
1x EV-DO 서비스망에서 이동통신 중계기의 전송 특성에 관한 연구

김선근* · 이영섭** · 김기문*

A Study on Transmit Performance of Repeaters in 1x EV-DO Networks

Seon-Keun Kim* · Young-Sub Lee** · Ki Moon Kim*

요 약

본 논문은 기존에 사용하고 있는 음성 및 저속 데이터 서비스용 이동통신 중계기가 초고속 무선 데이터 서비스용 1x EV-DO 서비스에서도 적합한지 그리고 중계기의 전송 특성상 문제의 발생 여부에 대해 연구한 것이다. 이러한 시험을 하기 위해 이동통신 사업자의 무선망에 설치되어 있는 이동통신 중계기에 대해 종류별로 선정하여 중계기를 통한 1x EV-DO 신호의 전송 특성이 얼마나 열화되는지를 현장시험 하였다. 측정 결과, 대부분의 이동통신 중계기에서 출력된 1x EV-DO 신호 전송률이 1x EV-DO AN(Access Node)로부터 직접 받는 것에 비해 데이터 전송률이 거의 저하되지 않는 정도의 특성을 보인 반면, 몇몇 이동통신 중계기는 그보다 훨씬 큰 10%의 데이터 전송률이 저하되는 특성을 보였다. 따라서 본 논문에서는 데이터 전송률에서 많은 특성 저하를 나타내는 이동통신 중계기의 특성을 분석하였다. 그리고 여러 가지 환경에서 즉, 페이딩, RSSI 등에 따른 중계기의 전송 특성이 열화되는 부분에 대해 특성 시험을 하였다.

ABSTRACT

The mobile service was focused on voice and low rate data service. But recently high data rate service is getting more important, so mobile service operators are providing 1x EV-DO services for high data rate service. Many mobile repeaters were deployed for service coverage, but most of them were deployed when voice and low rate data service were main service. It is necessary to test whether these repeaters are suitable for 1x EV-DO networks for high rate data services. In field test, 1x EV-DO data rates were measured through various repeaters. Some repeaters showed data rates degradation compared with 1x EV-DO AN. The specifications of the repeaters were analyzed. And under the various radio environments such as fading and RSSI, data rates through repeater were tested. These test results will be useful for operation guide of repeaters in high data rate service networks.

키워드

Repeater, 1x EV-DO, data rate, Fading, RSSI

1. 서 론

근래 이동통신 서비스는 기존의 음성 및 저속 데이터 서비스에서 수요자의 요구에 의해 고속 데이터 서비스로 전환되고 있고, 이에 따라 이동통신 사업자들은 1x EV-DO 서비스를 제공하고 있다. 본 논문은 이러한 고속 데이터 서비스를 위한 1x EV-DO 서비스 망에서 기존 음성 및 저속 데이터 서비스를 위해 설치되어 있던 이동통신 중계기를 그대로 사용할 수 있는지를 확인하기 위해 기존의 이동통신 중계기를 이용하여 1x EV-DO 서비스 망에서 전송 특성 시험을 하였다. 그리고 여러 가지 전파 환경 즉, 페이딩, RSSI(Receive Signal Strength Indicator)에 따른 중계기의 전송 특성을 현장시험을 통해 측정하였다. 이러한 결과는 이동통신 사업자들이 이동통신 중계기를 이용하여 고속 무선 데이터 서비스를 하는 경우 중계기를 운용하는 기준으로 유용할 것으로 사료된다. 또한 W-CDMA (3G) 서비스는 초고속 무선 인터넷 서비스를 위한 것으로 W-CDMA 서비스가 본격화 되는 시점에서는 이러한 시험 데이터들은 더욱 유용할 것으로 판단된다.

II. 중계기의 전송 특성 시험을 위한 이론적 배경(이상근 등, 2001)

1. 전파 손실

이동 통신 시스템의 설계에 있어서 기지국 위치나 송신 전력의 세기, 서비스 영역의 크기 등 주요 파라미터를 결정하기 위해 가장 기본이 되는 것이 송신기에서 수신기까지의 전파 손실이다. 그러나 송신기에서 수신기까지 전파가 도달하는 동안 수많은 경로를 거치게 되므로 전파 손실을 정확하게 예측하는 것은 불가능하다.

따라서 유사한 지형별로 구분하여 수많은 실측 결과를 바탕으로 이를 통계적 수식으로 표현함으로써 매번 측정을 하지 않아도 전파 전파 수식을 이용하여 근사적으로나마 손실을 예측할 수 있게 된다.

이와 같은 전파 전파 수식을 전파 모델이라 하며, 지형의 특성에 따라서 많은 모델이 여러 가지 방법으로 연구되어 왔다. 이러한 모델은 크게 이론적인 모델과 실험적인 모델로 분류되는데, 이론적인 모델은 전파 전파 특성을 여러 상황에서 측정된 전파 손실 측정값을 이용하여 유도된 수식으로 곡선을 사용하는 방법이다.

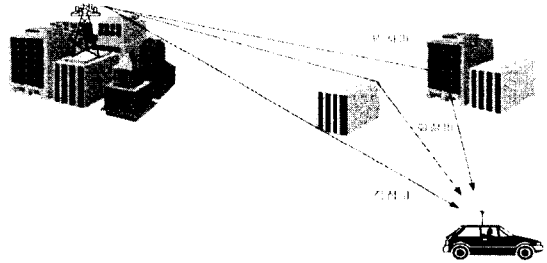


그림 1. 전파 전파 경로

Fig. 1 The route of radio wave propagation

자유 공간에서의 수신 전력(P_r) 대 송신 전력(P_t)의 비는 안테나 이론에 의해 다음과 같다.

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (1)$$

여기서, G_t , G_r 는 송수신 안테나 이득이며, λ 는 반송파의 파장(m), d 는 송신기와 수신기 사이의 거리이다.

따라서 전파 손실 L 은 dB 단위인 경우

$$\begin{aligned} L &= P_t |dB - P_r |dB \\ &= -10\log G_t - 10\log G_r - 20\log \lambda + 20\log d + 21.98 \end{aligned} \quad (2)$$

이다. 등방형 안테나($G_t, G_r = 1$)를 사용하고 주파수 f 를 MHz, 거리를 km 단위로 하면

$$L = 20\log f + 20\log d + 32.44 \text{ dB} \quad (3)$$

이 된다.

2.2 전파 손실 모델 - Hata 모델

오쿠무라 모델은 실험에 의한 측정값을 그래프로 나타낸 것으로서 이용하는 방법이 다소 불편하다. 이를 보완하기 위해 나온 것이 하타 모델이다.

하타는 일본의 NTT에서 근무하면서 오쿠무라 모델의 단점을 수학적으로 모델링하여 간편하게 만들었으며 오늘날에도 많은 엔지니어링 회사에서 이를 이용하고 있다.

2.1.1 도심 지역

$$L_p[dB] = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_t - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log d \quad (4)$$

여기서

- h_t : 기지국 안테나의 유효 높이
- $a(h_r)$: 이동국 안테나의 높이 보정 팩터
- d : 전파의 통달 거리
- L_p : 전송 손실
- f_c : 사용 주파수
- $a(h_r)$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

중소 도시

$$a(h_r) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_r - (1.56 \log f_c - 0.8) \quad (5)$$

대도시

$$a(h_r) = \begin{cases} 8.29 (\log 1.5 h_r)^2 - 1.1; & f \leq 200 \text{MHz} \\ 3.2 (\log 1.75 h_r)^2 - 4.97; & f \geq 400 \text{MHz} \end{cases} \quad (6)$$

2.1.2 교외 지역

$$L_p[dB] = L_p(\text{도심 지역}) - 2 \left[\log \left(\frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5.4 \quad (7)$$

2.1.3 개방 지역

$$L_p[dB] = L_p(\text{도심 지역}) - 4.78 (\log f_c)^2 - 18.33 \log f_c - 40.94 \quad (8)$$

하타 모델을 이용하여 서비스 가능 반경 및 전계 강도값을 구할 수 있다. 위에서는 지역의 형태별로 전파 전송 손실을 구하는 공식을 설명하고 있다.

2.3 다중 경로에 의한 페이딩 및 페이딩 분포 특성

기지국의 송신 안테나로부터 전송되는 전파는 다중 경로를 거쳐 이동국의 수신 안테나에 도달한

다. 불규칙한 지형에 의한 다중 반사, 수많은 방해 물에 의한 회절 및 반사 등에 의해 이동국의 안테나에서 수신되는 전파는 서로 다른 진폭과 위상을 갖는 합성파가 된다. 수신되는 합성파의 진폭, 위상, 주파수는 확률 분포로 표현되는 랜덤 특성을 갖는다. 각 경로를 통해 도달하는 전파의 시간적 차이에 의해 지연 확산(delay spread) 현상이 발생하며 이동국이 속도 v 로 이동하고 있을 경우에는 도플러 효과에 의한 반송 주파수 천이도 일어난다.

시스템 대역폭 내의 서로 이격된 두 주파수가 다중 경로 페이딩을 겪는 과정을 생각해 보면, 두 주파수의 간격이 충분히 작은(협대역) 경우, 이 두 주파수는 거의 같은 전자기적 경로를 지나게 되어 진폭과 위상 변화가 거의 같게 되지만, 두 주파수 간격이 커질수록 이들의 변화 양상은 상관도가 점점 작아진다. 그 이유는 다중 경로 환경에서 각 경로마다 두 주파수의 위상 변화가 서로 다르기 때문이다. 이와 같이 주파수에 따라 페이딩이 다르게 나타나는 현상을 주파수 선택적 페이딩이라 하고, 두 주파수간의 페이딩 상관 정도가 충분히 작다고 할 수 있는 대역폭을 상관 대역폭이라 한다.

이 상관 대역폭은 지연 확산과 관계가 있는데, 지연 확산이 큰 지역에서는 두 주파수간의 간격이 작은데도 불구하고 수신되는 신호의 위상이 크게 차이가 나므로 상관 대역폭이 작아지고, 반대로 지연 확산이 작은 지역에서는 상관 대역폭이 커진다. 일반적으로 지형 형태에 의한 페이딩을 long term 페이딩이라 하고, 주위에 있는 건물 또는 장애물(scatterers) 등에 의한 난반사(scattering)에 의해 생기는 페이딩을 short term 페이딩이라 한다.

즉, 기지국으로부터의 거리에 따라 전파 세기가 변화되는 특성을 long term 페이딩이라 하며, 건물 등 반사파 등에 의해 수신되는 전파의 세기가 매우 빠르게 변화하는 현상을 short term 페이딩이라 한다. 그림 2는 이동체가 움직이면서 기지국으로부터 수신하고 있는 short term 페이딩의 신호 세기를 나타내고 있다.

신호 세기는 +8~-8dB 범위 안에서 변화하며, 이 범위가 페이딩 마진이다. 여기서 점선으로 표시된 부분은 평균 경로 손실을 의미하고, 이 값에 음영 손실 영향을 고려하면 그래프에 나타난 것과 같은 결과를 얻게 된다.

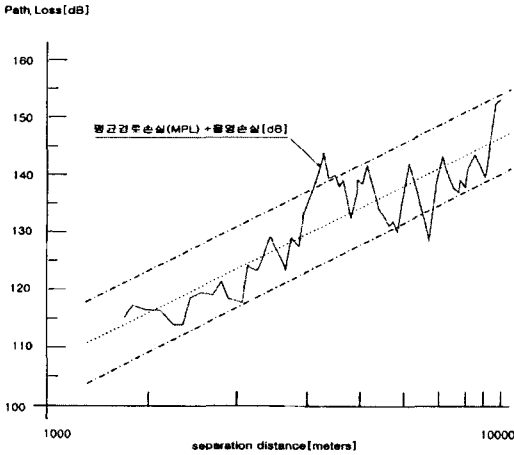


그림 2. Shot-term 페이딩
Fig. 2 Short-term fading

일반적으로 셀룰러와 PCS에서 short term 페이딩 마진은 $\pm 8\text{dB}$ 정도를 고려하여 설계한다.

2.4 다이버시티

다이버시티는 사전적인 의미 그대로 다양한 무선 경로를 의미한다. CDMA에 있어서 다양한 경로의 의미는 복수개의 안테나에 의한 안테나 다이버시티, 주파수 확산에 의한 주파수 다이버시티, 레이크 수신기와 채널 코드화에 의한 시간 다이버시티 등으로 나누어 이해할 수 있다.

이중 안테나 다이버시티는 기지국과 안테나 사이의 전파 전파의 공간적, 시간적 다양한 경로에 의해 도달하는 신호를 구분해서 수신하여 수신 특성을 개선한다. 일반적으로 페이딩은 무선 통신 환경에서 심각한 수신률을 초래하기 때문에 다이버시티 안테나 기법을 사용하여 페이딩 효과를 감소시킨다. 공간 다이버시티와 편파 다이버시티는 CDMA/PCS 시스템에서 자주 사용된다.

공간적 의미의 다이버시티는 기본적으로 송수신 안테나를 복수개(일반적으로 두 개) 설치함으로써 구현하기 때문에 안테나 다이버시티라고도 한다.

안테나 다이버시티는 송신회로 및 수신회로에 적용할 수 있으나 시스템 구현의 경제성 및 성능개선 효과를 고려시 주로 수신 다이버시티를 먼저 고려한다. 즉, 복수개의 수신 안테나에 의한 다이버시티 특성($2 \sim 8\text{dB}$)이 복수개의 송신 안테나 다이버시티 이득($1 \sim 2\text{dB}$)에 비해 구현상으로도 간단하고 특성이 우수하기 때문이다.

주로 음성서비스에 의한 순방향, 역방향 대칭적인 용량분포를 나타내는 IS-95A, B 시스템에서 수

신 다이버시티를 기본으로 채택하고 있으며, 데이터 서비스의 특성에 의한 순방향 부하가 강조되는 IS-95C, IMT-2000 시스템에서는 수신 및 송신 다이버시티를 채택하고 있다.

일반적으로 단말기에서의 공간 다이버시티 구현은 단말기의 사이즈 고려시 어려움이 있으므로 기지국단에서 주로 구현된다. TRS와 같이 차량에 탑재하여 동작하는 이동 통신 방식에서는 종종 이동국에서도 수신 안테나를 두 개 설치하여 안테나 다이버시티를 구현하기도 한다. 승용차 내에 설치되는 TV에 대하여 안테나를 두 개 설치하여 페이딩에 의한 화면 흔들림을 완화시키는 경우가 대표적인 예라 할 수 있다.

도심에서 흔히 접하는 Cellular/PCS 기지국 안테나를 보면 일반적으로 1개의 송신 안테나와 2개의 수신 안테나로 구성된 것을 쉽게 접할 수 있다.

III. 기존 중계기의 전송 특성 시험

1x EV-DO에서 제공하는 고속 서비스($< 2.4\text{Mbps}$)는 IS-95A/B 와의 호환성을 갖기 위하여 1.25MHz 채널 대역을 기준으로 하고 있으며, 이러한 대역폭에 IS-95A/B의 데이터 속도의 40배에 해당하는 2.4Mbps까지 고속 데이터를 전송하기 위해 IS-95A/B와는 다른 8PSK 16QAM 변조방식도 적용하고 있다(Eduardo Esteves et al, 2002). 그런데 QAM 변조방식은 레이라이 페이딩에 매우 약한 특성을 갖는 것으로 알려져 있기 때문에 2G 단말기와 다르게 1x EV-DO 단말기는 순방향 다이버시티 기능을 채용하고 있다. 따라서 순방향 다이버시티 기능이 채용되지 않는 기존의 2G용 중계기 서비스 지역에서는 1x EV-DO 무선 품질이 상당히 열화될 수 있는 개연성이 있다. 따라서 현재의 중계기가 1x EV-DO 서비스에 적합한 지에 대한 검증이 필요하다. 또한 여러 환경에 따른 즉, 페이딩, RSSI 등에 따른 중계기의 데이터 전송 특성이 어떻게 변하는지에 대한 연구가 필요한데, 이는 1x EV-DO 망에서 중계기의 운용 기술로 활용이 가능하다.

3.1 시험구성도

기존 중계기에 대해 1x EV-DO 기지국에서 직접 서비스를 받는 경우와 기존 중계기를 거쳐서 서비스를 받는 경우에 대해서 중계기를 거치는 경우 얼마나 많은 성능 저하를 가져오는지에 대해 현장시험을 실시하였다. 실험한 중계기는 3가지 종류의

중계기에 대해서 실험을 실시하였다. 시험구성도는 그림 3과 같다.

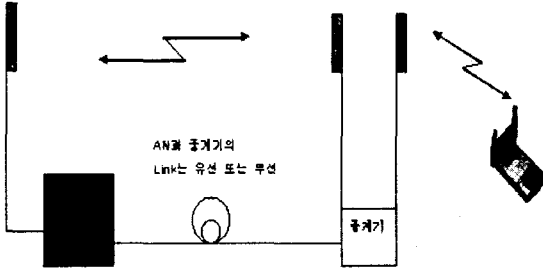


그림 3. 중계기 전송 특성 시험구성도
Fig. 3 Test Configuration of Repeater's Transmit Performance

그림 3에서 보는 바와 같이 AN과 중계기의 Link는 중계기의 종류에 따라 무선 또는 유선으로 하였으며, 단말기는 중계기로부터 서비스를 받는 것과 직접 AN으로부터 받는 것의 데이터 rate를 비교 분석하였다.

3.2 중계기 전송 시험 결과

시험 결과는 그림 4와 같다. 시험 결과에서 보는 바와 같이 중계기 A와 중계기 C의 경우는 전송률의 저하가 5% 이하인 반면, 중계기 B의 경우는 10% 이상의 전송 특성이 저하되는 것을 알 수 있다. 이때의 변조방식은 16QAM이었고, 측정 결과는 5회에 걸친 시험 결과의 평균값이다.

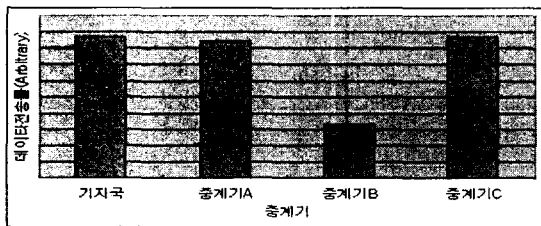


그림 4. 중계기 전송 시험 결과
Fig. 4 Test Result of Repeater's Transmit Performance

3.3 전송률 저하 중계기에 대한 원인 분석

특성이 저하되는 중계기에 대해 원인을 분석하기 위해 중계기 A와 중계기 B의 특성을 비교하였다. 그 중에서 특별하게 차이 나는 것은 EVM

(Error Vector Magnitude)이었는데, 표 1과 같이 중계기 A는 측정 결과 3.4%의 값을 보인 반면 중계기 B는 6%의 값을 보였다.

표 1. 중계기 A와 중계기 B의 특성 비교
Table. 1 Specification Comparison of Repeater A and Repeater B

항 목	Signal Generator 신호			중계기 A			중계기 B			
	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG	MIN	
Wave Quality	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998	0.995	0.996	0.997	
Frequency Error	Hz	0.9	-0.1	-0.9	1.0	0	-1.0	34.5	3.8	-22.5
	PPM	0.0005	0.0001	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.019	0.002	0.012
Phase Noise (1kHz, dBc/Hz)			-100.4			-95.9			-68.2	
EVM(%)	3.15	3.16	3.16	3.81	3.46	3.57	6.93	6.01	5.66	

이는 중계기 B의 동작 메커니즘상 주파수 안정도 및 Phase Error가 커질 수 있는 요소가 있기 때문으로 판단된다. 즉, Local을 Slave와 Master에 각각 따로 두는 중계기라든지 또는 신호 처리에 있어 주파수나 Phase Error가 증가되는 방식인 경우였다. 중계기 B에 대해 EVM을 개선하여 시험을 한 결과 많은 특성 개선을 보임을 알 수 있었다.

기존의 중계기의 경우 Wave Quality로 규정을 하였는데 무선 고속 데이터 서비스를 위해서는 EVM 즉, 주파수와 Phase의 Error 정도로 규정해야함을 알 수 있었다.

IV. 전파 환경에 따른 중계기의 전송 특성

여러 가지 전파 환경에 따른 중계기의 전송 특성에 대한 영향을 분석하기 위해 RF 중계기의 페이딩에 의한 영향과 RSSI에 대한 영향을 분석하였다.

4.1 RF 중계기의 페이딩에 의한 영향

RF 중계기의 페이딩에 의한 전송 특성의 변화를 측정하기 위해 RF 중계기를 대상으로 도너측 안테나의 방향을 0, 90, 180, 270 도로 변화시켜 임의로 페이딩된 신호를 받아 데이터 rate를 측정하였다. 시험구성도는 그림 5와 같다

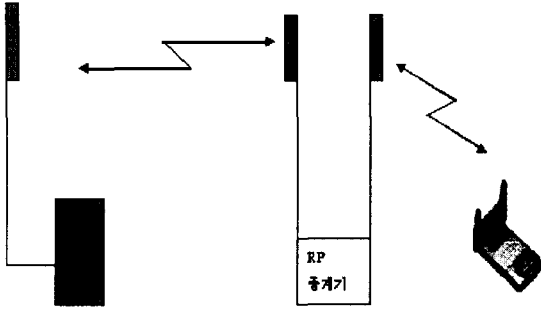


그림 5. 시험구성도
Fig. 5 Test Configuration

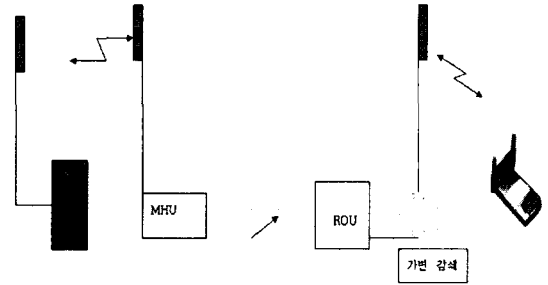


그림 7. 시험구성도
Fig. 7 Test Configuration

시험 결과는 그림 6과 같다. 이때의 변조방식은 Variable이었다. 시험 결과에서 보는 바와 같이 페이딩에 의해 데이터 Rate가 약 50% 정도 열화되는 것을 알 수 있었다.

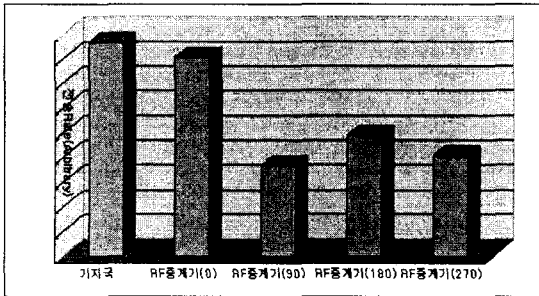


그림 6. 페이딩에 의한 영향
Fig. 6 The effect of Fading

이러한 결과로 알 수 있는 것은 1x EV-DO 서비스는 초고속 데이터 서비스이며 이러한 신호는 페이딩에 약한 것을 알 수 있었다. 이는 RF 중계기의 경우 수신 다이버시티 뿐만 아니라 송신 다이버시티 기능이 추가되어야 함을 알 수 있다.

4.2 RSSI 값에 의한 영향

무선+광중계기를 사용하여 무선+광중계기의 출력값을 변화시킴으로써 RSSI값에 따른 데이터 rate를 측정하였다. 시험구성도는 그림 7과 같다.

시험 결과는 RSSI가 70dBm까지는 C/I가 10dB 이상이며 전송속도의 열화는 없었다. RSSI가 80dBm 이하에서는 C/I가 8dB 정도로 내려가면서 Variable과 16 QAM 변조방식에서 열화 되기 시작하여 90dBm에서는 Variable를 제외하고 QAM, 8PSK, QPSK 모두 서비스가 되지 않는 것을 볼 수 있었다.

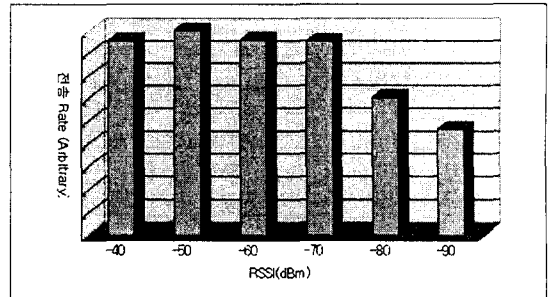


그림 8. RSSI에 의한 영향 (Variable)
Fig. 8 The effect of RSSI (Variable)

이러한 결과로 보았을 때 1x EVDO 서비스 커버리지는 RSSI가 90dBm 이상이 되는 지점까지 설계해야 한다는 결론을 얻을 수 있다. 그림 8은 Variable 변조방식에서 RSSI에 의한 영향을 시험한 결과이다.

V. 결 론

기존 중계기를 통해 고속 데이터를 서비스하는

경우 어느 정도의 데이터 전송률이 열화되는지를 알아보기 위해 현장시험을 하였으며, 일부 중계기에서 많은 특성 열화를 보이는 것을 볼 수 있었다. 특성 열화를 보인 중계기에 대해 특성을 분석한 결과, EVM이라는 규격 항목에서 특성이 좋지 않았는데 고속 데이터 서비스를 위해서는 중계기의 Wave Quality 규격 항목을 EVM 규격으로 바꾸는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 그리고 여러 가지 전파 환경에서의 영향을 분석하기 위해 시험을 하였는데, 우선 1x EV-DO 신호는 페이딩에 약하다는 것을 시험 결과에서 알 수 있었으며, 이는 1x EV-DO 서비스를 위한 이동통신 중계기는 수신 다이버시티 뿐만 아니라 송신 다이버시티 기능이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 그리고 RSSI의 영향을 시험한 결과, 1x EV-DO 서비스를 위해서는 서비스 커버리지를 설계함에 있어 RSSI값이 90dBm 이상이 되는 지점까지 설계하여야 함을 알 수 있었다. 이러한 결과들은 1x EV-DO 서비스 망에서 이동통신 중계기를 운용하는 기준으로 유용한 결과라 사료된다.

참고문헌

- [1] 이상근, 방효창, IMT-2000 CDMA 기술, 도서출판 세화, 2001.
- [2] Eduardo Esteves et al., "Link Adaptation Techniques for High-Speed Packet Data in Third Generation Cellular Systems", European Wireless Conference, 2002.

저자소개

이영섭(Young-Sub Lee)



1992년 한국해양대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)
 1994년 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)
 2003년 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학박사)

2002년 현재, (주)사라콤 S/E사업부 재직
 2002년 한국해양대학교 시간강사(전력전자공학-기관학부)

2004년 현재, 한국해양대학교 정보통신공학부 겸임교수(현재 재직 중)

※관심분야 : W-CDMA, 해상통신, 영상처리

김선근(Seon-Keun Kim)



1999년 : 한국해양대학교 대학원 전자통신공학 석사

2002년 04월 : 한국해양대학교 대학원 전자통신공학 박사 과정 수료

2004년 현재, KTF 네트워크 구축 담당

※관심분야 : W-CDMA, 해상통신

김기문(Ki-moon Kim)



1972 광운대학교 전파통신공학 공학사

1978 건국대학교 통신행정학석사

1994 경남대학교 전파통신행정학 박사

1983~현재 한국해양대학교 공과대학 교수

※관심분야 : 정보공학, 통신행정, 전파행정