

항공 이동형 지구국과 5세대 이동통신 간의 양립성 평가를 위한 간섭분석

Interference Analysis for Compatibility Evaluation between Aeronautical Earth Station in Motion and 5G Mobile Communications

김 현 기 · 조 연 기 · 조 한 신

Hyun-Ki Kim · Yeongi Cho · Han-Shin Jo

요 약

진보된 위성통신 기술인 이동형 지구국(earth station in motion: ESIM)은 선박, 항공기, 차량 등에 탑재되어 탑승자들에게 광대역 통신을 제공하기 위한 시스템으로 27.5~29.5 GHz 대역에서 서비스가 고려되고 있다. 그러나 5세대 이동통신(5G)은 ESIM의 운용 예정 대역과 인접한 24.25~27.5 GHz가 후보대역으로 채택되어, 두 시스템 간의 간섭분석을 통해 양립성을 평가해야 한다. 본 논문은 항공기에 탑재되는 ESIM(aeronautical ESIM: A-ESIM) 으로부터 5G 시스템이 수신하는 간섭전력을 minimum coupling loss 방법을 통해 분석하였다. 항공기의 동체 손실을 고려하지 않은 경우, A-ESIM이 약 3,180 m 고도에서의 운항이 보장되어야 5G 시스템의 간섭 허용 기준을 만족하였다.

Abstract

Earth station in motion(ESIM), an advanced satellite communications technology, is mounted on ships, aircraft, and land vehicles to provide broadband communication to passengers. It is considered for service in the 27.5~29.5 GHz band, this band is adjacent to the 24.25~27.5 GHz 5G candidate band. Therefore, compatibility between the ESIM and the 5G system must be evaluated. In this study, interference analysis from an aeronautical ESIM(A-ESIM) to a 5G system is performed by applying the minimum coupling loss method. When fuselage loss of the aircraft is not considered, the A-ESIM should be operated at an altitude of approximately 3,180 m to meet the criteria for allowable interference of the 5G system.

Key words: ESIM, 5G, Compatibility, Coexistence, Interference Analysis

I. 서 론

무선 통신 및 네트워크의 지속적인 개발로 인해 주파수 공존을 위한 간섭분석의 필요성이 대두되고 있다.

2015 세계전파통신회의(2015 World Radiocommunication Conference: WRC-15)에서 최신키의 위성 통신 기술인 이동형 지구국(earth station in motion: ESIM) 시스템과 5세대 이동통신(5th generation mobile telecommunication: 5G)의 운

「본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진 연구사업의 연구비 지원 (19CTAP-C151968-01)과, 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기술진흥센터(IITP)의 지원 (No. 2016-0-00500)에 의하여 수행되었음.」

한밭대학교 전자제어공학과(Department of Electronics & Control Engineering, Hanbat National University)

· Manuscript received July 22, 2019 ; Revised August 16, 2019 ; Accepted September 20, 2019. (ID No. 20190722-069)

· Corresponding Author: Han-Shin Jo (e-mail: hsj@hanbat.ac.kr)

용 주파수 확보를 위한 의제를 채택하였다. 이에 따라 두 시스템의 운용 예정인 주파수 대역에서 타 시스템과의 주파수 공유를 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다^{[1],[2]}.

ESIM은 사용자가 어디에 있는 무선 통신 및 네트워크를 제공하기 위해 선박, 차량, 항공기 등에 탑재되는 소형 위성 지구국이다^[3]. 기존의 고정 위성 업무(fixed satellite service: FSS) 망은 3,400~4,800 MHz(C 대역), 10.7~14.5 GHz(Ku 대역)를 통해 항공기 및 선박에 통신 서비스가 제공되었으나, 사용자가 많아질수록 전송속도가 매우 낮아진다는 치명적인 단점을 갖고 있다^[4]. 반면, ESIM은 무선 통신이 제한되는 환경에 일상에서 경험하던 품질의 무선 서비스를 제공할 것으로 기대되고 있다. 이를 위해 WRC-15에서는 ESIM이 Ka 대역 중 FSS 망인 27.5~29.5 GHz 대역의 사용을 검토하기 위한 WRC-19 의제 1.5를 채택하였다^[5].

5G 이동통신은 20 Gbit/s의 최대 전송속도, 1 ms 수준의 초저지연 등의 성능을 갖출 것으로 예상되고 있다. International Telecommunication Union(ITU)에서 정의한 5G 이동통신의 정식명칭은 International Mobile Telecommunications-2020(IMT-2020)으로 2020년도 상용화를 목표로 하고 있다. WRC-15에서 IMT-2020의 주파수 지정을 위한 WRC-19 의제 1.13을 채택하였으며, 이에 따라 ITU에서는 24.25~86 GHz 범위에서 11개의 후보 주파수 대역을 설정하였다^[6]. 이 중 24.25~27.5 GHz는 ESIM의 운용 예정 주파수 대역과 매우 인접한 대역으로 ESIM과 IMT-2020 간의 인접대역 간섭분석을 이용한 양립성 연구가 필요하다.

ESIM은 운용되는 환경에 따라 해양 ESIM(maritime ESIM: M-ESIM), 지상 ESIM(land ESIM: L-ESIM), 항공 ESIM(aeronautical ESIM: A-ESIM)으로 분류된다. 이 중 A-ESIM은 다른 두 ESIM과 다르게 지표면이 아닌 상공에서 운용이 되는 시스템으로 지상 시스템과의 간섭문제가 생긴다면 광범위한 피해를 입힐 수 있다. 기존의 연구는 주로 ESIM과 타 시스템간의 동일대역 주파수 공유를 목표로 간섭분석이 이루어져 왔다. ITU-R에서 위성 업무를 담당하는 작업반(working party: WP) 4A의 의장 보고서에 의하면 모바일 시스템(mobile system)과 고정 업무(fixed service: FS)와의 간섭분석이 이루어지고 있으며, 일부 인접대역에 대한 내용이 포함되어 있다^{[1],[7]}. 그러나 ESIM과

IMT-2020 간의 간섭분석을 다루는 내용에 관해서는 주로 M-ESIM을 대상으로 하고 있는 반면, A-ESIM에 대한 연구 사례를 찾아보기 힘들다^{[8]~[10]}. 본 논문은 A-ESIM과 IMT-2020의 양립성을 평가하기 위한 간섭분석의 내용을 담고 있다.

II. 간섭분석 시나리오

IMT-2020은 시분할 듀플렉싱(time division duplexing: TDD)을 통해 기지국(base station: BS)과 이동국(user equipment: UE) 간의 통신을 시간을 분할하여 송수신한다. 그러나 ESIM은 FSS 위성과의 송수신이 주파수 분할 듀플렉싱(frequency division duplexing: FDD)을 통해 상향 링크는 27.5~29.5 GHz, 하향 링크는 17.7~19.7 GHz 대역의 사용이 고려되고 있다^[5]. 이 중 17.7~19.7 GHz는 IMT-2020 대역(24.25~27.5 GHz)과 상당히 이격되어 있기 때문에 간섭이 미미할 것으로 예상되지만, FSS 위성이 ESIM의 신호를 수신하는 27.5~29.5 GHz 대역에서 IMT-2020의 BS와 UE로부터의 간섭전력이 수신될 수 있다. 그러나 현재까지 발표된 연구결과에 의하면 동일대역에서 다수의 IMT-2020 BS와 UE로 인해 발생하는 누적 간섭전력은 FSS 위성의 간섭 허용 기준을 만족하여 충분히 공유가 가능할 것이라는 연구 결과를 보여주고 있다^{[2],[11]}. 본 논문은 A-ESIM이 IMT-2020에 주는 간섭영향을 minimum coupling loss(MCL) 방법을 통해 분석하는 내용을 다룬다.

MCL 방법은 간섭전력이 가장 큰 최악의 상황을 가정하는 방식으로, 보통 실제보다 큰 간섭량이 계산된다. 그러므로 MCL을 통해 도출된 간섭전력이 IMT-2020의 간섭 허용 기준을 만족한다면 실제 환경에서도 이를 만족할 가능성이 높다.

본 연구에서 다루는 간섭분석 시나리오는 그림 1에서 보는 바와 같다. A-ESIM은 일정한 고도를 유지하고, 안테나는 양각 θ_{ele} 을 유지하며 FSS 위성을 향한다고 가정한다. 간섭경로를 따라 지상의 IMT-2020이 간섭전력을 수신하게 되며, 이는 A-ESIM의 상향링크와 각 φ_{off} 을 이루고, A-ESIM 안테나의 수평방향과 φ_F 를 이루고 있다. 여기서 지표면의 곡률로 인해 IMT-2020에서 A-ESIM이 관찰이 되지 않는 경로가 발생하게 된다. 이때 발생하는 간섭

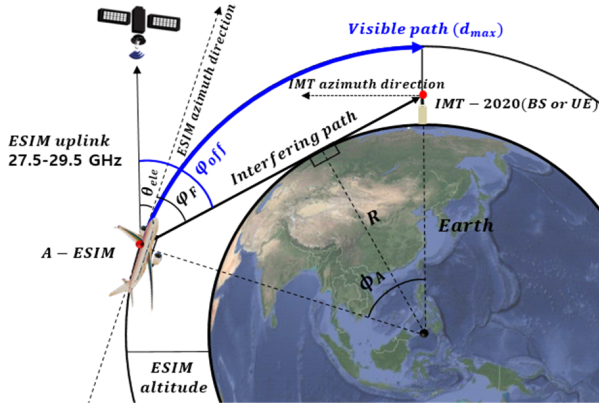


그림 1. A-ESIM과 IMT-2020 간의 간섭분석 시나리오
Fig. 1. Interference analysis scenario between A-ESIM and IMT-2020.

전력은 IMT-2020에 영향을 주지 않는다고 가정하며, A-ESIM이 IMT-2020의 가시 경로(visible path)에서 운용될 때 발생하는 간섭전력만을 고려한다. 가시 경로의 길이는 지구의 단면과 가시 경로가 완벽한 원이라고 가정하였을 때, 호의 길이를 구하는 방법과 동일하다. 따라서 IMT-2020의 안테나 높이와 A-ESIM의 고도에 따라 가시 경로의 길이가 정해지며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$d_{\max} = (R + Al_{ESIM}) \times \phi_A \quad (1)$$

여기서 R 은 지구의 반지름으로 약 6,378 km이고, Al_{ESIM} 은 A-ESIM을 탑재한 항공기의 운항고도, ϕ_A 는 A-ESIM과 IMT-2020간의 중심각이며, 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$\phi_A = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{(R+h)^2 - R^2}}{R} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{(R+Al_{ESIM})^2 - R^2}}{R} \right) \quad (2)$$

여기서 h 는 IMT-2020의 안테나 높이를 의미한다. 가시 경로는 그림 1에서 볼 수 있듯이, A-ESIM을 탑재한 항공기가 IMT-2020을 지나고 난 후에도 형성이 되어 실제 최대 가시 경로는 $2d_{\max}$ 이다. 그러나 이 경우 두 시스템의 안테나가 수평방향으로 마주 보지 않아 간섭영향이 작아지기 때문에 가시 경로에서 제외하여 최대 가시 경로는 d_{\max} 로 가정한다. 그림 2는 BS의 높이가 6 m일 때, A-

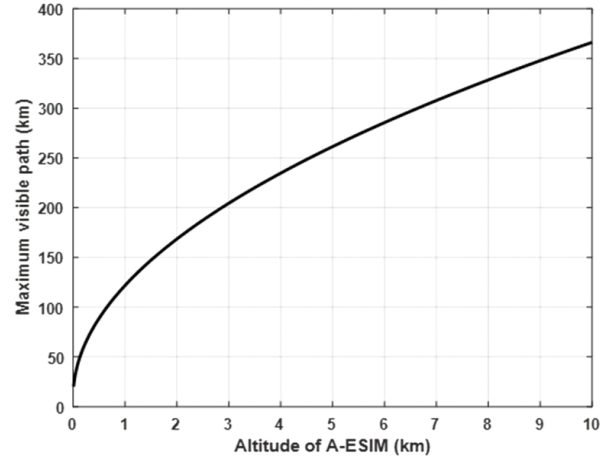


그림 2. A-ESIM의 고도에 따른 최대 가시 경로
Fig. 2. Altitude of A-ESIM vs maximum visible path.

ESIM의 고도에 따른 최대 가시 경로를 나타낸 그래프이다. 예를 들어 A-ESIM이 8 km 고도로 운항할 때, IMT-2020 BS가 A-ESIM을 관찰할 수 있는 경로의 길이는 약 328 km이다. 이 가시 경로 내에서 BS가 수신하는 간섭전력이 허용 가능한 수치라면, A-ESIM을 탑재한 항공기가 8 km의 고도로 순항 중일 때 두 시스템은 양립할 수 있을 것이다.

III. 인접 대역 간섭분석 방법 및 시스템 파라미터

인접 대역에서 운용되는 두 시스템 간의 전파간섭은 송신단의 불요방사에 의해 발생하게 된다. 불요방사는 송신기의 설계된 주파수 대역 외에 원하지 않는 대역에 전파가 발사되는 것을 의미한다. 이로 인해 인접 대역의 무선 시스템이 간섭을 받게 되며, 이 간섭전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{ACI} = EIRP_i + G_r - L_p - L_{ACIR} \quad (3)$$

여기서 $EIRP_i$ 는 A-ESIM의 effective isotropic radiated power (EIRP), G_r 은 IMT-2020의 수신 안테나 이득, L_p 는 송수신단에서 발생하는 경로손실을 포함하여 전파의 세기를 약화시키는 모든 요소들로부터의 손실을 의미하며, L_{ACIR} 은 인접 채널 간섭 비(adjacent channel interference ratio: ACIR)에 의한 손실을 의미한다.

EIRP는 출력 전력과 안테나 이득을 합한 값으로 A-ESIM의 EIRP 레벨은 그림 3과 같이 안테나가 지향하는 곳과 이루는 각 φ_{off} 에 따라 결정되며, 다음과 같은 식을 따른다.

$$E_{ESIM} = \begin{cases} 19 - 25\log_{10}(\varphi_{off}) & \text{if } 2^\circ \leq \varphi_{off} \leq 7^\circ \\ -2 & \text{if } 7^\circ < \varphi_{off} \leq 9.2^\circ \\ -22 - 25\log_{10}(\varphi_{off}) & \text{if } 9.2^\circ < \varphi_{off} \leq 48^\circ \\ -10 & \text{if } 48^\circ < \varphi_{off} \leq 180^\circ \end{cases} \quad (4)$$

여기서 φ_{off} 의 단위는 도(degree)이며, E_{ESIM} 의 단위는 dBW/40 kHz이다. 위 식은 ITU-R 권고안 S.524-9를 참고하였다^[12]. 이 문서에서 소개하는 EIRP level은 FSS 위성과 통신하는 지구국이 다른 FSS 위성 간섭영향을 미칠 가능성을 고려하여, 각도에 따른 EIRP level의 한계를 정한 것이다. 따라서 이 패턴은 위성 지구국의 출력을 제한하기 위한 것이므로, 몇몇의 불연속적인 패턴이 나타날 수 있다.

IMT-2020의 안테나 이득은 단일 안테나 소자에 의한 패턴과 2차원 안테나 배열에 의한 패턴의 합으로 나타난다^[13]. 이 중 안테나 배열에 의한 패턴은 IMT-2020의 주요 기술인 빔 형성(beamforming) 기술을 구현한 패턴으로 밀리미터파 대역의 높은 경로손실을 상쇄시켜 주는 역할을 하게 된다. 그림 4(a)와 그림 4(b)는 단일 안테나 소자에 의한 3차원 패턴과 3차원 빔 형성 패턴을 보여준다. 본 논

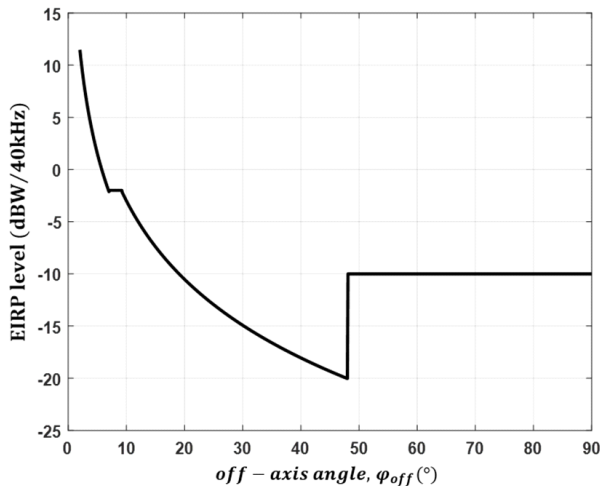
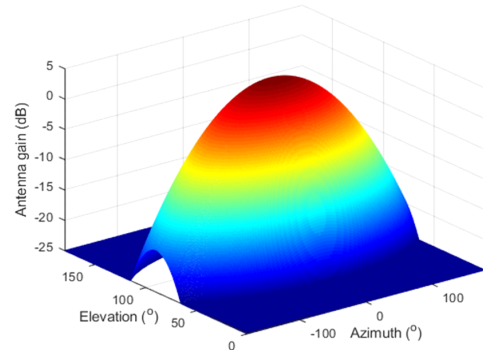
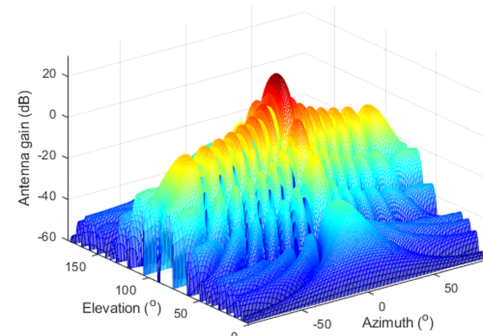


그림 3. A-ESIM의 EIRP 레벨

Fig. 3. EIRP level of A-ESIM.



(a) 안테나 단일 소자에 의한 3차원 패턴
(a) 3D pattern by a single antenna element



(b) 3차원 빔 형성 패턴
(b) 3D beamforming pattern

그림 4. IMT-2020의 안테나 패턴

Fig. 4. Antenna pattern of IMT-2020.

문의 간섭 시나리오에서 BS의 경우 위치와 안테나의 방향이 고정되어 A-ESIM과 이루는 각에 따라 패턴을 적용할 수 있다. 그러나 UE의 경우, 사용자에 의해 안테나 방향이 무작위로 변하게 되어, A-ESIM이 가시 경로 내에 위치할 때 UE의 안테나는 A-ESIM을 직접 가리킬 가능성이 있다. 이와 같은 상황을 고려하여 BS의 수신 안테나 이득은 고정된 안테나 방향을 기준으로 각도에 따른 패턴을 따르며, UE의 경우 수신 안테나 이득을 최대값으로 가정한다.

A-ESIM으로부터의 간섭전력이 IMT-2020으로 전달될 때 발생하는 손실은 다음과 같은 식을 따른다고 가정한다.

$$L_p = L_{free} + L_{fuselage} + L_{IMT} \quad (5)$$

여기서 L_{free} 는 송수신단 사이에서 발생하는 경로손실을 의미하고, $L_{fuselage}$ 는 A-ESIM을 탑재한 항공기 동체에 의

해 발생하는 손실을 의미하며, L_{IMT} 는 IMT-2020에 의해 발생하는 손실로 시스템 내부 저항에 의한 ohmic loss와 단말기를 사용하는 사용자의 인체에 의한 body loss가 이에 해당된다.

본 연구에서 적용한 경로손실은 자유공간 손실 모델에 의해 전파의 감쇠가 일어난다고 가정하며, 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$L_{free} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi df}{c} \right) \quad (6)$$

여기서 d 는 송수신단 사이의 거리 (m), f 는 신호의 주파수 (Hz)이며, c 는 빛의 속도 (m/s)를 의미한다.

전파가 전달되는 과정에서 항공기 동체에 의해 발생하는 손실인 $L_{fuselage}$ 는 ITU-R 권고안 M.2221에서 제시된 모델을 적용하였으며, 그림 5와 같이 A-ESIM 안테나의 수평 방향을 기준으로 피간섭원과 이루는 각에 의해 손실이 결정되는 패턴을 따른다^[14]. 이 각이 약 $50^\circ \sim 130^\circ$ 의 범위인 경우에 전달되는 전파는 동체에 의한 영향을 가장 많이 받으며, 약 35 dB 만큼의 동체 손실이 나타난다. 이 패턴은 보잉 737 동체와 유사한 형태의 실린더 위에 안테나를 설치하여 신호의 감쇠를 측정한 모델이다. 그러나 이는 27.5 GHz 대역이 아닌 14.2 GHz 대역에서 이루어진 측정을 통해 만들어진 모델이기 때문에, 본 연구에 적용하는 것이 적절하지 않을 수 있다. 그러나 27.5 GHz 대역에

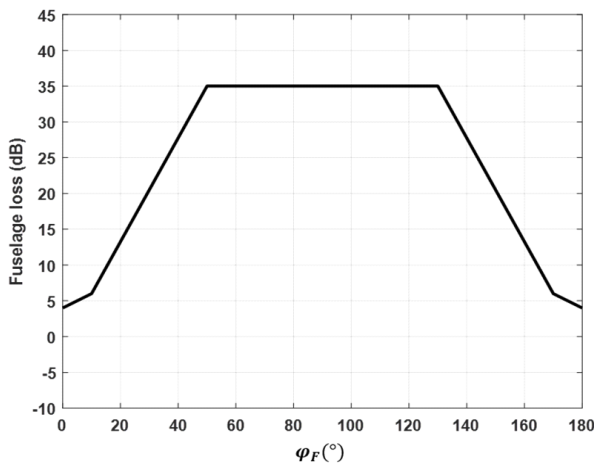


그림 5. A-ESIM을 탑재한 항공기 동체에 의한 손실
Fig. 5. Fuselage loss by aircraft with A-ESIM.

서의 신호는 14.2 GHz 대역보다 파장이 짧아 동체에 의한 손실이 더 크기 때문에 최악의 간섭 상황을 가정한 본 연구에 이 모델을 적용하였다.

ACIR은 송신단의 송신 채널 대역에서 출력하는 전력 대 인접 대역의 수신단에서 수신하는 전력의 비를 의미한다. 이는 인접 대역의 두 시스템 간 간섭영향을 나타내는 척도로 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$L_{ACIR} = 10 \log_{10} \left(\left(\frac{1}{10^{\frac{ACLR}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{ACS}{10}}} \right)^{-1} \right) \quad (7)$$

여기서 $ACLR$ 은 송신단의 인접 채널 누설 비(adjacent channel leakage ratio: ACLR)로 송신 채널 대역 내의 전력과 인접 대역으로 누설되는 전력 간의 비를 의미한다. ACS 는 수신단의 인접 채널 선택도(adjacent channel selectivity: ACS)로 수신필터의 성능을 나타내는 척도이며, 수신필터의 수신 채널 대역 내 평균 감쇠량(attenuation)과 인접 대역 평균 감쇠량의 비를 의미한다.

무선 시스템 간의 공존은 수신 시스템의 최대 허용 간섭 전력보다 낮은 간섭전력이 수신될 때 보장된다. 이때 최대 허용 간섭전력 (dBW)은 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$I_{max} = I/N_{th} + N_r \quad (8)$$

여기서 I/N_{th} 는 보호기준 간섭 대 잡음비(interference to noise ratio)로 수신 시스템을 간섭으로부터 보호하기 위해 설정된 값이며, N_r 은 수신단의 잡음전력(dBW)을 의미하고 다음과 같이 주어진다.

$$N_r = -204 + 10 \log_{10}(B_r) + NF \quad (9)$$

여기서 B_r 과 NF 는 각각 수신단의 수신채널 대역폭(Hz)과 수신 잡음지수(dB)를 의미한다.

표 1 및 표 2는 각각 IMT-2020과 A-ESIM의 시스템 파라미터를 나타낸 것으로 ITU-R에서 이동통신을 담당하는 WP 5D와 4A의 의장 보고서를 참고하였다^{[7][15]}. IMT-2020 BS와 UE의 ACS는 각각 23.5 dB와 22.5 dB이며, A-ESIM의 ACLR은 30 dB이다. 이를 식 (7)에 적용하면 ACIR은 BS의 경우 22.6 dB, UE의 경우 21.8 dB이다. 또한 IMT-2020의 보호기준 I/N 은 -6 dB이고, 잡음전력은 -111 dBW이기 때문에 식 (8)에 의해 최대 허용 간섭전력 I_{max} 는 -117

표 1. IMT-2020 시스템 파라미터

Table 1. System parameters of IMT-2020.

Parameters	Value		Unit
	BS	UE	
Frequency	27.5		GHz
Antenna height	6	1.5	m
Downtilt	10	0	°
Antenna array	8×8	4×4	
Maximum element gain	5		dBi
Maximum antenna gain	23	17	dBi
Bandwidth	200		MHz
I/N threshold	-6		dB
Noise figure	10		dB
Ohmic loss	3		dB
Body loss	0	4	dB
ACS	23.5	22.5	dB
Noise power	-111		dBW
Maximum allowable interference	-117		dBW

표 2. A-ESIM 시스템 파라미터

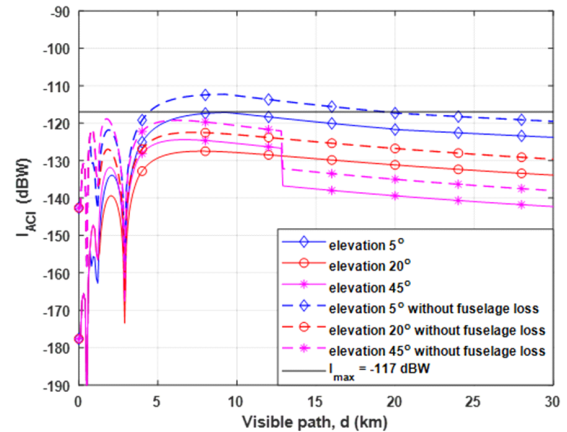
Table 2. System parameters of A-ESIM.

Parameters	Value	Unit
Frequency	27.5	GHz
Antenna height	Altitude	m
Bandwidth	160	MHz
Fuselage loss	ITU-R M.2221	
ACLR	30	dB

dBW이다. 이를 바탕으로 가시 경로 내에서 $I_{ACI} \leq I_{\max}$ 의 조건을 만족하는 최소 이격 고도의 도출을 목표로 분석을 수행한다.

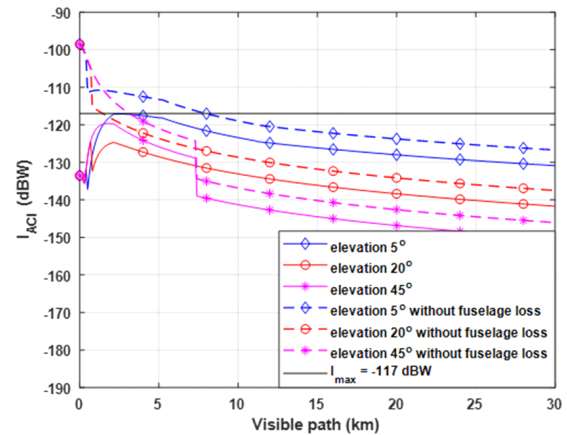
IV. 시뮬레이션 결과

그림 6(a) 및 그림 6(b)는 각각 IMT-2020 BS와 UE가 수신하는 A-ESIM으로부터의 간섭전력을 나타내고 있다. 이 간섭전력은 A-ESIM의 양각이 5°, 20°, 45°일 때와 동체 손실 적용 여부에 따라 각각 다른 결과를 보여준다. 표 3은



(a) A-ESIM의 고도: 670 m, 피간섭원: BS

(a) Altitude of A-ESIM: 670 m, victim type: BS



(b) A-ESIM의 고도: 380 m, 피간섭원: UE

(b) Altitude of A-ESIM: 380 m, victim type: UE

그림 6. A-ESIM과 IMT-2020간의 간섭분석 결과

Fig. 6. Interference analysis results between A-ESIM and IMT-2020.

양각을 5°~60°의 범위에서 5°의 간격으로 설정하였을 때, 피간섭원의 종류에 따른 최소 이격 고도를 보여준다. 이 표는 항공기에 탑재되는 A-ESIM의 특성상 광범위한 이동범위를 갖기 때문에, 양각이 실시간으로 변하게 되는 것을 반영하여 최대한 다양한 양각에서의 시뮬레이션을 통해 작성되었다.

앞서 소개했던 동체 손실 모델은 특정 항공기를 기준으로 측정된 것으로, 타 항공기에 적용하는 것은 적절하

표 3. A-ESIM의 최소 이격 고도 결과

Table 3. Minimum separation altitude of A-ESIM.

Elevation of A-ESIM	Minimum separation altitude (m)			
	BS (Applying antenna pattern)		UE (Applying maximum antenna gain)	
	With fuselage loss	Without fuselage loss	With fuselage loss	Without fuselage loss
5°	670	1,150	380	3,180
10°	390	680	260	
15°	270	470	200	
20°	210	400	160	
25°	170	420	200	
30°	140	550	250	
35°	120		280	
40°	240			
45°	290			
50°				
55°				
60°				

지 않을 수 있다. 이를 위해 모든 시뮬레이션 결과에 동체 손실을 적용하지 않은 결과 또한 같이 제시하였다. 시뮬레이션 결과에서 설정한 A-ESIM의 양각 5°는 ITU-R WP 4A의 의장 보고서^[7]를 참고하여 설정한 최소 양각이며, 이때 IMT-2020에 가장 높은 간섭전력이 수신된다. 양각의 변화는 A-ESIM의 물리적인 위치를 변화시키지 않고 오직 안테나의 각도만을 변화시키게 된다. 그 결과, A-ESIM의 EIRP로 인해 간섭전력의 차이가 발생하게 된다. 그러나 그림 3에서 볼 수 있듯이, A-ESIM의 안테나와 피간섭원이 이루는 각이 48° 이상일 경우 EIRP 레벨은 -10 dBW/40 kHz로 일정하게 유지된다. 이 패턴에 의해 표 3은 양각을 증가시켜도 동일한 최소 이격 고도를 나타내게 된다.

그림 6(a)는 A-ESIM을 탑재한 항공기의 고도가 670 m인 경우, 최대 가시 경로 101 km 내에서 IMT-2020 BS가 수신하는 간섭전력을 보여준다. 이 고도는 5°의 양각과 동체 손실을 적용했을 때, 가시 경로 내에서 BS가 받는 최

대 간섭전력이 -117 dBW인 최소 이격 고도를 의미한다. 표 3을 참고하면 동체 손실을 적용하지 않을 경우 최소 이격 고도는 1,150 m까지 늘어난다.

그림 6(b)는 고도가 380 m인 경우, 최대 가시 경로 74 km 내에서 IMT-2020 UE가 수신하는 간섭전력을 보여준다. 표 3에서 볼 수 있듯이 동체 손실을 적용하지 않으면 이격 고도는 3,180 m로 증가하게 된다. 피간섭원이 BS인 경우와 비교할 때, 동체 손실의 유무에 따라 결과의 큰 차이를 확인할 수 있다. 이는 A-ESIM으로부터 가시 경로 내에서 최대 간섭전력이 수신되는 지점의 차이로 인해 발생한다.

동체 손실을 적용하지 않은 경우를 살펴보면, 피간섭원이 UE인 경우의 최대 간섭전력은 A-ESIM과의 거리가 가장 짧은 지점에서 발생하게 된다. 이때 A-ESIM의 안테나 수평방향과 UE가 이루는 각은 약 95°가 되며, 동체 손실은 최대값이 적용되어 35 dB 만큼 전력이 감소한다. 그러나 BS가 피간섭원일 경우에는 수신 안테나 패턴에 의해 A-ESIM과의 거리가 비교적 떨어진 8~9 km 지점에서 최대 간섭전력이 수신된다. 이때 A-ESIM의 안테나 수평방향과 BS가 이루는 각이 약 4.3°가 되어 동체 손실은 약 4.8 dB만이 적용되기 때문에 UE가 피간섭원일 경우, 동체 손실의 적용 유무에 따라 결과가 큰 폭으로 변화한다.

이렇게 최대 간섭전력이 수신되는 지점의 차이가 발생하는 원인은 BS와 UE의 수신 안테나 이득에 대한 가정 때문이다. 본 연구에서 적용한 BS의 안테나는 수평을 기준으로 10° 하향되어 있으므로, 일정 고도에서 순항 중인 A-ESIM을 직접 바라보는 것이 현실적이지 못하여 수신 안테나 패턴을 적용했다. 그러나 UE의 안테나는 사용자에게 따라 충분히 A-ESIM을 직접 가리킬 가능성이 있어 모든 가시 경로 내에서 최대 수신 안테나 이득으로 간섭전력을 수신한다고 가정하였다. 그러므로 UE는 경로손실이 가장 작은 지점에서 최대 간섭전력이 수신되지만, BS의 경우는 이와 다르다.

UE가 간섭영향을 최대로 받는 인근 지점에서 BS의 안테나 방향과 A-ESIM이 이루는 각은 매우 크기 때문에, 수신 안테나 이득은 그림 4(b)에서처럼 급격하게 변화하는 안테나 패턴의 사이드 로브에 의해 결정된다. 따라서 그림 6(a)의 BS가 수신하는 간섭전력의 불규칙한 패턴이 발

생하게 된다. 그러나 이격거리를 증가시킬수록 BS의 안테나 방향과 A-ESIM의 이루는 각이 작아짐에 따라, 특정 이격거리부터 수신 안테나 이득이 안테나 패턴의 메인 로브에 의해 결정된다. 따라서 안테나 이득의 값이 상대적으로 작은 쪽으로 변하면서 그래프가 안정되고, 경로손실과 ESIM의 EIRP 등의 영향으로 비교적 이격된 거리에서 최대 간섭전력이 수신된다.

표 3에서 제시한 가장 높은 수치의 최소 이격 고도는 3,180 m이다. 이는 항공기의 동체 손실을 고려하지 않을 경우에도, A-ESIM이 3,180 m 이상의 고도에서 순항 중일 때 발생하는 간섭전력은 -117 dBW 이하의 수치임을 의미한다. 국제선의 순항고도가 7,900 m 이상인 것을 고려할 때, A-ESIM과 IMT-2020의 양립 가능성을 예측할 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 27.5 GHz 인접대역에서의 서비스가 고려되고 있는 A-ESIM과 IMT-2020 간의 간섭분석에 대한 내용을 다루었다. IMT-2020 시스템의 물리적 특성을 고려하여 UE의 수신 안테나 이득은 최대로 가정하였고, BS의 경우 안테나 패턴을 적용하였다. 간섭전력이 전달되는 과정에서 발생하는 손실은 자유 공간 손실 모델, A-ESIM을 탑재한 항공기 동체에 의한 손실, 그리고 IMT-2020에서 발생하는 ohmic loss와 body loss를 적용하였다. 지표면의 곡률을 고려하여 IMT-2020이 A-ESIM을 관찰할 수 있는 최대 가시 경로와 인접대역 시스템들 간의 영향을 평가하는 지표인 ACIR을 계산하여, A-ESIM으로부터 IMT-2020이 수신하는 인접대역 간섭전력을 계산하였다. 그 결과, 동체 손실을 고려할 경우 A-ESIM의 운항 고도가 적어도 680 m 이상일 때 IMT-2020 간섭 허용 기준을 만족하였다. 반면, 동체 손실을 고려하지 않을 경우 3,180 m 이상의 고도가 확보되어야 하는 것을 확인하였다. 이 수치들은 국제선의 순항 고도보다 낮지만, 이착륙 시의 고도는 이 수치들보다 낮아질 수 있다. 이 점을 고려할 때, A-ESIM과 IMT-2020의 양립을 위한 고도에 따른 규제가 필요할 것으로 보인다.

향후 A-ESIM과 IMT-2020의 실제 주파수 특성을 측정

하여, 인접대역에서 두 시스템의 원활한 서비스를 위한 현실적인 간섭분석이 필요하다.

References

- [1] *Sharing and Compatibility between Earth Stations in Motion Operating with Geostationary FSS Networks and Current and Planned Stations of the FS in the Frequency Bands 27.5 ~29.5 GHz and 17.7 ~19.7 GHz*, ITU-R Annex 2 to Document 4A/912-E, Jul. 2019.
- [2] *Sharing and Compatibility of the FSS and IMT Operating in the 24.25 ~27.5 GHz Frequency Range*, ITU-R Attachment 3 to Annex 3 to Document 5-1/478-E, Sep. 2018.
- [3] Inmarsat, "Setting up HNS 9201 with BGAN LaunchPad." Available: <https://www.inmarsat.com/blog/earth-stations-in-motion-in-fss-kaband>
- [4] ECC, "Earth stations in motion, new opportunity in satellite communications." Available: <http://apps.cept.org/eccnews/oct-2016/>
- [5] *Use of the Frequency Bands 17.7 ~19.7 GHz(Space-to-earth) and 27.5 ~29.5 GHz(Earth-to-space) by Earth Stations in Motion Communicating with Geostationary Space Stations in the Fixed-satellite Service*, World Radiocommunication Conference, ITU, Resolution 158, 2015.
- [6] *Studies on Frequency-related Matters for International Mobile Telecommunications Identification Including Possible Additional Allocations to the Mobile Services on a Primary Basis in Portion(s) of the Frequency Range between 24.25 and 86 GHz for the Future Development of International Mobile Telecommunications for 2020 and beyond*, World Radiocommunication Conference, ITU, Resolution 238, 2015.
- [7] *Sharing and Compatibility between Earth Stations in Motion Operating with Geostationary FSS Networks and Current and Planned Stations of the MS in the Frequency Band 27.5 ~29.5 GHz*, ITU-R Annex 3 to Document 4A/912-E, Jul. 2019.

- [8] H. K. Kim, Y. Cho, E. E. Ahiagbe, and H. S. Jo, "Adjacent channel interference from maritime earth station in motion to 5G mobile service," in *2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence(ICTC)*, Jeju, Oct. 2018, pp. 1164-1169.
- [9] E. E. Ahiagbe, D. K. Tetty, and H. S. Jo, "Methods to evaluate and mitigate the interference from maritime ESIM to other services in 27.5 ~29.5 GHz band," in *2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence(ICTC)*, Jeju, Oct. 2018, pp. 1058-1063.
- [10] H. K. Son, Y. J. Chong, "Analysis of the interference effects from maritime earth station in motion to 5G mobile service," in *2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence(ICTC)*, Jeju, Oct. 2017, pp. 1225-1228.
- [11] Y. Cho, H. Kim, E. E. Ahiagbe, and H. S. Jo, "Spectral coexistence of IMT-2020 with fixed-satellite service in the 27 ~27.5 GHz band," in *2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence(ICTC)*, Jeju, Oct. 2018, pp. 1-6.
- [12] *Maximum Permissible Levels of Off-axis EIRP Density from Earth Stations in Geostationary-satellite Orbit Networks Operating in the Fixed-satellite Service Transmitting in the 6 GHz, 13 GHz, 14 GHz, and 30 GHz Frequency Bands*, ITU-R S.524-9, 2006.
- [13] *Modelling and Simulation of IMT Networks and Systems for Use in Sharing and Compatibility Studies*, ITU-R M.2101, Feb. 2017.
- [14] *Feasibility of MSS Operation in Certain Frequency Bands*, ITU-R M.2221, Oct. 2011.
- [15] *Characteristics of Terrestrial IMT Systems for Frequency Sharing/interference Analyses in the Frequency Range between 24.25 GHz and 86 GHz*, ITU-R Revision 3 to Document 5D/TEMP/265-E, Feb. 2017.

김 현 기 [한밭대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-6822-2924>



2017년 2월: 한밭대학교 전자·제어 공학과 (공학사)
2018년 3월~현재: 한밭대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 무선통신 시스템간의 주파수 공유 및 양립성, 확률기하이론

조 연 기 [한밭대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-5711-3765>



2017년 2월: 한밭대학교 전자·제어 공학과 (공학사)
2018년 3월~현재: 한밭대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 무선통신 시스템간의 주파수 공유 및 양립성, 확률기하이론

조 한 신 [한밭대학교/조교수]

<https://orcid.org/0000-0002-5738-1807>



2001년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
2004년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
2009년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
2009년 10월: University of Texas at Austin,

Postdoctoral Fellow

2011년 11월: 삼성전자 네트워크사업부 책임연구원

2012년 3월~현재: 한밭대학교 전자·제어공학과 조교수

[주 관심분야] 이기종 무선네트워크, 무선통신 시스템간의 주파수 공유 및 양립성, MIMO 시스템, 펌토셀 및 소형셀 네트워크, 확률기하이론