

# 비동기 시스템 역방향 링크의 성능분석 및 패킷수신기에 관한 연구

성락주, 이문호

전북대학교 정보통신연구소

전북대학교 전자정보공학부 정보통신공학과

E-mail : dokkii@mdmc.chonbuk.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 비동기 방식 CDMA의 표준화 기관인 3GPP(3rd Generation Partnership Project) 규격에 의거 비동기 IMT-2000 역방향 링크의 Physical layer platform simulation을 수행하여 차세대 이동통신의 성능 분석 및 파라미터를 도출하였다. 역방향 링크의 성능은 채널 환경과 데이터 전송율, 채널 코딩 기법, 변복조 방식등에 의해 크게 좌우된다. 따라서, 광대역 채널 모델링과 ITU-R 평가 환경에 근거하여 데이터 전송율에 따른 시스템 성능과 채널 환경에 따른 시스템 성능, 터보 부호화에 따른 성능, 터보 인터리버 종류에 따른 성능 및 OCQPSK 변복조 방식에 따른 성능을 분석하여 비동기 방식 시스템의 기술적 근거 및 타당성을 제시하며 차세대 이동 통신 서비스의 전개 시기에 적절한 연구로서 활용될 수 있는 자료를 제시하였다.

## 방식의 경우

## 1. 서론

IMT-2000 시스템의 특성은 다양한 전파환경에서도 신뢰성 있는 접속 품질과 음성, 데이터, 영상서비스등의 다양한 서비스 제공이 가능한 광대역 무선 접속을 지원한다. 전세계적인 통화 영역을 형성하고 단말이 다수 망간에 무결한 로밍(roaming)이 가능하도록하며, 지상망과 위성망의 통합을 실현하여 전세계 어디서나 하나의 단말로 통화가 가능 하도록 한다. 또한, 이동 무선 통신 서비스의 통합 및 광대역 무선 데이터 서비스의 구현을 통한 궁극적인 멀티미디어 이동 통신의 실현을 목적으로 한다. 한편, IMT-2000 시스템의 규격은 미국 주도의 동기 방식(CDMA2000)과 유럽, 일본 주도의 비동기 방식(WCDMA)으로 나뉘어 있다. 국내에서는 기존 2세대(PCS)방식의 상용화를 통해 동기식 방식이 확대되어 있으나, 범세계적 이동통신의 시장 점유율로서는 비동기 방식이 주도가 될것으로 예측되기에 수출을 주도로 하는 국내 사업자들에게는 이 방식을 간과할 수 없는 상황이다. 또한, 동기

미국의 정지 위성인 GPS(Global Positioning System)를 사용하기 때문에 그동안 CDMA 방식을 사용하면서 불거졌던 로얄티 문제를 떠나 통신 속국으로 전략 할 수 있다는 문제점이 야기 되고 있는 실정이다. 따라서, 비동기 방식은 각 기지국의 동기 문제를 각각의 코드로 구별하기 때문에 복잡도 면에서 동기 방식보다는 크지만, 이러한 GPS를 사용하지 않기 때문에 더욱 매력을 느낄 수 있는 방식이라 할 수있다.

본 논문에서는 이러한 비동기 방식 시스템의 실현을 위하여 3GPP 규격의 Physical layer 역방향 링크의 구성 및 성능을 분석하였고, 2장에서는 비동기 시스템 역방향 링크의 기본 구조 및 패킷전송에 따른 프레임 구조, 시뮬레이터 구성 방식에 대한 설명을 넣었고, 3장에서는 ITU-R 채널 환경에 근거하여 광대역 채널 모델링에 대한 도식적인 설명과 시뮬레이션 분석 및 성능 평가를 하고, 4장에서 본 논문에 대한 결론을 맺도록 하였다.

## 2. 역방향 링크의 구조

### 2.1 채널 구조

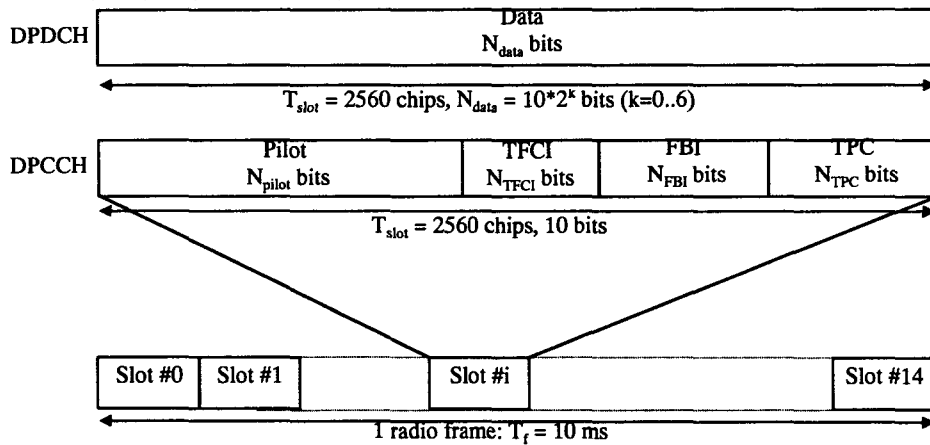
역방향 링크의 채널은 크게 전용 채널과 일반 채널로 구성되어 있는데, 일반채널은 동기 획득 과정에서 필요한 데이터 구조로 이루어져 있고, 전용 채널은 서비스하고자 하는 데이터를 보낼 때 사용되는 채널이다. 전용 채널은 다시 DPCCH(Dedicated Physical Control Channel)과 DPDCH(Dedicated Physical Data Channel)로 나누어진다. DPDCH가 궁극적인

데이터라면 DPCCH는 DPDCH에 대한 제어 정보를 포함하고 있다. DPDCH와 DPCCH의 프레임 구조는 [그림 1]과 같다.

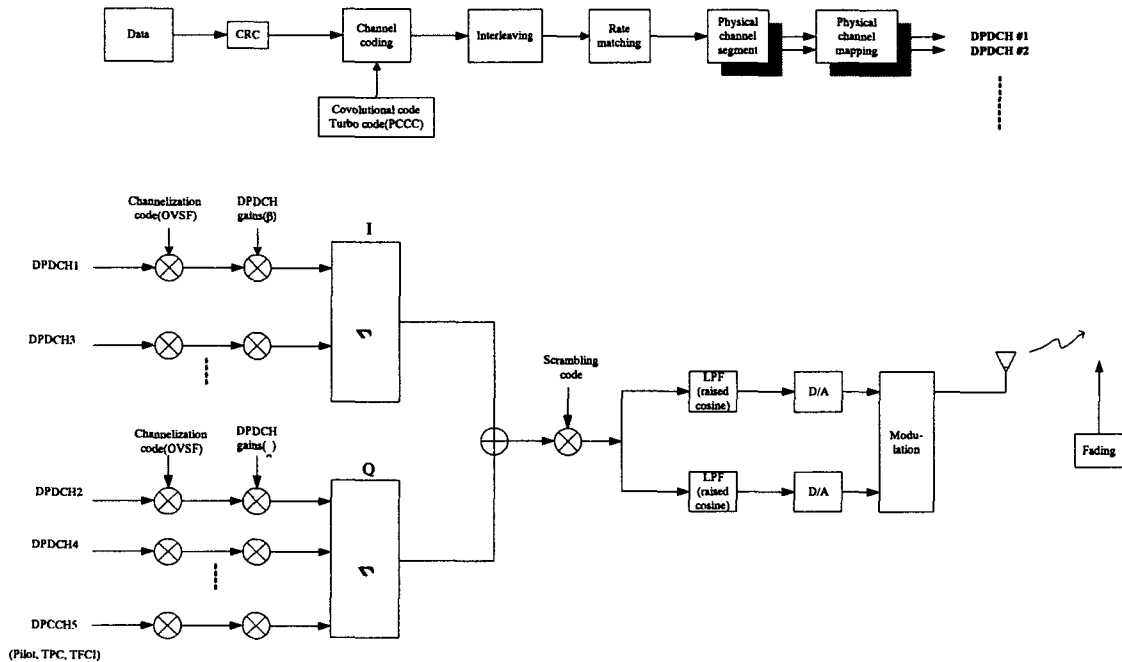
### 2.2 시스템 구조

역방향 링크의 시스템 구조는 크게 트랜스포트 채널과 물리채널로 나눌 수 있는데, 역방향 링크의 시스템을 [그림 2]에 도식화 하였다.

트랜스 포트 채널 과정에서는 원 데이터에



[그림 1] DPDCH와 DPCCH의 프레임 구조



[그림 2] 역방향링크의 전송 구조

CRC(Cyclic Redundancy Check)기법을 사용하여 트랜스 포트 블록에 대한 에러를 검출한다. CRC 첨가 비트는 24, 16, 12, 8비트로 각각의 생성다항식에 의해 구해지고, 각각의 트랜스 포트 채널에 따라 할당된다. CRC 비트가 첨가된 뒤, 데이터는 채널 코딩 과정을 거치게 된다. 채널 코딩에는 길쌈부호(Convolutional Coding)와 터보 부호(Turbo Coding) 두가지를 사용하게 되는데, 음성급 영역과 같이 저속의 데이터의 경우는 길쌈 부호를 사용하게 되고, 데이터와 이미지 영역과 같은 고속의 데이터인 경우는 터보 부호를 사용하게 된다. 길쌈부호와 터보부호가 사용되는 채널은 [표 1]과 같다.

[표 1] 채널 부호 구조와 부호율의 사용

Type of TrCH	Coding scheme	Coding rate
BCH	Convolutional coding	1/2
PCH		
RACH		
CPCH, DCH,	Turbo coding	1/3
DSCH, FACH	No coding	

길쌈 부호는 구속장(K)이 9이고, 부호율이 1/3, 1/2로 정의 되어 있다. 부호율이 1/3인 경

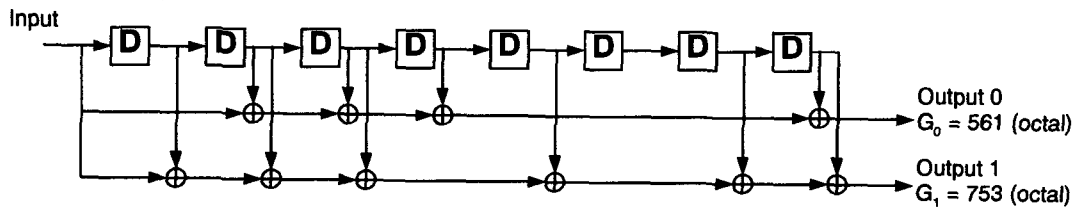
우 출력값은 output0, output1, output2, output0, output1, output2,.....의 패턴으로 출력되고, 부호율이 1/2인 경우는 output0, output1, output0, output1,.....의 패턴으로 출력된다. 터미네이션을 위해, 인코딩 되기 전 마지막 8비트는 '0'이 부가되고, 쉬프트 레지스터의 초기값은 모두 '0'으로 초기화 된다. 길쌈 부호의 구조가 [그림 3]에 나타나 있다.

터보 부호의 경우, 데이터 서비스를 위한 QoS(Quality of Service)는 BER(Bit Error Rate)이  $10^{-3}$ 과  $10^{-6}$  사이에 있어야 하는데, 이것을 만족하기 위해서 8상태를 가진 PCCC(Parallel Concatenated Convolutional Code)가 사용되어 진다.[3]. 8상태 PCCC의 초기값은 모두 '0'이며, 이것의 전송함수는

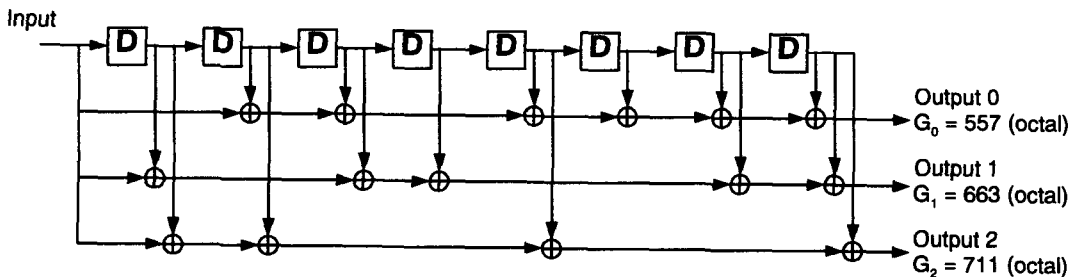
$$G(d) = [1, \frac{g_1(D)}{g_0(D)}] \text{ 이 고 ,}$$

$g_1(D) = 1 + D + D^3$ ,  $g_0 = 1 + D^2 + D^3$ 이다. 터보 부호의 인코더 구조는 [그림 4]와 같다.

[그림 4]에서 PCCC 출력은 1/3의 코드율이 적용되므로, X1, Z1, Z'1, X2, Z2, Z'2,...이며, 점선은 터미네이션을 위해 사용된다.[6][7].

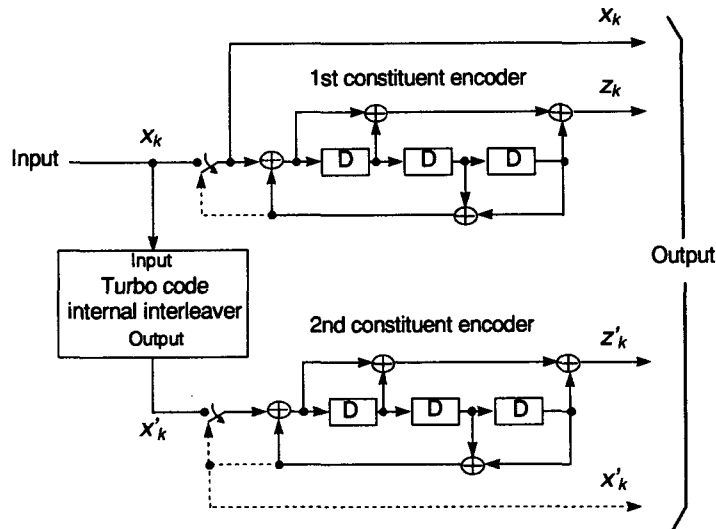


(a) 부호율 1/2 인 길쌈부호의 구조



(b) 부호율 1/3 인 길쌈부호의 구조

[그림 3] 부호율 1/2, 1/3인 길쌈부호의 구조



[그림 4] 8상태 PCCC 인코더의 구조

[표 2] DPDCH의 채널 구조

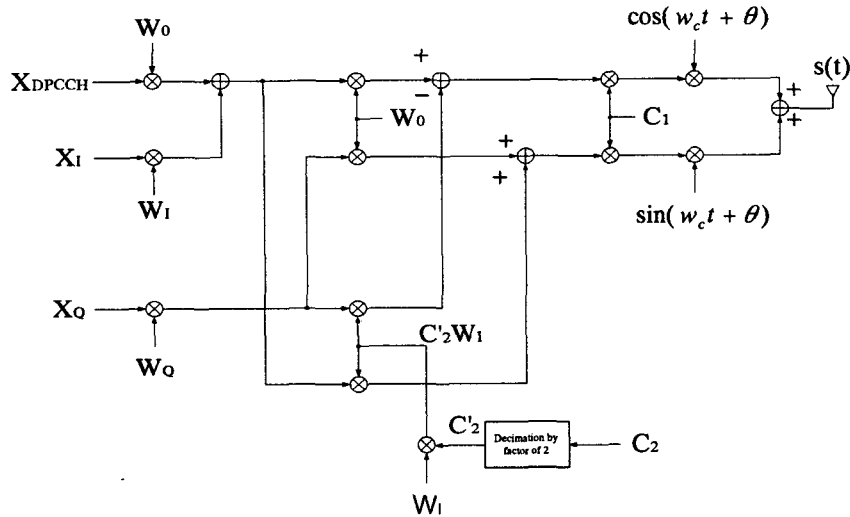
Slot Format #i	Channel Bit Rate (kbps)	Channel Symbol Rate (ksps)	SF	Bits/ Frame	Bits/ Slot	Ndata
1	15	15	256	150	10	10
2	30	30	128	300	20	20
3	60	60	64	600	40	40
4	120	120	32	1200	80	80
5	240	240	16	2400	160	160
6	480	480	8	4800	320	320
7	960	960	4	9600	640	640

터보 부호 내부에 사용되는 인터리빙 기법은 Mother Interleaver로써 블록 인터리버의 일종으로, 그 순서는 3단계로 구성되어 있다. 첫 번째 단계에서는 입력 비트열을 열단위로 쓰고, 두 번째 단계에서는 intra-row 단위로 데이터를 섞는다. 마지막 세 번째 단계에서는 inter-row 단위로 데이터를 섞으면 된다.[8].

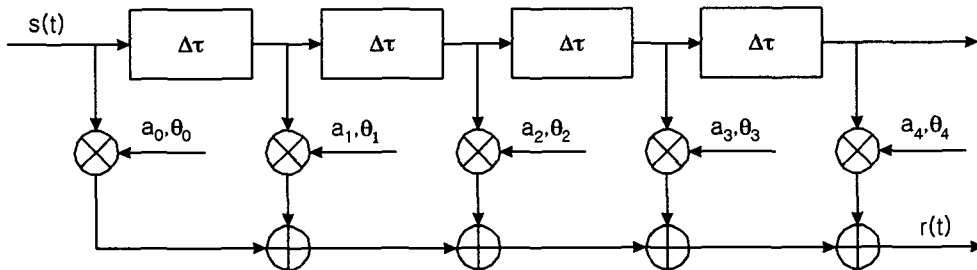
채널 코딩이 완료되면, 부호율에 따라 원데이터의 속도는 2배나 3배로 증가된 상태가 되고, 채널 인터리빙을 거치게 된다. 채널 인터리빙 기법에는 Intra 인터리빙과 Inter 인터리빙을

거치면서, 데이터의 웨이트를 커지게 만들어 준다. 인터리빙이 궁극적으로 사용되는 이유는 연집에러로부터 데이터의 손실을 최소화 시켜 주기 위해서이다. 채널 인터리빙을 거친 데이터는 Rate matching을 거치게 되는데, 여기서 각각의 프레임의 크기를 조정하게 된다.

DPDCH의 프레임 구조를 보면 프레임당 7가지의 비트가 정의 되어 있는데, Rate matching을 통하여 이러한 프레임 구조를 만들어 준다. Rate matching을 완료하면, 트랜스포트 채널 영역에서의 데이터를 물리채널 영



[그림 5] 두 채널에 대한 OCQPSK 변조 구조



[그림 6] 다중경로 페이딩 시뮬레이터

역으로 매핑을 하게 된다. 물리채널에서는 확산과 변조를 수행하게 된다. 확산은 각각의 프레임 크기에 따라 채널화 코드인 OVSF(Orthogonal Variable Spreading Factor) 코드를 곱하여 Long Code 규격인 38400chip 크기와 맞추어 주게 된다. 그림 2.2를 보면 OVSF 코드와 양자화 이득을 곱해주고, 스크램블링 코드 즉, long code를 곱해주는 것을 나타내고 있다. 그리고, BPSK 변조를 하면서도, I(Inphase) 와 Q(Quadrature)로 나눈 이유는 OCQPSK(Orthogonal Complex QPSK) 변조 방식을 적용하였기 때문이다.[9].

OCQPSK 변조 방식은 다중채널 구조에서 전력 불균형 문제를 해결하는 동시에 PAR을 감소시키는 방법이다. 이를 구현하는 방법은 가능한 매 칩 사이에 위상 천이가 180도가 일어나지 않도록 한다. 만약 위상 천이가 180도가 일어나면 진폭의 변이가 커지게 되어 PAR에 문제가 발생한다. 그러나 이러한 모든 칩들의 위상 천이에 제한을 둘 경우 확산 시퀀스의

자기 상관 관계특성에 문제가 생겨 한 칩 건너서 위상 천이에 제한을 두는 방법이 OCQPSK의 기본 아이디어이다. 이런 직교 회전은 두 개의 연속된 성상이 같은 위치에 위치하도록 짝수의 Walsh 코드를 사용하여 채널 구분을 하고 Walsh 회전자를 이용하여 확산함으로써 이루어진다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

모의 실험을 위하여 사용된 채널 환경은 AWGN 과 Rayleigh Fading Channel을 고려하였다. 이동 무선 채널의 충격응답은 일반적으로 지연이나 도플러 확산을 보인다. 지연확산은 주파수 선택적 페이딩의 영향을 가져오며 도플러 확산은 주파수 확산과 시간 선택적 페이딩을 가져온다. 동기 대역폭과 동기 시간은 전송되는 신호들을 평가하는데 사용될 수 있는 채널의 성질이다. 다중경로에 의한 페이딩 시뮬레이터로는 tapped delay FIR

filter를 이용한다.

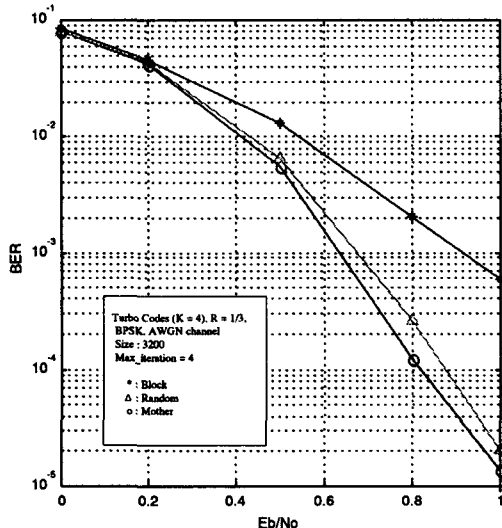
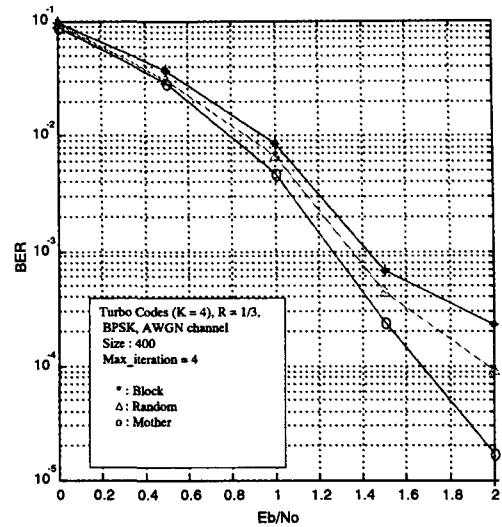
여기서  $\Delta\tau$  은 시간지연을 나타내고  $a_1, a_2, a_3, \dots$  는 경로세기를 나타내고  $\theta$ 는 각 경로의 위상값을 의미한다. 한편  $\theta$ 값은 신호가 반사체에 의해 불규칙하게 수신되기 때문에  $[0, 2\pi]$  사이에서 균일 분포를 갖는 것으로 가정한다. 따라서 이 값은 무시되어도 좋다. 경로세기(path strength)를 결정하는 많은 방법들이 있다.[1]

적용되는 채널 코드로서 터보 코드의 구속장은 4이고 모의 실험을 위한 프레임의 크기는 400, 3200이다. 그리고 사용된 인터리버의 크기는 프레임의 크기와 같도록 하였다. 본 연구에서 제안 방법을 적용한 모의 실험을 위한 주요 파라미터를 요약하면 다음과 같다.

[표 3] 성능분석을 위한 파라미터

구분	적용된 파라미터
변조 방식	BPSK(OCQPSK)
확산 부호	$2^{2n}-1$ Complex Gold Sequence
Channelization Code	OVSF Code
에러 정정 코드	R=1/3, K=3,4 Turbo Code
터보코드 내부 인터리버	블록, 랜덤, Mother 인터리버
채널 전송 속도	120kbps, 960kbps
Frame 길이	10msec
Chip Rate	3.84Mcps
Spreading Factor	$4 \sim 256$ (4 & 32)

### 3.1 AWGN 채널에서의 성능 분석



(a) 프레임 크기 400bit

(b) 프레임 크기 3200bit

[그림 7] AWGN 환경에서 터보코드의 인터리버에 따른 성능그래프.

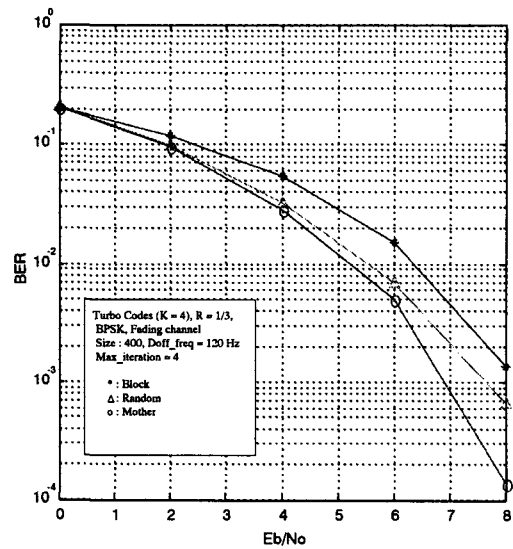
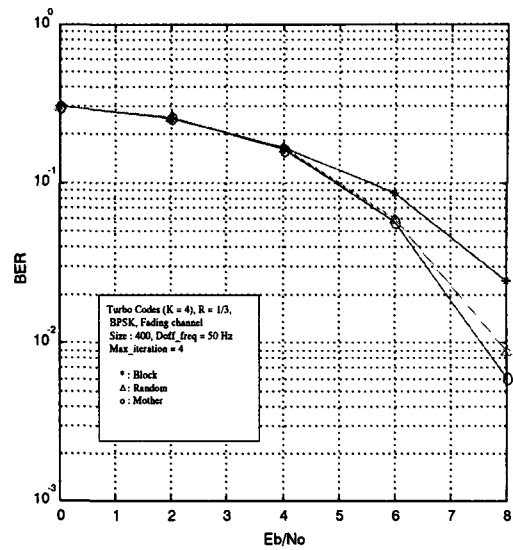
[그림 7]은 프레임 크기에 따른 인터리버 종류별로 구분하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 역방향 링크의 성능을 나타내고 있다. 성능 분석은 AWGN 채널에서 400, 3200 bit에서 수행되었으며 터보 코드의 구속장 ( $K$ ) = 4이며 부호율( $R$ )은 1/3로 고정하였다. 반복 복호수는 4회로 하였다. 그림에서 보는 바와 같이 블록 인터리버의 성능이 가장 떨어지고, Mother 인터리버가 우수함을 알 수 있으며, 그 사이에서 랜덤인터리버가 약간의 우열관계

를 보이고 있다. 블록 인터리버와 순수한 랜덤 인터리버의 성능은 예러 마루현상이 생기거나 Mother 인터리버는 신호잡음비( $E_b/N_0$ )가 증가함에 따라 성능이 향상됨을 알 수 있다. 한편, 자유거리란 '0' 부호어를 제외한 가능한 모든 부호어 무게 중 최소 해밍무게를 말한다. 좋은 성능을 갖는 터보 부호는 자유거리가 큰 것이다. 따라서 부호어의 거리 스펙트럼에 큰 영향을 미치는 인터리버는 터보 코드에서 매우 중요한 역할을 한다. 실험은 weight 2인 입력 열을 사용하였고 weight 2의 거리는 7k(k=1,2,3)를 수행한 결과이다. 정확한 분석을 위해서는 weight 3-5정도까지 모의실험해야 하나 많은 시간이 소모되고 대부분의 자유거리는 weight 2에서 나타날 확률이 높은 것으로 알려져 있다.

### 3.2 Rayleigh fading 채널에서의 성능 분석

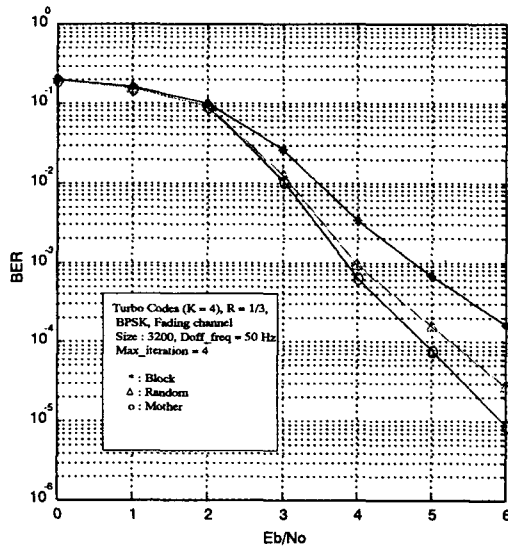
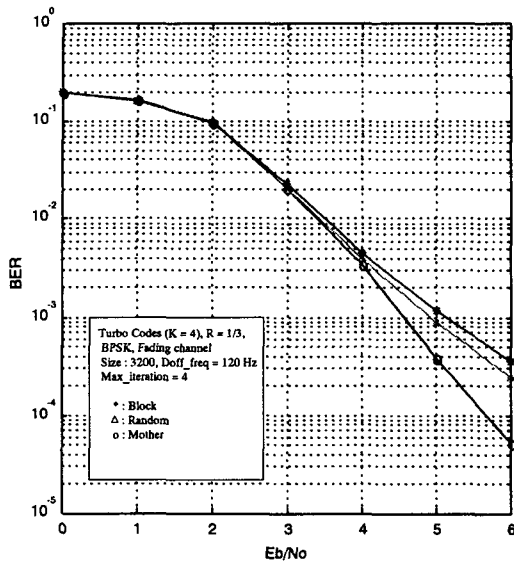
[그림 8] 과 [그림 9]의 성능 그래프에서는 터보 코드의 각 인터리버에 따른 페이딩 채널에서의 역방향 링크의 성능을 보여주고 있다. 또한, 도플러 주파수를 50Hz와 120Hz 두 경우를 가정하여 실험하였다. 도플러 주파수가 50Hz인 경우는 Slow 페이딩 채널 환경이 되고, 도플러 주파수 120Hz인 경우는 Fast 페이딩 채널 환경이 된다.

그림에서 보듯이 페이딩 채널에서도 AWGN 채널과 같이 Mother 인터리버가 우수한 성능을 나타내고 있음을 보여 주고 있다. 특히, 데이터 Rate이 증가 할수록 또한, 도플러 주파수가 높아질수록 Mother 인터리버의 성능이 월등히 우수함을 알 수 있다.



(a) 프레임 크기 400bit, 도플러주파수 50Hz  
(b) 프레임 크기 400bit, 도플러 주파수 120Hz

[그림 8] Rayleigh Fading channel 환경에서 터보코드의 인터리버에 따른 성능그래프.



(a) 3200bit, 도플러 주파수 50Hz  
 (b) 3200bit, 도플러 주파수 120Hz

[그림 9] Rayleigh Fading channel 환경에서 터보코드의 인터리버에 따른 성능그래프.

#### 4. 결론

본 논문에서는 차세대 이동통신 시스템으로 제안된 IMT-2000 시스템에서 역방향 링크의 성능을 분석하고자 링크레벨 시뮬레이션을 수

행하였다. 역방향 링크 과정에서는 원 데이터에 채널 코딩을 한 후 변조를 거쳐 페이딩 채널을 통과한 뒤 다시 복조 하는 구조로 구성했고, 각 데이터는 프레임 단위로 할당하여 패킷 전송의 효과를 나타내었다. 프레임당 비트수는 1200(원 데이터 400bit)과 9600(원 데이터 3200bit) 일 경우의 두 가지를 모델로 시뮬레이션을 수행하였고, 3GPP SPEC의 표준화된 내용에 부합 하고자 터보 부호와 OCQPSK 변복조, ITU-R 환경에 의거 페이딩 채널을 구성하였으며, 도플러 주파수의 계산값에 따라 보행자일 때와 주행중 일 때의 시뮬레이션을 포함하였다. 특히, 터보 부호의 성능을 좌우하는 요소인 내부 인터리버를 표준화된 Mother 인터리버 뿐만 아니라 블록, 랜덤 인터리버를 구성하여 각각의 인터리버에 따른 성능을 분석하였다.

#### 참고 문헌

- [1] 3GPP Technical Specification TS 25.211~215 Series. Status Oct. 1999
- [2] B. Sklar, "Rayleigh fading channels in mobile digital communication systems PartI: Characterization," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 136-146, September, 1997.
- [3] C. Berrou, A. Glavieux, P. Thitimajshima. "Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding : Turbo Codes," in ICC, pp. 1064-1070, 1993.
- [4] Jhong Sam Lee, Leonard E. Miller, CDMA Systems Engineering Handbook, Artech House Publishers, 1998
- [5] W. C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, Wiley-interscience, pp. 381, 1974.
- [6] Bahl, L, Cocke, J. Jelinek, F, and Raviv, J, "Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate," *IEEE Trans. on Info. Theory*, pp. 284-287, Mar. 1974.
- [7] S. Dolinar and D. Divsalar, "Weight



distributions for turbo codes using random and nonrandom permutation,"TDA progress Report 42-122, pp 56-65, August 15, 1995

[8] 진 익수의 3인 " 터보 부호의 인터리버 분석" ETRI 주간기술동향, 통권 905호, 1999.7

[9] 한 기철 "국제 표준에 제안된 OCQPSK 및 AiSMA 기술" 한국통신학회지, 제 16권 4호 1999.4

[10] Soonyoung Kim, Jinsu Chang, Moon Ho Lee, "A Low Delay Stop Criterion of Turbo Decoding", 2nd International Symposium On Turbo Codes, September 4~7, 2000, Brest, France.

[11] 이문호, 실용 디지털통신, 도서출판 영일, 1998.