

고정위성업무 Ka 주파수 대역을 이용하는 이동형 지구국(ESIM) 운용 방안 연구 동향

Consideration of Research Activity on Earth Stations in Motion Communicating with the GSO FSS Satellite in the Ka band in the ITU-R

오대섭 (Daesub Oh, trap@etri.re.kr)

위성기술연구그룹 책임연구원

ABSTRACT

The Earth Stations in Motion (ESIM) system is one of the most modern satellite systems, providing high-speed and high-capacity communication with mobility. To facilitate ESIM in the Ka band, operational, technical, and regulatory studies have been conducted in the International Telecommunication Union Radiocommunication Sector (ITU-R) since 2016. In this paper, we introduce the ESIM and discuss its system characteristics and frequency sharing issues with respect to existing services in the same frequency bands. Taking into account current standardization activity in the ITU-R, we provide the latest study results of ESIM operation based on the Conference Preparatory Meeting Report for the World Radiocommunication Conference-19.

KEYWORDS ESIM, FSS, MS, Radio interference, ITU-R, WRC

1. 서론

지상 고정 또는 이동통신의 급격한 발전에도 불구하고, 현재에도 통신 서비스를 제공하기 어려운 지리적, 환경적 제약이 있는 지역이나 환경이 있다. 위성 통신은 광역성 및 동보성과 같은 특성을 이용하여 이러한 지역 또는 환경에 무선 통신 서비스를 제공할 수 있는 장점이 있다. 특히 지상 무

선 통신 시스템이 미치지 못하는 공해(International water) 및 상공에서 무선 통신을 필요로 하는 항공기 및 선박은 위성 통신 시스템을 이용해야 통신 서비스를 제공받을 수 있다.

통신 서비스를 제공받는 사용자 측면에서 지상에서 이동 중일 때 끊임없는 통신 서비스를 이용하는 것이 당연한 시대가 되었으나 항공기 또는 선박을 이용하는 상황에서는 승객이 인터넷을 포

* DOI: 10.22648/ETRI.2019.J.340307

* 이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임[2018-0-01470, 위성망과 5G 이동통신시스템 간 주파수 간섭분석기술 기반 주파수 자원 확보 및 보호 국제 표준화 연구].



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2019 한국전자통신연구원

합한 통신 서비스를 제공받는 것은 여전히 제한적이다. 따라서, 이러한 통신 서비스의 단절을 극복하기 위하여 이동 중인 항공기 및 선박 내에서 승객에게 인터넷 통신 서비스를 제공하기 위한 방법들이 연구되어 왔으며, 특히 위성 통신을 이용하여 항공기 및 선박에 통신 서비스를 제공하는 일부 시스템이 운용되고 있다. 현재 항공기 및 선박에 제공되는 위성 통신 서비스는 L 대역 또는 Ku 대역을 이용하여 항공기 및 선박 전체에 수십 MB/s 속도의 통신을 제공할 수 있으나 사용자가 많을 경우 개인에게 주어지는 통신 속도는 매우 낮아진다.

위성 통신 시스템의 발전 및 서비스 고도화를 통해 이동 중인 항공기, 선박에서도 초고속 광대역 통신 서비스를 제공하기 위한 방법들이 연구되었으며, 우선 넓은 주파수 대역을 확보하기 위하여 기존의 Ku 대역에서 Ka 대역을 이용하는 위성 통신 시스템이 고려되었다. 또한, 이동 중인 지구국 통신을 위해 이동 위성 업무(MSS: Mobile-Satellite Service) 주파수 대역을 이용해야 하나, 현재 Ka 대역 이동위성통신 시스템 수가 적으며 추가 확보하는 경우 이미 주파수 대역을 이용하고 있는 기존 업무 보호 때문에 MSS 운용에 제약이 발생한다. 이러한 점을 고려하여 위성 통신 사업자들은 이

동 위성 시스템 대신 Ka 대역의 고정위성업무(FSS: Fixed-Satellite Service) 위성망을 이용한 광대역 이동 위성 통신 서비스를 제공하는 시스템을 고안하였다.

국제전기통신연합 전파통신 분야(ITU-R)의 전파 규칙(Radio Regulations)에 따르면 이동하는 지구국(Mobile Earth Station)이 통신하는 위성 업무를 MSS로 정의하고 있다. 따라서, 업무의 혼선을 방지하기 위해 고정위성업무 대역을 이용하는 이동하는 위성 지구국을 이동형 지구국(ESIM: Earth Stations in Motion)으로 따로 정의하고 고정위성업무 지구국 특성을 유지하기 위하여 ESIM은 이동중이더라도 안테나가 항상 통신하는 우주국을 지향하도록 정밀한 트래킹 안테나 시스템을 장착하고 있다. 또한 ESIM은 항공기, 선박 및 차량에 탑재 가능한 소형 위성 터미널로서 고출력, 다중빔의 Ka 대역 위성과 통신하며 대략 10~50Mbps/s 정도의 전송 속도를 제공할 수 있다[1]. 그림 1은 ESIM 시스템 타입의 운용 예를 보여준다.

고정위성업무 대역의 ESIM은 일반 지구국과 달리 이동성을 가지는 예외적인 특성 때문에 동일 대역에서 운용되는 타 FSS 위성망 및 지상업무 보호에 대한 운용 조건이 필요하다. 현재 ITU-R에서는 Ka 대역 ESIM 운용에 대한 기술적, 운용적, 규정적 조건에 대해 논의하고 있으며, 2019년에 개최되는 세계전파통신회의(WRC-19)에서 ESIM 운용에 대한 국제적인 규정들이 마련될 예정이다.

본 고에서는 ESIM 표준화 연구 동향을 중심으로 ESIM 시스템 특성 및 주파수 공유 이슈를 서술하고 있다. II 장에서는 ESIM 시스템의 기술적, 운용적 특성에 대해 분석하고, III 장에서는 동일대역 타 우주업무 및 지상업무를 보호하기 위한 보호 조건을 고려하기 위한 주파수 공유 분석 내용을 보여

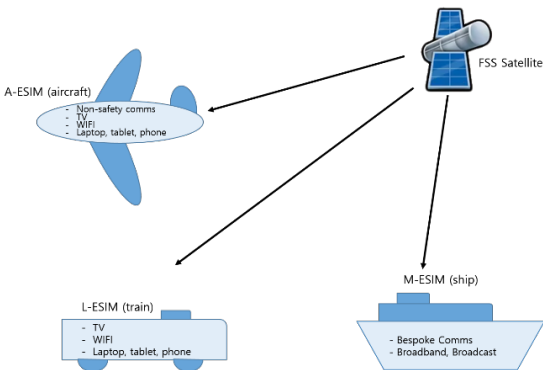


그림 1 ESIM 운용 예

준다. IV장에서는 현재 ITU-R에서 논의되고 있는 ESIM 운용에 대한 표준화 동향에 대해 기술하고 마지막으로 결론을 제시하고 있다.

II. ESIM 사용자 요구사항 및 시스템 특성

ESIM에 요구되는 가장 기본적인 사용자 요구사항은 이동 플랫폼(항공, 선박, 차량)에서 광대역 통신 서비스를 제공하는 것이다. 전통적으로 이동 플랫폼에서의 위성 통신 서비스는 상대적으로 낮은 주파수 대역(1.5, 1.6, 2.1, 2.4 GHz 대역)에서 MSS 위성 시스템을 이용하였다. 이 주파수 대역에서 한 사용자가 이용 가능한 주파수 대역폭은 상대적으로 낮아서(대략 수 kHz~수백 kHz) 한 채널당 데이터 속도는 수 kbit/s~700kbit/s 정도로 제한되었다[2].

최근 10년 이래 광대역 통신 서비스의 급격한 성장은 통신망의 접속 수 및 데이터 처리량에도 급격한 증가를 초래하였으며, 지상 네트워크가 미치지 못하는 해상 및 항공에서의 통신 서비스에 대한 요구 역시 증가하고 있다. 표 1은 ESIM을 이용한 광대역 통신을 접속하는 항공기 수의 성장률을 보여주고 있다.

선박 승객에 대한 광대역 접속 서비스도 항공과

유사하게 요구되고 있다. 크루즈와 같은 대형 여객선의 경우 수천 명의 승객에게 광대역 접속 서비스를 제공하기 위한 요구사항 및 선박 운용에 필요한 통신 또한 ESIM을 통해 가능하다. ESIM을 이용하는 선박 통신의 경우 2014년에 20,000개의 선박이 위성 통신을 이용하였으며, 몇 년 이내 약 50,000개의 선박이 이용할 것으로 예상된다[3].

이러한 항공, 선박 위성 통신에 대한 요구사항을 고려하여 ESIM 시스템은 일반적으로 100Mbit/s 정도의 데이터 속도를 제공하며, 작은 안테나를 이용하는 경우에는 데이터 속도가 느려질 수 있으나 현재 MSS 시스템에서 제공하는 데이터 속도보다는 여전히 높은 속도를 제공할 수 있다.

1. ESIM 시스템 요구사항

광대역 위성 통신 서비스를 제공하는 이동 플랫폼의 경우 기존 시스템으로 C 대역 및 Ku 대역을 이용하는 Earth Station on Vessel(ESV) 및 Aeronautical MSS(AMSS) 등이 있다. 보다 높은 데이터 전송을 위해 Ka 대역을 이용하는 ESIM 시스템의 경우 17.7~19.7GHz 대역의 하향링크 및 27.5~29.5GHz 대역이 상향링크를 이용하며 다음과 같은 사항을 고려한다.

- Ka 대역 고용량 위성시스템(High Throughput Satellite, 다중 스팟빔을 이용함으로써 주파수 재사용 가능)
- 사용자 링크에서 사용 가능한 넓은 대역폭: 사용자 단말에 넓은 주파수 대역폭 할당 가능
- 유연한 스펙트럼 접속 기술: ESIM이 사용하는 Ka 대역의 경우(17.7~19.7GHz/27.5~29.5GHz) 일부 지역에서 기존의 타 업무 보호를 목적으로 일부 대역을 사용할 수 없을 가능성이

표 1 항공기 통신 예상 성장률

Region	Connected aircrafts in 2015	Connected aircrafts in 2025	Annual growth (%)
North America	3,940	7,710	6.9
Latin America	44	1,529	42.6
Europe	455	5,465	28.2
Middle East	491	2,131	15.8
Asia & Oceania	356	6,256	33.2

있다. 예를 들면, 27.8285~28.4445GHz 및 28.8365~29.4525GHz 대역은 유럽에서 고정 업무로 사용 중이며, 따라서 일부 국가 내에서는 동 대역에서의 ESIM 송신이 금지된다. ESIM 시스템이 글로벌 커버리지를 가질 수 있음을 고려할 때 각 나라별로 상이한 ESIM 운용 기준을 가질 수 있으므로 ESIM이 한 지역에서 다른 지역 또는 국가로 이동할 때 사용 주파수 대역을 바꿀 필요가 발생한다. 서비스 및 사용자 요구 사항의 연속성을 보장하기 위하여 Ka 대역 내 다른 주파수 부분을 이용하는 것은 ESIM 운용에 매우 중요한 사항으로 여겨진다.

2. ESIM 시스템 특성

17.7~19.7GHz/27.5~29.5GHz 대역 ESIM의 시스템은 탑재되는 플랫폼에 따라 3가지로 분류할 수 있다.

- 육상(L-ESIM: Land ESIM)
- 선박(M-ESIM: Maritime ESIM)
- 항공기(A-ESIM: Aeronautical ESIM)

ESIM은 정지상태 또는 이동 중에 전파규칙에서 규정하는 조건에 따라 정지궤도 고정위성업무망에 접속할 수 있다.

일반적으로, ESIM 단말은 트래킹 안테나 및 관련 전자 파트로 구성되어 있다. 안테나의 지향은 안테나 제어 유닛(ACU: Antenna Control Unit)에 의해 2개의 메커니즘에 기반하여 단말이 일정 방향을 지향하도록 조정한다. 첫 번째 메커니즘은 플랫폼의 움직임에 따라 방위각과 앙각을 조절하여 플랫폼의 움직임이 상대적으로 상쇄되도록 안테나의 pitch, roll 및 yaw 각을 조절한다. 두 번째

메커니즘은 RF closed-loop 추적 기술로서 통신하는 위성으로부터 수신되는 신호를 분석하여 지향 오차를 최소화한다. RF closed-loop 추적 기술은 위성으로부터 수신되는 신호가 최댓값이 되도록 연속적으로 안테나 방향을 조정하고, 또한 ESIM 단말이 의도하지 않은 다른 위성을 지향하지 않도록 한다. 안테나 추적 기술은 매우 높은 정확성을 요구하고 있으며, 대략 ± 0.2 도 이내의 오차를 가진다.

이러한 특성과 더불어, ESIM은 망 통제 및 감시 센터(NCMC: Network Control and Monitoring Center) 또는 유사한 시설에 의해 ESIM이 앞서 언급된 운용 기능 및 기준을 준수하는지 지속적인 감시 및 통제에 따라야 한다. ESIM이 잘못된 안테나 지향을 하거나 타 업무에 간섭을 초래하는 경우 NCMC의 명령에 의해 ESIM은 즉시 송신을 중단하거나 출력을 줄여야 한다.

가. 항공 ESIM 특성(A-ESIM)

항공 ESIM(A-ESIM)은 탑재된 안테나의 따라 두 가지 형태로 구분할 수 있다. 먼저, 꼬리 날개에 탑재된 A-ESIM 시스템의 경우 지향성 유지 장치를 가진 30cm 또는 그 이상의 개구면을 가진 안테나를 사용한다.

두 번째로 동체 탑재 A-ESIM의 경우에는 65cm × 19.5cm 형태의 비대칭 사각형 배열 안테나를 사용한다. 배열 안테나를 사용하므로, 더 큰 사이즈의 안테나도 사용될 수 있으며, 이러한 형태는 항공기 동체의 맨 위에 장착된다. 두 가지 형태 안테나 모두 지향성 유지 장치를 포함하고 있으며, 고속 이동 시 시스템의 보호를 위해 보호형 레이돔 내에 위치한다.

A-ESIM 시스템의 기본 송신 특성은 표 2, 표 3과 같다.

표 2 Antenna characteristics tail mount ESIM[2]

Antenna characteristics tail mount ESIM	
Antenna dimensions (cm)	30 or larger
Receive frequency range (GHz)	17.7~19.7
Receive gain (dBi)	32.7
Transmit frequency range (GHz)	27.5~29.5
Transmit gain (dBi)	37
Input power (W)	5

표 3 Antenna characteristics fuselage mount ESIM[2]

Antenna characteristics fuselage mount ESIM	
Antenna dimensions (cm)	65 by 19.5, or larger
Receive frequency range (GHz)	17.7~19.7
Receive gain (dBi)	36.8
Transmit frequency range (GHz)	27.5~29.5
Transmit gain (dBi)	39.8
Input power (W)	5

나. 해상 ESIM 특성(M-ESIM)

M-ESIM 시스템도 A-ESIM와 유사하게 안테나 지향 유지 장치 및 관련된 전자 파트로 구성된다. 일반적으로 0.65~1.2m 직경의 안테나가 레이돔 내에 존재한다.

M-ESIM 시스템의 기본 송신 특성은 표 4와 같다.

표 4 Antenna characteristics for maritime ESIM[2]

Antenna characteristics for maritime ESIM	
Antenna dimensions (cm)	65 to 100
Receive frequency range (GHz)	17.7~19.7
Receive gain (dBi)	40 to 44
Transmit frequency range (GHz)	27.5~29.5
Transmit gain (dBi)	44 to 47.5
Input power (W)	5

다. 육상 ESIM 특성(L-ESIM)

L-ESIM은 긴급 서비스, 대중교통(버스, 기차), 건설 현장과 같은 특수 상황에 광대역 통신 서비스를 제공할 수 있다. L-ESIM 단말은 파라볼릭 또는 다중 배열 안테나와 같은 소형, 경량화, 고효율 안테나를 사용한다. 단말 형태는 성능 요구사항 및 지상 이동체의 속도에 따라 결정된다. 예를 들면, 오프로드 차량의 경우 저속의 이동성을 가지므로 소형 파라볼릭 안테나 사용이 가능하나, 기차와 같이 고속 이동체의 경우 이러한 소형 파라볼릭 안테나는 공기역학의 제약으로 인해 이용이 어려우며 다중 배열 안테나가 사용된다.

III. ESIM과 동일대역 지상업무 간 주파수 공유

ESIM이 운용되는 17.7~19.7GHz 대역 및 27.5~29.5GHz 대역은 현재 타 FSS 업무 및 고정 업무(FS: Fixed Service), 이동업무(MS: Mobile Service)가 분배되어 있다. 따라서, ESIM 운용을 위해서는 동일 대역에 1순위 업무로 분배되어 있는 타 무선 업무에 간섭 영향을 주지 않아야 한다.

우선, ESIM과 타 우주업무와의 주파수 공유는 기본적으로 ITU-R 전파규칙 제9조 및 11조에 의한 주파수 조정 절차(Frequency Coordination Procedures)에 기반한다. 일반 Geostationary Satellite Orbit(GSO) FSS 위성망은 타 업무와의 주파수 간섭 문제를 해결하기 위하여 관련 주관청과 주파수 조정을 통해 간섭 문제를 해결한다. ESIM의 경우 주파수 관점에서 ESIM이 통신하는 GSO FSS 위성망에 속해 있으므로 ESIM과 타 우주업무와의 주파수 공유는 ESIM이 통신하는 GSO FSS 위성망과 타 FSS 위성망 간 주파수 조정 결과 범위 내에서 ESIM을 운용함으로써 타 우주업무와의 주파수 간

섭 문제를 해결할 수 있다.

ESIM과 지상업무에 대한 주파수 공유 문제는 간섭 평가를 통한 주파수 공유 방안을 모색해야 한다. 먼저 17.7~19.7GHz 대역의 경우, ESIM은 위성으로부터 신호를 수신하는 주파수 대역이다. 따라서 ESIM이 동일 대역 타 업무에 간섭을 주지 않으며, ESIM으로 신호를 송신하는 위성망 우주국도 새로운 운용기준이 아닌 현재 동 대역의 일반 FSS 우주국에 적용되는 기준을 따르고 있으므로 간섭 환경에서는 ESIM 운용 전, 후 아무런 변화가 없다고 간주할 수 있다. 따라서 간섭 문제 해결을 위한 조치가 불필요하며, 다만 ESIM이 타 업무의 송신으로부터 받는 간섭이 발생할 수 있으나 ESIM의 운용은 타 업무가 야기하는 간섭으로부터 보호를 요청할 수 없도록 규정함으로써 동일 대역 타 무선업무를 이용에 아무런 제약을 주지 않도록 하고 있다.

27.5~29.5GHz 대역은 ESIM이 위성망 우주국으로 송신하는 상향링크(Earth-to-space) 대역이다. 따라서 송신하는 ESIM이 통신하는 위성망 우주국을 지향하더라도 사이드 로브 등의 영향으로 인하여 인접한 위치에 있는 타 수신 무선국에 간섭 영향을 줄 수 있다. 그러므로, 송신하는 ESIM과 수신하는 지상 무선국 간 간섭 평가를 통해 적절한 보호 기준 개발이 필요하다.

II장에서 언급하였듯이 ESIM 시스템은 세 가지 타입(육상, 해상, 항공)이 있으며, 각 타입에 따라 지상업무와의 간섭 환경이 달라진다. 따라서 각각의 ESIM 타입에 대한 간섭 시나리오를 구분하여 간섭 평가가 수행되어야 하며, 그 결과에 따른 지상업무와 주파수 공유 조건도 ESIM의 타입에 따라 달라지게 된다.

먼저, 육상 ESIM과 지상업무 간 주파수 공유 환경을 살펴보면 육상 ESIM은 운용하는 지역이 어

떤 주관청의 주권이 미치는 영토 내에 속하게 된다. 따라서 육상 ESIM으로부터의 간섭은 전적으로 육상 ESIM이 운용되는 나라의 주관청이 간섭 문제 해결에 책임이 있다. 기본적으로 육상 ESIM은 이웃 국가에 간섭을 야기하여서는 안 되며, 육상 ESIM 운용은 국내 이슈로 간주되어 ITU-R에서는 항공 및 해상 ESIM에 비해 육상 ESIM으로 인한 간섭 문제는 주관청에 일임하는 것으로 논의되었다. ITU-R에서는 육상 ESIM과 지상업무와의 간섭 평가에 대한 주파수 공유 보고서가 개발 중에 있으며, 기본적으로 지상업무 보호를 위해서는 적절한 이격거리 설정이 필요하다는 결론을 제시하고 있다[4].

해상 ESIM(M-ESIM)과 지상업무와의 간섭 시나리오는 육상 해안가에 지상 수신 무선국이 위치하고, 인근 해상에 M-ESIM이 송신하는 상황이 고려된다. 이때 간섭 영향은 위성망 우주국을 지향하는 ESIM의 안테나 방향과 간섭받는 육상 수신 무선국 방향 사이의 각과 M-ESIM과 수신 무선국 간 거리에 따라 달라지게 된다. 또한 고려해야 할 사항은 M-ESIM은 이동성이 있으므로 정지된 위

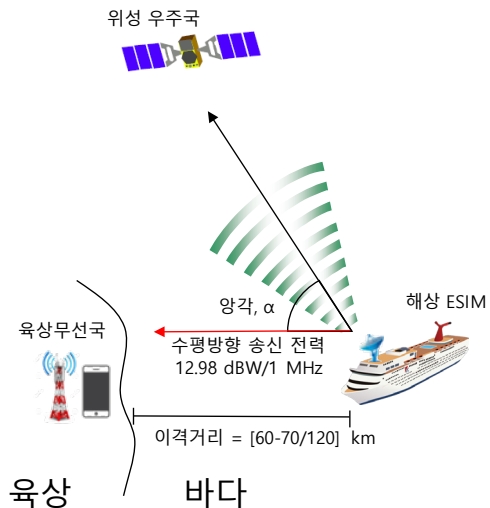


그림 2 M-ESIM-지상업무 간섭 시나리오

차에서 7/24 내내 지상업무에 간섭을 줄 가능성이 낮으며, M-ESIM의 이동량에 따라 간섭량의 통계적 결과가 달라지게 된다. 이러한 간섭 시나리오를 고려하여 많은 국가에서 간섭 분석 결과를 ITU-R에 제출하였으며, 논의를 통해 지상업무 보호 조건으로 해안을 기준으로 M-ESIM의 이격거리 설정을 결정하였다[5]. 현재 논의되고 있는 이격거리는 60~120km이며, 단일 이격거리 값은 WRC-19에서 결정될 예정이다. 그림 2는 M-ESIM과 지상업무 간 간섭 시나리오 및 보호 조건을 설명하고 있다.

항공 ESIM(A-ESIM)과 지상업무 간 간섭 시나리오는 그림 3과 같이 A-ESIM이 위성망 우주국 방향으로 송신할 때 아래 지상 방향으로 간섭 영향을 야기하는 경우이다. 이때 간섭 신호 세기에 영향을 미치는 요소는 A-ESIM이 지상 방향으로 방사하는 신호의 세기, 지상 수신 무선국의 안테나 양각 및 A-ESIM의 고도가 될 수 있다. 간섭 시나리오를 기반으로 A-ESIM이 지상업무를 보호하기 위한 조건으로 전력속밀도(pfd: power flux density) 제한값(Limitation)이 계산되었다. 전력속밀도 제한값은 지표면에 수신되는 신호 세기의 밀도로서, 간섭원인 A-ESIM이 어디에 위치해 있던지 지표면에서의 신호 세기가 허용된 값 이하여야 함을 의미한다. 전력속밀도 제한값은 지표면에서의 양각에 따라 달라지며 현재 다음과 같이 2가지 전력속밀도 제한값이 제안되었으며, 추후 WRC-19에서 단일 기준이 결정될 예정이다.

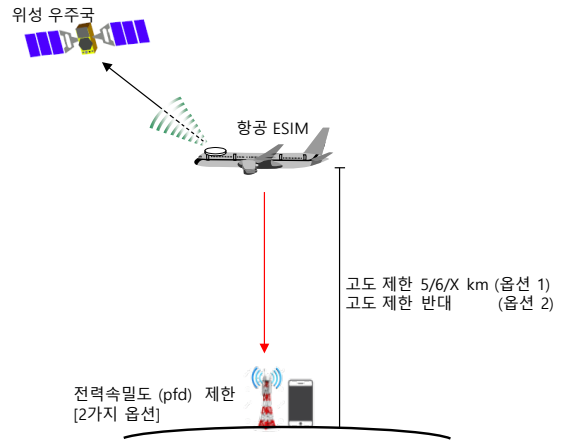


그림 3 A-ESIM-지상업무 간섭 시나리오

또는,

(Option 2)

$pfd(\delta) = -122.7$	(dB(W/m ² · 1 MHz))	for $0^\circ \leq \delta \leq 2^\circ$
$pfd(\delta) = -122.7 + 2 \cdot (\delta - 2)$	(dB(W/m ² · 1 MHz))	for $2^\circ \leq \delta \leq 2.3^\circ$
$pfd(\delta) = -122.6 + 1.5 \cdot (\delta - 2)$	(dB(W/m ² · 1 MHz))	for $2.3^\circ \leq \delta \leq 7.9^\circ$
$pfd(\delta) = -113.9$	(dB(W/m ² · 1 MHz))	for $7.9^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$

δ : 수평면 기준 양각(degree)

또한, 앞서 언급된 A-ESIM 전력속밀도 제한에 추가하여 일정 고도 이하의 A-ESIM 송신을 중지하는 보호 기준에 대해서도 논의하고 있다. 그 이유는 A-ESIM이 지상 또는 매우 낮은 고도에서 운용되는 경우 전력속밀도 제한값을 지키며 통신하는 것이 실제 불가능하고, 또한 지상 무선국에 매우 근접하게 되어 간섭 영향이 클 것으로 우려되기 때문이다. 현재 A-ESIM 고도 제한 적용에 대해 찬성 또는 반대 입장이 모두 제기되고 있으며, 현재 5, 6km 등의 값이 논의되고 있다.

IV. ITU-R 표준화 동향

Ka 대역 ESIM 운용을 위한 국제 표준화 연구는 2012년부터 ITU-R에서 수행되었다. ESIM의 표준화 연구가 중요한 이유는 대부분의 무선국이 어떤 주관청의 주권이 미치는 영토, 영공, 영해에서 운

(Option 1)

$pfd(\delta) = -124.7$	(dB(W/m ² · 14 MHz))	for $0^\circ \leq \delta \leq 0.01^\circ$
$pfd(\delta) = -120.9 + 1.9 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/m ² · 14 MHz))	for $0.01^\circ \leq \delta \leq 0.3^\circ$
$pfd(\delta) = -116.2 + 11 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/m ² · 14 MHz))	for $0.3^\circ \leq \delta \leq 1^\circ$
$pfd(\delta) = -116.2 + 18 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/m ² · 14 MHz))	for $1^\circ \leq \delta \leq 2^\circ$
$pfd(\delta) = -117.9 + 123.7 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/m ² · 14 MHz))	for $2^\circ \leq \delta \leq 8^\circ$
$pfd(\delta) = -96.5$	(dB(W/m ² · 14 MHz))	for $8^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$

용되므로 인접국에 전파 간섭이 발생하는 경우 운용 주관청이 문제를 해결해야 할 의무가 있다. 그러나 앞서 언급된 것처럼 ESIM은 글로벌 커버리지를 가지는 이유로 공해상(International water) 또는 공역(International aerospace)에서 운용되는 무선국에서 발생하는 전파 간섭의 경우 국제 규정이 없다면 간섭문제 해결에 대한 책임 소재 및 해결 방안이 모호해진다. 이러한 상황을 인식하여 WRC-15에서는 19.7~20.2GHz 및 29.5~30GHz 대역에서의 ESIM 운용 방안을 개발하였으며, WRC-19의 연구 의제로 17.7~19.7GHz 및 27.5~29.5GHz 대역 ESIM 운용방안 연구를 결정하였다. WRC-15와 WRC-19의 ESIM 운용 방안 연구의 차이점은 표 5와 같다.

WRC-19의 연구 의제로 17.7~19.7GHz 및 27.5~29.5GHz 대역 ESIM 운용방안 연구가 채택됨에 따라 ITU-R WP 4A(위성 주파수 연구 작업반)에서 의제 연구를 수행하고 있다. 현재 WRC-19에서 운용 규정을 결정하기 위하여 ITU-R WP 4A 연구반에서는 ESIM과 타 업무 간 주파수 공유 연구를 수행하였으며, 그 결과를 고려하여 ESIM 운용 조건을 규정하는 신규 결의(Resolution) 초안을 개발하였다.

표 5 WRC-15, WRC-19 ESIM 이슈 비교

	ESIM 운용 조건	차이점
WRC-15	-타 일반 고정위성업무(FSS) 보호 조건 포함 -지상업무의 경우 일부 국가에 2순위 업무로 분배되어 있으며 ESIM이 혼신을 주어서는 안 됨	지상업무(고정 및 이동)가 동대역에 1순위 업무로 분배되어 있지 않음
WRC-19	-타 일반 고정위성업무(FSS) 보호 조건 연구 -지상업무(고정업무 및 이동업무(5G))가 1순위 업무로 분배되어 있으므로 보호 방안 연구	동일 대역에 지상업무가 1순위 업무로 분배되어 있어 보호 방안 필요

2019년 2월에는 WRC-19 회의 준비를 위한 CPM19-2(Conference Preparatory Meeting)가 개최되었으며, 이때 그동안의 연구 결과 및 의제 해결 방안을 포함하는 CPM 보고서 개발을 완료하였다. CPM 보고서 내 Ka 대역 ESIM 운용 방안에 대한 신규 결의 초안의 주요 내용은 다음과 같다[6]. 일부 운용 조건에 대해서는 현재 ITU-R에서 논의가 진행 중이며, WRC-19에서 ESIM의 운용 조건이 결정될 예정이다.

1. 타 우주업무 보호에 대한 ESIM 운용 조건

17.7~19.7GHz/27.5~29.5GHz 대역에서 운용하는 ESIM은 동일 대역 타 우주업무 보호를 위해 다음의 운용 조건을 준수하여야 한다.

ESIM은 사용하는 주파수 대역 관점에서 고정위성업무에 속하므로 ESIM의 특성이 ESIM이 통신하는 위성망의 특성 범위 내에 있어야 한다. 추가로 ESIM이 조정된 위성망의 특성에 추가 간섭 및 보호를 요청하지 않아야 한다는 조건에 대해서는 현재 논의 중에 있다.

ESIM이 통신하는 위성망의 통고 주관청은 ESIM이 위성망 조정 동의를 지키도록 보장하여야 하며, ESIM 정보를 본 결의 및 관련 전파규칙에 따라 전파통신국(ITU-R BR)에 제출해야 한다. 전파통신국은 제출받은 ESIM 특성을 검사할 때 주파수등록원부(MIFR: Master of International Frequency Register)에 등재된 GSO FSS 위성망 정보 혹은 위성망 조정 정보와 비교하여 그 결과를 발표한다.

ESIM은 27.5~28.6/29.1GHz 대역 비정지궤도 FSS(NGSO FSS)시스템 보호를 위해 ESIM은 off-axis e.i.r.p. 제한 등 관련된 기술적 운용 조건을 준수해야 한다. 또한, 29.1~29.5GHz NGSO

MSS 피더링크 보호에 대해서도 언급된 기술적 운용 조건을 적용하는 유무에 대해 논의가 진행되고 있다.

또한, ESIM은 17.8~18.6GHz 대역 비정지궤도 FSS 시스템 및 17.7~18.4GHz 대역 BSS 피더링크 지구국으로부터 발생하는 주파수 간섭에 대해 보호를 요청할 수 없다.

2. 지상업무 보호에 대한 ESIM 운용 조건

17.7~19.7GHz/27.5~29.5GHz 대역에서 운용하는 ESIM은 동일 대역 지상업무(고정업무 및 이동업무)보호를 위해 다음의 운용 조건을 준수하여야 한다.

17.7~19.7GHz 대역에서 운용하는 ESIM 수신국은 지상업무로부터 간섭에 대한 보호를 요청할 수 없다.

27.5~29.5GHz 대역에서 송신하는 항공 및 해상 ESIM은 지상업무에 허용할 수 없는(unacceptable) 간섭을 주어서는 안 되며, 지상업무 보호를 위한 이격거리, 전력속밀도 제한, 고도 제한과 같은 기술적, 운용 조건 규정을 적용한다. 또한, 27.5~29.5GHz 대역에서 송신하는 육상 ESIM은 이웃국가의 지상업무에 허용할 수 없는 간섭을 주어서는 안 된다.

ESIM이 통신하는 GSO 고정위성업무 위성망 통고주관청은 ESIM 특성 정보 제공 및 허용할 수 없는 간섭 발생이 보고되는 경우 즉시 간섭을 제거하거나 허용 가능한 수준으로 간섭을 줄이는 조치를 수행한다는 서약을 ITU-R 전파통신국에 제출한다.

ESIM의 지상업무 보호에 대해 앞서 언급된 보호 조건 준수가 지상업무 보호 의무를 충족하는지 여부에 대해 보호 의무를 충족한다는 입장과 보호 조

건을 준수하더라도 지상업무에 간섭이 발생하는 경우 ESIM이 간섭 문제 해결의 책임이 있음 주장하는 입장이 제기되었으며, 관련 규정에 대한 논의가 진행 중이다.

3. ESIM 운용에 일반 사항

ESIM은 생명 안전 응용에 관련되어 사용되어서는 안 된다. 또한, ESIM 운용에 대한 본 결의의 이행에 대해 주관청이 양자 간 또는 다자 간 협상 및 ESIM 허가 시 관련 내용을 참고할 수 있다.

ESIM이 통신하는 정지궤도 FSS 위성망을 책임지는 주관청은 다음의 사항을 보장하여야 한다.

- 인접 고정위성업무 위성에 영향을 주지 않도록 ESIM이 통신하는 위성을 정확히 지향할 수 있는 기술 채택
- 망통제감시센터(NCMC)를 통해 ESIM을 감시, 통제할 수 있는 필요한 조치 및 NCMC 및 동등한 시설에서 최소한 송신 가능 및 중단을 명령하는 기능을 가짐
- 요청이 있는 경우, ESIM 운용을 허가 주관청의 영토 내로 제한하는 조치
- ESIM으로부터 허용할 수 없는 간섭이 의심되는 경우를 추적하기 위한 담당자 제공

만일, ESIM으로부터 허용할 수 없는 간섭이 발생하는 경우 다음의 규정을 적용한다.

- ESIM을 허가한 주관청은 간섭 조사에 협조하고, 요구되는 ESIM 운용 및 담당자 정보를 제공
- 영토 내 ESIM을 허가한 주관청 및 ESIM이 통신하는 위성망 통고주관청은 간섭 보고가 접수되면 간섭을 제거하거나 허용 가능한 수준으로 간섭을 줄이는 조치를 취하여야 함

V. 결론

ESIM 시스템은 현재 국제적으로 Ka 대역 위성 통신 서비스 시장에서 가장 주목받는 시스템으로 여겨진다. 고용량 통신 위성 시스템(HTS)과 연계되어 지상에서는 5G 이동통신으로, 항공기 및 선박에서는 ESIM 시스템을 이용함으로써 끊임 없는 초고속 광대역 접속 서비스를 제공할 수 있다.

그러나 ESIM이 글로벌 커버리지를 가지고 서비스를 제공할 수 있으므로 주파수 간섭 문제는 매우 심각한 결과를 초래할 수 있다. 따라서 ESIM은 기존 업무 특히 지상업무 보호를 충분히 보장해야 한다는 전제하에서 운용되어야 한다.

이러한 ESIM의 특성 및 기존 업무 주파수 분배를 고려하여 ITU-R에서는 기존 업무 보호 관점에서 ESIM 운용 방안을 논의 중이며, WRC-19에서 마련될 ESIM 운용 기준에 의해 새로운 위성 통신 서비스 시장이 활성화될 수 있을 것으로 예상된다.

약어 정리

CPM	Conference Preparatory Meeting
NCMC	Network Control and Monitoring Center
ESIM	Earth Stations In Motion
A-ESIM	Aeronautical ESIM
L-ESIM	Land ESIM
M-ESIM	Maritime ESIM
FS	Fixed Service

FSS	Fixed-Satellite Service
GSO	Geostationary Satellite Orbit
MS	Mobile Service
MSS	Mobile-Satellite Service
ITU(-R)	International Telecommunication Union (Radiocommunication Sector)
BR	Radiocommunication Bureau
MIFR	Master of International Frequency Register
WRC	World Radiocommunication Conference

참고문헌

- [1] M. Franci, "Earth Stations in Motion in FSS Ka-band," Feb. 2016. Available at <https://www.inmarsat.com/blog/earth-stations-in-motion-in-fss-kaband>
- [2] ITU-R, "Operation of earth stations in motion (ESIM) communicating with geostationary space stations in the fixed-satellite service allocations," Annex 12 to Doc. 4A/826, 2018.
- [3] Comsys, "The Comsys Maritime VSAT Report, 4th edition," 2015.
- [4] ITU-R, "Statistical methodologies to estimate the interference from land earth stations in motion (L-ESIM) communicating with geostationary space stations in the fixed-satellite service into mobile service (MS) stations operating in the frequency band 27.5-29.5 GHz," Annex 17 to Doc 4A/826, 2018.
- [5] ITU-R, "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," Annex 14 to Doc. 4A/826, 2018.
- [6] CPM19-2, "CHAPTER 3, AGENDA ITEM 1.5," Rev. 1 to Doc. CPM19-2/237, 2019.