

발 간 등 록 번 호

11-1721137-100022-01

레이다 분야 전문지원 체계 운영 결과 보고서

2025. 12.



국립전파연구원

National Radio Research Agency

레이다 분야 전문지원 체계 운영 결과 보고서

2025. 12.



국립전파연구원

National Radio Research Agency

제 출 문

본 보고서를 「전파자원 기술기준 선도 기반 조성에 관한 연구」 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2025. 12. 10.

연구책임자 : 장 건 호(한국전파진흥협회)

연구 원 : 민 석 환(한국전파진흥협회)

고 윤 정(한국전파진흥협회)

박 세 호(한국전파진흥협회)

임 재 훈(한국전파진흥협회)

진 용 화(한국전파진흥협회)

진 동 수(한국전파진흥협회)

김 노 경(한국전파진흥협회)

엄 호 경(한국전파진흥협회)

김 예 나(한국전파진흥협회)

서 용 훈(한국전파진흥협회)

지 민 구(한국전파진흥협회)

김 재 은(한국전파진흥협회)

조 성 민(한국전파진흥협회)

요 약 문

본 연구는 국내 및 주요 해외 국가(미국, 유럽, 일본)의 레이더(RADAR) 관련 기술기준 및 규정을 종합적으로 조사·분석하여, 레이더 시스템 개발, 운용, 인증에 필요한 기술적 요구사항을 명확히 이해하고, 향후 국내 레이더 기술기준의 국제 조화 및 합리적인 개선 방향을 모색하는 데 그 목적이 있다. 특히, 주파수 대역, 출력 제한, 불요 발사 등 핵심 기술 기준을 비교·검토하여 국내외 기술기준 간의 차이점과 시사점을 도출하였다.

레이더 기술기준은 레이더 무선국의 주파수 이용에 있어서 타 무선국과 주파수 간섭을 최소화 하면서 주파수 이용 효율을 최대화 하기 위해 필요하다. 현재 국내 공공 레이더의 주파수 이용 상황에 맞는 레이더 기술기준이 마련 중에 있다. 본 연구의 목적은 국내에서 운영 중인 각종 레이더의 구축 및 활용을 위한 기술조건을 마련하기 위한 선행 단계로서, 국내외 레이더 기술기준을 분석하여 레이더 무선국을 주파수 대역과 출력 등의 기술기준을 정립하고자 한다.

현대의 레이더 시스템은 군사 및 해상 항해를 넘어 자율주행, 드론 탐지/회피, 기상 관측, 재난 안전 등 다양한 산업 분야로 그 활용 범위를 급격히 확장하고 있다. 이러한 기술 및 시장의 변화에 맞춰, 국내 레이더 기술기준은 단순히 전파 간섭 방지라는 소극적인 목적을 넘어, 주파수 자원의 효율적 활용과 국내 산업의 혁신 성장을 지원하는 방향으로 재정립될 필요가 있다.

국내 레이더 기술기준의 필요성은 기술적 다양성, 주파수 공동 사용, 국제 표준 조화라는 세 가지 핵심 축을 중심으로 논의될 수 있다. 특히, 기존의 펄스(Pulse) 및 출력관(Tube) 방식에서 벗어나 비펄스(Non-Pulse) 방식과 SSPA(Solid State Power Amplifier) 기반의 신형 레이더가 대거 등장함에 따라, 이들 장비의 스펙트럼 효율성과 불요 발사 특성을 정확히 반영하는 새로운 기준이 시급히 요구된다.

국내 레이더 기술기준은 현재의 기술 발전 속도와 미래 산업 수요를 반영하여 대폭 정비되어야 한다. 이는 단순히 규제를 강화하는 것이 아니라, 다양한 레이더 방식을 수용하고, 주파수 공동 사용 환경을 조성하며, 국제적 기술 동향과 발을 맞추으로써 국내 레이더 산업의 기술 혁신과 시장 확대를 위한 필수적인 인프라를 구축하는 행위이다.

신호 파형, 증폭 방식의 특성을 고려한 세분화된 출력 및 불요 발사 기준을

마련하는 것이 국내 레이더 기술기준 재정립의 핵심 과제이며, 이를 통해 레이더와 통신 시스템이 공존하는 미래 전파 환경을 성공적으로 구축할 수 있을 것이다.

목 차

제1장 서론	7
제1절 연구 목적	7
제2절 주요 내용 요약	7
제3절 용어 정의	8
제4절 약어	9
제2장 국내 레이더 기술기준	10
제1절 선박국용 레이더 기술기준	10
제2절 드론탐지레이더 기술기준	12
제3절 국내 레이더 기술기준 관련 주요 연구	14
제3장 국외 레이더 기술기준	18
제1절 미국의 레이더 기술기준 현황	18
제2절 유럽의 레이더 기술기준 현황	29
제3절 일본의 레이더 기술기준 현황	44
제4장 결론	55
[참고문헌]	59

표 목 차

표 1. 선박국용 레이더 수신기 및 탐지 성능 지표	12
표 2. 드론탐지레이더 주파수 이용 가이드라인	14
표 3. 공공용 레이더 분류 기준	17
표 4. RSEC의 적용 (NTIA Red Book)	20
표 5. ETSI 기상레이더 기술기준	37
표 6. ETSI 1차 감시레이더(PSR) 기술기준	42
표 7. 미국의 RSEC 및 유럽의 ETSI EN 303 135의 기술기준 비교 (해양레이더)	43
표 8. 일본 전파법 체계	45
표 9. 일본 항공 레이더 및 해상 레이더 기술기준 비교	50
표 10. 일본 기상레이더 주파수 현황	52
표 11. 일본 기상레이더 기술기준	54

그 립 목 차

그림 1. 공공용 레이더 이용현황 분석	16
그림 2. NTIA 조직 및 NTIA ‘Red Book(2021)’	18
그림 3. RSEC 방사 마스크 (NTIA Red Book)	21
그림 4. 레이더 펄스 파형의 시간 특성	23
그림 5. 최대 전력이 1W 초과하는 레이더의 RSEC A 마스크	24
그림 6. 최대 전력이 1W 이하인 레이더의 RSEC A 마스크	25
그림 7. 449 MHz에서 WPR의 방사 대역폭 및 방사 레벨	28
그림 8. 유럽 ETSI 레이더 기술 관련 매뉴얼 (EN 303 시리즈)	30
그림 9. 다양한 선박용 레이더	31
그림 10. S-Band 강우레이더 (소백산 강우레이더(환경부))	33
그림 11. C-Band 기상레이더 (에스토니아 환경청(Vaisala사))	34
그림 12. X-Band 소형 기상레이더 (기상청)	36
그림 13. L-대역 1차 감시레이더 (PSR, ATCR-44S(Leonardo사))	39
그림 14. S-대역 1차 감시레이더 (PSR, 인천국제공항)	40
그림 15. X-대역 1차 감시레이더 (PSR, SCANTER 4002(Terma사))	41

제1장 서론

제1절 연구 목적

본 연구는 국내 및 주요 해외 국가(미국, 유럽, 일본)의 레이더(RADAR) 관련 기술기준 및 규정을 종합적으로 조사·분석하여, 레이더 시스템 개발, 운용, 인증에 필요한 기술적 요구사항을 명확히 이해하고, 향후 국내 레이더 기술기준의 국제 조화 및 합리적인 개선 방향을 모색하는 데 그 목적이 있다. 특히, 주파수 대역, 출력 제한, 불요 발사 등 핵심 기술 기준을 비교·검토하여 국내외 기술기준 간의 차이점과 시사점을 도출하는 데 중점을 둔다.

레이더 기술기준은 레이더 무선국의 주파수 이용에 있어서 타 무선국과 주파수 간섭을 최소화 하면서 주파수 이용 효율을 최대화 하기 위해 필요하다. 현재 국내 민간 서비스용 공공 레이더의 주파수 이용 상황에 맞는 한국형 레이더 스펙트럼 엔지니어링 기술조건을 개발 중이다. 이 표준의 목적은 한국형 레이더 스펙트럼 엔지니어링 기술조건을 마련하기 위한 선행 단계로서, 국내 민간 서비스용 공공 레이더 이용 현황을 분석하여 레이더 무선국을 주파수 대역과 출력 등의 기준으로 분류하고자 한다.

제2절 주요 내용 요약

1. 국내 기술기준

선박국용 레이더와 최근 중요성이 부각된 드론탐지레이더를 중심으로 관련 법규(해상업무용, 간이무선국 등)의 주요 주파수, 출력, 성능 요구사항을 분석한다.

2. 국외 기술기준

미국(NTIA/RSEC), 유럽(ETSI), 일본(MIC)의 항공, 해양, 기상 등 주요 레이더 분야별 기술기준을 조사하고, 특히 불요 발사 관련 규정 및 시험 표준을 상세히 비교한다.

3. 적용사항 검토

국내외 기술기준에서 공통적으로 다루는 주파수 범위, 출력 제한, 신호 파형(펄스/비펄스), 증폭 방식(SSPA/출력관) 등의 관점에서 국내 기술기준의 현황을 검토하고 개선 방향을 제시한다.

제3절 용어 정의

레이다 기술기준에서 전파 스펙트럼의 효율적 사용과 무선 통신 서비스 간의 상호 간섭 방지를 위해 중요한 핵심 용어는 다음과 같다.

1. 필요주파수대역폭 (Necessary Bandwidth)

주어진 발사종별의 전파에 대하여 특정한 조건하에서 사용되는 통신방식에 필요한 전송 속도와 품질로 정보를 전송하는데 충분한 주파수대역폭을 말한다.

2. 불요발사 (Unwanted Emission)

레이다 시스템의 정상적인 동작에 의해 발생하는 필요주파수대역폭 외의 모든 주파수 발사를 통칭하며, 대역외발사 및 스퓨리어스 발사를 말한다.

3. 대역외발사 (Out-of-Band Emission, OOB)

필요주파수대역폭 바로 바깥쪽의 주파수 범위로서 대역외발사가 우세한 영역을 말한다.

4. 스퓨리어스 발사 (Spurious Emission, SE)

필요주파수대역폭 바깥쪽에 위치한 하나 이상의 주파수에서 발생하는 발사(대역외 발사는 제외한다)로서 정보전송에 영향을 미치지 아니하고 그 강도를 저감시킬 수 있는 것으로 고조파발사, 기생발사, 상호변조 및 주파수 변환 등에 의한 발사를 포함한 발사를 말한다.

5. 대역외영역 (Out-of-Band Region)

불요 발사 중 대역외 발사가 규정되는 주파수 영역으로, 일반적으로 필요주파수대역폭 바로 바깥쪽의 주파수 범위로서 대역외발사가 우세한 영역을 말한다.

6. 스퓨리어스 영역 (Spurious Region)

불요 발사 중 스퓨리어스 발사가 규정되는 주파수 영역으로, 대역외영역 바깥의 주파수 범위로서 스퓨리어스 발사가 우세한 영역을 말한다.

[출처] 무선설비규칙, 과학기술정보통신부령 제86호, 2022

제4절 약어

ASDE	Airport Surface Detection Equipment
ATC	Air Traffic Contro
CS	Coastal Surveillance
CW	Continuous Wave
ECC	Electronic Communications Committee
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave
HR	Harbour Radar
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITU	International Telecommunication Union
LFM	Linear Frequency Modulation
MWT	MicroWave Tube
NLFM	Non-Linear Frequency Modulation
NTIA	National Telecommunication And Information Administration
OOB	Out-of-Band
PEP	Peak Envelope Power
PSR	Primary Surveillance Radar
RSEC	Radar Spectrum Engineering Criteria
SSPA	Solid State Power Amplifier
UAM	Urban Air Mobility
VTs	Vessel Traffic Service
WPR	Wind Profiler Radar

제2장 국내 레이다 기술기준

국내에서는 항공, 해양, 기상 등 다양한 분야에서 레이다를 활용하고 있다. 하지만 해양 및 드론 분야를 제외하면 관련 기술기준은 아직 정립 단계에 머물러 있다. 이에 본 장에서는 국내 레이다 기술기준이 명시된 ‘선박국용 레이다 기술기준’과 ‘드론탐지레이다 기술기준’을 중심으로 살펴보고, 이와 관련된 주요 연구 내용을 기술하였다.

제1절 선박국용 레이다 기술기준

1. 해상업무용 무선설비의 기술기준 [시행 2025. 6. 23.]

국내 해상업무용 레이다 기술기준은 해상 선박의 안전 확보와 원활한 항해 지원을 목적으로 제정되었으며, 2025년 6월 23일자로 시행되었다. 해당 기준은 국제적 정합성을 확보하기 위해 국제해사기구(IMO)의 성능 표준과 국제전기통신연합 전파통신부문(ITU-R)의 권고 사항을 충실히 수용하여 국내 운용 환경에 적용하고 있다.

본 기술기준의 적용 범위는 선박에 탑재되는 항해용 레이다(Navigation Radar)를 비롯하여, 연안 안전을 담당하는 선박교통관제(VTS) 레이다 등을 포괄한다. 세부적인 기술적 요구사항은 다음과 같다.

첫째, 사용 주파수 대역은 국제 규정에 따라 주로 X-대역(9.2 GHz ~ 9.5 GHz) 및 S-대역(2.9 GHz ~ 3.1 GHz)으로 제한하여 운용한다.

둘째, 송신 출력 및 불요 발사에 관한 규정이다. 레이다의 종별 및 운용 목적에 따라 마그네트론 펄스 출력 등의 최대 첨두 출력(Peak Power)을 규정하고 있으며, 인접 채널 및 스푸리어스(Spurious) 영역에서의 최대 허용 전력 기준을 엄격히 제한하고 있다. 이는 타 통신 설비와의 전파 간섭을 최소화하여 항해 안전성을 높이기 위함이다.

셋째, 운용 성능 요구사항이다. 레이다의 핵심 기능인 탐지 거리, 방위 및 거리 분해능, 위치 정확도 등에 대한 구체적인 수치를 제시한다. 특히 VTS 레이다의 경우, 고도의 해상도와 정확도가 요구되므로 특정 기상 및 해상 조건 하에서도 설계된 탐지 성능을 유지해야 한다는 기준을 명시하고 있다.

해상업무용 무선설비의 기술기준에서 주파수 운용 및 스펙트럼 마스크 규격은 전파 자원의 효율적 이용과 상호 간섭 방지를 위해 다음과 같이 엄격한 주파수 범위를 지정하고 있다.

- X-band (9,300 ~ 9,500 MHz): 주로 근거리에서의 고해상도 타겟 탐지 및 정밀 항로 식별을 위해 사용된다. 기상 악화 시 감쇄율은 S-band 보다 높으나, 안테나 크기를 소형화할 수 있어 중소형 선박까지 폭넓게 적용된다.
- S-band (2,900 ~ 3,100 MHz): 파장이 길어 강우나 안개 등 기상 클러터(Clutter) 투과력이 우수하다. 대형 선박의 원거리 탐지용으로 필수적이다.
- 불요 발사(Unwanted Emissions) 제한: ITU-R SM.1541 권고안에 따라, 레이다 송신기의 대역외 발사 및 스퓨리어스 영역에서의 감쇄 규격을 준수해야 한다. 이는 인접한 해상 통신 및 위성 수신기에 미치는 전파 간섭을 억제하기 위한 핵심 지표이다.

송신 장치 및 신호 파형 특성은 전통적인 마그네트론(Magnetron) 방식과 최신 고체 소자(Solid-state) 방식의 기술기준이 다음과 같이 병행하여 적용된다.

- 첨두 출력(Peak Power): 선박의 크기와 용도에 따라 수 kW에서 수십 kW 범위를 가진다. 마그네트론 방식은 높은 첨두 출력을 요구하며, 고체소자 방식은 낮은 출력 대신 펄스 압축(Pulse Compression) 기술을 통해 동등한 탐지 거리를 확보해야 한다.
- 점유 주파수 대역폭: 펄스 폭(τ)과 상승 시간(t_r)에 의해 결정되며, 기준치 내에서 안정적인 신호 순도를 유지해야 한다.

수신기 및 탐지 성능 요구사항은 항해 안전을 위한 최소 성능 지표(Minimum Performance Standards)는 다음과 같이 규정된다.

표 1. 선박국용 레이더 수신기 및 탐지 성능 지표

항목	세부 기준 및 요구사항
탐지 성능	수평선 내의 소형 선박(0.5 m^2 RCS) 및 부표 등에 대한 최소 탐지 거리 보장
거리 분해능	인접한 두 타겟을 개별 객체로 분리할 수 있는 능력 (일반적으로 40m 이내)
방위 정확도	안테나 빔폭 및 서보 제어 정밀도에 따른 방위 측정 오차 (1° 이내 권장)
간섭 억제	타 선박 레이더의 펄스 간섭을 제거하기 위한 IR(Interference Rejection) 기능 필수 탑재

선박교통관제(VTS) 레이더는 일반 항해용보다 엄격한 성능 기준이 적용된다. 연안의 복잡한 지형과 밀집된 선박 환경을 감시해야 하므로, 해상도(Resolution)와 데이터 갱신율(Update Rate)에 대한 추가 기준이 명시되어 있다. 특히 육상 관제 센터와의 연동을 위해 데이터 프로토콜(예: ASTERIX 등)의 호환성 또한 기술기준의 범주 내에서 다루어진다.

제2절 드론탐지레이더 기술기준

1. 간이무선국·우주국·지구국의 무선설비 및 전파탐지용 무선설비 등 그 밖의 업무용 무선설비의 기술기준 [시행 2025. 5. 26.]

국가 안보 및 핵심 시설 보호를 위해 그 중요성이 대두되고 있는 드론탐지레이더는 저고도 비행 물체에 대한 감시 및 식별을 목적으로 하며, 국내에서는 '간이무선국·우주국·지구국의 무선설비 및 전파탐지용 무선설비 등 그 밖의 업무용 무선설비의 기술기준(2025. 5. 26. 시행)'에 따라 관리된다. 이는 불법 드론에 의한 테러 및 사생활 침해를 방지하기 위한 법적 장치로서, 전파 탐지용 무선설비의 안정적인 운용 환경 조성을 목적으로 한다.

본 기술기준에서 드론탐지레이더는 공중의 대상물에 전파를 방사하고, 그 반사 신호를 수신·분석하여 표적의 거리, 방향, 고도 및 속도 등의 정보를 획득하는 무선설비로 정의된다. 적용 범위는 중요 국가 시설(공항, 원전 등) 및 군사 시설의 보호를 위해 설치되는 고정형 및 이동형 전파탐지 설비를 모두 포함한다.

주파수 대역 및 공유 기술과 관련하여 드론탐지레이다는 탐지 정밀도와 거리 특성에 따라 다양한 대역을 활용하며, 타 서비스와의 공존을 위한 간섭 완화 기술이 요구된다.

- S-대역 (2 ~ 4 GHz) : 광역 탐지에 유리하며 기상 클러터에 강인함
- C-대역 (4 ~ 8 GHz) : 중거리 탐지 및 정밀도의 균형이 우수함
- X-대역 (8 ~ 12 GHz) : 고해상도 구현이 가능하여 소형 드론(RCS 미세 표적)의 정밀 식별에 최적화됨
- 주파수 공동 사용 : 기존 통신망(5G, 위성 등)과의 간섭을 방지하기 위해 주파수 호핑(Hopping) 기술 및 점유 대역폭 제한 규정이 적용됨

또한 도심 및 밀집 지역에서의 운용이 잦은 드론탐지레이다의 특성을 고려하여, 인체 유해성 예방 및 전파 간섭 최소화를 위해 EIRP(Effective Isotropic Radiated Power)를 엄격히 규정한다.

- 최대 허용 출력 : 안테나 이득과 송신 출력을 결합한 실효 복사 전력을 기준으로 하며, 설치 장소와 주변 전파 환경에 따라 차등적인 제한치를 적용한다.
- 간섭 억제 : 불필요한 전력 방사 방지를 위해 수직/수평 빔 패턴의 제어 능력을 요구한다.

대역폭 및 불요 발사(Unwanted Emissions) 규격은 주파수 효율성을 극대화하고 인접 대역의 무선 기기를 보호하기 위해 다음과 같은 기준을 준수해야 한다.

- 점유주파수대역폭 : 신호 전력의 99%가 집중되는 대역폭을 설계치 이내로 관리하여 인접 채널 누설 전력(ACLR)을 최소화한다.
- 스퓨리어스 영역 : 고조파(Harmonics) 및 기생 진동에 의한 불요 발사를 ITU-R SM.329 권고치 이하로 억제하여, 초정밀 수신기의 감도 저하를 방지한다.

드론탐지레이다는 일반적인 레이다와 달리 RCS(Radar Cross Section)가 매우 작은(약 0.01 m^2 이하) 표적을 탐지해야 하므로 다음과 같은 성능 기준이 요구된다.

- 저고도 탐지능 : 지면 클러터 제거 및 저고도 비행 표적의 추적 정확도 보장
- 동시 표적 추적 : 다수의 드론이 군집 비행하는 상황에서의 개별 표적 분리 및 식별 능력
- 신호 처리 : 미세 도플러(Micro-Doppler) 분석을 통한 조류와 드론의 식별 기능 권고

표 2. 드론탐지레이다 주파수 이용 가이드라인

일련 번호	주파수	무선국종별 안테나 공급 번력	안테나 절대 이득	사용 지역	사용자
1	8.5~8.6GHz	무선탐지육상국 : 200W이하(Pulse방식) (첨두)	23dBi이하	전국	국가기관 지방자치단체 공공기관
		무선탐지육상국 : 40W이하(FMCW방식) (평균)	26dBi이하		
2	15.7~17.2GHz	무선탐지육상국, 무선탐지이동국 : 40W이하(FMCW방식) (평균)	29dBi이하		국가기관 지방자치단체 공공기관 법인

제3절 국내 레이다 기술기준 관련 주요 연구

1. 레이다 주파수 이용 효율화를 위한 핵심기술 연구 (한국전자통신연구원, 2025)

레이다 스펙트럼 엔지니어링 기술 조건은 레이다의 주파수 이용에 있어서 다른 레이다 또는 무선국과 주파수 간섭을 최소화하면서 주파수 이용 효율을 최대화하기 위하여 필요하다. 한국형 레이다 스펙트럼 엔지니어링 기술 조건을 마련하기 위해 국내 민간 서비스용 공공 레이다 이용 현황을 분석하여 레이다 무선국을 주파수 대역과 출력 범위 등의 기준으로 분류하였다.

관련 연구에서 제안하는 공공 레이다 분류 기준은 국내 공공 레이다가 점유하는 전 대역을 포괄하며, ITU 및 IEEE의 표준 규격과 대한민국 주파수 분배표를 근거로 수립되었다. 주파수 대역 구분은 ITU의 기준을 준수하되, 전파 특성에 따른 세부 분류는 IEEE Std 521TM-2002의 표준 문자 지정 규정을 준용하였다.

정부는 민간 서비스 분야의 공공용 레이다 주파수 이용 효율을 극대화하기 위해 연차별로 세부 가이드라인을 수립하여 시행하고 있다. 2021년 「드론 탐지 레이다」를 시작으로, 2022년에는 「S대역 기상·강우 레이다」 및 「X대역 해상 감시 레이다」 공동 사용 가이드라인을 마련하였다. 이어 2023년에는 「2 GHz 대역 공항 1차 감시 레이다」와 「9 GHz 대역 기상·강우 레이다」 가이드라인을 발표하였으며, 최근에는 미래 모빌리티 대응을

위한 「UAM용 레이더 주파수 이용 가이드라인」을 수립 중이다.

각 가이드라인별 세부 기술 규격은 다음과 같다.

드론 탐지 레이더는 8.5 GHz 및 15 GHz 대역에서 파형에 따라 40~200 W 출력을 허용하며, S대역 기상·강우 레이더는 2.7~2.9 GHz 대역에서 최대 850 kW의 고출력(전파형식 5M00P0N) 운용이 가능하다. X대역 해상 감시 레이더의 경우 증폭 방식에 따라 규격이 상이한데, 마그네트론 방식은 25~50 kW(P0N), 반도체 소자(Solid-state) 방식은 400 W 이하(Q(1,3)N)로 제한된다. 또한 공항 1차 감시 레이더는 2.7~2.9 GHz 대역에서 50 kW 이하의 출력을, 9 GHz 대역 기상 레이더는 9.3~9.5 GHz 대역에서 1 kW 이하의 출력을 기준으로 한다.

관련 연구에서는 이러한 정부 가이드라인의 주파수 및 출력 특성을 분석하여 유사성을 가진 설비들을 그룹화하였다. 출력 특성이 상대적으로 낮은 드론 탐지 및 X대역 해상 감시 레이더를 하나의 그룹으로 분류하였으며, 고출력 및 유사 대역을 점유하는 S대역 기상·강우 레이더와 공항 1차 감시 레이더를 별도의 그룹으로 편성하여 효율적인 관리 체계를 도출하였다.

국내 공공용 레이더의 출력 범위는 증폭 방식과 운용 대역에 따라 뚜렷한 차이를 보인다.

첫째, MWT(Microwave Tube) 증폭 방식의 경우, 2.7~2.9 GHz 대역의 기상 레이더가 최대 850 kW의 초고출력 사양을 갖추고 있다. 그 외 MWT 계열 레이더는 출력 규모에 따라 1 kW 초과 250 kW 이하의 중고출력군과 1 kW 이하의 저출력 펄스 레이더로 분류된다.

둘째, 반도체 소자(Solid-state) 증폭 방식 레이더에서는 2.7~2.9 GHz 대역의 공항 레이더가 최대 24 kW의 출력을 기록하며 해당 방식 중 가장 높은 출력을 나타냈다. 이를 제외한 반도체 소자 방식은 신호 형태에 따라 두 가지로 구분된다. 펄스 신호의 경우 100 W를 기준으로 중출력(100 W ~ 1 kW)과 저출력(100 W 이하)으로 나뉘며, 비펄스(Non-pulse) 신호의 경우 10 W 이하의 저출력군과 10 ~ 200 W 사이의 출력군이 존재함을 확인하였다.

레이더의 신호 파형은 물리적 특성에 따라 크게 펄스(Pulse) 및 비펄스(Non-pulse) 파형으로 대별된다.

첫째, 펄스 신호 파형은 Pulse-CW, Pulse-LFM(Linear Frequency Modulation), Pulse-NLFM 등으로 구성된다. 이는 전파 형식상 P0N(Pulse-CW) 또는 Q(1,3)N(변조 펄스)으로 명시되며, 복합적인 변조 방식에 따라 W3W 또는 V(1,3)N 등으로 정의된다.

둘째, 비펄스 신호 파형은 지속파인 CW(Continuous Wave)와 주파수 변

조 지속파인 FMCW가 주를 이룬다. 전파 형식으로는 각각 N0N과 F3N, F1D 등으로 표기된다. 본 연구의 민간 공공용 레이다 분류 기준에서는 기술적 범용성을 고려하여 신호 파형을 펄스와 비펄스 두 가지 범주로 체계화하였다.

현재 국내 민간 서비스용 공공 레이다는 해상·항공·기상 업무를 목적으로 HF 대역부터 K 대역까지 폭넓게 운용되고 있으며, 본고에서는 이를 출력 범위에 따라 ‘그룹 1’과 ‘그룹 2’로 분류하였다. 또한 L/S/X 대역에 집중된 공공용 레이다는 국내 주파수 분배표에 근거하여 ‘그룹 3’ 및 ‘그룹 4’로 구분함으로써 관리 효율성을 제고하고자 한다. 세부적으로 2.7~2.9 GHz 대역은 기상 및 항공용으로, 5.47~5.65 GHz 대역은 기상용으로 주로 사용된다. 아울러 430~440 MHz 및 1.26~1.3 GHz 대역은 기상 업무의 연직 바람 관측 레이다가 점유하고 있다. 그림 1과 표 4는 국내 공공용 레이다의 증폭 기술 및 신호 파형에 따른 주파수와 출력의 상관관계를 분석한 결과이다.

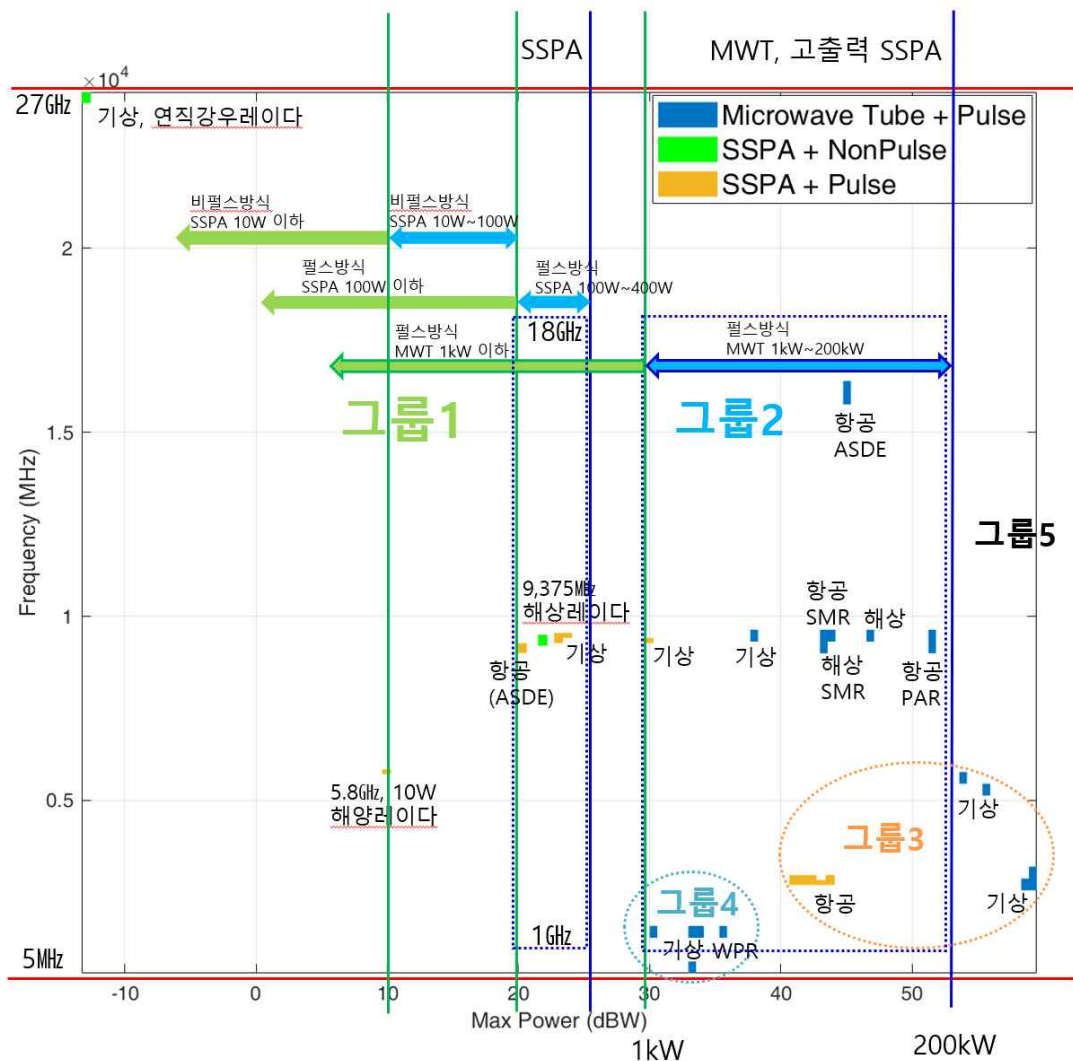


그림 1. 공공용 레이다 이용현황 분석

표 3. 공공용 레이더 분류 기준

그룹	주파수 대역	신호파형	증폭방식	출력	비고
1	3 MHz~27 GHz (HF~K)	비펄스	SSPA	10 W 이하	민간 서비스용 공공 레이더 주파수 펄스 (그룹2,3,4 제외)
		펄스	MWT	1k W 이하	
			SSPA	100 W 이하	
2	1~18 GHz (L~Ku)	비펄스	SSPA	10 W~200 W	고출력 MWT/SSPA (그룹3,4 제외)
		펄스	MWT	1 kW~250 kW	
			SSPA	100 W~1 kW	
3	2.7~2.9 GHz 5.47~5.65 GHz	펄스	MWT	-	PSR과 기상레이더 사용 고출력 MWT/SSPA
			SSPA		
4	430 MHz~440 MHz 1.26~1.3 GHz	비펄스	-	-	연직바람관측레이더 국내는 437.5MHz, 1.29 GHz사용
		펄스			
5	3 MHz~27 GHz (HF~K)	비펄스	-	-	그룹1~4 이외
		펄스			

제3장 국외 레이다 기술기준

제1절 미국의 레이다 기술기준 현황

1. NTIA 레이다 기술 기준 개요

NTIA (National Telecommunications and Information Administration)는 미국 정부 기관의 주파수 사용을 관리하며, FCC (Federal Communications Commission)는 민간 부문의 주파수 사용을 관리한다. 레이다 시스템은 군용, 정부용, 민간용 등 다양한 용도로 사용되므로 이 두 기관의 규제를 모두 고려해야 한다. 정부 레이다에 대한 기준은 NTIA의 'Red Book(Manual of Regulations and Procedures for Federal Radio Frequency Management)'에 명시된다.

NTIA Manual

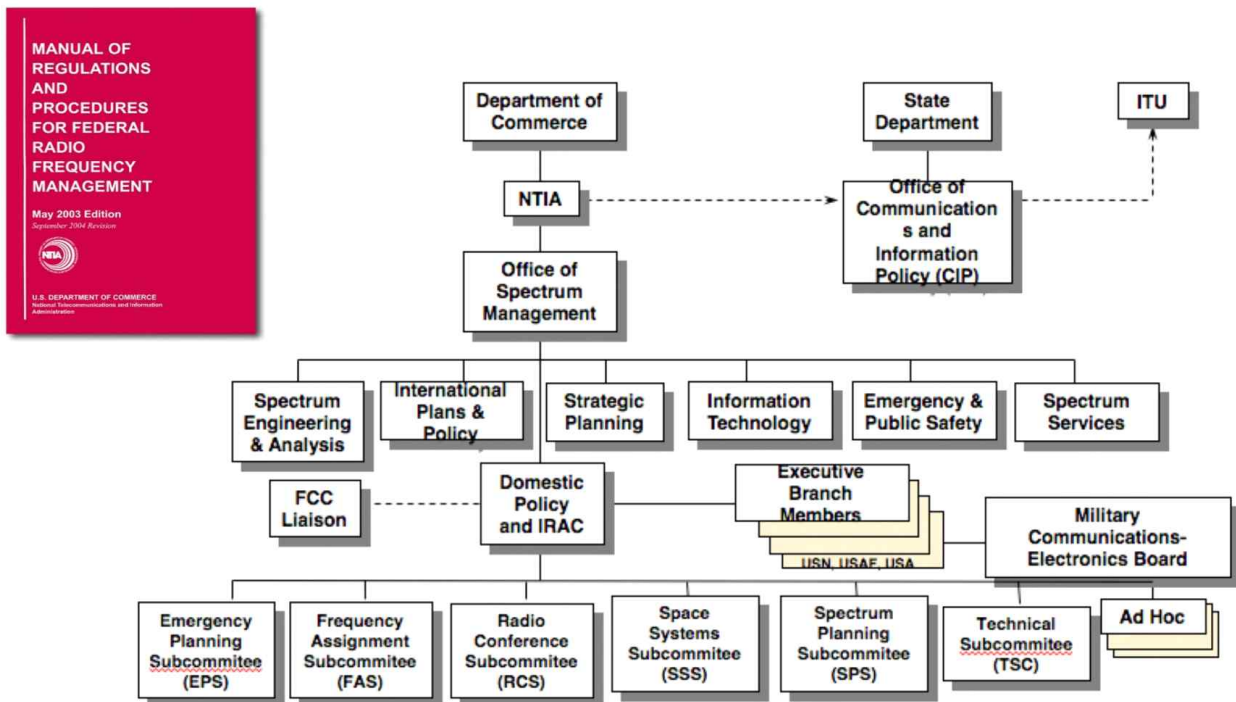


그림 2. NTIA 조직 및 NTIA 'Red Book(2021)'

2. NTIA의 레이다 기술 기준

레이더의 광범위한 응용은 전자기 스펙트럼에 대한 큰 요구를 발생시키며, 관련된 장비와 시스템에 대한 효과적인 주파수 관리 조치의 적용을 필요로 한다. 여기에 명시된 특정 장비 특성에 대한 기준은 레이더 시스템 간, 그리고 주파수 스펙트럼을 공유하는 다른 무선 서비스의 시스템 간에 허용 가능한 수준의 전자기 호환성을 보장하기 위해 명시되었다.

기관들은 일반적으로 NTIA가 레이더 시스템에 대한 시스템 검토를 수행하여, 해당 시스템이 이 섹션에 포함된 NTIA RSEC 표준 및 기준을 준수하는지 확인하기 위해 EL-CID를 통해 NTIA에 필요한 레이더 시스템 정보를 제출한다.

이 기준과 그 표준은 NTIA와 연방 기관들이 무선측정 서비스에 할당된 주파수 대역에서 다양한 유형의 레이더가 작동하고 있다는 인식하에 개발되었다.

이 기준은 스펙트럼의 효과적인 사용을 촉진하는 것과 관련되며, 이를 명시하는 데 있어 레이더의 임무 관점에서의 특정 수치적 값을 요구할 의도는 없다. 예를 들어, 전력, 감도, 펄스 반복률, 펄스 지속 시간, 펄스 상승 및 하강 시간, 그리고 무선 주파수 방출 범위와 같은 특성들은 밀접하게 관련되어 있다. 따라서, 이러한 특성 중 일부에 대한 제한이 여기에 명시되어 있는 경우, 기준은 운영 효율성의 부당한 저하를 피하기 위해 선택되었다.

또한, 이러한 기준의 명시는 더 효과적인 레이더를 위한 추가 연구에서 자유롭고 제한 없는 접근을 장려하는 정책과 호환된다.

그럼에도 불구하고, 레이더와 관련된 새로운 접근 방식 및 새로운 시스템 개념에 대한 모든 제안은 새로운 장비 개발 이전에 주파수 관리 관점에서 검토되어야 한다.

낮은 듀티 사이클 펄스 간섭에 대한 레이더의 감수성을 줄이는 데 유용한 수신기 기술이 있다. 비디오 적분기, 상관기, 펄스 반복률 및 펄스 폭 판별기와 같은 장치의 적용 가능성은 비용, 가용성, 그리고 특정 장비 및 환경 상황에 대한 적응성과 같은 요인에 따라 달라진다.

이러한 장치의 의무적인 통합은 여기에 명시되어 있지 않지만, 혼잡한 주파수 대역 및 지리적 영역에서 작동하도록 의도된 낮은 듀티 사이클 레이더에 대한 적용이 권장된다.

모든 주 레이더는 다섯 그룹 중 하나로 분류되어야 하며, 해당 그룹에 대해 표시된 기준에 따라야 한다. 이들은 RSEC 기준 A, B, C, D, E로 식별된다. 각 범주에 대해 주 레이더가 어떤 기준에 그룹화 되는지를 결정하는 방법은 다음 섹션에 포함되어 있다.

NTIA는 또한 연방 기관이 비연방 애플리케이션에 사용되는 상업용 기성품(COTS) 레이더를 운영하는 것을 허용한다. 이러한 레이더는 RSEC에서 면제되지만, 레이더 FCC 형식 승인 규정을 준수해야 하며, 이를 사용하는 연

방 기관에 의해 어떤 방식으로든 수정 되어서는 안된다. NTIA가 이러한 규정 하에 허용하는 레이더 유형 및 작동 주파수 대역에 대한 완전한 설명은 5.5.7.6항에서 찾을 수 있다.

미국의 레이더 기술기준(이하 RSEC)은 레이더와 다른 무선 시스템 간의 스펙트럼 효율성 및 전자기 호환성을 향상시키기 위한 것으로 레이더 시스템 간, 또는 주파수 스펙트럼을 공유하는 다른 무선 서비스간의 허용 가능한 전자파 적합성을 보장하기 위해 개발된 레이더 주파수 관리 기준이다.

RSEC는 연방 무선 주파수 관리를 위한 규정 및 절차에 대한 매뉴얼의 5장 5.5절에 설명되어 있다. RSEC는 모든 연방 부서와 정부 레이더 사용자에게 적용된다.

RSEC는 레이더 시스템을 레이더 파라미터(주파수 대역 및 출력)와 용도(고정식, 휴대용 등)에 따라 결정되는 5가지 특정 기준으로 분류하였다. 각 RSEC 마스크는 필요주파수대역폭, 대역외영역 및 스푸리어스 영역의 세 가지 대역으로 구분되어 있다. 의도적 대역은 레이더 시스템 중심주파수의 가운데에 있으며 이 주파수 위아래로 -40 dB 대역폭(방사가 최대보다 40 dB 이상 낮은 최소 및 최대 주파수) 지점까지 포함한다.

미국 연방에서 관리하는 모든 1차 레이더는 아래 <표 5-1>과 같이 5개 그룹으로 분류되며 해당 그룹에 적용되는 스펙트럼 기준을 따라야 한다. RSEC는 각 그룹에 따라 기준 A, B, C, D 및 E로 구분된다.

표 4. RSEC의 적용 (NTIA Red Book)

그룹	레이더 종류	적용기준
A	정격 평균전력이 40 W 이하인 비펄스 레이더 정격 첨두전력이 1 kW 이하인 펄스 레이더 작동 주파수가 40 GHz를 초과하는 레이더 사람이 휴대할 수 있는 레이더 사람이 이동할 수 있는 레이더 미사일의 소모성, 복구 불가능한 레이더	기준 A (5.5.7.1 절)
B	최대 출력이 1 kW 초과 100 kW 이하이고, 2,900 MHz ~ 40 GHz에서 작동하는 레이더	기준 B (5.5.7.2 절)
C	그룹 A, B, D 또는 E에 포함되지 않는 모든 레이더	기준 C (5.5.7.3 절)
D	2,700 MHz~2,900 MHz 대역에서 작동하는 고정 레이더	기준 D (5.5.7.4 절)
E	449 MHz에서 작동하는 윈드 프로파일러 레이더(WPR)	기준 E (5.5.7.5 절)

가. RSEC 기준 레이더 스펙트럼 방사 마스크

레이더 중심주파수 주변의 -40 dB, 스퓨리어스 영역의 $-X$ dB의 최종 억제 수준, 그리고 대역 외 영역의 경사 기울기 등 세부분으로 구성된다. 레이더 스펙트럼 방사 마스크는 최상의 이론적 성능을 기반으로 하지만 실제 엔지니어링 요소를 허용하여 결정한다고 되어 있다. 그림 2는 RSEC에서 정의하는 레이더 스펙트럼 방사 마스크의 구성 요소를 나타내고 있다.

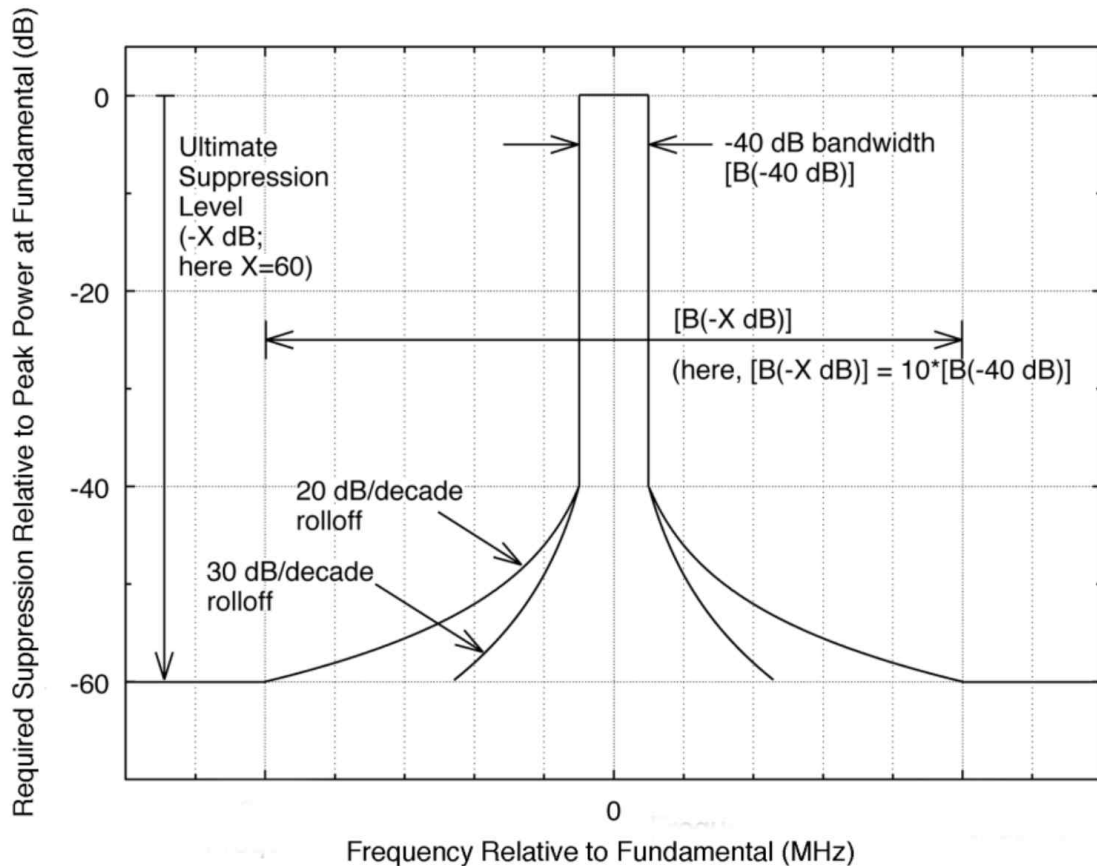


그림 3. RSEC 방사 마스크 (NTIA Red Book)

-40 dB 대역폭은 레이더의 펄스 특성에 의해 결정되며 마스크를 구성하기 위한 방정식은 다음의 수식과 같다. F_0 는 레이더가 사용하는 중심주파수로 MHz 단위로 적용되며, F 는 RSEC 마스크에 대한 억제 수준이 계산되는 주파수이고, S 는 -40 dB 지점에서 $-X$ dB 수준까지의 대역외 영역 기울기를 나타낸다.

$$\text{Eq.1: Suppression (dB)} = -S * \text{Log} \left| \frac{F - F_o}{\frac{1}{2} B(-40\text{dB})} \right| - 40$$

$$\text{Where: } \frac{1}{2} B(-40\text{dB}) \leq |F - F_o| \leq \frac{1}{2} B(-X\text{dB})$$

F is the frequency at which suppression is calculated.

$$\text{and : } B(-X\text{dB}) = (10^\alpha) B(-40\text{dB})$$

$$\text{where } \alpha = \frac{X - 40}{S}$$

RSEC는 레이더의 최대 전력과 관련된 방사 출력을 기준으로 한다. -40 dB 대역폭, 즉 B(-40 dB) 값은 레이더가 이용하는 파형 변조에 대한 (수식 5-1)의 대역폭 방정식을 기반으로 계산된다.

스퓨리어스 영역에서 최대 억제 수준, -X dB는 레이더 송신기 증폭기의 최대 성능 한계를 기준으로 결정되며, -40 dB 대역 가장자리에서 -X dB 억제 수준까지의 대역외 영역에서 기울기는 이론 및 실제 성능의 조합에 따라 결정된다.

레이더를 사용할 경우 방사전력 수준은 RSEC에 정의된 방사 마스크의 기준값보다 낮게 운용되어야 한다. 레이더에서 사용되는 파형의 시간특성을 분석하여 주파수 변조 연속파, 비변조 펄스, 주파수 변조 펄스 및 위상 코딩 펄스를 비롯한 다양한 변조 유형에 대해 위의 대역폭 방정식을 기반으로 방사 마스크의 한계를 결정할 수 있다.

레이더 펄스의 펄스 폭(t), 상승 시간(t_r) 및 하강 시간(t_f)은 50 % 전압, 10 ~ 90 % 및 90 ~ 10 % 시간 전압을 기준으로 결정한다. 그림 3은 파형의 시간 특성을 분석하기 위해 정의한 펄스 폭, 상승 시간, 하강 시간을 나타낸 것이다.

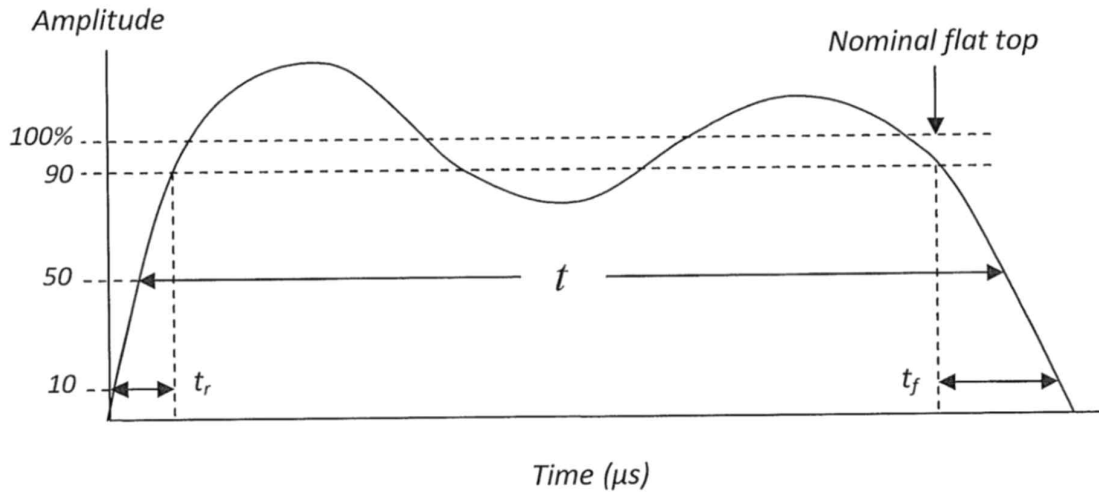


그림 4. 레이더 펄스 파형의 시간 특성

1) “RSEC 기준-A”의 기술기준

가) 기준 A의 적용 대상 레이더

RSEC에서는 정격 평균전력이 40 W 이하인 비펄스 레이더, 정격 평균전력이 40 W 이하인 비펄스 레이더, 동작 주파수가 40 GHz를 초과하는 레이더, 사람이 휴대할 수 있는 레이더, 사람이 이동할 수 있는 레이더, 미사일의 소모성, 복구 불가능한 레이더등을 기준 A로 그룹화하였다.

나) 기준 A의 방사 마스크

레이더의 운용 특성에 따라 (그림 5-1)의 그래프를 이용하여 방사 마스크를 생성하고 레이더가 이용하는 주파수 스펙트럼은 방사 마스크를 준수해야 한다. RSEC에서는 특별히 2,700~2,900 MHz 대역의 주파수를 사용하는 레이더의 경우 그룹 A의 기준을 적용하지 않고 그룹 D의 기준을 준수하도록 하고 있다.

다) 기준 A의 -40 dB 대역폭

-40 dB 대역폭 방정식은 RSEC에서 파형에 따라 별도의 수식을 정의하고 있다.

라) 기준 A의 대역외 영역에서 기울기(Roll-off)

중심주파수로부터 $\pm B(-40 \text{ dB})/2$ 만큼 벗어난 주파수에서 방사 레벨은 최대값보다 최소 40 dB 낮아야 한다. -40 dB와 -X dB 주파수 사이에서 방사 레벨 기울기는 최대 전력이 1 W 보다 큰 모든 파형에 대하여 20 dB/decade($S=20$)의 기울기(S)를 만족해야 한다.

마) 스퓨리어스 영역에서의 제한

중심주파수로부터 $\pm B(-X \text{ dB})/2$ 만큼 벗어난 주파수에서 $X(\text{dB})$ 레벨은 다음과 같이 주어진 최대 스펙트럼 전력 밀도 아래의 dB값 이상이어야 한다.

- 최대 전력이 100 W 이상인 레이더의 경우 : $X(\text{dB}) = 55 \text{ dB}$.
- 최대 전력이 100 W 미만 1 W 초과하는 레이더의 경우 : $X(\text{dB}) = 50 \text{ dB}$.
- 최대 전력이 1 W 이하인 레이더의 경우 : $X(\text{dB}) = 40 \text{ dB}$.
- 듀티 사이클이 10 % 이상인 레이더의 경우 : $X(\text{dB}) = 55 \text{ dB}$.
- 모든 고조파 레벨은 최대 전력 스펙트럼 밀도보다 최소 55 dB 낮은 레벨이어야 한다.

그림 4와 그림 5는 기준 A에 해당하는 레이더 스펙트럼 마스크의 예시이다.

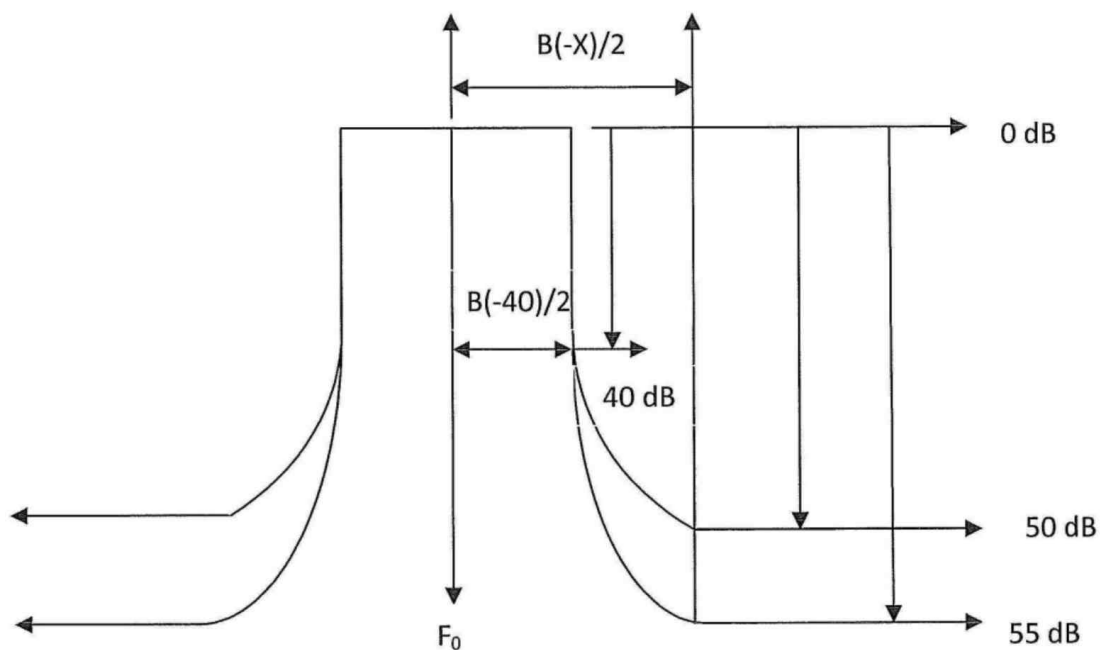


그림 5. 최대 전력이 1W 초과하는 레이더의 RSEC A 마스크

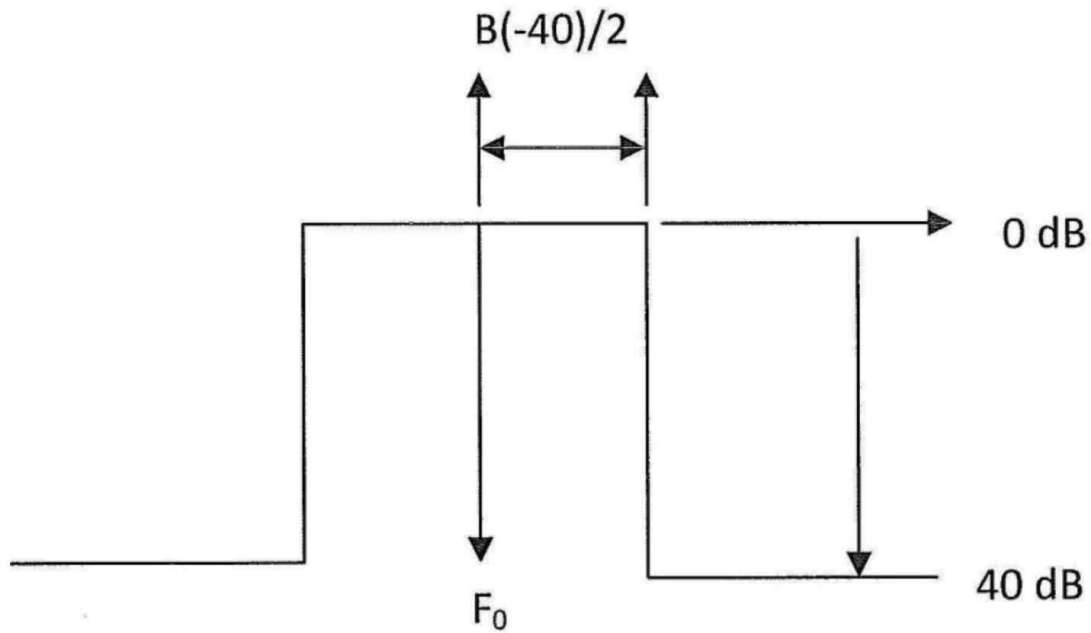


그림 6. 최대 전력이 1W 이하인 레이더의 RSEC A 마스크

2) “RSEC 기준-B”의 기술기준

가) 기준 B의 적용 대상 레이더

최대출력이 1 kW 초과 100 kW 이하이고, 2,900 MHz ~ 40 GHz에서 작동하는 레이더는 기준 B로 그룹화하였다.

나) 기준 B의 -40 dB 대역폭

-40 dB 대역폭 방정식은 RSEC에서 파형에 따라 별도의 수식을 정의하고 있다.

다) 기준 B에서 비변조 펄스, FM 펄스, 위상 코딩 신호 파형을 사용하는 레이더의 방사 마스크 중심주파수로부터 $\pm B(-40 \text{ dB})/2$ 만큼 벗어난 주파수에서 방사 레벨은 최대값보다 최소 40 dB 낮아야 한다. 대역외영역에서의 기울기는 비변조 펄스, FM 펄스 레이더에 대해 30 dB/decade($S=30$)이어야 하며, 위상 코딩 레이더는 20 dB/decade($S=20$)로 정의하였다. 이외의 파형의 기울기는 20 dB/decade($S=20$)의 기울기로 적용된다. $\pm B(-X \text{ dB})/2$ 이상에서의 $X(\text{dB})$ 는 최대 스펙트럼 전력 밀도보다 60 dB 또는 $P_t + 30$ 중 더 큰 것을 뺀 dB 값으로 정의하고 있다.

라) 기준 B에서 CW, FMCW 신호 파형을 사용하는 레이더의 방사 마스크

중심주파수로부터 $\pm B(-40 \text{ dB})/2$ 만큼 벗어난 주파수에서 방사 레벨은 최대값보다 최소 40 dB 낮아야 한다. 대역외영역에서의 기울기는 20

dB/decade ($S=20$) 이며, $\pm B(X \text{ dB})/2$ 이상에서 레벨은 $B(-40 \text{ dB})$ 내에 포함된 신호의 최대 레벨보다 60 dB 이상 낮아야 한다.

3) “RSEC 기준-C”의 기술기준

가) 기준 C의 적용 대상 레이더

그룹 A, B, D 또는 E에 포함되지 않는 40 GHz 미만에서 동작하는 모든 레이더는 기준 C로 그룹화하였다.

나) 기준 C의 -40 dB 대역폭

-40 dB 대역폭 방정식은 RSEC에서 파형에 따라 별도의 수식을 정의하고 있다.

다) 기준 C에서 비변조 펄스, FM 펄스, 위상 코딩 신호 파형을 사용하는 레이더의 방사 마스크 중심주파수로부터 $\pm B(-40 \text{ dB})/2$ 만큼 벗어난 주파수에서 방사 레벨은 최대값보다 최소 40 dB 낮아야 한다. 대역외영역에서의 기울기는 비변조 펄스, FM 펄스 레이더에 대해 30 dB/decade($S=30$)이어야 하며, 위상 코딩 레이더는 20 dB/decade($S=20$)로 정의하였다. 이 외의 파형의 기울기는 20 dB/decade($S=20$)의 기울기로 적용된다. $\pm B(-X \text{ dB})/2$ 이상에서의 $X(\text{dB})$ 는 최대 스펙트럼 전력 밀도보다 60 dB 또는 $P_t + 30$ 중 더 큰것을 뺀 dB 값으로 정의하고 있다.

라) 기준 C에서 CW, FMCW 신호 파형을 사용하는 레이더의 방사 마스크

중심주파수로부터 $\pm B(-40 \text{ dB})/2$ 만큼 벗어난 주파수에서 방사 레벨은 최대값보다 최소 40 dB 낮아야 한다. 대역외영역에서의 기울기는 20 dB/decade($S=20$) 이며, $\pm B(X \text{ dB})/2$ 이상에서 레벨은 $B(-40 \text{ dB})$ 내에 포함된 신호의 최대 레벨보다 60 dB 이상 낮아야 한다.

4) “RSEC 기준-D”의 기술기준

가) 기준 D 적용 대상 레이더

2,700~2,900 MHz 대역에서 작동하는 고정 레이더는 기준 D로 그룹화하였다.

나) 기준 D의 -40 dB 대역폭

-40 dB 대역폭 방정식은 RSEC에서 파형에 따라 별도의 수식을 정의하고 있다.

다) 기준 D에서 non-FM 펄스, FM 펄스, 위상 코딩 신호 파형을 사용하는

레이다의 방사 마스크 중심주파수로부터 $\pm B(-40 \text{ dB})/2$ 만큼 벗어난 주파수에서 방사 레벨은 최대값보다 최소 40 dB 낮아야 한다. 대역외영역에서의 기울기는 40 dB/decade($S=40$)이며, $\pm B(X \text{ dB})/2$ 이상에서 레벨은 $B(-40 \text{ dB})$ 내에 포함된 신호의 최대 레벨보다 60 dB 이상 낮아야 한다.

라) 기준 D에서 CW, FMCW 신호 파형을 사용하는 레이다의 방사 마스크 중심주파수로부터 $\pm B(-40 \text{ dB})/2$ 만큼 벗어난 주파수에서 방사 레벨은 최대값보다 최소 40 dB 낮아야 한다. 대역외영역에서의 기울기는 40 dB/decade($S=40$)이며, $\pm B(X \text{ dB})/2$ 이상에서 레벨은 $B(-40 \text{ dB})$ 내에 포함된 신호의 최대 레벨보다 60 dB 이상 낮아야 한다.

5) “RSEC 기준-E”의 기술기준

가) 기준 E 적용 대상 레이다

449 MHz에서 작동하는 윈드 프로파일러 레이다(WPR)는 기준 D로 그룹화하였다.

나) 기준 E 방사 마스크

안테나 입력 또는 출력에서의 WPR 방사 레벨은 (그림 5-5)의 곡선에서 얻을 수 있는 값보다 크지 않아야 한다. 중심주파수로부터 $\pm B(-40 \text{ dB})/2$ 만큼 벗어난 주파수에서 방사 레벨은 최대값보다 최소 40 dB 낮아야 하며, 대역외영역에서의 기울기는 (그림 5-5)의 40 dB/decade($S=40$)이며, $\pm B(X \text{ dB})/2$ 이상에서 레벨은 $B(-40 \text{ dB})$ 내에 포함된 신호의 최대 레벨보다 60 dB 또는 $P_t + 30$ 중 더 큰 것을 뺀 dB 값이어야 한다.

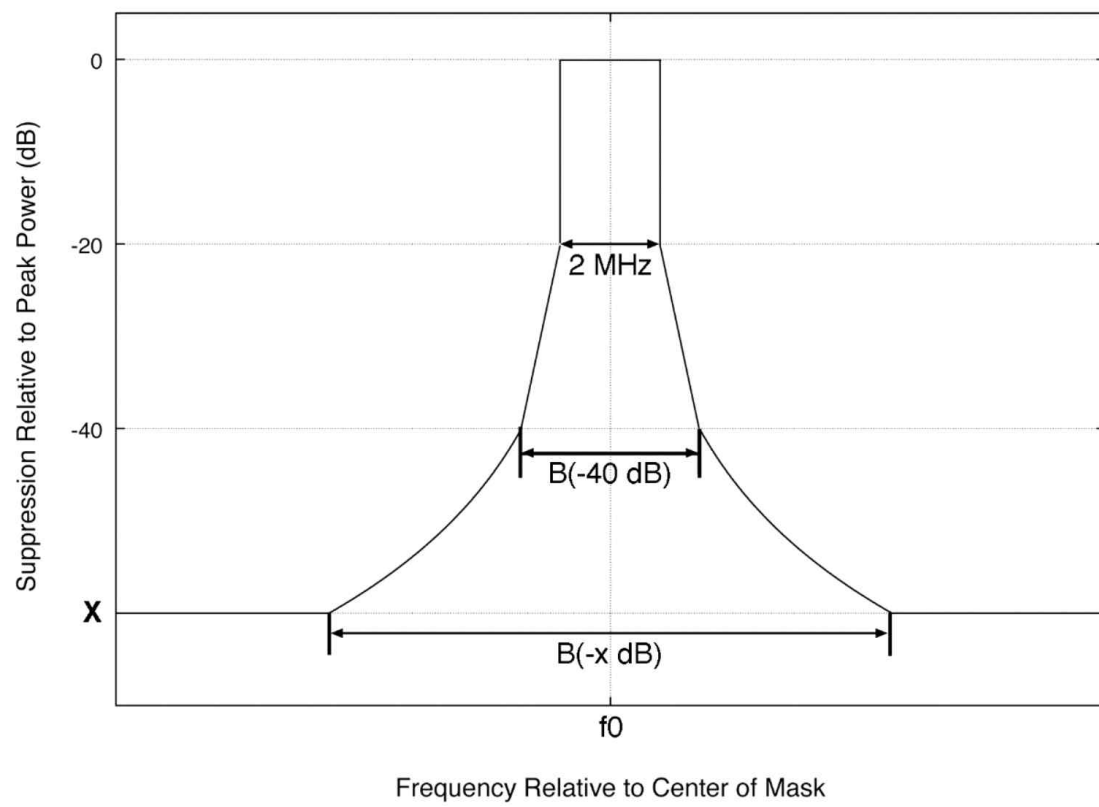


그림 7. 449 MHz에서 WPR의 방사 대역폭 및 방사 레벨

제2절 유럽의 레이더 기술기준 현황

1. ETSI (European Telecommunications Standards Institute) 레이더 기술기준 개요

ETSI는 유럽연합(EU)의 무선 장비 지침(RED, Radio Equipment Directive)을 충족하는 기술 표준 (Harmonised Standard)을 개발한다. 레이더 장비는 RED의 필수 요구사항(전파 스펙트럼의 효율적 사용, 간섭 방지 등)을 만족해야 하며, ETSI 표준은 이를 만족했음을 입증하는 방법론을 제공한다.

ETSI EN 303 347-1 문서에서는 대기중 수분 현상을 감시하거나 분류하기 위한 S대역 기상 레이더 시스템의 기술적 특성이 기술되어 있다. 2,700 MHz ~ 2,900 MHz 주파수 대역내에서 변조되지 않은 펄스 또는 펄스 압축이라고도 하는 위상/주파수 변조 펄스를 이용하여 최대출력 1 MW (90 dBm)까지 사용할 수 있도록 되어 있다. 송수신 안테나 연결 및 공급 RF 라인은 속이 빈 금속 직사각형 도파관 사용하는 것으로 되어 있다.

-40 dB 대역폭은 첨두포락선전력(PEP)을 기준으로 -40 dB 방사까지 측정된 대역폭으로 허가된 대역 내에 완전히 포함되어야 하며 다중 반송파 주파수를 이용하는 경우에도 측정된 -40 dB 방사는 허가된 대역에 포함되어야 한다.

대역외발사는 -40 dB 대역폭과 스퓨리어스 영역 사이의 영역에서의 방사를 의미하는 것으로 첨두포락선전력에 따라 최대 대역외발사 전력 수준을 ECC/권고(02)05의 부록 2에 제시된 것을 따르고 있다. 스퓨리어스 발사 제한 레벨은 첨두포락선전력에 따라 다르게 정의하고 있으며, 스퓨리어스 발사 제한 레벨에 도달하는 지점이 대역외영역과 스퓨리어스 영역 사이의 경계가 된다.

가. ETSI는 레이더의 용도별 상세 표준

1) ETSI EN 303 135 (Coastal Surveillance, Vessel Traffic Services and Harbour Radars):

가) 해안 감시, VTS 및 항만 레이더에 대한 표준이다.

나) 주파수 대역, 송신 출력(Peak Power/Mean Power), 점유 주파수 대역폭, 스퓨리어스 발사 등 핵심 전파 규격 및 시험 절차를 상세히 규정한다.

2) ETSI EN 303 347 (Meteorological Radars - Part 1, 2, 3):

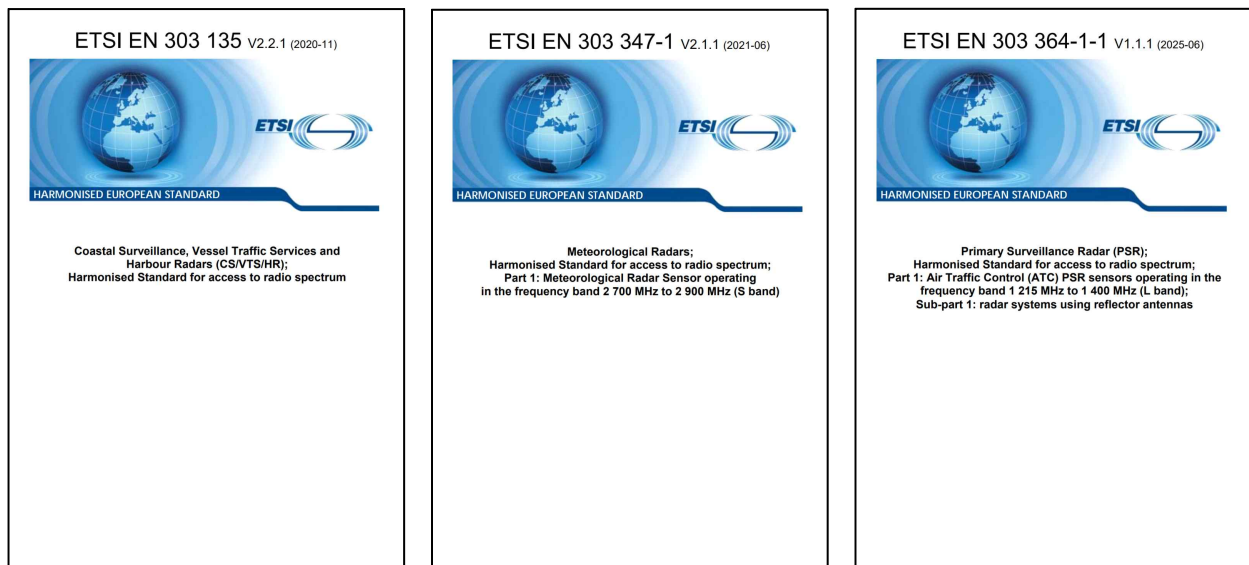
가) 기상 레이더에 대한 표준으로, 운용 주파수 대역(예: Part 2는 C-Band, Part 3는 S-Band/X-Band)별로 기술기준이 구분된다.

나) 필요 대역폭, 대역외 발사 및 스퓨리어스 발사 기준은 기상 레이더의 고

출력 특성을 고려하여 규정된다.

3) ETSI EN 303 364 (Primary Surveillance Radar - Part 1, 2, 3):

- 가) 1차 감시 레이더 (PSR, Primary Surveillance Radar)에 대한 표준으로, 항공 교통 관제(ATC)용 레이더를 포함한다.
- 나) Part 2는 S-band (2.7 GHz ~ 3.1 GHz) 대역의 ATC PSR에 대한 기준을 다룬다.
- 다) PSR의 높은 신뢰성 및 안전성 요구사항에 맞춰 엄격한 불요 발사 제한, 수신기 선택도, 상호 변조 특성 등을 규정한다.



(a) EN 303 135 (해양레이더) (b) EN 303 347 (기상레이더) (c) EN 303 364 (항공레이더)

그림 8. 유럽 ETSI 레이더 기술 관련 매뉴얼 (EN 303 시리즈)

2. X-대역 해안 감시, 선박 교통 및 항만 레이더 (ETSI EN 303 135)

ETSI EN 303 135 문서에는 해안 감시(CS), 선박 교통 서비스(VTS) 및 항만 감시(HR)를 위한 레이더의 기술적 특성이 설명되어 있다. 8,500 MHz ~ 10,000 MHz 주파수 대역내 에서 변조 또는 무변조 펄스를 이용하여 최대출력 100 kW (80 dBm)까지 사용할 수 있도록 되어 있다.

-40 dB 대역폭은 첨두포락선전력(PEP)을 기준으로 -40 dB 방사까지 측정된 대역폭으로 허가된 대역 내에 완전히 포함되어야 하며 다중 반송파 주파수를 이용하는 경우에도 측정된 -40 dB 방사는 허가된 대역에 포함되어야 한다.

대역외발사는 -40 dB 대역폭과 스퓨리어스 영역 사이의 영역에서의 방사를 의미하는 것으로 첨두포락선전력에 따라 최대 대역외발사 전력 수준을 ECC/ 권고(02)05의 부록 2에 제시된 것을 따르고 있다. 스퓨리어스 발사 제한 레벨은 첨두포락선전력에 따라 다르게 정의하고 있으며, 스퓨리어스 발사 제한 레벨에 도달하는 지점이 대역외영역과 스퓨리어스 영역 사이의 경계가

된다.

1) 범위 (Scope) : 연안 감시(CS), 선박 교통 서비스(VTS) 및 항만 감시용 X-대역 레이더 센서에 대한 기술적 특성 및 측정 방법을 규정한다.

가) 동작 주파수: 8 500 MHz ~ 10 000 MHz (변조 또는 비변조 펄스 사용)

나) 송신기 전력: 최대 100 kW PEP

다) 전송 선로: WR90/WG16/R100 유형의 중공 금속 직사각형 도파관 (최소 길이 92 cm)

라) 안테나: 회전형, 도파관 기반 수동형

2) 주요 기술적 요구사항

가) 송신기 요구사항

- 주파수 정확도: 비변조 펄스 사용 시 1 250 ppm을 초과해서는 안됨.
- 송신기 전력: 안테나 플랜지 측정 시 100 kW (50 dBW) 이하.
- 측정 대역폭:
 - 변조 펄스 레이더: 측정된 -40 dB 대역폭(B-40)이 선언된 대역 내 포함
 - 마그네트론 레이더: 측정된 -20 dB 대역폭(B-20)이 선언된 대역 내 포함
- 대역외 방사 (OoB): ECC Recommendation (02)05의 마스크를 따르며, B-40에서 스푸리어스 한계까지 30 dB/decade로 감소함



그림 9. 다양한 선박용 레이더

- 스푸리어스 방사:
 - 다중 주파수/능동 배열: $-43 - 10 \log(\text{PEP})$ dB 또는 -60 dB (덜 엄격한 값)
 - 기타 고정국: -100 dB 또는 -30 dBm
- 대기 모드 방사: 1 GHz 이상에서 -47 dBm 이하

나) 수신기 요구사항

- 시스템 잡음 지수: 최대 6 dB.
- 수신기 선택도: 방해 신호 레벨은 MDS에서 시작하여 30 dB/decade로 상승.
- 수신기 압축 레벨: 입력 신호 -35 dBm까지 1 dB 이상의 압축 없이 처리 가능해야 함.

3. ETSI 기상레이다 기술기준 (EN 303 347)

가. S-대역 기상레이다 (ETSI EN 303 347-1)

ETSI EN 303 347-1 문서에서는 대기중 수분 현상을 감시하거나 분류하기 위한 S-대역 기상 레이더 시스템의 기술적 특성이 기술되어 있다. 2,700 MHz ~ 2,900 MHz 주파수 대역내에서 변조되지 않은 펄스 또는 펄스 압축이라고도 하는 위상/주파수 변조 펄스를 이용하여 최대출력 1 MW (90 dBm)까지 사용할 수 있도록 되어 있다. 송수신 안테나 연결 및 공급 RF 라인은 속이 빈 금속 직사각형 도파관 사용하는 것으로 되어 있다.

-40 dB 대역폭은 침투포락선전력(PEP)을 기준으로 -40 dB 방사까지 측정된 대역폭으로 허가된 대역 내에 완전히 포함되어야 하며 다중 반송파 주파수를 이용하는 경우에도 측정된 -40 dB 방사는 허가된 대역에 포함되어야 한다.

대역외발사는 -40 dB 대역폭과 스푸리어스 영역 사이의 영역에서의 방사를 의미하는 것으로 침투포락선전력에 따라 최대 대역외발사 전력 수준을 ECC/권고(02)05의 부록 2에 제시된 것을 따르고 있다. 스푸리어스 방사 제한 레벨은 침투포락선전력에 따라 다르게 정의하고 있으며, 스푸리어스 방사 제한 레벨에 도달하는 지점이 대역외영역과 스푸리어스 영역 사이의 경계가 된다.

1) 범위 (Scope) : 수문기상 감시 및 분류 목적.

가) 동작 주파수: 2 700 MHz ~ 2 900 MHz

나) 출력 전력: 최대 1 MW (90 dBm).

다) 도파관: WR284/WG10 (최소 길이 2 886 mm).

2) 주요 기술적 요구사항

가) 송신기 요구사항

- 주파수 허용 오차: 1 250 ppm 이하.
- 출력 전력: 1 MW (90 dBm) 이하.
- 대역 외 방사 (OoB): B-40에서 -70 dBpp까지 30 dB/dec, 이후 -100 dBpp(또는 -90 dBpp)까지 60 dB/dec로 롤오프.
- 스푸리어스 방사: PEP > 150 kW인 경우 90 dB 감쇠.
- 대기 모드 방사: -47 dBm 이하.

나) 수신기 요구사항

- 잡음 지수: 6 dB 이하.
- 수신기 선택도: LNFE 출력 불요 신호가 MDS + (12 dB + 이득)을 넘지 않아야 함.
- 수신기 압축 레벨: 최소 -35 dBm까지 처리 가능해야 함.



그림 10. S-Band 강우레이다 (소백산 강우레이다(환경부))

나. C-대역 기상레이다 (ETSI EN 303 347-2)

ETSI EN 303 347-2 문서에서는 대기중 수분 현상을 감시하거나 분류하기 위한 C대역 기상 레이더 시스템의 기술적 특성이 설명되어 있다. 5,250 MHz ~ 5,850 MHz 주파수대역내에서 변조되지 않은 펄스 또는 펄스 압축이라고도 하는 위상/주파수 변조 펄스를 이용하여 최대 출력 1 MW (90 dBm)까지 사용할 수 있도록 되어 있다. 송수신 안테나 연결 및 공급 RF 라

인은 속이 빈 금속 직사각형 도파관 사용하는 것으로 되어 있다.

-40 dB 대역폭은 첨두포락선전력(PEP)을 기준으로 -40 dB 방사까지 측정된 대역폭으로 허가된 대역 내에 완전히 포함되어야 하며 다중 반송파 주파수를 이용하는 경우에도 측정된 -40 dB 방사는 허가된 대역에 포함되어야 한다.

대역외발사는 -40 dB 대역폭과 스퓨리어스 영역 사이의 영역에서의 방사를 의미하는 것으로 첨두포락선전력에 따라 최대 대역외발사 전력 수준을 ECC/권고(02)05의 부록 2에 제시된 것을 따르고 있다. 스퓨리어스 발사 제한 레벨은 첨두포락선전력에 따라 다르게 정의하고 있으며, 스퓨리어스 발사 제한 레벨에 도달하는 지점이 대역외영역과 스퓨리어스 영역 사이의 경계가 된다.

1) 범위 (Scope)

가) 동작 주파수: 5 250 MHz ~ 5 850 MHz

나) 출력 전력: 최대 1 MW (90 dBm).

다) 측정 범위: WR187/WG12 도파관 차단 주파수(3 152 MHz) ~ 26 GHz



그림 11. C-Band 기상레이다 (에스토니아 환경청(Vaisala사))

2) 주요 기술적 요구사항

가) 송신기 요구사항

- 주파수 허용 오차: 1 250 ppm 이하.
- 출력 전력: 1 MW (90 dBm) 이하.

- 대역 외 방사: PEP > 150 kW일 경우 0.5~5 B-40 구간에서 -30 dB/dec, 5~10.8 구간에서 -60 dB/dec 기울기 적용.
- 스퓨리어스 방사: PEP > 150 kW 시 90 dB 감쇠.
- 대기 모드 방사: -47 dBm 이하.

나) 수신기 요구사항

- 잡음 지수: 최대 6 dB.
- 수신기 선택도: 동작 주파수 ± 500 MHz 범위(최소 5 100 ~ 6 200 MHz)에서 검증되어야 한다.
- 수신기 압축 레벨: 최소 -35 dBm.

다. X-대역 기상레이다 (ETSI EN 303 347-3)

ETSI EN 303 347-3 문서에는 대기중 수분 현상을 감시하거나 분류하기 위한 X대역 기상 레이더 시스템의 기술적 특성이 설명되어 있다. 9,300 MHz ~ 9,500 MHz 주파수 대역내에서 변조되지 않은 펄스 또는 펄스 압축이라고도 하는 위상/주파수 변조 펄스를 이용하여 최대 출력 250 kW (84 dBm)까지 사용할 수 있도록 되어 있다. 송수신 안테나 연결 및 공급 RF 라인은 속이 빈 금속 직사각형 도파관 사용하는 것으로 되어 있다.

-40 dB 대역폭은 첨두포락선전력(PEP)을 기준으로 -40 dB 방사까지 측정된 대역폭으로 허가된 대역 내에 완전히 포함되어야 하며 다중 반송파 주파수를 이용하는 경우에도 측정된 -40 dB 방사는 허가된 대역에 포함되어야 한다.

대역외발사는 -40 dB 대역폭과 스퓨리어스 영역 사이의 영역에서의 방사를 의미하는 것으로 첨두포락선전력에 따라 최대 대역외발사 전력 수준을 ECC/권고(02)05의 부록 2에 제시된 것을 따르고 있다. 스퓨리어스 방사 제한 레벨은 첨두포락선전력에 따라 다르게 정의하고 있으며, 스퓨리어스 방사 제한 레벨에 도달하는 지점이 대역외영역과 스퓨리어스 영역 사이의 경계가 된다.

1) 범위 (Scope)

- 가) 동작 주파수: 9 300 MHz ~ 9 500 MHz
- 나) 출력 전력: 최대 250 kW (84 dBm).
- 다) 도파관: WR90/WG16 (최소 길이 915 mm).

2) 주요 기술적 요구사항

- 가) 송신기 요구사항
 - 주파수 허용 오차: 1 250 ppm 이하.

- 출력 전력: 250 kW (84 dBm) 이하.
- 대역 외 방사 (OoB): B-40에서 -70 dBpp까지 30 dB/dec, 이후 스퓨리어스 한계까지 60 dB/dec로 롤오프.
- 스퓨리어스 방사: PEP > 150 kW인 경우 90 dB 감쇠.
- 대기 모드 방사: -47 dBm 이하 (차단 주파수 6 556 MHz 이상).

나) 수신기 요구사항

- 잡음 지수: 6 dB 이하.
- 수신기 선택도: 오프셋 0.5~5 B-40 구간에서 +40~70 dB (기울기 30 dB/dec) 마스크 적용.
- 수신기 압축 레벨: 최소 -35 dBm.



그림 12. X-Band 소형 기상레이다 (기상청)

표 5. ETSI 기상레이더 기술기준

항목	S-대역	C-대역	X-대역
주파수 대역	2700MHz~2900MHz	5250MHz~5850MHz	9300MHz~9500MHz
펄스방식	비변조 펄스 또는 펄스압축위상/주파수 변조	비변조 펄스 또는 펄스압축위상/주파수 변조	비변조 펄스 또는 펄스압축위상/주파수 변조
최대출력 전력	1MW	1MW	250kW
안테나	회전형, 고각 변경 가능	회전형, 고각 변경 가능	회전형, 고각 변경 가능
도파관	WR284/WG10	WR187	WR90/WG16
안테나 연결	트랜시버 안테나 연결 및 중공 금속 직사각형 도파관	트랜시버 안테나 연결 및 중공 금속 직사각형 또는 타원형 도파관	트랜시버 안테나 연결 및 중공 금속 직사각형 도파관
급전	안테나 급전은 도파관 기반이며 수동형	안테나 급전은 도파관 기반이며 수동형	안테나 급전은 도파관 기반이며 수동형
편파	수직,수평 편파	수직,수평 편파	수직,수평 편파
출력장치	RF 서큘레이터	RF 서큘레이터	RF 서큘레이터

4. ETSI 항공레이더 기술기준 (EN 303 364)

가. L-대역 항공교통관제(ATC)용 1차 감시레이더(PSR) (ETSI EN 303 364-1)

ETSI EN 303 364-1 문서는 지상 기반 모노스태틱 항공교통관제(ATC)용 L-대역 1차 감시레이더(PSR) 시스템의 기술적 특성을 규정하고 있다. 해당 시스템은 1,215 MHz ~ 1,400 MHz 주파수 대역 내에서 운용되며, 변조되지 않은 펄스 또는 펄스 압축 기술이 적용된 위상/주파수 변조 펄스를 사용한다. 송신 출력은 최대 100 kW (80 dBm)까지 허용된다.

레이더 신호의 주파수 효율성과 인접 대역 보호를 위해 다음과 같은 방사 기준을 준수해야 한다. -40 dB 대역폭은 침투포락선전력(PEP)을 기준으로 방사 전력이 -40 dB까지 감쇄되는 지점의 대역폭을 의미한다. 측정된 -40 dB 대역폭은 반드시 허가된 할당 대역폭 내에 완전히 포함되어야 하며, 이는 다중 반송파 주파수를 사용하는 환경에서도 동일하게 적용된다. 대역외발사(Out-of-Band Emission)는 -40 dB 대역폭 종료 지점과 스퓨리어스 영역 경계 사이에서 발생하는 방사를 의미한다. 대역외 영역에서의 최대 허용 전

력 수준은 ECC 권고 (02)05의 부록 2에 제시된 기준을 엄격히 준수해야 한다.

스푸리어스 발사(Spurious Emission) 제한 레벨은 시스템의 첨두포락선전력(PEP) 크기에 따라 개별적으로 정의된다. 영역 경계는 스푸리어스 발사 제한 레벨에 도달하는 지점이 기술적으로 대역외 영역과 스푸리어스 영역을 구분하는 물리적 경계가 되며, 간섭 억제는 PEP에 따라 차등 적용되는 제한 레벨을 통해 타 무선 통신 서비스와의 전파 간섭을 최소화하도록 설계되어야 한다.

1) 범위 (Scope) : 도파관 기반 회전형 수동 안테나와 작동하는 지상 기반 단일 정적 ATC 고체 소자 레이더에 적용된다.

가) 동작 주파수: 1,215 MHz ~ 1,400 MHz

나) 송신기 전력: 최대 100 kW PEP

다) 도파관: 최소 66 cm 길이의 도파관 통합 (WR650/WG6/R14 등)

2) 주요 기술적 요구사항

가) 송신기 요구사항

- 점유 대역폭: $\beta/2 = 0.5\%$ 인 점유 대역폭이 선언된 대역 내에 있어야 한다.
- 송신기 피크 전력: 100 kW (80 dBm) 이하.
- 대역 외 방사 (OoB): B-40 대비 오프셋(Δ)에 따라 기울기 적용.
- 단일 주파수 레이더 ($0.5 \leq \Delta \leq 5$): -40 ~ -80 dBpp (기울기 -40 dB/decade)
- 스푸리어스 방사: 단일 주파수 레이더는 100 dB 감쇠 또는 -30 dBm 중 덜 엄격한 값.
- 대기 모드 방사: 차단 주파수(f_{co}) $\times 0.7$ MHz ~ 1 GHz 구간에서 -57 dBm, 1 GHz 이상에서 -47 dBm

나) 수신기 요구사항

- 시스템 잡음 지수: 6 dB 이하.
- 수신기 압축 레벨(RCL): -40 dBm 이상이어야 한다.
- 수신기 선택도: 오프셋/B-40이 0.5~1.6일 때 -40 ~ -60 dB (기울기 -40 dB/decade).
- 수신기 비선형성: 1 400 MHz와 1 500 MHz 신호 주입 시 1 300 MHz에서 3차 상호 변조(IMD) 제한 준수.



그림 13. L-대역 1차 감시레이다 (PSR, ATCR-44S(Leonardo사))

나. S-대역 항공교통관제(ATC)용 1차 감시레이다(PSR) (ETSI EN 303 364-2)

ETSI EN 303 364-2 문서에는 지상 기반의 모노스태틱 항공 교통 관제용 1차 감시레이다 시스템의 기술적 특성이 설명되어 있다. 2,700 MHz ~ 3,100 MHz 주파수 대역내에서 변조되지 않은 펄스 또는 펄스 압축이라고도 하는 위상/주파수 변조 펄스를 이용하여 최대 출력 100 kW (80 dBm)까지 사용할 수 있도록 되어 있다.

-40 dB 대역폭은 첨두포락선전력(PEP)을 기준으로 -40 dB 방사까지 측정된 대역폭으로 허가된 대역 내에 완전히 포함되어야 하며 다중 반송파 주파수를 이용하는 경우에도 측정된 -40 dB 방사는 허가된 대역에 포함되어야 한다.

대역외발사는 -40 dB 대역폭과 스퓨리어스 영역 사이의 영역에서의 방사를 의미하는 것으로 첨두포락선전력에 따라 최대 대역외발사 전력 수준을 ECC/권고(02)05의 부록 2에 제시된 것을 따르고 있다. 스퓨리어스 발사 제한 레벨은 첨두포락선전력에 따라 다르게 정의하고 있으며, 스퓨리어스 발사 제한 레벨에 도달하는 지점이 대역외영역과 스퓨리어스 영역 사이의 경계가 된다.

1) 범위 (Scope)

가) 동작 주파수: 2 700 MHz ~ 3 100 MHz

나) 송신기 전력: 최대 100 kW PEP

다) 전송 선로: WR284/WG10/R32 도파관 (최소 길이 2.886 m)

2) 주요 기술적 요구사항

가) 송신기 요구사항

- 주파수 편차: 1 250 ppm 이하.
- 송신기 전력: 100 kW (80 dBm) 이하.
- 측정된 B-40 대역폭: 2 700 MHz ~ 3 100 MHz 대역 내 포함.
- 대역 외 방사: 단일 주파수 레이더 기준, 오프셋 비율 0.5~5 구간에서 -40 ~ -70 dBpp (기울기 -30 dB/dec).
- 스푸리어스 방사: 단일 주파수 기준 100 dB 또는 -30 dBm.
- 대기 모드 방사: -47 dBm 이하.

나) 수신기 요구사항

- 잡음 지수: 6 dB 이하.
- 수신기 압축 레벨: 최소 -40 dBm.
- 수신기 선택도: B-40 오프셋 0.5~2.3 구간에서 -40 ~ -60 dB (기울기 -30 dB/dec).



그림 14. S-대역 1차 감시레이다 (PSR, 인천국제공항)

다. X-대역 항공교통관제(ATC)용 1차 감시레이다(PSR) (ETSI EN 303 364-3)

ETSI EN 303 364-3 문서에는 8,500 MHz ~ 10,000 MHz 주파수 대역내에서 사용하는 지상 기반의 모노스태틱 항공 교통 관제용 1차 감시레이다 시스템의 기술적 특성이 설명 되어 있다.

-40 dB 대역폭은 첨두포락선전력(PEP)을 기준으로 -40 dB 방사까지 측정

된 대역폭으로 허가된 대역 내에 완전히 포함되어야 하며 다중 반송파 주파수를 이용하는 경우에도 측정된 -40 dB 방사는 허가된 대역에 포함되어야 한다.

대역외발사는 -40 dB 대역폭과 스퓨리어스 영역 사이의 영역에서의 방사를 의미하는 것으로 침투포락선전력에 따라 최대 대역외발사 전력 수준을 ECC/권고(02)05의 부록 2에 제시된 것을 따르고 있다. 스퓨리어스 발사 제한 레벨은 침투포락선전력에 따라 다르게 정의하고 있으며, 스퓨리어스 발사 제한 레벨에 도달하는 지점이 대역외영역과 스퓨리어스 영역 사이의 경계가 된다.

1) 범위 (Scope) : 공역 교통 감시용 단일 정적(monostatic) X-대역 레이더 센서

가) 동작 주파수: 8 500 MHz ~ 10 000 MHz (변조 펄스 사용)

나) 안테나 연결: 중공 금속 직사각형 도파관, 회전형 수동 안테나.

다) 측정 주파수 범위: 6.56 GHz ~ 26 GHz.



그림 15. X-대역 1차 감시레이다 (PSR, SCANTER 4002(Terma사))

2) 주요 기술적 요구사항

가) 송신기 요구사항

- 주파수 정확도: 1 250 ppm 이하.
- 대역 외 방사 (OoB): B-40 대역폭에서 스퓨리어스 한계까지 30 dB/decade로 롤오프.

- 스퓨리어스 방사: -100 dB 또는 -30 dBm 중 덜 엄격한 값 (기타 레이더 시스템).
 - 대기 모드 방사: -47 dBm 이하 (1 MHz 대역폭).
- 나) 수신기 요구사항
- 시스템 잡음 지수: 최대 6 dB.
 - 수신기 선택도: 방해 신호 레벨은 MDS에서 시작하여 30 dB/decade로 상승.
 - 수신기 압축 레벨: 최소 -35 dBm.
- 다) 대역폭 계산 공식 (Annex C)
- 비 FM 펄스 레이더: $B-40 = 7.6 / \sqrt{(t \times tr)}$

표 6. ETSI 1차 감시레이더(PSR) 기술기준

항공 관제 1차 감시 레이더(ATC PSR)			
항목	L-대역	S-대역	X-대역
주파수 대역	1215MHz~1400MHz	2700MHz~3100MHz	8500MHz~10000MHz(변조 펄스 사용)
송신기 피크전력	최대 100kW의 송신기 출력 피크 전력	최대100kW 피크 포락선 전력(PEP)	최대 100kW
트랜시버 출력	RF서큘레이터 사용	RF서큘레이터 사용	RF서큘레이터 사용
안테나	회전형, 도파관기반의수동형(Passive)	회전형, 도파관기반의수동형(Passive)	회전형, 도파관기반의수동형(Passive)
안테나 연결	중공 금속 직사각형 도파관 사용	중공 금속 직사각형 도파관 사용	중공 금속 직사각형 도파관 사용

5 미국 NTIA의 “RSEC”와 유럽 ETSI “EN 303” 기술 기준 비교

표 3과 같이 "해양레이다" 관련 미국의 RSEC 기술기준과 유럽의 ETSI EN 303 135의 기술기준에 대해 정량적으로 비교하였다.

표 7. 미국의 RSEC 및 유럽의 ETSI EN 303 135의 기술기준 비교 (해양레이다)

항 목	RSEC (NTIA)	EN 303 135 (ETSI)
적용 주파수/대상	레이다 전반(주파수/용도 불문)에 적용 -40 dB 대역폭을 기준으로 함	X-band 8.5~10.0 GHz, CS/VTs/Harbour 레이다 대상 - 선박 항해, 선박 통제 시스템, 항만 레이다 등
송신 전력 한도(PEP)	절대 한도 없음 상대 마스크(기준점 대비 감쇠)를 기준	100 kW (50 dBW) 이하
주파수 정확도	특정 ppm(parts per million) 수 치를 명시하지 않지만, 송신기와 수신기 안정성을 동등하게 요구	비변조 펄스 레이다 : 1,250 ppm 이하의 정확도 기준 제시
B(-40) 대역폭 정의	파형(펄스폭, 상승/하강시간, PRR, 코드 수 등) 기반으로 계산	측정된 -40 dB 대역폭(B(-40)) 사 용
대역외(OoB) 롤오프 기울기	기본적으로 20 dB/dec 사용하지 만 2020.10.01 이후 - 비/주파수변조 펄스 : 30 dB/dec - 위상코드 등 : 20 dB/dec 유지	스퓨리어스 레벨까지 30 dB/dec 의 기울기 요구
스퓨리어스 최종 억제 레벨	대략 60~80 dB의 억제 범위 규 정 예를 들어 A=40/50/50 dB 기준 과 같이 복잡한 계산을 통해 결 정	- 다중주파/능동배열 : 43+10·log(PEP)[dB] 또는 60 dBp-p 중 완화된 값 적용 - 기타 : 100 dBp-p 또는 -30 dBm 중 완화된 값 적용
OoB/스퓨리어 스 마스크 구간	B(-40) 대역폭의 경계에서 시작하 여 -x dB 지점까지 20 dB/dec 또는 30 dB/dec의 기울기를 갖 음	- 0.5~5MHz : -40→-70 dB(-30 dB/dec)의 기울기 - 5~15.8MHz : -70→-100 dB 또 는 -30 dBm(-60 dB/dec)의 더 가파른 기울기 요구
대기(Stand-by) 모드 방출	별도의 절대 규정은 없으며, 수신 기 LO(국부 발진기) 방사 전력이 -40 dBm 이하	대기 모드 방출 규정과 함께 스 퓨리어스 영역 전력 한도에 대한 규정이 명확하게 정의
수신기 선택도/압축	선택도는 송신 BW와 같아야 하 며, 스퓨리어스 응답 억제는 50 dB 이상(기준 B), LO 방사-40 dBm이하	수신기 선택도와 압축 레벨에 대 한 규정(Setup Annex G)을 별도 로 가지고 있음

제3절 일본의 레이더 기술기준 현황

본 절은 일본의 총무성 (Ministry of Internal Affairs and Communications, MIC) 산하 전파관리국(Radio Department)의 레이더 기술기준을 기술하고자 한다. 일본의 총무성(MIC)은 전파법을 통해 레이더를 포함한 모든 무선설비의 기술기준을 관리한다. 기술기준은 주로 전파법 시행규칙 및 관련 고시에 명시되며, ITU 및 국제 표준을 바탕으로 일본의 주파수 사용 환경을 반영한다.

1. 일본 총무성(MIC)의 레이더 관련 법·기술기준 체계

일본의 레이더 기술기준은 MIC 산하 전파 행정 체계 안에서 여러 문서가 계층적으로 연결되어 있다.

1) 전파법(電波法)

전파 이용에 대한 기본법으로 “항공이동업무” 등 서비스 종류만 규정하고, 세부 기술 조건은 시행규칙·무선설비규칙으로 위임하고 있다. 또한 해상 레이더는 “선박국(船舶局)” 또는 “항해안전용 레이더” 장비로 분류된다.

2) 전파법 시행규칙(電波法施行規則)

각종 항공용 설비 정의, 검사 주기, 일부 주파수 규정 등을 포함하고 있으며, 별표 제2호의3에 ACAS, 항공용 DME, TACAN, VOR, ILS, MLS, ATCRBS, GBAS 등의 사용 주파수 대역이 일괄 정리되어 있다.

3) 무선설비규칙(無線設備規則, 흔히 設備規則)

실제로 “이 무선기기는 어떤 출력, 대역폭, 신호 형식, 안테나 특성이어야 한다” 같은 구체적인 기술기준을 정의하고 있다.

4) 총무성 고시(告示)

위 규칙에서 “총무대신이 따로 정하는 기술 조건”이라고 위임한 부분을 구체화하고 있다. 예시로 “ATCRBS의 무선국의 무선설비의 기술적 조건을 정하는 건” 등 SSR/모드 S, ADS-B 관련 세부 조건으로 고시한다.

5) 주파수 할당 계획(周波数割当計画)

서비스별로 어떤 주파수 범위를 쓸 수 있는지 정리한 계획한 문서로 항공 감시 레이더, 항공용 DME/TACAN 등도 여기에서 대역이 정해지고, 시행규칙·설비규칙이 이를 참조하는 구조로 되어 있다.

실무적으로 “항공용 레이다 기술기준”이라고 하면, 전파법 시행규칙 + 무선설비규칙 + 관련 총무성 고시 세트를 같이 보는 게 일반적이다. 표 5와 같이 일본의 레이다 기술 정의는 는 일본 전파법 체계에서 다음과 같이 정의된다.

표 8. 일본 전파법 체계

단 계	역할	레이다 관련 내용
전파법 (電波法)	무선국·무선설비 전체의 기본 법률	업무용 무선국 포함
전파법 시행규칙 (電波法施行規則)	무선국의 정의·조건·검사	레이더의 무선국 종류 지정, 주파수 배분, 검사 조건
무선설비규칙 (無線設備規則)	구체 기술 기준	레이다의 출력, 주파수허용편차, 스퓨리어스, 전파형식, 용도별 조건
총무성 고시 (告示)	세부 수치·절차 규정	점유대역폭, 스퓨리어스·EMC 기준, 측정 방법 등

일본의 총무성은 레이다의 용도에 따라 상세 기술기준을 다음과 같이 적용하고 있다.

1) 항공 레이다 기술기준 정의

- 가) 적용 대상: 항공 교통 관제(ATC), 공항 감시 등 항공 안전 관련 레이다
- 나) 주요 내용: 주파수 대역(L-band, S-band 등), 최대 출력, 불요 발사 감쇠량 등을 규정하며, 특히 항공 안전을 위해 높은 신뢰도 및 무선 간섭 방지를 강조한다.

2) 해양 레이다 기술기준 정의

- 가) 적용 대상: 선박 항해용 레이다, 해상 교통 관제 레이다 등
- 나) 주요 내용: 주파수 대역(X-band, S-band), 펄스 반복 주파수(PRF), 펄스 폭 등의 파라미터와 필요 대역폭, 불요 발사 레벨에 대한 상세 기준을 규정한다.

3) 기상 레이다 기술기준 요약:

- 가) 적용 대상: 기상 관측용 레이다
- 나) 주요 내용: 사용 주파수 대역(예: C-band, X-band) 및 고출력 특성을 고려한 허용 주파수 편차 및 불요 발사 제한 기준을 설정한다.

2. 일본 총무성(MIC)의 항공레이다 기술기준

가. 항공레이다, 해양레이다, 기상레이다 기술기준 요약

1) 일본 총무성(MIC) 기준에서 보는 “항공용 레이다” 범위

가) 법령에서 “항공레이다”라는 한 단어로 모든 걸 묶어놓지는 않고, 다음처럼 시스템별로 나누어 규정한다.

나) 항공감시 레이다

- 1차 감시 레이다(PSR): 공항/항로 감시용 ASR, ARSR 등
- 2차 감시 레이다(SSR): ATCRBS, Mode A/C, Mode S 등

다) 항공용 거리측정·항법 레이다 계열

- 항공용 DME, TACAN (거리·방위 측정)
- ACAS/TCAS(충돌방지장치) - SSR(1030/1090 MHz)를 공용

라) 정밀접근/착륙 유도 계열

- ILS, MLS, GBAS - 전통적인 레이다라기보다는 항법 설비지만, 동일한 규제 체계 안에 있음

마) 지상 감시/특수 레이다

- 공항 지상이동감시(ASDE/SMR)
- 최근의 90 GHz대 활주로 이물질(FOD) 검지 레이다 등

나. ATCRBS / SSR (이차감시레이더)

무선설비규칙 제45조의12의6이 **ATCRBS 무선국(SSR 포함)**의 설비 조건을 규정한다.

1) 주요 내용

가) 적용 대상

- 지상에 설치되는 ATCRBS/SSR 무선국
- 복수 지점 수신을 이용하는 다지점 수신 방식 항공감시 시스템(MLAT 계열)에 대한 추가 규정도 포함.

2) 질문/응답 주파수

나) 규칙 자체는 Annex를 참조하지만, 일본 ENRI/항공자료에 따르면 국제 규격과 동일하게

- 질문(지상→기내): 1030 MHz
- 응답(기내→지상): 1090 MHz 를 사용.

다. 1차 감시 레이다(PSR, ASR/ARSR 등)

PSR/ASR/ARSR는 반사파를 받는 전통적인 항공감시 레이다로, 일본에서도 주로 S/X대(수 GHz·10 GHz 전후)대역이 사용된다.

가) 구체적인 사용 주파수는 주파수 할당 계획 및 관련 고시에 규정 (국제적

으로는 ITU-R에서 권고하는 2.7-2.9 GHz, 9-10 GHz 대역 등과 조화를 이루는 형태)

나) 출력, 안테나 지향성, 펄스 폭, PRF, 스푸리어스 제한 등은 무선설비규칙의 레이더 일반 규정(제48조 - 주로 선박 레이더를 대상으로 하지만, 스푸리어스·주파수 허용편차 등 기본 로직은 동일 체계를 공유함)과 각종 고시/기술자료(ENRI 보고서 등)에 의해 세부적으로 관리된다.

3. 일본 총무성(MIC)의 해양레이더 기술기준

가. 무선설비규칙(無線設備規則) 기준 요약 (핵심)

해상 레이더는 무선설비규칙 제48조의 적용을 받으며, 아래 기준을 충족해야 한다.

1) 사용 주파수 대역 (Frequency)

가) 일반적으로 X-band(9 GHz대) 또는 S-band(3 GHz대)를 사용한다(ITU-R RRS 및 IMO 성능 기준과 동일한 국제 조화 원칙 적용).

나) 주파수는 **총무성 고시의 “주파수 할당 계획” 으로 확정된다.

2) 송신 출력 (Transmitter Power)

가) 무선설비규칙 제48조는 “레이더는 필요한 범위 내에서 적정 출력”을 요구하며, 구체적인 수치는 총무성 고시에서 규정한다.

- X-band 해상 레이더: 수십 kW 피크 출력
- S-band 해상 레이더: 수백 kW 피크 출력

3) 펄스 특성 (Pulse Characteristics)

가) 무선설비규칙은 레이더의 기본 펄스 특성 요구 사항을 포함한다.

- 펄스폭(Pulse width): 특정 범위(수십~수백 ns 수준)
- PRF(Pulse Repetition Frequency): 정해진 범위 내에서 운용
- 파형(Waveform): 펄스 레이더(PPI Radar) 방식
 - 구체적인 수치는 고시 또는 IMO 표준과 일치

4) 점유 대역폭 (Occupied Bandwidth)

가) 점유대역폭은 “총무대신이 정하는 기술적 조건(총무성 고시)”으로 정해진다.

나) X-band 레이더의 경우 수십 MHz 수준

5) 스푸리어스(불요전파) 기준

가) 전파법 일반 스푸리어스 규정 + 무선설비규칙 제24조

- 송신기 스퓨리어스 방사는 ITU-R SM.329와 거의 동일 기준
- 특정 주파수 오프셋에서 dBm 단위의 최대 방사 강도 제한
- 레이더 특성상 펄스 송신이므로 측정대상: PEP 기반 스퓨리어스 적용

6) 주파수 안정도(Frequency Tolerance)

가) 무선설비규칙에서 규정한 범위 내에서 다음을 만족해야 한다.

- $\pm 10^{-5}$ 수준 또는 그 이하 (레이더 종류에 따라 차이)
- 온도 변화·전원 변동에서도 안정도 유지

7) 안테나(Antenna) 기준

가) 고지향성 안테나 사용 (파라볼라 또는 슬롯 안테나)

나) 수평 회전(SCAN) 방식 PPI

다) 빔폭(Beamwidth), 이득(Gain), 사이드로브(Sidelobe) 수준 제한

라) 편파는 일반적으로 수평 편파(Horizontal polarization)

8) 수신기(Receiver) 성능

가) 수신 감도(Sensitivity): 규정된 최소 값 이하

나) IF 대역폭 및 수신기 노이즈 지수

다) 미약한 에코 검출 능력 요구

(항해 안전을 위해 IMO 성능 기준과 연계)

나. 해양레이더의 사용 주파수 및 전형적인 전파형식 예

1) 관보와 형식검정 규칙 관련 문서를 종합하면, 선박용 레이더의 대표적인 파라미터는 다음과 같다.

가) X-band (9 GHz대) 예시

- 전파형식: P0N(펄스), Q0N(주파수편이 펄스), V0N(복합 파형)
- 대표 중심 주파수 예:
 - P0N: 9410 MHz (전송 전력: “kW” 단위 - 실제 값은 형식별로 다르며, 마그네트론 레이더는 통상 25~50 kW급)
 - Q0N: 9350 MHz, 약 0.4 W(주로 내부 기준·보조용)
 - V0N: 9400 MHz 대역의 복합 파형

나) S-band (3 GHz대) 예시

- 형식검정 규칙
 - “P0N 전파, 2.9 GHz 대역” 등의 기술
 - 점유대역폭 허용값은 설비규칙 별표 제2호 및 총무성 고시에서 정하도록 되어 있다..

- 실제 허용 주파수 범위(예: 2.9~3.1 GHz, 9.2~9.5 GHz 등)는 ITU·총무성의 주파수배분·지정 고시에 나와 있으나, 이 도구에서는 해당 표 전체를 안정적으로 불러오기 어려워, “정확한 숫자 범위”는 여기서 단정하지 않고 대역 중심 및 대표값만 언급한다.

다. SSPA 해양레이다 관련 기술기준

2019년 관보에서 제48조 및 관련 규정 개정으로, 3 GHz/9 GHz SSPA 레이다에 대한 세부 수치가 신설되었다.

1) 펄스폭 (Pulse width) 규정

가) “3 GHz 또는 9 GHz대의 전파를 사용하면서, 시행규칙 제31조 제2항 제1~4호에 규정된 마그네트론 대신 반도체 소자(SSPA)를 사용하는 레이다”

- P0N 전파 사용시
 - 펄스폭 $\leq 1.2 \mu\text{s}$
- Q0N 전파 사용 시
 - 펄스폭 $\leq 22 \mu\text{s}$

(위 두 수치는 제48조 제1항 각호 뒤쪽에 신설된 규정의 직접 인용·요약됨)

2) 펄스 반복 주파수 (PRF)

가) 같은 반도체소자 레이다에 대해,

- 펄스 반복 주파수는 3,000 Hz를 초과하지 않음
- 변동률은 $\pm 25\%$ 이내일 것

3) 복합 파형 V0N의 점유주파수대폭(OBW) 상한

가) V0N 파형(내부적으로 P0N + Q0N 성분으로 구성)을 사용하는 경우,

- 각 성분의 점유주파수대폭을 합한 값이
 - 3 GHz(S-band)에서는 100 MHz 이하,
 - 9 GHz(X-band)에서는 110 MHz 이하 이어야 한다.
- 단, P0N과 Q0N의 주파수대가 겹치는 부분이 있을 때에는 각 성분의 점유대역폭에서 중복분을 뺀 값이
 - 3 GHz대: 100 MHz 이하,
 - 9 GHz대: 110 MHz 이하가 되도록 규정하고 있다..

요약하면, S-band 반도체소자 레이다는 “유효 점유대역폭 100 MHz 이하”, X-band 반도체소자 레이다는 “유효 점유대역폭 110 MHz 이하”가 법적으로 상한이다.

4. 항공 레이다 vs 해상 레이다 기술기준 비교표 (일본 총무성 MIC 기준)

표 9. 일본 항공 레이다 및 해상 레이다 기술기준 비교

구분	항공 레이다(Aerial Radar)	해상 레이다(Maritime Radar)
관련 법령	전파법, 전파법 시행규칙, 무선설비규칙 제45조의12 제열, 총무성 고시	전파법, 전파법 시행규칙, 무선설비규칙 제48조, 총무성 고시
주요 적용 장비	① 1차감시 레이다(PSR: ASR · ARSR) ② 2차감시 레이다(SSR/ATCRBS/Mode S) ③ DME/TACAN ④ ACAS/TCAS ⑤ GBAS/ILS/MLS(항법) ⑥ 지상감시 레이다(SMR/ASDE)	① 선박 항행용 X-band 해상 레이다(9 GHz대) ② 선박 항행용 S-band 해상 레이다(3 GHz대) ③ 소형/특례 레이다
주파수 대역	• PSR: 2.7-2.9 GHz, 9 GHz대 등 • SSR/Mode S: 1030 MHz (질문) / 1090 MHz(응답) • DME/TACAN/ACAS: 960-1215 MHz	• X-band: 약 9.3-9.5 GHz • S-band: 약 2.9-3.1 GHz (정확 범위는 주파수배분표·고시에서 결정)
전파형식	• PSR: 펄스(P0N), 주파수 변조 • 코히어런트 파형 등 • SSR: 펄스형 질문/응답 • DME: 펄스쌍	• P0N, Q0N, V0N(복합파형) • 반도체소자 레이다: P0N/Q0N/V0N 모두 사용
점유대역폭 규정	장비별로 개별 정의: • SSR/Mode S: 국제 규격 기반 (1030/1090 MHz 좁은 대역) • DME: 수MHz 단위	총무성 고시로 명확히 숫자 지정 • S-band: ≤ 100 MHz • X-band: ≤ 110 MHz
펄스폭(Pulse width)	장비별로 상이 • PSR: 수십~수백 ns • SSR: Mode A/C/S 포맷 규정 • DME: 펄스쌍(12 μs 간격 등)	반도체소자 레이다 고시 규정 • P0N: ≤ 1.2 μs • Q0N: ≤ 22 μs
펄스 반복 주파수(PRF)	레이다 유형별 다양한 값 • PSR: 수백~수천 Hz • SSR: 질문률 제한(Mode S 2400회/초 등)	반도체소자 레이다 고시 규정 • PRF ≤ 3 kHz (±25%)
출력(피크전력)	• PSR: 수백 kW • SSR: 수 kW • DME: 수백 W ~ kW	• X-band: 보통 25 kW~50 kW (장비 의존) • S-band: 수백 kW 급
편파(Polarization)	• SSR: 수직편파 (규정으로 고정) • PSR: 장비별	• 일반적으로 수평편파 사용
거리 측정 방식	• PSR: 반사 기반 • SSR/DME: 송수신 간 질문/응답 방식 • ACAS: 1030/1090 MHz 기반 충돌방지 알고리즘	• PSR과 동일한 반사 기반 거리 측정 • 해면반사·기상반사 억제 가 중요
표시 장치 기준	• 항공교통관제용 (ATC 디스플레이) • Mode S/ADS-B 식별·코드 표시	• 선박 항해용 PPI 디스플레이 • IMO/IEC 성능 기준 준수(해면·비·연무 억제 기능)

환경 요구사항	• 항공기/관제시설용 환경 시험 • EMI/EMC의 항공 기준	• 풍속 51.5 m/s에서 정상 동작 • 온도·습도·염분·진동 내구성 엄격
전원 안정도 규정	항공특화(장비별 규정)	• AC: $\pm 10\%$ • DC: $+30\%$ / -10% 허용
기동(워밍업) 시간	• SSR/PSR: 장비별 • - ACAS/DME: 즉시 가동 가능	• 일반 레이더: 전원 ON 후 4분 이내 완전 동작 • 스탠바이→완전 가동 15초 이내 • 의무 레이더: 5초 이내
안테나 요구사항	• 항공: 회전안테나 또는 고정 배열 • SSR: 방향성 안테나 + 전자 스캔	• 반드시 360° 연속 회전 • 회전 속도: 20 rpm 이상
규정 방식 특징	• 장비별(PSR/SSR/DME 등)로 규정이 세분화되어 복잡 • 국제(ICAO Annex 10) 규격과 강한 연계	• “선박 레이더”로 단일 조문(제 48조)에 통합 • 세부 수치는 “총무성 고시”로 일괄 지정 (S-band/X-band)
총무성 고시 적용	• Mode S, ADS-B, DME 등 각 장비별 별도 고시 존재	• 펄스폭/대역폭/PRF/특레 레이더 등 모든 숫자를 고시로 통합 관리

5. 일본 총무성(MIC)의 기상레이다 기술기준

가. 일본에서 정의되는 기상 레이다 종류

1) C-band 기상 레이다 (5.3 GHz 대역)

가) 일본 기상청(JMA) 및 지방자치단체가 주 사용

나) 강우·낙뢰·돌풍·강수량 추정에 사용

2) X-band 기상 레이다 (9.4-9.6 GHz 대역)

가) XRAIN(MIC·MLIT·JWA) 시스템에서 사용

나) 도시지역/협소지역 고해상도 강우 정보

3) Ka-band/MmWave 기상 레이다 (35 GHz / 95 GHz 등)

가) 고층 기상 관측, 낙뢰·대기 연구용

나) 일부는 “특수 무선설비”로 분류되어 별도 허가

- 각 대역은 일본 총무성(MIC)의 주파수 할당 계획 및 총무성 고시에 의해 지정된다.

기상 레이다의 구체 기술 기준은 무선설비규칙 내 “레이다 일반 규정(예: 제 48조와 유사 구조)” 및 용도별 별표에서 정의된다. 다음은 일본 총무성(MIC) 기준에서 기상 레이다에 공통적으로 적용되는 주요 항목이다.

나. 사용 주파수(Frequency Allocation)

1) 일본 총무성(MIC)는 기상 레이다에 아래 대역을 배정하며, 대역폭은 총무성 “주파수 할당 계획” 문서에서 확정된다.

표 10. 일본 기상레이다 주파수 현황

종류	사용 주파수(예)	특징
C-band 기상 레이다	5350-5470 MHz (대표)	강우 감시용, 고정밀 관측
X-band 기상 레이다	9300-9500 MHz (대표)	XRAIN 레이다, 도시지역 고분해능
Ka-band / mmWave	35 GHz, 95 GHz 등	연구·관측용, 특수 허가 필요

다. 전파형식(Emission Type)

1) 기상 레이다는 다음과 같은 전파형식이 허용된다.

가) 펄스형(P0N)

- 일반 기상 관측용 파형

나) 주파수 편이 펄스(Q0N)

다) 복합파형(V0N)

- C-band/X-band 이중편파(Dual-polarization) 관측을 위한 파형 포함
라) Doppler 파형(Frequency-modulated pulse)
- 풍속 관측 기능

일본의 기상레이다 도플러(Doppler) 관측은 일본에서는 무선설비규칙에서 “주파수 편이/확산형 파형”으로 분리 규정하고 있다.

라. 점유 대역폭(OBW)

1) 기상 레이다의 점유대역폭은 총무성 고시로 정해지며, 일반 규정은 다음과 같다.

가) C-band: 수 MHz ~ 수십 MHz 범위

나) X-band: 수십 MHz

다) Ka/mmWave: 용도별 별도 지정

- 폭우 관측용 레이다는 좁은 대역폭으로도 충분하지만, 이중편파 레이다의 경우 더 넓은 대역폭 허용 필요 → 일본 총무성(MIC) 고시로 규정

마. 송신 출력(Output Power)

1) 기상 레이다는 대개 수백 kW 피크 출력(Power Peak)

2) 일본 총무성(MIC) 규정은 “최대 허용 출력(Peak power)”과 “평균 출력”의 상한을 조문으로 설정한다.

3) 연구용 Ka-band 레이다 등은 출력 상한이 더 낮음(수 kW 이하)

- 특징:항공/해상 레이다보다 출력 허용 범위가 상대적으로 넓고,시설 설치 위치에 따라 개별 허가가 필요하다.

바. 주파수 허용편차(Frequency Tolerance)

1) 기상 레이다는 다음과 같은 안정도를 요구한다.

가) 일반적으로 10^{-5} 수준 이하

나) Doppler 관측 시 더 엄격한 안정도 필요

다) 일본 총무성(MIC) 고시에서 이중편파 레이다의 주파수 안정도 요건을 별도로 추가한다.

사. 스푸리어스(Spurious Emission)

1) 무선설비규칙 제24조에 의해 규정하고 있다.

가) 스푸리어스 강도 한도(dBm)

나) 불요발사 기준

다) 측정 대역·단위

- 기상레이다는 고출력 장비이므로 스푸리어스 규제가 매우 엄격하며, 특히 공항 주변 설치 시 항공 레이다(SSR 1030/1090 MHz) 에 간섭 방지가 필수이다.

아. 빔 패턴 및 편파(Antenna Characteristics)

1) 일본 총무성(MIC)는 성능 기준을 수치화하지 않지만, 다음은 필수 사항이다.

- 가) 수평/수직 편파 또는 이중편파(Dual polarization) 사용 가능
- 나) 안테나 방사 패턴이 외부로 불필요 전파를 방사하지 않도록 제한
- 다) 사이드로브 억제 요구
- 라) 레이다 고정탑의 빔각도 조절(고도 스캔) 특성 규정

표 11. 일본 기상레이다 기술기준

항 목	내 용
법적 성격	전파법 기반 기술기준(출력·대역폭·스푸리어스 중심)
주된 대역	C-band(5.3GHz), X-band(9.4GHz), 연구용 Ka/mmWave
전파형식	P0N, Q0N, V0N, Doppler 파형
점유대역폭	고시로 MHz 단위 명확히 설정
출력 제한	수백 kW 피크 이하(대역·용도별 상한 설정)
편파 조건	수평/수직/이중편파 가능, 사이드로브 억제
스푸리어스 규제	무선설비규칙 제24조에 따라 강한 제한
Doppler/이중편파	고시에서 세부 기술조건 부여
성능 기준	기상청·MLIT 기술 지침에서 별도 규정

제4장 결론

현대의 레이다 시스템은 군사 및 해상 항해를 넘어 자율주행, 드론 탐지/회피, 기상 관측, 재난 안전 등 다양한 산업 분야로 그 활용 범위를 급격히 확장하고 있다. 이러한 기술 및 시장의 변화에 맞춰, 국내 레이다 기술기준은 단순히 전파 간섭 방지라는 소극적인 목적을 넘어, 주파수 자원의 효율적 활용과 국내 산업의 혁신 성장을 지원하는 방향으로 재정립될 필요가 있다.

국내 레이다 기술기준의 필요성은 기술적 다양성, 주파수 공동 사용, 국제 표준 조화라는 세 가지 핵심 축을 중심으로 논의될 수 있다. 특히, 기존의 펄스(Pulse) 및 출력관(Tube) 방식에서 벗어나 비펄스(Non-Pulse) 방식과 SSPA(Solid State Power Amplifier) 기반의 신형 레이다가 대거 등장함에 따라, 이들 장비의 스펙트럼 효율성과 불요 발사 특성을 정확히 반영하는 새로운 기준이 시급히 요구된다.

1. 국내 레이다 기술기준 재정립의 핵심 필요성

가. 주파수 자원의 효율적 활용 및 공동 사용 기준 마련

국가 주파수 자원은 한정되어 있으며, 레이다 시스템은 대부분 고출력, 광대역 특성으로 인해 타 통신 시스템과의 간섭 문제를 야기할 가능성이 높다.

- 1) 신규 주파수 대역 기준: 자율주행차 레이다(77 GHz 대역), 드론 탐지 레이다(C/X-band) 등 새로운 서비스가 요구하는 주파수 대역에 대해 국내 환경에 맞는 기술기준 및 채널 할당 기준을 명확히 해야 한다.
- 2) 공동 사용 기준: 레이다와 5G 등 이동통신 시스템 간의 주파수 공동 사용(Coexistence)이 필수적인 상황이다. 특정 지리적/시간적 조건 하에서 간섭을 최소화하며 두 시스템이 함께 운용될 수 있도록 기술적 보호 기준(예: 인지 레이다의 허용 출력 레벨, 지향성 안테나 요구사항)을 기술기준에 반영해야 한다.

나. 다양한 방식의 레이다(펄스/비펄스) 및 신호 파형 수용

기존 기술기준은 주로 마그네트론 기반의 펄스 레이다를 염두에 두고 설정되었으나, 최근에는 아래와 같은 신호 방식이 대두되고 있다.

- 1) 비펄스(Non-Pulse) 레이다: FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 레이다는 낮은 피크 출력, 높은 해상도, 낮은 대역폭 점유율 등의 장점을 가진다. 기존 펄스 레이다의 피크 출력 및 펄스 폭 기반의 기술기준으로는 FMCW 레이다의 연속적인 신호 전송 특성과 점유 대역폭을 정확하게 평가하고 규제하기 어렵다.
- 2) 신호 파형 다양화: M-sequence, Chirp Waveform 등 다양한 신호 파형을

사용하는 레이더 시스템이 등장하고 있다. 이들 파형의 필요 주파수대역폭 및 대역 외 발사(OOBE) 특성을 정밀하게 측정하고 제한하기 위한 새로운 측정 절차 및 기준이 기술기준에 포함되어야 한다.

다. 증폭 방식(SSPA/출력관)의 차이에 따른 출력 및 불요 발사 기준 정립
레이더 시스템의 증폭 방식 변화는 전파 특성에 큰 영향을 미친다.

- 1) 출력관(Tube, 예: 마그네트론): 일반적으로 비선형성이 높아 대역 외 영역에서 불요 발사(Unwanted Emission)가 크게 발생할 수 있다. 기술기준은 출력관 사용 시 엄격한 스펙트럼 마스크를 요구하여 인접 대역 간섭을 방지해야 한다.
- 2) SSPA(Solid State Power Amplifier): SSPA는 선형성이 우수하여 불요 발사가 적고 스펙트럼 효율이 높다. SSPA 기반 레이더에 대해서는 높은 선형성을 보장하여 더 넓은 대역폭 사용을 허용하거나, 또는 출력관 방식과 차별화된 완화된 불요 발사 기준을 적용하여 기술 개발을 촉진할 필요가 있다.
- 3) 출력 기준 재검토: 고출력 펄스 레이더에 대한 피크 출력(Peak Power) 중심의 규제와 저출력 FMCW 레이더에 대한 평균 출력(Mean Power) 또는 EIRP(등가 등방 복사전력) 중심의 규제를 구분하여 적용하는 것이 합리적이다.

라. 국제 표준 및 기술 동향과의 조화

- 1) 미국(NTIA/FCC), 유럽(ETSI), 일본(MIC) 등 주요 선진국은 이미 레이더 용도별(해양, 기상, 항공, 자동차)로 세분화된 기술기준과 시험 표준을 운영하고 있다.
- 2) 국내 레이더 장비의 수출 경쟁력 확보와 국제적 상호 운용성(Interoperability) 보장을 위해, 국내 기술기준은 ETSI, ITU-R 등 국제 표준에서 제시하는 측정 방법론, 불요 발사 감쇠 레벨, 성능 시험 요구사항 등을 적극적으로 수용하여 국제 조화를 이루어야 한다. 이는 국내 기업이 별도의 인증 절차 없이 해외 시장에 진출할 수 있는 기반을 마련해 준다.

2. 국내 레이더 기술기준에 대한 검토

가. 주파수 범위에 대한 검토

- 1) 국내 현황: 국내는 주로 해상/선박 레이더에 대해 ITU 국제 분배 및 권고를 충실히 따르고 있다. 드론 탐지 레이더와 같이 신규 응용 분야에 대해서는 주파수 공동 사용을 고려한 새로운 대역이 할당 및 운용되고 있다.
- 2) 국외 비교 및 시사점: 미국 NTIA 및 유럽 ETSI는 항공, 기상 등 분야별로

세분화된 주파수 기준을 제시한다. 국내도 신규 레이더 서비스(예: 자율주행 차량용 레이더, 5G 기반 인지 레이더)의 출현에 발맞춰 주파수 대역의 유연성 및 공동 사용을 위한 기술기준 확보가 필요하다.

나. 레이더의 출력 범위에 대한 검토

- 1) 국내 현황: 출력 제한은 주로 간섭 방지 및 전자파 인체 보호 측면에서 규정된다. 고출력 레이더(선박, 관제용)와 저출력 레이더(드론 탐지 등)에 대한 기준이 구분되어 적용된다.
- 2) 국외 비교 및 시사점: 미국과 유럽은 EIRP 기준으로 출력 제한을 명확히 하는 경우가 많다. 국내 레이더 기술기준에서도 EIRP 기준의 도입을 확대하고, 평균 전력 및 피크 전력 기준을 레이더 파형 특성에 맞게 합리적으로 구분하여 적용할 필요가 있다.

다. 레이더 신호 파형 종류에 대한 검토 : 펄스 및 비펄스

- 1) 국내 현황: 전통적인 펄스 레이더(Pulse Radar)에 대한 기술기준이 주를 이루고 있다. 최근 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave)와 같은 비펄스 레이더(Non-Pulse Radar)의 사용이 증가하고 있으나, 이에 대한 기술기준은 간이무선국 등의 포괄적 기준에 포함되는 경우가 많아 레이더 특화 기준이 미흡할 수 있다.
- 2) 국외 비교 및 시사점: FMCW와 같은 비펄스 레이더는 낮은 피크 출력 및 연속된 전송 특성으로 인해 불요 발사 특성이 펄스 레이더와 상이하다. ETSI 등은 이미 이러한 신규 파형에 대한 시험 절차 및 기준을 마련하고 있으므로, 국내 기준도 FMCW, M-sequence 등 다양한 레이더 파형의 점유 대역폭 및 불요 발사 측정/평가 방법을 구체화해야 한다.

라. 레이더 증폭 방식에 대한 검토 : SSPA 및 출력관(Tube)

- 1) 국내 현황: 전통적으로 마그네트론(Magnetron) 및 클라이스트론(Klystron) 등의 출력관(Tube) 방식이 고출력 레이더에 사용되어 왔으나, 최근 신뢰성, 수명, 소형화, 선형성 등의 이점으로 SSPA(Solid State Power Amplifier) 방식의 적용이 확대되고 있다.
- 2) 국외 비교 및 시사점: SSPA는 높은 선형성을 갖는 반면, 출력관은 비선형 특성으로 인해 더 많은 불요 발사(특히 대역 외 발사)를 발생시킬 수 있다. 기술기준은 장비의 증폭 방식에 따른 불요 발사 특성 차이를 명확히 인지하고, SSPA 기반 레이더의 높은 대역폭 효율을 활용할 수 있도록 유연한 기준을 제시하는 방향으로 검토되어야 한다.

국내 레이더 기술기준은 현재의 기술 발전 속도와 미래 산업 수요를 반영하여 대폭 정비되어야 한다. 이는 단순히 규제를 강화하는 것이 아니라, 다양한 레이더 방식을 수용하고, 주파수 공동 사용 환경을 조성하며, 국제적 기술 동향과 발을 맞추므로써 국내 레이더 산업의 기술 혁신과 시장 확대를 위한 필수적인 인프라를 구축하는 행위이다.

신호 파형, 증폭 방식의 특성을 고려한 세분화된 출력 및 불요 발사 기준을 마련하는 것이 국내 레이더 기술기준 재정립의 핵심 과제이며, 이를 통해 레이더와 통신 시스템이 공존하는 미래 전파 환경을 성공적으로 구축할 수 있을 것이다.

[참고문헌]

- [1] 과학기술정보통신부 고시, 해상업무용 무선설비의 기술기준 [시행 2025. 6. 23].
- [2] 과학기술정보통신부 고시, 간이무선국·우주국·지구국의 무선설비 및 전파탐지용 무선설비 등 그 밖의 업무용 무선설비의 기술기준 [시행 2025. 5. 26.].
- [3] 과학기술정보통신부 고시, 전자파 인체보호 기준.
- [4] 한국전자통신연구원(ETRI), 레이다 주파수 이용효율화를 위한 핵심기술 연구 (2025).
- [5] 한국정보통신기술협회(TTA), 레이다 스펙트럼 엔지니어링 기술조건을 위한 민간 서비스용 공공 레이다 분류, 2023.
- [6] 한국정보통신기술협회(TTA), 민간 서비스용 공공 레이다 스펙트럼 엔지니어링 기술 조건, 2024.
- [7] 무선설비규칙, 과학기술정보통신부령 제86호, 과학기술정보통신부, 2022
- [8] National Telecommunications and Information Administration (NTIA), Manual of Regulations and Procedures for Federal Radiofrequency Management (Red Book), Chapter 5.5: Spectrum Standards (2021 Edition, or latest).
- [9] Federal Communications Commission (FCC) Regulations, Part 90, Part 95, etc. (Relevant sections for non-government radar).
- [10] European Telecommunications Standards Institute (ETSI) Harmonised Standards: ETSI EN 303 135: Coastal Surveillance, Vessel Traffic Services and Harbour Radars.
- [11] European Telecommunications Standards Institute (ETSI) Harmonised Standards: ETSI EN 303 347-1, -2, -3: Meteorological Radars.
- [12] European Telecommunications Standards Institute (ETSI) Harmonised Standards: ETSI EN 303 364-1, -2, -3: Primary Surveillance Radar (PSR).
- [13] Directive 2014/53/EU (Radio Equipment Directive, RED).
- [14] 일본 총무성 (Ministry of Internal Affairs and Communications, MIC), 무선설비규칙(無線設備規則), 2025
- [15] International Telecommunication Union (ITU), Radio Regulations (RR).
- [16] ITU-R Recommendations (예: M.1177-4, Techniques for measurement of unwanted emissions of radar systems).

레이다 분야 전문지원 체계 운영 결과 보고서



국립전파연구원

National Radio Research Agency

(58323) 전남 나주시 빗가람로 767

발 행 일 : 2025. 12.

발 행 인 : 정 창 립

발 행 처 : 과학기술정보통신부 국립전파연구원

전 화 : 061) 338-4623

인 쇄 : 경성문화사

Tel. 02) 786-2999

ISBN : 979-11-5820-278-1 < 비 매 품 >

주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.

