1983년 2월 : 서울대학교 전자공  
학과 졸업

1985년 2월 : 한국과학기술원 전  
기 및 전자공학과 석사

1989년 2월 : 한국과학기술원 전  
기 및 전자공학과 박사

1991년 : 금성정보통신연구소 책  
임연구원

1993년 : 미국 AT&T Bell Lab 교환 연구원

1996년~현재 : 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 부교수

<주관심 분야> 광대역 통신, 유/무선 ATM, 큐잉시스  
템, 성능분석, 초고속 인터넷 장비 개발