

인명안전 무선설비의 적합성 평가방법 개선방안 연구

2018. 12.



국립전파연구원

National Radio Research Agency

제 출 문

본 보고서를 「인명안전 무선설비의 적합성 평가방법 개선방안 연구」
과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2018. 12. 31.

연구책임자 : 채성철(기술기준과 해상항공이동체담당)

연구원 : 심용섭(기술기준과 해상항공이동체담당)

최승준(기술기준과 해상항공이동체담당)

류제환(기술기준과 해상항공이동체담당)

김성태(기술기준과 해상항공이동체담당)

요 약 문

본 연구에서는 해상·항공 분야에서 이슈가 되고 있는 내용에 대해 알아보고, 무선설비의 적합성평가와 관련된 현황 및 개선방안 연구를 진행하였으며, 해상에서 초단파 대역 디지털 통신 시스템의 도입을 위한 기술 동향을 알아보고, 일반적인 레이더의 특성에 대한 연구를 추진하였다.

먼저, 항공 분야에서 무선설비의 적합성평가 관련 현재 적용되는 무선설비 시험방법 현황을 살펴보고, 국내 제작 항공기에 탑재되는 무선설비가 준용한 국제 시험방법을 분석하였으며, 이를 기반으로 국내 항공 무선설비의 시험방법 개선방안을 마련하였다.

두 번째로 해상 분야에서 e-Navigation 도입과 함께 추진되고 있는 과제 중 초단파대 디지털 데이터 교환 시스템(VHF Data Exchange System) 국제표준 동향 및 기술기준에 대한 분석을 진행하였다.

세 번째로는 레이더 간섭분석 시 기초자료로 활용될 수 있도록, 일반적인 레이더의 특성을 분석하고 ITU-R의 레이더 관련 규제를 정리하였으며, 알맞은 무선국 지정 또는 허가를 위해 전파업무에 따른 레이더 무선국을 분류 및 제시하여 효율적인 레이더 간섭분석을 도모하고자 하였다.

동 연구결과는 해상·항공 분야에서 국내·외 표준화 활동의 대응방안을 마련하는 데 유용하게 사용될 수 있을 것이고, 해상·항공업무용 무선설비의 기술기준 정비를 위한 기본 자료로서 활용하거나, 우리나라의 무선통신기술 정책 마련을 위한 참고자료가 될 수 있을 것이다.

목 차

| | |
|--|-----|
| 제1장 서론 | 1 |
| 제2장 항공이동체 주파수 및 무선설비 시험방법 연구 | 2 |
| 제1절 연구의 배경 | 2 |
| 제2절 항공이동체 주파수 이용방안 | 3 |
| 제3절 항공 무선설비 시험방법 개선방안 | 52 |
| 제4절 소결 | 78 |
| 제3장 해상 VDES 설비 기술기준 연구 | 79 |
| 제1절 연구의 배경 | 79 |
| 제2절 VDES(VHF Data Exchange System) 특성 | 80 |
| 제3절 VDES(VHF Data Exchange System) 국제 주파수 분배 | 90 |
| 제4절 소결 | 98 |
| 제4장 레이더 무선국 간섭분석 지침 | 99 |
| 제1절 연구의 배경 | 99 |
| 제2절 레이더 스펙트럼 환경 | 100 |
| 제3절 레이더 발사 | 101 |
| 제4절 레이더용 주파수 분배 이슈 | 104 |
| 제5절 레이더의 간섭 영향 | 111 |
| 제6절 레이더 무선국 분류 체계 | 112 |
| 제7절 소결 | 121 |
| 제5장 결론 | 122 |
| 참고문헌 | 123 |

표 목 차

| | |
|---|----|
| [표 1] 국내 항공이동체의 데이터링크용 주파수 이용 현황 | 3 |
| [표 2] 항공이동업무용 주요 주파수 대역 | 4 |
| [표 3] 항공무선항행업무용 주요 주파수 대역 | 4 |
| [표 4] 항공이동업무용 시스템 관련 권고 | 5 |
| [표 5] 항공이동체의 탐지 및 회피 관련 권고 및 보고서 | 5 |
| [표 6] 4400~4900MHz 대역의 주파수 분배 현황 | 6 |
| [표 7] 4400~4900MHz 대역의 항공이동업무용 시스템의 기술적 특성 · | 8 |
| [표 8] 14.5~15.35GHz 대역의 주파수 분배 현황 | 9 |
| [표 9] 14.5~15.35GHz 대역의 항공이동업무용 시스템의 기술적 특성 · | 10 |
| [표 10] 22.5~23.6GHz 및 25.5~27.5GHz 대역의 주파수 분배 현황 | 12 |
| [표 11] 22.5~23.6GHz 및 25.5~27.5GHz 대역의 항공이동업무용 시스템의 기술적 특성 | 13 |
| [표 12] 45.5~47GHz 대역의 주파수 분배 현황 | 14 |
| [표 13] 45.5~47GHz 대역의 항공이동업무용 시스템의 기술적 특성 · | 14 |
| [표 14] 21.2~22GHz 대역의 주파수 분배 현황 | 15 |
| [표 15] 21.2~22GHz 대역의 항공이동업무용 시스템의 기술적 특성 · | 15 |
| [표 16] 8.5~10.68GHz 대역의 무선측위업무용 시스템의 기술적 특성(1) · | 17 |
| [표 17] 8.5~10.68GHz 대역의 무선측위업무용 시스템의 기술적 특성(2) · | 18 |
| [표 18] 8.5~10.68GHz 대역의 무선측위업무용 시스템의 기술적 특성(3) · | 19 |
| [표 19] 8.5~10.68GHz 대역의 무선측위업무용 시스템의 기술적 특성(4) · | 20 |
| [표 20] 무인항공기용 항공무선항행업무용 주파수 대역(탐재 레이다) · | 26 |
| [표 21] 무인항공기용 항공무선항행업무용 주파수 대역(지상 레이다) · | 27 |
| [표 22] 무인항공기용 항공무선항행업무용 주파수 대역(탐재/지상 레이다) | 28 |

| | |
|--|----|
| [표 23] 무인항공기용 무선항행업무용 주파수 대역(탑재/지상 레이더) | 29 |
| [표 24] PMSE 응용분야 | 30 |
| [표 25] 항공기를 이용한 영상링크(상/하향) | 31 |
| [표 26] 음성 PMSE 주파수 대역 및 기술문서 | 33 |
| [표 27] 영상 PMSE 주파수 대역 및 기술문서 | 34 |
| [표 28] 영상 PMSE의 운용 특성 | 35 |
| [표 29] 영상 PMSE의 항공용 하향링크 특성 | 36 |
| [표 30] 영상 PMSE의 항공용 상향링크 특성 | 37 |
| [표 31] 영상 PMSE의 기술 파라미터 | 39 |
| [표 32] 영상 PMSE의 시나리오 및 MFCN 운용 사항 | 42 |
| [표 33] 2700~2900MHz 대역의 관련 주석 | 44 |
| [표 34] 항공용 및 기상용 레이더의 기술 파라미터 | 45 |
| [표 35] 2700~2900MHz 대역에서 레이더와 PMSE와의 이격 거리 | 46 |
| [표 36] 2900~3400MHz 대역의 관련 주석 | 47 |
| [표 37] 항공무선항행, 기상, 군용 레이더의 기술 파라미터 | 48 |
| [표 38] 해상무선항행, 지상, 항공기 레이더의 기술 파라미터 | 48 |
| [표 39] 2900~3400MHz 대역에서 레이더와 PMSE와의 이격 거리 | 49 |
| [표 40] 항공 무선설비의 적합인증 대상기자재 | 52 |
| [표 41] 중관소 고시에 명시된 항공기에 갖추어야 하는 무선설비 | 53 |
| [표 42] KS 3123의 부속서 구성 목차 | 54 |
| [표 43] RTCA DO 표준 | 55 |
| [표 44] DO-160 표준 내 용어 설명 | 56 |
| [표 45] 시험 조건 | 57 |
| [표 46] 온도 및 기압 시험을 위한 Category 구분 | 58 |
| [표 47] 세부 온도 시험 | 59 |
| [표 48] 장비 보관 온도(저온) 및 장비 최초 동작 온도(저온) 시험 | 60 |

| | |
|---|----|
| [표 49] 최저 운용 온도 시험 | 61 |
| [표 50] 장비 보관 온도(저온) 및 장비 최초 동작 온도(고온) 시험 ... | 62 |
| [표 51] 최고 운용 온도 시험 | 63 |
| [표 52] 비행 중 냉각 시스템 부재시 운용 온도 시험 | 64 |
| [표 53] 고도에 따른 기압 시험 | 65 |
| [표 54] 저기압 시험 | 66 |
| [표 55] 고기압 시험 | 67 |
| [표 56] 비행 고도별 절대 압력 | 68 |
| [표 57] 온도 변화 시험의 Category 구분 | 69 |
| [표 58] 온도 변화 시험 절차(Category A, B, C) | 70 |
| [표 59] 온도 변화 시험 절차(Category S1) | 71 |
| [표 60] 온도 변화 시험 절차(Category S2) | 72 |
| [표 61] 습도 시험의 Category 구분 | 73 |
| [표 62] 습도 시험 절차(Category A) | 74 |
| [표 63] 습도 시험 절차(Category B) | 75 |
| [표 64] 습도 시험 절차(Category B) | 76 |
| [표 65] GMDSS 해역 정의 | 80 |
| [표 66] 전파규칙 부록 18(VDES 채널) | 82 |
| [표 67] OSI 7계층 모델 | 83 |
| [표 68] 응용식별자(Application identifier) | 85 |
| [표 69] Time division multiple acces 최소 요구 전송 특성 | 85 |
| [표 70] 전송우선순위 | 86 |
| [표 71] 해안국 전송 파라미터 | 87 |
| [표 72] 이슈별 주요 내용 | 90 |
| [표 73] 개정된 주파수 분배표 | 93 |
| [표 74] 국제 주파수 분배표 | 94 |
| [표 75] 위성 VDE 관련 Method | 96 |

| | |
|--|-----|
| [표 76] 레이더의 불요발사 규제 관련 ITU-R 권고 | 104 |
| [표 77] 권고 SM.1541-6 레이더 유형에 따른 필요대역폭 | 107 |
| [표 78] 무선측위와 관련한 용어 | 113 |
| [표 79] 무선측위업무 관련 용어 정의 | 114 |
| [표 80] 무선측위 관련 무선국 용어 정의 | 117 |
| [표 81] 전파업무에 따른 무선국 분류 | 119 |

그 립 목 차

| | |
|--|-----|
| [그림 1] 현재 항공용 감시시스템 | 23 |
| [그림 2] 무인항공기 감시시스템 | 23 |
| [그림 3] 탐지 및 회피 수행 절차 | 24 |
| [그림 4] 사용 주파수에 따른 방위 오차 | 25 |
| [그림 5] 사용 주파수에 따른 대기 감쇄 | 26 |
| [그림 6] 항공기를 이용한 영상링크 활용 | 31 |
| [그림 7] 항공기를 이용한 중계링크 활용 | 32 |
| [그림 8] 항공기 탑재용 영상 PMSE 장비 | 32 |
| [그림 9] 하향링크 간섭 시나리오 | 38 |
| [그림 10] 상향링크 간섭 시나리오 | 39 |
| [그림 11] PMSE와 MFCN의 운용 방안 마련 절차 | 43 |
| [그림 12] 2700~2900MHz 대역의 분배 현황 | 44 |
| [그림 13] 동일 및 인접 채널의 주파수 이용 | 44 |
| [그림 14] 2900~3400MHz 대역의 분배 현황 | 47 |
| [그림 15] VDES의 기능과 주파수 사용 | 81 |
| [그림 16] 메시지 구조 | 86 |
| [그림 17] 슬롯 구조 | 88 |
| [그림 18] 프레임 계층 구조 | 89 |
| [그림 19] 위성 VDE 주파수 분배방안 | 95 |
| [그림 20] 펄스 마그네트론을 이용한 레이더의 스펙트럼 전력밀도 예시 | 103 |
| [그림 21] 일반적인 레이더 스펙트럼 마스크 | 105 |
| [그림 22] 펄스 레이더의 필요대역폭 결정(권고 SM.1138-2 Annex 1 중 발췌) | 106 |

| | |
|---|-----|
| [그림 23] 20dB/decade인 roll-off의 대역외 발사 마스크 | 110 |
| [그림 24] 30dB/decade인 roll-off의 대역외 발사 마스크 | 110 |
| [그림 25] 펄스압축 레이더 파형(선형주파수변조) | 112 |
| [그림 26] 무선측위 관련 전파업무별 체계 | 116 |
| [그림 27] 무선측위 관련 전파업무별 무선국 분류 | 120 |

제1장 서론

제4차 산업혁명이라는 용어는 정보 통신 기술(ICT) 기반의 새로운 산업 시대를 대표하는 용어가 되었다. 컴퓨터와 인터넷으로 대표되는 제3차 산업혁명에서 한 단계 더 진화한 혁명으로도 일컬어진다. 4차 산업혁명의 핵심은 초연결성(hyperconnectivity)에 있고, 전파는 이러한 초연결성을 이루기 위한 매개이다. 전파는 다양한 분야에서 핵심요소로 자리 잡고 있으며, 특히나 해상·항공 분야에서 전파를 이용한 무선통신은 중요한 비중을 차지하고 있다. 그리고 최근에는 4차 산업혁명의 물결로 인해 해상·항공 분야에서도 진화의 바람이 불고 있다. 이를 위해 국제기구에서도 새롭게 등장하는 다양한 통신 장비와 통신 기술에 대한 논의를 지속하고 있으며, 각 국에서도 다양한 기술의 표준화 및 기술 도입을 위해 발빠르게 움직이고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 해상·항공 분야에서 이슈가 되고 있는 내용에 대해 알아보고, 무선설비의 적합성평가와 관련된 현황 및 개선방안 연구를 진행하였으며, 해상에서 초단파 대역 디지털 통신 시스템의 도입을 위한 기술 동향을 알아보고, 일반적인 레이더의 특성에 대한 연구를 추진하였다.

먼저, 항공 분야에서 무선설비의 적합성평가 관련 현재 적용되는 무선설비 시험방법 현황을 살펴보고, 국내 제작 항공기에 탑재되는 무선설비가 준용한 국제 시험방법을 분석하였으며, 이를 기반으로 국내 항공 무선설비의 시험방법 개선방안을 마련하였다.

두 번째로 해상 분야에서 e-Navigation 도입과 함께 추진되고 있는 과제 중 초단파대 디지털 데이터 교환 시스템(VHF Data Exchange System) 국제표준 동향 및 기술기준에 대한 분석을 진행하였다.

세 번째로는 레이더 간섭분석 시 기초자료로 활용될 수 있도록, 일반적인 레이더의 특성을 분석하고 ITU-R의 레이더 관련 규제를 정리하였으며, 알맞은 무선국 지정 또는 허가를 위해 전파업무에 따른 레이더 무선국을 분류 및 제시하여 효율적인 레이더 간섭분석을 도모하고자 하였다.

제2장 항공이동체 주파수 및 무선설비 시험방법 연구

제1절 연구의 배경

항공기는 안전한 비행을 위해 각종 통신 및 항행 무선설비를 이용하고 있으며 이러한 무선설비의 주파수는 용도에 따라 분배된 국제전기통신연합(ITU)의 전파규칙에 따라 정해진다. 인명안전의 확보에 밀접하게 연관된 항공 무선설비는 외부의 간섭으로부터 보호받아야 함에 따라, 타 분야의 무선설비와 공유되지 않고 대부분 독점적인 지위를 보장받고 있다. 또한, 국제민간항공기구(ICAO)의 시스템 관련 국제 표준을 엄격히 적용받아 무선설비의 요구 성능을 보장하고 국가간 자유로운 이동을 위한 호환성을 갖추도록 설치·운용되고 있다.

항공 주파수는 ITU 전파규칙의 주파수 용도 구분에 따라 항공이동, 항공무선항행, 무선탐지 등의 대역으로 분배되었으며 전파규칙 내 주석을 통해 세부사항을 규정하고 있다. 이렇게 분배된 대역은 각 무선설비의 주파수 사용을 위해 ICAO 규정을 따라 사용 주파수(채널)이 분류되어 있으며 관련 규정으로는 ICAO 부속서 10(Volume 5), ICAO 주파수 핸드북 등이 있다.

최근 항공 분야는 기존 유인항공기의 사용이 지속적으로 증가하는 한편, 제4차 산업혁명의 주요 분야로 드론을 포함한 무인항공기가 주목받고 있으며 그 이용 사례도 급격히 증가하여 항공이동체의 주파수 수요가 급격히 증가하고 있다. 항공이동체는 실시간 영상 등 대용량 정보전송을 위한 광대역 데이터링크(임무용) 주파수가 요구되고 있으며 향후, 정밀 관제 무인항공기와의 통합 운영 등에 필요한 원격 제어, 탐지 및 회피용 주파수 수요도 예상할 수 있다.

이러한 상황에서 본 연구는 유·무인 항공이동체의 활성화를 위해 필요한 임무용 및 탐지·회피용 주파수 수요에 대비한 항공이동체 주파수 이용방안을 마련하였다.

항공 무선설비는 민간 분야의 ICAO 표준이 국제표준으로 대표되며 북미 지역의 RTCA 및 유럽 지역의 EUROCAE 표준으로, 복수의 세부 표준이 마련되어 있다. 국내 산업계는 군용 항공기 개발을 중심으로 발전해왔으며 최근에는 기존 개발된 군용 항공기를 개량하여, 민간 분야의 항공기 보급이 추진되는 시점으로 관련 적합성평가 등의 인증 수요가 제기되고 있다.

이에 본 연구에서는 무선설비의 적합성평가 관련 현재 적용되는 무선설비 시험방법 현황을 살펴보고, 국내 제작 항공기에 탑재되는 무선설비가 준용한 국제 시험방법을 분석하였으며, 이를 기반으로 국내 항공 무선설비의 시험방법 개선방안을 마련하였다.

제2절 항공이동체 주파수 이용방안

1. 국내 이용 동향

드론을 포함한 국내 항공이동체의 데이터링크 주파수 이용 현황을 살펴보면 주로 경찰 및 소방 분야의 실시간 영상 전송용과, 연구계 및 산업계의 통신제어, 데이터 전송 관련 연구 및 개발 용도로 이용되고 있다.

항공이동체는 기존에 헬기를 이용한 실시간 치안 유지 및 해상 감시용 영상 전송을 위한 공공분야의 주파수 수요를 중심으로 사용되다가, 최근에는 운용 비용 및 임무 수행의 효율성 등의 장점을 갖는 드론 및 무인항공기를 이용한 영상 전송 용도의 주파수 수요가 증가하고 있다.

현재, 항공이동체의 원격 제어 및 임무용 주파수 이용 현황은 표 1과 같으며 및 영상 전송의 경우 고화질 전송을 위해 광대역의 주파수 사용하고 있다.

[표 1] 국내 항공이동체의 데이터링크용 주파수 이용 현황

| 이용 분야 | 주파수 대역(대역폭) | 비행체 | 용도 |
|-------|-------------------------|-------|-------|
| 공공기관 | 2200~2290MHz 대역(6MHz폭) | 헬기 | 영상 |
| | 2200~2290MHz 대역(2MHz폭) | 헬기 | 영상 |
| | 2200~2290MHz 대역(6MHz폭) | 헬기 | 영상 |
| | 5091~5150MHz 대역(23MHz폭) | 드론 | 제어/영상 |
| 연구계 | 5030~5091MHz(10MHz폭) | 무인항공기 | 실험 |
| | 5091~5150MHz 대역(6MHz) | 무인항공기 | 실험 |
| 산업계 | 5030~5091MHz(1MHz폭) | 드론 | 실험 |
| | 5030~5091 대역(11MHz폭) | 무인항공기 | 실험 |
| | 5091~5150MHz 대역(10MHz폭) | 드론 | 실험 |
| | 5091~5150MHz 대역(6MHz폭) | 무인항공기 | 실험 |

향후, 항공이동체의 활성화를 위해서는 레이더링크용 주파수 수요와 함께, 다수 항공이동체간의 통합 관제 및 상호 충돌 방지를 위한 탐지 및 회피 용도의 주파수 수요가 제기될 것으로 예측된다.

2. ITU 연구 동향

ITU에서는 주파수 대역을 업무(용도)별로 구분하여 분배하고 있으며 항공 주파수는 크게 항공이동업무와 항공무선항행업무로 구분된다. 항공이동업무는 공대지 HF 및 VHF 무선전화 등 주로 통신용 무선설비를 포함하고 있고 항공무선항행업무는 1차감시레이다 및 거리측정시설 등 지상 및 항공기 탑재 레이더가 대표적이며 일부 무선탐지 대역도 지상의 레이더 시설에 사용되고 있다.

항공이동업무용 및 항공무선항행업무용으로 분배된 세부 주파수 대역 및 관련 국내 기술기준(항공업무용 무선설비의 기술기준)은 표 2 및 표 3과 같다.

[표 2] 항공이동업무용 주요 주파수 대역

| 주파수 대역 | 업무/용도 | 기술기준 |
|----------------|---------------------|---------|
| 2850~22000kHz | 항공이동(R)/HF 통신 | 항공 제8조 |
| 117.975~137MHz | 항공이동(R)/VHF 통신 | 항공 제9조 |
| 5030~5091MHz | 항공이동(R)/무인항공기 지상제어용 | 항공 제22조 |
| 5091~5150MHz | 항공이동/무인항공기 임무용 | - |

[표 3] 항공무선항행업무용 주요 주파수 대역

| 주파수 대역 | 업무/용도 | 기술기준 |
|----------------|----------------------------|----------------|
| 130~535kHz | 항공무선항행/표지시설(NDB) | 항공 제15조 |
| 108~117.975MHz | 항공무선항행/표지(VOR) 및 항행시설(ILS) | 항공 제16조 및 제17조 |
| 328.6~335.4MHz | 항공무선항행/항행시설(ILS) | 항공 제17조 |
| 960~1215MHz | 항공무선항행/항행시설(DME, SSR) | 항공 제12조 및 제13조 |
| 4200~4400MHz | 항공무선항행/전파고도계 | 항공 제19조 |

유·무인항공기에서 이용되는 실시간 영상전송 등 대용량 통신은 항공이동업무의 범주에 해당되며, 항공이동업무는 이동업무의 일부로 포함되기 때문에 항공이동업무를 제외하지 않은 이동업무 주파수 대역의 사용이 가능하다. 또한, 항공이동체의 충돌 방지 및 회피 시스템용 주파수는 기존 항공무선항행업무용 주파수의 사용을 고려할 수 있다.

이에 ITU-R 내 연구그룹 SG5에서는 항공이동체의 광대역 대용량 통신을 위한 이동업무 대역과, 탐지 및 회피를 위한 항공무선항행 대역에 대해 무선설비의 주파수, 기술적 특성 및 보호기준 등에 대한 연구를 표 4 및 표 5와 같이 수행하였다.

이러한 연구는 이동업무 대역에서 항공이동업무의 사용을 위해 필요한 기존 업무와의 공유 및 양립성 연구, 항공이동체용 탐지 및 회피를 위한 시스템 및 주파수 연구에 활용될 것으로 기대된다.

[표 4] 항공이동업무용 시스템 관련 권고

| 권고 | 주파수 대역 | 보호기준 |
|--------------------|-----------------------------|--|
| M.2116-0 | 4400~4900MHz | (I+N)/N ratio of 1.26 또는 I/N = -6dB |
| M.2089-0 | 14.5~15.35GHz | |
| M.2114-0 | 22.5~23.6GHz, 25.25~27.5GHz | |
| M.2115-0 | 45.5~47GHz | |
| M.[AMS_22GHZ](개발중) | 21.2~22GHz | |

[표 5] 항공이동체의 탐지 및 회피 관련 권고 및 보고서

| 권고/보고서 | 주파수 대역 | 용도 |
|-----------------|---------------|----------|
| 권고 M.1796-2 | 8500~10680MHz | 탐지 및 회피용 |
| 보고서 M.2204(개정중) | 4.5~15.35GHz | |

가. 4400~4900MHz 대역(M.2116-0)

4400~4900MHz 대역은 표 6과 같이 세계 전 지역에서 이동 업무로 1순위 분배 되었으며 국내는 4400~4500MHz 대역만 이동업무로 분배되었다. 4400~4900MHz 대역의 항공이동체용 데이터링크는 항공국과 항공기 간(공대지) 또는 항공기국 간(공대공) 양방향 통신 및 항공기국간 중계에 사용되며 항공기국의 운용 고도는 20km 내에서 다양하게 이용되고 있다.

[표 6] 4400~4900MHz 대역의 주파수 분배 현황

| 주파수 대역(MHz) | 국제 분배(1/2/3 지역 공통) | 국내 분배 |
|--|--|-------------------------|
| 4400~4500 | 고정 이동 5.440A | 고정 이동 |
| 4500~4800 | 고정 고정위성(우주대지구) 5.441 이동 5.440A | 고정 고정위성(우주대지구) 5.441 |
| 4800~4990 | 고정 이동 5.440A 5.441A 5.441B 5.442 전파천문 5.149 5.339 5.443 | 고정 전파천문 5.149 |
| (5.442) 4825~4835 MHz 및 4950~4990 MHz의 주파수대역에서 이동업무 분배는 항공 이동업무를 제외한 이동업무에 한한다. 제2지역(브라질, 쿠바, 과테말라, 멕시코, 파라과이, 우루과이 및 베네수엘라 제외)과 호주에서는 4825~4835 MHz의 주파수대역 또한 항공이동업무에 분배하되, 항공기의 비행시험을 위한 항공이동 원격측정 용도로 한한다. 그러한 이용은 결의 416(WRC-07)에 따라야 하며, 고정업무에 유해간섭을 주어서는 안된다. (WRC-15) | | |

4400~4900MHz의 이동업무용 주파수대역에서 항공이동업무용으로 사용되는 시스템의 기술적 특성은 표 7과 같이 지상 및 탑재 설비로 구분하여 송신 출력, 대역폭, 안테나 등에 대한 파라미터를 나타내고 있다.

이러한 항공이동용 시스템의 송신기는 일반적으로 디지털 변조방식을 사용하여 하나의 이상의 다수 신호 전송이 가능하다. 또한, 적용되는 안테나는 항공기국(탑재)의 경우 3~19dBi, 항공국(지상)의 경우 3~31dBi의 이득을 갖고 있으며 수평 및 수직의 편파 특성이 다양하게 고려되고 있다.

4400~4900MHz 대역을 사용하는 항공이동업무용 시스템은 외부로부터 유입되는 간섭으로부터 요구되는 성능을 보장하기 위한 보호 기준으로, 식 1과 같이 간섭대잡음비 1.26, $I/N = -6\text{dB}$ 를 적용하도록 한다.

$$\text{간섭대잡음비} = \frac{I(mW) + N(mW)}{N(mW)} = 1.26, I/N = -6\text{dB} \quad (\text{식 1})$$

여기서, I : 간섭(Interference), N : 잡음(Noise)

[표 7] 4400~4900MHz 대역의 항공이동업무용 시스템의 기술적 특성

| 항목 (단위) | 무선설비 1 | | | 무선설비 2 | | | 무선설비 3 | | | | 무선설비 4 | | | | 무선설비 5 | | | |
|--------------------|--------|------|--------|--------------|----------|--------|-------------------|-------------------|-----|-------------------|-------------------|----|------------|------------|--------|----|-----|--------|
| | 탑재 | 지상 | | 탑재 | 지상 | | 탑재 | 지상 | | 탑재 | 지상 | | 탑재 | 지상 | | 탑재 | 지상 | |
| 송신 출력 (dBm) | 45 | 45 | | 35~39 | 30~39 | | 40~50 | 42 | | 43 | 37 | | 45 | 45 | | | | |
| 3dB 대역폭 (MHz) | 1 | 1 | | 6/10/20 | 6/10/20 | | 0.158/0.97/1.23/4 | 0.158/0.97/1.23/4 | | 0.158/2.4/4.8/9.6 | 0.158/2.4/4.8/9.6 | | 0.4/3/8.5 | 0.4/3/8.5 | | | | |
| 3dB 선택도 (MHz) | 1 | 1 | | 6/10/20 | 6/10/20 | | 0.2/1/1.5/4.5 | 0.2/1/1.5/4.5 | | 0.2/2.6/5/10 | 0.2/2.6/5/10 | | 0.4/3/17 | 0.4/3/17 | | | | |
| 잡음 지수 (dB) | 3.5 | 3 | | 3.5 | 3 | | 2.5 | 2.5 | | 2.5 | 3 | | 3.5 | 3.5 | | | | |
| 열잡음(dBm) | -110.5 | -111 | | -102.5~-97.5 | -103~-98 | | -118.5~-105 | -118.5~-105 | | -118.5~-101.5 | -118.5~-101.5 | | -114.5~-98 | -114.5~-98 | | | | |
| 안테나 지향성 | x | x | ○ | x | x | ○ | x | ○ | x | ○ | x | ○ | x | ○ | x | ○ | x | ○ |
| 안테나 이득 (dBi) | 3 | 3 | 19/31 | 3 | 6 | 19/31 | 3.5 | 16 | 3 | 30 | 4.5 | 16 | 4 | 30 | 3 | 19 | 3 | 19/31 |
| 편파 | 수직 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 수평 빔폭 (Degrees) | 360 | 360 | 16/3.3 | 360 | 360 | 16/3.3 | 360 | 33 | 360 | 4.4 | 360 | 33 | 360 | 4.4 | 360 | 16 | 360 | 16/3.3 |
| 수직 빔폭 (Degrees) | 90 | 90 | 16/3.3 | 90 | 90 | 16/3.3 | 35 | 33 | 40 | 4.4 | 35 | 33 | 60 | 4.4 | 90 | 16 | 360 | 16/3.3 |

나. 14.5~15.35GHz 대역(M.2089-0)

14.5~15.35GHz 대역은 표 8과 같이, 국제적으로 각 지역별 이동업무, 고정업무, 고정위성업무로 1순위 분배되었고 우주연구업무의 경우 2순위로 분배되었다. 국내도 항공이동업무의 사용을 제외하지 않는 이동업무로 분배됨에 따라 항공이동업무의 사용을 고려할 수 있다.

[표 8] 14.5~15.35GHz 대역의 주파수 분배 현황

| 주파수 대역(GHz) | 국제 분배 | | | 국내 분배 |
|-------------|--|---|------|--|
| | 제1지역 | 제2지역 | 제3지역 | |
| 14.5~14.75 | 고정 고정위성(지구대우주) 5.509B 5.509C 5.509D 5.509E 5.509F 5.510 이동 우주연구 5.509G | | | 고정 고정위성(지구대우주) 5.510 이동 우주연구 |
| 14.75~14.8 | 고정 고정위성(지구대우주) 5.510 이동 우주연구 5.509G | 고정 고정위성(지구대우주) 5.509B 5.509C 5.509D 5.509E 5.509F 5.510 이동 우주연구 5.509G | | |
| 14.8~15.35 | 고정 이동 우주연구 5.339 | | | 고정 이동 우주연구 |

(5.510) 결의 163(WRC-15) 및 164(WRC-15)에 따른 이용을 제외하고, 고정위성업무(지구대우주)에 의한 14.5~14.8GHz 주파수대역의 이용은 방송위성업무 피더링크용으로 국한된다. 이러한 이용은 유럽 이외의 국가들을 위하여 보류한다. 제1지역 및 제2지역에서 14.75~14.8GHz 주파수대역의 이용은 방송위성업무 피더링크 용도 외에는 허가하지 않는다.(WRC-15)

14.5~15.35GHz 대역의 항공이동업무용 시스템에 대해 송신기, 수신기 및 안테나 특성을 표 9에 나타내었으며 타 시스템의 간섭으로부터 보호받기 위해 간섭대잡음비(I/N) 1.26 또는 I/N=-6dB를 요구하고 있다.

[표 9] 14.5~15.35GHz 대역의 항공이동업무용 시스템의 기술적 특성

| 항목 (단위) | 무선설비 1 | | 무선설비 2 | | 무선설비 3 | | 무선설비 4 | | 무선설비 5 | | 무선설비 6 | | | | |
|------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|---------------|-------------------------------------|-------|------------------------------------|----------|-------------|-------|-------------|-------|--------------|
| | 탑재 | 지상 | 탑재 | 지상 | 탑재 | 지상 | 탑재 | 지상 | 탑재 | 지상 | 탑재/ 지상 | | | | |
| 송신 출력 (dBm) | 0~30 | 30~50 | 20 | 30~50 | 0~30 | 40 | 40 | 50 | 10~50 | - | 20~43 | | | | |
| 3dB 대역폭 (MHz) | 0.354/3 .5/10/1 20 | 0.354/3 .5/10/6 0/120 | 0.354/3 .5/10/6 0/120 | 0.354/3 .5/10/1 20 | 0.354/3 .5/40 | 34 | 3.4/10. 3/20.6/ 27.8/42 .9 | 9.15 | 0.8/8.6 /11.6/4 0.6/43. 6 | - | 0.8~100 | | | | |
| 3dB 선택도 (MHz) | 520 | 440 | 440 | 520 | 520 | 440 | 307 | 340 | - | 800 | 100 | | | | |
| 잡음 지 수(dB) | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4.5 | 6 | - | 3.5 | 3.5 | | | | |
| 감도 (dBm) | -75~-8 0 | -105~- 110 | -105~- 110 | -75~-8 0 | -99 | -105~- 110 | -106 | -92 | - | ~-111 | ~-108 | | | | |
| 안테나 이득 (dBi) | 24 | 40 | 27 | 7.2 | 44 | 3 | 24 | 45 | 3.7 | 19. 5 | 3 | 40 | -3~27. 5 | 42.5 | ~12 |
| 편파 | 원형(우) | 원형(우/ 좌) | 원형(우/ 좌) | - | 원형(우) 수평 | 원형(우) | 원형(우) | 원형(우) | 원형(우) | 원형(우) | 원형(우) | 원형(우) | 원형(우) | 원형(우) | 수직 /원형(우) |
| 수평 빔 폭 (Degrees) | 12 | 1.5 | 8 | 3 6 0 | 1.7 | 3 6 0 | 12 | 1.11 | 3 6 0 | 1 2 | 3 6 0 | 3.8 | 360~7 | 1 | 360~45 |
| 수직 빔 폭 (Degrees) | 12 | 1.5 | 8 | 1 6 | 1.7 | 4 2 | 12 | 1.11 | 4 0 | 1 2 | 4 2 | 3.8 | 90~7 | 1 | 90~45 |

유·무인항공기에 장착되는 무선설비로 실시간 영상을 전송하는 장비의 경우 고화질 영상을 제공하기 위해 광대역의 대역폭이 요구되며 원격 센성을 위한 장비는 영상 전송용 장비에 비해 상대적으로 협대역의 주파수 이용이 가능하다.

일반적으로 항공기국과 항공국은 운용 고도 20km 이하에서 통신이 이루어지고 이러한 공대지 통신을 제공하는 거리는 항공기국과 항공국간 장애물이 없어 가시거리가 확보될 때 약 450km이며 항공기국간의 공대공 통신의 경우도 가시거리로 약 900km의 통신거리를 제공한다. 항공기국간 공대공 통신은 넓은 통신거리를 제공함에 따라 기상 상태에 의해 강우감쇄 등의 대기 손실 및 장애물 출현이 발생할 수 있어 이러한 환경적 감소 요인을 고려한 통신용 무선설비의 운용이 요구된다.

항공국은 단일 항공국에서 다수의 항공기국과의 통신을 위해 주파수 이격을 갖는 채널들로 구분된 개별링크를 이용할 수 있으며 광대역 주파수를 갖는 통신링크의 경우, 지향성을 갖는 협대역 안테나를 이용한 지리적 이격의 설정을 통해 구현이 가능하다. 통신링크의 송신 시간은 항공기 이착륙, 구역 변경, 데이터 수집 등 전체 비행시간 동안 지속되며 경우에 따라서는 수 시간까지 확대될 수 있다.

항공기의 추적 시스템은 지향성 안테나를 이용하여 통신링크간 지속적인 정보 교환을 통해 유지되며 간섭 등에 의해 통신링크의 손실이 발생하면 안테나 추적 정확도가 떨어지게 된다. 이러한 경우 통신링크를 완전히 복구하기 위한 절차가 필수적으로 요구되며 통신링크 복구 절차는 항공기의 비행 속도 및 통신 상황에 따라 영향을 받는다.

송신기는 광대역 주파수 특성을 가지고 불요 발사, 소비 전력 등에 강점을 가지는 고체 파워 증폭기를 사용하며, 이 증폭기는 0.3~120MHz 범위에서 3dB 대역폭 특성을 가지고 안테나공급전력 0~50dBm 사이의 송신이 가능하나 최대 전력은 40dBm(EIRP 75dBm)으로 제한된다.

수신기는 원하는 신호에 대한 프로세싱 이득을 증가시키고 간섭 신호를 제거할 수 있는 직접시퀀스확산 스펙트럼 방식 등 최신의 디지털 신호처리 방식을 통해 수신기 성능을 향상시키고 있다. 안테나 이득은 항공기 탑재 안테나가 -3~27.5dBi이고, 지상 안테나의 경우 0~45dBi의 이득을 가지며 수평, 수직 및 원형 편파를 이용한 다양한 안테나를 이용한다.

다. 22.5~23.6GHz 및 25.5~27.5GHz 대역(M.2114-0)

22.5~23.6GHz 및 25.5~27.5GHz 대역은 표 10과 같이 국제적으로 각 지역 내 이동업무 및 고정업무 등이 1순위 분배되었으며 국내도 국제 분배와 동일하게 이동업무를 분배함에 따라, 동 이동업무 대역 내 항공이동업무를의 이용을 고려해 볼 수 있다.

[표 10] 22.5~23.6GHz 및 25.5~27.5GHz 대역의 주파수 분배 현황

| 주파수 대역(GHz) | 국제 분배 | | | 국내 분배 |
|-------------|--|--|------|---|
| | 제1지역 | 제2지역 | 제3지역 | |
| 22.5~22.55 | 고정 이동 | | | 고정 이동 |
| 22.55~23.15 | 고정 위성간 5.338A 이동 우주연구(지구대우주) 5.532A 5.149 | | | 고정 위성간 이동 우주연구(지구대우주) 5.532A 5.149 |
| 23.15~23.55 | 고정 위성간 5.338A 이동 | | | 고정 위성간 5.338A 이동 |
| 23.55~23.6 | 고정 이동 | | | 고정 이동 |
| 25.25~25.5 | 고정 위성간 5.536 이동 표준주파수 및 시보위성(지구대우주) | | | 고정 위성간 5.536 이동 표준주파수 및 시보위성(지구대우주) |
| 25.5~27 | 지구탐사위성(우주대지구) 5.536B 고정 위성간 5.536 이동 우주연구(우주대지구) 5.636C 표준주파수 및 시보위성(지구대우주) 5.536A | | | 지구탐사위성(우주대지구) 5.536B 고정 위성간 5.536 5.536A 이동 |
| 27~27.5 | 고정 위성간 5.536 이동 | 고정 고정위성(지구대우주) 위성간 5.536 5.537 이동 | | 고정 고정위성(지구대우주) 위성간 5.536 5.537 이동 |

22.5~23.6GHz 및 25.5~27.5GHz 대역의 항공이동업무용 시스템은 다양한 용도의 광대역 및 협대역 통신을 제공한다. 광대역의 경우 수집된 정보 등을 실시간으로 전송하는데 이용되며 협대역의 경우 항공기 제어를 위한 원격 전송에 사용된다.

22.5~23.36GHz 및 25.5~27.5GHz 대역을 사용하는 항공이동업무용 시스템의 기술적 특성은 표 11과 같다.

[표 11] 22.5~23.6GHz 및 25.5~27.5GHz 대역의 항공이동업무용 시스템의 기술적 특성

| 항목 (단위) | 무선설비 1 | | 무선설비 2 | |
|----------------|--------|-------|--------|-------|
| | 탐재 | 지상 | 탐재 | 지상 |
| 송신 출력(dBm) | 27~48 | 30~48 | 20~47 | 20~47 |
| 3dB 대역폭(MHz) | 865 | 580 | 746 | 143 |
| 3dB 선택도(MHz) | 1410 | 2410 | 3299 | 3299 |
| 잡음 지수(dB) | 4 | 4 | 3.5 | 4.5 |
| 감도(dBm) | -80.1 | -79.9 | -85.4 | 79.1 |
| 안테나 이득(dBi) | 33 | 36~46 | 33 | 33~46 |
| 편파 | 원형(우) | 원형(우) | 원형(우) | 원형(우) |
| 수평 빔폭(Degrees) | 3 | 2.7 | 7.2 | 7.2 |
| 수직 빔폭(Degrees) | 3 | 2.7 | 7.2 | 7.2 |

송신기는 고체 파워 증폭기를 사용하여 143~865MHz 범위의 3dB 대역폭을 가지며 20~48dBm 사이의 안테나공급전력 송신이 가능하나 최대 전력은 40dBm으로 제한된다. 수신기는 직접시퀀스확산 스펙트럼 방식을 사용하고 있으며 안테나는 수평, 수직 및 원형 편파를 갖는 33~46dBi 이득을 갖는다.

라. 45.5~47GHz 대역(M.2115-0)

45.5~47GHz 대역은 표 12와 같이 국제 및 국내 지역에서 이동업무가 1순위로 분배되어 있어 항공이동업무의 사용이 가능하나, 전파규칙 제21조에 규정되어 있는 위성으로부터의 분리각을 준수해야 한다.

[표 12] 45.5~47GHz 대역의 주파수 분배 현황

| 주파수 대역(GHz) | 국제 분배 | | | 국내 분배 |
|---|---------------------------------------|------|------|---------------------------------------|
| | 제1지역 | 제2지역 | 제3지역 | |
| 43.5~47 | 이동 5.553 이동위성 무선헌행 무선헌행위성 5.554 | | | 이동 5.553 이동위성 무선헌행 무선헌행위성 5.554 |
| (전파규칙 제21조) 1GHz 이상의 주파수 대역을 공유하는 지상업무 및 우주업무 | | | | |
| 주파수 대역(GHz) | e.i.r.p. 값(dBW) | | | 정지위성궤도로부터의 최소 분리각(도) |
| 1~10 | +35 | | | 2 |
| 10~15 | +45 | | | 1.5 |
| 22.25~27.5 | +24(임의의 어느 1MHz 대역 내) | | | 1.5 |
| 15GHz 이상의 다른 주파수대역 | +55 | | | 제한 없음 |

45.5~47GHz 대역 항공이동업무용 시스템의 기술적 특성은 표 13과 같다.

[표 13] 45.5~47GHz 대역의 항공이동업무용 시스템의 기술적 특성

| 항목(단위) | 무선설비 1 | |
|----------------|-----------|-----------|
| | 탑재 | 지상 |
| 송신 출력(dBm) | 0~37 | 0~45 |
| 3dB 대역폭(MHz) | 0.8 | 0.8 |
| 3dB 선택도(MHz) | 590 | 520 |
| 잡음 지수(dB) | 4 | 4 |
| 감도(dBm) | -105~-112 | -105~-110 |
| 안테나 이득(dBi) | 27/17/13 | 40 |
| 편파 | 원형(우)/선형 | 원형(우)/선형 |
| 수평 빔폭(Degrees) | 10/15/29 | 3 |
| 수직 빔폭(Degrees) | 15/20/12 | 3 |

마. 21.2~22GHz 대역(M.[AMS_22GHZ])

21.2~22GHz 대역은 표 14와 같이 각 지역 내 이동업무로 1순위 분배됨에 따라 이동업무대역 내 항공이동업무의 사용이 가능하며, 전파규칙 5.530A에서는 이동업무용 무선국의 전력속밀도 제한치를 설정하고 있다.

21.2~22GHz 대역 항공이동업무용 시스템의 기술적 특성은 표 15와 같다.

[표 14] 21.2~22GHz 대역의 주파수 분배 현황

| 주파수 대역(GHz) | 국제 분배 | | | 국내 분배 |
|----------------|--|--------------------|---|--|
| | 제1지역 | 제2지역 | 제3지역 | |
| 21.2~21.4 | 지구탐사위성(수동) 고정 이동 우주연구(수동) | | | 지구탐사위성(수동) 고정 이동 우주연구(수동) |
| 21.4~22 | 방송위성 5.208B 고정 이동 5.530A 5.530B 5.530D | 고정 이동 5.530A | 방송위성 5.208B 고정 이동 5.530A 5.530B 5.530D 5.531 | 방송위성 5.208B 고정 이동 5.530A 5.530B 5.530D |

(5.530A) 관련 주관청간 동의를 얻는 경우를 제외하고, 임의의 주관청의 고정 또는 이동업무용 단일 무선국 송신신호의 제 1,3지역내 타 국가 영토의 지상고도 3m 지점에서의 전력속밀도 값은 20% 이상의 시간을 동안 $-120.4 \text{ dBW/m}^2 \cdot \text{MHz}$ 를 초과하지 않아야 한다. 전력속밀도 계산을 위해 ITU-R 권고 P.452 최신판을 이용할 수 있다(ITU-R 권고 BO.1898 최신판 참조).

[표 15] 21.2~22GHz 대역의 항공이동업무용 시스템의 기술적 특성

| 항목(단위) | 무선설비 1 |
|--------------|------------|
| 송신 출력(dBm) | 50 |
| 3dB 대역폭(MHz) | 310 |
| 3dB 선택도(MHz) | 306 |
| 잡음 지수(dB) | 7 |
| 감도(dBm) | -150 |
| 안테나 이득(dBi) | 0 |
| 편파 | 수직 |
| 수평 패턴 | 전방향성(Omni) |

바. 8.5~10.68GHz 대역(M.1796-2)

전과규칙에서 8.5~10.68GHz 대역은 무선측위업무로 분배되었으며 이를 탐지 및 회피 등의 항공이동체 용도로 사용하기 위해서는 동일 또는 인접 주파수를 사용하는 타업무와의 공유 및 양립성 연구가 필수적으로 요구된다. ITU는 이러한 연구 수행을 위해 항공이동체의 시스템 특성과 보호 기준을 권고로 마련하였으며 이를 적용하여 8.5~10.68GHz 대역의 무선측위업무의 잠재적 간섭 여부를 판별하기 위한 절차가 ITU-R 권고 M.1461에 포함되어 있다.

8.5~10.68GHz의 무선측위업무 대역은 무선향행과 무선탐지 대역으로 구분되며 유인항공기의 탐지 및 회피 시스템에 적용이 지속적으로 고려되고 있어 왔다. 또한 동 대역을 이용하여 무인항공기용 탐지 및 회피시스템으로 확장 적용을 예상할 수 있으며 지상의 감시 및 항행용 무선설비와 상호 협력하는 체계로써 활용될 전망이다.

항공이동체의 탐지 및 회피용 레이다는 안테나, 신호의 전달 특성, 목표물 탐지 등의 고려사항에 따라 넓은 대역폭을 요구하게 되고 이로 인해 최적의 주파수 이용 및 효율적 관리가 필요하다. 레이다의 기술적 특성들은 이용 목적에 따라 결정되며, ITU는 420MHz~34GHz 대역에 걸쳐 신규 레이다의 도입 및 이용을 예상하고 있다.

8.5~10.68GHz 대역에서 신규 레이다 도입을 위한 기존 무선국과 공존 가능성 검토를 위해 레이다의 기술 및 운영적 특성들이 요구되며, 레이다는 간섭신호 전력과 레이다 수신잡음 전력의 비로써, $I/N=-6\text{dB}$ 의 보호기준이 적용된다. 8.5~10.68GHz 대역 항공이동체용 무선측위업무용 시스템의 기술적 특성은 표 16~표 19와 같다.

송신기는 무변조 펄스, 연속 신호, 위상코드 펄스 등 다양한 변조 방식을 적용하고 있으며 디지털 신호 처리 방식의 신형 레이다의 경우 가변되는 펄스 지속시간 및 반복율의 탑재를 예상할 수 있다. 최근 신형 레이다는 선형 빔, 마그네트론 방식이 아닌 고체 방식의 기술을 이용하고 있어 신호 처리에 강점을 가지고 저전력을 소비하며, 높은 펄스주기율의 특징을 갖고 있다. 또한, 일부 100% 펄스 주기율을 갖고 연속신호 방식의 레이다의 경우 10GHz 이상에서만 운용하고 있다.

[표 16] 8.5~10.68GHz 대역의 무선측위업무용 시스템의 기술적 특성(1)

| 항목 (단위) | 레이다 1 | 레이다 2 | 레이다 3 | 레이다 4 |
|--------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|-------------|
| 기능 | 수색 및 추적 | 항공기 수색 | 지면 탐지 | 추적 |
| 튜닝 범위(MHz) | 9300~10000 | 8500~9600 | 9240/9360/ 9480 | 10000~10500 |
| 변조 방식 | 펄스 | 펄스 | 랜덤주파수변환/ 펄스위치변조 | 연속파, FMCW |
| 안테나 첨두 출력(kW) | 17 | 142(최소) 220(최대) | 95 | 1.5 |
| 펄스폭(us) | 0.285;8 | 2.5;0.5 | 0.3/2.35/4 | - |
| 펄스반복율(pps) | 200~2300 | 400/1600 | 2000/425/250 | - |
| 최대 duty cycle | 0.0132 | 0.001 | 0.001 | 1 |
| 펄스 상승/하강시 간(us) | 0.01/0.01 | 0.02/0.2 | 0.1/0.1 | - |
| 안테나 패턴 | Pencil | Fan | Pencil | Pencil |
| 안테나 형태 | 평면 배열 | 파라볼릭 반사체 | 평판면 배열 | 평면 배열 |
| 안테나 편파 | 선형 | 선형 | 원형 | 선형 |
| 안테나 주빔 이득(dBi) | 32.5 | 34 | 28.3 | 35.5 |
| 안테나 양각 빔폭(degrees) | 4.6 | 3.8 | 5.75 | 2.5 |
| 안테나 방위각 빔 폭(degrees) | 3.3 | 2.5 | 5.75 | 2.5 |
| 안테나 수평스캔율 (degrees/s) | 236 | 36~72 | 최대 106 | 90 |
| 안테나 수평 스캔 형태 | 섹터±60° | 360° | 섹터±60° | 섹터±60° |
| 안테나 수직스캔율 (degrees/s) | 118 | - | 148.42 | 90 |
| 안테나 수직 스캔 형태 | 섹터±60° | - | 섹터+20/-40° | 섹터±60° |
| 안테나 높이 | 항공기 고도 | 항공기 고도 | 항공기 고도 | 항공기 고도 |
| 수신기 IF 3dB 대역폭(MHz) | 3.1;0.11 | 5 | 5.1/1.8/0.8 | 0.48 |
| 수신기 잡음지수 (dB) | - | - | 6 | 3.6 |
| 3dB/20dB 방사 대역폭(MHz) | 3.1;0.11/ 22.2;0.79 | 0.480;2.7/1.5;6 .6 | 100~118/ 102~120 | - |

[표 17] 8.5~10.68GHz 대역의 무선측위업무용 시스템의 기술적 특성(2)

| 항목 (단위) | 레이다 5 | 레이다 6 | 레이다 7 | 레이다 8 |
|--------------------------|----------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 기능 | 기상 회피 | 기상 회피 | 지면 탐지 | 지표면 수색 및 영상 |
| 튜닝 범위(MHz) | 9330 | 9305~9410 | 9360/9305~9410 | 9380~10120 |
| 변조 방식 | 펄스 | 무변조 펄스 | 코드 펄스 | 선형 FM펄스 |
| 안테나 첨두 출력(kW) | 150 | 150 이하 | 150 이하 | 50 |
| 펄스폭(us) | 1~20 | 0.2~230/2 | 1.3~260/0.64~20 | 5/10/13.5 |
| 펄스반복율(pps) | 180~9000 | 2000/3600~3940 | 600/700~1600 | 1600~2000/380/250~750 |
| 최대 duty cycle | - | 0.051/0.0076 | 0.057/0.033 | 0.010/0.004 |
| 펄스 상승/하강시간 (us) | - | 0.02~0.05/0.01, 0.02/0.01 | 0.1~0.02/0.1~0.02, 0.02~0.04/0.01 | 0.1/0.1 |
| 안테나 패턴 | Pencil | Pencil | Fan | Pencil/Fan |
| 안테나 형태 | 평면 배열 | 평면 배열 | 평면 배열 | 파라볼릭 반사체 |
| 안테나 편파 | - | 선형 | 선형 | 수평 |
| 안테나 주빔 이득(dBi) | 34.4 | 32 | 28.7 | 34.5 |
| 안테나 양각 빔폭(degrees) | 3.5 | 4 | 42 | 4 |
| 안테나 방위각 빔 폭(degrees) | 3.5 | 2.7 | 2.7 | 2.4 |
| 안테나 수평스캔율 (degrees/s) | - | 200 이하 | 200 이하 | 36/360/1800 |
| 안테나 수평 스캔 형태 | 섹터±30° | ±15~±135° | ±15~±135° | 섹터±60° |
| 안테나 수직스캔율 (degrees/s) | - | 20scans/min 이하 | - | - |
| 안테나 수직 스캔 형태 | - | 1 or 2 horizontal bars | - | 섹터10° |
| 안테나 높이 | 항공기 고도 | 항공기 고도 | 항공기 고도 | 항공기 고도 |
| 수신기 IF 3dB 대 역폭(MHz) | - | 16/0.8 이하 | - | - |
| 수신기 잡음지수 (dB) | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 3dB/20dB 방사 대역폭(MHz) | - | 5~0.052/0.46, 40.5~0.37/3.28 | 7.68~0.045/18~0.6, 59~0.31/150~4.1 | 470/95/640, 540/110/730 |

[표 18] 8.5~10.68GHz 대역의 무선측위업무용 시스템의 기술적 특성(3)

| 항목 (단위) | 레이다 9 | 레이다 10 | 레이다 11 | 레이다 12 |
|--------------------------|-------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| 기능 | 항행 | 영상 | 수색, 날씨 | 기상 회피, 수색 구조, 지면 탐지 |
| 튜닝 범위(MHz) | 주파수 변환 | 9380~10120 | 9250~9440 (주파수변환) | 9375/9310 |
| 변조 방식 | 선형 FM펄스 | 선형 FM펄스 | FM 펄스 | 펄스 |
| 안테나 첨두 출력(kW) | 50 | 50 | 10 | 25 |
| 펄스폭(us) | 10 | 10 | 5/17 | 4.5/2.4/0.8/0.2 |
| 펄스반복율(pps) | 380 | 470/530/800 /1000 | 2500/1500/750 /400 | 180/350/1000 |
| 최대 duty cycle | 0.004 | 0.010 | 0.04 | 0.00082 |
| 펄스 상승/하강시 간(us) | 0.1/0.1 | 0.1/0.1 | 0.1/0.1 | - |
| 안테나 패턴 | Pencil/Fan | Pencil/Fan | Fan | Pencil/Fan |
| 안테나 형태 | 파라볼릭 반사체 | 파라볼릭 반사체 | 슬롯 배열 | 평면체 배열 |
| 안테나 편파 | 수평 | 수평 | 수직/수평 | 수평/수직 |
| 안테나 주빔 이득(dBi) | 34.5 | 34.5 | 32 | 30/29 |
| 안테나 양각 빔폭(degrees) | 4 | 4 | 9 | 3/6 |
| 안테나 방위각 빔 폭(degrees) | 2.4 | 2.4 | 1.8 | 3 |
| 안테나 수평스캔율 (degrees/s) | 36/360/1800 | 36/360/1800 | 90/360 | 72/270/360 |
| 안테나 수평 스캔 형태 | 360° | 섹터±60° | 섹터±60° | 연속(360°) /섹터(90°) |
| 안테나 수직스캔율 (degrees/s) | - | - | - | - |
| 안테나 수직 스캔 형태 | 섹터10° | 섹터10° | 360° | - |
| 안테나 높이 | 항공기 고도 | 항공기 고도 | 항공기 고도 | 항공기 고도 |
| 수신기 IF 3dB 대역폭(MHz) | - | - | 16 | - |
| 수신기 잡음지수 (dB) | 5 | 5 | - | 6.5 |
| 3dB/20dB 방사 대역폭(MHz) | 4.5, 7.3 | 95/190, 110/220 | 9.3, 12 | - |

[표 19] 8.5~10.68GHz 대역의 무선측위업무용 시스템의 기술적 특성(4)

| 항목 (단위) | 레이다 13 | 레이다 14 | 레이다 15 | 레이다 16 |
|--------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|
| 기능 | 기상 회피 지면 탐지, 수색 | 기상 회피, 지면 탐지, 수색 구조 | 감시, 스캔, 추적 | 무인항공기 탐지 및 회피 |
| 튜닝 범위(MHz) | 9337/9339 /9344 | 9375 | 8500~10450 | 8750~8850/ 9300~9500 |
| 변조 방식 | 펄스 | 펄스 | 적응펄스, 선형 FM 펄스 | 코드펄스 |
| 안테나 첨두 출력(kW) | 0.026 | 2.5~6 | 0.03~10 | 0.64 |
| 펄스폭(us) | 1~29/1.7~29 | 4 | 0.15~300 | 0.2~30 |
| 펄스반복율(pps) | 2200~2220 | 106.5 | 1000~500000 | 500~60000 |
| 최대 duty cycle | 0.064/0.011 이하 | 0.00043 | 0.01~0.8 | 0.16 |
| 펄스 상승/하강시 간(us) | 0.3/0.2, 0.5/0.5 | 0.3/0.4 | - | 0.1/0.1 |
| 안테나 패턴 | Pencil | Pencil | 디지털 빔포밍 | 타원형 |
| 안테나 형태 | 평면 배열 | 평면 배열 | 능동 배열 | 능동 배열 |
| 안테나 편파 | 수평 | 수평 | 선형/원형 | 선형 |
| 안테나 주빔 이득(dBi) | 29 | 26.7 | 35~42 | 28 |
| 안테나 양각 빔폭(degrees) | 10 이하 | 8.1 | 1.6 | 13.5 |
| 안테나 방위각 빔 폭(degrees) | 7 | 8.1 | 1.6 | 2.7 |
| 안테나 수평스캔율 (degrees/s) | 30 | 25 | - | 8 frames/min |
| 안테나 수평 스캔 형태 | 섹터(60°/120°) | 섹터(90°/120°) | ±60°/±120° | ±110 |
| 안테나 수직스캔율 (degrees/s) | - | - | - | 8 frames/min |
| 안테나 수직 스캔 형태 | 틸트±30° | 섹터±30° | ±60°/±120° | ±15°/±45° |
| 안테나 높이 | 항공기 고도 | 항공기 고도 | 항공기 고도 | 무인항공기 고도 |
| 수신기 IF 3dB 대역폭(MHz) | 2 | 1 | - | 5~10 |
| 수신기 잡음지수 (dB) | 2 | 5 | 6 | 4.4 |
| 3dB/20dB 방사 대역폭(MHz) | 0.05~0.7, 0.2~3.6 | 0.5, 1.5 | 운용 모드별 | 5~10, 25 |

아울러, 레이다간 공유 및 양립성 분석을 위해 운용 중에 사용 주파수를 변화시켜 간섭 발생을 방지하거나 저감하는 방식 등이 주요 고려사항으로 볼 수 있다. 일반적으로 8.5~10.68GHz 대역 레이다의 3dB 대역폭은 45kHz~637MHz 범위를 가지고 첨두 출력은 1mW~220kW 사이의 송신이 가능하며 불요발사에 대한 정보는 본 권고에 포함되지 않았다.

수신기 측면에서, 신형 레이다는 거리 탐지, 방위각, 이동성 보정 과정을 거쳐 단계적으로 원하는 정보를 추출하기 위해 디지털 신호 처리 방식을 사용한다. 일반적으로 신호 처리의 기술에는 원하는 목표물을 탐지하고 처리된 정보를 표출하는 기술을 포함하고 있으며, 원하는 목표물의 식별 성능 강화 및 원하는 신호와의 동기화를 통해 낮은 펄스 지속율(5% 이하)의 펄스 간섭을 억압하는 기능을 제공한다.

또한, 칩, 위상코드 펄스 방식은 원하는 신호의 확산 이득을 제공하고 원하지 않는 신호를 억압할 수 있으며 저전력 고체 방식 레이다의 일부는 높은 펄스 지속 시간율을 기반으로 다채널 신호 처리 기능을 제공함으로써, 원하는 신호의 복조 성공율을 향상시킨다. 일부 레이다의 수신기는 낮은 신호 레벨의 간섭 신호를 센싱하여 가용 채널을 식별하는 기능을 제공하고 있으며 이러한 기능이 광대역에 걸쳐 수행된다면 주파수 호핑, 가변 대역폭 기반의 적응 변조방식과 같은 간섭 방지 효과를 기대할 수 있다.

8.5~10.68GHz 대역의 레이다는 다양한 형태의 안테나를 사용하고 있는데 탐지 거리에 대한 성능과 함께 경량으로 이동이 편리한 크기의 안테나를 이용하고 있으며 탐색, 항행을 포함한 다양한 목적을 수행하기 위해 360° 회전이 가능한 안테나를 선호하고 있다. 또한, 송신기 안테나에서 빔의 패턴을 자유롭게 변경하는 기술과 수신기 안테나에서의 디지털 방식 및 다수 안테나 이용 기술의 발전을 통해, 단일 목적이 아닌 다른 성격을 갖는 다수 목적을 동시 수행하는 능력이 향상될 것으로 예상된다.

항공기에서 잠재적 충돌 위험으로부터 비행 안전을 확보하기 위해 사용되는 탐지 및 회피 기능은 무인항공기로의 확장 적용을 예상할 수 있다. 유인항공기에 적용되는 탐지 및 회피 시스템은 ATCRBS(Air Traffic Control Radar Beacon System), ACAS(Airborne Collision avoidance System)이 대표적이며 이러한 시스템은 지상의 감시시스템(1차/2차감시레이다)와 협력된 관제시스템을 통해 항공기 탐지 및 회피 시스템이 구현되고 있다.

무인항공기의 탐지 및 회피 기능은 모든 잠재적 충돌 위험을 추적해야 하며 다수 위험이 존재하는 경우에도 대처할 수 있어야 한다. 신속한 추적 기능을 위해 빠른 주파수 변환 기술이 요구되고 있으며 탐지 거리는 경고 활성화 시간, 비행 속도, 목표물의 속도 등과 밀접히 연관된다. 무인항공기의 위험 경고를 위한 물체 접근 거리는 일반적으로 2.5~20km이며 자체 무인항공기 및 위험 물체의 특성에 따라 달라진다.

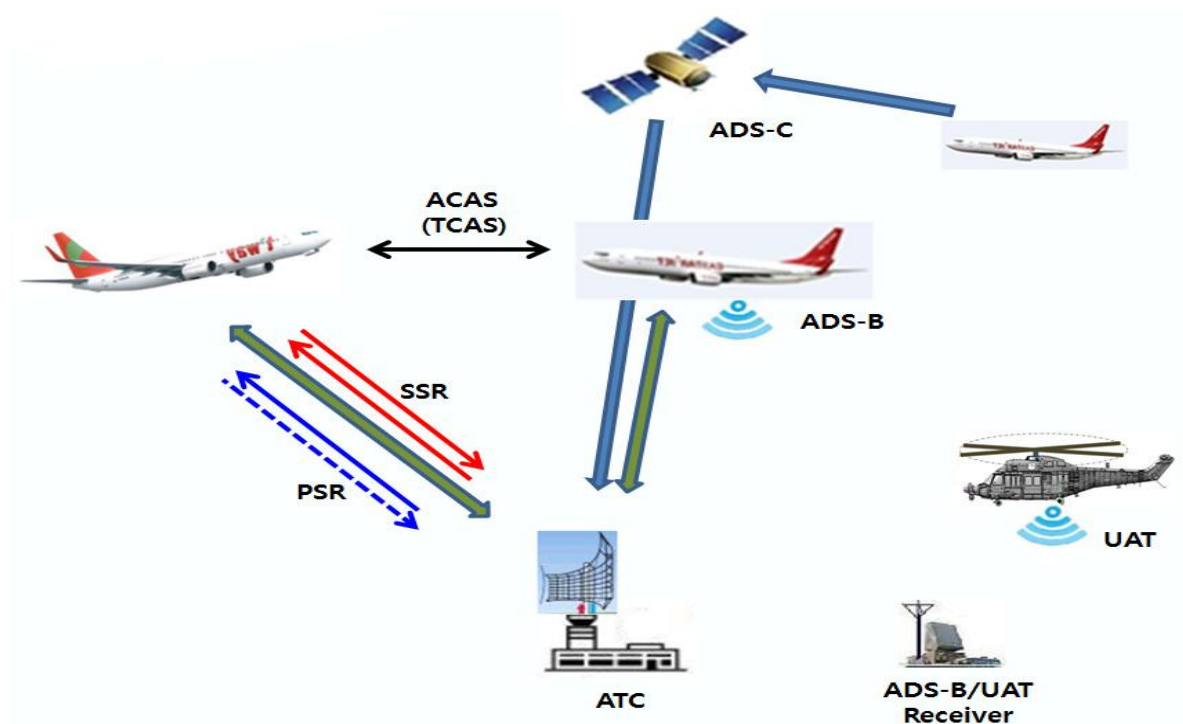
8.5~10.68GHz 대역의 주파수는 추적 정확도 및 악천후 환경에 적절한 대안으로 고려되고 있으며 상대적으로 높은 주파수임에 따라 직진성이 강해 각도의 측정 정확도가 증가하나 강우 감쇄가 증가하는 단점이 있다. 반대로 낮은 주파수의 경우 강우 감쇄 효과가 감소하나 안테나 크기가 증가하여 무인항공기 탐지에 어려움이 발생한다. 이에 항공무선항행업무로 분배된 주파수 대역 중에서 8750~8850MHz 및 9300~9500MHz 대역을 주로 고려해볼 수 있다.

사. 무인항공기 탐지 및 회피를 위한 시스템 특성 및 주파수 고려사항(M.2204)

무인항공기는 전 세계적으로 이용 대수가 급격히 증가하고 있으며 통제되지 않는 공역에서의 안전한 비행을 위해서는 위험 요소에 대한 탐지 및 회피 기능이 필수적으로 요구된다. ITU는 이러한 무인항공기 탐지 및 회피용 시스템 특성과 주파수 고려사항에 대한 보고서를 마련하였다.

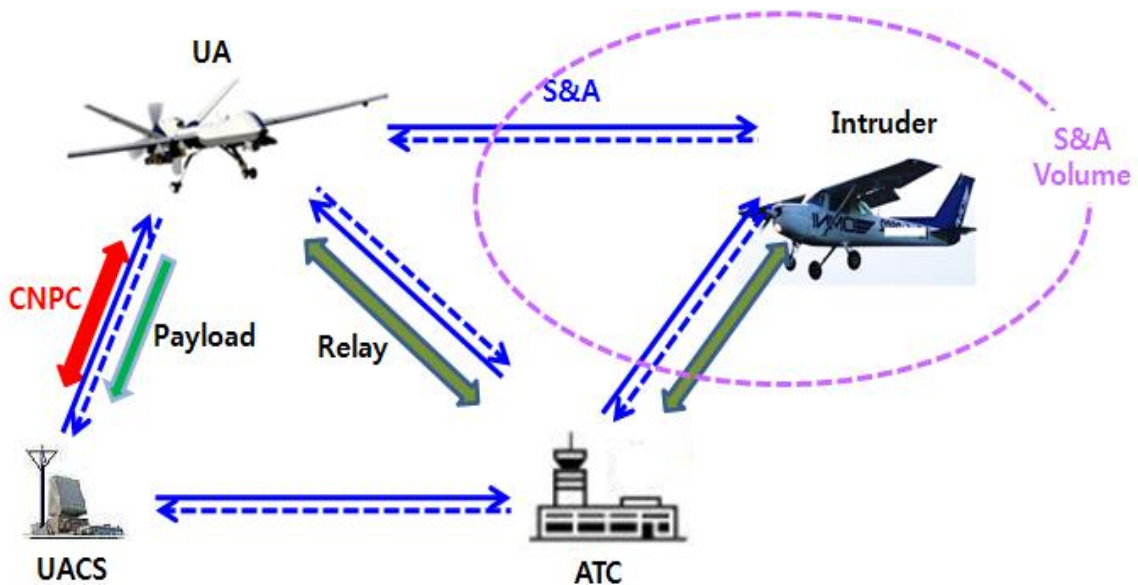
일반적으로 현재 유인항공기에 적용되는 감시시스템은 그림 1과 같이, 항공교통관제를 위한 지상의 1차/2차감시레이다 및 음성통신, 항공기에 탑재되는 ACAS, ADS-B(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast), UAT(Universal Access Transceiver) 시스템, 그리고 위성을 이용한 ADS-C(Automatic Dependent Surveillance-Contract) 시스템이 사용되고 있다.

이 중에서 항공기용 ACAS의 경우, 타 항공기 등의 충돌 위험을 미리 탐지하여 조종사에게 경고하고 이러한 위험을 조종사가 회피할 수 있도록 지원하는 기능을 수행하고 있으며, ACAS의 무인항공기 적용을 위한 관련 연구가 활발히 진행되고 있다.



[그림 1] 현재 항공용 감시시스템

무인항공기는 향후 유인항공기를 관제하는 통합된 공역 내 운용을 목표하고 있으며, 이를 위해서는 기존 항공용 감시시스템을 기반으로 무인항공기의 특성이 반영된 감시시스템의 구축을 예상할 수 있다.

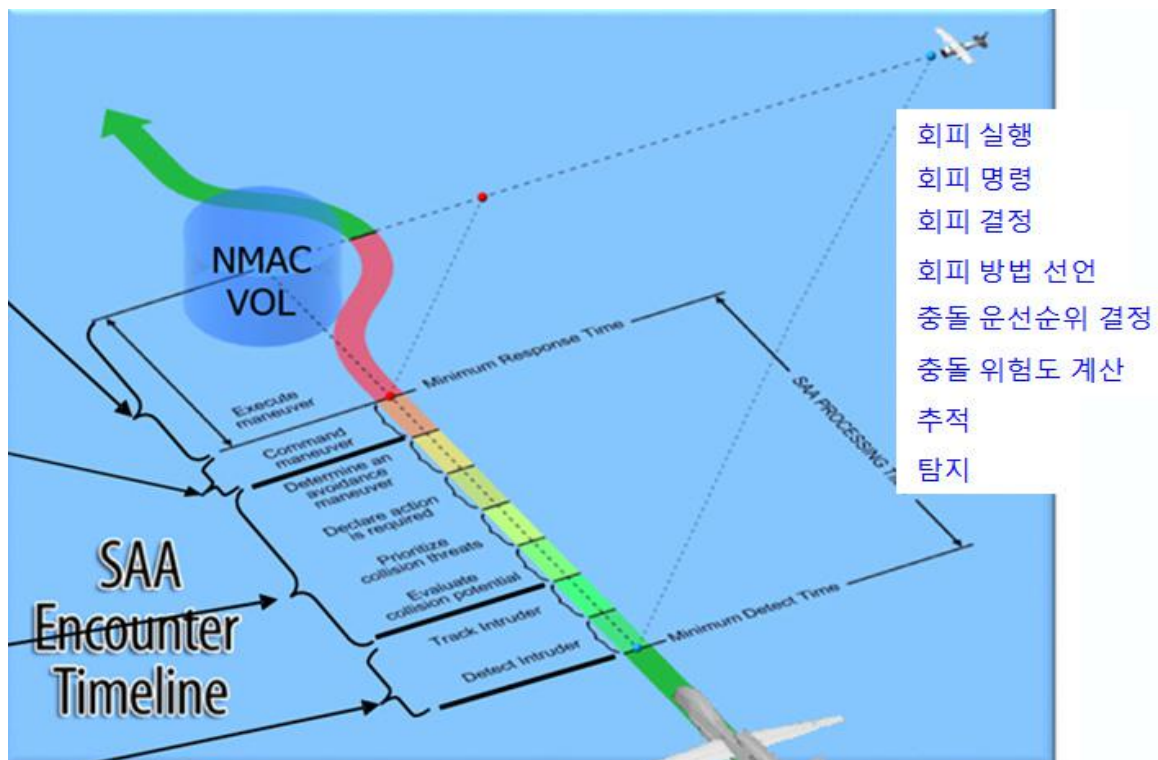


[그림 2] 무인항공기 감시시스템

무인항공기를 구성하는 시스템은 비행체, 지상설비, 제어통신, 관제통신, 탐지 및 회피용 시스템으로 구분할 수 있으며, 무인항공기의 탐지 및 회피시스템을 포함한 감시시스템은 그림 2와 같이 예상할 수 있다. 무인항공기는 음성 및 중계통신, 레이더를 이용하여 지상의 관제시스템과 무인항공기 탑재시스템과의 협업된 체계를 구축한다.

무인항공기 탑재 레이더는 충돌 위험을 탐지하여 이를 원격 조종사 및 관제탑에 경고하는 기능을 제공하며 경고를 수신한 조종사 및 관제탑은 충돌 가능성을 판단하고 회피를 명령을 전송하게 된다.

무인항공기용 탐지 및 회피 시스템은 충돌 구조, 시간 지연, 레이더 성능 측면의 기술적 특성을 고려해야 하는데, 충돌 구조는 위험 요소에 대한 접근 속도, 이상 접근의 경계, 충돌 회피 범위 등의 충돌과 관련된 기하학적인 구조 특성을 나타낸다. 시간 지연은 탐지, 추적, 알고리즘 수행, 통신 지연, 조종사 응답 등에 소요되는 시간 특성을 나타내고 레이더의 성능은 방위 분해능, 주파수, 탐지 범위, 추적율, 유효반사면적 등이 주요 지표로써 요구되는 성능을 만족해야 한다.

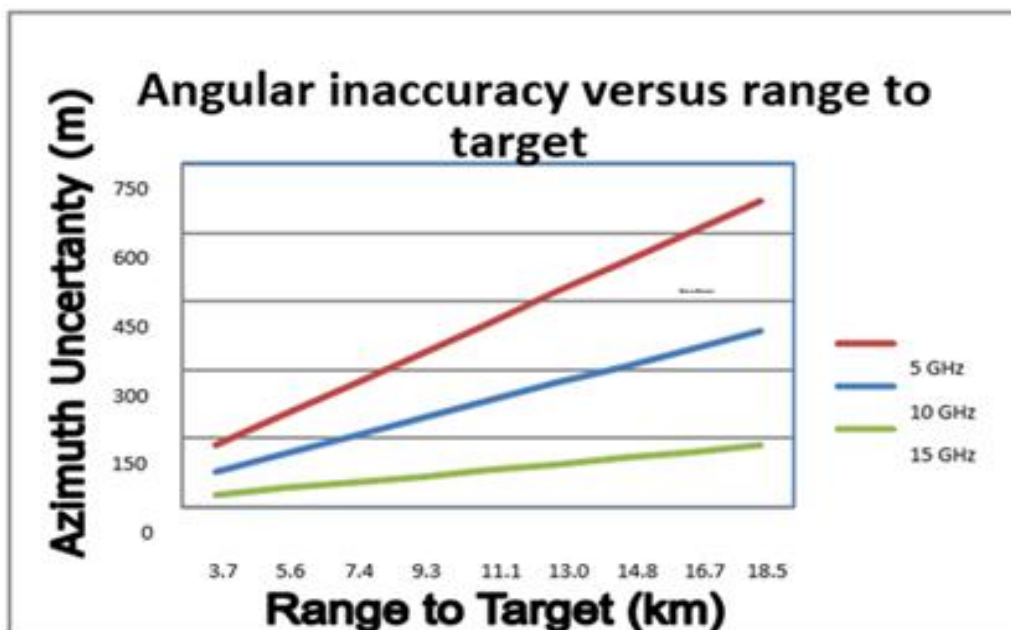


[그림 3] 탐지 및 회피 수행 절차

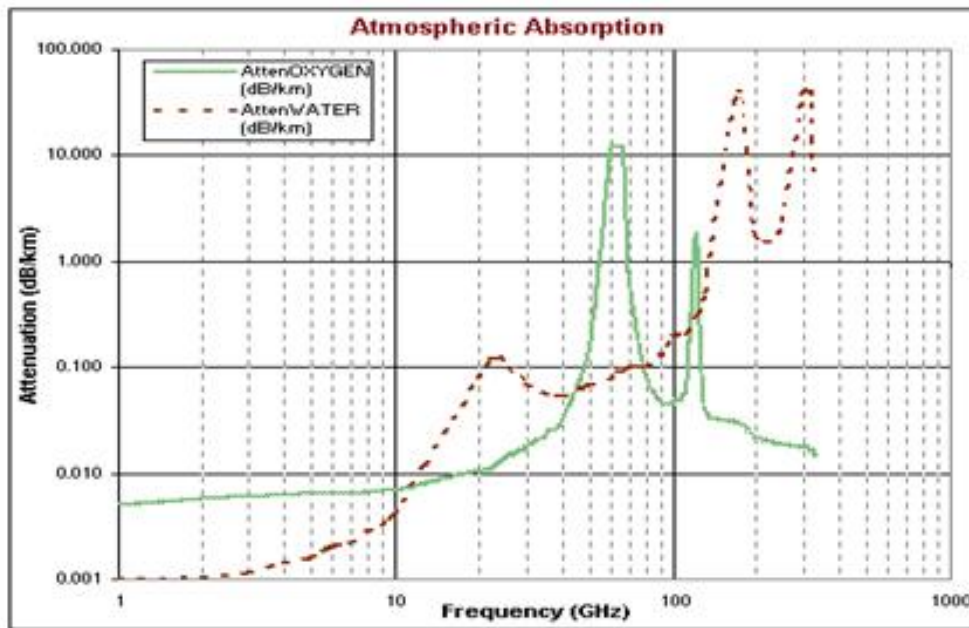
탐지 및 충돌 회피 기능을 수행하는 절차는 그림 3과 같이 탐지 및 추적을 수행하는 시작 단계부터 충돌 위험도를 계산하고 우선순위를 결정하여 위험에 대한 최종 회피 명령을 실행하는 단계를 거쳐 이루어지는데, 각 단계별로 정의된 세부 기능이 동작하는데 필요한 총 시간만큼의 시간이 소요되는 것이다.

무인항공기의 비행 특성은 탑재 레이더의 탐지 및 회피 성능과 밀접히 관련되어 있는데, 예를 들어, 상대적으로 고속으로 비행하는 무인항공기의 경우, 저속으로 비행하는 것보다 더욱 넓은 탐지 거리와 빠른 탐지 및 회피 절차를 요구하게 된다.

탐지 및 회피용 레이더는 분해능 성능이 높을수록 탐지 정확도가 증가하여 충돌 위험을 나타내는 이상 접근을 판정하는 비율이 감소하게 되며, 주파수에 따른 안테나 크기는 무인항공기의 크기 및 중량의 결정에 영향을 준다. 탐지 거리는 안테나의 출력, 유효반사면적, 잡음 지수 등에 따라 결정되는데 이러한 요인들을 감안했을 때, 레이더의 사용주파수로 5GHz 이상의 주파수가 강점을 가진다. 만약, 낮은 주파수를 사용할 경우 방위 오차가 증가하게 되고 반대로 너무 높은 주파수를 사용할 경우에는 대기에 의한 감쇄가 증가하는 특징을 가진다. 그림 4 및 5는 사용 주파수에 따른 방위 오차 및 대기 감쇄를 나타낸다.



[그림 4] 사용 주파수에 따른 방위 오차



[그림 5] 사용 주파수에 따른 대기 감쇄

무인항공기 탑재 레이다는 기상 및 임무 용도의 타 레이다와의 전자파적합성 문제의 발생여부를 확인해야 하며 지상의 기존 레이다와의 공유 및 양립성 분석을 통해 주파수를 선택해야 한다. 또한, 무인항공기 지상 레이다는 탑재 레이다가 갖고 있는 소비 전력, 크기, 무게 등의 제한사항에 영향을 받지 않고 고정된 장애물 회피에 강점을 가지며 소형 무인항공기 탐지 및 비통제 공역에서의 활용도가 높다.

[표 20] 무인항공기용 항공무선항행업무용 주파수 대역(탑재 레이다)

| 주파수대역 | 분배 순위 | 관련 전파규칙 | 항공 표준(TSO) | ITU-R 권고 |
|----------------|-------|-------------------------------------|------------|----------------------|
| 4200~4400MHz | 1순위 | 5.536, 5.438, 5.439, 5.440 | C87a, C92c | M.2059-0 M.2085-0 |
| 5350~5470MHz | 1순위 | 5.449, 5.448B, 5.448C, 5.448D | C63e, C212 | M.1638-1 |
| 8750~8850MHz | 1순위 | 5.470, 5.471 | C65a, C212 | M.1796-2 |
| 9300~9500MHz | 1순위 | 5.474, 5.475, 5.474A, 5.475B, 5.476 | C63e, C212 | M.1796-2 |
| 13.250~13.4GHz | 1순위 | 5.497, 5.498A, 5.499 | C65a, C212 | M.2008-1 |

항공무선항행업무용 주파수에서 무인항공기의 탐지 및 회피를 위한 탑재 레이다에 고려할 수 있는 주파수 대역은 표 20과 같으며, 무인항공기 탐지 및 회피용 지상 레이다에 고려할 수 있는 주파수 대역은 표 21과 같다.

[표 21] 무인항공기용 항공무선항행업무용 주파수 대역(지상 레이다)

| 주파수대역 | 분배 순위 | 관련 전파규칙 | ITU-R 권고 |
|--------------|-------|--|----------------------|
| 1215~1240MHz | 1순위 | 5.329, 5.330, 5.331, 5.332 | M.1463-3 M.1904-0 |
| 1240~1300MHz | 1순위 | 5.282, 5.329, 5.330, 5.331, 5.332, 5.335, 5.335A | M.1463-3 M.1904-0 |
| 1300~1350MHz | 1순위 | 5.337, 5.337A | M.1463-3 M.1584-0 |
| 1350~1370MHz | 1순위 | 5.334, 5.338 | M.1463-3 M.1242-0 |
| 2700~2900GHz | 1순위 | 5.337, 5.423, 5.424 | M.1464-2 |
| 9000~9200MHz | 1순위 | 5.337, 5.471, 5.473A | M.1796-2 |

무선항행업무용 대역에서 무인항공기 탑재 및 지상 레이다로 사용될 수 있는 주파수 대역은 다음 표 22와 같다.

[표 22] 무인항공기용 항공무선항행업무용 주파수 대역(탐재/지상 레이다)

| 주파수대역 | 분배 순위 | 관련 전파규칙 | 항공 표준(TSO) | ITU-R 권고 |
|----------------|-------|---------------------------|------------|---|
| 190~285kHz | 1순위 | 5.68, 5.69, 5.70, 5.71 | C41d | - |
| 325~405kHz | 1순위 | - | C41d | - |
| 415~435kHz | 1순위 | 5.77, 5.80 | C41d | - |
| 510~535kHz | 1순위 | 5.84 | C41d | - |
| 74.8~75.2kHz | 1순위 | 5.180, 5.181 | C35d | - |
| 108~117.975MHz | 1순위 | 5.197, 5.197A | C36e, C40c | - |
| 328.6~335.4MHz | 1순위 | 5.285, 5.259 | C34e | - |
| 960~1164MHz | 1순위 | 5.328, 5.328A, 5.328AA | C66c | - |
| 5000~5030MHz | 1순위 | 5.433AA | - | - |
| 5030~5091MHz | 1순위 | 5.443C, 5.444 | C104 | - |
| 5091~5150MHz | 1순위 | 5.443AA, 5.444, 5.444A | C104 | M.1827-1 |
| 5150~5250MHz | 1순위 | 5.446, 5.447, 5.447B | - | M.1454-0, M.2007-0, S.1426-0, S.1427-1 |
| 15.4~15.7GHz | 1순위 | 5.511A, 5.511C, 5.511D | C63c | M.1730-1, S.1340-0, S1341-0 |

표 23과 같이, 무선항행업무용으로 분배된 12개의 대역은 항공무선항행업무용으로 고려될 수 있음에 따라 무인항공기 탐재 및 지상레이다로 사용될 수 있다.

[표 23] 무인항공기용 무선항행업무용 주파수 대역(탐재/지상 레이더)

| 주파수대역 | 분배 순위 | 관련 전파규칙 | 항공 표준(TSO) | ITU-R 권고 |
|----------------|-------|----------------------|------------|----------|
| 24.25~24.65GHz | 1순위 | - | C212 | - |
| 31.8~32.0GHz | 1순위 | 5.547, 5.547A, 5.548 | - | M.1466-1 |
| 32.0~32.3GHz | 1순위 | 5.574, 5.547A, 5.548 | - | M.1466-1 |
| 32.3~33.0GHz | 1순위 | 5.574, 5.547A, 5.548 | C212 | M.1466-1 |
| 33.0~33.4GHz | 1순위 | 5.547, 5.547A | C212 | M.1466-1 |
| 43.5~47.0GHz | 1순위 | - | - | - |
| 66.0~71.0GHz | 1순위 | - | - | - |
| 95.0~100.0GHz | 1순위 | - | - | - |
| 123.0~130.0GHz | 1순위 | - | - | - |
| 191.8~200.0GHz | 1순위 | - | - | - |
| 235.0~238.0GHz | 1순위 | - | - | - |
| 252.0~265.0GHz | 1순위 | - | - | - |

무인항공기 탐재 레이더는 크기, 무게, 전력 등 무인항공기의 제한 사항에 영향을 많이 받으며, 기상 상태 및 대기에 의한 감쇄를 고려하여 주파수를 선택해야 한다. 한편, 지상 레이더는 상대적으로 무인항공기의 제한사항에 영향을 받지 않고 기상 및 대기 상태에 따른 영향도 적다. 아울러, 무인항공기 탐지 및 회피용 레이더의 최적 주파수 선택을 위해서는 무인항공기의 제한 사항이 반영된 성능 측면을 고려해야 한다.

3. CEPT 연구 동향

유럽의 CEPT(Conference of European Postal and Telecommunications Administrations)는 유럽 국가 간의 전기 통신 분야의 협력을 증진하고 국가의 정책 조정을 목적으로 설립된 기관으로, 관련 표준을 권고하고 정책을 제시함으로써 ITU 등 국제 기구에서 유럽의 견해와 입장을 대변하고 있다. 유럽은 무선마이크, 카메라 등 방송 및 이벤트용 PMSE(Programme Making and Special Events) 무선기기가 널리 사용되고 있으며 CPET 내 PMSE 관련 연구가 활발히 진행되고 있다.

PMSE는 스포츠 행사, 이벤트 등 특정 장소 및 시간에 주로 사용되는 무선설비로 기존 업무의 주파수 대역을 공유하고 있으며, 영상 PMSE의 경우 헬기 등의 항공기에 탑재되어 다양하게 사용됨에 따라, CEPT 내 영상 PMSE의 주파수 대역 현황 및 공유 연구 등을 분석하여 국내 항공이동체의 주파수 이용방안 마련에 활용하고자 한다.

가. PMSE 개요

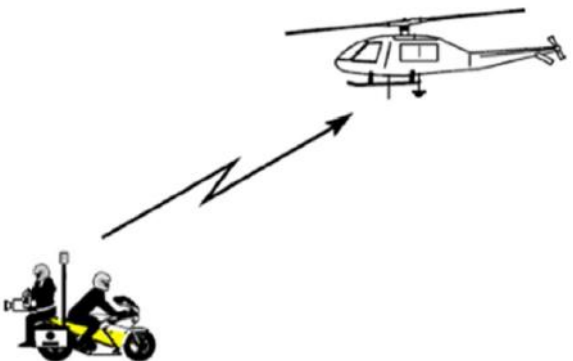

PMSE는 방송 및 이벤트에 활용되는 무선 마이크, 비디오 카메라, 무전기 등이 해당되며 음성, 영상 및 서비스링크별로 표 24와 같이 구분된다.

[표 24] PMSE 응용분야

| 구분 | 무선설비 | 정의 |
|---------|--------------|---------------------------------|
| 음성 PMSE | 무선 마이크 | 휴대/신체 부착 통합형 마이크 또는 신체 부착 송신기 |
| | 인이어 이어폰 | 단일/이중 채널 개인용 귀 부착 소형 수신기 |
| | 휴대 음성 링크 | 무선마이크 대비 장거리용 신체 부착 송신기 |
| | 이동 음성 링크 | 자동차, 자전거, 보트 등 이동체에 탑재되는 송신기 |
| | 임시 점대점 음성 링크 | 고정된 두 지점사이의 임시 음성 링크 |
| 영상 PMSE | 무선 카메라 | 송신기, 전원, 안테나 등이 탑재된 근거리 전송용 카메라 |
| | 휴대 영상 링크 | 별도의 송신기, 전원, 안테나가 장착된 휴대 카메라 |
| | 공대지 이동 영상 링크 | 비행기에 탑재된 송신기 및 수신기 |
| | 이동체 영상 링크 | 자동차, 보트 등 이동체에 탑재된 송신기 |
| | 임시 점대점 영상 링크 | 고정된 두 지점사이의 임시 영상 링크 |
| 서비스 링크 | Talk-back | 관리자의 즉각적인 지시용 통신 |
| | 통신/원격 제어 | 원격 제어용 링크 |

영상 PMSE는 헬기 등의 유인항공기에 탑재되어 사용되고 있으며 장비 수급이 용이하나 용도에 따라 중량이 다소 무거운 경우가 있으며, 이는 PMSE 무선설비의 무인항공기 탑재에 걸림돌로 작용하고 있다. 따라서, 보다 소형화되고 경량화된 장비의 개발이 필요하며 이에 대한 논의가 현재 진행되고 있다. 관련 ECC Report 268을 보면, 무인항공기 임무용 주파수로 2010~2110MHz 및 2200~2500MHz의 영상 PMSE 활용 가능성이 검토되고 있는데, 동 대역을 유럽 내 일부 국가들이 이동통신용으로 사용하고 있어 단기간 혹은 임시용의 무인항공기 활용을 목표하고 있다. 헬기 등에 탑재되어 운용되는 영상 PMSE의 상향 및 하향 링크는 표 25와 같다.

[표 25] 항공기를 이용한 영상링크(상/하향)

| 상향 링크 | 하향 링크 |
|--|---|
|  |  |

항공용 PMSE의 활용 사례는 그림 6~그림 8과 같다.



[그림 6] 항공기를 이용한 영상링크 활용



[그림 7] 항공기를 이용한 중계링크 활용



[그림 8] 항공기 탑재용 영상 PMSE 장비

음성 서비스를 제공하는 음성 PMSE는 무선 마이크, 인이어 이어폰, Talk-back 용도의 무선설비가 대표적이며 음성 PMSE의 사용 주파수 대역 및 관련 기술 문서는 표 26과 같다.

[표 26] 음성 PMSE 주파수 대역 및 기술문서

| 주파수대역 | 관련 기술문서 | 링크 형태 |
|--------------------|---|---|
| 29.7~47.0MHz | ERC/REC 70-03 Annex 10 | 무선 마이크, 인이어 이어폰 |
| 174~216MHz(무선 마이크) | ERC/REC 70-03 Annex 10 | 무선 마이크, 인이어 이어폰 |
| 174~216MHz(음성 링크) | ERC report 42 | 휴대 음성 링크, 이동 음성 링크, 임시 점대점 음성 링크, Talk-back, 서비스 링크 |
| 470~694MHz(무선 마이크) | ERC/REC 70-03 Annex 10 | 무선 마이크, 인이어 이어폰 |
| 470~694MHz(음성 링크) | ERC Report 42 | 휴대 음성 링크, 이동 음성 링크, 임시 점대점 음성 링크, Talk-back, 서비스 링크 |
| 694~790MHz(무선 마이크) | CEPT Report 60 | 무선 마이크, 인이어 이어폰 |
| 694~790MHz(음성 링크) | ERC Report 42/ERC Report 89 | 휴대 음성 링크, 이동 음성 링크, 임시 점대점 음성 링크, Talk-back, 서비스 링크 |
| 823~832MHz | ERC/REC 70-03 Annex 10, EC Decision 2014/641/EU | 무선 마이크, 인이어 이어폰 |
| 863~865MHz | ERC/REC 70-03 Annex 10, EC Decision 2013/752/EU | 무선 마이크, 인이어 이어폰 |
| 1350~1400MHz | ECC Report 245, ERC/REC 70-03 Annex 10 | 무선 마이크, 인이어 이어폰 |
| 1518~1525MHz | ECC Report 253 | 무선 마이크, 인이어 이어폰 |
| 1785~1805GHz | ERC/REC 70-03 Annex 10, EC Decision 2014/641/EU | 무선 마이크, 인이어 이어폰 |

영상 서비스를 제공하는 PMSE는 실시간으로 영상 데이터를 전송하는 무선 카메라가 대표적이며 이러한 영상 PMSE의 사용 주파수 대역 및 관련 기술문서는 표 27과 같다.

[표 27] 영상 PMSE 주파수 대역 및 기술문서

| 주파수대역 | 관련 기술문서 | 링크 형태 |
|---------------|---|---|
| 2010~2025MHz | EC Decision 2016/339, ECC Report 219 | 무선 카메라, 휴대 영상 링크, 이동 영상 링크 |
| 2025~2110MHz | ECC Report 219 | 무선 카메라, 휴대 영상 링크, 이동 영상 링크 |
| 2200~2300MHz | ECC Report 219 | 무선 카메라, 휴대 영상 링크, 이동 영상 링크 |
| 2300~2400MHz | ECC Report 219 | 무선 카메라, 휴대 영상 링크, 이동 영상 링크 |
| 2400~2500MHz | ECC Report 219 | 무선 카메라, 휴대 영상 링크, 이동 영상 링크 |
| 2700~2900MHz | ECC Report 243, CEPT Report 61 | 무선 카메라, 휴대 영상 링크, 이동 영상 링크 |
| 7.0~8.5GHz | ECC Report 219 | 무선 카메라, 휴대 영상 링크, 이동 영상 링크, 임시 점 대점 영상 링크 |
| 10.0~10.68GHz | ECC Report 219 | 무선 카메라, 휴대 영상 링크, 임시 점대점 영상 링크 |
| 21.2~24.5GHz | - | 무선 카메라, 임시 점대점 영상 링크 |
| 47.2~50.2GHz | - | 무선 카메라 |

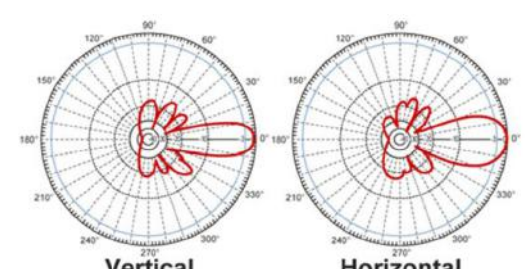
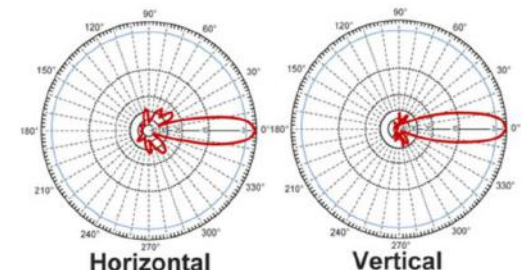
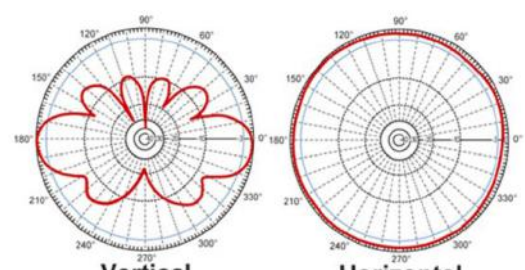
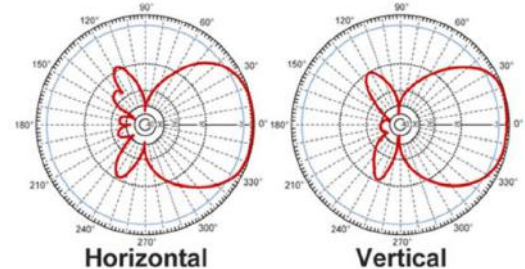
영상 PMSE는 헬기 등 항공기에서 촬영된 영상을 항공기에 설치된 안테나를 통해 지상의 수신기로 실시간 전송하거나 수신된 영상을 다른 헬기 등에 재 전송하는 중계기의 역할로 활용되고 있다. 영상 PMSE의 링크는 가시권 및 비가시권, 소형, 휴대, 공대지, 이동체 및 임시 점대점 링크로 구분되며 각 링크 별 송신전력, 안테나 이득, 주파수 대역 등의 운용 특성은 표 28과 같다.

[표 28] 영상 PMSE의 운용 특성

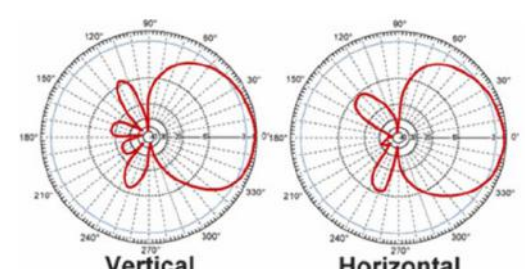
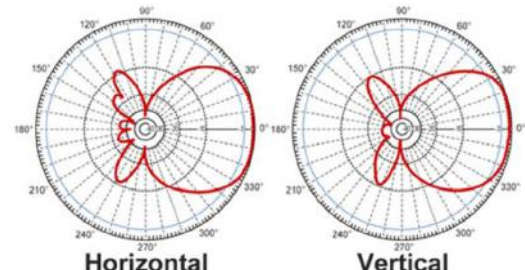
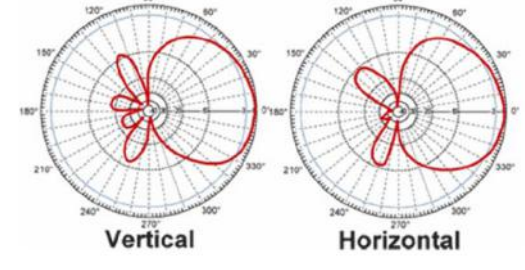
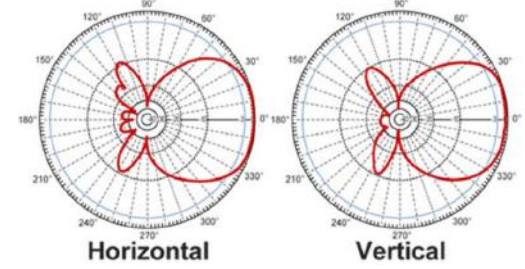
| 링크 구분 | 운용거리 | 송신전력 | 안테나 이득 | | 주파수 대역 |
|----------------|-------|-------|----------|----------|----------|
| | | | 송신 | 수신 | |
| 가시권 무선 카메라 링크 | 500m | 20dBm | 0~3dBi | 3~13dBi | 2~8GHz |
| 비가시권 무선 카메라 링크 | 500m | 20dBm | 0~3dBi | 3~13dBi | 2~3.5GHz |
| 소형 링크 | 200m | 20dBm | 0~3dBi | 3~13dBi | 2~3.5GHz |
| 휴대 링크 | 2km | 33dBm | 6~14dBi | 9~17dBi | 2~8GHz |
| 공대지 링크 | 100km | 36dBm | 3~9dBi | 17~24dBi | 8GHz이하 |
| 이동체 링크 | 10km | 30dBm | 3~9dBi | 10~13dBi | 2~3.5GHz |
| | | | | 4~9dBi | |
| 임시 점대점 링크 | 80km | 33dBm | 24~38dBi | 24~38dBi | 5~10GHz |

항공용 영상 PMSE의 운용은 송신 방향에 따라 하향링크(공대지)과 상향링크(지대공)로 구분되고 이러한 영상 PMSE가 타 시스템과 공존하기 위해서는 간섭 영향 분석이 수행되어야 하며, 이를 위해 필요한 PMSE의 기술적 조건은 표 29~30과 같다.

[표 29] 영상 PMSE의 항공용 하향링크 특성

| 파라미터 | 값 | 안테나 패턴 |
|----------------------|-------------------|--|
| 채널대역폭 | 10MHz | 수신기(Typical) |
| 점유주파수대역폭 | 8MHz |  |
| 주파수대역 | 2~8GHz | |
| 수신기 안테나 이득 (Typical) | 17dBi | 수신기(Maximum) |
| 수신기 안테나 이득 (Maximum) | 24dBi |  |
| 수신기 잡음지수 | 4dB | |
| C/N | 9dB | 송신기(Typical) |
| I/N | -10dB 또는 -6dB |  |
| 인접채널선택도 | 30dB | |
| 간섭 허용치 | -92dBm | 송신기(Maximum) |
| 송신 출력 | 36dBm |  |
| 스퓨리어스 발사 | ETSI EN 302 064참고 | |
| 인접채널누선전력비 | ETSI EN 302 064참고 | |
| 송신기 안테나 이득 (Typical) | 3dBi | |
| 송신기 안테나 이득 (Maximum) | 9dBi | |

[표 30] 영상 PMSE의 항공용 상향링크 특성

| 파라미터 | 값 | 안테나 패턴 |
|----------------------|-------------------|--|
| 채널대역폭 | 10MHz | 수신기(Typical) |
| 점유주파수대역폭 | 8MHz |  |
| 주파수대역 | 2~3.5GHz | |
| 수신기 안테나 이득 (Typical) | 3dBi | 수신기(Maximum) |
| 수신기 안테나 이득 (Maximum) | 3dBi |  |
| 수신기 잡음지수 | 4dB | |
| C/N | 9dB | 송신기(Typical) |
| I/N | -10dB 또는 -6dB |  |
| 인접채널선택도 | 30dB | |
| 간섭 허용치 | -92dBm | 송신기(Maximum) |
| 송신 출력 | 30dBm |  |
| 스퓨리어스 발사 | ETSI EN 302 064참고 | |
| 인접채널누선전력비 | ETSI EN 302 064참고 | |
| 송신기 안테나 이득 (Typical) | 3dBi | |
| 송신기 안테나 이득 (Maximum) | 6dBi | |

나. 영상 PMSE와 기존 무선국과의 공유 연구

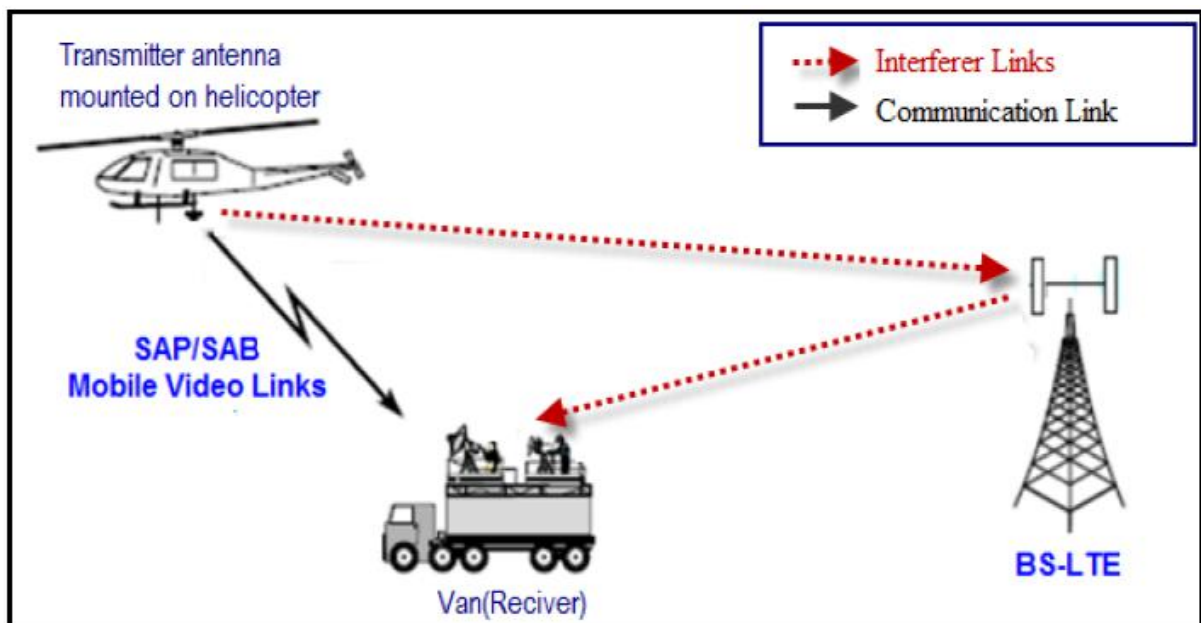
1) 2300~2400MHz 대역

가) 개요

2300~2400MHz 대역은 국제적으로 고정 및 이동업무로 분배되었으며 고정 및 이동통신용 MFCN(Mobile Fixed Communication Network)을 사용하고 있다. 동 대역에서 MFCN과 항공기 탑재 PMSE 간 간섭 영향 분석을 위한 기술적 파라미터, 간섭 시나리오 등은 아래와 같다.

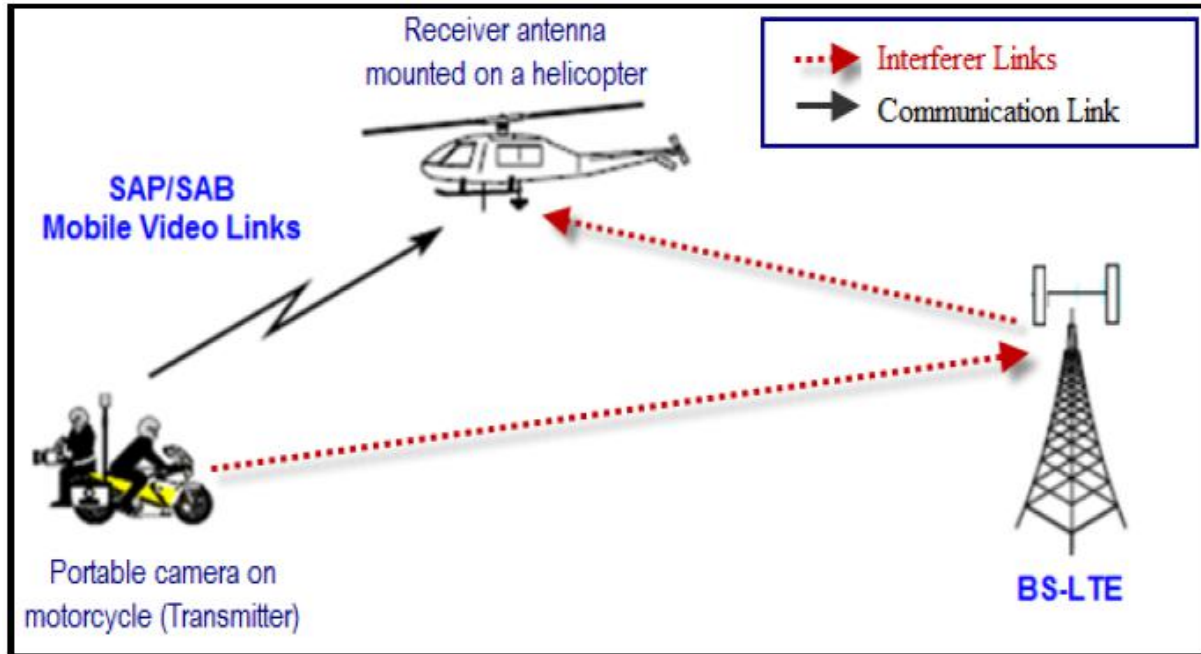
나) 간섭 시나리오 및 기술 파라미터

대표적인 MFCN는 LTE 이동통신으로, LTE 기지국과 항공용 PMSE간 상호 간섭 영향의 분석을 고려해 볼 수 있으며 항공용 PMSE의 링크 방향에 따른 간섭 시나리오는 그림 9 및 그림 10과 같다. 항공기 하향링크의 경우 LTE 기지국에 간섭을 줄 수 있으며 LTE 기지국에 의해 지상의 수신기에 간섭을 받을 수 있다.



[그림 9] 하향링크 간섭 시나리오

항공기 상향링크의 경우 LTE 기지국에 간섭을 줄 수 있으며 LTE 기지국에 의해 항공기의 수신기에 간섭을 받을 수 있다. 이러한 시나리오에서 항공용 PMSE가 LTE 단말기에 주는 영향은 고려되지 않았다.



[그림 10] 상향링크 간섭 시나리오

LTE 시스템으로부터 영상 PMSE의 간섭 영향과 관련하여, 영상 PMSE의 허용 간섭 전력, 안테나 특성 등의 기술 파라미터는 표 31과 같다.

[표 31] 영상 PMSE의 기술 파라미터

| 링크 구분 | 최대 허용 가능한 간섭 전력(8MHz) | 케이블 손실 | 안테나 이득 | 안테나 높이 |
|----------------|-----------------------|--------|----------|----------|
| 가시권 무선 카메라 링크 | -107dBm | 0dB | 3~13dBi | 2~60m |
| 비가시권 무선 카메라 링크 | -107dBm | 0dB | 3~13dBi | 2~60m |
| 소형 링크 | -107dBm | 0dB | 3~13dBi | 2~60m |
| 휴대 링크 | -107dBm | 0dB | 9~17dBi | 2~60m |
| 공대지 링크 | -107dBm | 0dB | 17~24dBi | 2~60m |
| 이동체 링크 | -107dBm | 0dB | 10~13dBi | 2~60m |
| | | | 4~9dBi | 150m~6km |

다) 간섭 분석 방법

MFCN은 통신 분야에서 사용하는 전력(dBm)의 단위를 사용하고 영상 PMSE는 방송 분야의 단위인 전계강도(dBuV/m)를 사용하고 있어 상호 간 단위를 일치시키기 위해 전력을 전계강도로의 변환이 필요하며 아래 식을 이용한다.

$$E_{CC} = 77.21 + P_{MAI} + 20\log f_{PMSE} - G_{RX} \quad \text{식 11}$$

여기서, P_{MI} : 최대 허용 가능한 간섭 전력($P_{MI} = P_N + 1/N$ [dBm])

P_N : 최대 Noise floor($-174 + 10\log B_{PMSE}$ [Hz] + F [dB])

F : 수신기 잡음 지수

B_{PMSE} : PMSE 대역폭 = 8MHz

$1/N$: 간섭 대 잡음 비 = -6dB(ECC Report 219)

f_{PMSE} : PMSE 수신기 중심 주파수

G_{RX} : PMSE 수신기 안테나 이득 = 0dB

식 11은 동일 채널 간섭의 경우에 허용 가능한 전계강도의 세기를 나타낸다. 인접 채널 간섭의 경우에는 간섭원과 희생원의 대역폭 중첩 여부에 따라 구분하여 허용 가능한 전계강도로 환산하게 되며, 식 22과 같이 대역폭이 중첩되는 경우에는 식 11을 이용하고 식 33와 같이 대역폭이 중첩되지 않는 경우에는 식 44을 이용한다.

$$|(f_{PMSE} - f_{MFCN})| \leq \frac{(B_{PMSE} + B_{MFCN})}{2} \quad \text{식 22}$$

$$\frac{B_{PMSE} + B_{MFCN}}{2} < |(f_{PMSE} - f_{MFCN})| \leq \frac{3(B_{PMSE} + B_{MFCN})}{2} \quad \text{식 33}$$

$$E_{AC} = 77.21 + P_{MAI} + 20\log f_{PMSE} - G_{RX} + L_{ACIR} \quad \text{식 44}$$

여기서, B_{PMSE}/B_{MFCN} : PMSE와 MFCN의 점유주파수대역폭

f_{PMSE}/f_{MFCN} : PMSE와 MFCN의 중심 주파수

$$L_{ACIR} = \frac{1}{\frac{1}{L_{ACLR}} + \frac{1}{L_{ACS}}} \quad \text{식55}$$

L_{ACIR} : 인접채널 간섭비(Adjacent Channel Interference Ratio)

L_{ACLR} : 인접채널 누설전력비(Adjacent Channel Leakage Ratio)

L_{ACS} : 인접채널 수신선택도(Adjacent Channel Selectivity)

필요한 이격 거리는 식66을 통해 계산한다.

$$P_{MAI} + L_{Margin} = P_{TX} - L_0, \quad \text{식66}$$

$$D = 10^{\frac{P_{TX} - 32.4 - P_{MAI} - L_{Margin} - 20\log f}{20}} [km]$$

여기서, P_{MAI} : 최대 허용 가능한 간섭 전력[dBm]

L_{Margin} : PMSE 보호를 위한 추가 마진[dB]

P_{TX} : 송신기 출력 전력[dBm]

L_0 : 자유공간 경로 손실 $= 32.4 + 20\log f + 20\log D$

D : MFCN 송신기와 PMSE 수신기간 이격 거리[km]

f : PMSE 수신기 중심 주파수[MHz]

식 66으로부터 계산된 이격 거리는 보호 구역(Protection Zone), 금지 구역(Exclusion Zone)의 설정에 활용된다. 여기서 보호 구역은 PMSE 수신기가 MFCN 기지국에 유해 간섭이 미치지 않는 지리적인 공간을 나타내고 금지 구역은 PMSE에 간섭을 유발하는 MFCN 기지국의 송신을 금지하는 지리적인 공간을 의미한다.

라) 공유를 위한 운용 방안

MFCN 기지국은 영상 PMSE 링크 보호를 위한 보호 지역 설정 등의 운용 방안을 마련해야 하며 이러한 방안은 PMSE의 운용시나리오를 고려하여 수립되어야 한다.

영상 PMSE 링크는 MFCN의 기지국 및 단말기 간섭으로부터 보호 받아야 하고 이를 위해 PMSE 수신기로부터 설정된 보호 구역이 유지되어야 한다. MFCN 운용자는 PMSE 운용에 영향을 주는 주파수, 위치 정보를 기반으로 앞서 언급한 분석 방법을 이용한 사전 간섭 영향 분석을 수행해야 한다.

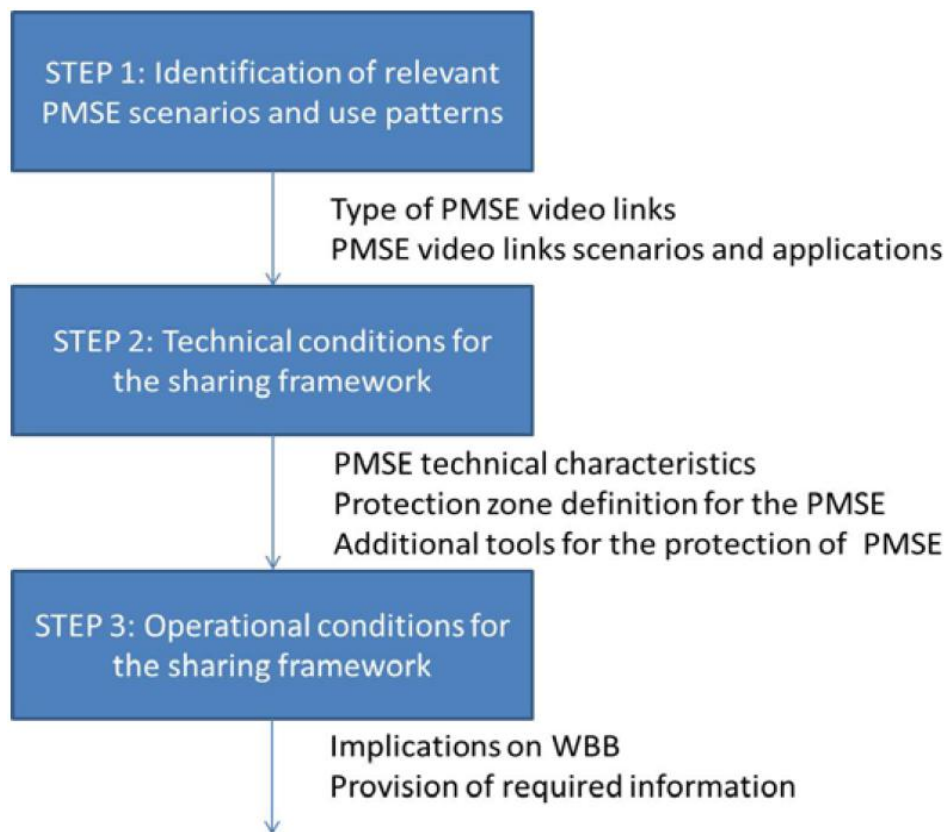
PMSE의 허용 가능한 간섭 신호 기준을 만족하기 위해서는 PMSE와 근접한 기지국의 송신 출력 저감 등을 통해 보호 구역을 준수하고 표 32의 PMSE 시나리오 및 MFCN 운용 사항을 고려하여 MFCN 망을 설계해야 한다.

[표 32] 영상 PMSE의 시나리오 및 MFCN 운용 사항

| PMSE 시나리오 | 응용분야 | 보호 방안 설정 | MFCN 운용 |
|------------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| 특정 장소에서 빈번한 또는 지속적인 사용 | TV 스튜디오 | 지속적인 보호 구역 | 요구조건에 따른 망 설계 |
| | 영화관, 경기장 | 지속적인 보호 구역 | 요구조건에 따른 망 설계 |
| | | 유연한 보호 구역 (미리 통보) | 유연한 망 설계 |
| 특정 장소의 임시 사용 (이동 제한) | 특수 이벤트 (스포츠 경기 등) | 유연한 보호 구역 (미리 통보) | 유연한 망 설계 |
| 장소 및 시간 제한이 없는 임시 사용 (이동 가능) | TV 뉴스, 정부기관 사용 | 유연한 보호 구역 (유연하게 설정) | 유연한 망 설계 (신속히 대응) |

영화관, 경기장, 스포츠 대회 등의 PMSE 사용은 특정 장소에만 한정되기 때문에 MFCN 운영자는 보호 구역 및 MFCN의 운용 환경에 대해 사전에 정보 확보가 가능하다. 갑작스런 TV 뉴스 및 정부 주관 행사와 같이 PMSE의 사용 예측이 어려운 경우에도 MFCN과 PMSE 상호 간섭 영향 평가를 수행하여 신속히 보호 구역을 설정해야 하며 이를 위해 PMSE 이용 장소 정보를 습득하고 PMSE의 이동을 추적하여 분석하는 체계를 구축해야 한다.

또한, 무선국의 송신 중단 또는 출력 저감 조치의 필요 여부를 판단하기 위한 간섭 영향 분석을 수행하고 이를 통해 무선망의 사용 시간을 제한하고 적정 보호 구역을 설정하는 등 기존 무선망 운용 방식에 주파수 관리 기능을 추가한 유연한 무선망 운용이 요구된다. 그림 11은 PMSE와 MFCN의 공유를 위한 운용 방안을 마련하는 절차를 나타낸다.



[그림 11] PMSE와 MFCN의 운용 방안 마련 절차

2) 2700~2900MHz 대역

가) 개요

2700~2900MHz 대역은 항공용 레이다 및 기상용 레이다가 운용하고 있으며, 동 대역에서 항공용 영상 PMSE를 운용하기 위해서는 기 운용 중인 레이다와의 간섭 영향 분석이 요구된다.

항공용 레이다는 항공기의 안전한 이/착륙을 유도하는 1차감시레이다가 대표적이며 항공 안전을 위해 24시간 운용되는 무선설비로 잠재적 간섭으로부터 엄격히 보호받아야 된다.

나) 주파수 현황

2700~2900MHz는 항공무선항행업무로 1순위 분배되었으며 주석 5.337에 따라 항공기 트랜스폰다와 관련된 지상기반의 레이다로 그 사용이 제한된다. 또한,

항공무선항행업무와 동등한 순위로 지상의 기상용 레이더의 사용 규정도 주석 5.423에 의해 마련되어 있으며 2순위로 무선탐지업무도 이용이 가능하다. 2700~2900MHz 대역의 주파수 분배 현황 및 관련 주석은 그림 12 및 표 33과 같다.

| | | |
|---------|------------------------------------|-----------------------------------|
| PASSIVE | AERONAUTICAL RADIONAVIGATION 5.337 | RADIOLOCATION 5.424A |
| | Radiolocation 5.423 | RADIONAVIGATION 5.425 5.426 5.427 |

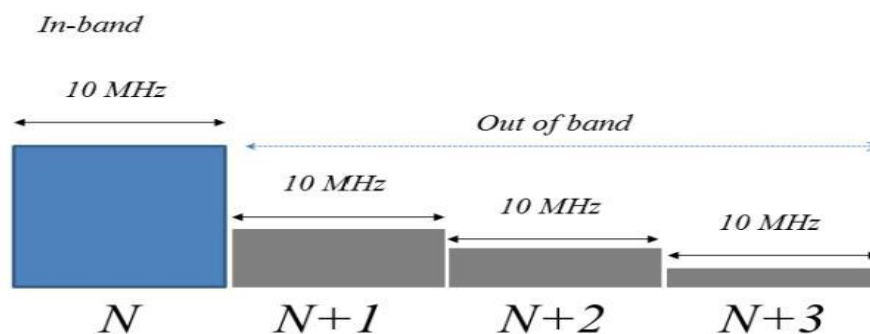
2690 2700 2900 3100

[그림 12] 2700~2900MHz 대역의 분배 현황

[표 33] 2700~2900MHz 대역의 관련 주석

| 주석 | 내용 |
|-------|---|
| 5.337 | 항공무선항행업무로 1300-1350 MHz, 2700-2900 MHz 및 9000-9200 MHz 주파수 대역을 사용하는 것은 지상에 설치한 레이더 및 이와 관련하여 이들 주파수 대역의 주파수만을 송신하는 항공탐재의 트랜스폰다로서 동일 주파수 대역을 운용하는 레이더에 의해서만 작동하는 것에 한한다. |
| 5.423 | 2700-2900 MHz 주파수 대역에서 기상용도로 지상에 설치한 레이더는 항공무선항행업무 무선국과 동등한 지위의 업무로 운용하도록 허가한다. |

레이더의 사용 주파수는 PMSE의 사용주파수와 동일 채널을 이용하는 경우와, 인접 채널을 이용하는 경우로 그림 13과 같다.



[그림 13] 동일 및 인접 채널의 주파수 이용

다) 기술 파라미터

2700~2900MHz 대역을 사용하는 항공용 레이다 및 기상용 레이다의 기술 파라미터는 표 34와 같다.

[표 34] 항공용 및 기상용 레이다의 기술 파라미터

| 항목 | 항공용 레이다 | | | 기상용 레이다 |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|--------|-----------------|
| | Type 1 | Type 2 | Type 3 | Type 4 |
| 최대 안테나 이득(dBi) | 40 | 34 | 34 | 43 |
| 안테나 패턴 | - | Vertical pattern cosecant-squared | | ITU-R 권고 F.1245 |
| 안테나 높이(m) | 5~40m | | | 7~21 |
| 편파 | 원형 | | | 수평/수직 |
| 피더 손실(dB) | 1 이하 | | - | 2 |
| 최소 양각(°) | - | 2(ITU-R 권고 M.1851) | | 0.5 |
| 보호 기준 (dBm/MHz) | -122(I/N=-10 dB) | | | |
| 1 dB compression point(dBm) | -20(ITU-R 권고 M.1464) | | | 10 |
| Blocking level(dBm) | -36 | | | |
| 송신 전력(kW) | 1000 | 400 | 30 | 794 |
| 기준 대역폭(kHz) | 2500 | 1000 | 800 | 1000 |
| 40 dB 대역폭 (MHz) | 9.5 | 20 | 4, 2 | - |
| 대역외 roll off(dB/decade) | 20 | | | 40 |
| 스퓨리어스 레벨(dBc) | -60 | | | -60~-90 |
| 펄스반복율(Hz) | 300 이하 | 최대 1000 | 825 | 250~1200 |
| 펄스 지속시간 (us) | 20, 100 | 1 | 1, 100 | 0.8~2 |
| 상승 및 하강 시간(펄스길이기준 [%]) | 1 | 10 | 16.9 | 10 |
| 안테나 회전속도(rpm) | 6~12 | 12~15 | 15 | ITU-R 권고 M.1849 |
| 선택도(dBc) | -60 | | | |

라) 공유 분석 결과

2700~2900MHz 대역에서 동일 채널을 사용하는 경우는 기존 레이더와 PMSE의 공존이 불가능한 것으로 분석되었다.

기존 레이더와 PMSE가 인접 채널을 사용하는 경우에도 PMSE 송신기의 불요 발사가 레이더 수신기 대역폭으로 유입되어 간섭이 발생하게 되며 선택도 등 레이더의 수신기 특성에 따라 간섭의 정도가 결정된다.

표 35는 PMSE의 최대 EIRP가 0dBW, 안테나 높이 1.5m, 레이더 선택도 60dBc로 설정하고 10MHz의 대역폭을 사용하는 레이더로부터 제1차~제3차 인접 채널을 사용하는 PMSE와의 요구되는 이격 거리를 나타낸다.

[표 35] 2700~2900MHz 대역에서 레이더와 PMSE와의 이격 거리

| 레이더 종류 | 제1차 인접 | 제2차 인접 | 제3차 인접 |
|----------|--------|--------|--------|
| 항공관제 레이더 | 3 km | 2.5 km | 1.5 km |
| 기상레이더 | 6.5 km | 4.5 km | 3 km |

만약, 다수 PMSE에 의한 결합된 간섭 신호가 존재하거나 보다 간섭에 취약한 레이더가 사용되는 경우 간섭 방지를 위해 요구되는 이격 거리는 더욱더 증가하게 된다. 또한, 레이더의 운용 고도, 지표면의 형태, 전파 전달 조건 등의 분석에 설정된 요인에 따라 이격 거리 산출에 영향을 주게 된다.

2700~2900MHz 대역에서 영상 PMSE를 이용하기 위해서는 PMSE 수요요에 대해 인접한 기존 레이더와의 개별적인 간섭 분석 기반의 조정 절차가 필요하며, 국경 인근 지역에서 사용할 경우 인접국가 간 조정 절차가 요구될 수 있다.

지금까지 레이더 보호를 위해 PMSE가 레이더에 주는 간섭 영향을 분석하였으나 반대로 레이더가 PMSE에 미치는 간섭 영향에 대한 분석도 필요하다. 이 경우 사용 주파수 변경 등 PMSE의 유연한 운용을 통해 요구되는 이격 거리를 감소시킬 수 있으며 레이더의 펄스 특성, PMSE의 보호비 및 수신 특성이 이격 거리 산출에 미치는 영향을 고려해야 한다.

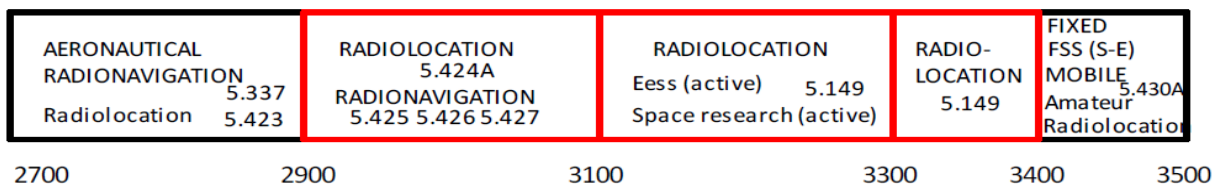
3) 2900~3400MHz 대역

가) 개요

2900~3400MHz 대역은 군용, 해상 및 항공 무선헤행용, 기상용 레이다 등이 사용되고 있고, 이러한 레이다는 고출력을 송신하고 있으며 공항, 해안 및 도서 지역에 주로 위치하고 있다. PMSE 무선설비가 동 대역의 레이다와 동일채널을 사용할 경우, 매우 큰 이격 거리가 요구되며 가시선이 확보되는 거리에서의 공유가 어렵고, 공유 가능성을 명확히 판단하기 위해서는 개별 건에 대한 전파 측정이 필요할 수 있다.

나) 주파수 현황

2900~3400MHz 대역은 그림 14와 같이 무선탐지 및 무선헤행업무로 분배되어 있으며, 표 36과 같이 관련 주석에 따라 선박 및 항공기에 레이다가 탑재되어 사용되고 있다.



[그림 14] 2900~3400MHz 대역의 분배 현황

[표 36] 2900~3400MHz 대역의 관련 주석

| 주석 | 내용 |
|--------|--|
| 5.424A | 2900~3100 MHz 주파수 대역의 무선탐지업무 무선국은 무선헤행업무의 레이다 시스템에 대하여 유해간섭을 주거나 보호를 요구할 수 없다. |
| 5.425 | 2900~3100 MHz 주파수 대역에서 선박탐재 트랜스폰더 시스템(SIT: Shipborne Interrogator-Transponder system)으로 사용할 경우 2930~2950 MHz 일부대역(sub-band)에 한정한다. |
| 5.426 | 항공무선헤행업무로 2900~3100 MHz 주파수 대역을 사용하는 것은 지상에 설치한 레이다에 한한다. |
| 5.427 | 2900~3100 MHz 및 9300~9500 MHz 주파수 대역에서 레이다 트랜스폰더로부터의 응답은 레이다 비콘(레이콘)으로부터의 응답과 혼동되지 않도록 하여야 하며, 무선헤행업무를 행하는 선박과 항공 레이다에 간섭을 주어서는 안 된다. 다만, 제4.9호에 유의하여야 한다. |

다) 기술 파라미터

2900~3400MHz 대역에서 사용되는 레이더의 기술 파라미터를 표 37 및 표 38과 같다.

[표 37] 항공무선헤행, 기상, 군용 레이더의 기술 파라미터

| 항목 | 항공무선헤행 레이더 | | | | | 기상 레이더 | | 군용 레이더 | |
|-----------------|--------------|------|-------|------|------|---------------|---------------|--------------|-------|
| | A | B | C | E | F | G | H | I | J |
| 운용 주파수 | 2700~3100MHz | | | | | 2700~3000 MHz | 2700~2900 MHz | 2700~3100MHz | |
| 수신기 이득(dBi) | 33.5 | 33.5 | 34 | 34.3 | 33.5 | 45.7 | 38 | 33.5 | 40 |
| 수신기 잡음지수(dB) | 4 | 4 | 3.3 | 2.1 | 2.0 | 2.1 | 9 | 2 | 1.5 |
| 수신기 통과 대역폭(kHz) | 5000 | 653 | 15000 | 1200 | 4000 | 630 | 500 | 3500 | 10000 |
| 보호 기준, I/N(dB) | -10 | | | | | | | -6 | |

[표 38] 해상무선헤행, 지상, 항공기 레이더의 기술 파라미터

| 항목 | 해상무선헤행 레이더 | | | | 지상 레이더 | | 항공기 레이더 |
|-----------------|--------------|-------|-------|--------------|--------------|-----|--------------|
| | K | L | M | N | O | P | Q |
| 운용 주파수 | 2900~3100MHz | | | 3100~3500MHz | 3100~3700MHz | | 3100~3700MHz |
| 수신기 이득(dBi) | 38 | 38 | 38 | 42 | 39 | 40 | 40 |
| 수신기 잡음지수(dB) | 4 | 4 | 5.5 | 5 | 3.1 | 4 | 3 |
| 수신기 통과 대역폭(kHz) | 3000 | 28000 | 22000 | 4000 | 380000 | 670 | 10000 |
| 보호 기준, I/N(dB) | -10 | | | | | | |

라) 공유 분석 결과

2900~3400MHz 대역에서는 앞서 언급한 2700~2900MHz 대역용 레이더와 동일한 레이더가 일부 사용되고 있어 이러한 레이더에 대한 간섭 분석 시 2700~2900MHz 대역의 분석 결과 일부를 적용할 수 있다.

분석 결과, 동일 채널을 사용하는 레이더와 PMSE간 공유를 위해 요구되는 이격 거리가 100~182km로 사실상 공유가 불가능한 것으로 도출되었다. 아울러, PMSE 운용 환경 및 PMSE와 레이더간 전파 조건의 변경에 따라 요구되는 이격거리가 상이하게 분석될 수 있다.

레이더와 PMSE간 인접 채널을 사용하는 경우에 요구되는 이격거리는 표 39와 같다.

[표 39] 2900~3400MHz 대역에서 레이더와 PMSE와의 이격 거리

| PMSE 구분 | 도심 | 부도심 |
|-------------|-------|-------|
| 무선 비디오 카메라 | 20 km | 6 km |
| 이동 비디오 상향링크 | 10 km | 40 km |
| 휴대용 비디오 링크 | 16 km | 40 km |

이격 거리는 다수 간섭원이 존재하는 경우나 간섭에 취약한 레이더일 경우 증가하고 빌딩 등 장애물에 의한 추가적인 신호 저감 요인에 의해 감소할 수 있다.

2900~3400MHz 대역에서의 군용 및 해상 레이더는 국제적으로 표준화된 주파수를 이용함에 따라 동 대역에서의 영상 PMSE의 이용은 사용이 불가한 것으로 판단된다. 또한, 특정 지역에서 다수로 운용되는 항공 무선탐지용 레이더의 경우도 영상 PMSE 사용을 위한 조정이 어려워 사용이 불가할 것으로 예상된다.

4. 주파수 이용방안

유·무인 항공이동체에서 실시간 영상 등 대용량 정보 전송(임무용)을 위해서는 광대역의 주파수가 필요하며, 다수 항공이동체의 안전한 비행을 위한 탐지 및 회피용 주파수 수요가 제기되고 있다. 따라서, 유·무인항공기의 활성화를 위해 이러한 주파수 수요에 대비할 수 있는 항공이동체용 주파수 이용방안 마련이 요구되고 있다.

임무용, 탐지 및 회피용 주파수를 공급하기 위해, 기존 항공업무용 주파수를 고려하는 경우에는 타 업무의 사용을 배제하는 배타적 이용이 보장되는 장점이 있으나, 대부분 비행 안전과 관련된 용도임에 따라 임무용 및 탐지·회피 용도에 부합하지 않는 측면이 있으며 광대역의 대역폭을 제공하는데 어려움이 존재한다.

또한, 기존 항공이동업무를 허용하는 이동업무 대역은 용도 부합성 및 광대역 특성 제공에 강점을 가지고 있으나 기존 무선국과의 공유 및 양립성 문제가 제기됨에 따라 이 문제의 해결이 가능한 경우에만 제한적으로 이용이 가능할 것이다.

이에 본 보고서에서는 다양한 임무 수행이 가능한 항공이동체의 활성화를 위해 ITU와 유럽의 정책 사례 및 연구 동향을 분석하고 국내 이용 현황 및 규제 체계를 고려하여, 항공이동체 임무용 주파수 이용을 위한 단기 방안과 장기 방안을 아래와 같이 제시한다.

단기 방안으로 유·무인 항공이동체의 임무 용도에는 실시간 영상 전송이 대부분 이용될 것으로 예측되며, 이러한 용도에 활용되는 주파수로 현재 유인항공기에 국제적으로 사용되고 있는 영상 PMSE 주파수를 고려할 수 있다. PMSE는 유럽을 중심으로 널리 사용되고 있어 당장 무선설비 확보에 어려움이 없으며 향후, 장비의 소형화 및 무게의 경량화가 진행된다면 드론 및 무인항공기의 탑재가 가능할 것으로 예상된다.

PMSE의 주파수 대역은 기존 이동업무용 주파수를 이용함에 따라 전파규칙에 부합하며 유럽 내 간섭 분석 및 공유 방안을 참고하여 국내 환경에 부합하는 세부 이용 규정의 마련이 가능할 것으로 판단된다. 물론, 유럽의 연구결과와 같이, 2900~3400MHz 대역의 기존 무선국(레이다 등)과의 공존이 어려운 상황도 예측될 수 있지만, 항공이동체의 운용 시나리오 기반의 간섭 분석을

통해 이격 거리를 설정하고 출력을 조정하는 등 무선국 운용 측면의 조건을 설정함으로써 공존의 가능성을 높일 수 있을 것이다.

또한, PMSE와 LTE 이동통신과의 공존을 위한 유럽의 정책 및 연구 사례와 함께, 최근 국내외적으로 드론 제어 및 임무 용도로 LTE 주파수가 고려되고 있음에 주목할 필요가 있다. LTE 주파수는 기존에 구축된 통신망을 그대로 이용할 수 있고 데이터 전송속도 및 정보보안에 강점을 가지고 있으며, 일부 지연시간 등의 문제가 제기되고 있으나 이는 5G 이동통신 도입에 따라 해결 될 것으로 예측된다.

특히, 국내 현황으로, 국토부 등 다부처로 진행되는 드론 교통관리체계 사업에서 LTE 주파수가 논의 되고 있고, LTE 국내 이동통신 사업자들도 자체 통신망을 이용한 드론 사업 모델 발굴에 적극적임에 따라 향후, 다양한 분야에서 LTE 주파수를 이용한 드론이 활성화 될 것으로 전망된다.

아울러, 주파수 관리 차원에서, 항공이동체 신규 수요에 부합하는 국종(실험국, 실용화시험국 등)을 부여하고 필요시 보다 유연한 접근을 위한 항공이동체용 전용의 국종 신설도 고려해 볼 수 있다. 또한, 현재 주파수 지정 검토 시, 항공이동체용 무선국의 송신 출력, 안테나 특성 등 세부 운용 사항을 구체적으로 정의하고, 기존 무선국과의 신뢰성 높은 간섭 분석 및 측정 실험 등을 수행하여 항공이동체용 무선국의 허가 기간 및 운용 지역을 보다 세밀하여 부여함으로써 현재 및 잠재적 주파수 수요에 대한 효율적인 관리를 도모해야 한다. 국내는 5091~5150MHz 대역을 이미 무인항공기 임무용으로 활용하도록 분배됨에 따라 동 대역을 사용하는 무선설비의 개발을 통해 무인항공기의 임무 용도의 활용이 증가할 것으로 예상된다.

장기 방안으로, 유·무인 항공이동체의 임무용 및 탐지·회피용 주파수 수요가 증가하고 점차 많은 수의 유·무인 항공이동체가 출현할 경우, 이를 해결하기 위해서는 전용의 신규 주파수 분배가 필연적으로 요구된다. 앞서 언급한 ITU 연구 동향을 살펴보면 다양한 이동업무, 무선항행 및 무선탐지 주파수 대역에서 항공용 시스템에 대한 정보를 제공하고 있어 동 대역의 일부를 항공이동체 전용으로 공급하는 방안을 고려해 볼 수 있다.

이를 위해 ITU 연구로부터 항공이동체용 신규 주파수 공급에 필요한 기술 파라미터 및 보호기준에 대한 정보를 확보하고, 국내외 산업계 기술 및 이용 현황을 반영한 세부 운용 지침(이격 거리, 안테나 설치 등)을 마련해야 한다.

현재 동 대역에서의 무선국 이용이 많지 않고 현존 무선설비가 무인항공기에 탑재할 수 있는 크기 및 중량을 초과하는 등 가용 무선설비의 확보에 어려운 측면이 존재한다. 그러나 관련 기술의 발전에 따라 무선설비의 경량화 및 소형화가 진행되고 일부 공공 목적의 장비가 민간 영역으로 확장된다면 관련 무선설비를 수급하는데 있어 어려움의 개선을 기대해 볼 수 있다.

끝으로, 항공이동체 산업의 활성화를 위해 국내 업체 및 출연연에 대한 정부 차원의 연구 개발을 지원하는 한편, 산업계의 진입 문턱을 낮출 수 있도록 주파수 허가, 공역 및 비행 승인, 인증 제도 등 전반적인 규제 완화를 위한 범정부적인 협업 체계의 구축도 필요할 것이다.

제3절 항공 무선설비 시험방법 개선방안

1. 국내 시험방법 현황

항공업무용 무선설비 중에서 적합성평가를 받아야 하는 대상 기자재는 「방송통신기자재등의 적합성평가에 관한 고시」의 별표 1 적합인증 대상기자재에 따라, 표 40과 같이 의무항공기국에 시설하는 무선설비의 기기 및 단측파대전파를 사용하는 무선국용 무선전화의 송신 장치 및 수신 장치의 기기이다.

[표 40] 항공 무선설비의 적합인증 대상기자재

| 대상 기자재 | | 적합성평가기준 적용분야 | |
|--|---------------|--------------|----|
| | | 전자파적합성 | 무선 |
| 의무항공기국에 시설하는 무선설비의 기기 | | ○ | ○ |
| 단측파대 전파를 사용하는 무선국용 무선전화의 송신장치 및 수신장치의 기기 | 가. 항공이동업무의 기기 | ○ | ○ |

여기서, 의무항공기국이란 전파법 제22조(주파수 사용승인 및 무선국 개설허가의 유효기간) 2항에 언급된 바와 같이, “항공안전법에 따라 항공기 또는 경량항공기에 의무적으로 개설하여야 하는 무선국”으로 정의되어 있다.

항공안전법에서는 항공기에 대해, 제51조(무선설비의 설치·운용 의무) 및 동법 시행규칙 제107조(무선설비)에 따라 총 8종의 무선설비를 설치·운용하도록 하고 있다. 또한, 경량항공기에 대해 항공안전법 제120조(경량항공기 무선설비 등의 설치·운용 의무), 동법 시행규칙 제297조(경량항공기의 의무무선설비)에 따라 총 2종의 무선설비를 설치·운용하도록 하고 있다.

이러한 내용은 표 41과 같이 중앙전파관리소 고시 「무선국의 운용 등에 관한 규정」 별표 7의 2에 명시되어 있다.

[표 41] 중관소 고시에 명시된 항공기에 갖추어야 하는 무선설비

| 구분 | 무선설비 |
|---------|--|
| 항공기국 | 1. 비행 중 항공교통관제기관과 교신할 수 있는 초단파(VHF) 또는 극초단파(UHF) 무선전화 송수신기 2. 기압고도에 관한 정보를 제공하는 2차 감시 항공교통관제 레이더용 트랜스폰더 3. 자동방향탐지기(ADF) 4. 계기착륙시설(ILS) 수신기 5. 전방향표지시설(VOR) 수신기 6. 거리측정시설(DME) 수신기 7. 기상레이더 또는 악기상 탐지장비 8. 비상위치지시용 무선표지설비(ELT) |
| 경량 항공기국 | 1. 비행 중 항공교통관제기관과 교신할 수 있는 초단파(VHF) 또는 극초단파(UHF) 무선전화 송수신기 2. 기압고도에 관한 정보를 제공하는 2차 감시 항공교통관제 레이더용 트랜스폰더 |

항공업무용 무선설비의 적합성평가에 적용되는 기준은 「항공업무용 무선설비의 기술기준」과 「무선설비 규칙」이며 세부 시험방법은 KS 표준 3123 「무선 설비 적합성 평가 시험방법」을 적용하게 된다.

KS 3123은 항공 무선설비뿐만 아니라, LTE 시스템을 제외한 모든 분야의 무선설비에 대한 시험방법을 포함하고 있으며, 부속서 A의 환경적 조건의 구분, 부속서 B의 대상 기자재별 적합성 평가 적용, 부속서 C의 적합성 평가 항목별 시험방법 등으로 구성되어 있다. 아울러, 기존 시험방법 체계에 적용하기 어려운 새로운 무선설비에 대해서는 신규 부속서를 추가하는 방식으로 개정되고 있다. 표 42는 KS 3123 시험방법 표준의 부속서 구성 목차를 나타낸다.

적합성평가를 위해 적용되는 무선설비의 환경적 조건과 전기적 시험 항목은 부속서 B에 명시되어 있고 환경적 조건은 진동, 충격, 연속 동작, 온도, 습도가 있으며, 전기적 시험 항목은 세부 기술기준 및 무선설비 규칙에서 명시된 조건으로, 주파수 허용편차, 점유주파수대역폭의 허용치, 스푸리어스 발사의 허용치, 안테나공급전력의 허용편차, 부차적 전파발사와 같이 전파의 품질 관련 항목이 대표적이다.

[표 42] KS 3123의 부속서 구성 목차

| 구분 | 무선설비 |
|-------|--|
| 부속서 A | 환경적 조건의 구분 |
| 부속서 B | 대상 기자재별 적합성 평가 적용 구분 |
| 부속서 C | 적합성 평가 항목별 시험방법 |
| 부속서 D | 복사측정에 의한 적합성 평가 항목별 시험방법 |
| 부속서 E | 전파법 시행령 제25조제4호에 따른 무선설비의 정격전압 적용 |
| 부속서 F | 전파법 시행령 제25조제4호에 따른 무선설비의 안테나 이득 및 시험단자 적용 |
| 부속서 G | 무선랜을 포함한 무선접속시스템용(WAS) 특정소출력 무선기기 및 무선데이터 통신 시스템용 특정소출력 무선기기의 무선랜 적합성평가 항목별 시험방법 |
| 부속서 H | RFID/USN용 무선설비의 적합성평가 항목별 시험방법 |
| 부속서 I | TVWS 데이터통신용 무선기기의 가용채널 데이터베이스 접속연동기능 시험방법 |
| 부속서 J | 전파법 시행령 제25조 제4호에 따른 무선설비 중 20GHz이상의 주파수를 사용하는 무선설비의 적합성 평가 항목별 복사시험방법 |
| 부속서 K | 체내이식용 무선설비의 적합성 평가 시험방법 |
| 부속서 L | 전계강도 및 자계강도 무선기기 시험방법 |
| 부속서 M | 지능형교통시스템용 무선설비의 적합성평가 항목별 시험방법 |

2. 해외 표준 분석

항공 무선설비에 대한 기술기준은 국제표준으로, ICAO(International Civil Aviation Organization) 부속서 10이 마련되어 있으며, 운용 성능에 대한 세부 사항은 RTCA(Radio Telecommunication Commission for Aeronautics) 및 EUROCAE(European Organization for Civil Aviation Equipment) 표준을 준수하도록 하고 있다.

RTCA는 무선설비에 대한 기술적 조건을 표 43과 같이 DO 표준으로 규정하고 있으며, 항공기 운용이 예상되는 환경적 조건에서 탑재 장비의 성능을 확인하기 위한 환경적 조건 및 시험 절차에 대한 DO-160 시험방법 표준을 마련하였다.

[표 43] RTCA DO 표준

| 구분 | 내용 |
|--------|--|
| DO-192 | 328.6-335.4MHz 무선주파수 영역에서 작동하는 항공용 계기착륙장치(ILS) 활공각 수신 장비 |
| DO-143 | 항공기용 무선표시기 수신장비 |
| DO-195 | 108-112MHz 무선주파수 영역에서 작동하는 항공기용 ILS 로컬라이저 수신 장비 |
| DO-196 | 108-117.95MHz 무선주파수 영역에서 작동하는 항공용 VOR 수신장비 |
| DO-189 | 960-1,215MHz 무선주파수 영역에서 작동하는 거리측정장치(DME) |
| DO-183 | 비상위치 송신기 |
| DO-181 | 항공교통관제 레이더 비콘 시스템/모드 S (ATCRBS/Mode S) 탑재용 장비 |
| DO-204 | 406MHz 비상위치 송신기 |
| DO-208 | GPS를 이용한 탑재용 보조항법장치 |
| DO-186 | 117.975-137.000MHz 무선주파수 영역에서 작동하는 VHF 무선 통신 송수신 장비 |
| DO-163 | 1.5-30MHz 무선주파수 영역에서 작동하는 고주파 무선 통신장비 |

미국 항공청은 항공 무선설비에 대해 TSO(Technical Standard Order) 인증을 수행하고 있으며 이를 위한 세부 기술기준 및 시험방법으로 RTCA DO 표준을 따르도록 하고 있다. 이러한 TSO 인증에서는 요구되는 환경적 조건이 만족함을 증명하는 Advisory Circular를 발행하고 있으며 이를 위한 시험방법으로 DO-160 표준이 적용된다.

초기 단계인 국내 항공 산업체의 경우, 미국의 TSO 인증 장비를 수입하고 있는 것으로 확인됨에 따라 미국을 비롯해 국제적으로 적용되고 있는 시험방법인 DO-160 표준을 분석하고자 한다.

가. 용어 정의

DO-160 표준에서는 항공기 탑재 무선설비에 대한 시험 환경 및 절차 등의 설명을 위해 다양한 용어를 사용하고 있으며 이러한 용어는 표 44와 같이 설명할 수 있다.

[표 44] DO-160 표준 내 용어 설명

| 용어 | 설명 |
|--|--------------------------------|
| Equipment Temperature Stabilization | (Not Operating) 온도 변화 3°C 이하 |
| | (Operating) 온도 변화 2°C 이하 |
| Maximum Duty Cycle | 동작 및 비동작 시간의 비율 |
| Not Operating | 전력이 인가되지 않는 조건 |
| Controlled or Partially Controlled Temperature Locations | 제어시스템에 의해 공기 온도가 유지되는 항공기 내 공간 |
| Total Excursion | 양의 최대값에서 음의 최대값까지의 총 범위 |
| Equipment | 테스트 장비 및 모든 구성품 |
| Altitude | 해수면 대비 환경적 압력을 나타냄 |
| Category of Tests and Declarations | 장비가 노출되는 최악의 환경을 구분 |
| Applicability of Test Results | 시험 결과는 수행된 조건에 대해서만 유효 |

나. 시험 조건

DO-160 표준에서는 무선설비의 시험을 위해 세부 조건들을 표 45와 같이 설명하고 있다.

[표 45] 시험 조건

| 구분 | 설명 |
|---|--|
| Connection and Orientation of Equipment | 상호 연결 케이블 1.5m 이상, 1.2m의 단일 공통 묶음 케이블 허용 |
| Order of Tests, Multiple Test Articles | 시험 항목, 시험 순서 등을 설정 |
| Combining Tests | 기존 절차 기반의 대체 절차 적용 가능 |
| Measurements of Air Temperature in the Test Chamber | 시험 챔버 내 공기 온도 측정, 바람을 고려한 균일 분포로 설정 |
| Ambient Conditions | (온도) +15~+35°C |
| | (상대습도) 85% 이하 |
| | (주변 압력) 84~107 kPa |
| Environmental Test Condition Tolerances | (온도) 3°C 이내 |
| | (고도) 압력의 5% 이내 |
| Test Equipment | 제조사, 모델, 일련번호, 교정 만료기간 및 교정 기관 명시 |
| Multiple Unit Equipment | 기능 유지 조건을 전제로 분리 시험 |
| EUT Configuration for Susceptibility Tests | EUT는 가장 민감한 기능 모드로 설정, S/W 시험 포함 |

다. 온도 및 기압 시험

환경적 조건으로 온도 및 기압(고도) 시험을 위해서는 무선설비의 운용 환경에 따라 Category로 구분하였으며 대상설비가 해당하는 Category를 선택하고 온도 및 고도 시험을 수행한다. Category는 비행고도, 온도, 기압, 설치 장소에 대한 세부 기준이 마련되어 있으며 비행 중 냉각 손실에 따른 별도의 Category가 마련되어 있다.

가) Category 구분

탐재 무선설비의 온도 및 기압 시험을 위해 구별되는 Category A1부터 Category F3은 표 46의 세부 기준을 갖는다.

[표 46] 온도 및 기압 시험을 위한 Category 구분

| 구분 | 고도 | 온도 | 기압 |
|-------------|-------------|------------------------------------|-----------------|
| Category A1 | 1,500ft 이하 | controlled | pressurized |
| Category A2 | 1,500ft 이하 | partially controlled | pressurized |
| Category A3 | 1,500ft 초과 | controlled or partially controlled | pressurized |
| Category A4 | 1,500ft 초과 | controlled | pressurized |
| Category B1 | 25,000ft 이하 | controlled | non-pressurized |
| Category B2 | 25,000ft 이하 | non-controlled | non-pressurized |
| Category B3 | 25,000ft 이하 | power plant compartment 내 설치 | |
| Category B4 | 25,000ft 이하 | B1, B2 이외 | non-pressurized |
| Category C1 | 35,000ft 이하 | controlled | non-pressurized |
| Category C2 | 35,000ft 이하 | non-controlled | non-pressurized |
| Category C3 | 35,000ft 이하 | power plant compartment 내 설치 | |
| Category C4 | 35,000ft 이하 | C1, C2 이외 | non-pressurized |
| Category D1 | 50,000ft 이하 | controlled | non-pressurized |
| Category D2 | 50,000ft 이하 | non-controlled | non-pressurized |
| Category D3 | 50,000ft 이하 | power plant compartment 내 설치 | |
| Category E1 | 70,000ft 이하 | non-controlled | non-pressurized |
| Category E2 | 70,000ft 이하 | power plant compartment 내 설치 | |
| Category F1 | 55,000ft 이하 | controlled | non-pressurized |
| Category F2 | 55,000ft 이하 | non-controlled | non-pressurized |
| Category F3 | 55,000ft 이하 | power plant compartment 내 설치 | |

나) 온도 시험

온도 시험은 표 47과 같이, 최저 운용 온도(Operating Low Temperature), 최고 운용 온도(Operating High Temperature), 장비 최초 동작 온도(Short-Time Operating Temperature), 동작하지 않는 상태에서의 장비 보관 온도(Ground Survival Temperatures), 비행 중 냉각 시스템 부재시 운용 온도(In-Flight Loss of Cooling)의 총 5가지 세부 시험이 수행되며 각각의 시험에 대해 시험 절차 및 방법을 명시하고 있다.

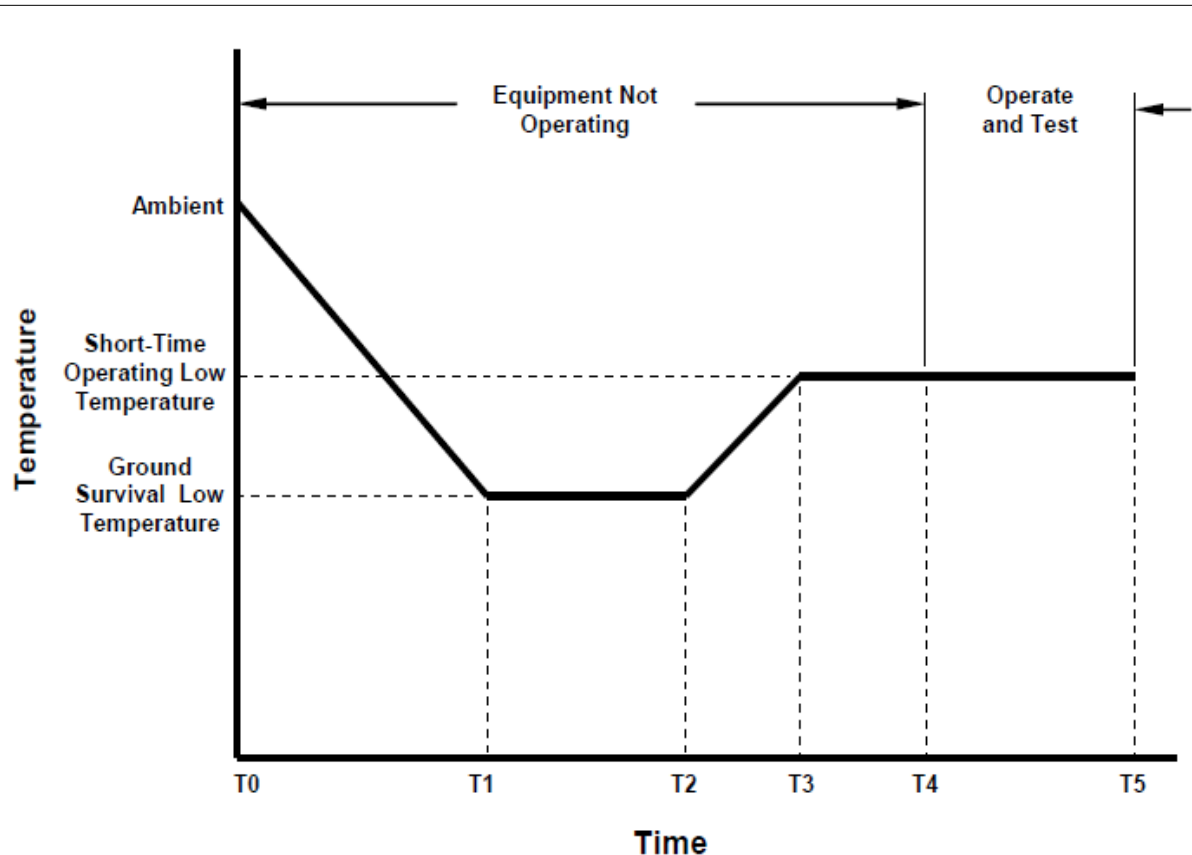
[표 47] 세부 온도 시험

| 세부 온도 시험 | 설명 |
|----------------------------------|-----------------------|
| Operating Low Temperature | 최저 운용 온도 |
| Operating High Temperature | 최고 운용 온도 |
| Short-Time Operating Temperature | 장비 최초 동작 온도 |
| Ground Survival Temperatures | 장비 보관 온도(미동작) |
| In-Flight Loss of Cooling | 비행 중 냉각 시스템 부재시 운용 온도 |

장비 보관 온도(저온) 및 장비 최초 동작 온도(저온) 시험에 대한 절차 및 방법은 표 48과 같다.

[표 48] 장비 보관 온도(저온) 및 장비 최초 동작 온도(저온) 시험

- 장비를 미동작 상태로 ground survival low temperature에서 최소 3시간 방치한다.
- 최소 2°C/minute의 속도로 short time operating low temperature까지 온도를 상승시킨다.
- 30(+5/-0)분 또는 내부 안정화될 때까지 방치한다.
- 장비를 동작시키고 테스트 챔버의 대기 온도를 short time operating low temperature로 유지한다.
- 최소 30분 장비를 동작시킨 후 장비를 확인한다.

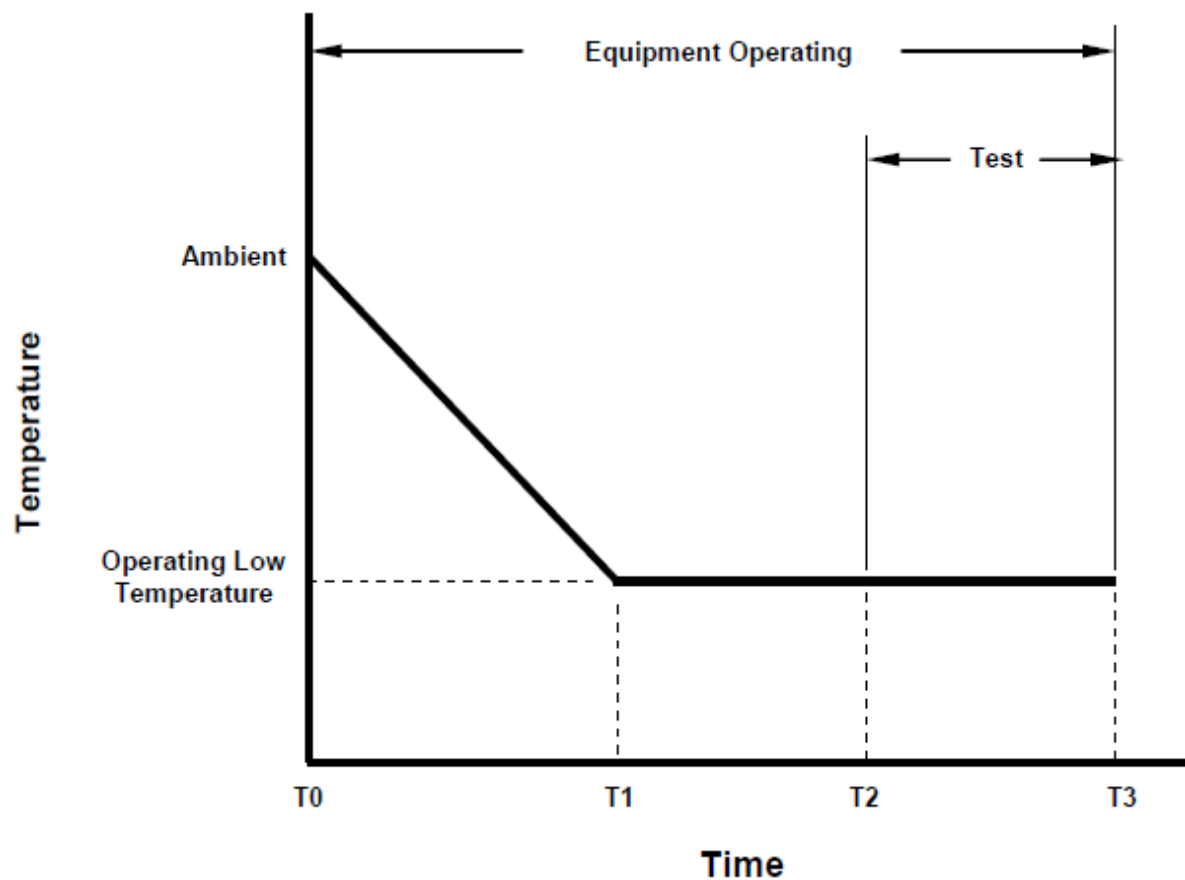


- 1) T0~T1의 온도 변화는 정의되지 않음
- 2) T1~T2은 장비 온도 안정화 시간으로 최소 3시간 이상
- 3) T2~T3은 최소 2°C/minute를 가짐
- 4) T3~T4는 30(+5/-0)분 또는 내부 안정화 시간임
- 5) T4~T5는 30분임
- 6) Short-Time Low와 Ground Survival Low가 동일한 경우 T2~T4는 변화없음
- 7) Short-time low operating temperature가 operating low temperature와 같은 경우 Note2를 참고(4.5.1)

최저 운용 온도 시험에 대한 절차 및 방법은 표 49와 같다.

[표 49] 최저 운용 온도 시험

- 장비를 동작시키고 테스트 챔버의 대기 온도를 operating low temperature로 설정한다.
- 장비 온도가 안정화되면 장비를 최소 2시간 동작시키며 이 동작 시간동안 장비를 확인한다.

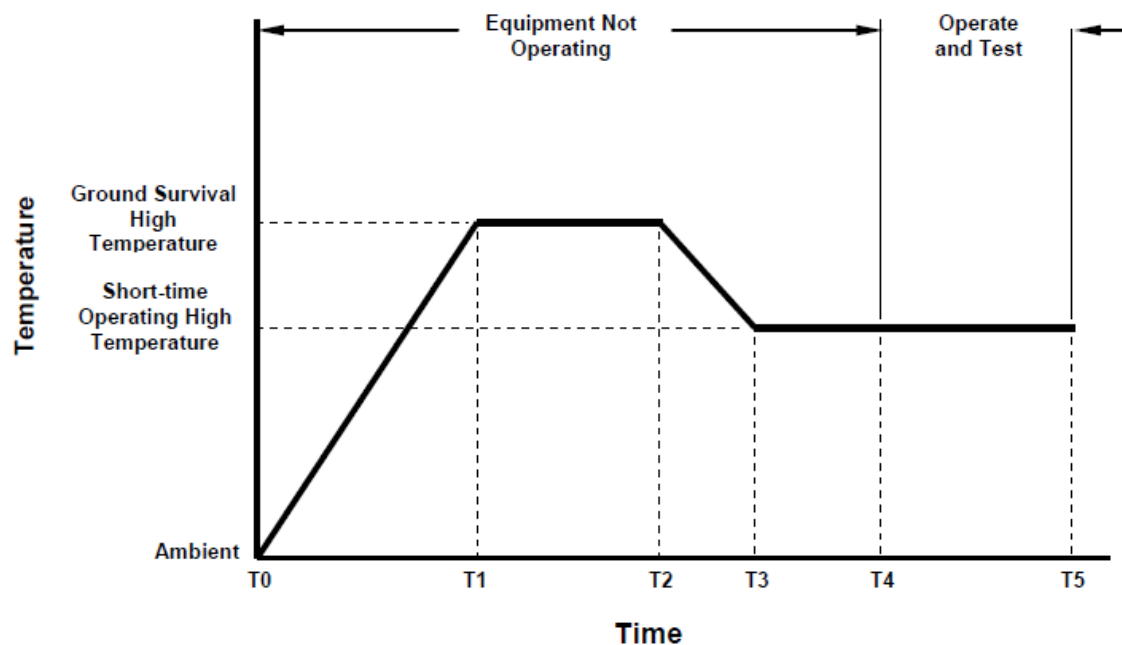


- 1) T0~T1의 온도 변화는 정의되지 않음
- 2) T1~T2은 장비 온도 안정화 시간임
- 3) T2~T3은 최소 2시간임

장비 보관 온도(저온) 및 장비 최초 동작 온도(고온) 시험에 대한 절차 및 방법은 표 50과 같다.

[표 50] 장비 보관 온도(저온) 및 장비 최초 동작 온도(고온) 시험

- 장비를 미동작 상태로 ground survival high temperature에서 최소 3시간 방치한다.
- 최소 2°C/minute의 속도로 short time operating high temperature까지 온도를 하강시킨다.
- 30(+5/-0)분 또는 내부 안정화될 때까지 방치한다.
- 장비를 동작시키고 테스트 챔버의 대기 온도를 short time operating high temperature로 유지한다.
- 최소 30분 장비를 동작시킨 후 장비를 확인한다.

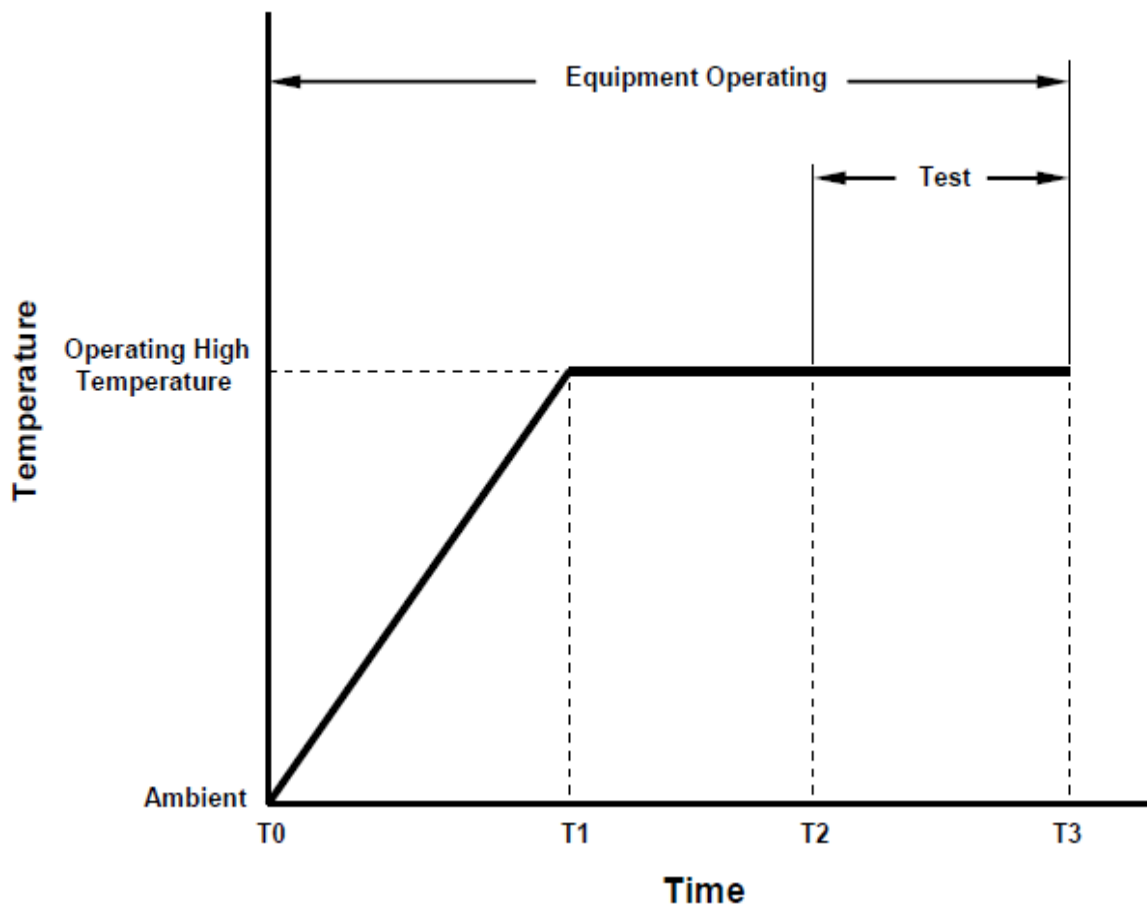


- 1) T0~T1의 온도 변화는 정의되지 않음
- 2) T1~T2은 장비 온도 안정화 시간으로 최소 3시간 이상
- 3) T2~T3은 최소 2°C/minute를 가짐
- 4) T3~T4는 30(+5/-0)분 또는 내부 안정화 시간임
- 5) T4~T5는 30분임
- 6) Short-Time High와 Ground Survival High가 동일한 경우 T2~T4는 변화없음
- 7) Short-time high operating temperature가 operating high temperature와 같은 경우 Note2를 참고(4.5.3)

최고 운용 온도 시험에 대한 절차 및 방법은 표 51과 같다.

[표 51] 최고 운용 온도 시험

- 장비를 동작시키고 테스트 챔버의 대기 온도를 operating high temperature로 설정한다.
- 장비 온도가 안정화되면 장비를 최소 2시간 동작시키며 이 동작 시간동안 장비를 확인한다.



- 1) T0~T1의 온도 변화는 정의되지 않음
- 2) T1~T2은 장비 온도 안정화 시간임
- 3) T2~T3은 최소 2시간임

비행 중 냉각 시스템 부재시 운용 온도 시험에 대한 절차 및 방법은 표 52와 같다.

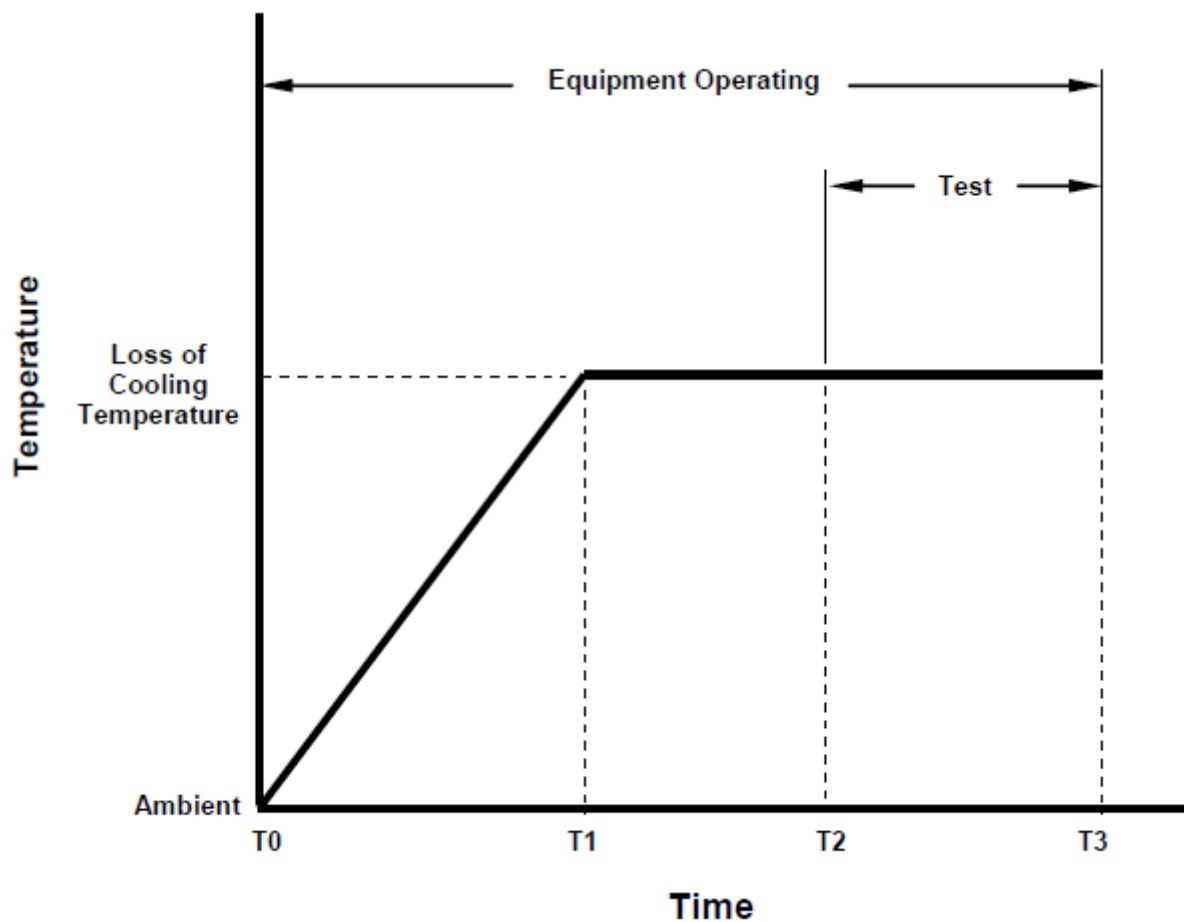
[표 52] 비행 중 냉각 시스템 부재시 운용 온도 시험

- 냉각 기능 상실 시간을 Category 별로 아래와 같이 정의

〈Categories of In-Flight Loss of Cooling Test Periods〉

| | |
|------------|---|
| Category V | 30 minutes minimum |
| Category W | 90 minutes minimum |
| Category P | 180 minutes minimum |
| Category Y | 300 minutes minimum |
| Category Z | As defined in the equipment specification |

- 장비를 동작시킨 상태에서 3.4에 따라 대기 냉각을 기능을 동작시켜 테스트 챔버 대기 온도를 조정하고 장비 온도를 안정화시킨다.
- 대기 냉각을 중단시키고 해당 category의 시간동안 장비를 동작시켜 장비를 확인한다.(테스트 챔버의 대기 온도 유지)



- 1) T0~T1의 온도 변화는 정의되지 않음
- 2) T1~T2은 장비 온도 안정화 시간임
- 3) T2~T3 지속시간은 4.5.4를 참고

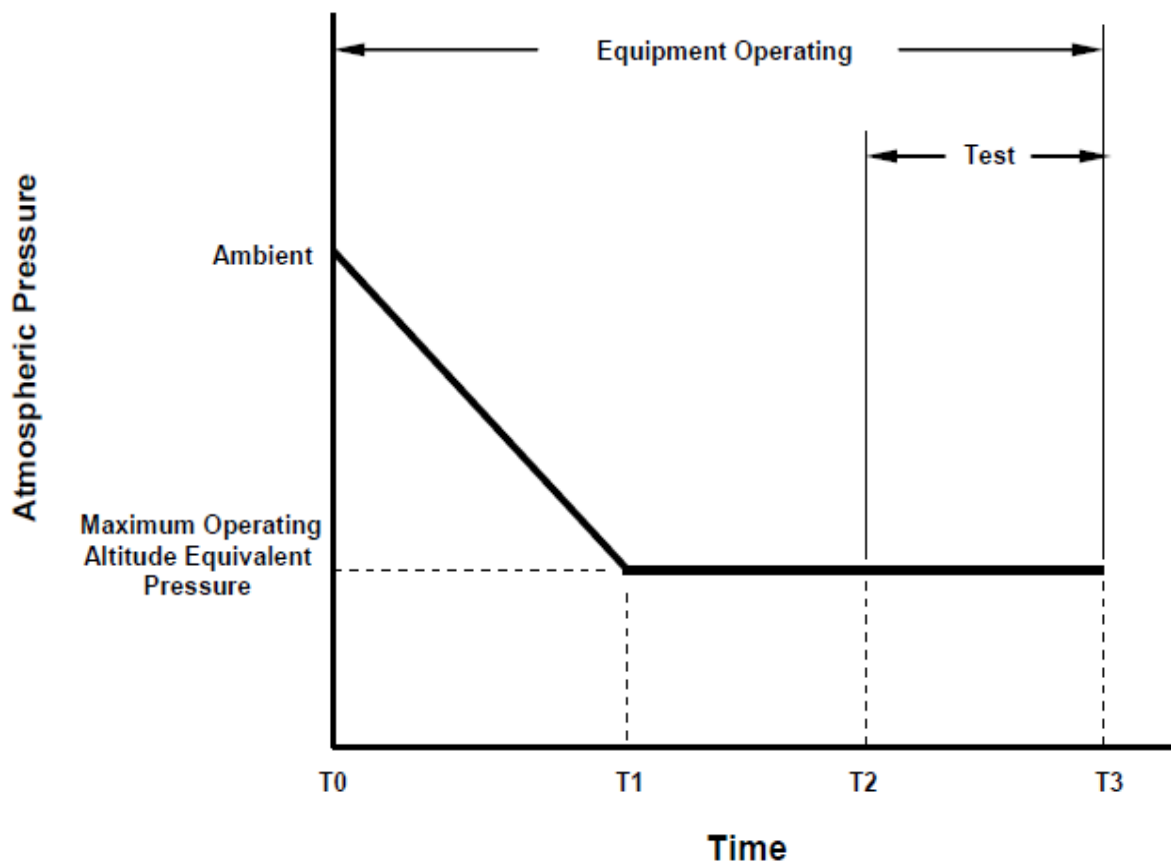
다) 기압 시험

기압 시험은 설정된 압력에 따른 시험으로 고도에 따른 기압 시험, 저기압 시험, 고기압 시험의 3가지로 구성되어 있다.

고도에 따른 기압 시험에 대한 절차 및 방법은 표 53과 같다.

[표 53] 고도에 따른 기압 시험

- 장비를 동작(최대 duty cycle) 시키고 압력을 최대 운용 고도까지 감소시킨다.
- 장비 온도를 안정화시키고 압력을 최소 2시간 동안 유지시킨다.
- 최대 duty cycle의 시간 또는 압력 유지 시간(최소 2시간) 중 긴 시간에 해당하는 시간에 장비를 확인한다.

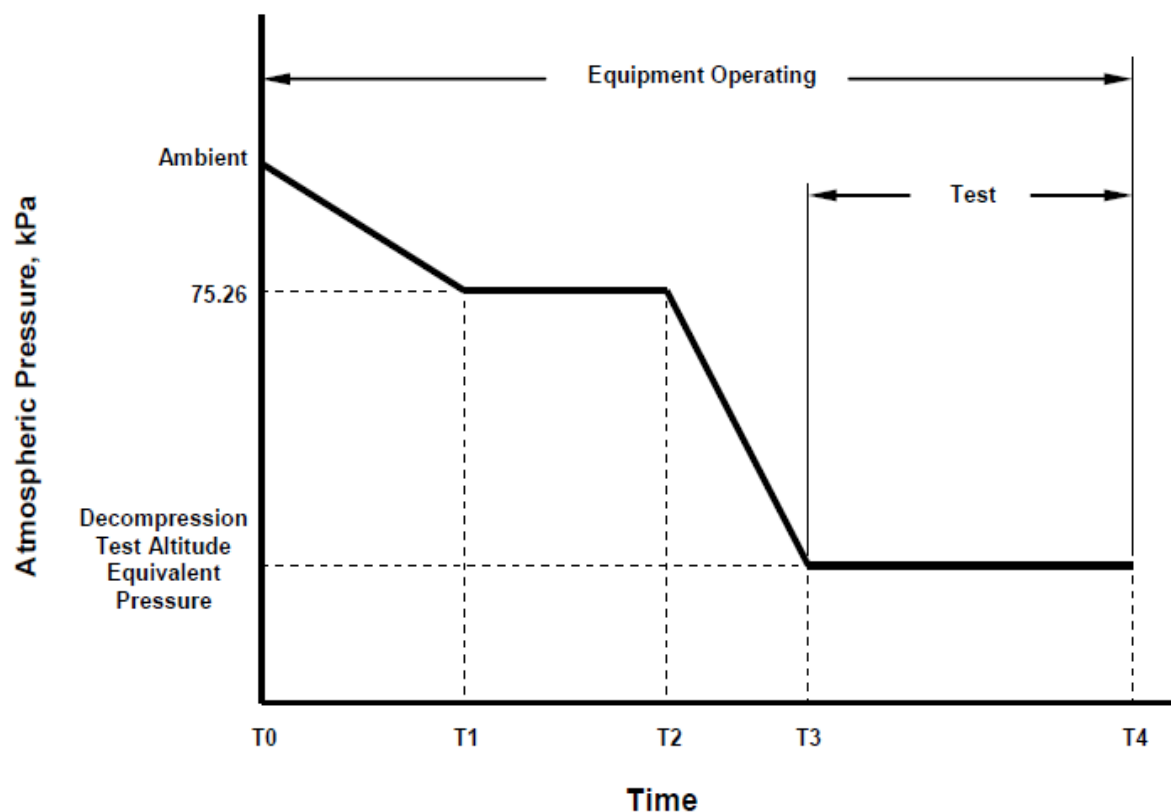


- 1) T0~T1의 압력 변화는 정의되지 않음
- 2) T1~T2은 장비 온도 안정화 시간임
- 3) T2~T3은 최소 2시간임

저기압 시험에 대한 절차 및 방법은 표 54와 같다.

[표 54] 저기압 시험

- 장비를 동작시키고 절대 압력을 고도 8,000ft로 조정하고 장비 온도를 안정화시킨다.
- 절대 압력을 최대 운용 고도로 감소시킨다.(15초 이내)
- 최소 10분 또는 명시된 세부 조건 동안 감소된 압력을 유지한 후, 장비를 확인한다.

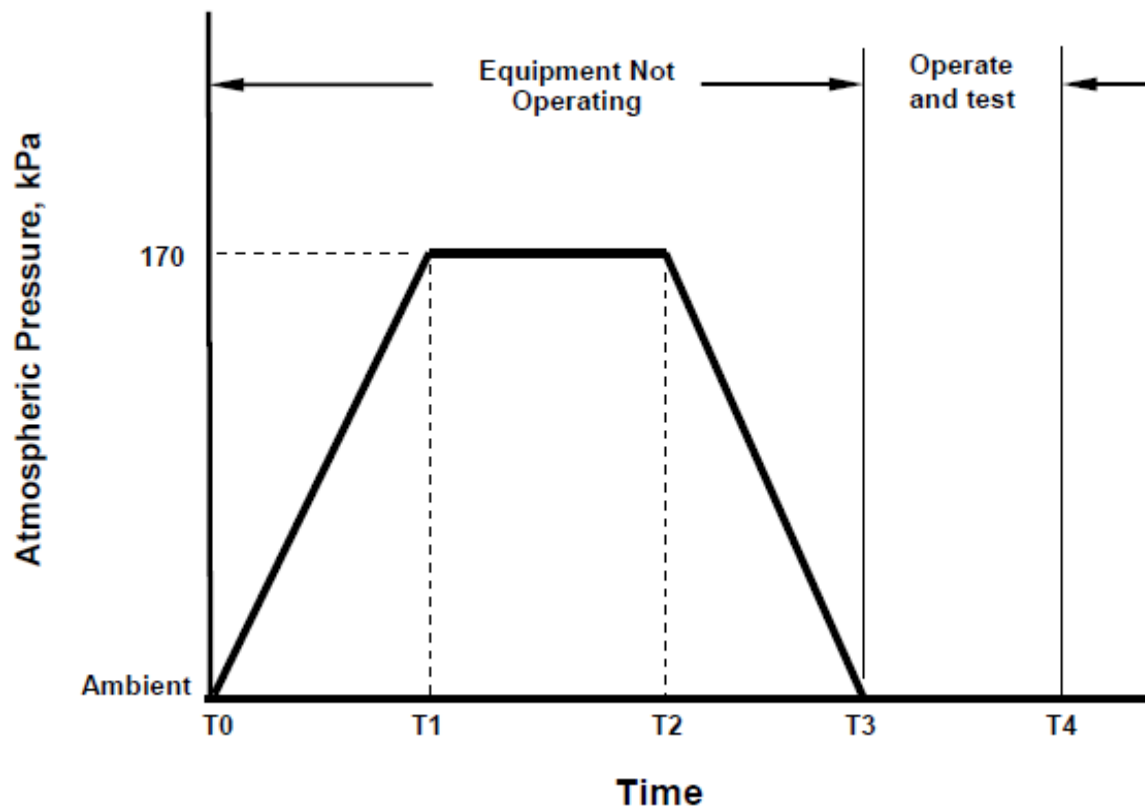


- 1) T0~T1의 압력 변화는 정의되지 않음
- 2) T1~T2은 장비 온도 안정화 시간임
- 3) T2~T3은 최대 15초임
- 4) T3~T4는 최소 10분임

고기압 시험에 대한 절차 및 방법은 표 55와 같다.

[표 55] 고기압 시험

- 장비를 동작시키지 않고 세부 조건이 명시하지 않았다면 절대 압력을 -15,000ft로 설정한다.
- 최소 10분 동안 유지시키고 ambient atmospheric pressure로 복귀시킨 후, 장비를 확인한다.



- 1) T0~T1, T2~T3의 압력 변화는 정의되지 않음
- 2) T1~T2은 최대 10분임
- 3) T3~T4는 장비를 동작하고 시험하는데 필요한 최소 시간임

기압은 항공기의 비행 고도에 따라 결정되며 다양한 고도에 따른 절대 압력은 표 56과 같이 나타낼 수 있다.

[표 56] 비행 고도별 절대 압력

| 압력 고도 | 절대 압력 | | | |
|-----------------------|--------|---------|---------|--------|
| | kPa | (mbars) | (in Hg) | mm Hg |
| -15,000 ft(-4,572 m) | 169.73 | 1697.3 | 50.12 | 1273.0 |
| -1,500 ft(-457 m) | 106.94 | 1069.4 | 31.58 | 802.1 |
| 0 ft(0 m) | 101.32 | 1013.2 | 29.92 | 760.0 |
| +8,000 ft(+2,438 m) | 75.26 | 752.6 | 22.22 | 564.4 |
| +15,000 ft(+4,572 m) | 57.18 | 571.8 | 16.89 | 429.0 |
| +25,000 ft(+7,620 m) | 37.60 | 376.0 | 11.10 | 282.0 |
| +35,000 ft(+10,669 m) | 23.84 | 238.4 | 7.04 | 178.8 |
| +50,000 ft(+15,240 m) | 11.60 | 116.0 | 3.42 | 87.0 |
| +55,000 ft(+16,764 m) | 9.12 | 91.2 | 2.69 | 68.3 |
| +70,000 ft(+21,336 m) | 4.44 | 44.4 | 1.31 | 33.3 |

라. 온도 변화 시험

온도 변화 시험은 저온과 고온 사이에서 극단적으로 변화하는 온도 조건에서의 장비 성능을 확인하기 위한 것으로, 무선설비의 운용 환경에 따른 Category로 구분하여 각각에 대해 시험을 수행하게 된다. 본 시험에서는 무선설비가 물에 젖어 있거나 냉동되지 않는 상태여야 하며 시험을 수행하는 챔버는 습도 조절 또는 경보 기능을 갖추고 있어 액화 현상을 방지하는 기능을 제공해야 한다.

가) Category 구분

탐재 무선설비의 온도 변화 시험을 위해 구별되는 Category A부터 Category S2까지 표 57과 같다.

[표 57] 온도 변화 시험의 Category 구분

| 구분 | 대상 무선설비 | 조건 |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Category A | 항공기 내부 또는 외부 | 최소 10°C/minute |
| Category B | 항공기 내부에서 온도 제어가 되지 않거나 일부만 제어되는 공간 | 최소 5°C/minute |
| Category C | 항공기 내부에서 온도 제어가 되는 공간 | 최소 2°C/minute |
| Category S1 | 항공기 내부 또는 외부 | 10°C/minute 초과 |
| Category S2 | 항공기 내부 또는 외부 | 10°C/minute 초과 (변화율 정보가 없는 경우) |

Category B를 만족하는 무선설비의 경우에는 Category C도 만족하는 것으로 간주되고, 10°C/minute를 초과하는 경우에는 Category S1과 S2를 적용하되 온도 변화율에 대한 정보가 없을 경우에는 Category S2를 적용한다.

나) 시험 절차

온도 변화 시험에서 Category A, B, C에 대한 시험 절차는 앞서 언급한 온도 시험을 포함하고 있으며, 먼저 저온의 온도 시험 상태에서 챔버 온도를 Category의 조건에 따라 온도를 상승 상승시킨 후 장비의 상태를 확인한다. 또한, 반대로 고온 온도 시험 상태에서 챔버 온도를 하강 시킨 다음 장비의 상태를 확인하는 방식으로 수행된다.

이러한 절차는 최소 2번 이상 수행되어야 하는데, 첫 번째 시험에서 장비의 성능이 만족함이 확인되고 두 번째 시험에서도 문제가 없는 경우에는 해당 장비는 시험을 만족하는 것으로 판단한다.

만약, 장비의 성능이 만족하지 않는 시험 결과가 도출된다면 장비 성능이 만족된다는 판단이 충분히 가능하도록 다수의 시험 반복이 요구될 수 있다. 시험을 수행하는 동안 온도 상승이 장비 내 액화 현상을 유발할 경우, 챔버 내 공기의 습도를 조절하여 액화 현상을 제거하여야 한다.

장비 시험의 반복 수행 사이에 시험 장비 상태 및 측정 일정에 따라 일부 시간 동안 장비를 동작시키지 않는 것이 허용될 수 있으나 반복 시험은 24시간 내에 재개하는 것을 원칙으로 한다. 또한, 시험이 반복되는 동안 다른 환경적인 시험은 허용되지 않는다.

Category A, B, C에 대한 온도 변화 시험의 절차 표 58과 같다.

[표 58] 온도 변화 시험 절차(Category A, B, C)

- a) 결합 시험의 경우, 주변 온도로 전환하지 않고 장비에 대해 온도 시험을 수행한 후, c)를 수행한다. 결합 시험이 아닌 경우, 장비를 동작시켜 주변 온도에서부터 최저 운용 온도까지 Category의 속도로 하강시킨다.
- b) 장비를 동작시킨 상태에서 최저 운용 온도로 안정화시킨다.
- c) 챔버 온도를 Category의 속도로 최고 운용 온도까지 상승시킨다.
- d) 장비를 최고 운용 온도로 안정화시킨다. 결합 시험의 경우, 주변 온도로 전환하지 않고 온도 시험을 수행한 후, 최소 2분 동안 미동작 상태로 장비를 유지한다.
- e) 장비를 동작시키고 Category의 속도로 챔버 온도를 최저 운용 온도로 하강시키고 온도 변화 동안 장비를 확인한다.
- f) 장비를 최저 운용 온도로 안정화시킨 후, 최소 1시간동안 장비를 동작시킨다. 그 다음 장비를 30분 동안 동작하지 않고 이후, 챔버를 최저 운용 온도에서 다시 동작시킨다.
- g) 챔버의 온도를 Category의 속도로 주변 온도로 변화시킨다.
- h) 챔버 온도 및 장비를 주변 온도로 안정화 시킨 후, 장비를 확인한다.

Category S1에 대한 온도 변화 시험의 절차는 표 59와 같으며 Category S1은 다른 온도 시험 방법을 적용하지 않고 별개로 구분하여 시험해야 한다.

[표 59] 온도 변화 시험 절차(Category S1)

- a) 장비를 동작시키고 챔버 온도를 주변 온도에서부터 Category의 속도로 최저 운용 온도까지 하강시킨다.
- b) 가능하면 최저 운용 온도에서 장비를 안정화시킨다.
- c) 챔버 온도를 Category의 속도로 최고 운용 온도까지 상승시키고 온도 변화 동안 장비를 확인한다.
- d) 장비를 최고 운용 온도로 안정화시키고 가능하면 장비를 최소 2분 동안 미동작 상태로 유지한다.
- e) 장비를 동작시키고 챔버 온도를 Category의 속도로 최저 운용 온도까지 하강시키고 온도 변화 동안 장비를 확인한다.
- f) 장비 온도를 안정화시키고 가능하면 챔버 온도를 최저 운용 온도에서 최소 1시간 동안 장비의 동작을 계속한 후, 장비를 30분 동안 정지시키고 챔버를 최저 운용 온도로 유지한 상태에서 장비를 재동작시킨다.
- g) 챔버 온도를 Category의 속도에 따라 주변 온도로 변화시킨다.
- h) 챔버 및 장비를 주변 온도로 안정화시키고 가능하면 두 번째 또는 마지막 테스트에 장비를 확인한다.

Category S2에 대한 온도 변화 시험의 절차 표 60과 같으며 Category S2은 다른 온도 시험 방법을 적용하지 않고 별개로 구분하여 시험해야 한다.

시험 조건을 설정하고 유지하기 위해 하나의 2셀 챔버 또는 구분된 2개의 챔버가 필요하며, 첫 번째 챔버는 최저 운용 온도로 설정하고 나머지 챔버는 최고 운용 온도로 설정한다. 장비를 챔버 내에 위치시킬 경우 챔버의 환경적 조건들이 변경될 수 있는데 이러한 경우 장비 반입 후 최소 5분 이내에 온도를 안정화시켜야 된다.

[표 60] 온도 변화 시험 절차(Category S2)

- a) 장비를 첫 번째 챔버에 위치시킨다.
- b) 가능하면 장비를 최저 운용 온도로 안정화시킨다.
- c) 첫 번째 챔버에서 두 번째로 가능한 빨리 5분 이내에 이동시킨다. 2개의 구분된 챔버를 사용하는 경우 장비를 이동시킨 후 바로 동작시킬 수 있다.
- d) 장비를 최고 운용 온도를 안정화시킨 후, 장비를 확인한다.
- e) 장비를 미동작 상태로 최소 2분동안 유지한다.
- f) 장비를 동작시키고 두 번째 챔버에서 첫 번째 챔버로 가능한 빨리 5분 이내에 이동시킨다. 2개의 구분된 챔버를 사용하는 경우 장비를 이동시킨 후 바로 동작시킬 수 있다. 만약 이동에 걸린 시간이 5분을 초과할 경우 이를 보고서에 기술한다.
- g) 장비를 최고 운용 온도로 안정화 시키고 가능하면 최소 1시간 동안 장비의 동작을 유지한다. 온도가 안정화되면 장비를 확인한다.
- h) 장비를 30분 동안 미동작시키고 첫 번째 챔버를 최저 운용 온도를 유지하여 장비를 재동작한다.
- i) 장비를 주변 온도로 이동시키고 온도가 안정화되면 두 번째 혹은 마지막 테스트에 장비를 확인한다.

마. 습도 시험

습도 시험은 자연적으로 발생하는 습기나 습한 대기 상태로 인해 발생하는 수분을 얼마나 제거할 수 있는지 확인하는 시험이며, 습도로 인해 발생하는 악영향으로는 부식, 습도 흡수로 발생하는 장비의 기계적, 전기적, 화학적, 열적인 특성변화를 들 수 있다.

가) Category 구분

습도 시험은 무선설비의 설치가 예상되는 환경적 조건에 따라, 표준 습도 환경(Category A), 고습도 환경(Category B), 외부 습도 환경(Category C)으로 표 61과 같이 구분된다.

[표 61] 습도 시험의 Category 구분

| 구분 | 설명 |
|--------------------------|---|
| 표준 습도 환경 (Category A) | 민간 및 그 외 항공기의 설치를 목적으로, 고 습도 환경이 발생하지 않도록 환경적으로 구분되는 구역 |
| 고습도 환경 (Category B) | 표준 습도 환경 보다 가혹한 대기 습도를 갖고 있으며, 환경적으로 제어되지 않는 구역 |
| 외부 습도 환경 (Category C) | 표준 습도 환경 보다 가혹한 외부 대기에 직접 노출되는 구역 |

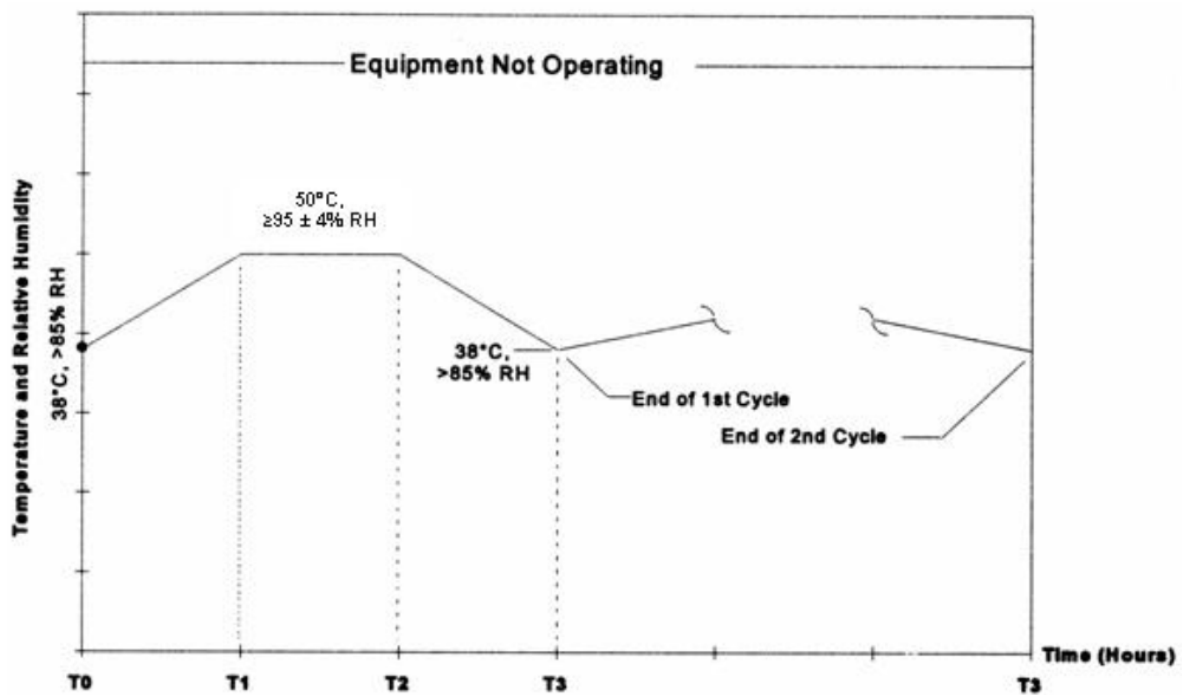
나) 시험 절차

습도 시험에서는 달리 언급하지 않는다면 상대 습도 95 ± 4 % 사이의 대기를 적용하고, 습기는 수증기 또는 6.5 ~ 7.5% 사이의 값을 갖는 물의 증발에 의해 발생한다. 이는 25°도에서 측정한 수분 저항(체적 저항력) 250,000 Ωcm 보다 낮아서는 안 되고 노출되는 지역의 전체 공기 속도는 0.5 ~ 1.7 m/s가 유지되어야 한다. 또한, 시험 챔버는 압력 상승을 방지하기 위해 대기를 배출해야 하며 수분이 장비로 떨어지지 않도록 유지되어야 한다.

표준 습도 환경에 대한 시험 절차는 표 62와 같다.

[표 62] 습도 시험 절차(Category A)

- 1) 시험 챔버에서 시험 장비를 설치하고 실제 운용을 고려하여 환경을 구성한다.
- 2) 시험 장비를 온도 $38\pm 2^{\circ}\text{C}$ 및 습도 $85\pm 4\%$ 로 안정화시킨다.
- 3) 2시간 \pm 10분 동안 챔버를 온도 $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ 및 습도 $95\pm 4\%$ 로 증가시킨다.
- 4) 챔버를 온도 $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ 습도 $95\pm 4\%$ 로 6시간 동안 유지한다.
- 5) 16시간 \pm 15분 동안 점진적으로 온도를 $38\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 하강시키고 습도는 가능한 최대치로 유지하여 85% 이하로 떨어지지 않게 한다.
- 6) 앞의 3), 4), 5)를 순차적으로 진행하고 이러한 과정을 2번 반복(48시간 노출)한다.
- 7) 마지막 노출시간에 장비를 시험 챔버에서 꺼내고 응축된 수분을 배출시킨다. 2번 반복 완료 후 1시간 내, 전원을 공급하고 장비를 동작시킨다. 장비의 예열을 위해 주요 전원 공급을 최대 15분까지 허용한다. 동작을 위한 전원이 필요치 않은 장비는 Category에 따라 요구되는 장비 최초 최고 동작 온도를 초과하지 않는 열을 이용하여 최대 15분을 예열한다. 예열 직후, 측정을 통해 장비를 확인한다.

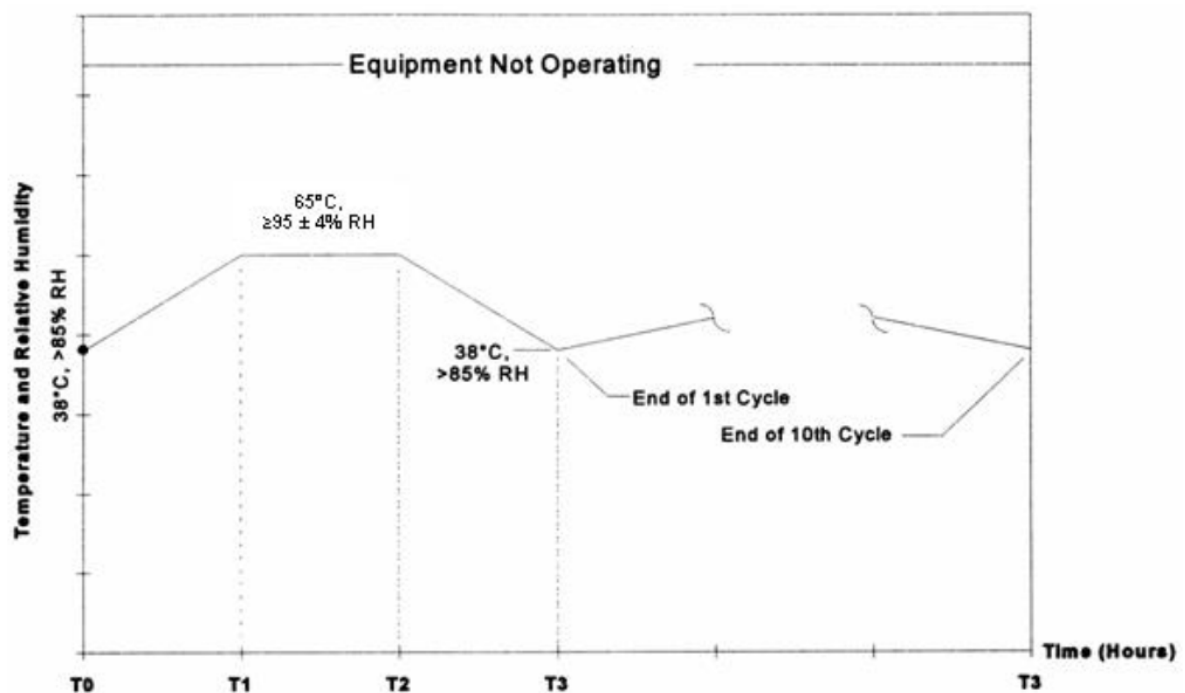


- 1) T0~T1는 2시간 \pm 10분임
- 2) T1~T2는 최소 6시간임
- 3) T2~T3은 16시간 \pm 15분(상대습도는 85% 이하로 떨어지지 않도록 함)
- 4) Category A, 7)을 따라 2번 반복후 시험을 지속
- 5) T0은 시험의 시작점이 아니고 반복 시행을 나타냄

고 습도 환경에 대한 시험 절차는 표 63과 같다.

[표 63] 습도 시험 절차(Category B)

- 1) 시험 챔버에서 시험 장비를 설치하고 실제 운용을 고려하여 환경을 구성한다.
- 2) 시험 장비를 온도 $38\pm 2^{\circ}\text{C}$ 및 습도 $85\pm 4\%$ 로 안정화시킨다.
- 3) 2시간 \pm 10분 동안 챔버를 온도 $65\pm 2^{\circ}\text{C}$ 및 습도 $95\pm 4\%$ 로 증가시킨다.
- 4) 챔버를 온도 $65\pm 2^{\circ}\text{C}$ 습도 $95\pm 4\%$ 로 6시간 동안 유지한다.
- 5) 16시간 \pm 15분 동안 점진적으로 온도를 $38\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 하강시키고 습도는 가능한 최대치로 유지하여 85% 이하로 떨어지지 않게 한다.
- 6) 앞의 3), 4), 5)를 순차적으로 진행하고 이러한 과정을 10번 반복(240시간 노출)한다.
- 7) 마지막 노출시간에 장비를 시험 챔버에서 꺼내고 응축된 수분을 배출시킨다. 10번 반복 완료 후 1시간 내, 전원을 공급하고 장비를 동작시킨다. 장비의 예열을 위해 주요 전원 공급을 최대 15분까지 허용한다. 동작을 위한 전원이 필요치 않은 장비는 Category에 따라 요구되는 장비 최초 최고 동작 온도를 초과하지 않는 열을 이용하여 최대 15분을 예열한다. 예열 직후, 측정을 통해 장비를 확인한다.

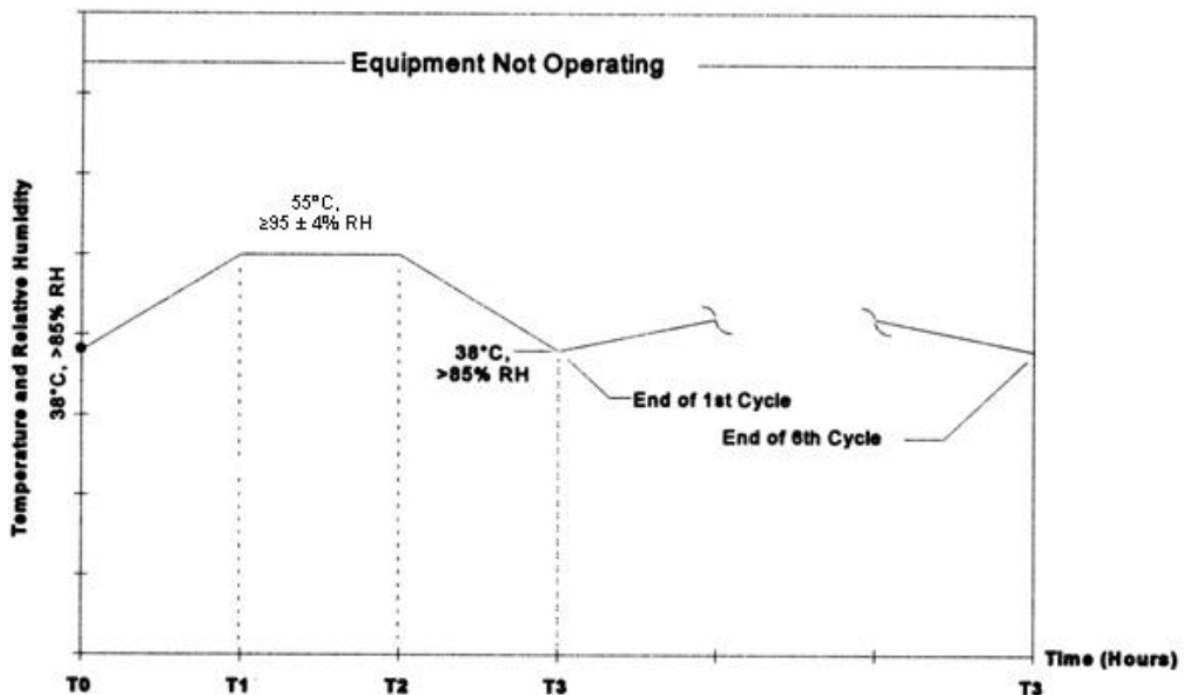


- 1) T0~T1는 2시간 \pm 10분임
- 2) T1~T2는 최소 6시간임
- 3) T2~T3은 16시간 \pm 15분(상대습도는 85% 이하로 떨어지지 않도록 함)
- 4) Category B, 7)을 따라 10번 반복후 시험을 지속
- 5) T0은 시험의 시작점이 아니고 반복 시행을 나타냄

외부 습도 환경에 대한 시험 절차는 표 64와 같다.

[표 64] 습도 시험 절차(Category B)

- 1) 시험 챔버에서 시험 장비를 설치하고 실제 운용을 고려하여 환경을 구성한다.
- 2) 시험 장비를 온도 $38\pm 2^{\circ}\text{C}$ 및 습도 $85\pm 4\%$ 로 안정화시킨다.
- 3) 2시간 \pm 10분 동안 챔버를 온도 $55\pm 2^{\circ}\text{C}$ 및 습도 $95\pm 4\%$ 로 증가시킨다.
- 4) 챔버를 온도 $55\pm 2^{\circ}\text{C}$ 습도 $95\pm 4\%$ 로 6시간 동안 유지한다.
- 5) 16시간 \pm 15분 동안 점진적으로 온도를 $38\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 하강시키고 습도는 가능한 최대치로 유지하여 85% 이하로 떨어지지 않게 한다.
- 6) 앞의 3), 4), 5)를 순차적으로 진행하고 이러한 과정을 6번 반복(144시간 노출)한다.
- 7) 마지막 노출시간에 장비를 시험 챔버에서 꺼내고 응축된 수분을 배출시킨다. 6번 반복 완료 후 1시간 내, 전원을 공급하고 장비를 동작시킨다. 장비의 예열을 위해 주요 전원 공급을 최대 15분까지 허용한다. 동작을 위한 전원이 필요치 않은 장비는 Category에 따라 요구되는 장비 최초 최고 동작 온도를 초과하지 않는 열을 이용하여 최대 15분을 예열한다. 예열 직후, 측정을 통해 장비를 확인한다.



- 1) T0~T1는 2시간 \pm 10분임
- 2) T1~T2는 최소 6시간임
- 3) T2~T3은 16시간 \pm 15분(상대습도는 85% 이하로 떨어지지 않도록 함)
- 4) Category C, 7)을 따라 6번 반복후 시험을 지속
- 5) T0은 시험의 시작점이 아니고 반복 시행을 나타냄

3. 시험방법 개선방안

국내 항공 산업계는 군용 항공기 개발을 중심으로 발전해왔으며 최근에는 기존 개발된 군용 항공기를 기반으로 산림, 소방, 경찰 분야 등의 사용 용도에 맞게 변형한 파생형 항공기를 개발하여 민간 분야에 납품을 추진하고 있다.

초기 단계인 국내 항공 산업의 특성 상, 납품 대수(1~2대)가 적고 대량 생산 체계가 구축되지 못한 상황이며, 항공용 무선설비의 적합성평가 등의 인증을 획득하는데 시간과 비용이 많이 드는 구조로 되어 있다.

항공 무선설비는 전량 수입에 의존하고 있고 외국 제작사들은 보안 등의 이유로 회로도 등의 기술 자료 제공을 꺼려하고 있는 상황이며 무선설비의 적합성평가 시험이 민간 시험기관에서 대부분 수행되고 있는 흐름에서 항공용 무선설비를 시험할 수 있는 민간 시험기관이 없는 실정이다.

또한, 국내 납품되는 항공기는 그 사용 용도에 따라 민간의 국제 표준에 언급된 무선설비 기준과 상이한 장비가 추가로 탑재되는 경우가 있어 민간의 국제 표준의 엄격한 적용이 어려운 측면도 존재한다.

현행 항공 무선설비의 시험방법은 최초 제정 이후에 적합성평가 수요가 없어 시험 적용 사례가 절대 부족하며 시험 설비도 항공 무선설비 이외의 무선설비 특성에 맞게 구축 및 보완되어 온 측면이 존재한다.

항공 무선설비의 적합성평가 규제에 대한 단순한 접근 방법으로, 준용하고자 하는 국제표준을 결정하고 이를 위한 시험 설비를 구축하는 방법은 항공 분야의 유연한 무선설비 적용을 저해할 수 있으며 막대한 시험 설비 구축 비용에 비해 수요가 현저하기 적은 문제와 직면하게 된다.

따라서, 전파 혼신의 방지 측면에서 시험하고자 하는 전기적 시험항목을 전파 품질 항목으로 간소화하고 현행 시험 설비의 가용 시험 능력을 고려해야 한다. 또한, 국내 제조업체의 긴밀한 협업 체계를 구축하여 탑재하는 무선설비가 어떠한 표준을 준용한 것인지, 특수한 기술특성을 요구하는지를 파악하여 적합성평가를 수행해야 할 것이다.

단시간에 적합성평가 규제를 국제적 수준으로 갖추는 것은 현실적으로 매우 어려우며, 보다 장기적인 접근방법이 필요하다. 현재 수준의 기술적/제도적 여건을 고려한 적합성평가 수행의 사례가 축적되고 시험 설비의 인프라 확충을 통해 국제적 시험 방법과의 차이를 줄이는 노력이 병행되어야 한다. 또한, 산업계의 기술개발 등의 활성화에 규제가 걸림돌이 되지 않도록 적극적으로

지원하는 한편 규제를 통한 전파 혼신 방지를 위한 균형적인 시각을 지향해야 할 것이다.

제4절 소결

항공기는 안전한 비행을 위해 각종 통신 및 항행 무선설비를 이용하고 있으며 이러한 무선설비의 주파수는 용도에 따라 분배된 국제전기통신연합(ITU)의 전파규칙에 따라 정해진다. 인명안전의 확보에 밀접하게 연관된 항공 무선설비는 외부의 간섭으로부터 보호받아야 함에 따라, 타 분야의 무선설비와 공유되지 않고 대부분 독점적인 지위를 보장받고 있다. 또한, 국제민간항공기구(ICAO)의 시스템 관련 국제 표준을 엄격히 적용받아 국가간 자유로운 이동을 위한 호환성을 갖추도록 설치·운용되고 있다.

최근 항공 분야는 기존 유인항공기의 사용이 지속적으로 증가하는 한편, 제4차 산업혁명의 주요 분야로 드론을 포함한 무인항공기가 주목받고 있으며 그 이용 사례도 늘어남에 따라 항공이동체의 주파수 수요가 급격히 증가하고 있다. 항공이동체는 실시간 영상 등 대용량 정보전송을 위한 광대역 데이터링크(임무용) 주파수가 요구되고 있으며 향후, 정밀 관제 무인항공기와의 통합 운영 등에 필요한 원격 제어, 탐지 및 회피용 주파수 수요도 예상할 수 있다.

항공 무선설비는 민간 분야의 ICAO 표준이 국제표준으로 대표되며 북미 지역의 RTCA 및 유럽 지역의 EUROCAE 표준으로, 복수의 세부 표준이 마련되어 있다. 국내 산업계는 군용 항공기 개발을 중심으로 발전해왔으며 최근에는 기존 개발된 군용 항공기를 개량하여, 민간 분야의 항공기 보급이 추진되는 시점으로 관련 적합성평가 등의 인증 수요가 제기되고 있다.

이러한 상황에서, 본 연구는 기존 유인항공기 및 신규 무인항공기의 도입에 따른 항공 분야의 주파수 수요 증가에 대비하여 항공이동체의 활성화에 필요한 임무용 및 탐지·회피용 주파수 이용방안을 제시하였다. 또한, 초기 단계인 국내 항공기 제조 산업의 활성화를 위해 항공 무선설비의 적합성평가 개선방안을 마련하였다.

본 연구에서 언급한 바와 같이, 주파수를 효율적으로 이용하고 무선설비의 시험방법을 개선하여, 전파 혼신을 방지하도록 주파수를 관리하는 한편 관련 국내 산업계의 활성화를 위한 정부, 연구계, 산업계 간의 적극적인 협업 체계 구축을 위한 노력이 병행되어야 할 것이다.

제3장 해상 VDES 설비 기술기준 연구

제1절 연구의 배경

1990년대 말부터 IMO(international Maritime Organization)의 SOLAS(Safety of Life at Sea) 조약에 따라 300톤 이상의 모든 선박에 GMDSS(Global Maritime Distress & Safety System)를 탑재를 의무화함으로써 전 세계 어디에서나 선박의 조난 및 안전 통신을 위한 시스템 구축의 기틀이 마련되었다. 최근에는 GMDSS의 현대화와 e-Navigation 개발에 따라 해상통신기술의 디지털화가 가속화되고 있어 해상통신에서의 큰 변화가 예상된다.

e-Navigation은 기존 선박운항·조선기술에 ICT를 융복합하고, 각종 해양 정보를 차세대 디지털 통신네트워크를 통해 선박 내부, 타 선박 및 육상과 실시간으로 상호 공유하여 활용하는 차세대 선박 운항체계이다. 궁극적으로는 항해사의 업무 부담이 크게 줄어 운항 미숙이나 과실에 의한 해양사고를 감소시킬 수 있다. UN산하 해사안전분야 전문기구인 IMO는 인적과실에 의한 해양사고를 줄이기 위해 e-Navigation 도입을 결정하고 국제협약 제·개정 등을 추진하고 있으며 주파수 및 관련 무선통신 기술 표준화를 국제전기통신연합(ITU-R)을 중심으로 추진 중에 있다.

이와 관련된 추진 과제 중 하나로 진행되고 있는 것이 VDES(VHF Data Exchange System)이다. VDES는 지상파 또는 위성에 의해 선박간, 선박과 해안국 간의 데이터 송수신 시스템을 제공한다. 기존에는 자동식별장치(Automatic Identify System, 이하 AIS)를 통해 위치정보를 전송하여 공유하면서 항해안전을 위한 중요한 도구로써 사용되었다. 그리고 이러한 AIS 기술 사용이 점점 증가하게 되면서 VHF 데이터 링크(VDL)의 부하를 크게 야기시켰고, AIS VDL의 부하를 완화하기 위해 주파수를 더 효율적이고 효과적인 사용이 요구되었다. 게다가 선박자동식별장치(AIS)의 이용이 지역 정보, 기상 정보데이터뿐만 아니라 미래 VHF 디지털 데이터 및 선박과 육상 간 데이터 교환 등의 목적으로 확대됨에 따라 VDES가 등장하게 되었다.

초단파 데이터 교환 시스템(이하 VDES)는 증가하는 데이터 요구사항을 만족시키고 한정된 자원인 주파수를 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 보인다.

현재 WRC-15를 통해 VDES의 구성요소인 지상과 초단파대 데이터 교환 장치(VDE-Terrestrial)와 ASM(Application Specific Message)에 대한 주파수 분배가 이루어졌고 위성 초단파대 데이터 교환 장치(VDE-Satellite)의 주파수 분배가 WRC-19에서 논의될 예정이다.

그리하여 이번 장에서는 해상통신기술 중 디지털화가 진행되고 있는 VDES 관련 기술기준 및 국제표준 동향에 대해 소개하고자 한다.

제2절 VDES(VHF Data Exchange System) 특성

1. VDES(VHF Data Exchange System) 개요

VDES(VHF Data Exchange System)는 해상 인명 안전성, 항행 안전성 및 효율성을 강화하고, 해상 안전 및 보안성을 향상시키기 위한 수단으로 사용되어야 한다. 이러한 목적은 AIS, ASM, VDE 및 위성을 포함한 선박과 선박, 선박과 해안국 사이의 디지털 데이터 교환을 하는 전파 통신을 수행함으로써 달성할 수 있다.

VDES는 GMDSS(Global Maritime Distress & Safety System)의 현대화를 지원하고 동시에 e-Navigation을 위한 데이터 교환을 원활하게 할 수 있게 하고, AIS의 VDL(VHF Data Link)의 과부하 이슈를 해결하기 위해 제안되었다.

VHF 대역을 사용하는 VDES는 전파는 유효거리가 짧아 주로 항만이나 연안을 향해하는 선박 등 100km 미만의 해역을 향해하는 선박과 해안국간을 대상으로 하는 시스템에 이용될 수 있다.

[표 65] GMDSS 해역 정의

| 해역 | 통신 기술 | 도달 거리 |
|----|--------------|--------------------|
| A1 | VHF | 근거리(20~30nm 이내) |
| A2 | MF | 중거리(100~150nm 이내) |
| A3 | Inmarsat, HF | 원거리(북위 70°~남위 70°) |
| A4 | HF | 전 세계 |

VDES는 지상파 또는 위성 링크에 의해 선박간, 선박과 해안 사용자 간의

데이터 송수신을 수행하고, 아래의 운용 개념을 통해 포함한다.

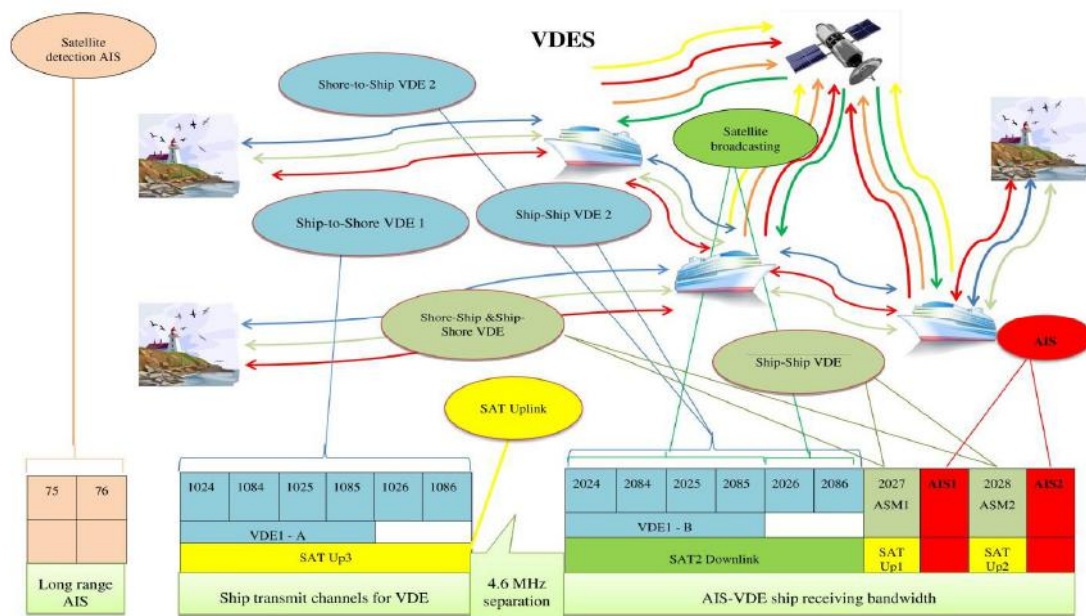
- VDES는 기존 AIS를 포함한다.
- VDES는 기존 ASM을 포함한다.
- VDES는 VDE 지원을 포함한다.
- VDES는 높은 수준의 가용성을 가져야 한다.
- 선박에서 발생하는 데이터 송수신은 자동 또는 수동으로 할 수 있다.
- VDES는 M2M(Machine To Machine) 시스템 간 통신을 지원한다.

이렇듯 VDES는 하나의 시스템이 아니라 AIS, ASM, VDE를 포함하는 시스템으로 볼 수 있다. 그리고 VDE는 지상망과 위성망으로 분류할 수 있다. 본 절에서는 일반적인 VDES의 구성요소 및 시스템의 특성에 대해 알아본다.

2. VDES(VHF Data Exchange System) 운용 특성

가. 일반사항

이 시스템은 자동식별장치(AIS)의 위치보고 및 안전 관련 정보에 대해 가장 높은 우선 순위를 부여하고, 부가적인 안전정보 송신할 수 있으며, TDMA 기술을 이용한 접속 방식 및 데이터 전송 방법을 사용한다.



[그림 15] VDES의 기능과 주파수 사용

나. 전파규칙 Appendices 18에 따른 VDES 채널 사용

- 1) VHF data exchange system : 지상국 데이터 교환
 - AIS 1(채널 2087), AIS 2(채널 2088)
 - ASM 1(채널 2027), ASM 2(채널 2028)
 - VDE1-A lower legs(채널 1024, 1084, 1025, 1085) 선박국-해안국간 VDE
 - VDE1-B upper legs(채널 2024, 2084, 2025, 2085) 해안국-선박국간, 선박국-선박국간 VDE
- 2) VHF data exchange system : 위성국 지상국 데이터 교환
 - 채널 75, 76은 Long Range AIS 방송 메시지 (AIS 표준메시지 27번)을 수신하기 위한 용도로 분배(Allocated)
 - SAT Up3 (채널 1024, 1084, 1025, 1085, 1026, 1086)과 SAT2 Downlink (채널 2024, 2084, 2025, 2085, 2026, 2086)은 WRC-19에서 재논의 예정

[표 66] 전파규칙 부록 18(VDES 채널)

| RR Appendix 18 channel number | | Transmitting frequencies (MHz) | |
|-------------------------------|--|---|---|
| | | Ship stations (ship-to-shore) (long range AIS) Ship stations (ship-to-satellite) | Coast stations Ship stations (ship-to-ship) Satellite-to-ship |
| AIS 1 | | 161.975 | 161.975 |
| AIS 2 | | 162.025 | 162.025 |
| 75 (long range AIS) | | 156.775 (ships are Tx only) | N/A |
| 76 (long range AIS) | | 156.825 (ships are Tx only) | N/A |
| 2027 (ASM 1) | | 161.950 (2027) | 161.950 (2027) |
| 2028 (ASM 2) | | 162.000 (2028) | 162.000 (2028) |
| 24/84/25/85 (VDE 1) | 24/84/25/85/26/86 (Ship-to-satellite, satellite-to-ship) | 100/150 kHz channel (24/84/25/85, lower legs (VDE1-A) merged) Ship-to-shore (24/84/25/85/26/86) Ship-to-satellite | 100/150 kHz channel (24/84/25/85, upper legs (VDE1-B) merged) Ship-to-ship, Shore-to-ship (24/84/25/85/26/86) Satellite-to-ship |
| 24 | 24 | | |
| 84 | 84 | 157.200 (1024) | 161.800 (2024) |

| | | | |
|----------|----|----------------|----------------|
| 25 85 | 25 | 157.225 (1084) | 161.825 (2084) |
| | 85 | 157.250 (1025) | 161.850 (2025) |
| | 26 | 157.275 (1085) | 161.875 (2085) |
| | 86 | 157.300 (1026) | 161.900 (2026) |
| | | 157.325 (1086) | 161.925 (2086) |

다. VDES의 공통 요소

1) 식별

모든 VDES 무선국은 고유한 ID를 받는데 ID 인식을 위해 MMSI와 유사한 식별체계가 사용될 수 있다.

2) 프로토콜 계층

VDES는 다음 표00 와 같은 OSI 7계층을 사용하여 표시할 수 있다.

[표 67] OSI 7계층 모델

| |
|--------------------|
| Application layer |
| Presentation layer |
| Session layer |
| Transport layer |
| Network layer |
| Link layer |
| Physical layer |

가) 전송계층(Transport Layer)

이 계층은 선박간, 선박과 해안국간, 선박과 위성간 세분화, 확인, 다중화 등의 신뢰할 수 있는 데이터의 전송을 가능하게 하는

역할을 한다.

나) 네트워크계층(Network Layer)

이 계층은 메시지의 우선순위를 제어하고, 채널간 송신패킷을 분산처리하고, 데이터링크의 충돌 해결을 처리한다.

다) 링크계층(Link Layer)

이 계층은 선박간, 선박과 해안국간, 선박과 위성간 데이터 프레임의 신뢰할 수 있는 전송을 책임진다. 이 계층은 3개의 하부계층(Link management entity, Data link services, Media access control)으로 나뉜다. Link management entity 계층은 포맷 헤더, Physical Layer Frame headers, VDES 메시지 비트를 패킷으로 만든다. Data link services 계층에서는 CRC check sum 계산 및 추가를 수행하고, Media access control 계층에서는 데이터 전송을 위한 액세스를 승인하는 방법을 제시한다.

라) 물리계층(Physical layer)

시간과 주파수 동기화, 복조, 복호 등을 포함한 물리적인 미디어를 통해 비트스트림을 송·수신하는 계층이다.

3. ASM(Application Specific Message) 특성

가. 일반사항

응용 지정 메시지(Application Specific Messages, ASM)의 데이터 내용은 AIS 동작에 영향을 미치지 않으며, ASM의 메시지의 예는 메시지 번호 6, 8, 25, 2를 들 수 있다. 기능적인 데이터 구조는 응용식별자(Application identifier, AI)로 구성된다.

나. 응용식별자(Application identifiers, AI)의 정의

응용식별자(AI)는 10비트의 DAC(Designated area code)와 6비트의 FI(Function identifier)로 구성된다. 16비트 응용 식별자의 구성은 다음과 같다.

[표 68] 응용식별자(Application identifier)

| Bit | Description |
|------|--|
| 15-6 | Designated area code (DAC). This code is based on the maritime identification digits (MID). Exceptions are 0 (test) and 1 (international). Although the length is 10 bits, the DAC codes equal to or above 1 000 are reserved for future use |
| 5-0 | Function identifier (FI). The meaning should be determined by the authority which is responsible for the area given in the designated area code |

다. ASM 프로토콜 계층

1) 물리계층(Physical layer)

송신기에서 디지털 송신 패킷을 $\Pi/4$ Quadrature Phase-Shift Keying(QPSK) 신호로 변환한다. 물리계층은 발신원으로부터 데이터 링크 밖으로 비트 스트림을 전송할 책임이 있다.

[표 69] Time division multiple acces 최소 요구 전송 특성

| Parameter name | Units | Low setting | High setting |
|--|-------|-------------|--------------|
| Channel spacing (encoded according to RR Appendix 18 with footnotes) | kHz | 25 | 25 |
| ASM 1 (2027) | MHz | 161.950 | 161.950 |
| ASM 2 (2028) | MHz | 162.000 | 162.000 |
| Transmit output power | W | 1 | 12.5 |

2) 링크계층(Link layer)

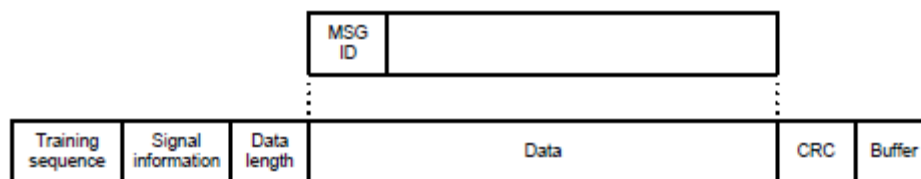
링크계층은 데이터 전송 시 에러 검출 및 정정을 적용하기 위해서 데이터가 패키지 되는 방법을 구체화한다.

채널접속 방식은 TDMA, RATDMA 및 FATDMA를 사용하여 채널상에서 동작한다. 전송우선순위에는 4개 수준의 메시지 우선순위가 있으며 그 순위는 다음 표 70과 같다.

[표 70] 전송우선순위

| | |
|------------------------|---------------|
| Priority 1 (highest) : | 긴급 링크 관리 메시지 |
| Priority 2 : | 안전 관련 메시지 |
| Priority 3 : | 질문과 질문에 대한 응답 |
| Priority 4 (lowest) : | 다른 모든 메시지 |

메시지 구조는 다음 그림 16의 구조를 가져야 한다.



[그림 16] 메시지 구조

3) 네트워크 계층(Network layer)

네트워크 계층의 용도는 채널 연결 구축 및 유지, 메시지 관리 및 우선순위 지정, 채널 사이의 송신 패킷 배분, 데이터 링크 혼잡 해상도 등이다.

4) 전송계층(Transport layer)

전송계층의 책임은 전송 패킷들에 데이터를 변환하는 단계, 데이터 패킷들의 순서 등을 수행

4. 지상 VDE(VDE-terrestrial) 기술 특성

지상 VDES의 특성을 설명하고, OSI 각 계층에 대한 사항을 살펴본다. 데이터 전송은 VHF 해상 이동 대역에서 이루어지고, 스펙트럼은 25 kHz, 50 kHz 또는 100kHz 채널로 사용될 수 있다.

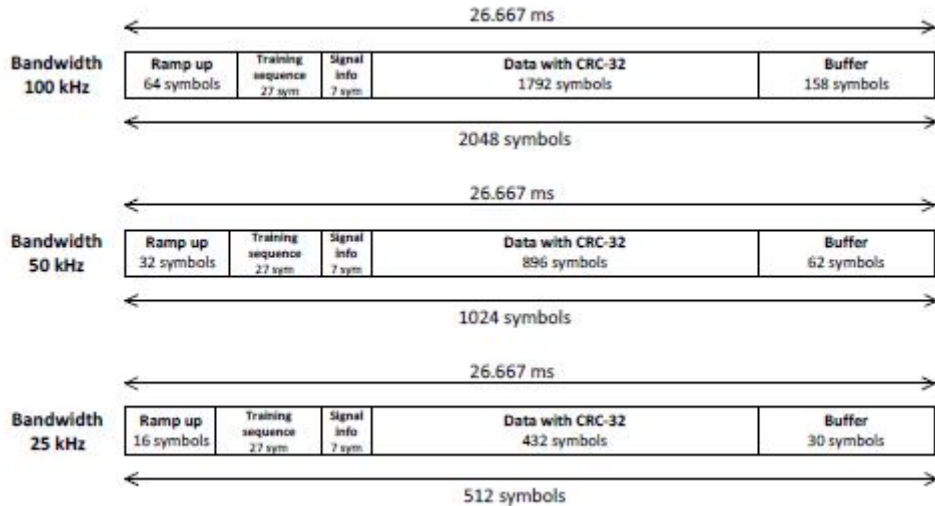
가. 물리계층

지상 VDE의 통신거리는 일반적으로 20~50 NM이고, 해안 기지국의 송신기 파라미터 설정은 다음 표 71을 참조한다.

[표 71] 해안국 전송 파라미터

| Transmitter parameters | Requirements | Condition |
|--|---|---|
| Frequency error | 3 ppm | normal |
| Transmit power | Transmit average power shall be at least 12.5 watts and not exceed 50 watts as declared by the manufacturer. ±1.5 dB normal +2/-6 dB extreme | conducted |
| Modulation spectrum 25 kHz channel | 0 dBc -25 dBc -60 dBc | $\Delta f_c < \pm 12.5 \text{ kHz}$ $\pm 12.5 \text{ kHz} < \Delta f_c < \pm 25 \text{ kHz}$ $\pm 25 \text{ kHz} < \Delta f_c < \pm 75 \text{ kHz}$ |
| Modulation spectrum 50 kHz channel | 0 dBc -25dBc -60 dBc | $\Delta f_c < \pm 25 \text{ kHz}$ $\pm 25 \text{ kHz} < \Delta f_c < \pm 50 \text{ kHz}$ $\pm 50 \text{ kHz} < \Delta f_c < \pm 100 \text{ kHz}$ |
| Modulation spectrum 100 kHz channel | 0 dBc -25 dBc -60 dBc | $\Delta f_c < \pm 50 \text{ kHz}$ $\pm 50 \text{ kHz} < \Delta f_c < \pm 100 \text{ kHz}$ $\pm 100 \text{ kHz} < \Delta f_c < \pm 150 \text{ kHz}$ |
| Spurious emissions | -36 dBm -30 dBm | 9 kHz ... 1 GHz 1 GHz ... 4 GHz |

다음 그림 17은 지상 VDE의 슬롯 구조를 나타낸다.

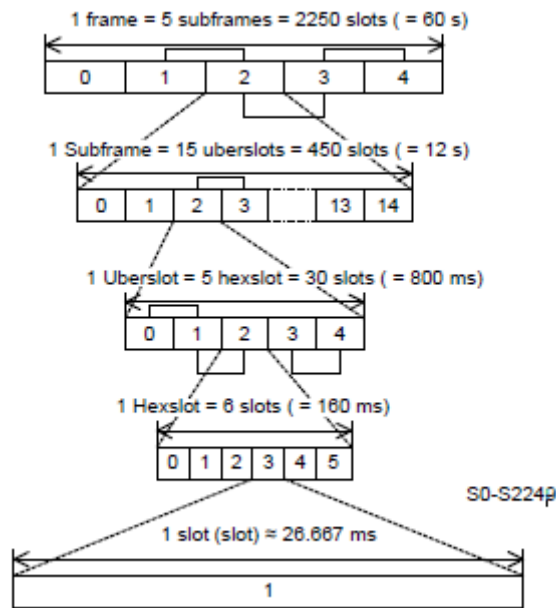


[그림 17] 슬롯 구조

램프업(Ramp up)은 전원이 -50dBc 에서 -1.5dBc 까지 상승하는 시간은 $832\mu\text{s}$ 보다 작거나 동일해야 한다. 신호 정보는 수신기에 대한 MCS ID를 운반하고, 해밍(7, 4)코드를 사용하여 4비트(D0, D1, D2, D3)를 부호화하여 7비트의 시퀀스로 구성한다. 버퍼는 최대 전력으로부터 -50dBc 로 하강하는 시간이 $832\mu\text{s}$ 보다 작거나 동일하게 구성된다.

나. 링크계층

- 지상 VDE 시스템은 FATDMA, RATDMA, ITDMA 접근 방식을 지원한다.
- ARQ는 선택적으로 사용할 수 있다.
- VDE 링크를 통해 CRC 오류없이 데이터를 수신하는 신호에는 ACK 신호가 전송되어야 한다.
- 성공적으로 목적지에 전달됐음을 알려주는 전달 종료 알림(End delivery notification, EDN)은 소스에 전달되어야 한다.
- 시간제한 또는 재시도 제한 내에 전달이 성공하지 못함을 알려주는 전달 실패(End delivery failure, EDF)는 소스에 전달되어야 한다.
- 프레임 계층 구조는 다음과 같다.



[그림 18] 프레임 계층 구조

다. 네트워크 계층(Network layer)

다음과 같은 전송유형이 지원된다.

- Multicast from shore station (ex: weather info, notices to mariners)
- Unicast from shore station (ex: shore-to-ship file transfer)
- Multicast from ship-to-ship (ex: weather info, notices to mariners)
- Unicast from ship-to-shore (ex: ship-to-shore file transfer)
- Unicast from ship-to-ship (ex: ship-to-shore file transfer)
- Shore originated polling (ex: shore-to-ship-to-shore)

라. 전송계층(Transport layer)

기존 인터넷 프로토콜(TCP, UDP, SNMP, SMTP, SFTP 등)을 지원해야 한다.

제3절 VDES(VHF Data Exchange System) 국제 주파수 분배

1. 개요

제2절에서는 VDES(VHF Data Exchange System)의 채널분배 및 프로토콜에 대해 논의하였다. 본 절에서는 VDES의 국제 주파수 분배와 관련된 이슈에 대해서 논의하도록 하겠다.

2. 국제 주파수 분배 이슈

가. WRC-15 VDES 논의 사항

WRC-15에서는 해상통신용 AIS(자동식별장치) 스펙트럼 요구조건 및 분배에 관한 연구가 진행되었다. 그 당시, AIS를 사용하는 선박의 증가와 이 기술을 응용하는 분야가 확장됨에 따라 통신량과 통신 부하가 증가함으로 인하여 추가 주파수 확보가 필요하였다. 이 이슈는 WRC-12에서 결정된 AIS 시험용 주파수와 VHF 데이터용 주파수중 어떤 주파수를 AIS와 VDES로 결정할 것인지가 주요 이슈였다.

해상통신용 자동식별장치에 관한 이슈는 총 4개로 관련 사항은 다음 표 72와 같다.

[표 72] 이슈별 주요 내용

| 이슈 | 방안 | 주요내용 | |
|----------------|----|--|--|
| A (ASM) | A1 | ○ 부록 18 채널 27, 28을 4개 단신 채널(1027, 1028, 2027, 2028)로 나누고, 채널 2027, 2028을 ASM 용도 지정 | AIS1, AIS2, 2027, 2028 보호를 위해 2078, 2019, 2079, 2020은 선박국 송신을 금지 |
| | A2 | ○ 부록 18의 채널 87, 88 지정 | AIS1, AIS2 보호를 위해 2078, 2079, 2019, 2020은 출력을 제한 |
| | A3 | ○ 부록 18의 채널 27, 28을 4개의 단신 채널(1027, 1028, 2027, 2028)로 나누고, 채널 2027, 2028을 ASM 용도 지정 | AIS1, AIS2, 2027, 2028 보호를 위해 주관청이 적절한 조치를 취함 |
| B (지상 VDES) | B1 | ○ 부록 18의 채널 24, 84, 25, 85 지정 | |
| | B2 | ○ 부록 18의 채널 24, 84, 25, 85, 26, 86을 지상 VDE 실험용으로 사용 가능 | 중국 제외 |

| | | | | |
|------------------------|----|---|---|---|
| C (위성 VDES) | C1 | A | <ul style="list-style-type: none"> 부록 18의 채널 1024, 1084, 1025, 1085, 1026, 1086, 2027, 2028 대역을 2순위 해상이동위성업무(지구대우주) 분배 부록 18의 채널 2024, 2084, 2025, 2085, 2026, 2086 대역을 2순위 해상이동위성업무(우주대지구) 분배 | <ul style="list-style-type: none"> 이동, 고정 및 전파천문업무 보호를 위해 제5.226호 pfd 제한 인접대역의 전파천문업무 보호를 위해 제5.208A호, 제5.208B호 개정 전파천문업무 보호를 위해 161.7875-161.9375MHz 대역 해상이동위성 업무를 포함하는 결의 739 Annex 1 개정 |
| | | B | <ul style="list-style-type: none"> 부록 18의 채널 1024, 1084, 1025, 1085, 1026, 1086, 2027, 2028 대역을 2순위 해상이동위성업무(지구대우주) 분배 부록 18의 채널 2024, 2084, 2025, 2085, 2026, 2086 대역을 1순위 해상이동위성업무(우주대지구) 분배 | <ul style="list-style-type: none"> 지상업무와 해상이동위성업무(우주대지구) VDE 우주국 조정(pfd 제안)을 위하여 부록5 개정하며, 제9.14호에 따라 MMSS와 지상 업무 조정 전파천문업무 보호를 위해 161.7875-161.9375MHz 대역 해상이동위성 업무를 포함하는 결의 739 Annex 1 개정 |
| | C2 | | <ul style="list-style-type: none"> 해상이동업무인 148-150MHz 대역을 VDES(지구대우주) 위성 상향 지정 해상이동업무인 137-138MHz 대역을 VDES(우주대지구) 위성 하향 지정 | <ul style="list-style-type: none"> 주파수 대역은 제5.209호에 따라 NGSO 시스템으로 제한 137-138MHz 대역은 제5.208호 및 제5.208A호와 결의 739 적용 |
| D (제1, 3지역 VDES) | D | | <ul style="list-style-type: none"> 부록 18의 채널 80, 21, 81, 22, 82, 23, 83 지정 <ul style="list-style-type: none"> 채널 80, 21, 81, 22 는 선박국과 해안국에서 최대 100kHz 대역폭 사용 가능 채널 82는 선박국과 해안국에서 사용 가능 채널 23, 83은 최대 50kHz 대역폭 사용 가능 | 중국 제외 |

WRC-15에서 우리나라는 AIS의 응용범위가 크게 확장되고 있음을 인식하고 기존의 업무를 보호하는 범위에서 해상이동업무에 분배되어 있는 대역에서 AIS 추가 채널 식별을 위한 연구를 지지하며, 새로운 VDES는 안전항해를 위한 무선전화 및 기존의 AIS1, AIS2 채널에 영향을 주어서는 안된다는 입장을 표명했다. 그리고 위성용 VDES는 기존의 AIS 및 기타 업무에 영향을 주어서는 안되며 시스템 전환시 적절한 전환시기 확보가 필요하다고 피력했다.

6개 지역기구는 이슈별 각기 다른 입장을 취하였고, 결과적으로 각각의 이슈는 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- (이슈A) 모든 주관청은 방안 A1에 합의하여 ASM 채널을 2027, 2028로 지정하기로 하고 독일, 프랑스, 핀란드, 네덜란드 등의 주장에 따라 복신 78, 19, 79, 20번 채널의 단신 전환시 AIS 채널 보호 문구를 전파규칙 부록 18의 주석에 추가하기로 했다.
- (이슈B) 방안 B2를 지지했던 러시아, 나미비아, 탄자니아, 가나 등이 입장을 변경하여 우리나라 등 APT가 지지하는 방안 B1에 합의하였다.
- (이슈 C) 러시아는 VDES 연구결과인 권고 M.2092(Technical characteristics for a VHF data exchange system in the VHF maritime mobile band)는 지상 AIS 시스템과 위성 AIS 시스템간의 간섭연구 결과에 불과하여, 위성 VDES와 타 업무간의 공유연구는 없으므로 방안 C1에 반대하고, 결의 360의 의제범주에 해상이동위성업무가 포함되지 않는다고 주장하였다. RCC, 러시아는 결의 360에 근거하면, 이 의제를 통해 해상이동위성업무로 신규 주파수 분배는 불가하며, 결의에 명시한 대로 이미 해상이동 또는 이동위성으로 분배된 대역에서만 분배가 가능하다고 매우 강력하게 주장하고 있으며, RCC는 특히 결의의 invite ITU-R 부분(2번)을 지적했다. 이 논의는 이미 지난 WP 5B 및 SC 회의에서 일부 주관청이 제기한 사항으로, ITU Legal office의 자문도 받고 WRC-15 현장에서 러시아 본국의 자문을 받는 등 RCC(특히, 러시아)와 CEPT간 상당히 많은 논쟁이 있었다.
- (이슈D) 모든 회원국은 만장일치로 단일안에 합의하였다.

최종적으로 ASM(방안 A1), 지상 VDES(방안 B1), 제1, 3지역 VDES(방안 D)에 합의하고, 부록 18 개정 및 제5.228AA호를 신설하였다. 위성 VDES 주파수 분배는 러시아의 반대로 합의되지 못하고 결의 360 개정을 통해 WRC-19 의제로 연구하기로 하였다.

그리하여 WRC-15를 통해 주파수 분배표 및 주석, 조문 및 부록, 결의 및 권고 등에 대한 내용이 개정되었다. 최종적으로 전파규칙의 개정된

내용은 다음과 같다.

- 주파수 분배표 및 주석 개정사항

[표 73] 개정된 주파수 분배표

| 현행 | | | 개정 | | |
|---|--|------|--|--|------|
| | | | 제1지역 | 제2지역 | 제3지역 |
| | | | 156.8375-161.9375 고정 이동(항공이동 제외) 5.226 | 156.8375-161.9625 고정 이동 5.226 | |
| 제1지역 | 제2지역 | 제3지역 | | | |
| 156.8375-161.9625 고정 이동(항공이동 제외) 5.226 | 156.8375-161.9625 고정 이동 5.226 | | 161.9375-162.0125 고정 이동(항공이동 제외) 해상이동위성(지구 대우주) 5.228AA 5.226 | 161.9375-162.0125 고정 이동 해상이동위성(지구대우주) 5.228AA 5.226 | |
| 161.9875-162.0125 고정 이동(항공이동 제외) 5.226 5.229 | 161.9875-162.0125 고정 이동 5.226 | | 161.9875-162.0125 고정 이동(항공이동 제외) 해상이동위성(지구 대우주) 5.228AA 5.226 5.229 | 161.9875-162.0125 고정 이동 해상이동위성(지구대우주) 5.228AA 5.226 | |
| <신설> | | | 5.228AA 해상이동위성(지구대우주)업무에 _____ 있어서 161.9375 ~ 161.9625 MHz 및 161.9875~162.0125 MHz 주파수 대역의 사용은 부록 18에 따라 운 용되는 시스템에 한한다.(WRC-15) | | |

- (조문 및 부록 개정사항) 부록 18 VHF 대역의 해상이동 주파수 표에 추가된 채널을 포함
- (결의 및 권고 개정사항) 결의 360을 개정하여 WRC-15의제 1.16의 미해결 의제(위성 VDES)를 WRC-19 의제로 연구하기 위한 결의로, 해상이동위성업무 신규 분배 등 검토

이에 국내에서는 현재 위성을 이용한 VDES 시스템의 도입 계획이 없으나, 통상 선박시스템 등은 전 세계적인 해상 안전 등을 위해 글로벌 조화 주파수를 사용함에 따라 국제 분배와 동일하게 반영하였다. 또한, 해상업무용 무선설비의 기술기준(별표1 초단파대 해상이동업무용 주파수)에 부록 18의 개정사항을 반영하였다.

나. WRC-19 VDES 관련 논의 예정 사항

앞서 언급했던 대로 WRC-15에서 지상용 해상데이터통신(지상VDES) 주파수가 분배되었으나, 러시아의 반대로 위성용 해상데이터통신(위성 VDES) 주파수 분배가 이루어지지 않음에 따라 결의 360을 개정하여 위성 VDES를 WRC-19 의제로 논의하도록 채택되었다. 156.0125-157.4375MHz 및 106.6125-162.0375MHz 대역에서 위성 VDE를 도입하기 위하여 지상 VDE, ASM 및 AIS 운용에 영향이 없도록 해상이동위성업무의 신규 주파수 분배에 대한 검토가 이루어지고 있다.

[표 74] 국제 주파수 분배표

| [MHz] | | 150.05 | 153 | 154 | 156 | 156.4875 |
|-------|------|-----------------------|--------|--------------------|---------|------------------|
| 국제 분배 | 제1지역 | 고정, 이동(항공이동 제외), 전파천문 | | 고정, 이동(항공이동(R) 제외) | | |
| | 제2지역 | 고정, 이동 | | | 고정, 이동 | |
| | 제3지역 | 고정, 이동 | | | 고정, 이동 | |
| 국내분배 | | 고정, 이동 | | | | 해상이동 |
| [MHz] | | 156.8375 | 157 | 160.6 | 160.975 | 161.475 156.4875 |
| 국제 분배 | 제1지역 | 고정, 이동(항공이동제외) | | | | |
| | 제2지역 | 고정, 이동 | | | | |
| | 제3지역 | | | | | |
| 국내분배 | | 해상이동 | 고정, 이동 | 해상이동 | 고정, 이동 | 해상이동 |

현재 육상이동업무에 대한 간섭 문제 제기 등으로 위성 VDE의 3가지 주파수 사용 옵션 및 IALA, 러시아, 일본 등이 제안한 6가지 Method가 CPM 초안에 포함되었고, 위성 VDE 다운링크와 육상이동업무 간

간섭없이 주파수를 공유할 수 있다는 의견과 간섭이 발생한다는 의견이 대립 중이다.

위성 VDE용 주파수 분배방안은 3가지로 정리하여 Method별로 적용 방안 논의를 추진하고 있다. 3가지 안은 다음과 같다.

- 1안 : 전파규칙 부록 18의 채널이 지정된 주파수를 사용하며, 지상 VDE와 공유하는 방안(IALA 초기 제안)

※ 1안을 적용하는 Method는 없음

- 2안 : 전파규칙 부록 18의 small gap 주파수(160.9625-161.4875MHz)를 위성 VDE 다운링크 전용으로 사용하는 방안(IALA 수정 제안)

※ Method B, C, D, E는 2안을 적용

※ 2안의 위성 VDE 다운링크 전용 주파수는 전파규칙 부록 18에서 채널번호가 부여되지 않은 주파수이며, 우리나라는 일부 소방업무용으로 사용 중

- 3안 : 1안과 유사하나, 지상 VDE 주파수의 용도가 변경되고, 단신 방식으로 운용됨(일본 제안)

※ Method F는 3안을 적용

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-------------------------------------|------|--------------------|----------------------|--|--|---------------------------------------|------|--|------|------|------|---------------------------------------|
| 1024 | 1084 | 1025 | 1085 | 1026 | 1086 | | Big Gap 3.175 MHz | | 160.9625 – 161.4875 MHz Small Gap 525 kHz | | 2024 | 2084 | 2025 | 2085 | 2026 | 2086 |
| VDE-TER ship-to-shore | | | | Frequency Plan : VDE-TER | | | | | | | | VDE-TER shore-to-ship and ship-to-ship | | | | |
| VDE-SAT uplink ship-to-satellite | | | | VDE-SAT uplink ship-to-satellite | | Frequency Plan - 1 | | | | | | VDE-SAT downlink satellite-to-ship | | | | VDE-SAT downlink satellite-to-ship |
| VDE-SAT uplink opportunity ship-to-satellite | | | | VDE-SAT uplink ship-to-satellite | | Frequency Plan - 2 | | | | VDE-SAT downlink satellite-to-ship | | VDE-SAT uplink opportunity ship-to-satellite | | | | VDE-SAT uplink ship-to-satellite |
| VDE-SAT uplink ship-to-satellite VDE-TER ship-to-shore, shore-to-ship and ship-to-ship | | | | VDE-SAT uplink ship-to-satellite | | Frequency Plan - 3 | | | | | | VDE-SAT downlink satellite-to-ship VDE-TER opportunity | | | | VDE-SAT downlink satellite-to-ship |

[그림 19] 위성 VDE 주파수 분배방안

위성 VDE를 구현하기 위한 6가지 방안(Method)에 대한 논의는 다음과 같이 진행 중이다.

- Method A : 위성 VDE 주파수를 분배하지 않는 방안 (위성 VDE 적용 불가) - 러시아에서 간섭문제를 이유로 현행유지(NOC) 제안
- Method B : 위성 VDE 다운링크용 신규 주파수* 분배 (160.9625- 161.4875MHz, 대역폭 525kHz) 및 1순위로 지정 - IALA에서 기존의 방안을 수정하여 제안한 방안으로 유럽 및 미국에서 지지

- * 동 주파수는 전파규칙 부록 18에서 채널지정이 되지 않은 small gap에 해당하는 주파수임
- Method C: Method B와 유사하나, 위성 업/다운링크를 2순위로 지정
 - ※ pfd mask 기준 없으며, 프랑스에서 간섭문제 논쟁 해결을 위해 제안
- Method D: Method C와 동일하나, 러시아가 제안한 pfd mask 기준(M.[VDES-SAT] 보고서의 6.1.2.2.3절) 적용
- Method E: Method B와 동일하나, 미국이 제안한 pfd mask 기준(M.[VDES-SAT] 보고서의 appendix 2) 적용(프랑스에서 제안)
- Method F: 지상 VDE 주파수를 공유하는 방안 (채널 24, 25, 26, 84, 85, 86)
 - 전파규칙 부록 18에서 채널이 지정되지 않은 갭(gap) 주파수 사용을 방지함으로써 육상이동업무와의 간섭문제를 해결하고자 일본에서 제안
 - 권고 M.2092-0에서 지정된 지상 VDE 주파수의 용도를 변경(shore-to-ship 및 ship-to-ship 주파수를 기존 upper leg에서 lower leg로 수정)함으로써 지상 VDE의 성능 열화 등의 문제점 등이 지적
 - 갭(gap) 주파수 사용을 피하는 장점이 있음

[표 75] 위성 VDE 관련 Method

| Method | 내용 | 제안 또는 지지 국가 |
|----------|---|--------------|
| Method A | - 현행유지(NOC) | 러시아 |
| Method B | - 위성주파수 분배방안 옵션 2 적용 - 157.1875-157.3375MHz(채널 1024, 1084, 1025, 1085, 1026 및 1086) 및 161.8875-161.9375MHz(채널 2026 및 2086) 대역을 해상이동위성 업링크용으로 1순위 분배 - 160.9625-161.4875MHz 대역을 해상이동위성 다운링크용으로 1순위 분배 - 간섭기준은 M.2092-0의 pfd mask 적용 | IALA, 유럽, 미국 |
| Method C | - 위성주파수 분배방안 옵션 2 적용 - 157.1875-157.3375MHz(채널 1024, 1084, 1025, 1085, 1026 및 1086) 및 161.7875-161.9375MHz(채널 2024, 2084, 2025, 2085, 2026 및 2086) 대역을 해상이동위성 업링크용으로 2순위 분배 - 160.9625-161.4875MHz 대역을 해상이동위성 다운링크용으로 2순위 분배 | 프랑스 |

| | | |
|----------|--|---------|
| Method D | <ul style="list-style-type: none"> - 위성주파수 분배방안 옵션 2 적용 - Method C와 동일하나, 간섭기준 pfd 추가 - 간섭기준은 러시아가 제안한 pfd mask 적용(I/N 보호기준에 근거한 pfd) | 러시아 |
| Method E | <ul style="list-style-type: none"> - 위성주파수 분배방안 옵션 2 적용 - Method B 동일하나, 간섭기준 pfd 추가 - 간섭기준은 미국이 제안한 pfd mask 적용 (M.[VDES-SAT] 보고서 App.2) | 프랑스 |
| Method F | <ul style="list-style-type: none"> - 위성주파수 분배방안 옵션 3 적용 - 157.1875-157-3375MHz(채널 1024, 1084, 1025, 1025, 1085, 1026 및 1086) 대역을 해상이동위성업무 업링크용으로 1순위 분배 - 161.7875-161.9375MHz(채널 2024, 2084, 2025, 2085, 2026 및 2086) 대역을 해상이동위성업무 다운링크용으로 1순위 분배 - 지상 VDE 주파수 용도를 수정 | 일본, 캐나다 |

이와 관련하여 우리나라가 소속된 지역기구인 APT에서 논의를 지속하고 있다. 현재 APG19-3까지 회의가 진행되었고, 19년 1월 부산에서 APG19-4 회의가 열릴 예정이다. 현재 APT는 위성 VDE 주파수 분배에 필요한 ITU-R의 연구를 지지하며, 지상 VDE, ASM 및 AIS 운용을 저하해서는 안되고 AIS 무결성에 대한 보호 및 위성 VDE와 동일·인접대역을 사용하는 기존 업무 보호가 필요하다는 잠정 입장을 가지고 있다.

러시아는 위성 VDE가 육상이동업무에 간섭을 야기할 수 있기 때문에 공유할 수 없음을 주장하고 있다. 권고 M.2092-0의 pfd mask에 오류가 있으므로 위성 관련 내용을 모두 삭제할 것을 주장하였으나 합의되지는 못하고 있다.

일본은 동 주파수가 육상이동업무로 사용되고 있어 간섭문제 우려를 고려하여 타 주파수를 선택할 것을 주장하고 있으며, 아시아 국가들은 일본의 의견을 지지하고 있다.

우리나라는 위성 VDE를 이용하는 서비스의 국내 도입은 진행되고 있는 사항이 없으나, 위성 VDE 도입을 위한 주파수 분배에는 긍정적이다. 다만, 지상 VDE, ASM, AIS 운용에 간섭을 주지 않아야 하고, 2안의 경우 해당 대역은 현재 우리나라에서 소방업무용으로 사용하고 있으므로 관련 사항을 지속적으로 모니터링 할 필요가 있다.

그리고 ITU에서는 위성 VDE보고서(M.[VDES-SAT]) 개발이 추진 중이다. 이 보고서에는 위성 VDE의 필요성, 응용 서비스, 스펙트럼 소요, 주파수 사용 계획, 기술적 특성, 지상 VDE와의 공유 및 상호 운용, 기존 업무와의 상호 간섭 문제 분석, 시험 측정 결과 등의 종합적인 내용이 포함되며, 현재 육상이동업무에 간섭이 발생한다는 러시아의 의견과 간섭 영향이 없다는 IALA의 의견 모두 보고서에 들어갈 예정이다.

현재 위성 VDE의 국내 이용계획은 없지만, 향후 우리나라에서 e-Navigation 사업과 연계하여 VDES 개발이 진행되고 있음을 고려할 때, 관련 부처 등의 의견을 수렴하여 대응하는 것이 필요하다.

제4절 소결

이번 장에서는 해상통신기술 중 디지털화가 진행되고 있는 VDES 관련 기술기준 및 국제표준 동향에 대해 살펴보았다. 현재 국내에서는 해상업무용 무선설비 기술기준 연구반에서 VDES의 기술기준 도입안에 대한 논의를 진행 중이다. 또한 앞으로 다가오는 WRC-19에서 논의 의제인 해상이동위성업무 주파수 분배에 대한 사항에도 대응 중이며, 내년도 WRC-19 회의 진행 후 그 결과는 연구반 회의를 통해 국내 기술기준 반영을 추진할 예정이다.

제4장 레이다 무선국 간섭분석 지침

제1절 연구의 배경

레이다는 주파수 스펙트럼의 중요한 이용 분야이며, 항공관제, 지구자원의 탐사, 차량안전, 기상탐지, 국방 및 치안 목적으로 감시 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 레이다는 상시 운용과 다양한 기상상태(10GHz 이하의 경우)에서 활용될 수 있다는 장점이 있으며, target과의 거리, 방위각, 기상측정, 고도 측정, 장거리 영상정보 획득, 충돌 방지 등에 필요한 정보를 제공한다.

대역폭과 관련하여, 이동통신과 같은 방송통신서비스는 높은 데이터 전송 속도를 확보하기 위해 넓은 대역폭이 필요하나, 레이다의 넓은 대역폭은 거리 해상도(range resolution)를 달성하는데 필요하며, 이는 레이다 목표물 탐지 능력과 직접 관련이 있다. 다양한 분야에서 스펙트럼에 대한 요구가 증가하면서 유한한 자원인 주파수에 대한 경쟁도 갈수록 심화되고 있다.

이러한 수요를 만족시키는 것은 ‘기술의 발전’과 ‘스마트한 주파수 규제’에 의해 달성이 가능하다. 수요의 증가는 한정된 주파수 대역 내에서 상호 공존하도록 요구하고 있으며, 이로 인해 상호 간섭의 가능성이 높아지고 있다. 서로 다른 업무 간 간섭에 대해서는 명확한 이해가 되지 않고 있는 것이 현실이며, 이로 인해 과도하거나 부족한 보호 조치를 취할 우려가 있다. 간섭의 완전한 배제를 추구하기보다는 용인되는 적정 수준으로 간섭을 통제하여 다른 업무 간 공존하게 함으로써 주파수 효율성의 최적화를 이룰 수 있다.

디지털 기술이 전송속도, 서비스 품질 등 무선통신 분야에 획기적인 발전을 가져온 것과 마찬가지로 레이다 분야에서도 큰 발전의 잠재성이 있다. 예를 들면, 정교한 광대역 레이다 파형(waveform)은 동적으로 발생 및 조정될 수 있으며, 펄스 단위로 제어가 가능할 것이다. 또한 전력증폭기와 필터 성능의 향상으로 높은 순도(spectral purity)의 주파수 생성이 가능하여 이로 인해 효율적인 채널배치가 가능해 질 것이다.

또한 무선국의 간섭을 최소화하기 위해서는 레이다의 무선국 지정 또는 허가 시에 사용하고자 하는 주파수 대역에 분배된 전파업무에 알맞은 무선국을 지정 또는 허가하는 것이 중요하다. ITU-R의 전파규칙과 현행 전파법

은 전파업무(radio services), 무선국(radio stations)에 대해 용어를 정의하고 있으나, 용어 정의만으로는 전파업무에 알맞은 무선국을 설정하기 쉽지 않다. 특히 레이다가 그러한 경우에 해당하며, 레이다의 운용 방식과 제원 등의 다양성으로 인해 전파업무(예; 무선항행업무, 무선탐지업무)에 따른 무선국(예; 기상레이다, 선박레이다) 구분이 모호하다. 주파수 대역에 분배된 전파업무에 알맞지 않은 무선국이 지정 또는 허가 된다면, ITU 전파규칙의 제정 취지나 국제 주파수 조화에 맞지 않을뿐더러 국내 주파수 스펙트럼 관리 문제, 주파수 혼·간섭 문제 등이 야기 될 수 있다.

이에 본 연구에서는 레이다 간섭분석 시 기초자료로 활용될 수 있도록, 일반적인 레이다의 특성을 분석하고 ITU-R의 레이다 관련 규제를 정리하였으며, 알맞은 무선국 지정 또는 허가를 위해 전파업무에 따른 레이다 무선국을 분류 및 제시하여 효율적인 레이다 간섭분석을 도모하고자 한다.

제2절 레이다 스펙트럼 환경

레이다 스펙트럼 환경은 레이다 운용에 매우 중요한 역할을 한다. 무선통신에서 스펙트럼은 정보를 전송하기 위한 통로로서 사용하는 반면, 레이다는 주변 환경으로부터 직접 필요한 정보를 확보하며, 주파수 대역에 따라 확보할 수 있는 정보의 성격이 달라진다. 레이다의 대역폭은 요구되는 거리 별 target의 식별하는 능력(거리분해능 등) 뿐만 아니라, 동일 대역 내 레이다와의 간섭 감소 필요성과도 관련이 있다. 예를 들어, 많은 선박이 S밴드 혹은 X밴드 레이다를 탑재한 채 높은 밀집도로 운항하는 시나리오를 생각해 볼 수 있다.

높은 대역은 레이다 측면에서 몇 가지 장점이 있는데, 확보할 수 있는 대역폭이 상대적으로 넓고 이에 따라 거리 분해능을 높일 수 있다. 또한 파장이 작아 안테나 크기를 줄일 수 있다(안테나 빔폭은 $\propto 1/D$ 에 비례). 반면 높은 대역에서 장거리 운용은 강우 또는 강설로 인한 감쇄 등의 대기 환경에 영향을 받게 된다. 따라서 높은 대역은 차량충돌 레이다, 경찰 레이다(스피드 건)과 같은 단거리 영역 응용에 제한된다.

낮은 대역은 특정 분야에서 필요로하는 특성이 있으며, 전리층 반사특성(HF대역), foliage 및 지면 투과 특성(VHF/UHF 대역), 장거리 영역 감시·

추적·항공관제, 기상모니터링(L, S, C 대역) 등이 있다. 항공기 탑재 레이다 및 육상·해상 레이다는 X대역을 주로 사용하는데 이는 안테나 크기와 장거리 탐지 능력을 고려한 것이라 볼 수 있다. HF 대역은 레이다 용도로 거의 이용되지 않았으나, WRC-12에서 3~50 MHz 대역이 HF 해수면 레이다(oceanographic radar)용으로 분배되었다. VHF/UHF 대역은 많은 방송통신 서비스로 인해 혼잡한 대역으로 이 대역의 레이다 사용은 대부분 2차 업무(secondary basis)로 이용하고 있다. 마이크로파 대역(L밴드 이상)은 1차 업무로 레이다가 많이 이용되고 있으나, 대역폭을 확장하고자 하는 다른 업무(IMT, RLAN 등)의 주파수 요구가 증가하는 추세다.

제3절 레이다 발사

레이다 발사전파의 송신파형(waveform)에 따라 거리, 도플러 시프트의 측정, scatterer의 식별 등 역할이 결정된다.

1. 펄스파 레이다 발사

가장 많이 이용되는 레이다 발사 파형은 펄스 연속 전송이며, 이때 펄스의 위상이나 주파수가 변조되기도 한다. 펄스는 통상 $100\text{ns}\sim 100\mu\text{s}$ 의 길이와 $300\text{Hz}\sim 100\text{kHz}$ 의 RFP를 사용하며, 지속 펄스 간 시간 간격은 목표물로부터 반사된 신호를 수신하는데 이용되고 통상적으로 펄스의 1000배 이상으로 길다. 즉, 레이다는 반사된 신호의 수신(listening)에 대부분의 시간을 사용한다.

레이다는 수행 임무에 따라 펄스 길이와 PRF를 선택해야한다. f_r 의 PRF 값을 갖는 레이다의 경우, 다음 펄스가 전송되기 전 $1/f_r$ 의 기간 동안 수신(listening)이 가능하며, 레이다가 송신하는 동안은 수신부의 보호를 위해 수신부에 대한 차단조치(blanking)가 이뤄진다. 이를 통해 $c/(2f_r)$ 의 거리 범위 내에 있는 목표물에 대해 다음 펄스 송신에 의한 수신부의 혼선 없이 확인이 가능하다. 정해진 거리 범위 내에서 탐지 가능한 최소 목표물의 크기는 레이다의 평균 출력에 비례하고 이 평균 출력은 다음과 같다.

$$P_{av} = (P_t f_r \tau)$$

(P_t : 펄스의 첨두전력, τ : 펄스의 길이, $f_r \tau$: 듀티 사이클)

2. 연속파 레이다 발사

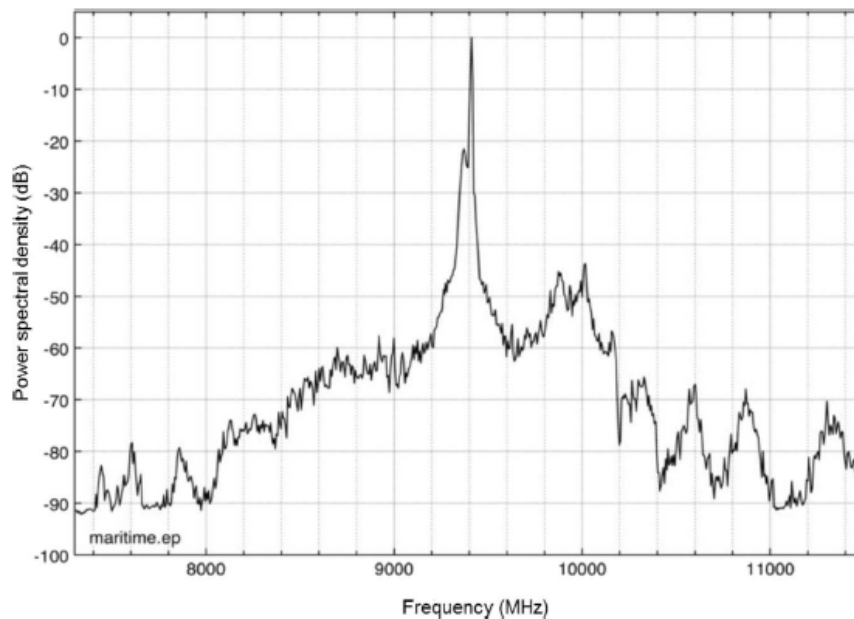
연속파 레이다는 질문(interrogation) 신호를 송신하면서, 이와 동시에 반사 신호를 수신한다. 이를 위해 별도의 송신 안테나와 수신 안테나가 충분한 분리도(isolation)를 가져야 한다. 연속파 레이다의 경우에도 목표물을 분해하는 능력은 대역폭에 의해 결정되며, 필요한 대역폭에 걸쳐서 주파수를 스위핑하여 달성된다. 예를 들어 FMCW 레이다가 2ms의 주기로 100MHz 대역폭에 걸쳐서 스위핑할 수 있는데, 펄스 레이다와 비교한다면 같은 대역폭을 갖는 펄스 레이다는 훨씬 짧은 펄스 폭(약 5 μ s)으로 스위핑할 수 있다.

레이다 발사 중심주파수는 반송주파수의 평균값이라고 할 수 있으며, 이는 고정된 값이거나 시간에 따라 변화하는 값이 될 수 있다. 후자의 경우, 주파수 민첩성(frequency agility)이라고 한다. 레이다 펄스의 대역폭은 목표물을 분해하는 능력을 결정하며 지구상의 지면을 조사하는 합성개구면레이다(SAR; Synthetic Aperture Radar)의 경우에는 1GHz 이상의 대역폭으로 1.5 cm 이상의 해상도를 보여주며, 이를 통해 매우 정교한 목표물 분류 및 위치 확인을 수행할 수 있다.

3. 레이다 송신기

레이다 송신기는 레이다의 파형을 생성하고, 증폭시켜 먼 거리의 물체를 탐지하는데 필요한 에너지를 공급한다. 송신기는 진공관 타입과 solid-state 타입으로 분류되며, 진공관 타입의 특성은 비선형성을 내재하고 있어 스펙트럼 특성 측면에서 약점이 될 수 있다. 고출력 RF 에너지를 생성하기 위해 많이 이용하며 비교적 간단한 방식으로 마그네트론이 쓰인다. 마그네트론은 가격이 싸다는 장점은 있으나 스펙트럼 순도(spectral purity) 측면에서 심각한 단점이 있다. 즉, 마그네트론의 펄스마다 약간의 오차가 존재하며, 마그네트론 내에서 펄스의 진동이 계속되면 스펙트럼의 부엽(sidelobe)에 비대칭으로 나타날 수 있다. 이는 인접채널에 간섭으로 작용할 수 있다. 물론

대역통과 필터를 통해 마그네트론 신호의 대역외(OoB) 발사를 줄이고 스펙트럼 순도를 개선할 수 있지만, 이 경우 송신출력의 저하를 감수해야 된다. 이러한 대역외 발사의 크기는 높은 침투전력값을 감안할 때 무시할 수 없으며, 인접대역의 다른 레이더 혹은 다른 무선업무에 간섭으로 작용하게 된다.



[그림 20] 펄스 마그네트론을 이용한 레이더의 스펙트럼 전력밀도 예시

마그네트론을 제외한 다른 유형의 레이더 송신기는 파형의 생성과 증폭 단계가 분리되어 있어 파형 특성의 제어에 보다 유리하다. 최신 레이더 시스템은 매우 예리한 주파수 허용편차와 낮은 부엽 특성을 갖는 디지털 합성기를 통해 파형을 생성하고, 생성된 파형은 아날로그 형태로 변환되어 증폭 후 방사된다.

solid-state 기술에 기반한 레이더는 대역통과 필터링, 선형증폭 등 레이더 송신 스펙트럼 제어를 위한 기술을 손쉽게 적용할 수 있다. 일반적으로 solid-state 증폭기들은 진공관 타입처럼 큰 침투전력을 발사하지 않으나, 훨씬 높은 수준의 듀티 사이클을 유지할 수 있어 목표물에 전달되는 에너지의 측면에서는 비슷한 효과를 갖는다고 볼 수 있다.

제4절 레이다용 주파수 분배 이슈

다양한 무선업무에 의한 스펙트럼 이용이 증가하고, 스펙트럼의 혼잡도가 증가하면서 레이다가 독점적으로 이용해오던 대역들이 점차 줄어들고, 보호대역(guard band)도 줄어들고 있는 추세이다. 또한 각종 가전기기로부터 나오는 스푸리어스 발사도 증가하면서 레이다의 대역 내 간섭영향이 증가하고 있다. 현재 레이다 이용자 입장에서 주파수 확보를 위한 경쟁과 혼잡이 이슈가 되는 대역은 주로 5GHz 이하 대역이며, X 밴드 등 보다 높은 대역에 대해서는 전통적 방식의 간섭방지 조치가 유효하다고 할 수 있다. 각종 연구결과와 레이다의 대역외(OoB) 발사 특성으로 인해 탐지거리 축소 등 레이다의 성능저하로 이어질 수 있으나, 사용 주파수 대역을 올리거나 수신기 필터 설계를 개선함으로써 이러한 문제를 해결할 수 있으며, 레이다의 성능저하를 막을 수 있을 것으로 판단된다.

1. 스펙트럼 규제

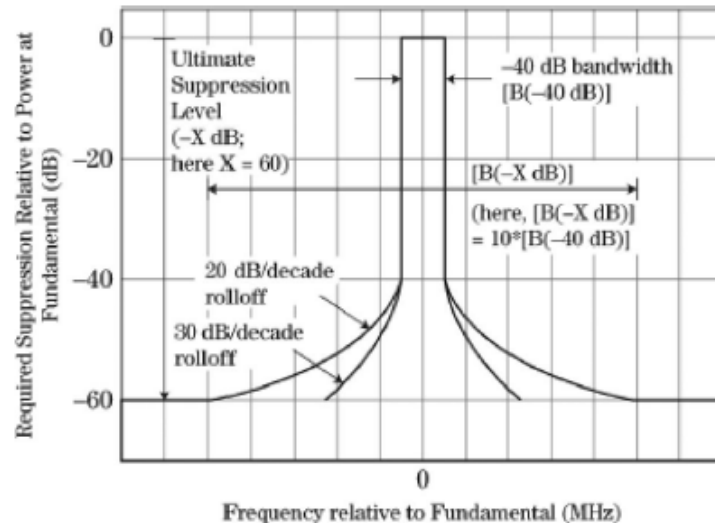
레이다는 다양한 종류, 필요출력, 스펙트럼 특성으로 인해 규제가 복잡하며, 레이다 규제를 위해 주로 ITU-R의 권고를 기준으로 채택하고 있다.

[표 76] 레이다의 불요발사 규제 관련 ITU-R 권고

| 권고번호 | 권고 제목 | 비고 |
|-----------|-------------------------------------|---------|
| SM.329 | 스푸리어스 영역의 불요발사 | - |
| SM.853-1 | 필요 대역폭 | - |
| SM.1138-2 | 필요 대역폭의 결정 (계산 예시 및 연관된 전파형식 예시 포함) | RR 참조인용 |
| SM.1541-6 | 대역외(OoB) 영역의 불요발사 | - |
| M.1177-4 | 레이다 시스템의 불요발사 측정 기술 | - |
| M.1314-1 | 400MHz 이상에서 운용하는 레이다 시스템의 불요발사 저감 | - |

일반적으로 레이다의 스펙트럼 마스크를 도출하기 위한 규정들이 존재하며, 40dB 대역폭(혹은 필요대역폭) 영역, 일정한 roll-off 비율(-20dB/decade 또는 -30dB/decade)로 정의되는 대역외(OoB) 발사 영역, 스푸리어스 발사

영역으로 구분하여 레이더의 송신기가 준수해야 하는 출력 수준을 결정하게 된다.



[그림 21] 일반적인 레이더 스펙트럼 마스크

2. ITU-R 권고 SM.1541-6 정리

권고 SM.1541-6은 9kHz~300GHz 범위에서 송신기의 일반적인 대역외(OoB) 영역 발사 제한값을 권고하고 있으며, 특히 Annex 8에서 일차레이더¹⁾의 대역외 발사 제한값을 제안하는데 이는 최소한의 규제값 혹은 safety net 제한값으로 보는 것이 타당하며, 이를 준수한다고 해서 간섭발생 가능성을 완전히 배제할 수는 없다. 따라서 실제 이용되는 레이더 시스템에 대해서는 그 응용분야, 변조방식, 필터성능, 동일 및 인접대역 시스템의 특성 등을 고려하여 보다 구체적인 값이 제시되어야 할 것이다.

가. 필요대역폭

대역외 영역의 범위를 구체적으로 정하고, 스퓨리어스 영역과의 경계를 구체적으로 정하기 위해 레이더 송신기의 필요대역폭을 알아야한다. 현재 전파규칙이 참조하고 있는 ITU-R 권고 SM.1138-2(필요대역폭의 결정)은 무변조 펄스 레이더의 필요대역폭에 대한 단 하나의 수식을 제시하고 있으며,

1) 일차레이더(primary radar) : 기준신호와 결정하고자하는 위치로부터 반사된 신호를 비교하는 무선측위 시스템(이하 레이더라 부름)

게다가 이는 사용자가 결정하는 K값에 따라 매우 가변적(통상적으로 K값은 1~10의 범위)이어서 제한적인 가이드라인이다.

| 전파발사의 종류 | 필요 대역폭 | | 전파발사의 표시 |
|-----------|--|--|-----------|
| | 공식 | 계산의 예 | |
| IV. 펄스 변조 | | | |
| 1. 레이더 | | | |
| 비변조 펄스 발사 | $B_n = \frac{2K}{t}$ <p>K는 펄스 상승시간에 대한 펄스 지속시간의 비에 좌우된다. 이것의 값은 보통 1~10 이 되며 대부분의, 많은 경우 6을 초과할 필요는 없다</p> | <p>1차 레이더 도달거리 해상도 = 150 m K = 1.5(삼각 펄스, 여기서 $t \simeq t_r$, 가장 강한 것으로부터 27dB 하향되는 성분만이 고려된다) 그 다음에</p> $t = \left[\frac{2 \times (\text{도달거리 해상도})}{\text{빛의 속도}} \right]$ $= \frac{2 \times 150}{3 \times 10^8}$ $= 1 \times 10^{-6} \text{ s}$ <p>대역폭: $3 \times 10^6 \text{ Hz} = 3 \text{ MHz}$</p> | 3M00P0NAN |

[그림 22] 펄스 레이더의 필요대역폭 결정(권고 SM.1138-2 Annex 1 중 발체)

따라서 ITU-R 권고 SM-1541-6(대역외 영역의 불요발사)은 다양한 레이더 종류에 대한 필요대역폭(B_N) 즉, 최대값 대비 20dB 대역폭을 제시하고 있다.

1) 무변조 펄스 레이더

$$B_N = \frac{1.79}{\sqrt{t \times t_r}} \quad \text{혹은} \quad \frac{6.36}{t}$$

이는 직사각형 또는 사다리꼴형 펄스에 해당하며, 위의 두 값 중 작은 값을 적용한다.

2) FM 펄스 레이더

$$B_N = \frac{1.79}{\sqrt{t \times t_r}} + 2B_C$$

B_C 는 펄스 기간 중 총 주파수 이동(shift)를 의미한다.

3) 주파수 호핑 레이더

$$B_N = \frac{1.79}{\sqrt{t \times t_r}} + 2B_C + B_S$$

B_S 는 반송 주파수의 이동 범위를 의미한다.

4) 연속파(CW) 레이더(FMCW 포함)

$$B_N = 2B_d$$

B_d 는 최대 주파수 deviation을 의미한다.

또한 권고 SM.1541-6은 전형적으로 많이 이용되는 레이더 유형에 대해 필요대역폭을 제시하고 있다.

[표 77] 권고 SM.1541-6 레이더 유형에 따른 필요대역폭

| 레이더의 유형 | 전형적인 B_N | B_N 의 범위 |
|-------------|------------|---------------|
| 고정 무선탐지 레이더 | 6 | 20kHz~1.3GHz |
| 이동 무선탐지 레이더 | 5.75 | 250kHz~400MHz |
| 공항감시 레이더 | 6 | 2.8MHz~15MHz |
| 기상 레이더 | 1 | 250kHz~3.5MHz |

나. 40dB 대역폭

레이더의 경우 그 시스템과 파형의 다양성으로 인해 대역외 방사 영역을 설정하기 쉽지 않으나, 통상적으로 40dB 대역폭(B_{-40})을 기준으로 결정하게 된다.

1) FM이 아닌 펄스 레이더(대역확산 및 코드화된 펄스 레이더 포함)

$$B_{-40} = \frac{K}{\sqrt{t \times t_r}} \quad \text{혹은} \quad \frac{64}{t}$$

K값은 100kW 이상의 출력일 경우 6.2이고, 100kW 미만의 출력이거나, 2900~3100MHz 또는 9200~9500MHz 대역의 무선헌행 레이더인 경우 K값은 7.6이다. 위의 두 식에 의해 도출되는 값 중 작은 값으로 결정된다.

2) FM 펄스 레이더

$$B_{-40} = 1.5 \{ B_C + \sqrt{\pi} \times [\ln(B_C \cdot \tau)]^{0.53} \cdot [\text{Min}(B_{rise}, B_{fall}, B_{risefall}), \text{Max}(B_{rise}, B_{fall}, B_{risefall})] \}$$

이 때 상승시간에 대하여 $B_{rise} = \frac{1}{\sqrt{\tau \times t_r}}$, 하강시간에 대하여

$$B_{fall} = \frac{1}{\sqrt{\tau \times t_f}},$$

그리고 상승시간 및 하강시간의 조합에 대하여 $B_{risefall} = \frac{1}{\sqrt[3]{\tau \times t_r \times t_f}}$ 이다.

그 밖의 파라미터는 아래와 같다.

τ : 상승시간과 하강시간을 포함한 펄스 길이

t_r : 펄스 상승시간

t_f : 펄스 하강시간

B_c : 주파수 편이(deviation)의 대역폭 (펄스생성 시간 동안 전체 주파수 이동)

위의 수식은 $B_C \cdot \text{Minimum}(t_r, t_f)$ 가 0.10 이상이고, $B_C \cdot \tau$ 혹은 압축비(compression ratio)가 10보다 큰 경우에 해당한다. 그 밖의 경우 40dB 대역폭은 아래와 같다.

$$B_{-40} = \frac{K}{\sqrt{t \cdot t_r}} + 2 \left(B_C + \frac{A}{t_r} \right)$$

이 때 $K=6.2$ 일 경우 $A=0.105$ 이고, $K=7.6$ 일 경우 $A=0.065$ 임

3) 주파수 호핑 FM 펄스 레이더

B_{-40} 의 값은 앞의 2)에서 얻어진 값에 반송주파수의 이동 범위를 나타내는 B_s 가 더해진다.

B_s : 반송주파수가 이동되는 최대 범위 (주파수 호핑이 아닌 경우 0에 해당)

4) CW 레이더

$$B_{-40} = 0.0003F_c$$

여기서 F_c 는 반송주파수를 의미한다.

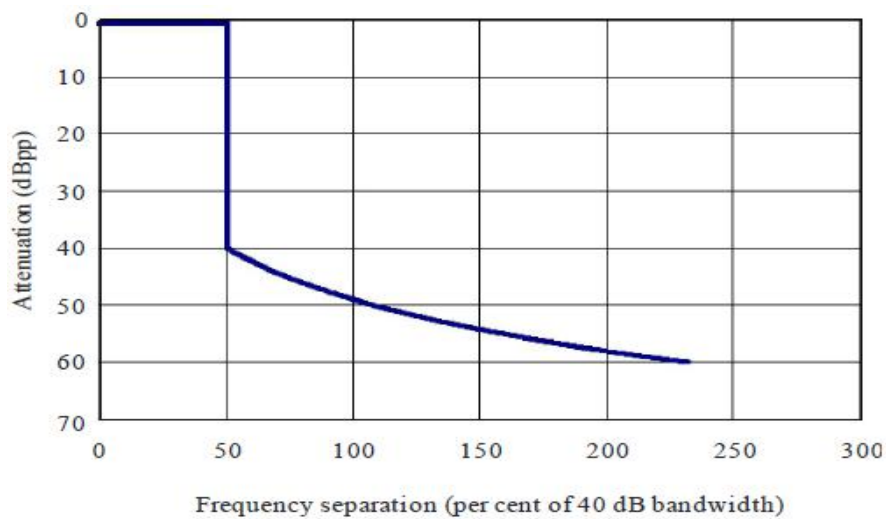
5) FMCW 레이더

$$B_{-40} = 1.2B_R \left(1 + \frac{200}{\pi \sqrt{B_R T}} \right)^{1/2}$$

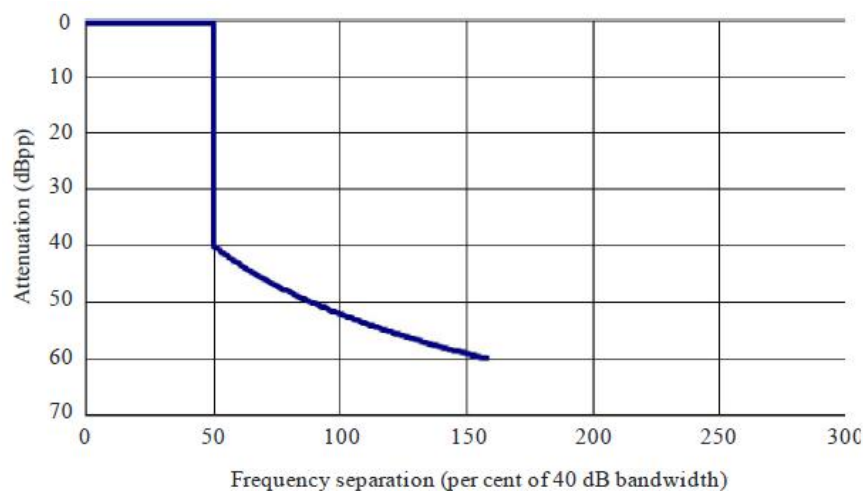
여기서 B_R 은 전체 주파수 편이(deviation), T 는 찹(chirp) 주기를 의미한다. 이 경우에도 주파수 호핑의 경우에는 반송주파수의 이동 범위를 나타내는 B_s 가 더해진다.

다. 대역외 발사 마스크

대역외 발사 마스크는 파형에 따라 20dB/decade 또는 30dB/decade의 roll-off를 적용하게 된다. 즉, CW, FMCW 및 위상코딩 파형인 경우는 20dB/decade가 해당되고, 그 밖에 위에서 설명된 다른 파형은 30dB/decade가 해당된다.



[그림 23] 20dB/decade인 roll-off의 대역외 발사 마스크



[그림 24] 30dB/decade인 roll-off의 대역외 발사 마스크

라. 대역외 영역과 스퓨리어스 영역 간 경계

전파규칙 부록 3 등에 따라 스퓨리어스 영역은 일반적으로 필요대역폭의 250%인 지점부터 시작하는 것으로 보지만 레이더의 경우에는 이를 그대로 적용하기가 곤란하다. 따라서 위에서 제시된 대역외 발사 제한값과 전파규칙 부록 3에서 정하는 스퓨리어스 제한값이 같아지는 지점을 그 경계로 보는 것이 적절하다. 레이더의 경우, 이 스퓨리어스 제한값은 $43 + 10\log(PEP)$ 또는 60dB 중 덜 엄격한 값이며, 이 때 PEP는 최대 포락 출력값을 의미한다.

제5절 레이다의 간섭 영향

1. 레이다 간 간섭

레이다는 예리한 빔 특성을 갖는 안테나를 회전시키면서 펄스형태 신호를 송신하게 되며, 이러한 특성 때문에 다른 레이다와의 간섭을 어느 정도 막을 수 있다. 만약 두 개의 레이다 빔이 정확히 서로 마주보며 펄스를 동시에 송신한다면 아주 짧은 시간내에 심각한 간섭이 발생할 가능성도 있다. 이러한 펄스 레이다의 특성으로 인해 두 레이다 간 PRF가 동기되지 않는다면 수신신호 처리단에서 간섭을 억제할 수 있다.

위에서 언급한 펄스 레이다의 특성과 일정한 지역 내에서 동시 운용하는 레이다수가 제한적이므로 레이다 운용주파수와 설치 사이트의 적절한 선택 만으로도 레이다 간 간섭을 최소화 할 수 있다.

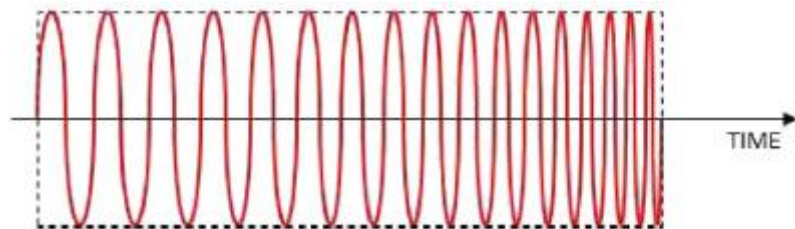
최근 적응형 신호처리 기능을 가진 고성능 레이다의 경우, 간섭발생이 탐지되는 경우에 임계값(threshold)을 올려 간섭신호가 나타나지 않게 하기도 한다. 하지만 이 경우, 간섭이 발생하는 주변에서 레이다의 민감도가 낮아져 작은 물체에 대한 탐지가 떨어지는 등의 성능 저하가 발생할 수 있다.

다수의 레이다가 제한된 대역폭 내에서 서로 인접하여 운용되는 선박레이다의 경우, 레이다의 PRF를 조절하여 동기신호가 정확하게 맞지 않을 경우 신호를 거절하는 ‘de-fruited’이라는 기술을 이용할 수 있다. 또한 항공관제 등 다른 레이다 시스템의 경우에는 고성능 수신기 필터 사용이나 다각적인 주파수 규제를 통해 간섭을 해결 할 수 있으나, 이러한 방식으로 간섭을 피하기 어려울 경우에는 간섭 예상 방향의 발사 전체를 막는 영역 블랭킹(sector blanking)을 통해 간섭을 피할 수 있다.

2. 레이다와 타 시스템 간 간섭

레이다가 다른 전자시스템에 간섭을 주는 다양한 사례들이 보고되고 있다. 잘못된 EMC(ElectroMagnetic Compatibility) 설계로 인해 간섭이 생기기도 하지만, 이 경우 EMC 설계를 개선함으로 간섭을 경감 시킬 수 있다. 그러나 정상적으로 EMC 설계가 되어 있음에도 불구하고 문제가 발생할 수 있

으므로 주의 깊은 주파수 규제가 필요하다. 또한 이동통신(4G 또는 5G)이 확산되면서 기존 레이다 대역 또는 그 인접대역을 이용하게 되고 레이다와 이동통신 시스템 간 간섭의 가능성도 높아지고 있다. 먼 거리에 떨어진 목표물을 탐지하기 위해서 전파 경로손실(레이다의 경우 송신경로와 수신경로를 모두 포함)를 감안하여 매우 높은 송신 에너지가 이뤄져야 한다. 대역폭이 넓을수록 높은 해상도를 실현할 수 있기 때문에 매우 짧은 시간, 매우 높은 출력의 펄스를 송신하는 것이 필요하지만, 실질적으로는 보다 긴 시간과 보다 낮은 출력의 펄스를 구현하는 것이 실용적이다. 이는 펄스신호에 주파수변조 또는 위상변조를 합성함으로써 가능하며, 이를 펄스압축(pulse compression) 레이다라고 부른다.



[그림 25] 펄스압축 레이다 파형(선형주파수변조)

제6절 레이다 무선국 분류 체계

1. 레이다와 무선측위의 정의

국제전기통신연합(ITU) 전파규칙(Radio Regulation; RR)의 용어 정의에 따르면, 레이다는 '측정대상이 되는 위치로부터 반사 또는 재송신되는 전파 신호와 기준신호와의 비교를 기초로 하는 무선측위시스템(radiodetermination system)'이라고 정의하고 있으며, 전파법 시행령 제2조(정의)에서는 레이다를 '결정하려는 위치에서 반사 또는 재발사되는 무선신호와 기준신호와의 비교를 기초로 하는 무선측위 설비'라고 정의하고 있다. 무선측위(radiodetermination, 無線測位)에 대해 ITU RR에서는 '전파의 전파특성을 이용하여 물체의 위치, 속도 및 다른 특징을 결정하거나 또는 이러한 것과 관련된 정보를 취득하는 것'이라고 서술하고 있으며, 전파법 시행령 제2조(정의)에서는 '전파의 전파특성(전파특성)을 이용하여 위치·속도 및 기타 사물의 특징에 관한 정보를

취득하는 것'이라 정의하고 있다. ITU RR의 정의와 전파법의 정의는 매우 유사하다 볼 수 있으며, ITU RR과 전파법에서는 무선측위와 관련한 용어를 정의하고 있는데 아래에서 정리한 바와 같다. 무선항행(radionavigation)이란, 무선측위 중 장애물 정보 또는 장애물 탐지를 포함하는 항행목적이라 볼 수 있으며, 무선탐지(radiolocation)는 무선측위 중 무선항행을 제외한 목적으로 사용되는 것으로, 항행목적의 장애물 정보 또는 탐지를 포함한다면 '항행', 항행목적이 아닌 그 이외의 경우 '탐지'로 볼 수 있다.

[표 78] 무선측위와 관련한 용어

| 용어 | ITU RR | 전파법 |
|--------------------------------------|--|--|
| radionavigation 무선항행 | 장애물 정보를 포함하는 항행 목적으로 사용되는 무선측위 Radiodetermination used for the purposes of navigation, including obstruction warning. (RR 1.10) | 항행을 위하여 하는 무선측위를 말한다(장애물 탐지를 포함한다). (시행령 제2조) |
| radiolocation 무선탐지 | 무선항행 이외의 목적으로 사용되는 무선측위 Radiodetermination used for purposes other than those of radionavigation. (RR 1.11) | 무선항행 외의 무선측위를 말한다. |
| radio direction-finding 무선방향탐지 | 무선국 또는 물체의 방향을 결정하기 위한 목적으로 수신된 전파를 이용하는 무선측위 Radiodetermination using the reception of radio waves for the purpose of determining the direction of a station or object. (RR 1.12) | 무선국 또는 물체의 방향을 결정하기 위하여 전파를 수신하여 하는 무선측위를 말한다. |

2. 무선측위업무 관련 용어의 정의 및 분류

ITU 전파규칙에서는 무선통신을 크게 지상무선통신(terrestrial radiocommunication)과 우주무선통신(space radiocommunication)으로 나누고 있으며,

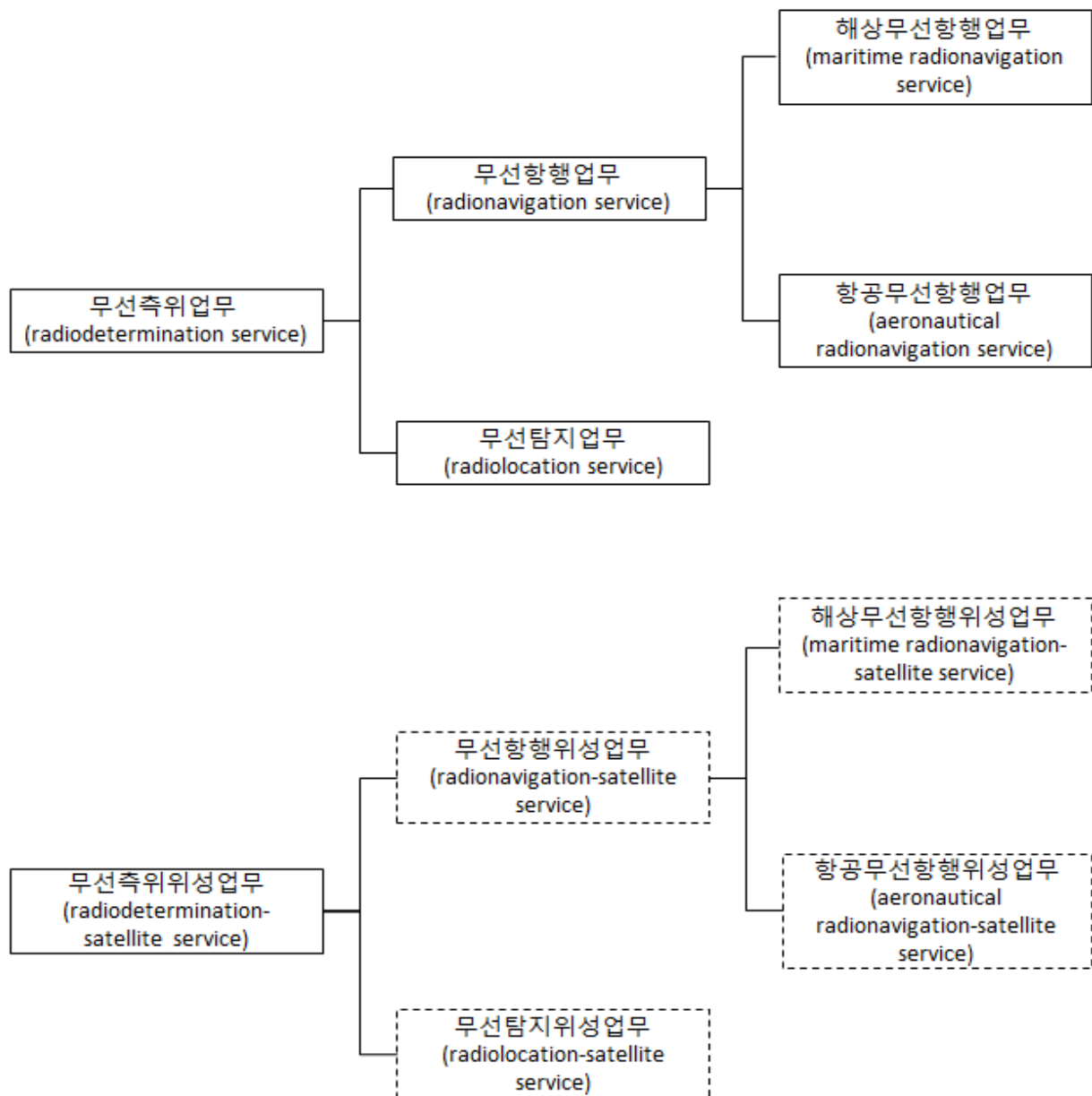
무선측위업무 또한 무선측위업무(radiodetermination service)와 무선측위위성업무(radiodetermination-satellite service)로 구분된다. 전파법에서도 무선국의 업무를 지상무선통신과 우주무선통신 업무로 대별된다. ITU 전파규칙 용어 정의에 따른 무선측위업무는 크게 두 개의 하위개념인 무선항행업무(radionavigation service)와 무선탐지업무(radiolocation service)로 구분할 수 있다. 전파법에서는 무선측위위성업무를 제외하고 항행이나 탐지위성업무에 대해 별도 정의를 두고 있지 않는 것이 특징이다. 또한 무선항행업무와 달리 무선탐지업무의 하위체계는 없는 것도 특징이라 볼 수 있다. 무선항행업무는 ‘무선항행목적의 무선통신업무’로, 무선탐지업무는 ‘무선탐지목적의 무선통신업무’라고 정의되어 있으나, 정의로는 명확한 의미를 파악하기는 어려우며, 무선국의 정의를 함께 고려하여 의미를 파악해볼 필요가 있다.

[표 79] 무선측위업무 관련 용어 정의

| 전파업무 | ITU RR | 전파법 |
|---|--|--|
| radiodetermination service 무선측위 업무 | 무선측위 목적의 무선통신업무 A radiocommunication service for the purpose of radiodetermination. (RR 1.40) | 무선측위를 위한 다음 각 목의 무선통신업무 (시행령 제28조 1항 7호) |
| radiodetermination-satellite service 무선측위 위성업무 | 1개 이상의 우주국을 사용하는 무선측위 목적의 무선통신업무 A radiocommunication service for the purpose of radiodetermination involving the use of one or more space stations. (RR 1.41) | 우주국을 이용하여 무선측위를 하는 우주무선통신업무 (시행령 제28조 1항 20호) |
| radionavigation service 무선항행 업무 | 무선항행목적의 무선통신업무 A radiodetermination service for the purpose of radionavigation. (RR 1.42) | 무선항행을 위한 무선측위업무 (시행령 제28조 1항 7호가목) |
| radionavigation-satellite service 무선항행 위성업무 | 무선항행목적의 무선측위 위성업무 A radiodetermination-satellite service used for the purpose of radionavigation. (RR 1.43) | - |

| 전파업무 | ITU RR | 전파법 |
|--|---|---|
| maritime radionavigation service 해상무선 항행업무 | 선박의 이익과 안전운항을 목적으로 하는 무선항행업무 A radionavigation service intended for the benefit and for the safe operation of ships. (RR 1.44) | 선박을 위한 무선항행업무 (시행령 제28조 1항 7호 가목1) |
| maritime radionavigation-satel lite service 해상무선 항행위성 업무 | 선박에 위치하는 지구국에 대한 무선항행위성업무 A radionavigation-satellite service in which earth stations are located on board ships. (RR1.45) | - |
| aeronautical radionavigation service 항공무선 항행업무 | 항공기의 이익과 안전 운항을 목적으로 하는 무선항행업무 A radionavigation service intended for the benefit and for the safe operation of aircraft. (RR 1.46) | 항공기를 위한 무선항행업무 (시행령 제28조 1항 7호 가목2)) |
| aeronautical radionavigation-satel lite service 항공무선 항행위성 업무 | 항공기에 위치하는 지구국에 대한 무선항행위성업무 A radionavigation-satellite service in which earth stations are located on board aircraft. (RR 1.47) | - |
| radiolocation service 무선탐지 업무 | 무선탐지목적의 무선측위업무 A radiodetermination service for the purpose of radiolocation. (RR 1.48) | 무선항행업무 외의 무선측위업무 (시행령 제28조 1항 7호 나목) |
| radiolocation-satellit e service 무선탐지 위성업무 | 무선탐지목적에 사용되는 무선측위위성업무 A radiodetermination-satellite service used for the purpose of radiolocation. (RR 1.49) | - |

이에 따라 분류된 전파업무별 체계는 다음과 같다.



[그림 26] 무선측위 관련 전파업무별 체계

□ 는 ITU 전파규칙 분류에만 해당

3. 무선측위업무 관련 무선국 용어의 정의 및 분류

ITU 전파규칙과 전파법은 무선국에 대한 용어를 정의하고 있으며, 무선측위업무와 관련한 무선국의 정의를 간추려보면 다음과 같다. 무선측위국은 관련한 다른 국보다 상위개념으로 볼 수 있으며, 무선국을 크게 무선항행과 무선탐지로 나눌 수 있다. 무선항행(radionavigation)이란, ‘장애물 경보를

포함하는 항행목적으로 사용되는 무선측위'이고, 무선탐지(radiolocation)는 '무선항행이외의 목적으로 사용되는 무선측위'이다. 항행과 장애물 경보(obs truction warning)를 포함한다면 '항행', 포함하지 않으면 '탐지'로 볼 수 있으므로, 무선항행이동국, 무선항행육상국, 무선항행업무를 수행하고, 무선탐 지이동국, 무선탐지육상국은 무선탐지업무를 수행한다. 무선표지국은 고정 된 지점에서 전파를 지속적으로 발사하고 이동국에서는 고정된 무선표지국 의 전파를 수신하여 고정된 무선표지국과 이동국간의 위치에 대한 방위 또 는 방향을 측정할 수 있어 무선항행업무로 분류할 수 있다. 무선방향탐지국은 무선표지국 등으로부터 송신된 전파를 수신하여 그 방향을 결정하는 무 선방향 탐지를 하는 무선국으로 전파를 발사하지 않으므로 무선항행이나 무선탐지의 하위개념으로 구분하지 않고 무선측위국에 포함된다고 볼 수 있다. 아래는 무선측위업무 관련 무선국 용어의 정의와, 전파업무에 따른 무선국 분류 자료를 제시하였다.

[표 80] 무선측위 관련 무선국 용어 정의

| 전파업무 | ITU RR | 전파법 |
|---|---|--|
| radiodetermination station 무선측위국 | 무선측위업무를 행하는 무선국 A station in the radiodetermination service. (RR 1.86) | 무선측위업무를 하는 무선국으로서 무선항행육상국·무선항행이 동국·무선표지국·비상위치 지시용무선표지국·무선탐지 육상국·무선탐지이동국 및 무선방향탐지국에 해당하지 아니하는 무선국 (시행령 제29조 1항 21호) |
| radionavigation mobile station 무선항행 이동국 | 불특정 지점에서 정지한 상태 또는 이동하면서 무선항행업무를 행하는 무선국 A station in the radionavigation service intended to be used while in motion or during halts at unspecified points. (RR 1.87) | 무선항행업무를 하는 이동하는 무선국 (시행령 제29조 1항 15호) |
| radionavigation land station 무선항행 육상국 | 이동하면서 사용하는 것을 목적으로 하지 않는 무선항행 업무를 행하는 무선국 A station in the radionavigation service not | 무선항행업무를 하는 이동하지 아니하는 무선국 (시행령 제29조 1항 14호) |

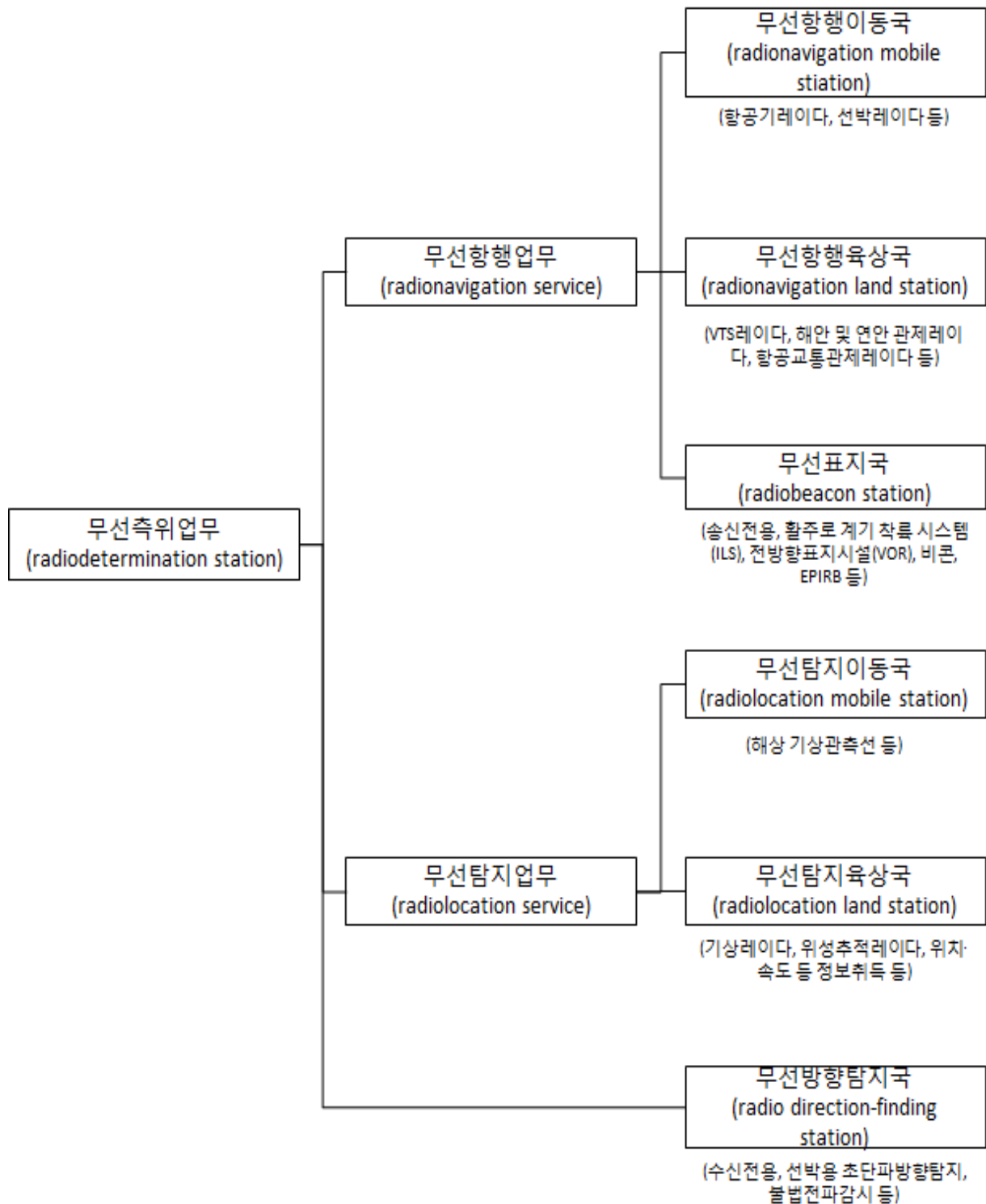
| 전파업무 | ITU RR | 전파법 |
|---|---|---|
| | intended to be used while in motion (RR 1.88) | |
| radiolocation mobile station 무선탐지 이동국 | 불특정 지점에서 정지한 상태 또는 이동하면서 무선탐지업무를 행하는 무선국 A station in the radiolocation service intended to be used while in motion or during halts at unspecified points (RR 1.89) | 무선탐지업무를 하는 이동하는 무선국 (시행령 제29조 1항 19호) |
| radiolocation land station 무선탐지 육상국 | 이동하면서 사용하는 것을 목적으로 하지 않는 무선탐지업무를 행하는 무선국 A station in the radiolocation service not intended to be used while in motion (RR 1.90) | 무선탐지업무를 하는 이동하지 아니하는 무선국 (시행령 제29조 1항 18호) |
| radio direction-finding station 무선방향 탐지국 | 무선방향탐지용으로 사용하는 무선측위국 A radiodetermination station using radio direction-finding (RR 1.91) | 무선방향탐지를 하는 무선국 (시행령 제29조 1항 20호) |
| radiobeacon station 무선표지국 | 이동국에 대하여 전파를 발사하여 그 전파를 발사하는 표지국에 대한 이동국의 방위 또는 방향을 이동국이 측정하는 것을 목적으로 하는 무선헌행업무를 행하는 무선국 A station in the radionavigation service the emissions of which are intended to enable a mobile station to determine its bearing or direction in relation to the radiobeacon station (RR 1.92) | 무선표지업무를 하는 무선국 (시행령 제29조 1항 16호) |

[표 81] 전파업무에 따른 무선국 분류

| 구분 | | | 무선국 | |
|----------------|----------------|----------|------------------------|-------------------|
| 무선 측위 업무 | 무선 항행 업무 | 해상무선항행업무 | 무선항행육상국, 무선항행이동국 | 무선측위국, 무선방향탐지국 |
| | | 항공무선항행업무 | | |
| | | 무선표지업무 | 무선표지국, 비상위치지시용무선표지국 | |
| | 무선탐지업무 | | 무선탐지육상국, 무선탐지이동국 | |

4. 전파업무별 레이더 무선국 분류

1~3의 내용을 종합하여 전파업무별 레이더 무선국의 예를 정리하였으며, 무선측위와 관련한 그 외 무선국도 함께 정리하면 다음과 같다.



[그림 27] 무선측위 관련 전파업무별 무선국 분류

제7절 소결

본 연구에서는 일반적인 레이더의 스펙트럼 환경과 발사전파 특성, 레이더의 주파수 분배 규제 관련 사항 그리고 레이더 간섭 원인 등을 살펴보았다. 또한 ITU 전파규칙과 전파법의 전파업무 및 무선국의 정의를 통해 전파업무별 무선측위 관련 무선국을 정리하였다. 주파수 경쟁이 심화되고 있는 레이더 운용 상황에서 무선국 허가 또는 지정 시 전파업무에 알맞은 무선국의 분류를 명확하게 설정하고, 레이더의 특성에 대한 기초자료로 활용 및 이용을 제고하고자 한다.

제5장 결론

본 연구에서는 해상·항공 분야에서 이슈가 되고 있는 몇 가지 주제를 선정하여 표준화 동향, 기술기준 연구 및 레이더 특성 분석 연구를 진행하였으며, 항공 이동체의 활성화에 필요한 주파수 이용방안 및 항공 무선설비의 적합성 평가 개선방안을 마련하는 등 제도 정비를 추진하였다.

먼저, 항공 분야에서 기존 유인항공기 및 신규 무인항공기의 도입에 따른 항공 분야의 주파수 수요 증가에 대비하여 항공이동체의 활성화에 필요한 임무용 및 탐지·회피용 주파수 이용방안을 제시하였다. 또한, 초기 단계인 국내 항공기 제조 산업의 활성화를 위해 항공 무선설비의 적합성평가 개선방안을 마련하였다.

두 번째, 해상통신시스템 분야에서 e-Navigation 도입과 함께 추진되고 있는 초단파대 디지털 교환 시스템(VDES), 초단파대 데이터 교환 장치(VDE-Terrestrial), 응용 메시지 지정 장치(Application Specific Message)의 기술기준, 프로토콜 및 국제표준 동향에 대해 살펴보았다.

세 번째, 레이더 관련 분야의 주파수 경쟁이 심화되고 있는 상황에서 무선국 허가 또는 지정 시 전파업무에 알맞은 무선국의 분류를 명확하게 설정하고, 레이더의 특성에 대한 기초자료로 활용 및 이용을 제고하고자, 일반적인 레이더의 스펙트럼 환경과 발사전파 특성, 레이더의 주파수 분배 규제 관련 사항 그리고 레이더 간섭 원인 등을 살펴보았다. 또한 ITU 전파규칙과 전파법의 전파업무 및 무선국의 정의를 통해 전파업무별 무선측위 관련 무선국을 정리하였다.

동 연구결과는 해상·항공 분야에서 국내·외 표준화 활동의 대응방안을 마련하는데 유용하게 사용될 수 있을 것이고, 해상·항공업무용 무선설비의 기술기준 정비를 위한 기본 자료로서 활용하거나, 우리나라의 무선통신기술 정책 마련을 위한 참고자료가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Recommendation ITU-R M.2116-0, Technical characteristics and protection criteria for the aeronautical mobile service systems operating within the 4400-4900 MHz frequency range, 2019.
- [2] Recommendation ITU-R M.2089-0, Technical characteristics and protection criteria for the aeronautical mobile service systems in the frequency range 14.5-15.35GHz, 2015.
- [3] Recommendation ITU-R M.2114-0, Technical and operational characteristics of and protection criteria for aeronautical mobile service systems in the frequency bands 22.5-23.6GHz and 25.25-27.5GHz, 2018.
- [4] Recommendation ITU-R M.2115-0, Technical and operational characteristics of and protection criteria for aeronautical mobile systems operating in the 45.5-47 GHz frequency range, 2018.
- [5] Recommendation ITU-R M.[AMS_22 GHZ], Technical and operational characteristics of and protection criteria for aeronautical mobile systems operating in the mobile service in the frequency range 21.2-22 GHz, 2017.
- [6] Recommendation ITU-R M.1796-2, Characteristics of and protection criteria for terrestrial radars operating in the radiodetermination service in the frequency band 8500-10680 MHz, 2014.
- [7] Report ITU-R M.2204-0, Characteristics and spectrum considerations for sense and avoid systems use on unmanned aircraft systems, 2017.
- [8] ERC Recommendation 25-10, Frequency Ranges for the Use of Terrestrial Audio and Video Programme Making and Special Events (PMSE) applications, 2016.
- [9] ECC Report 204, Spectrum use and future requirements for PMSE, 2014.
- [10] ECC Report 243, Wireless video links in the frequency bands 2700-2900 MHz and 2900-3400 MHz, 2016.
- [11] CEPT Report 61, Harmonised compatibility and sharing conditions for video PMSE in the 2.7-2.9 GHz frequency band, taking into account radar use, 2016.

- [12] ECC Report 219, Characteristics of PMSE digital video links to be used in compatibility and sharing studies, 2014.
- [13] ECC Recommendation (15)04, Guidance for the implementation of a sharing framework between MFCN and PMSE within 2300-2400 MHz, 2015.
- [14] CEPT Report 51, Technical conditions for ensuring the sustainable operation of cordless video-cameras, 2013.
- [15] CEPT Report 56, Technological and regulatory options facilitating sharing between Wireless broadband applications (WBB) and the relevant incumbent services/applications in the 2.3 GHz band, 2015.
- [16] CEPT Report 58, Technical sharing solutions for the shared use of the 2300-2400 MHz band for WBB and PMSE, 2015.
- [17] ECC Report 205, Licensed Shared Access (LSA), 2015.
- [18] ECC Report 268, Technical and Regulatory Aspects and the Needs for Spectrum Regulation for Unmanned Aircraft Systems (UAS), 2018.
- [19] RTCA DO-160G, Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, 2010.
- [20] Recommendation ITU-R M.2092-0, Technical characteristics for a VHF data exchange system in the VHF maritime mobile band, 2015.
- [21] Recommendation ITU-R M.1371-5, Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band, 2014.
- [22] Guideline IALA G1117, VHF Data Exchange system (VDES) Overview, 2017
- [23] ETRI, Electronics and Telecommunications Trends, 2012
- [24] 한국 WRC 준비단, WRC-15 회의결과 분석 및 후속조치, 2016
- [25] 한국 WRC 준비단, WRC-19 의제수첩 - APG19-2 회의, 2017
- [26] ITU-R SG5, 지상통신분야 국제회의 결과, 2018
- [27] 해양수산부, The result of 14th the Joint IMO/ITU Experts Group Meeting, 2018
- [28] WRC-15 한국대표단, 제4차 APG-15 회의 참가 결과보고서, 2015

- [29] WRC-15 한국대표단, 제2차 CPM-15 회의 참가 결과보고서, 2015
- [30] Guideline IALA G1139, Technical Specification of VDES, 2017
- [31] 과학기술정보통신부, 기술기준이 포함된 대한민국 주파수 분배표, 2018
- [32] Recommendation ITU-R SM.1541-6, Unwanted emissions in the out-of-band domain, 2015
- [33] 중앙전파관리소, 무선국 업무 및 종류 해설서, 2017
- [34] IEEE, Radar Spectrum Engineering and Management : Technical and Regulatory Issues, 2015

인명안전 무선설비의 적합성 평가방법 개선방안 연구



국립전파연구원
National Radio Research Agency

(58323) 전남 나주시 빛가람로 767

발 행 일 : 2019. 3.

발 행 인 : 전 영 만

발 행 처 : 국립전파연구원

전 화 : 061) 338-4414

인 쇄 : (사)한국척수장애인협회 광주·전남인쇄사업소
062) 222-2788

ISBN : 979-11-5820-118-0

〈 비 매 품 〉

주 의

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