

27.5~29.5GHz 대역 정지궤도 고정위성업무 우주국과 통신하는 이동형 지구국(ESIM) 운용 표준화 동향



오대섭 || 한국전자통신연구원 책임연구원

Earth Stations in Motion(ESIM, 이동형지구국) 시스템은 고정위성 업무 대역에서 이동 중에도 초고속 고용량 통신 서비스를 제공하기 위한 최신 위성통신시스템으로 여겨지고 있다. 글로벌 통신 서비스를 기반으로 Ka 대역을 이용하는 ESIM 시스템과 기존 업무와의 주파수 공유 및 보호를 위해 국제전기통신연합 전파통신 섹터(ITU-R)에서 관련된 표준화 연구를 수행하였다. 본 고에서는 특히 27.5~29.5GHz 대역 ESIM 송신으로부터 기존 업무를 보호하기 위한 주파수 공유 연구 동향 및 2019년 10월에 개최된 세계전파통신회의(WRC-19)에서 결정된 ESIM 운용 조건에 대해 분석한다.

1. 서론

지상통신시스템(고정 및 이동통신) 인프라가 대부분의 지역에 공급되고 있는 상황임에도 불구하고, 현재에도 글로벌 관점에서 볼 때 통신 서비스를 제공받기 어려운 지리적, 환경적 제약이 있는 지역 또는 환경이 존재한다. 위성통신시스템의 경우 광역성 및 동보성과 같은 특성을 가지고 있어 지상 통신망이 미치지 못하는 지역 또는 환경에 통신 서비스

* 본 내용은 오대섭 책임연구원(☎ 042-860-6650, trap@etri.re.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

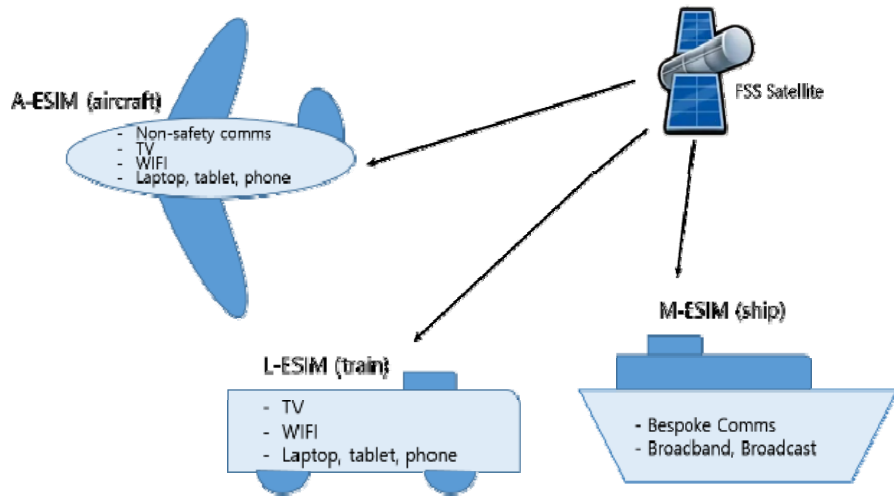
***본 원고는 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임
[2018-0-01470, 위성 망과 5G 이동통신시스템 간 주파수 간섭분석기술 기반 주파수 자원 확보 및 보호 국제 표준화 연구]

를 제공할 수 있는 이점이 있다. 특히, 지리적 제약으로 지상 통신 시스템이 미치지 못하는 상공 또는 바다에서 통신 서비스를 필요로 하는 항공기 및 선박은 위성 통신을 이용하여 통신 서비스를 제공받을 수 있다.

통신 서비스를 이용하는 사용자 측면에서 현재 지상에서 이동 중일 때 끊임없는 통신 서비스를 이용할 수 있는 당연한 시대가 되었으나, 항공기 및 선박에서 사용자가 인터넷 등의 통신 서비스를 제공받는 것은 여전히 제한적이다. 이러한 통신 서비스의 단절을 극복하기 위해 일부 항공기 및 선박에서는 위성통신시스템을 이용하여 승객에게 인터넷을 포함한 통신 서비스를 제공하고 있다. 현재 항공기 및 선박에서 이용하고 있는 위성 통신 서비스는 주로 1~3GHz 대역(L 대역) 또는 10~14GHz 대역(Ku 대역)을 통해 제공되고 있으며, 데이터 속도는 항공기 및 선박 전체에 수십 Mbits/sec의 통신을 제공할 수 있다. 그러나 접속량이 많을 경우 한 사용자에게 주어지는 데이터 속도는 매우 낮아진다.

끊임없는 통신 서비스에 대한 수요 증가 및 통신 제약을 극복하기 위해 이동 중인 항공기, 선박에서도 광 대역 통신 서비스를 제공하기 위한 연구가 진행되었으며, 우선적으로 넓은 주파수 대역 확보를 위해 이용 주파수 대역이 기존의 Ku 대역에서 Ka 대역으로 확대되었다. 또한, 항공기 및 선박에 탑재된 이동 중인 지구국 통신을 위해 이동 위성 업무(Mobile-Satellite Service: MSS) 주파수 대역을 이용해야 하나, 현재 Ka 대역 이동 위성업무 통신 시스템의 수가 적으며 주파수를 추가 확보하는 경우 이미 주파수 대역을 이용하고 있는 기존 업무 보호 때문에 MSS 운용에 심각한 제약이 발생할 수 있다. 이런 이유로 글로벌 위성 통신 사업자들은 이동 위성 업무 위성 시스템 대신 고정 위성 업무(Fixed -Satellite Service: FSS) 위성망을 이용한 광 대역 위성 통신 서비스를 제공하는 시스템을 개발하였다[1].

국제전기통신연합 전파통신 분야(ITU-R)의 전파 규칙(Radio Regulations)에 따르면 이동 지구국(Mobile Earth Station)이 통신하는 위성 업무를 MSS로 정의하고 있다[2]. 따라서, 고정 위성 업무 대역을 이용하는 이동 위성 지구국과 MSS 지구국을 구분하기 위해 별도로 이동형 지구국(Earth Stations in Motion: ESIM)을 정의하였다. ESIM은 간섭 환경 측면에서 고정위성 업무 지구국 특성과 유사하도록 이동 중에도 안테나가 항상 통신하는 위성망 우주국을 지향하도록 정밀한 트래킹 안테나 시스템을 장착하고 있다. 또한, ESIM은 항공기, 선박 및 차량에 탑재 가능한 소형 위성 터미널로서 고출력, 다중빔



〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

[그림 1] ESIM 형태에 따른 운용 예

의 Ka 대역 위성과 통신하며 대략 10~50Mbps/s 정도의 전송 속도를 제공할 수 있다[3]. [그림 1]은 ESIM 시스템 타입에 따른 운용 예를 보여준다.

고정위성 업무 대역에서 운용하는 ESIM은 일반 고정 지구국과 달리 이동성을 가지는 예외적인 특성 때문에 동일 대역에서 운용되는 타 FSS 위성망 및 지상업무를 보호하기 위한 운용 조건이 필요하다. 이를 위해 2015년에 개최된 세계전파통신회의(WRC-15)에서 27.5~29.5GHz 대역의 ESIM 운용 조건 연구 의제가 채택되었으며, 그 후 ITU-R SG4에서 Ka 대역 ESIM 운용에 대한 기술적, 운용적, 규정적 조건에 대해 논의하였다. 이러한 ITU-R의 연구 결과를 바탕으로 2019년에 개최된 세계전파통신회의(WRC-19)에서는 동일 대역 기존 업무 보호를 고려한 ESIM 운용 규정들이 개발되었다.

본 고에서는 ITU-R에서 논의된 ESIM 표준화 주요 이슈 및 WRC-19 회의 결과를 중심으로 ESIM 시스템 특성 및 주파수 공유 방안과 관련 규정들을 서술한다. II장에서는 ESIM의 요구사항 및 안테나 시스템 특성에 대해 분석하고, III장에서는 동일 대역에 분배된 타 업무와의 간섭 문제 및 주파수 공유에 대한 ITU-R의 연구 동향을 분석하였다[1]. IV장에서는 WRC-19에서 개발된 Ka 대역 ESIM 운용 조건을 분석하고 마지막으로 결론을 제시한다.

II. ESIM 사용자 요구사항 및 시스템 특성

ESIM 시스템에 대한 가장 기본적인 요구사항은 다양한 이동 플랫폼(항공, 선박, 차량 등)에서 광 대역 위성 통신 서비스를 제공하는 것이다. 기존 이동 플랫폼에서 이용한 위성 통신 서비스의 경우에는 상대적으로 낮은 주파수 대역(L 또는 S 대역)에서 이동위성 업무 위성시스템을 이용하였다. 이러한 시스템의 경우 한 사용자당 이용 가능한 주파수 대역폭은 상대적으로 매우 좁아서(대략 수 kHz~수백 kHz) 사용자가 접속한 한 채널당 데이터 속도는 수 kbit/s~700kbit/s 정도였다[4].

최근 10년 이래 광 대역 통신 서비스의 급격한 성장은 시간 및 공간의 한계를 극복하여 언제 어디서나 통신 서비스를 이용할 수 있는 환경을 구축해 왔으며 그에 따라 지상 네트워크가 미치지 못하는 해상 및 항공에서의 통신 서비스에 대한 요구 역시 증가하고 있다. 이러한 추세는 6G 이동통신 표준화에 지상-위성시스템을 통합하는 방향으로 발전하고 있다[5]. [표 1]은 항공기 위성 통신(A-ESIM)의 성장률을 보여주고 있다.

[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

<자료> 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, p.3.

해상의 경우에도 선박 내 승객에 대한 광 대역 접속 서비스에 대한 수요가 항공과 유사하게 증가하고 있다. 크루즈선과 같은 대형 선박에서 수천 명의 승객에게 동시에 광 대역 접속 서비스를 제공하는 것이 요구되고 있으며, 이러한 요구 또한 해상 ESIM(M-ESIM)을 통해 충족될 수 있다. ESIM을 이용하는 선박 통신의 경우 2014년에는 약 20,000척의 선박이 위성 통신을 이용하였으며 몇 년 이내 약 50,000척의 선박이 이용할 것으로 예상된다[6].

이러한 항공 및 선박의 위성 통신 이용 추세를 감안하여 ESIM 시스템은 대략 100Mbit/s

정도의 데이터 속도를 제공하며, 안테나 크기에 따라 데이터 속도가 결정되나 일반적으로 현재의 MSS 시스템에서 제공하는 데이터 속도보다는 여전히 고속의 광 대역 통신 서비스를 제공할 수 있다[1].

현재까지 위성시스템을 이용하는 이동 플랫폼의 경우 기존 시스템으로 4/6GHz 또는 11/14GHz 대역을 이용하는 ESV(Earth Station on Vessels) 시스템 및 AMSS(Aeronautical MSS) 등이 있다. ESIM의 경우 기존 시스템보다 높은 데이터 통신 서비스 제공을 위해 Ka 대역(17.7~19.7GHz 대역(하향 링크) 및 27.5~29.5GHz 대역(상향 링크))을 이용하며 다음과 같은 특성을 가지고 있다[4].

- 고용량 위성시스템(High Throughput Satellite, 다중 스팟빔을 이용함으로써 주파수 재사용 가능)
- 넓은 대역폭: 고속 통신 서비스를 위해 사용자 단말에 넓은 주파수 대역폭 할당이 가능하다
- 가변 스펙트럼 접속 기술: ESIM이 사용하는 Ka 대역은 일부 지역에서 기존의 타 업무가 이용하고 있어 주파수 간섭으로 인해 일부 대역을 사용할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 예를 들면, 27.8285~28.4445GHz 및 28.8365~29.4525GHz 대역은 유럽 내 일부 지역에서 지상 고정 업무로 사용 중이므로 유럽 일부 국가 내에서는 언급된 주파수 대역에서 ESIM의 송신이 금지된다. ESIM 시스템이 여러 국가의 영토, 영해, 영공을 서비스 영역으로 포함할 수 있으므로 각 나라별로 상이한 ESIM 운용 기준을 가질 수 있으며, 이용 주파수 대역도 ESIM이 한 지역에서 다른 지역 또는 국가로 이동할 때 사용 주파수 대역을 변경할 필요가 발생한다. 따라서 서비스의 연속성을 보장하기 위해 Ka 대역 내 다른 주파수 채널을 이용하는 것은 ESIM의 채널 관리에 필수적이다.

ESIM 시스템이 탑재되는 플랫폼에 따라 3가지 형태로 분류할 수 있다.

- 항공(Aeronautical ESIM: A-ESIM)
- 해상(Maritime ESIM: M-ESIM)
- 육상(Land ESIM: L-ESIM)

일반적으로, ESIM 시스템은 앞서 언급하였듯이 이동 중에도 ESIM이 통신하는 위성망

우주국을 항상 지향해야 하므로, 이러한 기능을 수행하기 위한 트래킹 안테나 및 관련 전파 파트로 구성되어 있다. 안테나 시스템은 안테나 제어 유닛(Antenna Control Unit: ACU)에 의해 일반적으로 2개의 메커니즘에 기반하여 일정 방향을 지향하도록 조정된다. 첫 번째는 ESIM이 탑재된 플랫폼의 움직임에 따라 방위각과 양각을 조절하여 안테나의 지향이 항상 유지되도록 안테나의 pitch, roll 및 yaw 각을 제어한다. 두 번째 메커니즘은 RF closed-loop 추적 기술로서 ESIM이 통신하는 위성망 우주국으로부터 수신되는 신호를 분석하여 안테나의 지향을 유지하고 오차를 최소화 한다. RF closed-loop 추적 기술은 위성망 우주국으로부터 수신되는 신호가 지속적으로 최대값을 유지하도록 연속적으로 안테나 지향 방향을 조정하고, 또한 전파 간섭 문제가 발생하지 않도록 ESIM 시스템이 통신하는 위성망 우주국에 인접한 궤도에 위치한 다른 위성을 지향하지 않도록 한다. ESIM의 안테나 트래킹 기술은 매우 높은 정밀도를 요구하고 있으며, 대략 ± 0.2 도 이내의 오차를 가진다.

이러한 특성과 더불어, ESIM은 네트워크 통제 및 감시센터(Network Control and Monitoring Center: NCMC) 또는 이와 동등한 시설에 의해 지속적인 통제 및 감시 하에 운용되어야 한다. 만일 ESIM 시스템이 시스템 오류로 인해 잘못된 안테나 지향을 하거나 동일 주파수 대역 내 다른 무선 업무에 허용할 수 없는 간섭을 초래하는 경우에 NCMC는 즉각 그 상황을 파악하고, 신속한 명령을 통해 ESIM의 송신을 즉시 중단시키거나 송신 출력을 허용 레벨 이하로 줄여야 한다.

가. A-ESIM

항공 ESIM(A-ESIM)은 항공기 동체에 탑재된 안테나의 형태에 따라 다음 2가지로 분류할 수 있다. 먼저, 꼬리 날개에 탑재된 안테나 시스템의 경우 안테나 트래킹 시스템을 가진 30cm 또는 그 이상의 개구면을 가진 안테나를 사용한다.

두 번째로, 동체 탑재 안테나 시스템의 경우 65cm×19.5cm 형태의 비대칭 사각형 배열 안테나를 사용한다. 이러한 배열 안테나는 주로 항공기 동체의 맨 위에 장착되며 다양한 사이즈의 안테나 장착이 가능하다. 두 가지 형태의 안테나 모두 안테나 트래킹 시스템을 포함하고 있으며 고속 이동시 안테나 시스템의 보호를 위해 보호형 레이돔을 이용한다. 대표적인 항공 ESIM 안테나 시스템 특성은 [표 2]와 같다[4].

[표 2] 항공기 A-ESIM 안테나 특성

Parameters	Tail mounted system	Fuselage mounted system
Antenna dimensions(cm)	30 or larger	65 by 19.5 or larger
Receive frequency range(GHz)	17.7~19.7	17.7~19.7
Receive gain(dBi)	32.7	36.8
Transmit frequency range(GHz)	27.5~29.5	27.5~29.5
Transmit gain(dBi)	37	39.8
Input power(W)	5	5

〈자료〉 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, pp.8-9.

나. M-ESIM

해상 ESIM 시스템도 항공 ESIM과 유사하게 안테나 트래킹 시스템 장치 및 관련된 전자 파트로 구성된다. 일반적으로 0.65~1.2m 직경의 안테나 시스템을 레이돔 내에 설치한다. M-ESIM 안테나 시스템의 대표적인 송신 특성은 [표 3]과 같다[4].

[표 3] 해상 M-ESIM 안테나 특성

Parameters	Value
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

〈자료〉 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, p.7.

다. L-ESIM

육상 ESIM은 지상 무선 통신 서비스의 보완 및 긴급 서비스, 대중교통(버스, 기차), 건설 현장과 같은 특수 상황에 대해 광 대역 통신 서비스를 제공할 수 있다. L-ESIM 안테나 시스템은 일반적으로 파라볼릭 또는 다중 배열 안테나와 같은 소형, 경량, 고효율 안테나를 사용한다. 안테나 시스템 형태는 성능 요구사항 및 지상 탑재 플랫폼의 속도에 따라

결정된다. 예를 들면, 저속 이동성을 가지는 플랫폼의 경우 소형 파라볼릭 안테나 사용이 가능하나, 기차와 같이 고속 이동 플랫폼의 경우에는 공기역학의 제약으로 인해 파라볼릭 안테나 이용이 어려우며 다중 배열 안테나가 사용된다.

III. 동일 대역 ESIM-지상업무 주파수 공유

WRC-15에서 ESIM 운용 조건 의제가 채택된 후 ITU-R에서는 ESIM이 동일 대역의 기존 업무에 미치는 간섭 영향 및 공유 조건에 대해 연구하였다. ESIM이 이용할 예정인 17.7~19.7GHz/27.5~29.5GHz 대역의 주파수 분배 현황을 보면 타 FSS 업무 및 고정업무(Fixed Service: FS), 이동업무(Mobile Service: MS)가 분배되어 있다.

우선, ESIM과 타 고정위성 업무와의 주파수 공유에 대해 살펴보면, 기본적으로 ESIM도 FSS 위성망의 일부이므로 ITU-R 전파규칙 제9조 및 11조의 위성망 주파수 조정 절차(Frequency Coordination Procedures)를 따른다. 위성망 주파수 조정절차에 따르면, 고정위성 업무 위성망간 간섭 문제는 간섭이 우려되는 관련 주관청과 위성망 주파수 조정을 통해 주파수 간섭을 해결한다. ESIM의 경우도 ESIM이 통신하는 우주국 위성망에 포함되며, 이 위성망과 타 FSS 위성망간 주파수 조정 결과로 결정된 운용 제원 범위 내에서 ESIM을 운용함으로써 타 고정위성 업무와의 주파수 간섭 문제를 해결할 수 있다.

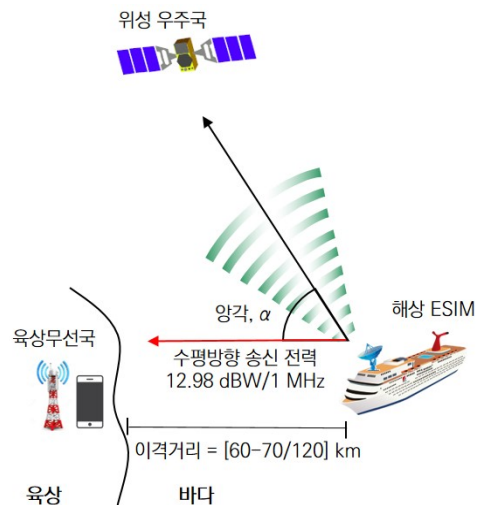
ESIM과 지상 업무(고정 및 이동 업무)에 대한 간섭문제는 먼저 ESIM의 수신 및 송신을 분리하여 간섭 상황을 고려한다. ESIM이 위성망 우주국으로부터 신호를 수신하는 17.7~19.7GHz 대역의 경우, ESIM은 victim 무선국이 되므로 타 업무에 간섭을 주지 않으며 ESIM으로 신호를 송신하는 위성망 우주국은 ESIM으로 인한 특별한 운용 기준이 아닌 이미 전파규칙에 따른 하향 링크 전력속밀도(power flux density: pfd) 제한과 같은 규정에 따라 운용되고 있으므로, 지상업무에 대해 아무런 변화가 없다. 그러므로, 하향 링크 대역에서는 간섭에 대한 추가 조치는 불필요하며, 다만 ESIM이 기존 타 업무의 송신으로부터 간섭을 받을 수 있으나 기존 업무에 아무런 제약을 주지 않기 위해 ESIM은 타 업무가 야기하는 간섭으로부터 보호를 요청할 수 없도록 규정하고 있다.

ESIM이 위성망 우주국으로 송신하는 27.5~29.5GHz 대역의 경우 통신하는 위성망 우주국을 지향하더라도 지상 방향으로 안테나 사이드 로브 등의 영향으로 인해 지상 무선국

에 간섭 영향을 줄 수 있다. 이러한 간섭 영향은 ESIM의 플랫폼 형태에 따라 그 간섭 상황이 다르게 나타나므로, 항공, 해상, 육상 플랫폼 각각을 구분하여 간섭 상황 및 주파수 공유 방안을 고려해야 한다.

먼저, 육상 ESIM과 지상업무 간 주파수 간섭 상황의 경우 육상 ESIM이 수평 방향으로 송신하는 신호 세기로 인해 타 지상 무선국으로 간섭이 발생한다. ITU-R의 연구 결과에 따르면, 이러한 간섭으로부터 지상 업무를 보호하기 위해서는 수 십~수 백 km의 이격거리가 필요하다. 다만, 간섭 문제 해결을 위해, 육상 ESIM은 항상 운용하는 지역이 어떤 주관청의 주권이 미치는 영토 내에 속해 있으므로 육상 ESIM으로부터의 간섭은 전적으로 육상 ESIM을 운용하는 국가의 주관청이 책임지도록 규정하였다[7].

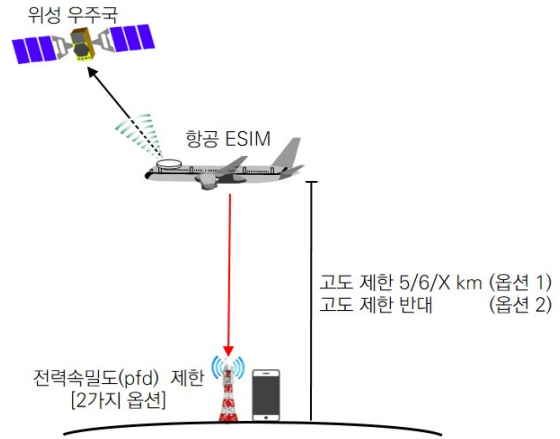
해상 ESIM과 지상업무와의 간섭 상황을 살펴보면, 해상에 위치한 선박에 탑재된 ESIM이 위성망 우주국으로 송신하는 경우 인접 육상 해안가에 지상 수신 무선국이 간섭 영향을 받게 된다. 이때 간섭 영향은 위성망 우주국을 지향하는 M-ESIM의 안테나 방향과 송신 신호 세기, 지향 방향과 육상 수신 무선국 방향 사이의 각, M-ESIM과 육상 무선국간 거리에 따라 달라진다. 또한, 고려해야 할 사항은 M-ESIM은 이동성이 있으므로 고정국과 같이 정지된 위치에서 항상 간섭 신호를 발생시키지 않으므로 이러한 M-ESIM의 이동성을 고려해야 한다. 이러한 이동 특성을 어떻게 고려하느냐에 따라 간섭 분석의 통계적 결과값이 달라진다. 언급된 간섭 시나리오를 고려하여 많은 국가에서 여러 간섭 환경을 가정한 분석 결과를 ITU-R에 제출하였으며 지상업무 보호를 위해 해안을 기준으로 M-ESIM의 이격거리 설정 및 수평방향으로의 송신 신호 세기를 제한하는 방안을 마련하였다[8]. ITU-R에서 분석한 이격거리는 분석 환경 및 가정에 따라 60~120km가 제시되었으며, WRC-19에서 단일 값이 결정되었다. WRC-19의 결과는 다음 장에서 자세히 분석하였다. [그림 2]는 M-ESIM과 지상업무간 간섭 시나리오에 대한 예를 보여주고 있다.



(자료) 한국전자통신연구원 자체 작성

[그림 2] 해상 ESIM과 지상업무간 간섭 시나리오

항공 ESIM과 지상업무 간 간섭 상황은 [그림 3]과 같이 항공 ESIM이 위성망 우주국 방향으로 송신할 때 사이드 로브로 인해 지상 방향으로 간섭 신호를 발생하는 경우에 대해 분석하였다. 이때 지상으로 발생하는 간섭 신호 세기에 영향을 미치는 요소는 A-ESIM이 지상 방향으로 방사하는 사이드 로브 신호의 세기, 지상 수신 무선국에서 A-ESIM을 바라보는 양각(elevation angle) 및 A-ESIM의 고도가 있다. 정지궤도 위성으



(자료) 한국전자통신연구원 자체 작성

[그림 3] A-ESIM과 지상업무간 간섭 시나리오

로부터 지상업무를 보호하기 위해 전력속밀도(Pfd) 제한을 적용한 것처럼 A-ESIM이 지상 업무를 보호하기 위해 전력속밀도 제한값을 계산하였다. 전력속밀도 제한값은 지표면에 수신되는 신호 세기의 밀도로서, 간섭원인 A-ESIM이 어느 위치에 있는지 상관없이 지표면에서의 신호 세기가 허용된 제한값 이하여야 한다. ITU-R 연구를 통해 고정 업무 보호 기반 전력속밀도 제한값(Option 1)과 이동 업무 보호 기반 전력속밀도 제한값(Option 2)이 제안되었으며[8], WRC-19에서 단일 기준이 결정되었다.

(Option 1)

$pfd(\delta) = -124.7$	(dB(W/m ² ·4MHz))	for	$0^\circ \leq \delta \leq 0.01^\circ$
$pfd(\delta) = -120.9 + 1.9 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/m ² ·4MHz))	for	$0.01^\circ \leq \delta \leq 0.3^\circ$
$pfd(\delta) = -116.2 + 11 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/m ² ·4MHz))	for	$0.3^\circ \leq \delta \leq 1^\circ$
$pfd(\delta) = -116.2 + 18 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/m ² ·4MHz))	for	$1^\circ \leq \delta \leq 2^\circ$
$pfd(\delta) = -117.9 + 23.7 \cdot \log_{10}(\delta)$	(dB(W/m ² ·4MHz))	for	$2^\circ \leq \delta \leq 8^\circ$
$pfd(\delta) = -96.5$	(dB(W/m ² ·4MHz))	for	$8^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$

또는,

(Option 2)

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

δ: 수평면 기준 양각(degree)

또한, 앞서 언급된 A-ESIM 전력속밀도 제한에 추가하여 실질적으로 낮은 고도의 A-ESIM은 지상업무에 더 큰 간섭 영향을 발생시킬 수 있으므로, 일정 고도 이하에서 A-ESIM 송신을 중지하는 보호 기준에 대해서도 논의하였다. 최저 운용 고도에 대해 전력 속밀도 제한값 만으로 지상업무 보호가 가능하다는 입장과 고도 제한이 필요하다는 입장이 조율되지 않았으며, 고도 제한 지지의 경우 5, 6km 등의 값이 제안되었다.

본 장에서 언급된 공유 연구 및 보호 기준 논의 결과들은 WRC-19 회의를 위한 CPM (Conference Preparatory Meeting) 보고서에 포함되어 WRC-19 회의에서 ESIM 운용 기준 결정을 위한 reference로 활용되었다.

IV. WRC-19 회의 결과

WRC-15 회의에서 27.5~29.5GHz 대역의 ESIM 운용 연구를 의제 1.5로 채택한 이후 ITU-R WP 4A 연구반에서는 2016년부터 28GHz 대역에서 운용하는 ESIM으로부터 지상업무 보호를 위한 보호 기준 연구를 수행하였다. 앞 장에서 기술한 ITU-R의 연구 결과를 바탕으로 2019년 10~11월에 개최된 WRC-19 회의에서는 ESIM이 동일 대역 타 업무를 보호하기 위한 규정적, 운용적, 기술적 조건들을 개발하였다. 본 장에서는 그 중 특히 지상업무 보호를 중심으로 기존업무 보호에 대한 규정적, 기술적 운용 조건에 대해 기술한다. WRC-19 회의에서 결정한 ESIM의 지상업무 보호 관련 규정은 다음과 같다[9].

- 17.7~19.7GHz 대역의 수신 ESIM은 지상업무에 대해 보호를 요청할 수 없음
- 27.5~29.5GHz 대역에서 송신하는 항공 및 해상 ESIM은 동 대역의 지상업무에 허용할 수 없는 간섭을 야기해서는 안 되며, 다음과 같은 운용 조건을 반드시 준수해야 한다.
 - * 해상 ESIM은 관련된 주관청의 사전 승인 없이는 해안으로부터 70km 이상 떨어져서 운용해야 한다.
 - * 수평방향으로의 최대 송신 e.i.r.p. 밀도는 24.44dB(W/14MHz)로 제한된다.
 - * 항공 ESIM의 경우 3km 초과 고도에서는 고도 3km 초과 전력속밀도 제한값을, 3km 이하 고도에서는 고도 3km 이하 전력속밀도 제한값을 초과할 수 없다.

* 지상업무를 허가한 주관청 영토 내에서 운용 중인 항공 ESIM은 사전 동의 없이 지상업무가 사용하고 있는 동일 주파수 대역에서 송신할 수 없다.

[표 4] 지상업무 보호를 위한 항공 ESIM 송신 PFD 마스크

적용 기준	전력속밀도 제한값	
고도 3km 초과	$\text{pfd}(\theta) = -124.7$	(dB(W)/(m ² ·14MHz)) for $0^\circ \leq \theta \leq 0.01^\circ$
	$\text{pfd}(\theta) = -120.9 + 1.9 \cdot \log_{10}\theta$	(dB(W)/(m ² ·14MHz)) for $0.01^\circ < \theta \leq 0.3^\circ$
	$\text{pfd}(\theta) = -116.2 + 11 \cdot \log_{10}\theta$	(dB(W)/(m ² ·14MHz)) for $0.3^\circ < \theta \leq 1^\circ$
	$\text{pfd}(\theta) = -116.2 + 18 \cdot \log_{10}\theta$	(dB(W)/(m ² ·14MHz)) for $1^\circ < \theta \leq 2^\circ$
	$\text{pfd}(\theta) = -117.9 + 23.7 \cdot \log_{10}\theta$	(dB(W)/(m ² ·14MHz)) for $2^\circ < \theta \leq 8^\circ$
	$\text{pfd}(\theta) = -96.5$	(dB(W)/(m ² ·14MHz)) for $8^\circ < \theta \leq 90^\circ$
고도 3km 이하	$\text{pfd}(\theta) = -136.2$	(dB(W)/(m ² ·1MHz)) for $0^\circ \leq \theta \leq 0.01^\circ$
	$\text{pfd}(\theta) = -132.4 + 1.9 \cdot \log_{10}\theta$	(dB(W)/(m ² ·1MHz)) for $0.01^\circ < \theta \leq 0.3^\circ$
	$\text{pfd}(\theta) = -127.7 + 11 \cdot \log_{10}\theta$	(dB(W)/(m ² ·1MHz)) for $0.3^\circ < \theta \leq 1^\circ$
	$\text{pfd}(\theta) = -127.7 + 18 \log_{10}\theta$	(dB(W)/(m ² ·1MHz)) for $1^\circ < \theta \leq 12.4^\circ$
	$\text{pfd}(\theta) = -108$	(dB(W)/(m ² ·1MHz)) for $12.4^\circ < \theta \leq 90^\circ$

(자료) ITU-R, "World Radiocommunication Conference 2019(WRC-19) Provisional Final Acts," ITU-R, 2019, p. 422

- * 항공 ESIM 송신기의 대역외 방사의 최대 전력은 권고서 ITU-R SM.1541에 기술된 최대 송신 전력 이하여야 한다.
- * 앞에서 언급된 전력속밀도 제한값보다 높은 전력속밀도 제한값을 이용하기 위해서는 해당 주관청의 사전 동의를 반드시 받아야 한다.
- 27.5~29.5GHz 대역에서 송신하는 육상 ESIM은 이웃국가의 지상업무에 허용할 수 없는 간섭을 절대 주어서는 안 된다.
- 앞에서 언급된 운용 조건을 포함한 ESIM의 지상업무 보호 규정들이 항공 및 해상 ESIM에서 발생하는 허용할 수 없는 간섭으로부터 지상업무를 보호하기 위한 조건을 제공하나, 지상업무에 대한 비간섭, 비보호 요구는 계속 유효하다.
- 앞에서 언급된 항공 ESIM의 전력속밀도 준수에 대해 ITU-R 전파통신국은 항공 ESIM의 관련 특성을 검사하고 그 결과를 전파통신국 주간회보(BR IFIC)에 공표해야 한다.
- ESIM이 통신하는 정지궤도 고정위성 업무 위성망 통과 주관청은 허용할 수 없는 간섭 발생이 보고되는 경우 다음의 절차를 반드시 따른다는 서약서를 전파통신국에 제출해야 한다.

- * ESIM으로부터 허용할 수 없는 간섭이 발생된 경우, ESIM을 허가한 주관청은 이 문제의 조사에 협력해야 하고 ESIM 운용에 대한 정보 및 이러한 정보를 제공할 수 있는 담당자 정보를 제공해야 한다.
- * ESIM을 허가한 주관청과 ESIM이 통신하는 정지궤도 고정위성 업무 위성망 통고 주관청은 허용할 수 없는 간섭이 보고되는 즉시 간섭 신호를 제거하거나 허용 가능한 수준으로 줄이는 조치를 취해야 한다.
- ESIM이 통신하는 정지궤도 고정위성 업무 위성망을 책임지는 주관청(통고 주관청)은 아래 사항을 보장해야 한다.
 - * ESIM 운용에 있어 실수로 인접 위성을 지향하지 않도록 ESIM이 통신해야 하는 위성을 지속적으로 지향할 수 있는 기술을 채택
 - * ESIM 운용을 항상 감시 및 제어할 수 있는 망감시제어센터(NCMC) 또는 유사한 시설에서 ESIM의 송신을 즉시 중단할 수 있어야 함
 - * ESIM 운용을 허가한 주관청의 영토(영공, 영해) 내에서 ESIM의 운용을 제한할 수 있는 방법
 - * 허용할 수 없는 간섭 발생 경우를 추적하고 허가 주관청 담당자 요구에 즉각 대응할 수 있도록 담당자 제공

V. 결론

위성-지상 통합망을 통한 끊임없는 통신 서비스 제공을 위해 ESIM 시스템은 현재 국제적으로 Ka 대역 위성 통신 서비스 시장에서 가장 주목받는 시스템들 중 하나이다. 특히, 지상 통신망과 연계되어 사용자가 지상에서는 이동통신망으로, 항공기 및 선박에서는 ESIM 시스템을 통해 언제 어디서나 초고속 광 대역 접속 서비스를 이용할 수 있다.

그러나, ESIM이 글로벌 커버리지를 가지고 서비스를 제공할 때, 타 국가와의 주파수 간섭 문제는 매우 심각한 결과를 초래할 수 있다. 특히, 공해 및 international air에서 ESIM이 운용되는 경우 주파수 간섭문제를 해결해야 하는 주체가 명확하지 않으므로, 국제적으로 적용되어야 하는 ESIM 운용 기준이 반드시 필요하다. 이러한 점에서 WRC-19에서 개발된 ESIM 운용 기준은 무엇보다 기존 업무 보호를 보장하기 위해, 특히 28GHz

대역을 이용하는 이동통신업무 보호를 위해 기술적, 운용적, 규정적 기준을 구체화 하였다는 것에 큰 의미가 있다. 또한, ESIM의 운용 기준은 단순히 타 업무의 보호뿐만 아니라 향후 ESIM 시스템의 발전 및 안정적 운용에도 도움이 될 수 있을 것으로 예상된다.

WRC-19 회의에서 개발된 ESIM 운용기준을 통해 향후 ESIM을 이용한 위성 통신 서비스 시장이 본격적으로 활성화 될 수 있을 것이며, 특히 지상-위성망 통합을 통한 고도화된 통신 서비스 시장이 더욱더 확대될 것으로 판단된다.

[참고문헌]

- [1] 오대섭, “고정위성 업무 Ka 주파수 대역을 이용하는 이동형 지구국(ESIM) 운용 방안 연구 동향”, ETRI, 전자통신동향분석, Vol.34 No.3, 2019.
- [2] ITU-R, “Radio Regulations,” ITU-R, Article 1, 2016.
- [3] M. Franci, “Earth Stations in Motion in FSS Ka-band,” Feb. 2016.
- [4] 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.
- [5] M. Z. Chowdhury, M. Shahjalal, S. Ahmed, and Y. M. Jang, “6G wireless communication systems: Applications, requirements, technologies, challenges, and research directions,” Sep. 2019, arXiv:1909.11315. [Online].
- [6] Comsys, “The Comsys Maritime VSAT Report, 4th edition,” 2015.
- [7] 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 27.5-29.5GHz,” Annex 17 to Doc 4A/826, 2018.
- [8] 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 27.5-29.5GHz,” Annex 14to Doc. 4A/826, 2018.
- [9] ITU-R, “World Radiocommunication Conference 2019(WRC-19) Provisional Final Acts,” ITU-R, 2019.