무선 통신기반 열차제어시스템의 지하구간 전파간섭에 대한 연구

A Study of Interference on Underground Tunnel in Radio Frequency-Communication Based Train Control System

노용언* 이종우**

Noh, Young-Un Lee, Jong-Woo

ABSTRACT

In the system necessary for safety such as the train control system, to make train control information be sent correctly is very important. In the case of the system such as RF-CBTC(Radio Frequency-Communication Based Train Control), sometimes failure in correctness of train controlling information may happen because the information is sent throughout wireless transmission between on-board system of a train and wayside transmitter, and then, it is exposed to noises. Of RF-channel interference, there are various forms. Under the environment of mobile telecommunications, adjacent-channel interference and Co-channel interference are in trouble, and under the environment of the wireless LAN, inter-symbol interference is in trouble. Also, the system of the cellular CDMA mobile telecommunication is affected on the RF-channel interference such as Doppler effect, multi-cell interference, and other users' intervention.

In this paper, we analyzed the effect of the train control information related to fading, intervention and other noises made in the underground interval and explained the transmission characteristics numerically. Furthermore, we calculated the mean of the error terms by increasing users in the system of the cellular CDMA. As the method for decrease the error term of sent information, we represented the way adjusting the arrangement of antennas, and we did the model related to the system of RF-CBTC in which the location of an antenna is calculated with really measured value of the transmission characteristics and the way confirming reliability of the wireless transmission.

key words : RF-CBTC(무선통신기반 열차제어시스템), interference(전파간섭), communication system(통신시스템), 무선전송(radio frequency transmission)

1. 서 론

열차제어시스템과 같은 안전이 필수적인 시스템에서는 정확한 열차제어 정보가 전송되는 것이 매우 중요하다. 무선 통신기반 열차제어시스템, 즉 RF-CBTC 시스템은 지상의 거점에 위치하는 컴퓨터가 각 열차로부터 위치와 속도를 주기적으로 수집하고, 선행열차와 속도 제한 지점까지의 거리를 열차로 전송하고, 차상의 제어장치가 열차성능에 맞는 최적의 속도제어를 하는 것으로, 지상과 차상간의 데이터 전송에 무선을 사용하는 것이다. 무선 통신기반 열차제어시스템의 경우에는 차상과 지상 사이에 무선을 통하여 열차제어 정보가 전송되므로 잡음에 노출되어 정확한 열차제어 정보가 전송되지 않는 경우가 발생한다. 또한 터널구간에서는 터널 단면 형상 및 단면적 크기에 따라 전파특성이 차이가 난다.

무선 채널 간섭에는 인접채널간섭, 동일채널 간섭, 내부변조 간섭, 심볼 간 간섭 등 여러 가지 형태가 있다. 이중 이동통신 환경에서는 인접채널간섭과 동일채널간섭이 문제가 되고 무선 LAN인 경우에는 심

* 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 석사과정, 정회원

** 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 교수, 정회원

볼 간 간섭이 문제가 되고 있다. 또한 CDMA 이동통신 시스템은 다중경로 페이딩, 도플러 효과, 다중셀 간섭, 다른 사용자 간섭 등의 무선 채널 간섭에 영향을 받는다.[1]

본 논문에서는 지하구간에서 열차가 이동하면서 무선으로 데이터 전송하는 경우 발생하는 페이딩, 간섭 및 기타 잡음에 의한 열차제어 정보의 영향을 분석하고, 전송특성을 수리적으로 해석하였다. 또한 CDMA 시스템에서의 사용자 증가에 따른 평균오차율을 계산하였다. 전송정보 오차율을 낮추기 위한 방법으로 안테나의 배열을 조절하는 방법을 제시하고, 실측된 전파 전송특성 값으로 안테나 위치를 산출하는 무선 통신기반 열차제어시스템에 대한 모델 제시 및 무선데이터 전송의 신뢰성 확보방안을 제시하였다.

2. 무선 통신시스템에서 전파간섭에 대한 모델링

무선 통신시스템에서 전파간섭은 크게 잡음, 간섭, 페이딩으로 나눌 수 있다. 변조방식에 따라 잡음, 간섭, 페이딩에 대한 모델이 달라진다. 현재 철도에서 가장 많이 사용하고 있는 방식인 위상 편이(PSK:Phase Shift Keying, 주파수 편이(FSK:Frequency Shift Keying), 최소 편이(MSK:Minimum Shift Keying) 방식에 대해 전파간섭에 대한 모델을 제시하였다.

2.1 잡음에 의한 모델

2.1.1 위상 편이 방식

모델을 나타내기 위해 수신 페이저도를 이용한다. [그림 1]에서 부호점간의 최소거리 $d_M=2S\sin(\pi/M)$이며 신호점 P를 전송할 때 에러가 발생할 경우는 수신신호 Z_1의 끝점이 판정레벨을 넘어서 에러영역으로 들어가는 경우다. 그러므로 잡음의 영향을 받은 수신호에 대한 부호율을 계산하기 위해 근사적으로 S_{E1}과 S_{E2}를 더한다.[2][3]

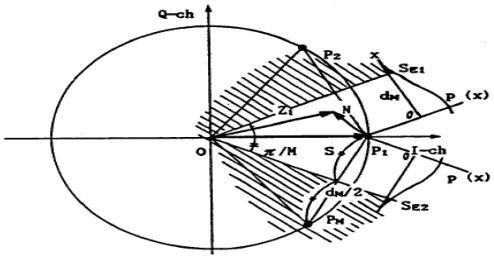

그림 1. 수신 PSK 신호의 합성 페이저도

$$S_{E1}=S_{E2}=\int_{d_M/2}^{\infty}p(x)\,dx=\int_{S\sin(\pi/M)}^{\infty}\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)dx=\frac{1}{2}erfc[\sqrt{\rho}\,sin(\pi/M)] \quad (1)$$

$$\rho=S^2/2\sigma^2(\text{반송파전력 대 잡음비})$$

$$P_{EGN(PSK)}=S_{E1}+S_{E2}=erfc[\sqrt{\rho}\,sin(\pi/M)] \quad (2)$$

2.1.2 주파수 편이 방식

주파수 편이 방식 신호는 주파수 정보신호 1과 0의 발생확률이 같다고 가정하여 1인 경우에만 고려한다. [그림 2]에서 채널 1에는 신호에 잡음이 부가되어 있으므로 최대치 판별기 입력은 식(3)이고, 채널2에는 잡음만이 존재하므로 최대치 판별기 입력은 식(4)이다. 따라서 최종 판별과정을 거친 출력신호는 식(5)이다.[4]

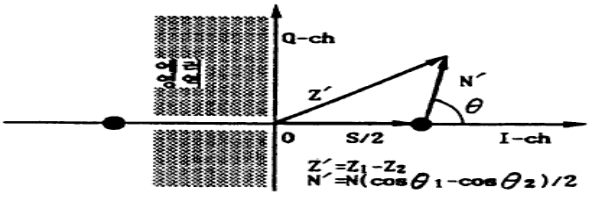

그림 2. 수신 FSK 신호의 합성 페이저도

$$z_1(t) = \frac{S}{2} + \frac{N}{2} cos\theta_1 \tag{3}$$

$$z_2(t) = \frac{N}{2} cos\theta_2 \tag{4}$$

$$z'(t) = z_1(t) - z_2(t) = \frac{S}{2} + N' \cos\theta \tag{5}$$

[그림 2]에서 합성 페이저가 에러영역에 들어갈 확률이 오율이 되므로 최종 오율식은 식(6)이다.

$$P_{EGN(FSK)} = \frac{1}{2} erfc[\sqrt{\rho/2}] \tag{6}$$

2.1.3 최소 편이 방식

최소 편이 방식의 수신기는 동상채널과 직교채널이 서로 대칭인 구조로 되어 있으므로 동상채널에 대해서만 고려하면 k번째 시각에서 적분방전 필터의 출력은 [그림 3]을 고려해서 계산하면 식(7)이고, 이를 이용해 최종 오율식을 계산하면 식(8)이다.[5]

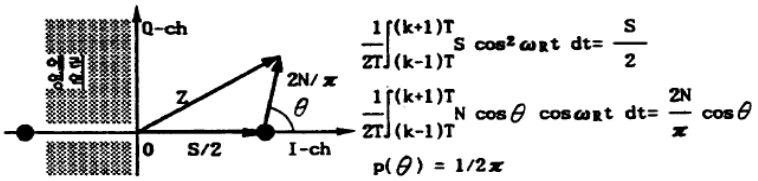

그림 3. 수신 MSK 신호의 합성 페이저도

$$z = \frac{S}{2} a_1(t) + \frac{2}{\pi} N cos\theta \tag{7}$$

$$P_{EGN(MSK)} = \frac{1}{2} erfc[\frac{\pi}{4}\sqrt{\rho}] \tag{8}$$

2.2 간섭에 의한 모델

간섭의 영향을 받을 때의 무선 디지털 신호의 오율특성을 살펴보기 위해 [그림 4]와 같이 해석모델을 제시하였다. 이 모델에서 송수신기의 동작은 이상적이며 완전히 동기가 되었다고 가정함과 동시에 각 필터도 이상적이라고 가정한다.

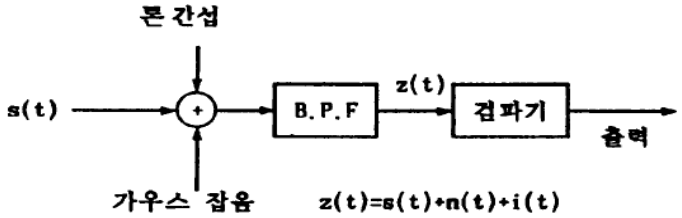

그림 4. 간섭의 영향분석을 위한 해석모델

2.2.1 위상 편이 방식

[그림 5]와 같은 위상 편이 방식 신호의 수신 합성페이저도에서 간섭파는 I=IcosΦ가 되므로 다상 위상 편이 방식 신호에 대한 오율식은 식(9)이다.[3]

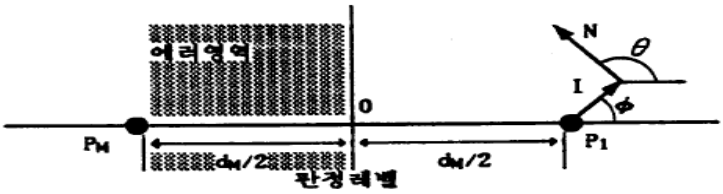

그림 5. 간섭영향에 의한 수신 PSK 신호의 합성페이저도

$$P_{ETI(PSK)} = erfc[\sqrt{\rho}\, sin(\pi/M)] + \frac{2}{\sqrt{\pi}} exp[-\rho \sin^2(\pi/M)] \times \sum_{k=1}^{\infty} H_{2k-1}[\sqrt{\rho}\, sin(\pi/M)](\rho/\rho_{TI})^k \times \frac{1}{2^{2k}(k!)^2} \tag{9}$$

2.2.2 주파수 편이 방식

[그림 6]을 이용하여 주파수 편이 방식 신호에 대한 오율식은 식(10)이다.[4]

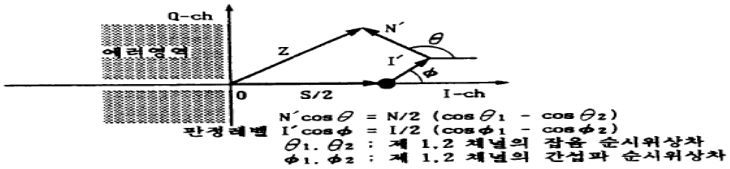

그림 6. 간섭영향에 의한 수신 FSK 신호의 합성페이저도

$$P_{ETI(FSK)} = \frac{1}{2}erfc[\sqrt{\rho/2}] + \frac{1}{\sqrt{\pi}}exp[-\rho/2] \times \sum_{k=1}^{\infty} H_{2k-1}[\sqrt{\rho/2}](\rho/\rho_{TI})^k \times \frac{1}{2^{2k}(k!)^2} \tag{10}$$

2.2.3 최소 편이 방식

[그림 7]을 이용하여 최소 편이 방식에서 톤간섭하의 요율식은 식(11)이다.[5]

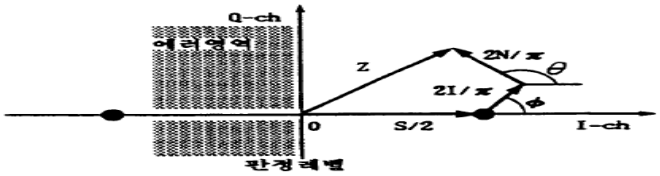

그림 6. 간섭영향에 의한 수신 MSK 신호의 합성페이저도

$$P_{ETI(MSK)} = \frac{1}{2}erfc[\pi\sqrt{\rho/4}] + \frac{1}{\sqrt{\pi}}exp[-\pi^2\rho/16] \times \sum_{k=1}^{\infty} H_{2k-1}[\pi\sqrt{\rho/4}](\rho/\rho_{TI})^k \times \frac{1}{2^{2k}(k!)^2} \tag{11}$$

2.3 페이딩에 의한 모델

통신선로상에서 발생하는 여러 가지 심도의 페이딩을 나타낼 수 있는 Nakagami의 분포 페이딩 모델에 의하면 페이딩을 받은 신호진폭 S의 확률밀도함수 p(S)는 식(12)이다.

$$p(S) = \frac{2m^m S^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega_s^m} exp\left(-\frac{mS^2}{\Omega_s}\right) \tag{12}$$

$\Gamma(m)$: 감마함수, $\Omega_s/2$: 신호의 평균전력 $(\Omega_s = S^2)$, $m(\geq 1/2)$: 페이딩 지수

2.3.1 위상 편이 방식

신호가 페이딩을 받게 되면 일정하던 신호성분 S가 m분포의 확률밀도함수를 갖는 변수가 되므로 잡음에서의 오율식에 m-분포 확률밀도함수를 곱하여 적분함으로써 페이딩하에서 위상 편이 방식 신호의 오율식은 식(13)이다.[3]

$$\begin{aligned} P_{EF(PSK)} &= \int_0^{\infty} P_{EGN(PSK)} P(S) dS \\ &= 1 - \sqrt{\frac{4\sin^2(\pi/N)\alpha}{\pi m}} \frac{\Gamma(m+1/2)}{\Gamma(m)} \left(1 + \frac{\sin^2(\pi/N)\alpha}{m}\right)^{-(m+1/2)} \times {}_2F_1\left(1, m+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\sin^2(\pi/N)\alpha}{m+\sin^2(\pi/N)\alpha}\right) \end{aligned} \tag{13}$$

M: 상의 수, ${}_2F_1(\bullet,\bullet;\bullet;\bullet)$: 초기하 함수

2.3.2 주파수 편이 방식

위상 편이 방식과 마찬가지로 m-분포 확률밀도함수를 곱하여 적분함으로써 페이딩하에서 주파수 편이 방식 신호의 오율식은 식(14)이다.[4]

$$\begin{aligned} P_{EF(FSK)} &= \int_0^{\infty} P_{EGN(FSK)} P(S) dS \\ &= \frac{1}{2} - \sqrt{\frac{\alpha}{2\pi m}} \frac{\Gamma(m+1/2)}{\Gamma(m)} \left(1 + \frac{\alpha}{2m}\right)^{-(m+1/2)} \times {}_2F_1\left(1, m+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\alpha}{2m+\alpha}\right) \end{aligned} \tag{14}$$

2.3.3 최소 편이 방식

m-분포 확률밀도함수를 곱하여 적분함으로써 페이딩하에서 최소 편이 방식 신호의 오율식은 식(15)이다.[5]

$$P_{EF(MSK)} = \int_0^{\infty} P_{EGN(MSK)} P(S) dS \tag{15}$$
$$= \frac{1}{2} - \sqrt{\frac{\pi\alpha}{16m}} \frac{\Gamma(m+1/2)}{\Gamma(m)} \left(1 + \frac{\pi^2\alpha}{16m}\right)^{-(m+1/2)} \times {}_2F_1\left(1, m+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\pi^2\alpha}{16m+\pi^2\alpha}\right)$$

3. 이동 통신시스템에서의 전파간섭

3.1 간섭 허용 레벨

간섭계산은 계산에 적용되는 수신기의 간섭허용레벨을 알아야한다. 일반적으로 사양에서 제시하고 있는 값을 정하고 없는 경우에는 계산식을 이용하여 계산하거나 유사 시스템과 비교하여 설정하는 방법이 있다. 동일 주파수에 대한 신호 대 간섭비(C/I:Carrier/Interference)목표 값과 인접채널 간섭에 대한 목표 값이 주어지고, C/I 목표 값을 설정하기 위해 복조기의 신호 대 잡음비(S/N:Signal/Noise)값을 알면 C/I 값을 알 수 있다.[6]

$$C/I_{OBJ} = S/N(C/N) + \text{Fade Margin} + \alpha \tag{16}$$

$$C/I_{OBJ} = C/I + \text{Fade Margin} + \alpha \tag{17}$$

3.2 신호 대 간섭비 계산

신호 대 간섭비 계산 방법은 희망신호 세력과 간섭신호 전력비를 계산한 다음 이를 신호 대 간섭비 목표 값과 비교하여 간섭된 값이 크면 간섭 우려가 없다고 판정한다.

$$C/I_{OBJ} \leq 10\text{Log}(R_C/R_I) \tag{18}$$

R_C : 희망신호의 수신된 전력(μW), R_I : 간섭신호의 수신된 전력 (μW)

RCL_C의 소문자 $_C$는 희망신호 반송파, I를 간섭신호 반송파라고 할 때, RCLc는 수신레벨 계산과 유사한 방법으로 계산된다.

$$RCL_C = P_{TD} + G_{TD} + G_{RD} - F_{SLD} - L_{WGTD} - L_{WGRI} - L_{OTHER} \tag{19}$$

P_{TD}:송신출력레벨, G_{TD}:송신안테나 이득, G_{RD}:수신안테나 이득, F_{SLD}:자유공간 손실, L_{WGTD}:송신기 케이블 손실, L_{WGRI}:수신기 케이블 손실, L_{OTHER}:기타 손실

$$RCL_I = P_{TI} + G_{TI} + G_{RD} - G_{DI} - F_{SLI} - L_{WGTI} - L_{WGRI} - L_{OTHER} \tag{20}$$

P_{TI}:간섭국의 송신출력 레벨, G_{TI}:간섭국 송신 안테나 이득, G_{DI}:간섭국과 희망국 안테나의 편이 이득, F_{SLI}:자유공간 전파 손실, L_{WGTI}:간섭국 안테나 케이블 손실

식(19), 식(20)에서 자유공간 전파 손실은 설치 여유율, 경년변화 여유율, 온도 변화 여유율, 전파경로의 페이딩 여유율 등을 감안한다.

3.3 신호 대 간섭비 목표 값

신호 대 간섭비 목표 값은 신호 대 잡음비와 밀접한 관계를 갖으며 고정된 페이딩 여유율 값을 고려하여 신호 대 간섭비 값을 정하고 있으나 구간별 페이딩 값이 다른 경우 신호 대 간섭비 값이 아닌 시간 대 간섭비 값을 정하여 간섭의 목표치를 정하고 있으며 시간 대 간섭비 목표 값은 페이딩 여유율에 상관없이 간섭영향이 없는 수신 한계레벨을 정하고 있다. 시간 대 간섭비에서 간섭 신호량이 식(21)에 의해 계산된 값 이하면 간섭 영향 없이 사용이 가능하다는 것이다.

$$I = T - (T/I) \tag{21}$$

I= 최대 허용 간섭 레벨, T=BER 10^{-6}일 때 수신 한계레벨

3.4 무선 LAN간의 전파간섭

IEEE 802·11b 무선 LAN간 전파간섭은 신호 대 잡음비와 밀접한 관계가 있으며, 전체의 잡음은 열잡음과 간섭의 합이므로 SNR은 식(22)이다.

$$\text{SNR} = \frac{S}{N+I} \tag{22}$$

간섭성분은 자신의 신호에서 발생하는 성분과 인접채널을 사용하는 다른 사용자에 의한 성분으로 나눌 수 있다. [그림 7]과 같이 파워앰프의 비선형 성분에 의해서 Sidelobe 성분이 나타내게 되는데 이 성분은 자신의 신호에게도 간섭으로 작용하고 인접 채널이 있는 경우는 그 채널의 사용자에게도 간섭으로 작용한다. 따라서 Sidelobe 크기는 무선 LAN의 성능에 많은 영향을 미친다.

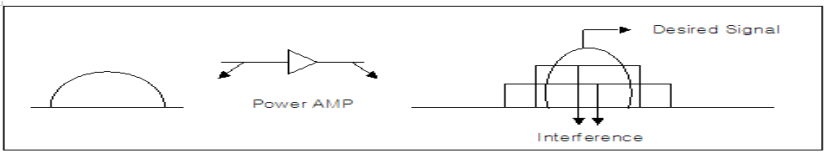

그림 7. Power AMP에 의한 Sidelobe

송신신호의 간섭은 수신기에 도착할 때까지 거리와 환경에 따라 식(23)과 같이 경로 손실을 입는다.[6]

$$\text{PL(dB)} = 20\log(\frac{4\pi}{\lambda}) + 10\alpha\log(d) \tag{23}$$

PL:경로손실,λ:사용주파수 파장, d:송수신기기 출력, α:평균 경로 손실계수

평균 경로 손실계수는 [표 1]과 같다.

표 1. 설치장소에 따른 평균 경로 손실계수

설치장소	α
Free Space	2
Open plan Building	2.2
Semi open Building	3.3
Closed Office	4.5

다른 사용자가 없을 때 경로 손실계수를 변화시켜 가면서 거리에 따른 무선 LAN의 Throughput은 Mainlobe와 Sidelobe의 차이는 20, 25, 30, 35, 40[dB]로 하였을 때, Mainlobe와 Sidelobe의 차이가 클수록 좋은 성능을 나타낸다.

3.5 CDMA 환경에서의 가입자 증가와 간섭에 따른 오차율 특성

CDMA 이동통신 시스템은 다중경로 페이딩, 도플러 효과, 다중 셀 간섭, 그리고 다른 사용자 간섭 등의 심각한 간섭에 의해 통신채널 상에서 큰 영향을 받음으로 수신된 정보의 신뢰성을 감소시킨다. 이러한 간섭들을 고려하여 CDMA 시스템에서의 셀당 사용자 증가에 따른 평균오차율(BER:Bit Error Ratio)을 고찰하였으며 이 평균오차율을 에러 제어기법의 알고리즘의 성능 분석 시에 중요한 채널 특성 변수로 삼았다. 백색잡음환경(AWGN:Additive White Gaussian Noise) 환경에서 CDMA 시스템의 평균오차율은 식(24)이다.[7]

$$P_e = Q\left\{(\frac{N(1+0.547N_r)-1}{3N} + \frac{1}{2\gamma_b})^{-1/2}\right\} \tag{24}$$

이 오차율 식은 7셀 패턴의 셀 환경에서 기준 셀 당 N명의 가입자가 존재하고 그 외의 셀에 $N_r \cdot N$명의 가입자가 존재하는 경우이다. 페이딩 환경에서 CDMA 시스템의 평균 오차율은 식(25)이다.[7]

$$P_e = \frac{1}{2}\left\{1 + \sum_{m=1}^{L}(\frac{L}{M})\frac{(-1)^m}{\sqrt{1+m \cdot \mu}}\right\},\ \mu = \frac{2(L-1)}{3N}(\frac{3}{2} + N_i + \sum_{n \neq i} N(1+0.547N_r)) + \frac{L}{\gamma_b} \tag{25}$$

코드비가 1/3인 반복코드를 가정하면 이 코드는 정보 1비트를 전송하기 위해 3번 반복해서 전송한다. 이 코드의 에러 정정 능력은 식(27)이다.

$$e = \frac{1}{2}(n-1) \quad n: \textit{code rate}\text{의 역수} \tag{27}$$

그러므로 1비트 에러는 정정될 수 있게 된다. 결국 이 순방향 에러 정정(FEC:Forward Error Correction) 코드를 적용한 오차율은 식(28)이다.

$$P_{ecw} = \sum_{i=e+1}^{n} (\frac{i}{n}) p^i (1-p)^{n-1} \tag{28}$$

4. 시뮬레이션

시뮬레이션의 기준은 현재 분당선에 적용한 RF-CBTC환경을 기준으로 하였다. 백색잡음환경과 페이딩 환경에서 가입자 증가에 대한 오차율특성곡선을 나타내었고, 수신레벨곡선을 이용하여 인접채널인 WiBro와의 잡음곡선과 안테나 이격거리에 대한 잡음곡선을 나타내었다. RF-CBTC환경에서의 주파수 및 수신감도 등에 대한 파라미터는 [표 2]와 같고, [그림 8]에서 보듯이 터널구간에서의 경로 손실은 약 0.1[dBm/m]이다.

표 2. 전파도달 거리 산정 파라미터 사례

파라미터	수 치
주파수	2.45[GHz]
방사 출력	1,000[mW]
수신신호 감도	-98[dBm]
송신 안테나 높이	10[m]
수신 안테나 높이	3[m]
안테나 이득	6[dB]
링크 마진	6[dB]

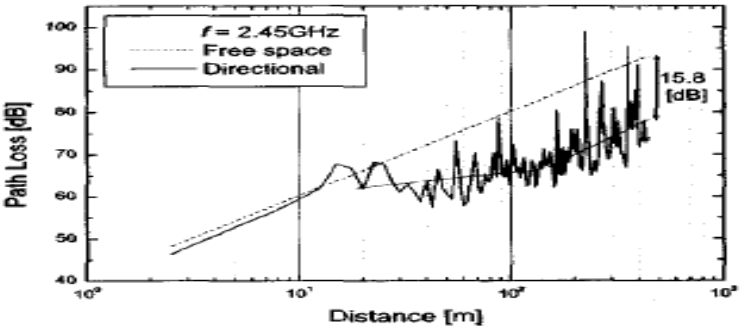

그림 8. 곡선터널구간에서의 2.45[GHz] 전파경로 손실

변조방식에 대한 신호 대 잡음비와 신호 대 간섭비는 [표 3]이다.

표 3. 변조방식에 대한 신호 대 잡음비와 신호 대 간섭비

변 조 방 식	신호 대 잡음비	반송 대 간섭비
16QAM	24.6[dB]	64.6[dB]
64QAM	26.6[dB]	66.6[dB]

4.1 백색잡음환경에서 오차율특성

4.1.1 순방향 에러 정정 코드를 적용하지 않은 환경

순방향 에러 정정 코드를 적용하지 않은 환경에서 트래픽 밀도와 가입자 증가에 따른 평균 오차율특성은 [그림 9]이다.

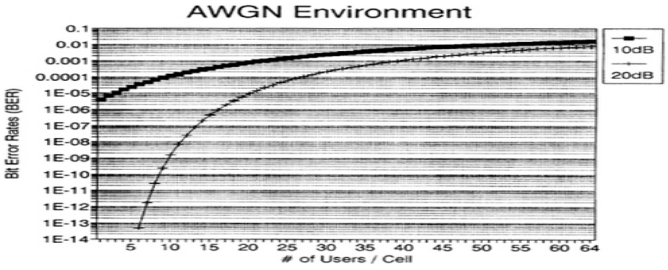

그림 9. 트래픽 밀도가 증가할 때 가입자 증가에 따른 평균 오차율특성(AWGN환경)

[그림 9]에서 보듯이 백색잡음환경에서 20[dB]의 신호 대 잡음비를 고려했을 때 신뢰성 있는 데이터의 송수신은 가입자가 41명 이하일 경우에 가능하게 된다. 신호의 강도가 약한 10[dB]일 경우에는 신뢰성 있는 통신을 할 수 있는 가입자 수용용량은 약 20명 정도에 지나지 않는다.

4.1.2 순방향 에러 정정 코드를 적용한 환경

순방향 에러 정정 코드를 적용한 환경에서 트래픽 밀도와 가입자 증가에 따른 평균 오차율특성은 [그림 10]이다.

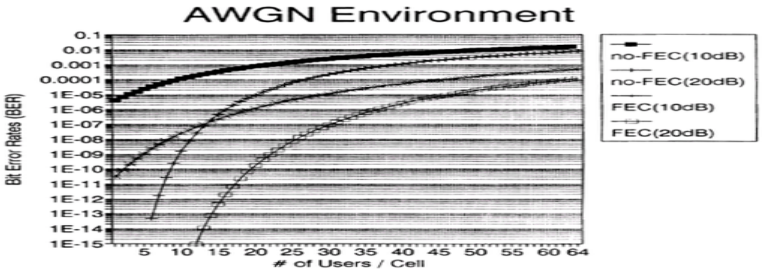

그림 10. FEC를 적용할 때 트래픽 밀도와 가입자 증가에 따른 평균 오차율특성(AWGN 환경)

백색잡음환경에서 순방향 에러 정정방식을 사용했을 때의 평균 오차율 특성이 나타나있는데 순방향 에러 정정방식을 사용하지 않았을 때의 오차율보다 약 10^{-2}정도의 오차율이 감소하였다.

4.2 페이딩환경에서 오차율특성

4.2.1 순방향 에러 정정 코드를 적용하지 않은 환경

순방향 에러 정정 코드를 적용하지 않은 환경에서 트래픽 밀도와 가입자 증가에 따른 평균 오차율특성은 [그림 11]이다.

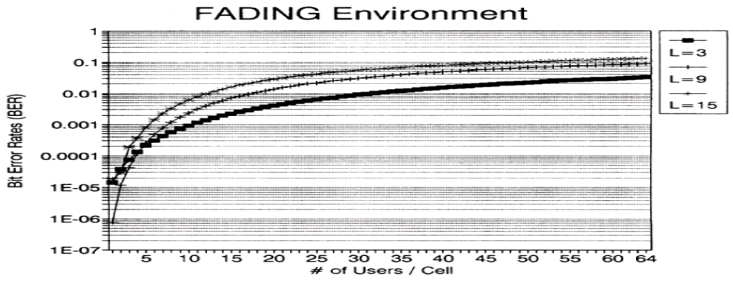

그림 11. 트래픽 밀도가 증가할 때 가입자 증가에 따른 평균 오차율특성(페이딩환경)

페이딩 환경에서는 신호 대 잡음비가 20[dB]일 경우 가입자 수가 10명 정도에서 만족할만한 ($BER = 10^{-3}$) 데이터의 전송이 이뤄질 수 있음을 알 수 있다. 페이딩 환경은 시스템의 효율을 급격하게 감소시키는데 현재 CDMA 시스템에서는 RAKE 수신기 등을 사용하여 이러한 심각한 페이딩 환경을 극복하고 있다. 다중 경로의 수가 많아질수록 간섭의 영향은 커져 오차율이 증가함을 알 수 있다.

4.2.2 순방향 에러 정정 코드를 적용한 환경

순방향 에러 정정 코드를 적용한 환경에서 트래픽 밀도와 가입자 증가에 따른 평균 오차율특성은 [그림 12]이다.

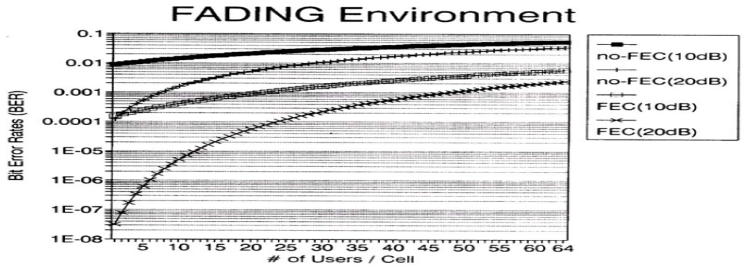

그림 12. FEC를 적용할 때 트래픽 밀도와 가입자 증가에 따른 평균 오차율특성(페이딩환경)

백색잡음환경에서와 마찬가지로 순방향 에러 정정 방식을 사용함으로써 오차율의 감소를 유도하였다. E_b/N_o를 20으로 가정하고 순방향 에러 정정 방식을 적용하지 않은 경우 신뢰성 있는 오차율을 10^{-3}으로 가정했을 때 가입자 수는 7명이 되나 순방향 에러 정정 방식을 적용하면 48명까지 가입자가 동시에 사용할 수 있게 된다.

4.3 인접채널과의 잡음

인접채널 중 WiBro와의 잡음곡선을 [그림 13]에 나타내었다.[6]

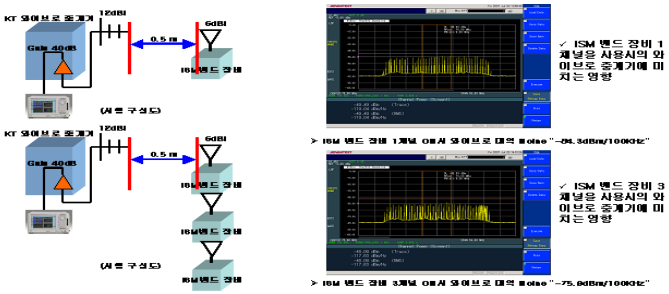

그림 13. RF-CBTC의 AP가 WiBro에 미치는 영향

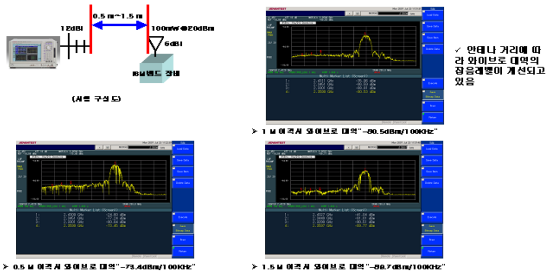

그림 14. 안테나 거리 이동시 잡음비교

RF-CBTC AP의 잡음이 WiBro 지하철 디지털 공용광중계기에 미치는 영향으로 1채널 사용했을 잡음은 -84.3[dBm]/100[kHz]이고, 3채널 사용 시, 잡음은 -75.9[dBm]/100[kHz]이다. 또한 [그림 14]에서 보듯이 안테나 이격거리를 0.5[m]에서 1.5[m]로 이동시에 WiBro와의 잡음레벨이 개선되는 것을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 RF-CBTC 시스템은 열차가 이동하면서 열차제어정보를 무선을 통하여 전송되므로 잡음에 노출되어 정보변형이 발생하기 쉽고, 무선정보의 전파는 터널에서 발생하는 페이딩, 간섭, 백색잡음에 의해서 영향을 받는 것을 입증하였다.

전송정보 에러율은 신호 대 간섭비에 비례하고, CDMA환경에서의 셀 당 가입자 증가에 대한 오율차이는 순방향 에러 정정방식을 통해서 줄일 수 있다. 또한 ISM밴드의 주파수 영역을 사용하는 분당선의 터널구간에서 WiBro와의 채널간섭이 발생하였다. 이런 RF-CBTC 시스템의 정보전송 에러율을 낮추기 위해서는 안테나 이격거리를 변경하여 신호 대 간섭비를 높여야한다. 또한 변·복조방식, 전파 에러 등 전송특성을 수리적으로 해석하고 실측된 전파 전송특성 값을 이용하여 신호 대 간섭비 목표 값을 설정하고, 이를 맞도록 무선통신시스템을 구축해야 한다.

본 논문에서 제시한 무선통신기반 열차제어시스템의 무선통신망 잡음 및 채널간섭 등 무선데이터 통신에 대한 신뢰도 향상에 관한 연구가 ETCS Level 2의 적용에 활용될 수 있다. 또한 현재 지하철에 적용중인 화상통신시스템에도 활용될 것이다.

참고문헌

1. 김윤배, “CBTC를 위한 무선통신장비의 최적위치 선정연구”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.1199~1204, 2004.

2. B.O. Kong, "PSK error performance with impulsive noise and cochannel interference", KIEE Journal, vol.20, no.1, pp.55~62, Jan 1983.

3. 강희조, “페이팅 간섭의 영향을 받는 직접 스펙트럼 확산 PSK 신호의 성능해석에 관한 연구”, 91 통신학술연구과제, 1992.

4. J.G. Proakis, "Digital communications", New-York:McGraw-Hill, 1983.

5. S. Pasupathy, "Minimum shift keying : A spectrally efficient modulation", IEEE Comm. Mag., pp.14~22, July 1979.

6. 김윤배, “분당선 지능형 열차제어시스템 예비시험구간 통합 시운전을 통한 분석 및 평가” 한국철도학회 춘계학술대회, 2005.

7. 민근홍, “무선통신기반 열차제어시스템의 지하구간 무선통신망 신뢰도 향상에 관한 연구”, 서울산업대학교 철도전문대학원, 2008.