

## 이동 특성에 기반한 ESIM이 FS 시스템에 미치는 간섭영향 분석

# Analysis of Interference Effect on FS System from ESIM with Motion Characteristics

강영흥<sup>1</sup> · 오대섭<sup>2</sup>

<sup>1</sup>군산대학교 컴퓨터정보통신공학부

<sup>2</sup>한국전자통신연구원 위성기술연구그룹

Young-Houng Kang<sup>1</sup> · Dae-Sub Oh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Computer, Information and Communication Engineering, Kunsan University, Jeollabuk-do, 54150, Korea

<sup>2</sup>Satellite Technology Research Group, ETRI, Daejeon, 34129, Korea

### [요 약]

최근 이동형 글로벌 광대역 통신 및 위성기반의 양방향 인터넷 서비스에 대한 수요가 증가함에 따라 ESIM(Earth Station in Motion)이라는 새로운 형태의 위성 터미널이 개발되고 있다. 이 시스템은 ITU-R Resolution 158(WRC-15)에서 FSS(Fixed Satellite Service) 업링크에 27.5-29.5 GHz 대역사용을 고려하고 있어 동일 대역에 이미 분배된 FS와의 간섭분석에 대한 연구가 요구되고 있다. 이에 본 논문에서는 FS(Fixed Service) 무선국 방향으로 보어사이트를 향하는 ESIM의 방위각을 일양분포의 랜덤특성을 고려하여 FS 수신안테나의 -10 dB 빔폭 내의 평균 수신전력 및 간섭기준 초과확률에 대해 이론해석과 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 그 결과 이론해석의 타당성을 보여주며, 동일 대역의 FS를 보호하기 위해서는 ESIM 이동 터미널의 보어사이트에 대한 이동 경로 기울기 각도, 운영시간, 이동속도 등을 종합적으로 고려해서 간섭기준이 마련되어야 한다.

### [Abstract]

In recent years, owing to the growing user demand for the two-way internet service based on the mobile global broadband communications, a new type of satellite terminal has been developed, known as ESIM(Earth Station in Motion). This service was required by Resolution 158(WRC-15) to study on the coexistence with the co-primary FS(Fixed Service) in 27.5-29.5 GHz as a FSS(Fixed Satellite Service) uplink. In this paper, the average received power on ESIM within -10 dB of beam width of FS and its outage probability was analyzed theoretically and also simulated to account for the azimuth angle with uniform distribution. From the results, it can be concluded that this theoretical analysis is very useful to analyze the interference from ESIM into FS based on the statistical and probabilistic method. Therefore, it is necessary to control the azimuth angle due to a moving terminal as well as the inclination angle of moving path, the operation hours, and the speed of ESIM to protect the co-primary FS.

**Key word** : Earth station in motion, Fixed service, Fixed satellite service, Interference, Outage probability.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.5.428>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 28 September 2017; Revised 28 September 2017  
Accepted (Publication) 12 October 2017 (30 October 2017)

\*Corresponding Author; Young-Heung Kang

Tel: +82-63-469-4693

E-mail: yhkang@kunsan.ac.kr

## 1. 서론

최근 이동형 글로벌 광대역 통신 및 위성기반의 양방향 인터넷 서비스에 대한 수요가 증가함에 따라 ESOMP(Earth Stations on Moving Platform) 또는 ESIM(Earth Station in Motion, 이하 ESIM으로 약칭)이라는 새로운 형태의 위성 터미널이 개발되고 있으며, 홈(home) 또는 소규모 비즈니스 유저(user)들에게 소형의 안테나 터미널로 제공되고 있다[1]-[3]. 전형적으로 단일의 위성망은 넓은 지역에 전개되는 다수의 소형 터미널로 구성되며, 위성 커버리지 내의 위치, 변하는 기상조건, 유저의 데이터 속도에 따라 터미널들은 다양한 크기의 안테나로 운용되어 다양한 송신 전력레벨을 요구하고 있다. ESIM은 소형 안테나 터미널의 특징으로 인해 넓은 안테나 빔 폭(beam width)을 가지게 되어 송신 전력레벨을 적절히 조정하지 못하면 인접 위성뿐만 아니라 기존의 지상 고정서비스(FS; Fixed Service)에 업링크(uplink) 간섭을 야기하게 된다. 또한, 고정 터미널뿐만 아니라 항공기, 선박, 기차, 육상 이동체에 장착된 소형 터미널들은 안테나 포인팅 에러를 가지고 있어 이로 인한 잠재적 간섭을 발생하므로 이를 해결해야 하는 문제점을 갖고 있다. 이러한 복합적인 영향은 터미널 네트워크로부터 타 무선망 수신기에 미치는 시변(time-varying) 간섭패턴으로 영향을 주게 된다[2].

WRC-15에서는 Resolution 158을 통해 FSS(Fixed Satellite Service) 정지궤도 위성과 통신하는 지구국에 17.7-19.7 GHz (space-Earth) 및 27.5-29.5 GHz (Earth-space) 대역의 주파수 사용을 고려하여 이 대역에서 운영하거나 계획하고 있는 여러 형태의 ESIM에 관한 기술적 운용적 특성 및 유저 요구조건을 연구하고, 여러 형태의 ESIM에 계획된 서비스를 제공하기 위한 스펙트럼 이용 및 확인된 타서비스와의 주파수 공동사용에 대한 연구를 WRC-19 의제 1.5로 채택하였다.

현재 17-30 GHz 대역은 동일한 주업무(co-primary) 기반으로 FS, 셀룰러 망 백홀(back-haul) 및 FSS에 분배되어 있다. FSS는 정지궤도 통신위성에 대한 공식적인 분류로 예를 들어 TV국, 무선국 및 방송망에 방송 서비스 제공을 목적으로 업링크는 27.5-30 GHz 대역, 다운링크(downlink)는 17.3-21 GHz 대역에 할당되었다[4]. 27-30 GHz 업링크 FSS 대역은 기존 방송 중계용 및 향후 셀룰러 망 백홀 서비스를 제공하기 위해 공동업무 기반의 FS와 FSS간의 주파수 공유가 매우 중요하다.

한편, 해상 ESIM과 유사한 기술적 특성을 갖는 ESV(Earth Station on board Vessel)가 FS에 미치는 간섭영향 평가는 해안 거리 내의 제한된 조정영역(contour)에서 운영하는 ESV로부터의 장기간(long-term) 간섭을 고려하기 위해 조정영역을 여러 세그먼트(segment)로 나누어 계산하고 있다[5],[6]. 이 방법은 평균 간섭전력을 결정하는데 필요한 모든 CCP(Critical Contour Point)를 결정하는 기본 데이터를 제공하며, 평균 간섭전력은 운영 조정영역의 각 세그먼트로부터 간섭전력의 합으로 개발되었다. 참고문헌 [6]에서 사용된 파라미터에 따라 1년당 운영 조정영역을 횡단하는 ESIM의 운영시간, ESIM의 속도 등을 사

용한다. 그러나 이러한 연구들은 선박에서 운영되는 ESV에 국한되어 있어 선박의 이동특성으로 제한되고 있으며, 육상에서 이동터미널의 이동특성에 따라 FS 수신안테나의 보어사이트(boresight)를 향하는 방위각(azimuth angle)의 특성에 기반한 간섭영향 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 기존의 FSS 지구국이 FS에 미치는 간섭영향 분석 기법에 근거하면서 ESIM 이동터미널의 방위각 특성을 랜덤 변수인 일양분포(uniform distribution)로 가정하여 확률통계에 기반한 FS에 미치는 간섭영향을 분석한다. 이를 통해 향후 27-30 GHz 업링크 FSS 대역에서의 ESIM과 공동업무 FS간의 호환성을 확보하고자 한다. 이를 위해 2장에서는 간섭 시나리오를 설정하고, 3장에서는 기존 14.5 GHz 주파수와 다른 28.5 GHz 주파수의 평균 간섭전력에 미치는 메인 빔 세그먼트 [5]를 분석한다. 또한, 4장에서는 간섭분석에 사용된 전파모델의 파라미터를 설정하고, 5장에서는 FS 수신안테나의 -10 dB 메인 빔의 평균 수신전력, 6장에서는 간섭기준 초과확률(outage probability)을 이용하여 여러 파라미터들의 값에 따른 간섭영향을 분석한 후 7장에서 결론을 내린다.

## II. 간섭시나리오

조정영역의 한 세그먼트가 그림 1과 같이 FSR(Fixed Service Receiver) 안테나의 메인빔 축을 교차할 때, 메인 빔(main beam)을 통과하는 ESIM의 이동에 의한 간섭영향이 평균 간섭전력 대부분을 차지하게 된다. 따라서 여기서는 FS 메인 빔에 영향을 주는 ESIM의 최대 간섭전력에 대해 그 영향을 평가한다. ESIM 시스템은 항상 존재하지 않으므로 전파모델 입력 파라미터,  $p$ (Rec. ITU-R P.452[7]에서 최소 전송손실 기준을 초과하지 않을 시간 %)로서 short-term 간섭 목표 시간 %,  $p_s$ 를 사용하는 것은 적절하지 않다. 적절한  $p$  값은 ESIM이 FSR의 -10dB 빔 폭 내에서의 운용시간에 의존한다[6]. 그림 1의 ESIM 예와 같이 명백히 알 수 있듯이 그 운용시간은 ESIM과 FSR간의 거리에 의존한다. 본 연구에서는 향후 ESIM 서비스를 위해 고려하고 있는 27.5-29.5 GHz 대역의 FSS 업링크 주파수 대역을 고려한다.

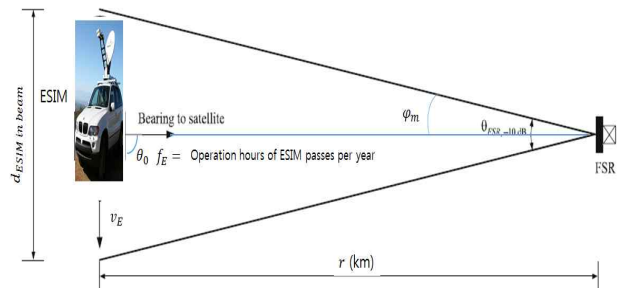


그림 1. ESIM - FS 간섭 시나리오

Fig. 1. Interference Scenario between ESIM and FS.

표 1. 간섭평가를 위한 파라미터

Table 1. Parameters for interference estimation.

ESIM parameters		
Parameter	Value	Comment
Frequency of operation, $f$ (MHz)	28500	
Antenna height, $h_E$ (m)	2.0	
Elevation angle satellite, $\theta_E$ (degrees)	>10	Lower elevation angles may be used provided that the e.i.r.p. towards the horizon is consistent with the 10° elevation angle operational limitation
Maximum e.i.r.p., $E_{max}$ (dB(W/40kHz))	15.5	Calculated
Maximum occupied bandwidth, $B_E$ (MHz)	2.346	
ESIM's speed, $v_E$ (km/h)	Variable	-
Frequency of passage, $f_E$	Variable	-
FSR parameters		
Frequency of operation, $f$ (MHz)	28500	Equal to ESIM value
Antenna height, $h_F$ (m)	20	
Maximum boresight antenna gain, $G_{max}$ (dBi)	40	For 0.5m antenna
-10 dB beamwidth, $2\varphi_m$	2.6	Calculated from ITU-R F.1245
Feeder loss, $L_F$	3	
Receiver bandwidth, $B_F$ (MHz)	2	Assume equal to ESIM
$I/N$ applicable FS criterion ( $I/N_{th}$ ) (dB)	-10	
Permissible interference power level, $I_{thr}$ (dB(W/40kHz))	-168	$=10\log(kTB_F) + I/N_{th}$

<표 1>에 주어지는 파라미터 값들은 28.5 GHz ESIM 시스템 간섭영향으로부터 FS를 보호하기 위한 기준을 제공하는데 고려될 수 있는 대표적인 특성들을 가정한다.

### III. 메인 빔 세그먼트

Rec. ITU-R F.699[8]에 주어지는 FS 안테나 패턴에서 보어 사이트로부터의 off-axis 각  $\varphi_d$  내의 메인 빔에서의 이득은 다음과 같이 주어지며[5], 그림 2로부터 주파수 28.5 GHz, 안테나 직경 0.5 m, 안테나 최대 이득 40 dBi일 때, -10 dB 빔 폭이 약 2.6° 이다

$$g_F(\varphi_r) = g_{max} e^{-\delta^2 \varphi_r^2} \quad \text{for } \varphi_r < \varphi_{dm} \quad (1)$$

여기서,

$$\delta^2 = \frac{\ln(10)}{10} (2.5 \times 10^{-3}) \left( \frac{D}{\lambda} \right)^2, \quad D/\lambda \text{는 파장에 대한 안}$$

테나 직경의 비이다.

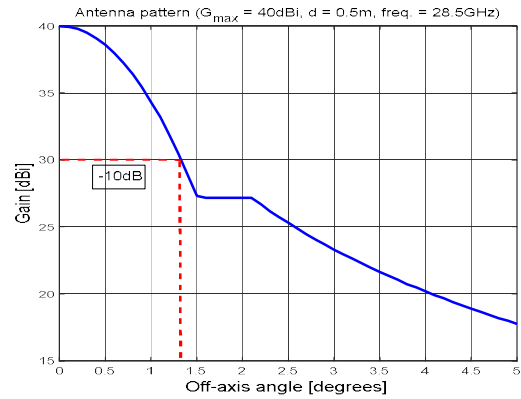


그림 2. 28.5 GHz,  $G_{max} = 40$  dBi,  $d = 0.5$  m 안테나 특성  
Fig. 2. Antenna characteristics with  $G_{max} = 40$  dBi and  $d = 0.5$  m for 28.5 GHz.

식(1) 및 그림 2의 FS 수신 안테나 특성을 고려하여 그림 1로부터 ESIM 터미널이 -10 dB 메인 빔 내의 FS에 미치는 간섭 수신 전력은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \overline{p_{r,0}(\theta_E)} &= \frac{e(\theta_E) g_{rmax}}{l_{452}(20) l_F} \frac{2\pi\varphi_m r_0}{180 v_E \sin\theta_0} \frac{f_E}{8760} (0.5981) \quad (2) \\ &= R_x \frac{f_E}{v_E \sin\theta_0} e(\theta_E) \end{aligned}$$

여기서,  $R_x = 2.3833 \times 10^{-6} \frac{g_{rmax} \varphi_m r_0}{l_{452}(20) l_F}$

$e(\theta_E)$  : ESIM의 e.i.r.p (dBW/40kHz)

$g_{rmax}$  : 수신 안테나 최대이득 (dBi)

$l_F$  : FS 피터손실 (dB)

$l_{452}(20)$  : Rec. ITU-R P.452 전파손실 모델 ( $p = 20\%$ )

$\varphi_r$  : 오프축(off-axis) 각도 (도)

$\varphi_m$  : -10 dB 오프축 각도 (도)

### IV. 전파모델

지상의 전파경로손실은 BLOS(Beyond Line-of-Sight)와 해상경로에 적용 가능한 회절손실(diffraction loss)  $L_d$ , 클러터 손실(clutter loss)  $A_h$ , 가스 감쇠(gaseous attenuation)  $A_g$ 를 포함한 Rec. ITU-R P.452[7]에서 다루어지고 있다. P.452에 따라 ESIM 송신신호 주파수  $f$  (GHz), 두 시스템간의 거리  $r$  (km)일 때 전파경로 손실모델을 다음과 같이 고려할 수 있다.

$$PL(r) = 92.5 + 20\log(f) + 20\log(r) + L_d + A_g + A_h \quad (3)$$

회절손실은 BLOS 조건에서는 두드러진 손실성분이라 할

수 있으며, P.452에서 정의된 전체 전파모델은 매우 복잡하므로 여기서는 전파경로손실 계산을 쉽게 하면서 충분한 정확도를 가지는 근사모델을 고려한다. ESIM과 FS 중간거리 지점에 단일 나이프 에지드(knife-edged) 장애물을 가정하면  $L_d$ 는 Rec. ITU-R P.526[9]으로부터 회절손실을 얻는다.

한편, 가스 감쇠는 드라이 에어(dry air) 감쇠와 수증기 감쇠로 구성되며, Rec. ITU-R P.676[10]은 이 감쇠를 평가하기 위한 직접적인 모델을 제공한다. 일반적인 수증기 밀도  $7.5 \text{ g/m}^3$ , 28.5 GHz 주파수 및 FS 수신기 높이 20 m에서  $A_g \approx 0.107 \times r$ , 여기서  $r$  (km)은 거리이다. 감쇄  $A_h$ 는 로컬 클러터로부터 보호에 기인하는 클러터 손실로서 P.452에서 나무(trees), 시골(rural), 교외(suburban), 도시(urban), 밀집도시(dense urban) 등 전파환경에 따른 모델적용을 권고하고 있으며, 여기서는 시골 환경을 고려하였다.

### V. 평균 수신전력

본 연구에서는 FS를 보호하기 위한 간섭기준치로 잡음전력  $-158 \text{ (dBW/40kHz)}$ 과  $I/N = -10 \text{ dB}$ 을 고려하여, 기준치  $I_{thr} = -168 \text{ (dBW/40kHz)}$ 을 사용하였다. 한편, ESIM 안테나가 FS 안테나의 메인빔을 향하는 식(2)의  $\theta_E$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\theta_E = \arccos(\cos(\varepsilon_E)\cos(\varepsilon_{EF})\cos(a_{EF}) + \sin(\varepsilon_E)\sin(\varepsilon_{EF})) \quad (4)$$

여기서,  $\varepsilon_E$ 는 ESIM이 위성을 바라보는 양각,  $a_{EF}$ 는 FS에 대한 ESIM의 방위각이며,  $\varepsilon_{EF}$ 는 ESIM으로부터 FS에 이르는 전파경로의 양각이다. 양각과 방위각의 함수로서 위성을 향하는 ESIM의 양각은 상수이나, ESIM의 이동경로에 의해 FS 메인빔을 향하는 ESIM의 방위각은  $[-180^\circ, 180^\circ]$  범위의 일양분포(uniform distribution) 값으로 가정하면,  $\theta_E$ 는 다음의 확률밀도 함수(pdf; probability density function)로 표현할 수 있다.

$$f_X(\theta_E) = \begin{cases} \frac{1}{2 \times (180 - 2\varepsilon_E)} & \text{for } -180^\circ \leq \theta_E \leq 180^\circ \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

평균 간섭전력  $I_{avg}$ 는 식(2)에 식(5)의 pdf를 적용하여 평균을 취하면 다음과 같이 얻어질 수 있다.

$$I_{avg} = 2 \int_{0+\varepsilon_E}^{180-\varepsilon_E} \frac{1}{p_{r,0}(\theta_E)} f_X(\theta_E) d\theta_E = R_x \frac{f_E}{v_E \sin\theta_0} E_x \quad (6)$$

여기서,  $E_x$ 는 ESIM 송신 안테나로부터의 평균전력이며, 통상 양각은  $10^\circ$  이상에서 운용되므로 ITU-R S.524[11]에서 주어

진 c.i.r.p. 특성을 고려하면 다음과 같이 근사값을 구할 수 있다.

$$E_x \approx \begin{cases} \frac{1}{180 - 2\varepsilon_E} \left( 105.7\varepsilon_E^{-\frac{3}{2}} + 1.0 - 0.01\varepsilon_E \right) & \text{for } \varepsilon_E \leq 48^\circ \\ \frac{1}{180 - 2\varepsilon_E} (1.8 - 0.02\varepsilon_E) & \text{for } \varepsilon_E > 48^\circ \end{cases} \quad (7)$$

그림 3 및 그림 4는 ESIM의 양각이 낮은  $20^\circ$ 와  $50^\circ$ 인 경우 식(6) 및 식(7)을 이용하여 계산된 평균 간섭전력 값과 시뮬레이션 결과를 비교한 결과를 나타낸다. 양각이  $20^\circ$ 로 낮은 경우(그림 3)는 이론해석 결과와 시뮬레이션 결과의 차이가 비교적 크게 나타나고 있지만, 양각이  $50^\circ$ 로 높은 경우(그림 4)는 완전히 일치함을 보인다. 예를 들어 그림 3에서 간섭 기준치의 하한(low limit)을 보이고 있다. 이는 양각이 낮은 경우는 ESIM의 방위각 분포에 따라 FS를 향하는 안테나의 방향각이  $20^\circ$ 와  $160^\circ$  근방에서 빈도수가 많이 나타나므로 이에 대한 반영이 미흡한 결과이다. 그러나 양각이 높아지면 방위각보다는 양각에 안테나 방향이 좌우되어 시뮬레이션 결과와 일치한다는 점을 알 수 있다.

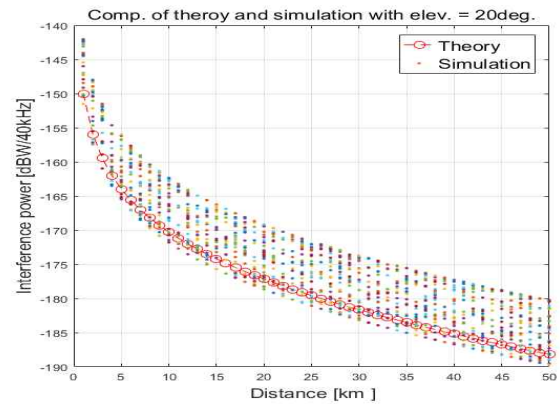


그림 3. 간섭전력의 이론치와 시뮬레이션 결과 비교 ( $\varepsilon_E=20^\circ$ )  
Fig. 3. Comparison of theory and simulation interference power( $\varepsilon_E=20^\circ$ ).

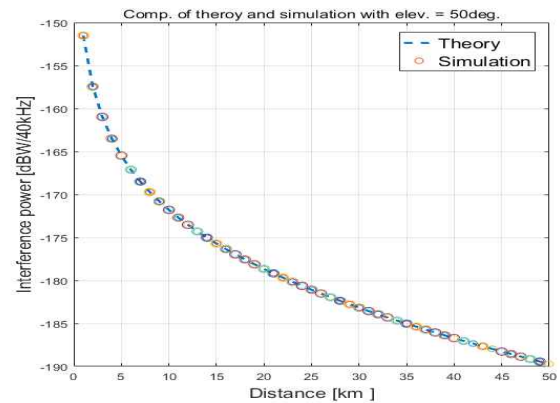


그림 4. 간섭전력의 이론치와 시뮬레이션 결과 비교 ( $\varepsilon_E=50^\circ$ )  
Fig. 4. Comparison of theory and simulation interference power( $\varepsilon_E=50^\circ$ ).

### VI. 간섭기준 초과확률

5장에서 다루어진 평균 간섭전력에 기반한 호환성 평가는 새로운 ESIM 서비스로부터 기존의 FS 시스템을 보호하기 위한 허용 간섭레벨을 제공하지 않는다. 왜냐하면 ESIM의 이동성에 의해 순간적으로 평균 간섭레벨보다 크게 되어 간섭기준치를 초과하기 때문이다. 랜덤하게 변하는 ESIM의 위성을 바라보는 안테나의 포인팅 에러와 FS를 향하는 방위각에 대한 통계해석을 통해 기존의 FS 수신 간섭기준 초과확률(outage probability)에 근거한 간섭기준을 고려하는 것이 더욱 편리하다. ESIM의 양각 및 방위각의 변동에 의한 FS 수신 간섭기준 초과확률  $I_{thr}$ 은 다음과 같다.

$$P_{out} = \Pr(I_t > I_{thr}^l) = \int_{I_{thr}^l}^{\infty} f_{FS}(I_t) dI_t \quad (8)$$

여기서,  $I_{thr}^l = 10^{(I_{thr}/10)}$ 이다. 또한  $\Pr(z)$ 는  $z$ 의 확률이며,  $f_{FS}(I_t)$ 는  $I_t$ 의 확률밀도함수(PDF)이다. 최소양각이  $10^\circ$  이상이면 ITU-R S.524[11]에서 주어진 e.i.r.p. 특성 및 식(6)을 이용하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f_{FS}(I_t) = \begin{cases} \frac{132 - \varepsilon_E}{(180 - 2\varepsilon_E)} & I_t = 0.01R_{x1} \\ \frac{3}{(180 - 2\varepsilon_E)} R_{x1}^{\frac{2}{5}} I_t^{-\frac{7}{5}} & 0.01R_{x1} < I_t \leq 158.5\varepsilon_E^{-2.5} R_{x1} \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (9)$$

여기서,

$$\beta = R_{x1} / I_{thr}^l \quad (10)$$

식(8)은 단지  $0.01R_{x1} \leq I_{thr}^l \leq 158.5\varepsilon_E^{-2.5} R_{x1}$  범위에서만 유효하며, 이 보다 작거나 크면 초과확률  $P_{out} = 1$  또는 0이다.

ESIM의 방위각 변동에 따라 FS에 주는 간섭영향을 분석하기 위해 방위각의 랜덤분포 특성을 일양분포로 가정하여 식(10)의  $\beta$ 에 따른 이론적 초과확률과 시뮬레이션에 의한 결과를 그림 5에 보인다. 초과확률이 작을수록( $P_{out} = 10^{-3}$  이하) 이론해석과 시뮬레이션 결과가 일치하고 있지만, 그 확률이 클수록 오차가 점점 증가함을 알 수 있다. 여기서, 식(10)의 파라미터  $\beta$ 는 간섭기준치,  $I_{thr}^l$ 에 대한 FS 시스템의 간섭 수신전력의 비를 나타내고 있다. 이에 ESIM의 양각이  $20^\circ$ 에서  $30^\circ$ 로 증가하면 초과확률 0.1%, 즉  $P_{out} = 10^{-3}$  기준으로 간섭 기준치의 10배에서 30배정도의 간섭 마진을 갖게 된다. 이론해석 결과를 토대로 ESIM의 양각이  $25^\circ$ 인 경우, 초과확률  $P_{out} = 10^{-3}$ 에서  $10^{-2}$ 로 그 운영기준을 낮추면 수신 간섭전력 마진은 20배에서 23배 정도로 높아진다.

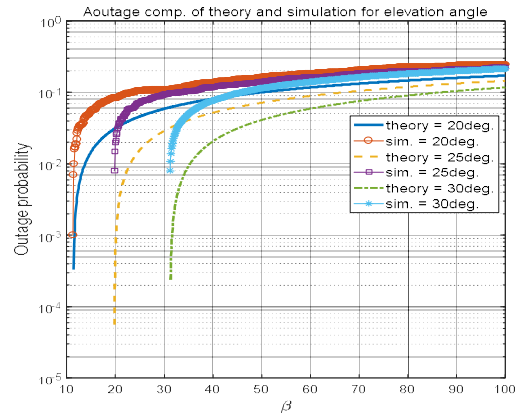


그림 5.  $\beta$ 에 따른 초과확률의 이론해석과 시뮬레이션 비교  
**Fig. 5.** Comparison of theory and simulation outage probability with  $\beta$ .

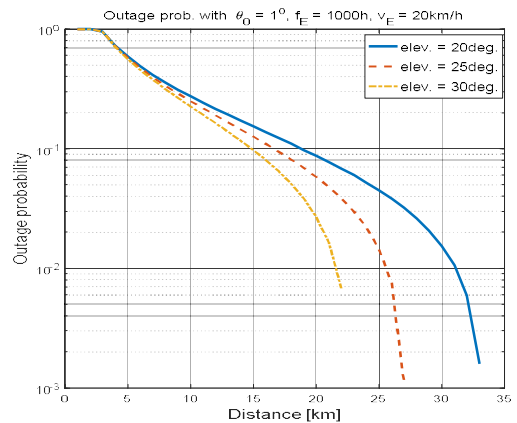


그림 6. 양각에 따른 초과확률( $\theta_0=1^\circ$ ,  $f_E=1000h$ ,  $v_E=20km/h$ )  
**Fig. 6.** Outage probability with elevation angle( $\theta_0=1^\circ$ ,  $f_E=1000h$ ,  $v_E=20km/h$ ).

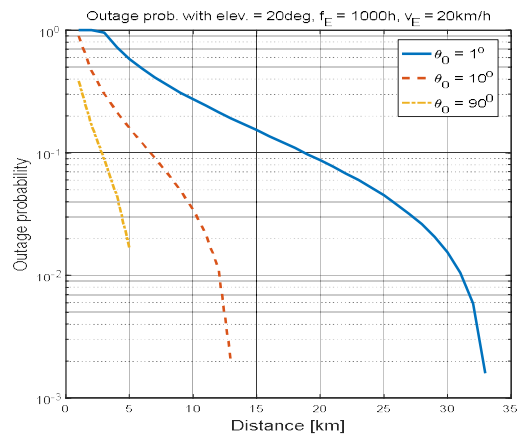


그림 7. 이동경로 기울기에 따른 초과확률( $\varepsilon_E=20^\circ$ ,  $f_E=1000h$ ,  $v_E=20km/h$ )  
**Fig. 7.** Outage probability with path slope( $\theta_0=1^\circ$ ,  $f_E=1000h$ ,  $v_E=20km/h$ ).



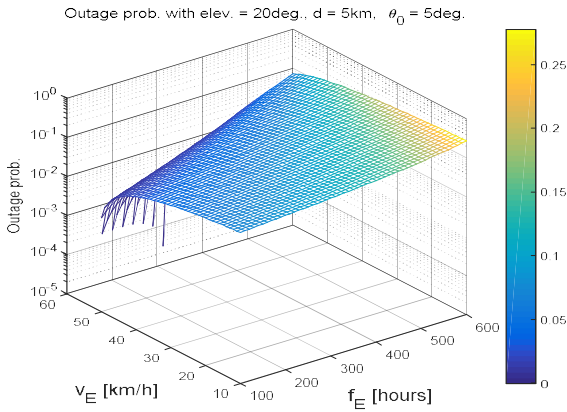


그림 8. 운영시간 및 이동속도에 따른 초과확률( $\epsilon_E=20^\circ$ ,  $\theta_0=10^\circ$ ,  $r=5\text{km}$ )

Fig. 8. Outage probability by time and velocity( $\epsilon_E=20^\circ$ ,  $\theta_0=10^\circ$ ,  $r=5\text{km}$ ).

그림 6은 ESIM의 이동경로 기울기,  $\theta_0 = 1^\circ$ , 운영시간,  $f_E = 1000 \text{ h/년}$ , 이동속도,  $v_E = 20 \text{ km/h}$ 로 가정할 때의 ESIM 양각에 따른 outage 확률을 보인다.  $P_{out} = 10^{-2}$  기준에 근거하여 양각이  $20^\circ$ 에서  $30^\circ$ 로 높아짐에 따라 분리거리도  $32 \text{ km}$ 에서  $22 \text{ km}$ 로 감소하고 있다.

그림 7은 ESIM의 양각,  $\epsilon_E = 20^\circ$ , 운영시간,  $f_E = 1000 \text{ h}$ , 이동속도,  $v_E = 20 \text{ km/h}$ 로 가정할 때의 ESIM 이동경로 기울기에 따른 초과확률을 보인다. 기울기 각이 작을수록 ESIM 안테나의 방향이 FS 보어사이트를 향하게 되어 간섭전력은 크게 증가하게 된다.  $P_{out} = 10^{-2}$  기준을 근거로 이동경로 기울기가  $1^\circ$ 에서  $10^\circ$ 로 높아짐에 따라 분리거리도  $32 \text{ km}$ 에서  $12 \text{ km}$ 로 크게 줄어들고 있다.

그림 8은 ESIM의 운영시간과 이동속도에 따른 간섭영향을 분석하기 위해 양각,  $\epsilon_E = 20^\circ$ , 이동경로 기울기,  $\theta_0 = 10^\circ$ , 분리거리  $r = 5 \text{ km}$ 로 가정했을 때의 초과확률분포를 보인다. 이동속도가 빠를수록 운영시간이 길수록 초과확률은 높아져,  $P_{out} = 5 \cdot 10^{-2}$  기준에서 이동속도  $v_E = 10 \sim 55 \text{ km/h}$ 로 변화하는 동안 운영시간  $f_E = 270 \sim 600 \text{ h}$ 의 분포를 보인다.

### VII. 결 론

본 논문에서는 향후 27.5-29.5 GHz 대역에서 운영 예정인 ESIM이 기존의 FS에 미치는 간섭영향을 분석하기 위해 육상 ESIM의 이동특성을 랜덤 일양분포 특성으로 가정하여 FS 수신안테나의 -10 dB 메인 빔에 수신되는 평균 간섭전력 및 간섭기준 초과확률에 대해 분석하였다. ESIM 안테나의 양각에 따라 평균 수신전력에 대한 이론해석과 시뮬레이션 결과에서 차이를 보이며, 양각이 낮은  $20^\circ$ 에서는 간섭 기준치에서 약  $10 \text{ km}$

의 분리거리 오차를 보이고 있다. 이는 양각이 낮은 경우는 ESIM의 방위각 분포에 따라 FS를 향하는 안테나의 방향각이  $20^\circ$ 와  $160^\circ$  근방에서 빈도수가 많이 나타나므로 이에 대한 반영이 미흡한 결과이다. 그러나 양각이 높아지면 방위각보다는 양각에 안테나 방향이 좌우되어 시뮬레이션 결과와 일치한다는 점을 알 수 있다.

또한, 간섭기준 초과확률에 의한 간섭영향 분석을 위해 ESIM의 e.i.r.p. 특성에 의한 수신전력과 간섭 기준치와의 비,  $\beta$ 에 따른 이론적 해석과 시뮬레이션에 의한 결과는 초과확률이 작을수록( $P_{out} = 10^{-3}$  이하) 이론해석과 시뮬레이션 결과가 일치하고 있지만, 그 확률이 클수록 오차가 점점 증가함을 알 수 있다. 이 결과로부터 ESIM의 이동성 특성을 고려한 확률적 통계해석을 도입하여 일양분포에 의한 이론해석이 타당하다는 점을 보여주고 있으며, 특히 간섭 기준치와의 수신전력의 비를 고려함으로써 향후 간섭마진을 설정하는데 유용한 데이터를 제공하게 될 것이다.

결론적으로 ESIM의 이동성에 의해 FS를 향하는 방위각의 변동이 랜덤 특성으로 인해 그 간섭영향은 확률적 통계에 의해 이루어져야 하며, ESIM 이동터미널의 이동경로 기울기, 이동속도, 운영시간 등을 종합적으로 판단하여 동일 대역에서 운용하는 FS를 보호하기 위한 간섭기준이 마련되어야 한다.

### Acknowledgments

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구( B0719 - 16 - 1006, 국가 위성통신 주파수 확보 및 이용을 위한 위성 스펙트럼 활용기술 개발)의 일환으로서, 관계부처에 감사드립니다.

### References

- [1] E. G. Cuevas, and C. V. Weerackody, "Technical characteristics and regulatory challenges of communications satellite earth stations on moving platforms," *Johns Hopkins APL Technical Digest*, Vol. 33, No. 1, pp. 37 - 51, 2015.
- [2] International Telecommunication Union, "Methodologies to estimate the off-axis e.i.r.p. density levels and to assess the interference towards adjacent satellites resulting from pointing errors of vehicle-mounted earth stations in the 14 GHz frequency band," Recommendation ITU-R S.1857, Jan. 2010.
- [3] Y. H. Kang, and D. S. Oh, "Analysis of interference effect of ESIM on FS system considering the antenna pointing error," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 20,

No. 6, pp.503-510, Dec. 2016.

- [4] F. Guidolin, M. Nekovee, L. Badia, and M. Zorzi, "A study on the coexistence of fixed satellite service and cellular networks in a mmWave scenario," in *IEEE ICC 2015, Wireless Communication Symposium*, pp.2444-2449, June 2015.
- [5] International Telecommunication Union, "Guidance for determination of interference from earth stations on board vessels to stations in the fixed service when the earth station on board vessels is within the minimum distance," Recommendation ITU-R SF.1649-1, Aug. 2008.
- [6] International Telecommunication Union, "The minimum distance from the baseline beyond which in-motion earth stations located on board vessels would not cause unacceptable interference to the terrestrial service in the bands 5925-6425 MHz and 14-14.5 GHz," Recommendation ITU-R SF.1650-1, Feb. 2005.
- [7] International Telecommunication Union, "Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz," Recommendation ITU-R P.452-16, July 2015.
- [8] International Telecommunication Union, "Reference radiation patterns for fixed wireless system antennas for use in coordination studies and interference assesment in the frequency range from 100 MHz to about 70 GHz," Recommendation ITU-R P.699-7, Apr. 2006.
- [9] International Telecommunication Union, "Propagation by diffraction," Recommendation ITU-R P.526-13, Nov. 2013.
- [10] International Telecommunication Union, "Attenuation by atmospheric gases," Recommendation ITU-R P.676-11, Sep, 2016.
- [11] International Telecommunication Union, "Maximum permissible levels of off-axis e.i.r.p. density from earth stations in geostationary-satellite orbit networks operating in the fixed-satellite service transmitting in the 6 GHz, 13 GHz, and 30 GHz frequency bands," Recommendation ITU-R S.524-9, Apr. 2006.



**강 영 흥 (Young-Heung Kang)**

1984년 2월 : 한국항공대학교 통신공학과 (공학사),  
 1993년 2월 : 한국항공대학교 대학원 전자공학과 (공학박사),  
 1995년 8월~1996년 8월 : 일본 오사카대학 개원교수,  
 1990년 4월~현재 : 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수  
 ※관심분야 : 위성통신, 이동통신, 표준화, 전파전파

1986년 2월 : 한국항공대학교 대학원 전자공학과 (공학석  
 1988년 3월~1990년 2월 : 한국항공대 통신공학과 조교  
 2003년 8월~2005년 2월 : 영국 York대학 방문교수



**오 대 섭 (Dae-Sub Oh)**

2014년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학박사),  
 2000년 7월~현재: 한국전자통신연구원 전문위원 (책임연구원)  
 ※관심분야 : 위성통신, 전파통신, 전파 특성

1998년 3월~2000년 7월: LG 정보통신 주임연구원