

# 주파수 영역 등화기가 적용된 위성 DMB 시스템의 성능 분석

준회원 이재성\*, 종신회원 김덕경\*

## Performance Evaluation of the Satellite-DMB system with a Frequency Domain Equalizer.

Jae Sung Lee\* Associate Member, Duk Kyung Kim\* Lifelong Member

### 요 약

위성 DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 시스템은 중앙의 송신기인 위성과 지상보조 중계기인 Gap-filler로 구성되는 단일 주파수 망이다. NLOS 환경의 음영지역을 커버하기 위해서는 다수의 Gap-filler 설치가 필요한데, 이로 인해 다중경로 성분이 증가하여 Finger의 수가 제한된 현 RAKE 수신기의 성능을 저하시킨다. 이에 본 논문은 RAKE 수신기를 대신하여 주파수 영역 등화기를 사용하되, 현재 시스템의 변경을 최소화하기 위하여 기존 주파수 영역 등화기 기술에서 필요로 한 보호구간을 사용하지 않는 것으로 하고, 시뮬레이션을 통해 그 성능을 분석한다. 시뮬레이션 결과를 통해 주파수 영역 등화기는 현 RAKE 수신기보다 Gap-filler 개수의 증가에 둔감하고, 보다 큰 CDM 채널 용량을 가질 수 있음을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라, 다양한 채널 모델에서의 결과는 주파수 영역 등화기가 기존의 시스템에서도 환경에 따라 충분히 사용가능할 수 있음을 말해준다.

**Key Words** : CDM, Frequency Domain Equalizer, Gap-filler, Satellite DMB

### ABSTRACT

Satellite-Digital Multimedia Broadcasting(S-DMB) systems are single frequency networks which consist of a satellite and gap fillers. Though gap fillers are required to extend the coverage to NLOS(Non Line-of-Sight) area, the receiver performance can be degraded with a limited number of fingers due to the increased number of multi-paths. The paper proposes to use frequency domain equalizer(FDE) instead of conventional Rake receiver, where the guard interval is not considered in order to minimize the impact on the current S-DMB systems. Through a campaign of simulations, it is found that the proposed FDE is less sensitive to the number of gap fillers compared to the conventional Rake receiver, and can achieve a greater channel capacity in most channel environments.

### I. 서 론

디지털 TV방송은 과거 흑백에서 컬러로, 아날로그에서 디지털로 2차에 걸친 기술 혁신으로 그 모습을 드러내어, 고화질 방송(HDTV), 다채널 방송, 이동 TV 방송 등으로 영역이 확장되어 왔다. 그 중

에서도 특히 이동 TV 방송은 이동하는데 많은 시간을 할애 하는 현대인의 생활 패턴에 가장 부합하는 서비스로써, 수요기반이 넓어 유망한 서비스로 각광 받고 있다. 이러한 큰 매력은 많은 표준화 작업과 상용화를 위한 노력으로 이어지고 있으며, 그 중에서도 이미 상용화된 한국의 위성 DMB 시스템

\* 이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

\* 인하대학교 정보통신공학과 무선통신연구실 (kdk@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-01-001, 접수일자 : 2006년 1월 2일, 최종논문접수일자 : 2006년 4월 17일

은 이동형 TV 서비스의 선두 주자로서 많은 이들의 주목을 받고 있다.

Digital system-E<sup>[1]</sup>를 기반으로 하고 있는 위성 DMB 시스템은 CDM 방식을 사용하여 VCD급의 영상과 CD수준의 음성 데이터를 전송함으로써, 약 30개의 CDM 채널을 통해 방송 서비스를 제공한다. 데이터는 위성으로부터 전송되어 단말로 직접 전달되거나, 지상보조중계기인 Gap-filler를 통해 재전송되어 단말에게 수신된다. Gap-filler는 음영지역에 있는 단말을 고려한 것으로, 현재 시 단위의 음영지역이 해소된 상태이며, 앞으로 군 단위 이하의 음영지역 해소를 위해 Gap-filler 추가 설치가 있을 예정이다.

위성 DMB 수신기에서 다중경로 전달 효과는 RAKE 수신기를 사용함으로써 제거할 수 있다. CDMA 시스템에서 사용하는 통상의 RAKE 수신기처럼, 다중경로 성분을 구별하여 코히런트하게 더해질 수 있다. 그러나 위성 DMB 시스템은 하나의 기지국이 하나의 셀을 담당하여 단말에 대한 송수신을 관리하는 셀룰러 시스템이 아닌 중앙 송신기와 보조 중계기로 구성되는 단일 주파수 망의 개념이다. 따라서 중앙 송신기인 위성으로부터 모든 음영지역을 커버하기 위해서는 많은 수의 보조 중계기가 설치되어야 하는데, 이로 인하여 음영지역 외곽에 있는 단말에게는 수신되는 다중경로 성분이 증가하는 현상이 일어나게 된다. 다중경로 성분의 증가는 제한된 Finger의 수를 가지는 현 RAKE 수신기에서는 성능의 저하로 이어지며, 이를 억제하기 위해서는 보다 많은 수의 Finger가 필요하게 되어 하드웨어의 복잡도를 증가시키게 된다.

본 논문에서는 다중 경로의 수가 증가함에 따라 성능이 좌우되는 RAKE 수신기를 대신하여 주파수 영역 등화기 (FDE:Frequency Domain Equalizer)를 다룬다. 이미 여러 논문<sup>[2][3][4]</sup>에서 소개된 바 있는 주파수 영역 등화기는 단일 주파수 변조기법, CDMA 시스템, OFDM 시스템과 결합하여 다양한 형태의 응용 기술로써 제안되어 왔지만<sup>[5]</sup>, 이들 모두 보호구간을 두고 전송 해야만 적용이 가능하므로 기존 시스템에 손쉽게 적용하기란 무리가 있다. 이를 고려하여 본 논문에서는 주파수 영역 등화기를 현 위성 DMB 시스템에 적용하되, 보호구간 없이, 즉 송신단은 그대로 두고 수신부에서 주파수 영역 등화를 하여 그 성능을 RAKE 수신기와 비교해본다. 성능 비교는 CDM의 채널 수에 따라, Gap-filler 수에 따라, 그리고 채널 모델에 따라 수행되며, 이를

통해 주파수 영역 등화기가 가지는 이득을 살펴보기로 하겠다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 위성 DMB 시스템을 수식적으로 모델링하며, 3장에서는 앞서 모델링한 시스템에서 통상의 RAKE 수신기가 사용되었을 경우를 살펴본다. 4장에서는 RAKE 수신기를 대체하여 주파수 영역 등화기가 적용한 경우에 대해 분석한다. 주파수 영역 등화기와 RAKE 수신기의 성능 비교를 위한 시뮬레이션 환경은 5장에서 언급하고, 6장에서 시뮬레이션 결과를 분석하도록 한다. 마지막으로 7장에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

## II. 시스템 모델

위성 DMB 시스템의 송신기의 구조는 그림 1과 같다. 전체 CDM 채널의 수는 U개이며, 각 CDM 채널에 해당하는 데이터들은 리드 솔로몬 부호화기와 길쌈부호화기를 통해 채널 부호화되며, 비트와 비트 단위로 인터리빙된다. CDM채널의 다중화 및 확산은 N의 길이를 가지는 왈쉬코드를 사용함으로써 이뤄지는데, 긴 지연 분산(Delay Spread)에 대응하기 위하여 N의 길이 보다 몇 배만큼 긴 M의 길이를 가지는 PN코드를 칩단위로 다시 한번 곱해준 후 전송하게 된다. 이때, b번째 심볼의 n번째 칩 데이터를 S[n,b]라 하고, 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$S[n, b] = \sum_{u=1}^U C[m]d_u[b]W[n] \quad (1)$$

(단,  $0 \leq n \leq N-1, 0 \leq m \leq M-1$ )

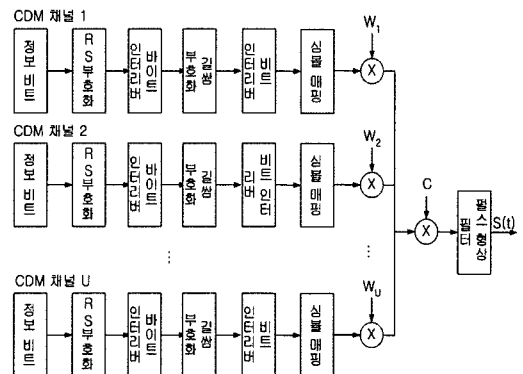


그림 1. 송신기 구조

여기서 C[m]은 PN 코드의 m번째 칩을, W[n]은 왈

쉬 코드의 n번째 칩을 나타내며,  $d_u[b]$ 는 u번째 CDM 채널의 b번째 데이터를 의미한다. 알쉬 코드를 통해 다중화되므로 전체 CDM 채널의 개수 U값은 N까지 가능하지만, 코드간의 간섭을 줄이기 위하여 현 시스템에서는 30개로 제한하고 있다. PN 코드의 한 주기는 알쉬 코드 주기의 M/N배와 일치하고, 알쉬 코드의 한 주기는 심볼의 한 주기와 일치하므로 m값은 식(2)와 같이 정의할 수 있다.

$$m = [N(b-1) + n]_{\text{mod } M} \quad (2)$$

여기서  $[\ ]_{\text{mod } M}$ 은 모듈러 M 연산을 뜻한다.

이와 같이 다중화 및 확산 과정을 통해 생성된 데이터  $S[n, b]$ 는 칩 펄스형상필터(Chip Pulse Shaping Filter)를 통해 다음과 같이  $S(t)$ 가 되어 전송된다.

$$S(t) = \sum_{k_0=0}^{\infty} S[k_0] \times P_t(t - k_0 T_c) \quad (3)$$

(단,  $s[n, b]=s[k_0]$ ,  $k_0=N(b-1)+n$ )

$P_t(t)$ 는 칩 펄스형상필터의 임펄스 응답이며,  $T_c$ 는 알쉬 코드 한 칩의 주기를 나타낸다.

하나의 Gap-filler로부터 L개의 다중경로가 존재한다고 가정한다면, 채널의 임펄스 응답은 식(4)와 같이 표현 할 수 있다.

$$h(t) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l \delta(t - \tau_l) \quad (4)$$

여기서,  $h_l$ 은 l번째 경로의 채널 계수를 의미하며,  $\tau_l$ 은 l번째 경로의 채널이 만들어낸 지연 시간을 나타낸다. 이를 이용하여 채널을 통과한 후 수신된 신호  $r(t)$ 는 다음과 같다.

$$r(t) = S(t) * p(t) + n(t) \quad (5)$$

위의 식에서  $n(t)$ 는 AWGN이며,  $p(t)$ 는 송신단의 펄스형상필터의 임펄스 응답  $p_t(t)$ 와 수신단의 펄스형상필터의 임펄스 응답  $p_r(t)$  그리고  $h(t)$ 의 합성곱이다. 즉,

$$p(t) = \sum_{g=1}^{N_g} (p_t^{(g)}(t) * h^{(g)}(t)) * p_r(t) \quad (6)$$

이때,  $N_g$ 는 유효 Gap-filler의 총 개수이며,  $p_t^{(g)}(t)$ 와  $h^{(g)}(t)$ 는 각각 g번째 유효 Gap-filler로부터의 펄스형상필터 임펄스 응답과 채널 임펄스 응답을 의

미한다. 여기서 유효 Gap-filler란 수신기로 도달하는 신호를 발생시킨 모든 Gap-filler들을 일컫는다.

### III. 통상의 RAKE 수신기

그림 2는 통상의 RAKE 수신기 및 주파수 영역 등화기가 적용된 위성 DMB 수신기의 구조를 보여준다. 통상의 RAKE 수신기는 시간 지연 동기화, 역확산기, 결합기(Combiner)로 이루어진다. 수신한 신호  $r(t)$ 를 b번째 심볼의 n번째 칩에서 샘플링한 값을  $r[n, b]$ 이라 하고  $r[n, b]$ 를  $r[N(b-1)+n]$ 로 나타내자. 경로 추정기를 통해 총  $F_l$ 개의 경로를 구분할 수 있다면, 역확산과 결합을 통해 얻은 RAKE 수신기의 출력 데이터  $Z[b]$ 는 다음과 같다.

$$Z[b] = \sum_{n=0}^N \sum_{l=0}^{F_l} r[N(b-1) + n - \hat{\tau}_l] \times C[m] W_u[n] G[b] \quad (7)$$

위의 식에서  $\hat{\tau}_l$ 은 l번째 경로에 대한 칩 단위의 시간 지연 추정 값이며,  $W_u$ 는 U개의 알쉬코드 중 사용자가 수신하고자 하는 CDM 채널에 할당된 알쉬코드를 나타낸다.  $G[b]$ 는 b번째 심볼의 채널 추정을 통해 결정된 탭 계수이며, 일반적으로 RAKE 수신기에서는 MRC(Maximum Ratio Combining)을 이용하여 결합하므로,

$$G[b] = \hat{h}^*[b] \quad (8)$$

여기서  $\hat{h}^*[b]$ 는 채널 추정 값의 복소공액이다.

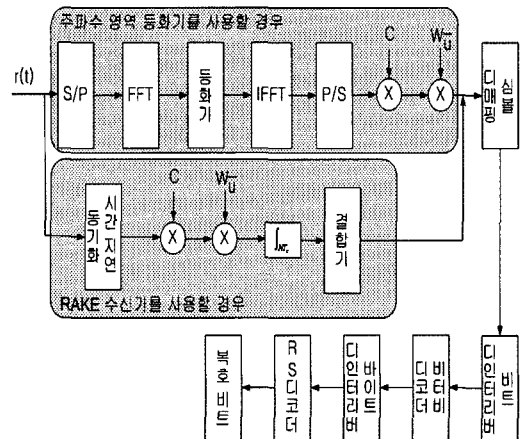


그림 2. 수신기 구조

### IV. 주파수 영역 등화기

기존의 주파수 영역 등화기가 적용된 수신단 구조는 [5]에서 살펴볼 수 있듯이, DFT/IDFT 블록과 등화기 외에 보호구간 제거 블록을 포함하고 있다. 이는 다중경로로 인한 영향을 억제하기 위해 송신단에서 보호구간을 두어 전송을 하기 때문이다. 그러므로 주파수 영역 등화기를 위성 DMB 시스템에 그대로 적용하려면, 송신단의 구조까지 바뀌어야만 한다. 따라서 본 논문에서는 송신기는 그대로 두고 그림 2와 같이 RAKE 수신기를 대신하여 주파수 영역 및 시간 영역으로 변환하는 DFT/IDFT 블록과 등화기만으로 구성된 수신기를 다루도록 한다.

표 1. 시스템 설정

Chip Rate	16.384 Mcps
Spreading Factor (N)	64
PN Code 길이 (M)	2048
CDM 채널 수 (U)	1, 30, 60
채널 부호화	길쌈부호화(Rate=1/2)
Modulation	QPSK

앞서 정의한 것과 마찬가지로 수신 신호  $r(t)$ 의 샘플링 데이터를  $r[n,b]$ 라 할 때, S/P를 통해 DFT 연산 단위  $\lambda M$  길이로  $j$ 번째 입력되는 데이터군의  $i$ 번째 데이터를  $r[i,j]$ 로 나타내자. 이때  $i$ 와  $j$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$i = [N(b-1) + n]_{\text{mod } \lambda M} \quad (8)$$

$$j = \left\lceil \frac{N(b-1) + n}{\lambda M} \right\rceil \quad (9)$$

DFT블록으로 입력된 데이터 군을 주파수 영역으로 변환하기 위하여 다음과 같이 DFT 연산한다.

$$R[k, j] = \sum_{i=0}^{\lambda M} r[i, j] e^{-j2\pi ik / \lambda M} \quad (10)$$

(단,  $0 \leq k \leq \lambda M - 1$ )

$j$ 번째 데이터 군의  $k$ 번째 주파수 빈의 데이터  $R[k,j]$ 는 MMSE(Minimum Mean Square Error) 방법을 통해 식(11)처럼 주파수 영역 등화된다.

$$\tilde{R}[k, j] = R[k, j] G[k] \quad (11)$$

$$G[k] = \frac{H[k]}{|H[k]|^2 + \sigma_n^2 / \sigma_s^2} \quad (12)$$

여기서  $\sigma_n^2$ 와  $\sigma_s^2$ 는 각각 AWGN의 분산과 신호의 분산 값이며,  $H[k]$ 는 채널의 주파수 영역 추정 값이다. (11)의 연산 이후, 다음과 같이 IDFT를 통해 다시 시간영역의 데이터로 변환된다.

$$\hat{r}[i, j] = \sum_{k=0}^{\lambda M} \tilde{R}[k, j] e^{j2\pi ik / \lambda M} \quad (13)$$

주파수 영역 등화된  $j$ 번째 데이터군의  $i$ 번째 데이터  $\hat{r}[i, j]$ 는 P/S를 통해  $b$ 번째 심볼의  $n$ 번째 칩 데이터  $\hat{r}[n, b]$ 가 된 후 다음과 같이 역확산된다.

$$Z[b] = \sum_{n=0}^N \hat{r}[n, b] C[m] W_u[n] \quad (14)$$

### V. 시뮬레이션 환경

RAKE 수신기와 주파수 영역 등화기의 성능 비교를 위한 위성 DMB 시스템 설정은 표 1을 따른다. 하나의 심볼은 64길이의 왈쉬코드에 의해 확산되며, PN 코드의 길이는 2048이므로 32개의 심볼 단위로 PN코드가 곱해진다 ( $M/N=32$ ). 다중화 개수는 1, 30, 60로 바꾸어 가며 성능의 변화를 살펴볼도록 하며, 채널부호화는 1/2 부호화율을 가지고 구속장이 7인 길쌈부호화를 사용한다. 변조 방법은 QPSK이며, 송신부의 펄스 형상 필터와 수신부의 펄스 형상 필터의 합성 곱은 다음과 같이 가정한다.

$$\sum_{g=1}^{N_g} p_i^{(g)}(t) * p_r(t) = \delta(t) \quad (15)$$

채널 모델은 페이딩 채널만을 고려하여 표 2, 3과 같이 각 경로에 대한 시간 지연과 평균 전력이 정의되어 있는 Pedestrian-A,B와 Vehicular-A,B<sup>[6]</sup>를 사용한다. 페이딩 채널의 생성은 각 심볼마다 독립적인 채널을 겪게끔 만들어진다. 유효 Gap-filler의 수  $N_g$ 는 1과 3으로 정하며,  $N_g$ 가 3인 경우, 수신기의 위치는 3개의 Gap-filler로부터 중앙에 있다고 가정한다. 단, 모든 Gap-filler로부터 발생 하는 다중 경로는 칩 단위 시간에서 모두 구분할 수 있다고 놓는다. 즉, Gap-filler의 수가 증가함에 따라 다중경로의 수도 증가시켜 그에 따른 영향을 살펴보기로 한다.

RAKE 수신기에서 파라미터는 표 4를 따른다. Gap-filler의 증가로 인한 성능 저하를 살펴 보기 위하여 Finger의 개수는 하나의 Gap-filler로부터 발생하는 모든 경로의 수와 같도록 설정한다. 즉, Pedestrian-A에서는 4개이며 그 외의 채널 모델에서는 6개이다. 경로 선택 방법은 Selective RAKE<sup>[7]</sup>를 사용하여 크기가 큰 경로의 신호순으로 선택하도록 한다. 앞서 언급한 것과 마찬가지로 결합 방법은 MRC를 이용한다.

주파수 영역 등화기에서의 파라미터는 표 5를 따른다. 시스템 성능과 복잡도를 고려하여 DFT 사이

표 2. Pedestrian 채널 모델에서 각 경로의 시간 지연 및 평균 전력

경로	Pedestrian-A		Pedestrian-B	
	시간 지연 (ns)	평균 전력 (dB)	시간 지연 (ns)	평균 전력 (dB)
1	0	0	0	0
2	110	-0.97	200	-0.9
3	190	-19.2	800	-4.9
4	410	-22.8	1200	-8.0
5	-	-	2300	-7.8
6	-	-	3700	-23.9

표 3. Vehicular 채널 모델에서 각 경로의 시간 지연 및 평균 전력

경로	Vehicular-A		Vehicular-B	
	시간 지연 (ns)	평균 전력 (dB)	시간 지연 (ns)	평균 전력 (dB)
1	0	0	0	-2.5
2	310	-1.0	300	0
3	710	-9.0	8900	-12.8
4	1090	-10.0	12900	-10.0
5	1730	-15.0	17100	-25.2
6	2510	-20.0	20000	-16.0

표 4. RAKE 수신기 파라미터

Finger 개수 (F)	4 or 6
경로 선택 방법	Selective RAKE
결합 방법	MRC

표 5. 주파수 영역 등화기 파라미터

데이터 블록 길이	1024chip (62.5us)
DFT 사이즈	1024
등화기	MMSE

즈는 1024로 설정하였으며, 이는 PN코드 길이의 반이다. DFT 입력 데이터 블록의 길이는 1024chip이며, DFT 시작 위치를 결정하기 위한 동기화는 모든 경로의 수신 데이터 중 가장 크기가 큰 경로의 수신 신호를 기준으로 정한다.

## VI. 시뮬레이션 결과

RAKE 수신기와 주파수 영역 등화기에 대한 성능 비교는 다음의 세 가지 시뮬레이션을 통해 이뤄진다.

첫 번째 시뮬레이션은 채널 모델에 따른 주파수 영역 등화기와 RAKE 수신기의 성능 비교이다. Gap-filler의 수가 1일 때, Pedestrian-A,B와 Vehicular A-B에서 CDM채널의 수를 30로 고정하여 시행되었다. 결과는 그림 3과 같다.

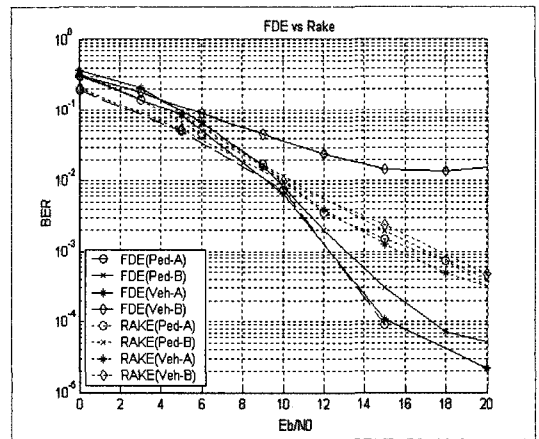


그림 3. 채널 모델에 따른 주파수 영역 등화기와 RAKE 수신기의 성능 비교

결과에서 볼 수 있듯이 RAKE 수신기의 성능은 모든 경로의 신호를 잡아냄에 따라, 채널에 관계없이 거의 일정함을 볼 수 있다. 반면, 주파수 영역 등화기는 채널의 지연 분산의 영향으로 채널 모델에 따라 성능의 차이를 보여, Vehicular-B의 경우 큰 지연 분산으로 인해 확인한 성능 저하를 보이지만, Pedestrian-A,B와 Vehicular-A에서는 오히려 RAKE 수신기 보다 Target BER  $1 \times 10^{-3}$ 에서 3dB에서 5dB가량 좋은 성능을 보인다.

첫 번째 시뮬레이션이 지연 분산에 따른 성능을 살펴 본 것이라면 다음은 다중경로 수에 따른 성능을 살펴보기 위한 시뮬레이션으로써, Gap-filler의 수에 따른 주파수 영역 등화기와 RAKE 수신기의

성능 비교이다. 여기서 채널 모델은 Pedestrian-B이며, CDM 채널 수는 30개이다.

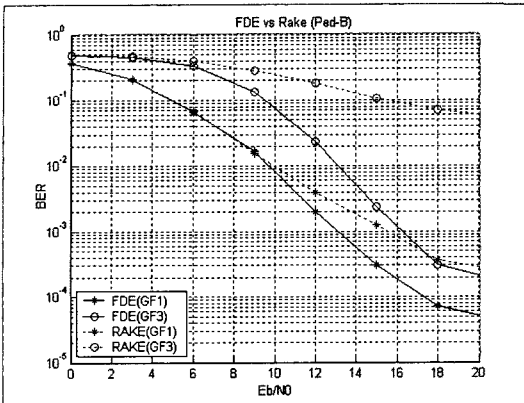


그림 4. Gap-filler 수에 따른 주파수 영역 등화기와 RAKE 수신기의 성능 비교

Gap-filler의 증가에 따른 성능 저하는 RAKE 수신기에서 현저하게 나타난다. 이것은 RAKE 수신기가 가지는 Finger 수 이상의 경로들이 모두 간섭으로 작용하기 때문으로, Gap-filler 수의 증가가 다중 경로 수의 증가로 이어져 성능저하를 가져온다. 반면에, 주파수 영역 등화기에서는 다중경로 수가 증가하더라도 주파수 영역에서의 등화를 통해 극복함으로써, Gap-filler가 1개에서 3개로 증가했을 때, 성능저하는 BER  $1 \times 10^{-3}$ 에서 3dB 차이만을 보인다.

CDM 채널 수의 증가에 따른 RAKE 수신기와 주파수 영역 등화기의 성능 비교는 그림 5과 같다.

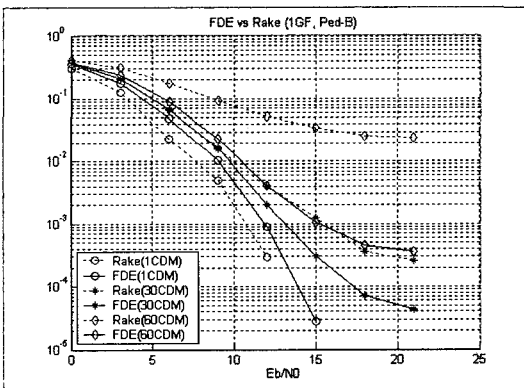


그림 5. CDM 채널 수에 따른 주파수 영역 등화기와 RAKE 수신기의 성능 비교 (Gap-filler 수 = 1, Ped B환경)

이때, 사용한 채널 모델은 Pedestrian-B이며, Gap-filler의 수는 1이다. 결과에서 알 수 있듯이 RAKE 수신기는 CDM 채널 수가 1에서 30으로 증가 할

때, 그 성능은 BER  $1 \times 10^{-3}$ 에서 약 4dB저하되는 반면, 주파수 영역 등화기의 경우, 약 1.2dB 저하된다. 이것은 심볼의 확산코드로써, Orthogonal 코드인 Walsh 코드가 사용되므로, 채널의 다중화 수가 증가할수록 RAKE 수신기 내 MRC 결합된 신호에서 코드간의 간섭이 주파수 영역 등화된 신호에서의 코드간의 간섭보다 더 크기 때문이라고 분석할 수 있다. 그림 6은 Gap-filler의 수를 3개로 증가시킨 후 CDM채널 수를 변화시키면서 측정된 BER이다. Rake 수신기를 사용하는 경우 finger의 수를 6개로 제한하였으며, 가장 큰 경로를 선택하도록 하였다. Rake 수신기를 사용하는 경우 Gap-filler 수가 증가됨에 따라 경로 간의 간섭 영향으로 성능이 급격하게 악화되는 결과를 관측할 수 있었으며, 반면에 주파수 영역 등화기를 사용하는 경우 CDM 채널 수에 대해 비교적 둔감한 성능 변화를 보여주고 있다.

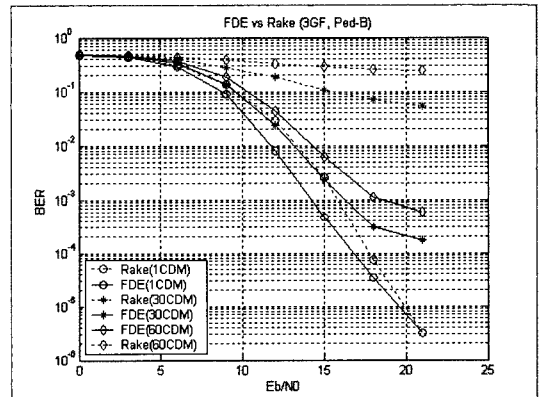


그림 6. CDM 채널 수에 따른 주파수 영역 등화기와 RAKE 수신기의 성능 비교 (Gap-filler 수 = 3, Ped B환경)

상기와 같은 시뮬레이션을 네 가지 다른 채널 모델에 대해서 수행한 후, Gap-filler의 수에 따른, 각 채널 모델에서 Eb/N0가 15dB일 때, BER  $1 \times 10^{-3}$ 을 만족하는 최대 CDM 채널 수를 구해보면 그림 7과 같다.

전반적으로 RAKE 수신기는 다양한 채널 모델에서 비슷한 채널 용량을 가지지만, Gap-filler의 수가 증가함에 따라 가용 CDM 채널 수가 약 30개에서 10개 이하로 떨어지는 성능 저하를 엿볼 수 있다. 이에 반하여 주파수 영역 등화기의 경우, Gap-filler가 3개로 증가하는 경우에도 30개의 CDM 채널 수를 만족시키며, Vehicular-B를 제외한 모든 채널 모델에서 RAKE 수신기보다 월등한 채널 용량을 가짐을 알 수 있다.

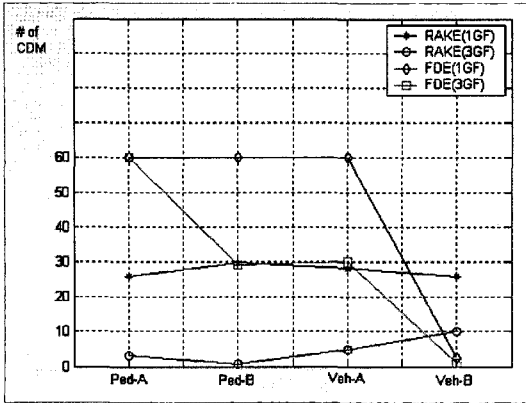
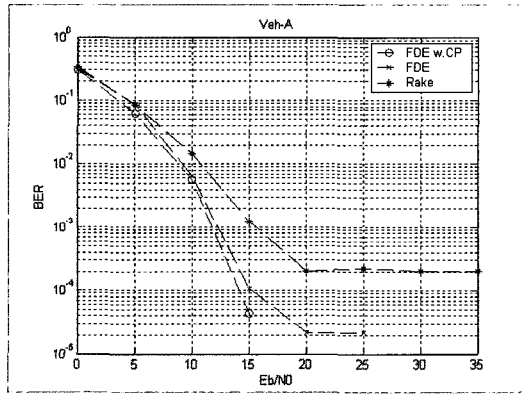
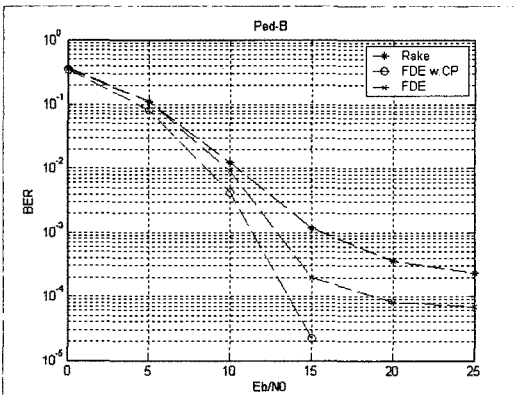


그림 7. 각 채널 모델에서  $E_b/N_0$ 가 15dB일 때, 최대 CDM 채널의 수



(a) Vehicular-A 채널



(b) Pedestrian-B 채널

그림 8. 보호구간이 있는 경우 주파수 영역 등화기의 성능 비교

마지막으로 본 논문에서는 기존 시스템에의 변경을 최소화하기 위하여 보호구간을 두지 않았지만, 성능 비교를 위하여 128 chip (약 7.8us)의 보호구간이 있는 경우 Veh-A와 Ped-B의 경우 시뮬레이션

결과를 그림 8에 제시한다. 이때, 30개의 CDM과 1개의 Gap-filler를 고려하였다. Delay spread가 적은 Veh-A 환경에서는 충분히 큰 DFT 사이즈 덕분에 보호구간이 없는 경우에도 성능 열화가 거의 없는 것이 관측되었으며, delay spread가 다소 큰 Ped-B인 경우 보호구간이 없는 주파수 영역 등화의 경우 10-3의 BER에서 1.3dB 정도의 성능 열화가 관측된다.

## VII. 결론

본 논문에서는 위성 DMB 시스템에서 현재 사용하고 있는 RAKE 수신기를 대신하여 주파수 영역 등화기의 이용을 제안하고, 그에 따른 성능을 분석하여 가능성을 타진해 보았다. 주파수 영역 등화기는 Gap-filler 수의 증가와 CDM 채널 수의 증가에 있어서 RAKE 수신기보다 좋은 성능을 나타냈다. 이는 주파수 영역 등화기가 RAKE 수신기보다 코드간의 간섭과 다중경로 성분을 효과적으로 줄여줄 수 있음을 보여주는 것이며, 현 위성 DMB 시스템이 가지는 제한된 채널 용량과 Gap-filler의 추가 설치로 인해 발생할 RAKE 수신기의 성능 저하에 대한 한 방안책으로 다루어 질 수 있음을 암시한다. 뿐만 아니라, 지연 분산이 큰 Vehicular-B 채널을 제외한 Pedestrian-A,B와 Vehicular-A의 채널 모델에서도 보호구간이 없음에도 불구하고 RAKE 수신기보다 좋은 성능을 가진다는 것은 앞으로 주파수 영역 등화기가 기존의 시스템에서도 환경에 따라 충분히 사용가능할 수 있음을 제시해 준다.

## 참고 문헌

- [1] Rec. ITU-R BO.1130-4, "Systems for digital satellite boagcastin to vehicular, portable and fixed receivers in the bands allocated to BBS(sound) in the frequency range 1400-2700 MHz", 2001.
- [2] T. Walzman and M. Schwartz, "Automatic Equalization Using the Discrete Frequency Domain", IEEE Trans. Info. Theory, Vol. IT-19, No.1, Jan., 1973, pp. 59-68.
- [3] E. R. Ferrara, Jr., "Frequency-Domain Adaptive Filtering", in Adaptive Filters, C.F.N. cowan and P.M. Grant, editors, Prentice-Hall, 1985.
- [4] G. Kadel, "Diversity and Equalization in Frequency Domain"-A robust and Flexible

Receiver Technology for Broadband Mobile Communications Systems", Proc. VTC 1997, Phoenix.

- [5] A. S. Madhukumar, "Single-Carrier Cyclic Prefix-Assisted CDMA System with Frequency Domain Equalization for High Data Rate Transmission" EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2004:1, 149-160
- [6] R. ITU-R M.1225, "Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000"
- [7] Maria-Gabriella Di Benedetto, "Understanding UltraWideBand", p. 299.

이재성 (Jae Sung Lee)

준회원



2004년 2월 인천대학교 전자공학과 졸업  
2006년 2월 인하대학교 정보통신공학부 석사  
2006년 3월~현재 Innowireless 연구원

<관심분야> OFDM, CDMA, DMB

김덕경 (Duk Kyung Kim)

종신회원



1992년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업  
1999년 2월 KAIST 전기, 전자공학과 박사  
1999년 3월~2000년 3월 NTT DoCoMo Postdoc 연구원  
2000년 3월~2002년 2월 SK 텔

레콤 연구원

2002년 3월~현재 인하대학교 정보통신공학과 조교수

<관심분야> OFDM, CDMA, MIMO, UWB, DMB