

IMT-2000 시스템 순방향 링크의 Zero-delay Constant Gain  
채널추정 알고리즘의 성능 평가  
Performance Evaluation of the Channel Estimation of Zero-delay  
Constant Gain Algorithm for Forward Link in IMT-2000 System

구 제 길 (전 자 과)  
Je Gil Koo (Dept. of Electronics)

Key Words : IMT-2000, W-CDMA, Channel Estimation, Pilot Symbols, TPC

ABSTRACT : This paper presents the performance evaluation of channel estimation algorithm using zero-delay constant gain for W-CDMA forward link over multipath Rayleigh fading channels. By obtaining BER performance through computer simulations, the constant gain algorithm is compared with the existing WMSA algorithm. The channel structure, modulation and pilot patterns are applied to the ARIB (Association of Radio Industries and Business) and 3GPP (3rd Generation Partnership Project) ITU-R proposal for the IMT-2000. The BER performance of constant gain algorithm is similar to WMSA algorithm at wide range of Doppler frequencies except Doppler frequency 20Hz below. The constant gain algorithm has simple structure and no channel estimation delay so that it is concluded the more effective algorithm for TPC (Transmitter Power Control).

## 1. 서 론

차세대 이동통신의 W-CDMA 규격의 하나의 특징은 기존의 IS-95 비동기 시스템과는 달리 링크 용량을 증가시키기 위해서 순방향과 역방향 링크에서 모두 동기 복조방식을 채택하고 있다. 동기 복조를 위해서는 변조하지 않는 파일럿 신호를 이용하여 채널 변화를 추정한다. 파일럿 신호를 이용한 채널추정 방법은 별도의 채널을 할당한 파일럿 채널 방식과 슬롯 단위의 통화 채널이나 제어 채널 내에 데이터 심볼과 파일럿 심볼을 시간적으로 다중화시켜 전송하는 파일럿 심볼 방식으로 나눈다. W-CDMA 규격에서는 순방향과 역방향 링크에서 파일럿 심볼을 이용한 채널 구조를 채택하고 있다<sup>[5, 6]</sup>.

파일럿 심볼 구조의 채널 추정은 동기 복조를 위해 송.수신단에서 서로 알고 있는 파일럿 심볼을 데이터 심볼과 주기적으로 시분할 다중화하여 전송하고, 파일럿 심볼 구간의 채널 추정 값을 이용하여 데이터 심볼 구간의 채널 변화를 보상한다. 이와 같이 파일럿 심볼을 이용한 채널추정 연구는 S. Sampei 의 Low-order Gaussian Interpolation<sup>[1]</sup> 그리고 F. Adachi 의 WMSA (Weighted Multi-Slot Averaging)<sup>[2]</sup>와 파일럿 심볼과 채널을 이용한 Decision-Directed 방식<sup>[3, 4]</sup>등이 수행되었다.

본 논문에서는 Zero-delay Constant Gain 알고리즘 채널추정 알고리즘을 이용하여 파일럿 심볼 구조의 IMT-2000 시스템의 순방향 링크에서 P-CCPCH의 채널추정 성능을 Multipath Rayleigh Fading 채널환경에 따라 시뮬레이션을 통해 WMSA(K=2) 알고리즘 성능과 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 1 장의 서론에 이어서, 2 장에서는 채널 추정을 위한 시스템 모델을 제시하였다. 3 장에서는 WMSA 와 Zero-delay Constant Gain 채널추정 알고리즘의 원리를 기술하였다. 4 장에서는 3 장에서 기술한 알고리즘의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석하고, 결과를 알고리즘간 비교하였다. 마지막으로 5 장에서는 Zero-delay Constant Gain 알고리즘의 성능 분석을 종합하여 결론을 맺었다.

## 2. 시스템 모델 (System Model)

파일럿 심볼을 이용한 동기검출 (Pilot symbol aided coherent detection) 방식은 데이터 채널 또는 제어 채널에 주기적으로 시분할 다중화(Time Multiplexing) 되어있는 파일럿 심볼을 이용하여 복조한다. 파일럿 심볼은 송.수신단에서 서로 알고있는 파일럿 심볼 패턴을 사용한다. W-CDMA 시스템의 순방향 파일럿 심볼 구조는 표 1<sup>[5, 6]</sup>과 같다. 파일럿 심볼의 빗금친 일부는 동기 심볼(Sync. Word)를 나타낸다. Sync. Word를 제외한 파일럿 심볼의 심볼 패턴은 모두 '11'이다. 전송 순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 이루어지고 각각의 두 비트쌍은 QPSK 변조의 I/Q 쌍을 의미한다.

Table 1. Pilot Symbol Pattern

Symbol #	0	1	2	3
Slot #1	1 1	1 1	1 1	1 1
2	1 1	1 1	1 1	0 1
3	1 1	0 1	1 1	0 1
4	1 1	1 0	1 1	0 1
5	1 1	1 0	1 1	1 1
6	1 1	1 0	1 1	1 1
7	1 1	0 1	1 1	0 0
8	1 1	1 0	1 1	0 1
9	1 1	1 1	1 1	0 0
10	1 1	0 1	1 1	0 1
11	1 1	1 1	1 1	1 0
12	1 1	0 1	1 1	0 1
13	1 1	0 0	1 1	0 1
14	1 1	1 0	1 1	0 0
15	1 1	0 1	1 1	0 0
16	1 1	0 0	1 1	0 0

파일럿 심볼을 이용한 동기복조 방식은 수신된 파일럿 심볼을 기준으로 채널을 추정하여 보상할 뿐만 아니라 그 결과를 이용하여 SIR (Signal-to-Interference Ratio)을 측정하고 송신전력 제어(TPC) 기능을 수행한다. 따라서 채널 추정 알고리즘은 추정에 수행하는 처리시간 지연이 없거나 한 슬롯 이내로 최소화되어야 한다. 정확한 채널추정의 성능은 복원 데이터의 BER(Bit Error Ratio) 성능 향상뿐만 아니라 보다 정밀한 SIR 측정을 통해 정확한 전력제어를 수행하게 함으로써 시스템 용량 증대에 필수적인 요소이다. 본 논문은 채널 추정에 대한 성능에 관한 것이다.

본 논문에서 적용한 시스템 모델은 W-CDMA 순방향 링크 규격<sup>[5, 6]</sup>에 따른다. 따라서 채널 추정을 위한 채널구조는 그림 2와 같이 물리 채널 중 BCH(Broadcasting Channel)을 전송하는 P-CCPCH(Primary Common Control Physical Channel) 물리 채널의 파일럿 심볼을 이용한다. P-CCPCH은 32Kbps (SF : Spreading Factor = 256)의 고정

속도로 BCH를 전송하기 위한 채널이다. 그리고 첫 번째 심볼은 동기채널 SCH (Synchronization Channel)을 위해 사용하지 않으며, 동기 검파를 위한 파일럿 심볼과 함께 데이터 심볼을 전송한다. 채널 추정은 8 비트(4 심볼)의 파일럿 심볼을 이용하여 수행한다.

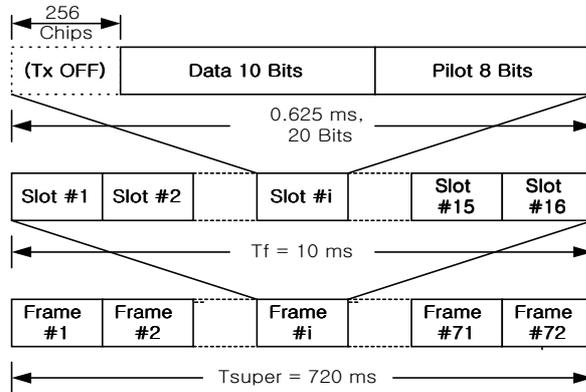


그림 2. P-CCPCH 채널구조

Fig. 2 Channel Structure of P-CCPCH

W-CDMA 시스템의 순방향과 역방향에 대한 송신전력 제어 타이밍 관계는 페루프 송신전력 제어를 한 슬롯 내에서 수행하기 위하여 역방향 링크 통신 채널의 프레임 타이밍을 순방향 링크 통신 채널의 프레임 타이밍과 250us 어긋나도록 정의되어 있다. 반대 링크상에서는 송신전력 제어 심볼을 디코딩한 후에 기지국 또는 이동국은 바로 각각의 송신전력을 조정해야 하며, 순방향 링크의 송신전력은 다음 파일럿 심볼이 송신되기 전에 조정되어야 한다. 만일 기지국이 전력을 조정 한 후에 파일럿 심볼로부터 역방향 링크 SIR 측정을 한 슬롯 이상 지연이 생기면 SIR측정 정확도가 떨어지게 된다.

### 2.1 송신기 모델

공통 다운링크 물리 채널 중 SCH 와 P-CCPCH 의 확산 및 변조 구조는 그림 3과 같다. 본 논문에서는 파일럿 심볼을 이용한 채널 추정을 위해서 P-CCPCH 의 확산 및 변조 구조의 모델을 이용한다

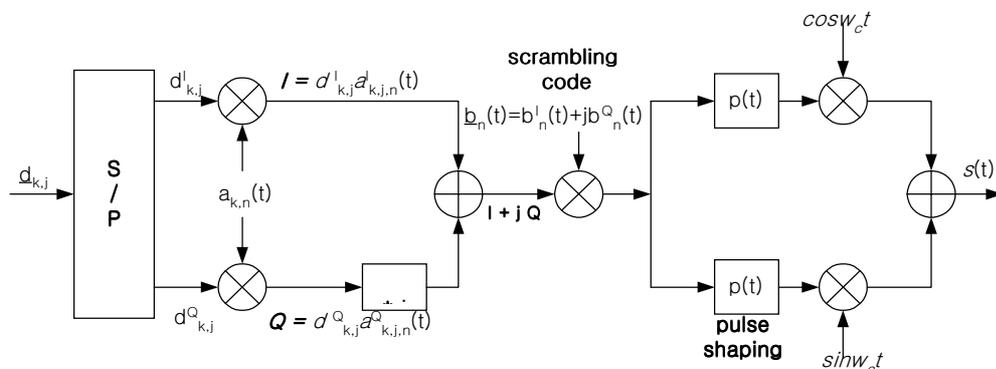


그림 3. 순방향 링크의 P-CCPCH 의 확산 및 변조구조

Fig. 3 Spreading and Modulation Model of Reverse Link P-CCPCH

그림 3과 같은 송신기 모델에 의해 전송되는 DS/CDMA QPSK 전체 송신신호는 다음 식과 같이 표현된다.

$$s(t) = \text{Re}[\underline{S}(t)e^{j(\omega_c t + \phi)}] \quad (1)$$

$$\underline{S}(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{p_k} \underline{d}_k(t) \cdot a_k(t) \cdot \underline{b}(t) \quad (2)$$

여기서  $P_k$ 는  $k$ -번째 사용자의 전력을 나타낸다. 그리고  $\omega_c$ 와  $\phi$ 는 각각 캐리어 주파수와 초기 위상을 나타내며, 기호의 밑줄표시는 복소수를 의미한다.

복소수 값으로 표현된  $k$ -번째 사용자의 송신 심볼은 다음 식과 같다.

$$\underline{d}_k(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \{d_{k,n}^I + jd_{k,n}^Q\} p_T(t - nT) \quad (3)$$

위 식에서  $T$ 는 심볼 주기를 나타내고,  $\{d_{k,n}^I\}$ 과  $\{d_{k,n}^Q\}$ 은 각각 I와 Q 채널의 이진 비트열을 나타낸다. 이 비트열은  $\{+1, 1\}$ 의 값을 갖으며 동일한 발생 확률을 갖는다고 가정한다. 또한 펄스정형 필터의 임펄스 응답  $p_T(t)$ 는  $[0, T]$  구간에서 단위 직각 펄스라고 가정한다.

$k$ -번째 사용자의 채널-확산 코드열 신호인  $a_k(t)$ 는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$a_k(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{k,n} p_{T_c}(t - nT_c) \quad (4)$$

여기서  $T_c$ 와  $N$ 는 각각 칩 주기(chip duration)와 확산처리 이득을 나타내며,  $T = N \times T_c$ 의 관계를 갖는다. 그리고  $p_{T_c}(t)$ 는  $[0, T_c]$  구간에서 단위 직각 펄스를 가정한다.

마찬가지로 복소 스크램블링 코드열 신호 파형인  $\underline{b}(t)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\underline{b}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \{b_n^I + jb_n^Q\} p_{T_c}(t - nT_c) \quad (5)$$

## 2.2 채널 모델 및 수신신호

채널 임펄스 응답  $\underline{h}(t)$ 는 일반적으로 WSSUS (wide-sense stationary uncorrelated scattering) 채널에서 평균이 제로인 가우시안 과정으로 가정한다. 또한 본 연구에서는 채널 모델을 시변하는 주파수 선택성 Rayleigh 페이딩 채널에서 송.수신기간의 가능한 주파수 오프셋을  $\Delta\omega$ 라고 가정한다.  $P$ 개의 처리 가능한 경로를 갖는 이산 채널 모델(discrete channel model)을 이용해서 기저대역 채널 임펄스 응답을 식(6)과 같이 구할 수 있다.

$$\underline{h}(t) = \sum_{l=1}^P \alpha_l(t) \delta(t - \tau_l) e^{j(\Delta\omega t + \theta_l(t))} \quad (6)$$

여기서  $\alpha_l, \tau_l$ 과  $\theta_l$  들은 각각 채널이득, 위상 및  $l$ -번째 경로의 시간 지연을 나타낸다. 그리고  $l$ -번째 경로에 대한 경로 지연  $\tau_l$ 은 경로  $l$ 의 증가 순으로 구성된다고 가정한다. 즉,  $\tau_1=0$ 와  $T_c \leq \tau_2 \leq \tau_3 \leq \tau_4 \dots \leq \tau_p < \Delta$  이다. 더욱이 각 경로 지연은  $[T_c, \Delta]$  구간에 대해 균일 분포를 갖고,  $\Delta$ 는 가능한 최대 경로 지연을 의미한다. 또한  $l$ -번째 경로 신호의 크기  $\alpha_l$ 는 레일리 분포의 확률변수를 갖고, 평균 전력은  $E[(\alpha_l)^2] \equiv 2\rho$  이고, 경로 위상  $\theta_l$ 은  $[0, 2\pi]$  범위에서 균일분포 확률변수를 갖는다고 가정한다. 위의 WSSUS 가정에 의해서 각각의 세트  $\{\alpha_l\}$ ,  $\{\tau_l\}$ 과  $\{\theta_l\}$ 들은 서로 독립 확률 과정을 갖는다.

한편, 다중 경로 Rayleigh 채널을 통해 수신된 신호는 시간 지연, 위상 변화 및 신호 감쇄로 인해 왜곡된 형태를 갖는다. 또한 다중 사용자에 의한 다중 접속 간섭 (MAI : Multiple Access Interference) 및 양측 스펙트럼 밀도  $N_0/2$ 를 갖는 AWGN으로 모델링되는 열잡음  $n(t)$ 등의 영향을 받는다고 가정할 수 있다. 따라서 여러 가지 채널 환경의 영향에 의해 왜곡된 복소 기저대역 수신 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = \sum_{l=1}^P \mathcal{S}(t - \tau_l) \alpha_l(t) e^{j(\Delta\omega t + \theta_l(t))} + n(t) \quad (7)$$

여기서  $p$ -번째 경로 시간 정보  $\tau_p$ 는 동기화 과정을 통해서 얻는다고 가정한다. 따라서 모든 경로의 수신신호는 코드 서처 (Code Searcher)와 트래커(Tracker)에 의해서 정확히 역확산할 수 있다.

### 3. 채널추정 알고리즘

#### 3.1 WMSA(Weighted Multi-Slot Averaging) 알고리즘

WMSA 알고리즘은 W-CDMA ARIB 규격에 적용을 하기 위해 일본 NTT DoCoMo 에서 제안한 것이다. 이 알고리즘은 W-CDMA 역방향 DPCH 프레임의 파일럿 패턴에 따라 시분할 다중화되어 전송된 파일럿 심볼들의 채널을 추정하고 여러 개의 슬롯 정보를 평균하여 데이터 심볼들의 채널변화를 보상하는 방식이다.

그림 4는 WMSA (Weighted Multi-Slot Averaging) 방식<sup>[2]</sup>을 이용한 채널추정 개념도를 보여준다. WMSA 알고리즘은 한 슬롯 내에 포함된 일정한 길이의 파일럿 심볼을 이용하여 채널을 추정한 후, 각 슬롯에서 얻은 추정값을 여러 개의 슬롯에 대해 가중치 (weighting factor)를 주고 평균을 취하여 현재 슬롯의 데이터 심볼을 보상하기 위한 최종 채널 추정값을 구한다.

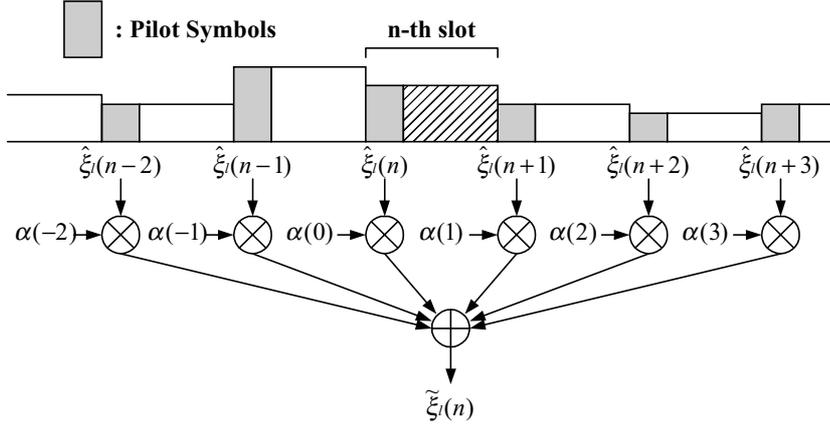


그림 4. WMSA 방식의 채널추정 개념도(K=3)

Fig. 4 Channel Estimation Concept of WMSA Scheme (K=3)

여러 개의 추정채널에 가중치를 부여하는 방법은 추정코자하는 타임 슬롯(Time Slot)과 주변의 타임 슬롯들의 순간 채널을 평균으로 구한 후, 추정코자하는 타임 슬롯에 가까이 있는 타임 슬롯일수록 큰 가중치를 주고, 반대로 먼 타임 슬롯일수록 작은 가중치를 부여한다. 먼저,  $d$ -번째 안테나에서 수신된  $l$ -번째 경로 성분중  $n$ -번째 타임 슬롯의  $m$ -번째 심볼을  $r_{d,l}(n, m)$  로 나타낸다. WMSA 방식의 파일럿 심볼들의 평균개념에 의해서  $n$ -번째 타임 슬롯에 속한 파일럿 심볼을 이용한 순간 채널 추정  $\hat{\xi}_{d,l}(n)$ 은 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\xi}_{d,l}(n) = \frac{1}{N_p} \sum_{m=0}^{N_p-1} r_{d,l}(n, m) \cdot e^{-j\frac{\pi}{4}} \quad (8)$$

여기서  $N_p$ 는 파일럿 심볼의 갯수이다.

$n$ -번째 타임 슬롯의 데이터 심볼들을 보상하기 위한 채널 추정  $\tilde{\xi}_{d,l}(n)$ 은  $2K$ 개의 순간 채널 추정을 이용하여 구할 수 있다.

$$\tilde{\xi}_{d,l}(n) = \sum_{i=-K+1}^K \alpha(i) \hat{\xi}_{d,l}(n+i) \quad (9)$$

여기서  $\alpha(i)$ 은 가중 인자로서 1이하의 양수이다. 그리고  $K$ 는 채널 추정에 이용되는 슬롯수를 나타내며,  $K=1$ 인 경우 보상을 원하는 슬롯의 파일럿 심볼과 이전 슬롯의 파일럿 심볼을 평균하는 것이다.

NTT DoCoMo 규격에서는  $K$ 의 크기에 대한 가중치를 다음과 같이 제안하고 있다.

$$K=1: (\alpha(0), \alpha(1)) = (1, 1)$$

$$K=2: (\alpha(-1), \alpha(0), \alpha(1), \alpha(2)) = (\alpha, 1, 1, \alpha)$$

$$K=3: (\alpha(-2), \alpha(-1), \alpha(0), \alpha(1), \alpha(2), \alpha(3)) = (\alpha', \alpha, 1, 1, \alpha, \alpha')$$

적절한 가중치  $\alpha(i)$  들을 사용함으로써 정확한 채널 추정을 할 수 있다.

한편,  $d$ -번째 안테나의  $n$ -번째 슬롯,  $m$ -번째 데이터 심볼에 대한 RAKE 결합기(Rake combiner) 출력은 다음과 같이 표현된다.

$$d(n, m) = \sum_{d=0}^{D-1} \sum_{l=0}^{L-1} r_{d,l}(n, m) \widehat{\xi}_{d,l}^*(n) \quad (10)$$

여기서  $L$ 은 다중 경로의 수,  $D$ 는 안테나의 수, 그리고  $*$ 는 공액 복소수를 나타낸다.

### 3.2 Zero-delay Constant Gain 알고리즘

WMSA 알고리즘의 경우  $K$  값의 증가 ( $1 \sim N$ ) 따라 채널 추정을 위한 슬롯 수가 증가하게 되어 채널 추정 지연이  $K \times 2$  만큼 발생한다. 이는 채널추정 데이터를 이용하여 송신 전력 제어 (TPC: Transmitter Power Control) 등 타 신호처리 기능의 성능저하를 가져올 수 있으므로 최소한의 슬롯 지연과 데이터 메모리를 갖는 채널추정 알고리즘이 필요하게 된다.

따라서 Constant Gain 채널추정 알고리즘은 현재 슬롯만의 파일럿 심볼을 추정하고 평균을 취해서 데이터 심볼을 바로 보상하는 방법으로서 가장 간단한 구조의 추정 기법이다. 즉, 그림 5와 같이 해당 슬롯의 파일럿 심볼만을 추정해서 수신 데이터 심볼의 채널변화를 보상하는 방식이다. Constant Gain 채널 추정 알고리즘은 추정 지연이 발생하지 않으므로 W-CDMA 시스템에서 송신전력 제어를 한 슬롯 내에 수행해야하는 규격을 만족할 수 있는 장점을 가지고 있다.

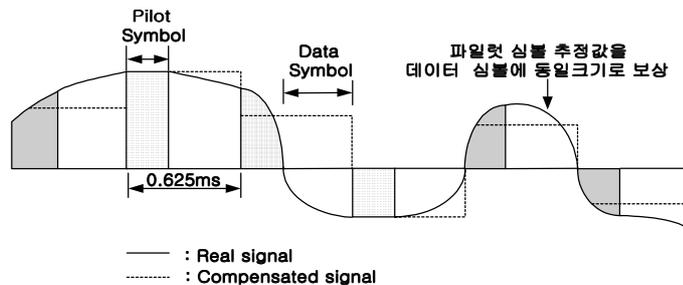


그림 5. Constant Gain 채널 추정 블록도  
Fig. 5 Block Diagram of Constant Gain Algorithm

## 4. 성능 평가

본 논문의 성능 평가는 다중 경로 Rayleigh 페이딩 환경에서 수행하였다. 각 알고리즘의 성능을 비교 분석하기 위해 페이딩 영향을 무시한 동기복조 방식의 비트 에러율(BER : Bit Error Rate) 성능을 분석하고, 그 결과를 페이딩 채널에서 채널 추정 알고리즘들의 상대적인 성능 기준으로 하여 알고리즘간 성능을 분석하였다.

시뮬레이션에 이용한 데이터 심볼속도는 32kbps이고, 슬롯 길이  $T$ 가 0.625ms이다. P-CPCCH 8비트 파일럿 패턴을 이용해서 Constant Gain 알고리즘의 성능을 구하고, 기존 WMSA(K=2) 알고리즘의 BER 성능과 비교 분석하였다.

그림 6은 단일 경로에서 WMSA (K=2) 알고리즘과 Zero-delay Constant Gain 채널 추정 알고리즘의 BER 성능을 도플러 주파수 20Hz, 160Hz, 320Hz에 대하여 나타낸다. 도플러 주파수  $f_d = 20\text{Hz}$ 의 경우 비트 에너지/잡음 전력 ( $E_b/N_0$ )의 변화에 대해 WMSA K=2 알고리즘 성능이 전반적으로 우수한 성능을 보이고 있다. 이것은 도플러 주파수가 낮을수록 채널의 변화가 적어 인접 슬롯간의 상관성이 높기 때문에 여러 슬롯의 파일럿 심볼을 이용하여 채널을 추정하고 데이터 심볼을 보상하는 것이 유리한 결과로 설명할 수 있다. 도플러 주파수  $f_d = 160\text{Hz}$ 에서는 BER  $2.0 \times 10^{-2}$ 에서 WMSA 알고리즘 BER 성능이 Constant Gain 알고리즘보다 4dB 이상 우수하다. 한편, 도플러 주파수  $f_d = 320\text{Hz}$ 에서는 160Hz 경우의 성능과 양상이 많이 다르다. 오히려 Constant Gain 알고리즘 성능이  $E_b/N_0$ 가 증가함에 따라 점점 WMSA K=2 성능보다 우수해지고 있다. 이것도 동일한 이유로 도플러 주파수가 높을수록 채널의 변화가 빠르므로 슬롯의 파일럿 심볼간의 상관성이 떨어지기 때문에 적은 슬롯의 파일럿 심볼 정보를 이용하는 것이 채널변화에 보다 근접한 결과를 얻을 수 있다는 것을 의미한다.

따라서 Constant Gain 알고리즘 성능은 전반적으로 저속 페이딩 환경에서는 WMSA 성능보다 뒤떨어지지만 고속 페이딩 환경에서는  $E_b/N_0$ 가 증가하면서 우수한 성능 결과를 얻을 수 있음 확인할 수 있다.

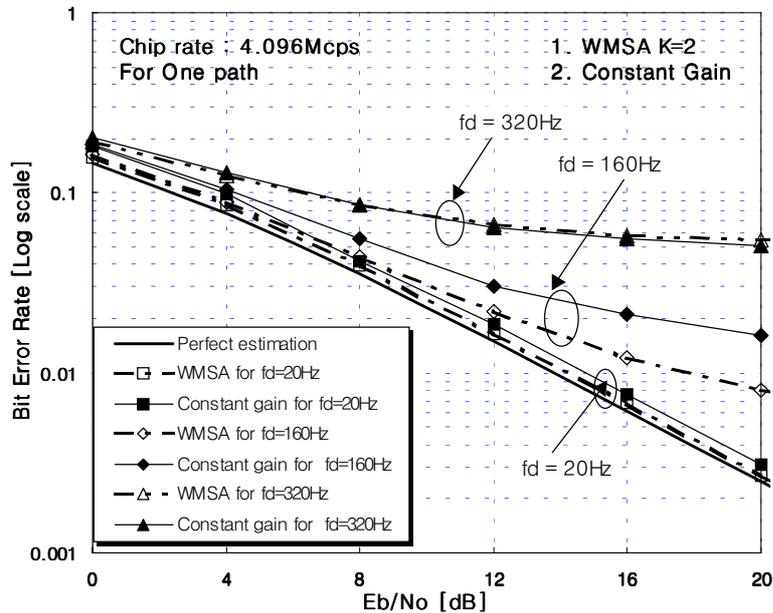


그림 6.  $E_b/N_0$  값의 변화에 따른 BER 성능 비교 (단일 경로)

Fig. 6 Performance of BER vs.  $E_b/N_0$  (One Path)

그림 7은 두 개의 알고리즘에 대해 도플러 주파수 변화에 대한  $E_b/N_0$ 별 성능 변화 폭을 나타낸다. 도플러 주파수가 낮을 때  $E_b/N_0$ 에 대한 성능 차이가 크지 않다가 도플러 주파수가 증가하여  $f_d = 80\text{Hz}$ 에서  $f_d = 240\text{Hz}$  사이에서 가장 성능 차이를 나타낸다. 특히,  $f_d = 160\text{Hz}$ 에서 가장 큰 성능 차이를 볼 수 있다. 그리고 도플러 주파수가  $f_d = 320\text{Hz}$ 에서는 두 개의 알고리즘의 성능이 근접하면서 Constant Gain 알고리즘 성능이 성능 우위를 드러내고 있다. 마찬가지로  $E_b/N_0=20\text{dB}$ 에서 성능 차이가 가장 큰 것을 알 수 있음을 그림 6에서 보는 것과 동일하다.

또한 그림 8과 9는 두 개의 경로를 갖는 다중경로에 대한 BER 성능을 그림 6과 7과 같은 변수로 나타낸 것이다. 그림 8의 성능을 보면 BER 성능이 경로 수에 비례하여 개선됨을 보여주고 있으며, 특히 고속 페이딩 환경에서  $E_b/N_0$ 가 증가하면서 점점 성능 차이를 크게 하고 있다. 도플러 주파수에 따른 BER 성능 차이가 조금씩 줄어들어 가고 있음을 알 수 있다.

두 개의 경로에 대해 도플러 주파수 변화에 대한  $E_b/N_0$ 별 성능 변화를 나타내는 그림 9 역시 그림 7과 비슷한 양상을 보여준다. 두 개의 경로에 대한 성능은 단일 경로에 비해 성능 차이가 줄어들음을 보여주고 있고,  $f_d = 320\text{Hz}$  고속 도플러 환경에서는 Constant gain 알고리즘 성능이 우수한 경향을 보이고 있는 점이 다르다고 설명할 수 있다.

따라서 Constant Gain 알고리즘은 구조가 매우 간단하고 채널추정 지연이 없으면서 고속 도플러 주파수 환경에서는 WMSA K=2 성능보다 우수하거나 매우 비슷한 결과를 보이므로 전력제어 수행을 한 슬롯 내에 처리해야 하는 IMT-2000 3GPP 규격을 만족할 수 있는 알고리즘으로 판단된다.

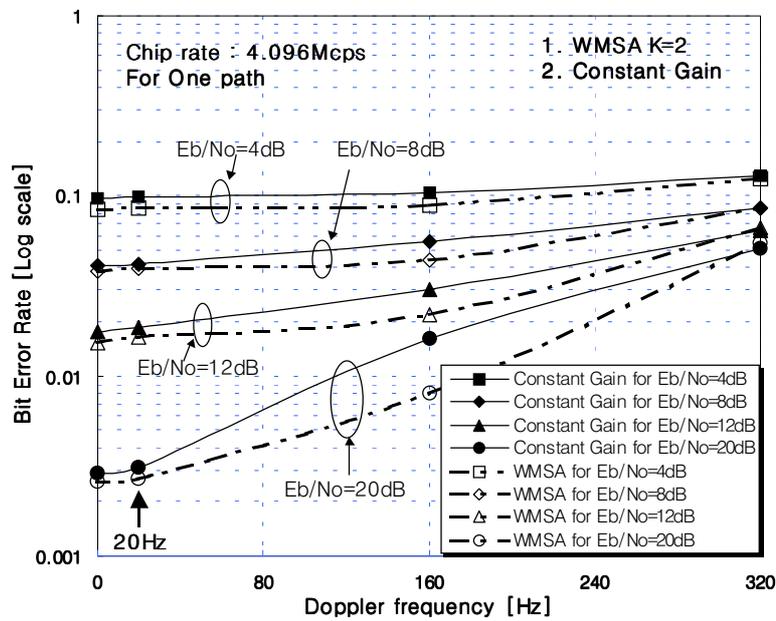


그림 7. 도플러 주파수 변화에 대한  $E_b/N_0$ 별 성능 변화(단일 경로)

Fig. 7 BER Performance Curve of Doppler vs.  $E_b/N_0$  (One Path)

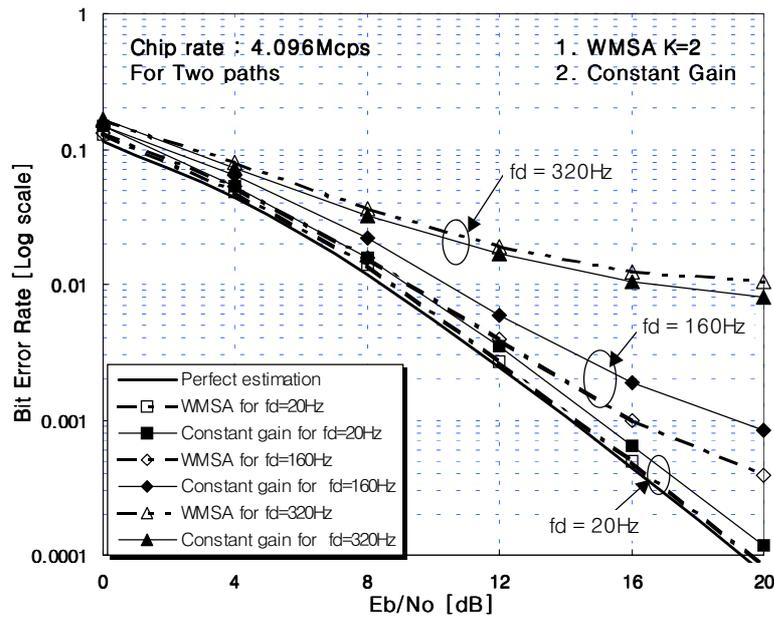


그림 8.  $E_b/N_0$  값의 변화에 따른 BER 성능 비교 (두개 경로)  
 Fig. 8 Performance of BER vs.  $E_b/N_0$  (Two Paths)

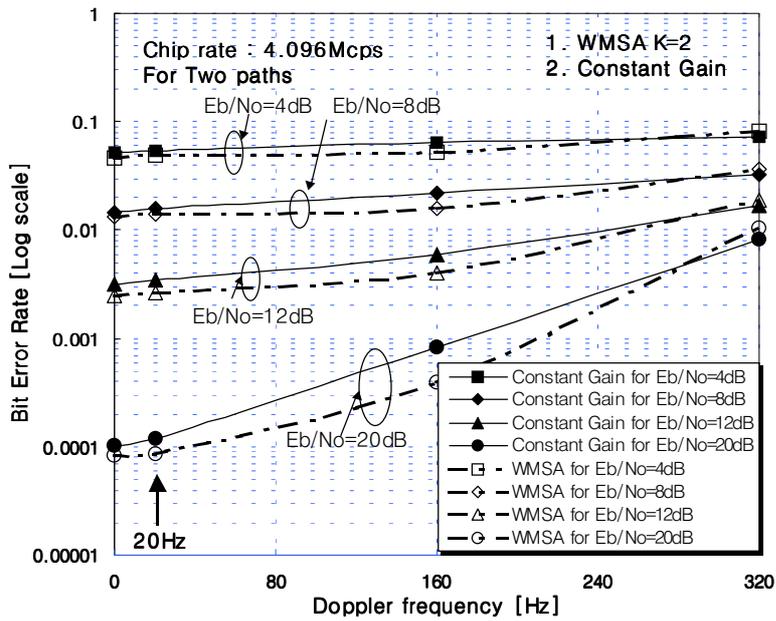


그림 9. 도플러 주파수 변화에 대한  $E_b/N_0$ 별 성능 변화 (두개 경로)  
 Fig. 9 BER Performance Curve of Doppler vs.  $E_b/N_0$  (Two Paths)

## 5. 결 론

본 논문은 IMT-2000 W-CDMA 시스템의 순방향 링크의 채널 추정을 다중경로 Rayleigh 페이딩 채널 환경에서 Zero-delay Constant Gain 채널추정 알고리즘의 BER 성능을 평가하고, WMSA (K=2) 알고리즘 성능과 비교하였다. W-CDMA 채널 구조, 변조 및 파일럿 패턴 등은 일본 ARIB 규격과 3GPP 규격에 따라 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 BER 성능을 얻었다. 그 결과 Constant Gain 알고리즘이 저속 페이딩에서는 WMSA (K=2) 알고리즘 성능보다 뒤떨어지지만,  $f_d = 320\text{Hz}$ 의 고속 도플러 주파수에서는 BER 성능이 근소하게 우수한 결과를 얻었다.

따라서 Zero-delay Constant Gain 알고리즘은 구조가 매우 간단하고 채널추정 지연이 없고, 고주파 도플러 환경에서는 오히려 비교 우위 성능을 갖고 있기 때문에 Complexity와 성능대비 효율적인 채널추정 및 전력제어(TPC) 접근 기법으로 적절한 알고리즘으로 판단된다.

## 참고문헌

- (1) Seiichi Sampei and Terumi Sunaga, "Rayleigh fading compensation for QAM in land mobile radio communications," IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol.VT-42, pp. 137-147, May 1993.
- (2) H.Andoh, M.Sawahashi and F.Adachi, "Channel Estimation Filter using Time-Multiplexed Pilot Symbols for Coherent RAKE Combining in DS-SS Mobile Radio," IEICE Trans. Commun., Vol. E81-B, pp. 1517-1526, July. 1998.
- (3) G.T.Irvine and P.J.Mclane, "Symbol-aided plus decision-directed reception for PSK/TCM modulation on shadowed mobile satellite fading channels," IEEE Journal of Selected Areas in Communication, Vol. SAC-10, pp. 1289-1299, Oct. 1992.
- (4) G.Auer, G.J.R. Povey and D.I.Laurenson, "Mobile Channel Estimation for Decision Directed RAKE Receivers operating in Fast Fading Radio Channels," in Proc. of IEEE International Spread Spectrum Techniques & Application (ISSSTA98), pp. 576-579, Sep. 1998.
- (5) ARIB, "Volume 3: Specifications of Air-interface for 3G Mobile System," Version 1.0 Jan. 1999.
- (6) 3GPP, "Technical Specifications of Physical channels and mapping of transport channels onto Physical channels(FDD)," Version 20, Apr. 1999.