

Investigation of ITU Radio Regulations Regarding KPS Service Band

Subin Lee¹, Kahee Han², Jong-Hoon Won^{3†}

¹Autonomous Navigation Laboratory, Department of Electrical and Computer Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

²Satellite Navigation Research Section, Electronics and Telecommunications Research Institute, Daejeon 34129, Korea

³Department of Electrical Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

ABSTRACT

In order to reserve frequency bands for stable operation of the Korean Positioning System (KPS), it must be demonstrated that the impact of interference caused by KPS on other services operating in the same bands is tolerable. The International Telecommunication Union (ITU) provides the radio regulations and a compatibility assessment methodology for the coexistence of different services in limited frequency resources. The purpose of this paper is to investigate the radio regulations regarding the compatibility issues between the KPS and other services sharing the same frequency bands. The results of the investigation show that the RNSS system can be operated in the L5-band under the condition that the Power Flux Density (PFD) and Aggregated Equivalent PFD (AEPFD) thresholds specified in the radio regulations are met. In addition, the ITU recommends that the interference-to-noise ratio (INR) protection criteria be met to prevent degradation of the performance of radar systems operating in the L2/L6-band. In the case of the S-band, coordination of allocations for RDSS space stations with respect to terrestrial services is not required if the PFD does not exceed regulated thresholds regulated by ITU.

Keywords: RNSS, KPS, ITU, radio regulation

1. 서론

Global Navigation Satellite System (GNSS)는 Positioning, Navigation, and Timing (PNT) 정보를 제공하며, 4차 산업혁명 시대의 국가 핵심 인프라 시스템으로 다양한 분야에서 사용됨에 따라 중요도가 증가하고 있다. 위성항법기술의 중요성을 인식한 미국, 러시아, 유럽연합, 중국, 일본, 인도 등 우주 강국들은 자체 위성항법시스템을 개발하였으며, 자국의 시스템을 현대화하기 위해 끊임없이 노력하고 있다. 이러한 추세에 따라 한국도 2035년을 목표로 한국형 위성항법장치인 Korean Positioning System (KPS)를 개발할 계획이다 (Kim 2021, Korea Aerospace Research Institute 2023).

이러한 위성항법시스템이 제공하는 서비스는 우주국을 이용

하여 지구국, 항공기, 선박 및 기타 물체의 위치, 속도 등의 특징을 측정하기 위한 우주무선통신업무이므로 Radio Navigation Satellite System (RNSS) 또는 Radio Determination Satellite Service (RDSS)에 해당된다 (Ministry of Science and ICT 2022). 따라서, International Telecommunication Union (ITU)에서 규제하는 RDSS 또는 RNSS에 할당된 주파수 대역에서만 작동될 수 있다 (ITU 2020a). ITU는 L 대역 (1164 - 1300 MHz, 1559 - 1610 MHz), S 대역 (2483.5 - 2500 MHz) 및 C 대역 (5010 - 5030 MHz)을 RNSS 또는 RDSS 하향링크를 위해 할당하고 있으며, KPS는 L 및 S 대역에서의 신호 송출이 예정되어 있다 (Kim 2021).

한편, KPS의 안정적인 운영을 위해서는 국제 위성망 등록 업무를 수행해야 한다. 국제 위성망 등록 업무는 한정된 위성궤도 및 주파수 자원 내에서의 위성망 및 업무 간 간섭과 혼선 방지를 위한 국가 간 조정 절차로서, KPS의 국제적 보호 권리를 확보할 수 있도록 한다 (Sin 2020). 이 중 주파수 확보를 위해서는 KPS 운용 대역 내 타 업무에 미치는 간섭의 영향이 용인 가능한 수준임을 보여야 한다. 즉, 위성망의 국제 등록 시 기존 업무와의 호환성 분석이 요구되며, ITU 대응 기술 자료로서 업무 간 호환성 평가 결과가 필요하다. 이를 위해, ITU는 업무에 대한 보호 기준 및 업무 간 간섭 조정 방법론을 4권의 전파규칙 (Radio Regulations,

Received Apr 24, 2023 Revised May 09, 2023 Accepted May 17, 2023

†Corresponding Author

E-mail: jh.won@inha.ac.kr

Tel: +82-32-860-7406 Fax: +82-32-863-5822

Subin Lee <https://orcid.org/0000-0001-8807-4327>

Kahee Han <https://orcid.org/0000-0001-8804-5120>

Jong-Hoon Won <https://orcid.org/0000-0001-5258-574X>

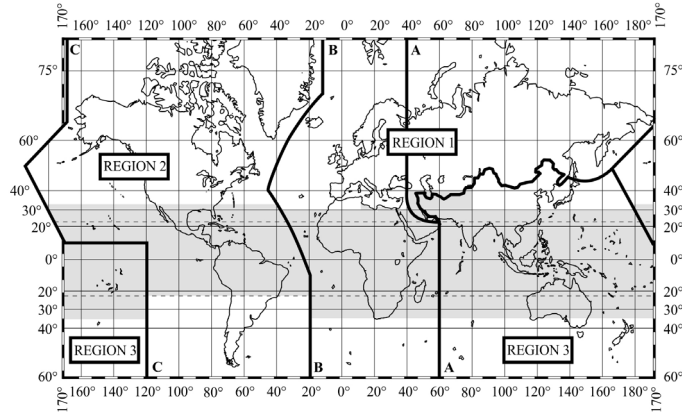


Fig. 1. World-divided map for the frequency allocation (ITU 2020a).

RR) 문서를 통해 제공하여 호환성 평가를 수행할 수 있도록 한다. 따라서, ITU 대응 기술 자료 생성 이전에 KPS 주파수 대역 내에서의 전파규칙 조사가 선행되어야 한다.

선행 연구 Henri & Matas (2018)에서는 ITU에서 RNSS 및 RDSS를 위해 할당된 주파수 대역의 업무 할당 현황, 호환성 관련 주요 전파규칙 및 관련 ITU-R 권고서를 소개한다. 이와 관련하여 진행된 초기 연구 (Lee et al. 2021)는 Henri & Matas (2018)의 내용을 KPS 후보 대역에 대해 요약하며, 각 대역에서의 호환성 분석 방법론을 조사했다. Lee et al. (2021)를 기반으로 Lee et al. (2022)에서는 L6 대역에 한정하여 KPS가 동일 대역 타 업무인 Radio Location Service (RLS)에 미치는 영향이 ITU에서 권고하는 보호 기준을 준수하고 있는지에 대한 여부를 위한 평가 방법론을 연구하였다.

이와 같은 선행 연구들은 호환성 평가 방법론을 소개하지만 평가를 위한 세부지표를 소개하고 있지 않거나 특정 대역에 한정하여 서술하고 있다. 따라서 이 논문은 선행연구를 보완하기 위해 KPS 서비스 대역인 L 및 S 대역에서 ITU 보호 기준 준수 여부 판단을 위한 세부지표 조사를 수행하였다.

이 논문의 2장에서는 KPS 주파수 대역에서의 업무 할당 현황 및 각 대역의 주요 전파규칙을, 3장에서는 RNSS 및 RDSS와 타 업무 간 호환성 평가 시 사용되는 세부지표에 대해 설명하였다. 4장에서는 호환성 평가 시 사용될 수 있는 ITU 권고서 및 보고서를 요약하며, 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 주파수 및 업무 할당 현황

ITU는 주파수와 업무 할당을 위해 Fig. 1과 같이 전세계를 세 개의 지역으로 구분한다 (ITU 2020a). 한국은 제3지역으로 구분되어 있으므로 L 및 S 대역에서 제3지역에 할당된 업무와의 호환성 평가가 필요하다.

Table 1은 L 및 S 대역에서의 업무 할당 현황을 보여주며, 각 업무가 사용하는 주파수 대역은 해당 표의 왼쪽 상단 모서리에 표시된다. 각 열은 구분된 지역을 의미하며 업무가 표의 전체 열을 차지하는 경우 세계 전역에 할당되어 있음을, 한 개 또는 두 개의 열을 차지하는 경우 특정 지역에 할당되어 있음을 의미한다.

주파수 대역 내 할당된 업무는 업무의 순위 순으로 나열되며 모든 문자가 대문자인 경우 1순위 업무, 첫 글자만 대문자인 경우 2순위 업무임을 의미한다. 2순위 업무는 전파규칙 제5.29에 따라 1순위 업무에 대해서 유해한 간섭을 일으켜서는 안되며, 제5.30에 따라 1순위 업무에 대한 유해한 간섭 영향으로부터 보호 요청이 불가능하다. 업무 우측에 괄호가 추가된 경우에는 해당 업무가 표시된 운영 유형으로 제한됨을 의미하며, 번호가 추가된 경우에는 해당 업무에 적용되는 전파규칙 번호를 의미한다. 이때, 번호가 하단에 표시된 경우 둘 이상의 업무 또는 해당 주파수 대역에 할당된 전체 업무에 적용되는 전파규칙 번호를 의미한다 (ITU 2020a).

한편, Table 2는 Table 1에서 명시된 전파규칙 중 RNSS/RDSS 및 타 업무 간 호환성 평가와 관련된 주요 규칙을 정리하였다. 이하 하위 절에서는 Table 1에서 정리된 주파수 대역 순으로 L5, L2, L6, L1 및 S 대역에 RNSS/RDSS와 함께 공유하고 있는 서비스의 정의 및 주요 전파규칙을 정리하였다.

2.1 L5 대역

L5 대역은 1164–1215 MHz에 해당하며, Aeronautical Radio Navigation Service (ARNS)와 함께 공유되고 있다. ARNS는 항행안전무선시설에 의하여 무선전파 방식의 항행정보를 항공기와 교환 및 제공하는 업무를 말하며, ARNS에 포함되는 대표적인 시스템으로 Distance Measurement Equipment/Tactical Air Navigation (DME/TACAN)이 있다 (Ministry of Science and ICT 2022). L5 대역에서 RNSS는 전파규칙 제5.328A에 따라 결의안 609를 적용해야 하며, ARNS 시스템으로부터 보호를 요구할 수 없는 제약적인 규칙 아래 작동이 가능하다. 결의안 609에 따르면, L5 대역의 ARNS 보호를 위해 모든 RNSS 위성들의 송신 신호에 의한 지상 12,192 m (40,000 ft)에 위치한 기준 수신기에서의 Aggregate Equivalent Power Flux Density (AEPFD)는 그 값이 $-121.5 \text{ dB (W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 이하여야 한다 (ITU 2020c). 따라서, KPS 신호가 추가됨에 따른 총 간섭 전력에 의한 AEPFD의 계산 결과는 ITU 전파규칙에서 규정하는 L5 대역의 ARNS 보호 기준 충족 여부 판단의 근거로 활용이 가능하다.

한편, 결의안 609에서는 다양한 RNSS 시스템이 L5 대역에서

Table 1. Frequencies and services allocations in L/S-bands (ITU 2020a).

Region 1	Region 2	Region 3
1164-1215	AERONAUTICAL RADIONAVIGATION 5.328 RADIONAVIGATION-SATELLITE (space-to-Earth) (space-to-space) 5.328B 5.328A	
1215-1240	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (active) RADIOLOCATION RADIONAVIGATION-SATELLITE (space-to-Earth) (space-to-space) 5.328B 5.329 5.329A SPACE RESEARCH (active) 5.330 5.331 5.332	
1240-1300	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (active) RADIOLOCATION RADIONAVIGATION-SATELLITE (space-to-Earth) (space-to-space) 5.328B 5.329 5.329A SPACE RESEARCH (active) Amateur 5.282 5.330 5.331 5.332 5.335 5.335A	
1559-1610	AERONAUTICAL RADIONAVIGATION RADIONAVIGATION-SATELLITE (space-to-Earth) (space-to-space) 5.208B 5.328B 5.329A 5.341	
2483.5-2500 FIXED MOBILE MOBILE-SATELLITE (space-to-Earth) 5.351A RADIODETERMINATION-SATELLITE (space-to-Earth) 5.398 Radiolocation 5.398A 5.150 5.399 5.401 5.402	2483.5-2500 FIXED MOBILE MOBILE-SATELLITE (space-to-Earth) 5.351A RADIOLOCATION RADIODETERMINATION-SATELLITE (space-to-Earth) 5.398 5.150 5.402	2483.5-2500 FIXED MOBILE MOBILE-SATELLITE (space-to-Earth) 5.351A RADIOLOCATION RADIODETERMINATION-SATELLITE (space-to-Earth) 5.398 5.150 5.401 5.402

Table 2. Regulatory status of L/S-bands (Mitome & Hayes 2014, ITU 2020a).

Band [MHz]	Other service in the same band	RR description (RR number)
1164-1215	ARNS	RNSS shall operate in accordance with the provisions of Resolution 609 and shall not claim protection from stations in the ARNS. (5.328A)
1215-1300	EESS (active) SRS (active)	1215-1260 MHz: Active spaceborne sensors in the EESS and SRS shall not cause harmful interference to, claim protection from, or otherwise impose constraints on operation or development of the RLS and RNSS. (5.332) 1260-1300 MHz: RNSS and EESS/SRS are the same status. (5.335A)
	RLS	RNSS shall be subject to the condition that no harmful interference is caused to the RLS and Resolution 608 shall apply. (5.329)
	Amateur	1260-1270 MHz: Amateur-satellite service may operate subject to not causing harmful interference to other primary services operating. (5.282)
1559-1610	ARNS	The same status between RNSS and ARNS.
2483.5-2500	FS, MS, RLS	The same status between RNSS and FS/MS/RLS. 9.11A coordination procedure is applied between ground service and RDSS. (5.402)
	MSS	The same status between RNSS and MSS.

작동할 수 있도록 하기 위해 특정 단일 RNSS 시스템이 AEPFD의 간섭 허용치를 모두 사용할 수 없도록 권고 608을 통해 단일 위성에 대한 Power Flux Density (PFD) 상한을 정의한다. 이에 따라 하나의 RNSS 위성으로부터 야기된 기준 수신기에서의 최대 PFD는 자유 공간 전송 환경 하에 -129 dB ($W/(m^2 \cdot MHz)$)를 넘지 않아야 한다 (ITU 2020c). 이 때, 비 정지 궤도 위성들은 하나의 위성으로 취급되어 계산되므로 위성 중 어느 하나라도 상기 제한 값을 초과하면 안 된다. L5 대역을 사용하는 시스템의 AEPFD 및 PFD 계산 결과는 정기적으로 개최되는 'Resolution 609 Consultation Meeting'에서 논의되며, 2022년 기준으로 19번의 정기회의가 진행되었다. 2022년에 개최된 19번째 정기회의의 결과, L5 대역을 사용하는 위성의 최대 AEPFD는 최악의 경우를 가정하였을 때 -121.52 dB ($W/(m^2 \cdot MHz)$)로, 규제하고 있는 임계값인 -121.5 dB ($W/(m^2 \cdot MHz)$)보다 0.02 dB 낮은 것으로 보고되었다 (ITU 2023).

2.2 L2 대역

L2 대역은 1215-1260 MHz에 해당하며, Earth Exploration Satellite Service (EESS), RLS 및 Space Research Service (SRS)와 함께 공유되고 있다. EESS는 지구의 특성, 환경상태 등에 관한 정보를 수집하는 우주무선통신업무로서 우주국을 경유하여 수집된 정보를 지구국에 분배하는 것을 포함하는 업무이다. RLS는 항행 목적을 제외한 Radio Determination Service (RDS)로 전파를 발사하여 목표물로부터 반사되어 되돌아오는 전파를 수신하는 방식으로 이동체의 위치, 속도 및 기타 사물의 특징에 관한 정보를 취득하는 무선통신 업무를 의미한다. 대표적인 시스템으로 기상 레이더, 추적감시 레이더 등이 존재한다. 이때, 전파규칙 제5.329에 따라 전파규칙 제5.331에서 언급된 국가들에 대해서는 Radio Navigation Service (RNS)가 추가적으로 1순위 업무로 할당되며, 한국도 이에 해당한다. RNS는 항행목적의 RDS를 의미하며, 해상 및 항공 등을 위한 측위 업무가 대표적이다. SRS는 우주

국을 이용하여 과학 또는 기술 연구를 수행하기 위한 우주무선통신업무를 의미한다 (Ministry of Science and ICT 2022).

L2 대역에서 RNSS는 전파규칙 제5.332 및 5.282에 따라 EESS와 SRS가 RNSS에 유해한 간섭을 유발하거나 보호를 요구할 수 없으므로 두 업무에 대해 더 높은 지위를 갖는다. 단, RLS 또는 RNS와 비교할 경우 전파규칙 제5.329에 따라 1215-1300 MHz의 주파수 대역에서 RNSS는 두 서비스에 유해한 간섭을 유발해서는 안되며, RNS에 대해 보호를 요청할 수 없음을 규정하고 있음에 따라 RNSS의 지위가 더 낮다. 또한, 결의안 608이 적용됨을 규정하고 있다 (ITU 2020a).

결의안 608은 RNSS를 위한 주파수 대역이 1215-1260 MHz에서 1300 MHz까지 확장되었고, RNSS 시스템이 L2 대역에서 작동하는 레이더 시스템에 대한 간섭 보고 없이 20년 이상 성공적으로 작동해 왔다는 점을 고려하여 RNSS를 위해 본래 할당되어 있었던 L2 대역에 대해서는 World Radiocommunication Conference-2000 (WRC-2000) 이전에 시행된 규정 외에 어떠한 추가 제약도 가지지 않을 것을 결의하였다 (ITU 2020c).

다만, 이 결의는 1215-1300 MHz 대역에서 작동하는 RDS 시스템에 대한 보호를 위한 연구를 계속 수행할 것을 권고하며, 필요한 경우 권고서를 마련할 것을 명시하고 있다. 추가로, 1215-1300 MHz 주파수 대역에서 작동하는 RNSS 및 레이더 시스템 간의 호환성 보고서 ITU-R M.2284를 언급하고 있으며, 이는 권고서 ITU-R M.1463 및 ITU-R M.1461에서 제공하는 세부지표 및 보호 기준에 따른 평가 결과를 서술한다. 권고서에 따르면, duty cycle이 높은 신호 (continuous wave, binary phase shift keying, noise-like, non-pulse 등)에 의한 총 간섭량으로 인한 RDS 레이더 시스템의 성능 저하를 방지하기 위한 보호 기준으로서 -6 dB의 Interference-to-Noise Ratio (INR) 값을 권고하고 있다 (ITU 2015, 2018).

2.3 L6 대역

L6 대역은 1260-1300 MHz에 해당하며, EESS, RLS, SRS 및 아마추어 업무와 함께 공유되고 있다 (ITU 2020a). L6 대역은 L2 대역과 연속하여 위치하며, 2순위 업무인 아마추어 업무를 제외하고 동일한 업무가 할당되어 있다. 따라서, 1순위 업무들에 대해서는 L2 대역과 동일한 호환성 분석 방법론을 적용할 수 있다. 단, RNSS가 본래 할당되어 있었던 L2 대역과 다르게 L6 대역은 WRC-03 이후 전파규칙 제5.329 조건과 함께 추가 할당된 이유로, EESS와 SRS와 동일한 지위를 가진다는 차이점이 있다 (ITU 2020c).

2순위 업무인 아마추어 업무는 통신 및 기술 연구 등의 개인적인 목적으로 전파를 이용하여 정보를 주고받는 무선통신 업무를 의미한다 (Ministry of Science and ICT 2022). 아마추어 업무는 전파규칙 제5.282에 따라 타 업무에 유해간섭을 주지 않는 조건으로 운영할 수 있으며, 그 지위가 RNSS 보다 낮다. 하지만, 현재 대한민국 내에서 아마추어 업무가 활발히 사용하고 있다는 점에서 이는 KPS 업무 품질에 대해 잠재적인 저하 요인으로 간주된다. 따라서 이에 대한 호환성 분석이 필요하나, 아마추어 업무는 개인적인 목적의 통신을 위한 업무로 그 특성상 각 무선국에서

송신하는 모든 신호의 특성을 고려하기가 어렵다. 이러한 이유로 아마추어 업무와의 호환성 분석을 수행하는 것에 어려움이 있다.

2.4 L1 대역

L1 대역은 1559-1610 MHz에 해당하며, L5와 동일하게 ARNS와 함께 공유하고 있다 (ITU 2020a). L5 대역과 동일하게 RNSS가 ARNS에 미치는 영향을 분석하는 것이 합당할 수 있으나, L1 대역은 L2 대역과 동일하게 본래 RNSS를 위해 할당된 대역으로 ITU 전파규칙에서는 RNSS와 ARNS 간의 간섭 조정에 관하여 언급하고 있지 않다. L5 대역에서 권고하는 호환성 관련 세부지표를 통해 간섭 평가를 수행할 수 있으나, 명확한 보호 기준이 없으므로 평가에 대한 분석을 수행하는데 어려움이 있다.

2.5 S 대역

S 대역은 2483.5-2500 MHz에 해당하며, RNSS가 할당된 대역과 다르게 지역 구분에 따라 서비스가 할당되어 있다. 한국에 해당하는 제3지역의 S 대역에는 RDSS와 함께 Fixed Service (FS), Mobile Service (MS), Mobile Satellite Service (MSS) 및 RLS가 함께 공유되고 있다 (ITU 2020a). FS는 고정된 무선국 상호 간에 주고받는 무선통신업무로서 방송프로그램 송신용, 이동통신 서비스 제공용 서비스가 대표적인 사례로 구분된다. MS는 이동국과 육상국 간, 이동국 상호 간 또는 이동중계국의 중계에 의한 이들 상호 간의 무선통신업무로서 육상, 해상, 항공 상호 간 정보를 주고받기 위해 운용된다. MSS는 우주국을 이용하여 고정되거나 이동하는 지구국 또는 우주국 상호 간의 우주무선통신업무를 의미하며 S 대역에 위치하는 대표적인 시스템으로 전 세계 사용자를 대상으로 음성 및 데이터 통신 서비스를 제공하는 Globalstar가 있다 (Ministry of Science and ICT 2022).

한편, 전파규칙 제5.401은 S 대역의 MSS와 RDSS가 전파규칙 제9.11A에 따른 조정절차를 수행 해야함을 규정하고 있으며, 조정 수행 시 고려되어야 할 사항을 ITU 전파규칙 제2권 부록 5를 통해 추가로 제공하고 있다. 부록 5에는 S 대역에서 RDSS로부터 RLS를 제외한 지상 시스템을 PFD 세부 지표를 통해 보호하고 있으며, 규제되고 있는 임계값을 초과하지 않을 경우 RDSS의 우주국 송신에 대한 할당 조정이 필요하지 않음을 언급하고 있다. PFD 임계값은 정지궤도와 비정지궤도 위성에 대해 다르게 정의되며, 정지궤도 위성에 대해서는 -152 dBW/m² (in 4 kHz) 또는 -128 dBW/m² (in 1 MHz), 비 정지궤도 위성에 대해서는 -153 dBW/m² (in 4 kHz) 또는 -129 dBW/m² (in 1 MHz)의 값이 적용된다 (ITU 2020b).

3. 호환성 평가를 위한 세부지표

ITU는 시스템 간의 공존을 위해 시스템 간 호환성 분석 방법론을 제공한다. 호환성 분석은 ITU에 의해 제공되는 세부지표 평가 및 평가 결과의 보호 기준 만족 여부를 통해 수행된다. 이번 장에서는 KPS 서비스 대역에서 호환성 분석 시 사용되는 세부지표

Table 3. Protection criteria for the other services in KPS service bands.

Band [MHz]	Service to be protected	Coordination threshold values	Reference
1164-1215	ARNS	AEPFD threshold: -121.5 dB (W/m ²) in 1 MHz (including all systems in L5 band) PFD threshold: -129 in dB (W/m ²) in 1 MHz (by emission from a space station)	ITU 2020c
1215-1300	RDS	INR threshold: -6 dB (in the case of continuous (non-pulsed) single or aggregate interference) PFD threshold: -152 dB (W/m ²) in 4 kHz	ITU 2015
2483.5-2500	All cases except the RLS in the countries listed in No. 5.398A	-128 dB (W/m ²) in 1 MHz (per GSO space station) -153 dB (W/m ²) in 4 kHz -129 dB (W/m ²) in 1 MHz (per Non-GSO space station)	ITU 2020b

에 대해 자세히 서술한다. 단, KPS 서비스 대역 내 RNSS/RDSS와 타 업무 간 규제나 권고 사항이 있는 경우의 호환성 분석만을 고려한다. Table 3은 호환성 분석을 위해 사용되는 세부지표 및 보호기준을 요약하였다.

3.1 PFD, EFPD 및 AEPFD

ITU는 ARNS와 같은 무선국을 지상에서의 혼신으로부터 보호하기 위해 위성으로부터 방사되는 신호에 대한 지표면에서의 PFD를 사용 주파수 또는 상승각에 따라 제한한다. PFD는 지상 수신기와 간섭 위성 간의 일대일 개념의 간섭 평가에 사용되며, EFPD는 지상 수신기와 간섭 위성들 간의 일대다 개념의 간섭 평가에 사용된다. PFD는 위성의 송신 신호가 지표면에서 기준 대역폭에 대해 단위면적 (1 m²)당 미치는 전력속밀도의 세기로서, Eq. (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$PFD = \frac{G_t(\theta)P_T}{4\pi d^2}, [W/(m^2 \cdot MHz)] \quad (1)$$

여기서 $G_t(\theta)$ 는 off-boresight 각에 대한 송신 안테나 이득, d 는 위성과의 수신기 간의 거리 (m), P_T 는 송신 안테나 입력 전력 (W/MHz)이다.

AEPFD는 대역 내 평가에 고려되는 모든 시스템에 의한 EFPD의 합, EFPD는 특정 지점의 지상 수신기에서 관측 가능한 단일 시스템의 모든 위성에 의해 지표면에 생성된 PFD의 합으로 정의되며, Eq. (2)와 같이 정의된다 (ITU 2005, 2007).

$$AEPFD = 10 \log_{10} \left[\max \left(\sum_{k=1}^{N_{sys}} EFPD_{L,l,k} \cdot SAF_{k,f} \right) \right], [dBW/(m^2 \cdot MHz)] \quad (2)$$

with

$$EFPD_{L,l,k} = \sum_{i=1}^{N_{L,l,k}} \frac{P_i}{10} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot \frac{G_r(\varphi_i)}{G_{r,max}} [W/(m^2 \cdot MHz)]$$

$$SAF_{k,f} = \sum_{i=1}^{N_k} G_i(f) / \max_{all f} \sum_{i=1}^{N_k} G_i(f)$$

여기서 N_{sys} 은 RNSS 시스템의 수, $EFPD_{L,l,k}$ 는 위도 L , 경도 l , RNSS 시스템 k 에 따른 최대 EFPD, $SAF_{k,f}$ 는 RNSS 시스템 및 주파수 f 에 따른 주파수 조정 인자, $N_{L,l,k}$ 는 L , l 위치의 수신기에서 보이는 k 시스템 위성 수, P_i 는 i 번째 위성의 기준 주파수 대역폭 당 송신 안테나 입력 전력 (dB(W/MHz)), d_i 는 i 번째 위성과 수신기와의 거리 (m), $G_t(\theta_i)$ 는 i 번째 위성의 off-boresight 각에 따른 송신 안테나 이득, $G_r(\varphi_i)$ 은 i 번째 위성의 고도각에 따른 수신 안테나 이득, $G_{r,max}$ 은 수신 안테나 이득의 최대값, N_k 는 단일 시스템 내 신호 수,

$G_r(f)$ 는 i 번째 신호의 기준 주파수 대역폭 당 전력 스펙트럼 밀도 (W/MHz)이다.

3.2 INR

INR은 L2 및 L6 대역에서 RDS의 레이더 시스템 보호를 위한 세부지표로서, RNSS 시스템에 대해 -6 dB의 보호 기준이 권고되고 있다 (ITU 2015). 해당 지표는 RNSS 시스템과 레이더 시스템 간의 호환성 분석 시 사용될 수 있으며, INR을 구하기 위한 기준 잡음 레벨인 수신기 고유 잡음 N 은 Eq. (3)과 같이 정의된다 (ITU 2018).

$$N = -114 \text{ dBm} + 10 \log B \text{ (MHz)} + NF, \quad (3)$$

여기서 -114 dBm은 상수 값으로 볼츠만 상수와 절대 영도를 고려한 최소 잡음 수준, B 는 레이더 수신기 대역폭, NF 는 수신기 잡음 인자이다. INR 계산을 위한 RNSS으로부터의 간섭 밀도 I 는 Eq. (4)와 같이 정의되며, 수신기에서 수신되는 모든 RNSS 위성의 신호를 고려한 총 간섭 전력을 의미한다 (ITU 2018).

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR, \quad (4)$$

여기서 P_T 는 간섭 시스템의 최대 송신 전력, G_T 는 목적 시스템 방향으로의 간섭 시스템의 송신 안테나 이득, G_R 는 간섭 시스템 방향으로의 목적 시스템의 수신 안테나 이득, L_T 는 송신기 삽입 손실, L_R 는 수신기 삽입 손실, L_P 는 경로 손실, FDR 은 Frequency Dependent Rejection (FDR)로 수신기의 필터 특성에 의해 간섭 신호 스펙트럼 함수가 감쇠 되는 양을 나타내는 지수를 의미한다 (ITU 2008).

단, ITU (2018)에는 일반적으로 다른 서비스로부터 발생하는 신호의 INR이 -6 dB 이하인 경우 레이더 수신기에서 용인 가능하다고 간주되나 레이더 시스템의 특성에 따라 일부 경우에는 적절하지 않을 수 있음을 명시하고 있다.

4. ITU 문서 요약

ITU는 제한된 주파수 자원 내 시스템 간 공존을 위해 4권의 전파규칙 외에도 권고서 및 보고서를 통해 시스템의 기술적 특성, 보호 기준, 호환성 분석 방법론 등에 관해 서술한다. 이때, ITU 전파규칙 안에서 인용된 권고서의 경우에는 전파규칙 제4권에 모두 정리되어 있다 (ITU 2020d). 이번장에서는 ITU 전파규칙에서 정리하고 있는 권고서 외에도 RNSS와 관련된 주요 문서와 RNSS/RDSS가 타 업무에 미치는 간섭 영향을 평가하기 위한 호

Table 4. Summary of ITU documents related to the characteristics and protection criteria of RNSS systems in the KPS service bands.

Type	ITU-R	Summary	Band (s) [MHz]
REC	M.1787	Description of systems and networks in the RNSS and technical characteristics of transmitting space stations operating in the L-bands	1164-1215 1215-1300 1559-1610
REC	M.1901	Guidance on ITU-R Recommendations related to systems and networks in the RNSS operating in 1 & 5 GHz	1164-1215 1215-1300 1559-1610 5000-5030
REC	M.1902	Characteristics and protection criteria for receiving earth stations in the RNSS operating in the L2 and L6-bands.	1215-1300
REC	M.1903	Characteristics and protection criteria for receiving earth stations in the RNSS and receivers in the aeronautical radionavigation service operating in the L1-band.	1559-1610
REC	M.1904	Characteristics, performance requirements and protection criteria for receiving stations of the RNSS operating in the L-bands.	1164-1215 1215-1300 1559-1610
REC	M.1905	Characteristics and protection criteria for receiving earth stations in the RNSS operating in the L6-band.	1164-1215

Table 5. Summary of ITU documents related to the compatibility methodology between RNSS/RDSS and other services in the KPS service bands.

Type	ITU-R	Summary	Band (s) [MHz]
REC	M.1639	Protection criterion for the ARNS with respect to aggregate emission form space station in the RNSS in the L5-band.	1164-1215
REC	M.1642	Methodology for assessing the maximum equivalent power flux density at an ARNS station from all RNSS operating in the L5-band.	1164-1215
REP	M.2284	Compatibility of RNSS systems and radars operating in the L2/L6-bands.	1215-1300
REC	M.1463	Characteristics of and protection criteria for radars operating in the RDS in the 1215-1400 MHz.	1215-1400
REC	M.1461	Guidance and procedures for determining the potential for interference between radars operating in the radiodetermination service and systems in other services.	-
REC	SM.337	Procedure for calculating distance and frequency separations for an acceptable interference level.	-
REC	M.2082	Information on coordination of the fixed service with mobile-satellite and radiodetermination-satellite service systems operating in the S-band.	2483.5-2500

환성 분석 시 사용될 수 있는 주요 문서를 일부 요약한다.

각 표의 1열은 문서 종류, 2열은 문서 번호, 3열은 문서 요약, 4열은 해당 주파수 대역을 의미한다. 문서 종류는 Recommendation (REC), Report (REP)의 표기를 통해 확인할 수 있으며, 각 권고서와 보고서를 의미한다. 문서 번호는 문서 번호 앞의 알파벳을 통해 문서에서 다루는 내용의 범위를 확인할 수 있는데, M의 경우 이동/무선측위/아마추어/위성 업무와 관련된 내용을 다루며, SM의 경우 주파수 관리와 관련된 내용을 다루는 문서이다.

Table 4는 KPS 서비스 대역에서의 RNSS 시스템 특성 및 보호 기준과 관련된 문서를 요약한 것이다. 권고서 ITU-R M.1787은 RNSS의 시스템 및 네트워크에 대한 설명과 L 대역에서 작동하는 RNSS 우주국의 기술적 특성을 제공한다. 권고서 ITU-R M.1901은 1-5 GHz 내 RNSS가 할당된 모든 대역 즉, L 및 C 대역에서 운용되는 RNSS와 관련된 권고서를 요약한 것이다. 권고서 ITU-R M.1902부터 1905는 RNSS 대역에서 작동하는 RNSS 시스템의 수신국에 대한 기술 및 운영 특성, 보호 기준을 제공한다.

Table 5는 RNSS/RDSS가 동일 대역 타 업무에 미치는 영향을 평가할 시 사용될 수 있는 주요 문서를 요약한 것이다. 권고서 ITU-R M.1639와 1642는 L5 대역의 ARNS와의 호환성 평가 시 사용될 수 있는 문서로서, 각 ARNS의 보호 기준과 호환성 평가 방법론을 설명한다. 보고서 ITU-R M.2284와 권고서 ITU-R M.1463, 1461 및 SM.337은 L2/L6 대역에서 RDS 레이더 시스템과의 호환성 평가 시 사용될 수 있는 문서로 호환성 방법론, 보호 기준, 세

부 지표 등을 설명한다. 권고서 ITU-R M.2082는 S 대역에서 운용되는 MSS 및 RDSS 시스템과 FS 간의 조정 정보를 제공한다.

5. 결론

이 논문은 KPS 국제 위성망 등록 시 기술 대응 자료 생성을 위한 기초자료로서, KPS 서비스 대역 내 타 업무 할당 현황, 주요 전파규칙, 타 업무간 호환성 평가 시 사용되는 세부 지표 및 보호 기준, 관련 권고서 및 보고서 조사를 수행하였다.

조사 결과, KPS 서비스 예정 대역 중 L5 대역은 PFD 및 AEPFD에 대한 명시적 규제가 존재함에 따라 간섭 분석이 필요함을 확인하였다. 단, 2022년 기준으로 L5 대역의 AEPFD 값과 규제하는 임계값과의 차이가 0.02 dB로 매우 낮기 때문에 향후 엄격한 분석이 필요할 것으로 예상된다. L2 및 L6 대역의 경우 RNSS보다 RDS의 지위가 높음에 따라 ITU는 RDS의 레이더 시스템의 성능 저하 방지를 위해 -6 dB의 INR을 보호 기준으로 권고하고 있었다. L1 대역의 RNSS는 L5 대역과 동일한 업무를 공유하고 있지만, 두 업무의 지위가 같은 이유로 L5 대역과 같은 엄격한 규제를 명시하고 있지 않았다. S 대역은 RLS를 제외한 지상 시스템 보호를 위해 PFD에 대한 규제가 존재하였지만 규제를 만족할 경우 RDSS의 우주국 송신에 대한 할당 조정이 필요하지 않음을 언급하고 있음을 조사하였다.

단, 이 논문은 국제 주파수 및 업무 할당 현황만을 고려하고 있

으므로 국내 주파수 및 업무 할당 현황 조사가 필요하다. 추가로, 이 논문의 조사 내용을 적용하기 위해서는 각 대역에서 호환성 분석을 위해 고려되는 다양한 시스템에 대한 안테나 이득 패턴, 지상국의 위치 등의 정확한 특성 조사가 필요하다.

국제 위성망 등록은 한정된 위성 궤도 및 주파수 자원의 확보를 위한 업무로써, KPS의 안정적인 서비스 제공을 위해서 필수적이다. 따라서, ITU에서 제공하는 전파규칙을 조사, 체계화 및 분석하고 이에 효율적으로 대응하는 것은 한정된 자원을 확보하는데 있어 매우 중요하다. 이러한 측면에서, 이 논문에서 조사한 ITU 전파규칙 자료는 ITU 대응 기술 자료 생성에 있어 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020R1A2C2013091).

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, Lee, S., Han, K., and Won, J.-H.; validation, Lee, S., Han, K., and Won, J.-H.; investigation, Lee, S. and Han, K.; resources, Won, J.-H.; data curation, Lee, S.; writing—original draft preparation, Lee, S.; writing—review and editing, Won, J.-H.; visualization, Lee, S.; supervision, Won, J.-H.; project administration, Won, J.-H.; funding acquisition, Won, J.-H.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Henri, Y. & Matas, A. 2018, RNSS and the ITU radio regulations, in Proceedings Inside GNSS, Jan. 2018, pp.32-39. <https://insidegnss-com.exactdn.com/wp-content/uploads/2018/04/janfeb18-LAW.pdf>
- ITU, RES-609 CM Decisions and Results [Internet], cited 15 Apr. 2023, available form: <https://www.itu.int/en/ITU-R/space/Pages/RES-609-CM-Decisions-and-Results.aspx>
- ITU 2005, Recommendation ITU-R M.1639-1, Protection criterion for the aeronautical radionavigation service with respect to aggregate emissions from space stations in the radionavigation-satellite service in the band 1164-1215MHz, International Telecommunication Union.
- ITU 2007, Recommendation ITU-R M.1642-2, Methodology for assessing the maximum aggregate equivalent power flux-density at an aeronautical radionavigation service station from all radionavigation-satellite service systems operating in the 1164-1215 MHz band, International Telecommunication Union.
- ITU 2008, Recommendation ITU-R SM.337-6, Frequency and distance separations, International Telecommunication Union.
- ITU 2015, Recommendation ITU-R M. 1463-3, Characteristics of and protection criteria for radars operating in the radiodetermination service in the frequency band 1215-1400 MHz, International Telecommunication Union.
- ITU 2018, Recommendation ITU-R M. 1461-2, Procedures for determining the potential for interference between radars operating in the radiodetermination service and systems in other services, International Telecommunication Union.
- ITU 2020a, Radio Regulations, Articles, International Telecommunication Union.
- ITU 2020b, Radio Regulations, Appendices, International Telecommunication Union.
- ITU 2020c, Radio Regulations, Resolution and Recommendations, International Telecommunication Union.
- ITU 2020d, Radio Regulations, ITU-R Recommendations incorporated by reference, International Telecommunication Union.
- Kim, T. 2021, Korean Positioning System (KPS) and Korean Augmentation Satellite System (KASS) Update, in Proceedings of the Fifteenth Meeting of the International Committee on Global Navigation Satellite Systems (ICG-15), Vienna, Austria, 27 September–1 October 2021.
- Korea Aerospace Research Institute, Satellite Navigation System More accurately [Internet], cited 2023 Jan. 2, available from: https://www.kari.re.kr/eng/sub03_08_01.do
- Lee, S., Han, K., Joo, J., & Won, J.-H. 2021, Investigation on ITU Regulation for KPS Satellite Network Registration, in Proceedings of 2021 IPNT Conference, Gangneung, Korea, 3-5 Nov. 2021, pp.171-174. <http://ipnt.or.kr/2021proc/3>
- Lee, S., Han, K., & Won, J.-H. 2022, A Study on the Assessment Methodology for Compliance with the Protection Criteria of KPS L6 Band, in Proceedings of 2022 IPNT Conference, Gangneung, Korea, 2-4 Nov. 2022, pp.11-14. <http://ipnt.or.kr/2022proc/7>
- Ministry of Science and ICT, Radio station work and type manual [Internet], cited 11 Sep. 2022, available from: <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&bbsSeqNo=69&nttSeqNo=2810332>

Mitome, T. & Hayes, D. 2014, International committee on GNSS (ICG) Working Group A Compatibility Sub Group Report, in 9th meeting of International Committee on GNSS (ICG), Prague, Czech Republic, 10-14 Nov. 2014. <https://www.unoosa.org/pdf/icg/2014/wg/wga2.4.pdf>

Sin, C. S. 2020, Analysis of Satellite Network Registration Procedure for KPS Construction, in Proceedings of 2020 IPNT Conference, Yeosu, Korea, 11-13 Nov. 2020, pp.39-42. <http://ipnt.or.kr/2020proc/112>



Subin Lee is a Ph.D. student of the Autonomous Navigation Laboratory at Inha University, South Korea. She received B.S. and M.S. degrees from the same university in 2020 and 2022. Her research interest is GNSS signal design.



Kahee Han is a researcher at Electronics and Telecommunications Research Institute. She received Ph.D. degree in the Department of Electrical and Computer Engineering from Inha University, South Korea, in 2023. Recently, she is involved in Korean Positioning System (KPS) Development Project.



Jong-Hoon Won received the Ph.D. degree in the Department of Control Engineering from Ajou University, Korea, in 2005. After then, he had worked with the Institute of Space Application at University Federal Armed Forces (UFAF) Munich, Germany. He was nominated as Head of GNSS Laboratory in 2011 at the same institute, and involved in lectures on advanced receiver technology at Technical University of Munich (TUM) since 2009. He is currently an associate professor of the Department of Electrical Engineering at Inha University. His research interests include GNSS signal design, receiver, navigation, target tracking systems and self-driving cars.