

## 대전 도심지의 K 대역 위성통신 채널특성 분석

권건섭<sup>\*,1)</sup> · 허종완<sup>1)</sup> · 황기민<sup>1)</sup> · 임철민<sup>1)</sup> · 유흥균<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 제2기술연구본부

<sup>2)</sup> 충북대학교 전자공학과

### The Analysis of Channel Characteristics on Downtown of Daejeon for K Band Satellite Communication

Kun-Sup Kwon<sup>\*,1)</sup> · Jong-Wan Heo<sup>1)</sup> · Ki-Min Hwang<sup>1)</sup> · Chul-Min Lim<sup>1)</sup> · Heung-Gyoon Ryu<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

<sup>2)</sup> Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, Korea

(Received 10 March 2014 / Revised 1 August 2014 / Accepted 15 August 2014)

#### ABSTRACT

This paper describes the analysis results of channel characteristics in the operating area of satellite OTM (On-The-Move) terminal. The communication channel between the Koreasat-5 and OTM terminal on a test car was measured and recorded in downtown of Daejeon, using the received beacon signal of around 20 GHz. And the measurement data were statistically analyzed and then compared with highway and national road environments. The statistical evaluation of satellite channel was conducted by using probability density function and Markov model and then presented average connection duration(ACD), average fade duration(AFD), and level crossing rate(LCR) of downtown environment.

Key Words : Satellite Communication Channel(위성 통신 채널), On-the-Move(이동형), Average Connection Duration(ACD), Average Fade Duration(AFD), Level Crossing Rate(LCR)

#### 1. 서론

OTM 위성단말은 이동간 위성통신 서비스를 제공하는 단말로써 언제, 어디서든지 진정한 의미의 무선통신을 제공할 수 있다. 그러나 위성파 OTM 위성단말

사이에는 여러 가지 문제점 들이 존재한다. 다중경로 간섭, 섀도잉(shadowing) 혹은 장애물(blockage)은 시스템의 성능에 영향을 주는 요소로써, 수신 신호 세기에 상당한 수준의 변동성을 야기한다. 주파수가 높아질수록 안테나의 빔폭이 좁아지고, 전파의 직진성이 증가하므로 다중경로 간섭에 의한 영향은 줄어드는 반면, 섀도잉 효과의 증가는 신호 단절의 주된 원인이 된다. 따라서 OTM 위성단말의 개발을 위해 채널환경의 측

\* Corresponding author, E-mail: lucks77@korea.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

정을 통하여 시스템의 생존성에 대한 철저한 분석이 요구된다<sup>[1]</sup>.

정지한 형태로 통신하는 타 위성단말들과 달리 차량용 OTM 위성단말 무선 환경의 가장 큰 특징은 장애물(blockage)의 지속적이고 랜덤한 발생이다. 따라서 이를 통계적으로 분석하려는 많은 시도들이 있었다<sup>[1~7]</sup>. 이러한 모델링 방법들의 근간에는 개념적으로 이해하기 쉽고 수학적으로 사용하기 간단한 Markov 모델을 이용하고 있다. Gilbert는 통신선로에서 버스트 오류현상을 설명하기 위해 Markov 모델을 사용하였고<sup>[8]</sup>, 위성통신에서 궤도잉에 의한 신호의 손실이 통신선로의 버스트 오류현상과 유사한 환경임을 알 수 있다.

OTM 위성단말이 운용되는 지역은 크게 도심 지역(urban), 야지 지역(Open or Rural), 고속도로 지역(highway)으로 구분될 수 있다<sup>[1~7]</sup>. 도심지역은 높은 건물에 의한 영향이, 야지 지역은 수풀 혹은 나무에 의한 영향이 많으며, 고속도로 지역은 속도에 의한 영향이 많은 채널특성을 가질 것으로 예상할 수 있다. 참고문헌 [9]에서는 국내의 고속도로 환경과 국도 환경에서 측정 및 통계적 분석결과를 제시하였다. 본 논문에서는 OTM 위성단말을 이용하여 대전의 도심 환경에서 실제 수신신호를 측정하여 데이터를 수집하고 통계적 분석을 통하여 정량화한 값을 제시하였으며, 고속도로 환경 및 국도 환경 분석결과와<sup>[9]</sup> 비교하였다.

본 논문의 II장에서는 도심지의 채널환경을 측정하기 위한 시험 방법 및 조건에 대해 설명한다. III 장에서는 수신 전력의 확률밀도 함수 모델과 이산 모델을 이용하여 K 대역의 도심지 채널환경에 대한 분석결과를 각각 제시한다.

## 2. 채널 측정 방법 및 조건

국방과학연구소에서는 위성과 이동 중 송수신할 수 있는 OTM 위성단말을 개발하였다. 이를 이용하여 향후 국내 환경에서 운용이 적합한 고속 이동형 단말개발을 위한 K 대역의 채널특성 자료를 제공하기 위해 이동 간 위성신호 측정 시험을 수행하였다.

OTM 위성단말은 차량에 탑재되며 고속 기동 간, 정지 간에 위성 중계기와 연동 가능한 안테나 및 RF 송수신 장치를 이용하여 고출력의 위성신호를 송출하고 위성을 경유한 수신 신호를 처리하도록 운용된다.

실험에서 사용된 OTM 위성단말의 제원과 사진을 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.



Fig 1. The pictures of a test car with OTM terminal

Table 1. The main specifications of OTM terminal<sup>[13]</sup>

항목	내용
주파수	송신 : 30 ~ 31 GHz 수신 : 20.2 ~ 21.7 GHz
안테나 빔폭	송신 : 1.2° 이하 수신 : 1.8° 이하
운행 속도	0 ~ 110km/h
추적방식	모노펄스
추적 오차	0.15 °rms

OTM 위성단말은 정부의 전파인증 문제로 위성으로의 송신은 불가하므로 무궁화 5호 위성으로부터의 비콘 신호 세기를 측정함으로써 수신대역의 채널특성을 분석하였다. 미약한 비콘 신호의 신호 대 잡음비(SNR)를 확보하기 위해 500 Hz 대역폭을 갖는 비콘 수신기를 이용하여 측정하였으며 측정된 수신 신호의 신호 대 잡음비는 약 40 dB 이상이였다. 측정 시스템의 구성도는 Fig. 2와 같다.

대전 도심지로는 둔산 선사유적지 주변과 대전 고등법원 부근, 두 곳을 선택하여 측정하였다. 두 곳 모두 높은 아파트 및 상업빌딩으로 구성되어 있어 빈번한 음영구간이 발생하는 곳으로 두 장소 모두 도심지의 채널 특성을 잘 반영할 수 있을 것으로 판단하였다.



Fig. 2. Block diagram of receiving path in OTM terminal

수집된 데이터는 13년 6월 맑은 날씨에 측정되었으며, 샘플링 주파수는 100 Hz, 차량의 평균 속도는 13 km/h(최대 49.2 km/h)였다. 시험 중 기록된 데이터는 다음과 같다.

- 시간 정보 : 0.01초 단위로 기록
- 위치 정보 : GPS와 연동하는 INS로부터 획득
- 차량 속도 : GPS와 연동하는 INS로부터 획득
- 3축 각속도 : 자이로 센서로부터 획득
- 3축 각위치 : 엔코더 정보로부터 획득
- 비콘 신호 세기 : 비콘 수신장치로부터 획득

Fig. 3의 지역은 둔산 선사 유적지 주변으로 ② 및 ④ 구간에서 대부분의 음영 구간이 발생하였다. ② 구간에서 음영구간의 주된 원인은 아파트 및 상업빌딩이었으며, ④ 구간에서는 공원의 가로수가 주된 원인이었다. Fig. 3에서 측정된 데이터는 Fig. 5에 나타내었다.

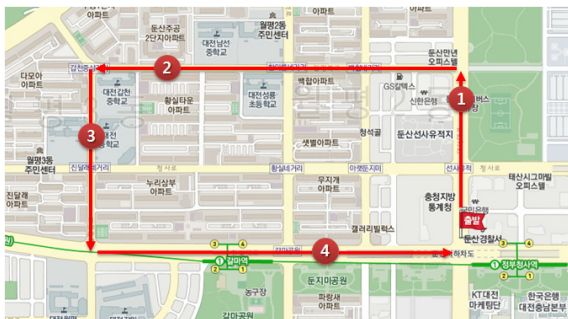


Fig. 3. Routing path for measurement

Fig. 4의 지역은 대전 고등법원 부근으로 ① 구간 및 ② 구간에서 높은 빈도의 음영구역이 발생하였다. 그러나 돌아오는 경로에서는 ② 구간에서는 여전히 상업빌딩에 의한 잦은 음영구간이 발생한 반면 ① 구간의 경우 신호등, 표지판에 의한 간헐적인 음영구간만이 발생하였다.



Fig. 4. Routing path for measurement

이러한 현상들은 무궁화 5호 위성의 위치-동경 113°에 기인하며, 동서방향의 도로에서 남쪽에 높은 건물이 위치한 경우 음영구역이 빈번히 발생하고, 남북방향의 도로에서는 건물에 의한 영향이 줄어들고 신호등, 표지판 등의 영향이 상대적으로 커짐을 예상할 수 있다.

### 3. 통계적 분석 및 결과

OTM 위성단말에서 채널에 영향을 주는 부분은 안테나 추적오차, 측정지역의 날씨, 차량의 이동속도가 있다.

본 논문에서 측정에 사용된 OTM 단말의 위성추적 오차는 0.15 °rms 이다. 이 값은 사용한 안테나 패턴을 이용하여 손실 값으로 변환이 가능하며 99.7 %의 신뢰수준에서 약 1.3 dB 이하의 손실을 보인다. 약 1.3 dB

이하의 손실은 채널 분석시 적절한 임계값(threshold)을 선정함으로써 이에 대한 영향을 배제할 수 있다. 본 논문에서는 LOS 신호(Line of sight) 대비 1.3 dB 이내 신호를 수신 신호로 간주하였다<sup>9)</sup>.

측정지역의 날씨를 경로손실의 중요한 요소로서 주파수가 높아질수록 그 영향은 더욱 커지게 된다. 따라서 이러한 영향을 배제 하기위해 맑은 날씨를 선택하여 시험을 수행하였다.

이동속도의 변화는 측정 할 때마다 다른 분석결과를 초래하므로, 속도 변화에 대한 영향을 제거하기 위해서는 공간 영역에서의 분석을 적용하였다<sup>6)</sup>.

공간 영역 분석을 위해 측정된 데이터는 다음의 절차에 따라 변환된다.

- 1) 일정시간에 따른 이동거리 및 수신 신호 크기 데이터 집합을 만든다.
- 2) 데이터 집합으로부터 이동거리가 일정하도록 샘플링 한다.
- 3) 일정한 이동거리로 샘플링 한 신호의 크기는 이동거리 사이 수신 신호들의 평균크기로 나타낸다.

Fig. 5는 Fig. 3의 둔산 선사유적지 부근에서 측정된 수신신호 전력변화를 공간 영역 분석 방법을 이용하여 나타낸 그래프이다. 경로별 특성은 Fig. 3과 Fig. 5에서 확인할 수 있듯이 ①번 경로는 남북 방향의 폭이 넓은 도로이므로 위성통신을 위한 장애물이 없는 위성통신 환경이며 ②번 경로는 건물에 의한 통신 장애가 빈번히 발생함을 알 수 있다. 특히 건물에 의한 음영지역은 일부 가장자리(shadow edge)를 제외 하고 LOS 신호가 완전히 블로킹됨을 알 수 있다. ③번 경로의 경우 ①번 경로와 지형적 특성이 유사하나 도로 폭이 좁아 신호등, 가로등의 일부 영향이 있으며, ④번 경로의 경우 가로수에 의한 음영지역이 발생함을 알 수 있다. 가로수에 의한 영향은 건물에 의한 영향과 비교시 페이딩 수준은 작지만, 매우 빈번한 특성을 갖는다.

통계적 분석을 논하기 전에, 앞으로 제시될 용어에 대해 이해를 돕기 위해 비콘 수신신호 그래프를 용어들이 의미하는 바와 함께 Fig. 6에 나타내었다. 각각의 용어에 대한 상세한 정의는 다음 절부터 측정결과와 함께 자세히 기술되어 있다.

이동형 위성 무선통신 채널을 분석하기 위한 다양한 분석기법들이 제안되었다<sup>11~17)</sup>. 본 논문에서는 3가지 기

법 즉, 확률 밀도 모델(probability density models), 이산 모델(discrete models), 2차 통계량(second order statistics ; Average Fade Duration, Average Connection Duration, Level Crossing Rate 등)을 이용하여 분석을 하였다.

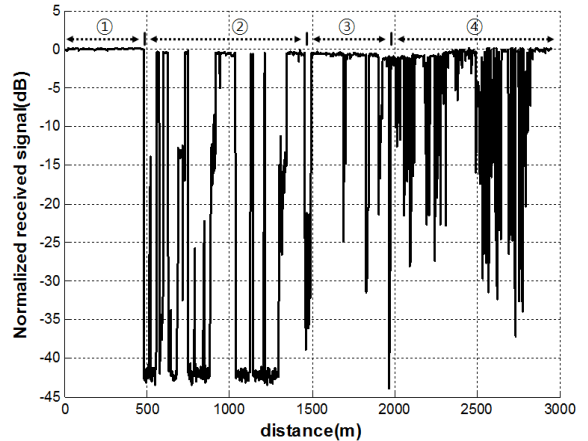


Fig. 5. Signal power variation vs distance

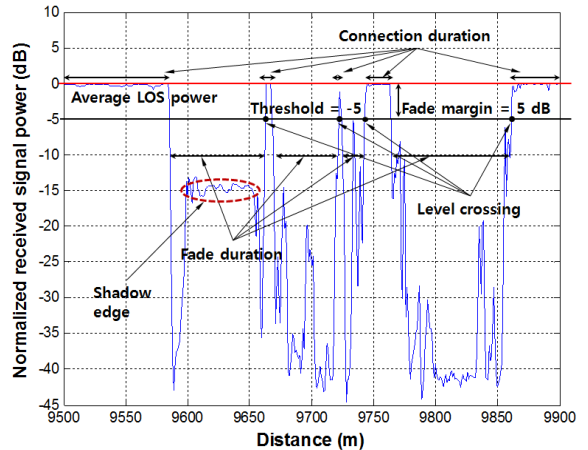


Fig. 6. Data description for terminology<sup>9)</sup>

### 3.1 수신 신호 세기에 대한 확률 밀도 모델

20 GHz 대역의 수신 신호의 채널특성은 LOS 신호 존재 여부에 따라 크게 두 가지로 나누어 설명할 수 있다. LOS 수신 신호가 존재하는 경우 신호의 진폭이 라이시안(Ricean) 분포를 따르는 non-central chi-square로 표현된다. 즉,

$$p_{Rice}(S) = Ke^{K(S+1)} I_0(2K\sqrt{S}) \quad (1)$$

이며, 여기서  $S$ 는 수신 신호의 전력,  $K$ 는 직접신호와 다중경로신호의 전력 비(direct-to-multipath signal power ratio; rice factor),  $I_0$ 는 변형된 1종 0차 베셀 함수(modified zero-order Bessel function of the first kind)를 의미한다. 식(1)은 LOS 수신 신호 전력을 1로 정규화하였으며,  $E[S] = 1 + 1/K$ 이다.

반면 LOS 수신 신호가 존재하지 않는 경우-쇄도잉이 존재하는 경우- 수신 신호의 전력은 짧은 시간 평균 수신 전력  $S_0$ 를 갖는 다중경로 페이딩 특성과 평균 수신 전력  $S_0$ 가 상대적으로 천천히 변화하는 로그노멀(lognormal) 분포 특성을 모두 갖는다<sup>[10]</sup>. 따라서 다중경로 신호의 경우 그 진폭이 레일리(Rayleigh) 분포를 따르는 central chi-square 분포로 표현된다. 즉,

$$p_{Rayl.}(S|S_0) = \frac{1}{S_0} e^{-S/S_0} \tag{2}$$

이다. 여기서  $S_0$ 는 전체 다중경로 신호에 대한 짧은 시간동안의 평균 수신 전력을 의미한다. 그리고 평균 수신 전력  $S_0$ 는 식 (3)과 같이 로그노멀 분포 특성을 갖는다. 즉,

$$p_{LN}(S_0) = \frac{10}{S_0 \sqrt{2\pi} \sigma \ln 10} \cdot \exp\left(-\frac{(10 \log S_0 - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \tag{3}$$

이러한 특성은 전파경로 상의 수목, 건물, 지형 등과 같은 장애물(blockage)이 원인으로 전체 감쇄 값이 각각의 랜덤한 감쇄 값의 곱으로 표현되기 때문이다<sup>[10,11]</sup>.

OTM 단말의 채널특성은 앞서 언급하였듯이 LOS 존재 하는 경우 와 존재하지 않은 경우의 시간 공유 모델로 표현될 수 있다<sup>[2]</sup>. 즉,

$$p_{otm} = (1 - B_t) p_{Rice} + B_t \int_0^\infty p_{Rayl.}(S|S_0) p_{LN}(S_0) dS_0 \tag{4}$$

이다. 여기서  $0 \leq B_t \leq 1$ 이며, 쇄도잉에 대한 시간적 비율을 나타낸다.

Fig. 7은 대전 도심 두 장소에 측정된 수신 신호 전력을 확률 분포로 나타낸 것으로 실선은 식 (4)를 이용하여 측정된 확률 분포를 최소자승법(Least Squares Method)을 이용하여 curve fitting 한 그래프이다.

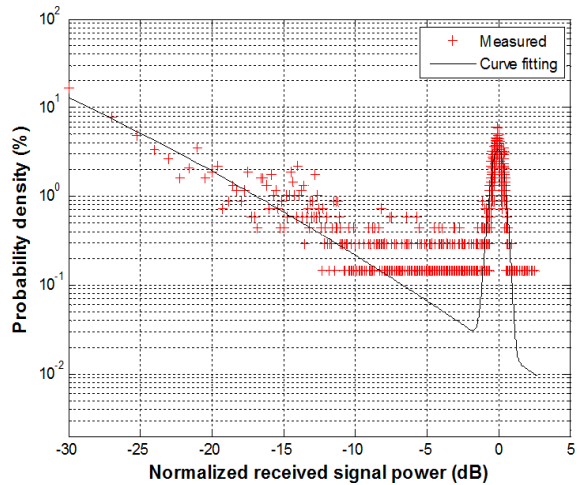


Fig. 7. Probability density of receiving signal power

Table 2. Probability density model parameters

구분	국도	고속도로	대전도심	단위
$K$	22.5	24.3	24.1	dB
$\mu$	-7.21	-5.46	-7.63	dB
$\sigma$	7.20	5.11	18.86	dB
$B_t$	0.063	0.043	0.249	-
ACD	150.1	458.6	42.9	m
AFD	10.1	21.3	14.3	m

식 (4)의 파라미터는 Table 2에 나타내었으며, 고속도로 환경 및 국도 환경의 파라미터와 함께 나타내었다<sup>[9]</sup>. 확률 밀도 모델에서 얻어진 파라미터들은 각 환경의 채널 특성을 나타내며 이러한 파라미터 값을 이용하여 채널 시뮬레이터를 통해 동일한 통계적 특성을 갖는 신호를 모의할 수 있다<sup>[3]</sup>.

Table 2에서는 부터 도심 환경이 국도 환경 및 고속도로 환경에 비해 음영 구간( $B_t$ )이 훨씬 더 많으며, 신호의 변동 폭 또한 더 심함을 알 수 있다. 한편 다중경로 신호의 크기를 나타내는  $K$ 값의 경우 분석결과 다중경로에 의한 영향 보다 장착된 LNA의 이득안정도(Fig. 5 참조)에 더 영향을 받았다. 따라서 본 논문에서 제시한  $K$  값은 다중경로 영향을 판단하기에는 무리가 있었으며, 여기서는 참고 값으로 제시하였다.

Fig. 8은 세 곳의 환경에 대한 수신 신호 세기를

CCDF(Complementary Cumulative Distribution Function)로 나타낸 것이다. 이로부터 도심 환경이 고속도로 환경 및 국도 환경에 비해 채널환경이 매우 열악함 - 고속도로 환경과 -5 dB 기준 약 28 % 차이 -을 알 수 있으며, 이는 고층 건물에 의한 빈번한 음영구역의 발생에 기인한다.

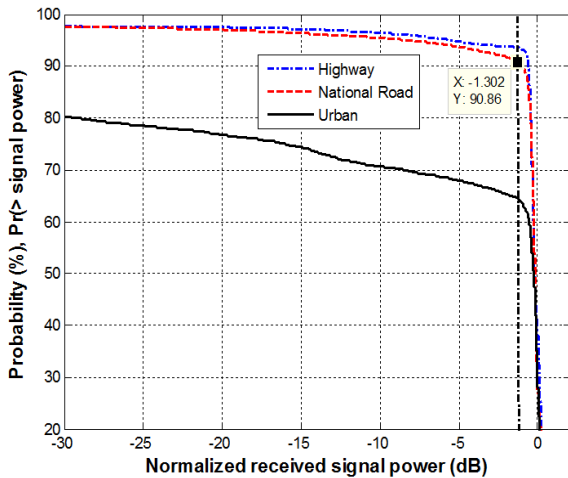


Fig. 8. Complementary cdfs for received signal power

### 3.2 이산 모델 - Markov 모델

이산 모델은 복잡한 채널특성을 통계적으로 분석하는 하나의 수단으로 특정 파라미터에 따른 채널의 통계적 특성분석을 가능하게 한다. 이산 모델을 이용하여 3.3항에서 다루어지는 2차 통계량(second order statistics)에 대한 정보를 얻을 수 있다.

OTM 위성단말 채널환경에 대한 이산 모델로써 Markov 모델이 주로 사용되었으며<sup>[1~7]</sup>, 이 모델의 수정형태인 Gilbert 모델 또한 제안되었지만<sup>[7]</sup>, Gilbert 모델의 경우 좀 더 수학적인 개념으로 직관적이지 못하므로 본 논문에서는 좀 더 단순하면서도 직관적인 Markov 모델을 이용하여 채널환경을 분석하였다.

Markov 모델은 채널의 상태(state)를 수신신호의 특정 임계값(threshold)을 기준으로 수신 신호가 임계값 이상인 상태를 Good, 반대로 임계값 이하인 상태를 Bad 두 가지 상태로 구분하며, 두 상태는 Fig. 9와 같이 천이 확률  $p_{gb}$ ,  $p_{bg}$ 로 연결된다.

현재의 채널이 Good 상태일 때 다음 상태도 Good일 확률이  $p_{gg}$ 이고, Bad로 상태로 천이될 확률이  $p_{gb}$ 이며,  $p_{gg} + p_{gb} = 1$ 이다. 마찬가지로  $p_{bb} + p_{bg} = 1$ 이다.

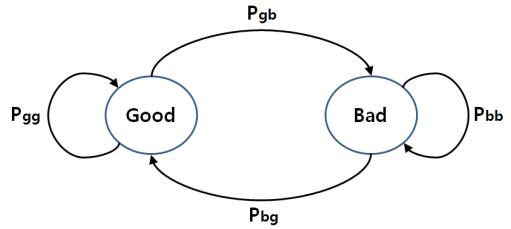


Fig. 9. Two-state Markov model

Good 상태 평균 유지거리 ACD(Average Connection Duration) 및 Bad 상태 평균 유지거리 AFD(Average Fade Duration)는 천이 확률과 다음의 관계를 갖는다<sup>[9]</sup>.

$$p_{gb} = \frac{1}{ACD} \tag{5}$$

$$p_{bg} = \frac{1}{AFD} \tag{6}$$

또한 세도잉의 시간적 비율을 나타내는  $B_t$ 는 다음의 관계를 갖는다<sup>[9]</sup>.

$$B_t = \frac{AFD}{ACD + AFD} \tag{7}$$

마지막으로 Complementary cdf를 다음과 같이 유도할 수 있다<sup>[6]</sup>.

$$\Pr\{D_g > n\} = p_{gg}^n \tag{8}$$

$$\Pr\{D_b > n\} = p_{bb}^n \tag{9}$$

위 식들에 사용된 랜덤 변수(Random Variable)는 모두 거리로 정의 되었다. 앞서 설명하였듯이, 속도 변화에 대한 영향을 제거하기 위해 공간 영역에서 분석한 것이지만, 랜덤 변수를 간단히 평균속도로 나눠 줌으로써 시간영역으로의 변환도 가능하다.

Table 3의 ACD 및 AFD 값은 확률 밀도 모델에서 실 확률분포를 fitting에서 얻어진  $B_t$ 를 기준으로 이에 해당하는 임계값(-16 dB)을 선정 후, 측정된 Connection duration과 Fade duration으로 부터 계산 한 것이다.

한편 계산된 ACD, AFD로부터 식 (5), 식 (6)을 이용하여 천이 확률  $p_{gb}$ ,  $p_{bg}$ 을 계산할 수 있다. 이 값은 다시  $p_{gg}$ ,  $p_{bb}$ 로 변환되므로 식 (8), 식 (9)를 이용하여 Fig. 10과 Fig. 11에 측정된 값과 함께 나타내었다. 각 그림의 세로축은 확률 값으로써 백분율로 나타낸다.

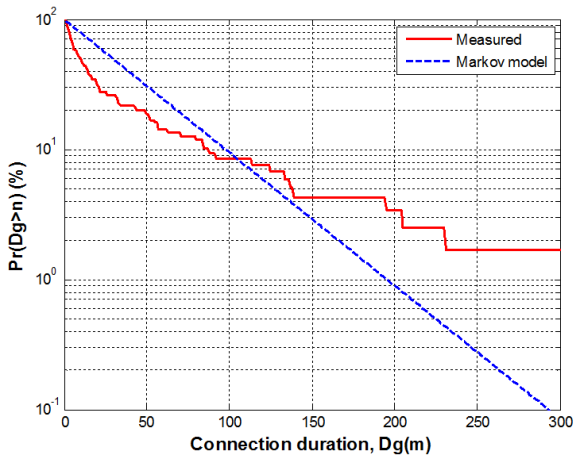


Fig. 10. CCDF of connection duration

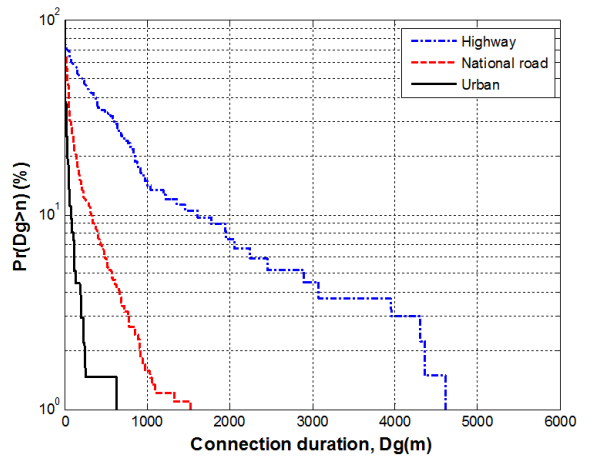


Fig. 12. CCDF of connection duration(threshold = -3 dB)

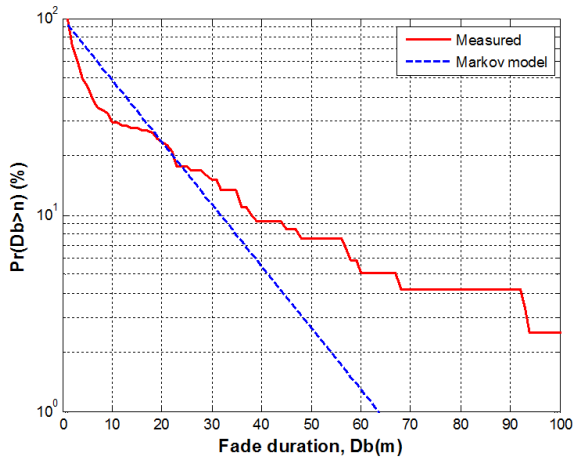


Fig. 11. CCDF of fade duration

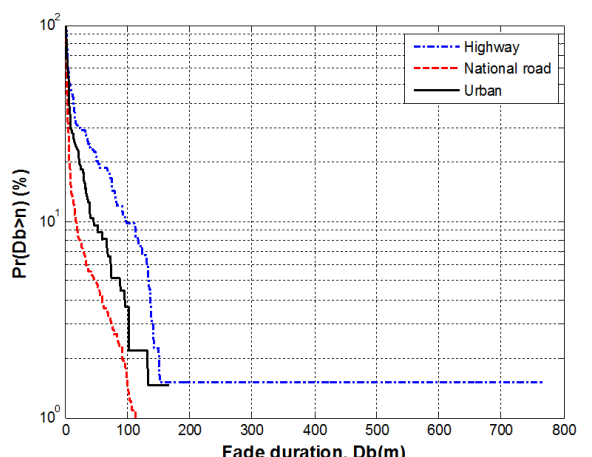


Fig. 13. CCDF of fade duration(threshold = -3 dB)

Fig. 12과 Fig. 13은 대전 도심 환경, 고속도로 환경, 국도 환경에서 측정된 수신 신호 전력을 -3dB 임계값 (threshold)을 기준으로 Connection duration과 Fade duration의 CCDF 분포를 비교한 그림들이다. 식 (5)~(6), 식 (8)~(9)의 관계에서 알 수 있듯이 Fig. 12과 Fig. 13에서 그래프 기울기의 절대값은 각각 ACD 및 AFD값과 반비례한다.

ACD가 가장 긴 환경은 기울기 절대값이 가장 작은 고속도로 환경이고, ACD가 가장 짧은 환경은 기울기 절대값이 가장 큰 도심 환경이다. 마찬가지로 AFD가 가장 긴 환경은 기울기 절대값이 가장 작은 고속도로 환경이고, 가장 짧은 환경은 국도 환경이다.

### 3.3 2차 통계량(second order statistics)

3.1절에서 제시한 확률 밀도 모델은 신호의 세기가 얼마인지에 대한 확률 값을 제시할 뿐 얼마나 빨리 변화하는지에 대한 정보는 가지고 있지 않다. OTM 위성 단말 채널환경에서 중요하게 고려되는 2차 통계량에는 Fade duration, Connection duration, LCR(Level Crossing Rate)이 있으며, 이러한 정보는 나. 절에서 제시한 이산 모델로부터 얻어지며 전송 오류를 보정하는 디지털 시스템의 능력을 결정짓는 중요 요소이다. 즉, 패킷 전송 시스템의 프레임 길이, 코딩 구조, 버퍼 크기, 인터리버 깊이 등의 설계에 중요 파라미터로 사용된다<sup>[1]</sup>.

Fig. 12, Fig. 13에서 설명 하였듯이 ACD, AFD는 그 그래프의 기울기와 관련되기 때문에 임계값이 변화함에

따라 ACD, AFD가 변화함을 예상할 수 있다.

따라서 임계값 설정에 따른 ACD와 AFD의 변화를 알아 보기위해 대전 도심 환경에 대해 Fig. 14, Fig. 15에 나타내었으며, 국도 환경과 고속도로 환경에 대한 분석결과와<sup>[9]</sup> 함께 나타내었다.

Fig. 14, Fig. 15에서 대전 도심 환경은 고속도로 환경 및 국도 환경에 비해 ACD가 매우 작고, AFD는 고속도로 환경 및 국도 환경의 중간 정도임을 알 수 있다. ACD와 AFD는 그 값이 작을수록(혹은 짧을수록) 빈번한 장애물(blockage)이 발생함을 의미하므로 대전 도심 환경은 국도 및 고속도로 환경에 비해 채널 연결 구간이 매우 짧고 빈번한 장애물 발생으로 채널 환경이 매우 열악함을 알 수 있다.

한편 도심 환경, 국도 환경 및 고속도로 환경 모두 임계값이 증가함에 따라 ACD는 반비례하여 감소하는 반면, AFD는 ACD에 비해 상대적으로 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 이는 20GHz 대역의 페이딩 특성이 “완전히 수신 신호를 블로킹하는 상태(LOS 신호 부재 상태)”로 나타남을 시사한다. 이에 대한 원인은 다음과 같이 분석 될 수 있다<sup>[1]</sup>.

- 1) 적용된 안테나의 빔폭(1.8°)이 좁아 여러 방향에서 입사되는 다중경로 신호의 레벨이 정상적으로 수신되는 신호에 비해 매우 낮기 때문이다.
- 2) K 대역은 주파수 대역이 매우 높으므로 신호의 파장이 매우 짧기 때문에 반사면이 상대적으로 거칠어지는 효과가 발생하여 전반사 보다는 주로 난반사가 발생되어 에너지가 대기중으로 산란되기 때문이다.

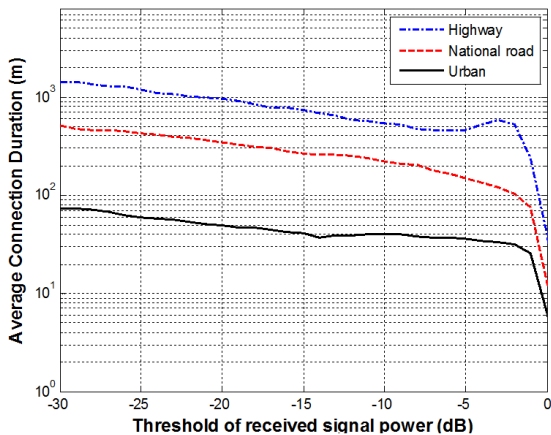


Fig. 14. Comparison of ACDs as a function of threshold

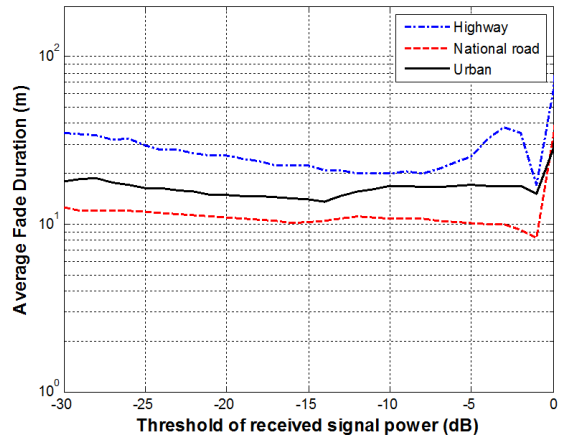


Fig. 15. Comparison of AFDs as a function of threshold

LCR은 수신 신호 세기가 특정 임계값을 양의 기울기로 지나는 단위 시간당 횟수로 정의되며, 이미 Fig. 6에 나타내었다. LCR은 AFD와 관련되어 있으며, 수학적으로 다음과 같이 정의 된다<sup>[12]</sup>.

$$LCR(r_{th}) = \frac{\Pr\{R < r_{th}\}}{AFD(r_{th})} = \frac{1}{AFD(r_{th}) + ACD(r_{th})} \tag{10}$$

여기서  $r_{th}$ 는 진폭으로 표현되는 임계값이지만, 본 논문에서는 임계값을 전력으로 분석하였으며, 그 관계는 간단히 유도될 수 있다<sup>[6]</sup>.

LCR은 단말의 이동 속도에 의존한다. 따라서 앞서 공간영역 분석에서 얻어진 LCR데이터에 평균 운행속도를 곱함으로써 단위 시간당 횟수를 계산할 수 있다.

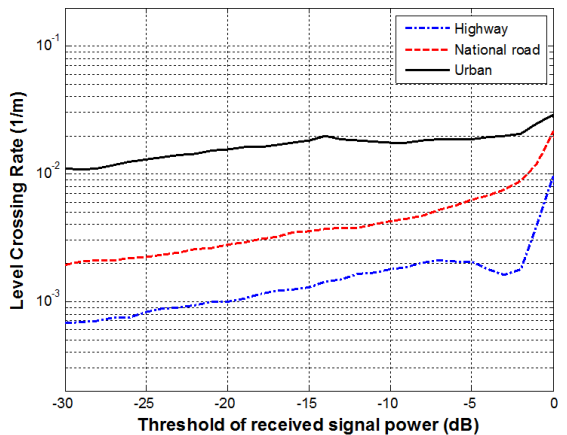


Fig. 16. Comparison of LCRs as a function of threshold



Fig. 16을 보면 LCR은 임계값이 증가함에 따라 비례하여 증가함을 알 수 있다. 이는 임계값을 지나는 빈도가 높아짐을 의미한다. 도심 환경의 LCR은 짧은 ACD의 영향으로 국도 환경 및 고속도로 환경에 비해 매우 큼을 알 수 있으며, 이는 곧 잦은 빈도의 음영 구역 발생을 의미한다.

#### 4. 결론

OTM 위성단말을 이용하여 두 곳의 대전 도심 환경에서 100 Hz 샘플링 속도로 수신세기, 차량 속도 등을 각각 측정하였다. 이를 이용하여 시간영역의 측정 데이터를 공간영역으로 변환하였고, 그 결과를 종합하여 통계적으로 분석하였다. 즉, 수신 신호 전력에 대한 확률밀도 함수, Connection duration 및 Fade duration에 대한 CCDF, ACD, AFD, 마지막으로 LCR 분석 결과를 제시하였다.

제시된 분석결과로부터 도심 환경이 고속도로 환경 및 국도 환경에 비해 ACD가 매우 낮고, LCR이 높음으로써 전반적으로 위성통신에 열악한 환경임을 알 수 있다. 따라서 향후 OTM 단말을 위한 모델 파라미터 설계시 도심 환경에서의 운용을 위해 ACD, AFD, LCR 등의 요소들이 반드시 고려되어야 할 것이다.

채널특성의 통계적 분석은 수집된 데이터의 양에 전적으로 의존한다. 즉, 수집된 데이터양이 많으면 많을수록 좀 더 의미 있는 통계적 분석이 가능하다. 따라서 향후 다양한 지역에서 반복적인 데이터 수집을 통해 통계적 분석이 필요하다.

#### References

- [1] J. B. Schodorf, "EHF Satellite Communications on the Move : Baseband Considerations," MIT Lincoln Lab. Technical Report TR-1055, Feb. 2000.
- [2] E. Lutz, "Land Mobile Satellite Channel - Recording and Modeling," Proceedings of the 4th International Conference on Satellite Systems for Mobile Communications and Navigation, London, pp. 15-19, Oct. 1988.
- [3] E. Lutz, D. Cygan, M. Dippold, F. Dolainsky, and W. Papke, "The Land Mobile Satellite Communication Channel-Recording, Statistics, and Channel Model," IEEE Trans. Vehicular Tech., Vol. 40, No. 2, pp. 375-386, 1991.
- [4] M. Rice et al., "K-Band Land-Mobile Satellite Characterization using ACTS," Intl. J. Sat. Comm., pp. 283-296, Jan. 1996.
- [5] R. K. Crane and A. W. Dissanayake, "ACTS Propagation Experiment : Attenuation Distribution Observations and Prediction Model Comparisons," Proceedings of the IEEE, Vol. 85, No. 6, p. 891, June 1997.
- [6] J. B. Schodorf, "EHF Satellite Communications on the Move : Experimental Results," MIT Lincoln Lab. Technical Report TR-1087, Aug. 2003.
- [7] W. M. Smith, "Channel Characterization for EHF Satellite Communications on the Move," MIT Lincoln Lab. Technical Report TR-1109, July 2006.
- [8] E. N. Gilbert, "Capacity of a Burst-Noise Channel," Bell System Technical Journal, pp. 1253-1265, Sept. 1960.
- [9] K. S. Kwon, J. W. Heo, K. M. Hwang, C. M. Lim, H. G. Ryu, "Analysis of Channel Characteristics at Around 20 GHz for Satellite On-The-Move Terminal," Journal of KIEES, 25(2), pp. 223-234, Feb. 2014.
- [10] H. Suzuki, "A Statistical Model for Urban Radio Propagation," IEEE Trans. Vehicular Tech., Vol. Com-25. No. 7, pp. 673-680, July 1977.
- [11] F. Perez Fontan and P. Marino Espineira, Modeling the Wireless Propagation Channel A Simulation Approach with MATLAB, WILEY, 2008.
- [12] G. E. Corazzo and F. Vatalaro, "A Statistical Model for Land Mobile Satellite Channels and its Application to Nongeostationary Orbit System," IEEE Trans. Vehicular Tech., pp. 738-742, Aug. 1994.
- [13] J. W. Heo, "OTM Terminal for Vehicle(Exploratory Phase) CDR Technical Report" Agency for Defense Development, ADDR-525-130405, 2013.