

## 레이더 스펙트럼 및 전파간섭 영향 연구

연구책임자

고영철

연구원

박성환

문건철

박성원

## 제 출 문

본 보고서를 「레이더 스펙트럼 및 전파간섭 영향 연구」  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007. 12. 31.

연구책임자 : 고 영 철 (전파연구소)

연 구 원 : 박 성 환 (전파연구소)

문 준 철 (전파연구소)

박 성 원 (전파연구소)

## 요 약 문

1. 과 제 명 : 레이더 스펙트럼 및 전파간섭 영향 연구

2. 연구 기간 : 2007. 1. 1. ~ 2007. 12. 31.

3. 연구책임자 : 고 영 철

4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용

세부내용	연구자	월별 추진계획												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
가. 레이더 현황 및 이용실태 조사 o 레이더의 종류, 용도, 분포상황 조사 o 레이더 무선국 허가 및 사용승인, 이용현황, 시장동향 조사		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	
나. 레이더 전파의 특성 및 기술동향 조사 o 국내외 레이더 전파특성 관련 연구자료 수집 o 관련 회의 및 WP에 참여하여 연구분야를 도출하고 측정시설을 이용한 특성 확인	고영철 박성환 문준철 박성원	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	
다. 레이더 전파연구 기본계획 마련 o 산·학·연 전문가로 구성된 연구반 운영 o 기본연구 계획(안) 심의 및 마련								→	→	→	→	→	→	
분기별 수행진도(%)		20			50			80			100			

## 나. 세부 과제별 추진사항

### 1) 국내 레이더 현황 및 이용실태조사

- 전파방송관리통합시스템 및 공공주파수 DB를 통한 레이더 주파수 분포상황 조사 분석
- 국내 레이더 제조업체 및 사용시설 방문을 통한 이용실태 조사

### 2) 레이더 전파의 특성 및 기술동향 조사

- ITU SG8회의 참석을 통한 연구자료 수집 및 IEEE 관련논문 분석
- 레이더 방정식, 추적방식, 송수신기 특성 등 레이더 시스템 및 스펙트럼 특성 분석

### 3) 레이더 전파연구 기본계획(안) 마련

- 레이더 전문가로 연구반을 구성, 운영하여 체계적인 연구방향 및 목표설정
- 레이더 전파특성, 전파전파 알고리즘, 레이더 전파간섭 측정 등 레이더 스펙트럼에 대한 구체적인 년차별 기본계획(안) 마련

## 5. 연구 결과

- o 레이더 전파연구 기본계획(안) 마련

## 6. 기대효과

- o 레이더 분야 기초기반 및 산업기술 개발에 기초자료 제공
- o 주파수 자원보호를 위한 체계적 연구기반 조성

## 7. 기자재 사용 내역

- o 없음

## 8. 기타사항

- o 없음

## SUMMARY

Radars is used of a widely field in national security, air traffic control, weather observation and warning, scientific applications, mapping, search and rescue operations, and other safety-of-life missions. Radar transmitter and receiver characteristics are engineered to successfully accomplish their missions in these areas. The technical characteristics of radars have typically resulted in exclusive or primary spectrum allocations for radar operations in selected radio bands.

In recent years, spectrum crowding has led to reduction of available spectrum for exclusive or primary radar operations, as well as for co-channel or nearly co-channel spectrum sharing between radars and non-radar (communication-type) signals. It has been proposed in various forums, for example, that communication signals can (and should) share spectrum bands with radar systems. Such proposals typically presume that radar receivers will not suffer undue loss of performance due to such sharing as long as the interference levels are relatively low.

Some sharing analyses assume that radar receivers are relatively robust against radio frequency (RF) interference effects from communication signals at low levels.

This paper investigated a factor of radar spectrum interference and analyzed efficient use of radar spectrum for establishment of radar study strategy.

# 목 차

목차 .....	220
그림목차 .....	221
제 1 장 서 론 .....	223
제 2 장 레이더 스펙트럼 이용현황 및 특성 .....	224
제 1 절 국내 주파수 이용 대역 .....	224
제 2 절 레이더 주파수 이용대역 및 특성 .....	226
제 3 절 레이더 종류 및 특성 .....	228
제 3 장 레이더 파라미터 및 방정식 .....	239
제 1 절 레이더 파라미터 .....	239
제 2 절 레이더 방정식 .....	241
제 4 장 레이더 전파간섭 기준 .....	249
제 1 절 레이더 전파간섭 형태 .....	249
제 2 절 레이더 파라미터와 전파간섭 보호기준 관계 분석 .....	251
제 3 절 ITU 권고에 의한 선박무선항행 탐색의 간섭 기준 .....	256
제 5 장 결 론 .....	258
참 고 문 헌 .....	259

## 표 목 차

표 2-1 국내 주요 주파수 대역별 분배 현황.....	225
표 2-2 국내 레이더 주파수 대역.....	226
표 3-1 레이더 파라미터.....	240
표 4-1 $I/M$ 비에 따른 최대 탐지 거리 손실.....	253
표 4-2 $I/M$ 비에 따른 RCS 변화량.....	255
표 4-3 $I/M$ 비에 따른 필요 송신 전력량.....	256
표 4-4 주파수 대역별 전파간섭 보호기준 관련 ITU-R 권고문.....	257

## 그 립 목 차

그림 2-1 국내 주파수 분포별 이용현황.....	224
그림 2-2 공항관제 레이더.....	229
그림 2-3 기상 레이더.....	231
그림 2-4 선박레이더.....	231
그림 2-5 항공기 탐재레이더(F-16 탐재).....	232
그림 2-6 대공탐색레이더.....	235
그림 2-7 사격통제레이더.....	236
그림 2-8 추적레이더.....	237
그림 2-9 영상레이더.....	238
그림 4-1 $1/N$ 에 따른 최대 탐지 거리 손실 변화 .....	253
그림 4-2 $1/N$ 비에 따른 RCS의 변화.....	254
그림 4-3 $1/N$ 비에 따른 송신 전력의 변화.....	255



# 제 1 장 서 론

레이더는 400MHz에서 36GHz대역까지 매우 광범위한 주파수 대역을 사용되고 있으며 항공, 우주, 국방, 교통, 민수, 과학 기술 등 활용분야가 다양하다. 민간용으로는 공항 관제 레이더, 선박 감시 레이더, 선박 항행용 레이더 등이 있으며, 군용으로는 지상 감시 레이더, 해안 감시레이더, 대공 감시 및 추적 레이더 등에 이용되고 있다.

최근 군에서는 현대전 및 정보전에 의한 무기체계가 변화에 따라 주파수 사용이 증가하고 있으며, 특히 레이더는 군은 핵심 전략증강 무기로 레이더를 개발·사용이 확대되면서 주파수 수요가 증가하고 있다. 또한 민간에서는 데이터 통신, 이동통신, 위성통신 등의 급진적인 발전에 따른 이용증가로 레이더 주파수 대역인 마이크로파 주파수 대역이 과밀화되고 있다. 그러나 레이더 주파수는 송신 출력이 일반적인 통신기기에 비해 상대적으로 매우 크고 넓은 주파수 대역폭을 사용하기 때문에 동일 또는 인접 대역의 타 통신기기 및 레이더 상호간에 간섭을 야기할 수 있다.

레이더 주파수 대역은 국제적으로 ITU-R에서 특정 대역과 용도에 따라 대역폭을 정하여 사용하도록 규정되어 있다. 국내 주파수 대역은 민간 및 군용으로 약 7GHz 대역을 다양한 용도로 전 대역에 걸쳐 광범위하게 사용하고 있다. 그러나 현재 국내에서는 레이더의 주파수 운용에 따른 상호 간섭에 대한 영향을 체계적인 연구가 이루어지지 않은 상태이다.

따라서 본 연구를 통해 레이더 스펙트럼 전파간섭 및 주파수 이용을 위한 연차별 기본계획안을 마련하고자 한다.

## 제 2 장 레이더 스펙트럼 이용현황 및 특성

### 제 1 절 국내 주파수 이용 대역

국내에서 이용되고 있는 주파수대는 전체 3,000GHz 이하의 전파 스펙트럼 중에서 주로 40GHz 이하의 주파수 대역이다. 이들은 주파수 대역의 특성에 따라 장거리 통신, 근거리 통신, 가시거리 통신 등에 사용되고 있고 다시 용도에 따라 고정, 해상, 이동, 방송, 및 위성업무 등의 업무 영역에서 이용되고 있다.

전 세계적으로 전파 스펙트럼의 이용은 전파 관련 기술 개발이 뒤받침 되어야 가능하기 때문에 기술 개발이 용이한 낮은 주파수 대역에서 먼저 사용하였고, 높은 주파수 대역을 이용하는 무선장비의 개발과 함께 점차로 높은 주파수 대역으로 이전하여 사용하고 있다. 우리나라도 마찬가지로 주파수 대역이 낮은 대역에서 높은 대역으로 자연스럽게 옮겨가고 있다. 또한 정보의 멀티미디어화와 광대역화로 인하여 사용주파수 대역은 자연스럽게 넓은 대역폭 확보가 용이한 높은 대역으로 점차 사용 범위가 넓혀져 가고 있다.

현재 우리나라는 9KHz 부터 275GHz대역까지 분배를 하였다. 9KHz 이하의 주파수 대역과 275GHz 이상의 주파수 대역은 분배하지 않은 상태이다. 분배되지 않은 대역은 아직까지 현실적으로 사용하기에는 주파수의 성질과 특성이 부적절하다고 할 수 있다. 분배 가능한 전체 주파수를 효과적으로 관리 사용하기 위해 전체 대역을 총 556개의 세부 대역으로 분배하였다. 이중 328개 대역은 용도를 지정하였으며, 228개 대역은 아직 용도가 지정되어 있지 않은 상태이다.

그림 2-1은 국내 주파수 분포별 이용현황이고 표2-1은 국내 주요 주파수 대역별 분배 현황을 나타낸다.

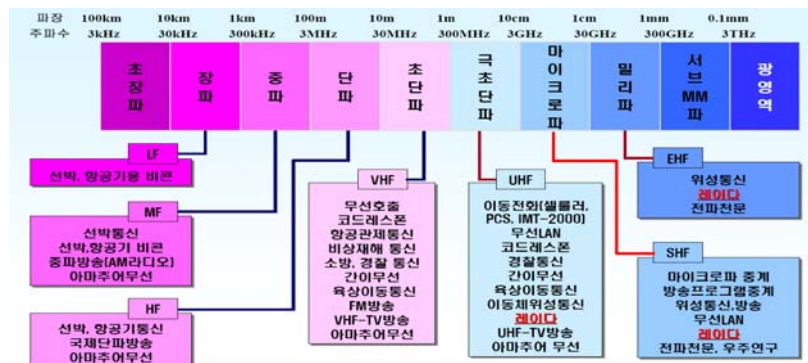


그림 2-1 국내 주파수 분포별 이용현황

표 2-1 국내 주요 주파수 대역별 분배 현황

주파수	분배	용도
9KHz ~39KHz	무선항행, 고정, 해상이동, 항공무선항행, 해상무선항행, 표준주파수 및 시보신호, 우주연구	쌍곡선항행방식(데카) 해안국용(무선전신), 항공업무, 무선표지 및 위치측정용 GPS
3,900KHz ~6,501KHz	항공이동(OR), 고정, 육상이동, 방송, 해상이동	선박국용, 해안국용, 수색구조용단파방송용
6,501KHz ~12,420KHz	해상이동, 아마추어, 아마추어위성, 표준주파수 및 시보신호	선박국용, 해안국용, 아마추어국지정주파수
12,420KHz ~17,970KHz	해상이동, 아마추어, 방송, 고정, 이동	선박국용, 해안국용, 아마추어국지정주파수, 단파방송용, 무선조정장치
17900KHz ~25010KHz	아마추어, 해상이동, 방송, 고정, 이동(항공이동제외)	아마추어국지정주파수, 선박국용, 단파방송용, 선박상호간의무선전신
25.17125MHz ~146MHz	해상이동, 고정, 이동(항공이동 제외), 방송, 이동위성 우주운용(우주대지구)	선박국용, 해안국용, 모형자동차, 실험국용, 생활무선국, TV방송용, 위성이동통신서비스(GMPCS)
148MHz ~1300MHz	고정, 이동, 무선표정, 이동위성(지구대우주), 방송	무선조정, 위성이동통신(GMPCS), TV방송용 또는 디지털라디오방송용, 특정소출력, 위치기반서비스(LBS), 이동전화, 주파수공용통신(TRS), RFID/USN
1300MHz ~4200MHz	이동위성, 지구탐사위성, 고정, 이동	인마세트 지구국, 도서통신 개인휴대통신(PCS), IMT-2000, 휴대인터넷, M/W, 방송중계
4.2GHz ~10.68GHz	무선표정, 우주연구, 고정, 이동, 항공무선항행	통신사업자 M/W, 기상레이더용, 방송중계, 특정소출력무선(LAN), 항행원조장치용
10.68GHz ~24.45GHz	고정, 이동, 무선표정, 지구탐사, 위성고정위성(우주대지구)	무궁화위성서비스, 통신사업자 M/W, 거리측정용, 전기통신 업무의 비상·재해복구, 가입자회선
24.45GHz ~58.2GHz	고정, 위성상호간, 이동, 지구탐사위성(수동), 전파천문	가입자회선, 가입자회선 CATV, 실험국, 국간중계
58.2GHz ~173.3GHz	아마추어, 아마추어위성, 전 파천문, 무선표정	아마추어국지정주파수, 차량레이더
173.3GHz ~275GHz	아마추어, 아마추어위성, 전파천문지구탐사위성, 위성간	아마추어국지정주파수

## 제 2 절 레이더 주파수 이용대역 및 특성

전체 주파수 분배대역에서 레이더 장비가 속하는 무선표정 대역은 MF대역에서 Ka대역까지 넓게 분포되어 있으며, 전체 대역폭 대비 약 20%를 차지하고 있으며 국제전파규칙[RR] 5조에 규정된 주요 레이더용 주파수 대역은 표 2-1과 같다.

표 2-2 국내 레이더 주파수 대역

대역	주파수대역
UHF(300 ~ 1000MHz)	420~450MHz, 890~942MHz
L밴드 (1~2GHz)	1.215~1.4GHz
S밴드 (2~4GHz)	2.4~2.5GHz, 2.7~3.5GHz
C밴드 (4~8GHz)	5250~5925MHz
X밴드 (8~12GHz)	8.5~10.55GHz, 10.6~10.68GHz
Ku밴드 (12~18GHz)	13.4~14GHz, 15.7~17.7GHz
K밴드 (18~27GHz)	24.05~24.25GHz
Ka밴드 (27~40GHz)	33.4~36GHz

### 1. UHF 대역

UHF 대역 레이더는 420 ~ 450MHz, 890~942MHz 대역에서 기상, 항공, 선박 레이더가 이용되고 있다. 지상레이더는 원거리표적탐지, 표적구별, 표적추적용으로 사용되고 있으며, 추적레이더로 사용 될 때는 5MW 이상의 고출력송신기, 고이득 안테나를 사용한다. 항공레이더로 사용될 때 감시시스템으로 원거리표적탐지와 표적포착 및 추적항공교통상황을 조정하며, 항공기 상승/하강시 동작가능, 최대 고도 약9km까지 가능하다. 선박레이더는 연해 주변이나 군항에서 감시용으로 사용되고 있으며 Azimuth angle 360°로 동작된다.

### 2. L 밴드 대역

L 밴드에서는 주파수 사용대역 1.215~1.4GHz에서 항공교통관제와 같은 지상의 장거리 대공감시레이더, 항공용 거리 측정장비(DME), 2차 감시레이더(SSR), 장거리레이더(ARSR)의 무선헤행위성업무(RNSS) 용도로 사용된다. 대기권 밖의 원거리 탐지에 적합군용 3D 레이더로 이용가능하며, 레이더 특성은 MTI(MovingTarget Indication) 성능이 좋고 좁은 빔 폭과 높은 이득으로 외부 잡음에 대한 영향이 매우 적다. 또한 전파간섭 영향을 줄이기

위해채널가변방식을 사용하며, 표적의 반사신호 강화를 위해 높은Duty Cycle을가진 다중수신채널신호처리방식을 사용한다.

### 3. S 밴드 대역

S밴드에서 사용하는 레이더는 2700 ~ 3400MHz, 2700 ~ 3400MHz 대역을 사용한다. 이 대역에서 사용되는 레이더는 장거리 대공 감시레이더, 공항감시레이더(ASR)와 같은 중거리 대공 감시레이더, AWACS와 같은 원거리용 항공탐재 펄스도플러레이더, 군용 3D레이더, 고도측정레이더, 기상레이더 등이 이용되고 있다. 레이더 특성으로는 고주파수에서 얻을 수 있는 지향빔폭안테나와 정밀한 각 정확도와 해상도, 좁은 빔폭의 사용으로 주빔에 대한 재밍 영향 감소하는 특징을 가지고 있다. 또한 고주파 사용에 따라 MTI레이더에서 빈번한 blind speed 발생하며, 비나 구름으로부터 반사되는 신호에 의해탐지거리가 현저하게 감소되는 특성이 있다.

### 4. C 밴드 대역

C밴드는 5250 ~ 5850MHz 대역을 사용하고 있으며 주로 중거리 기상레이더, 다기능 위상배열(Phased Array) 대공방어레이더, 페트리어트 미사일시스템의탐지추적레이더, 함상용 MW-08 레이더 등 정확한 미사일 추적과 원거리에서 정밀한 값을 요구하는 레이더가 이용되고 있다. 이 대역의 레이더특성은 정밀한 정보를 획득을 위해 주로 펜슬빔 사용한다.

### 5. X 밴드 대역

X밴드는 8.5 ~ 10.4 GHz 8.5 ~ 10.4 GHz 대역을 이용하고 있으며, 군용무기통제나 민간용으로 많이 이용되고 있다. 레이더 종류는 선박항행용, 도플러항법과 경찰용 속도측정기, 고해상도 레이더(SARSAR) 등이다. 레이더특성은 통상 소형 레이더이므로 이동성이나 경량성이 요구되는 분야에 적절하며, 짧은 펄스 전송이 가능한 넓은 대역폭, 소형 안테나의 좁은 빔폭 송신출력이 낮고 강우에 의한 감쇠현상이 발생한다.

### 6. Ku 밴드 대역

Ku밴드는 13.75 ~ 14.0 GHz, 15.7 ~ 17.3GHz 대역에서 이용되고 있으며 응용분야는 무선표정레이더, 무선항행레이더, 항공기탐지, mapping, 항행, 기상관측 등에 주로 사용된다.

레이더 특징으로는 주파수 가변 송신기를 사용하여 주파수 조정이 가능하며, 수평/수직/원형편파를 사용한다.

## 7. Ka 밴드 대역

Ka밴드는 31.8~33.4GHz/33.4~36.0GHz 대역에서 이용되고 있으며, 31.8~33.4GHz대역에서는 주로 Mapping, 기상관측, 비행기 안전 항행 유도장치가 이용되며, 최대고도 3,000ft에서 6시간 이상 동작하는 항공무선항행레이더 탑재 시 한정된 지역에 많은 비행기 운용 가능하다. 33.4 ~ 34.0GHz 대역에서는 주로 무선표정레이더가 이용되고 있으며, M/W 대역의 대기흡수 특성을 고려하여 무선표정레이더의 측정정확도를 높이기 위해 사용되며 표적식별, 항행 등에 이용된다.

## 제 3 절 레이더 종류 및 특성

레이더는 자유공간에 전파를 발사하여 목표물로부터 반사/반응되어 오는 신호를 감지하여 실시간으로 표적의 정보를 추출하는 장치로서, 전천후 성능발휘가 가능한 특징을 가지고 있다. 레이더는 용도와 적용분야가 다양하며 비록 동일한 원리가 적용된다 하더라도 주된 기술, 사용목적, 운용형태 등에 따라 기술상의 차이가 있어 다양하게 분류된다.

주된 기술적 분류는 탐색, 추적, 다기능, 영상레이더 그리고 피아식별장비 등으로 분류되며, 설치 장소/용도 위주의 무기체계적으로 분류시 지상 및 차량탐재 대공작전/전장 감시용, 함정탐재 대공/대함작전 및 항해용, 항공기 탐재 조기경보/전장감시 및 정찰용, 전술기 탐재 사격통제용, 위성탐재전장감시/정찰용 등으로 분류하기도 한다. 다음은 레이더의 종류별 특성을 알아보려고 한다.

### 1. 항공관제 레이더

현재 사용되고 있는 전 세계 레이더 중 거의 대부분이 대공레이더이다. 그중에서도 항공관제용 레이더는 우리의 사회생활과 밀접한 관계를 가지고 있다고 할 수 있다.

항공기 운항에 있어서 시계비행을 할 수 있는 날씨를 제외하고, 항공교통관제는 레이더 없이는 안정성을 기할 수 없다. 항공로에 있는 항공기는 항공로 감시 레이더(ARSR : Air Route Surveillance Radar)를 사용하여 레이더에서 거리와 방위를 알 수 있다. ARSR의

거리는 레이더를 중심으로 반경 약 200해리까지의 공역과 고도는 약 70,000ft까지의 항공기를 감시 및 관제한다. 항공기가 공항에서 약 60해리의 거리까지 접근하게 되면 공항감시 레이더(ASR : Airport Surveillance Radar)의 관제권에 들어간다. 이때 ASR도 ARSR과 같이 PPI 스코프를 사용한 레이더이며 항공기의 거리와 방위를 알 수 있다. 송신 주파수는 2.8GHz대이고, 송신 첨두출력은 500kw이며 또 이동표적 지시기를 갖춘 이중채널화된 고성능 레이더이다. 그림 2-2는 공항관제 레이더의 모습이다.

ASR의 관제권에 들어온 항공기는 ASR의 PPI 스코프를 보면서 관제원이 무선으로 진로 방향을 지시하여 활주로 연장선상 약 10해리 이내까지 유도한다. 여기서 항공기의 관제는 정밀진입 레이더(PAR : Precision Approach Radar)로 전환된다. 이 PAR는 방위주사와 고저주사에 대응한 2대의 안테나를 사용하고 있으며, 방위 안테나로는 방위와 거리를 측정하고, 고저 안테나로는 항공기를 본 양각과 거리를 결정하고 또 항공기의 공간 위치도 결정할 수 있다. 여기서 예정된 강하로를 따라 레이더의 지시기에 나타난 표적을 보면서 항공기를 활주로의 착지점 근처까지 유도한다. PAR의 송신 주파수는 9GHz이고, 송신 첨두출력은 약 30Kw 정도이다.



그림 2-2 공항관제 레이더

근래에 와서는 공항을 진입하는 항공기의 경로에 대하여 이 PAR 대신에 전자파에 의한 강하로를 형성해서 이 강하로에 따라 항공기를 유도하는 계기착륙시스템(ILS : Instrument Landing System)이 주류를 이루고 있다. 이때도 ASR은 공항에서 발진하는 항공기의 주변을

통과하는 항공기의 교통통제에 사용하고 있다.

ASR과 PAR에 의한 착륙 유도를 GCA(Ground Controlled Approach)라 하며 군용의 경우에는 두 레이더를 하나로 묶은 경우도 있다. 또 ASR과 OAR를 각각 분리해서 항공기의 발착관제를 하는 것을 RAPCON(Radar Approach Control)이라고 한다.

요즘에는 항공기를 이용하는 사람들이 점점 많아짐에 따라 공항의 대규모화, 항공기의 발착회수 증대, 공항 활주로 부근에서 교통의 복잡화 등으로 인하여 관제원의 운용에 의한 항공관제는 점점 곤란하여지고 있으며, 더욱이 야간이나 악천후에 의한 시계불량에서도 공항면만을 전담하여 탐색하는 레이더가 절대 필요하게 되었다. 이와 같은 목적에 사용되는 레이더를 공항면 탐색장치(ASDE : Airport Surface Detection Equipment)라 한다. 이 레이더는 공항면만을 탐색하기 때문에 단거리, 고분해능 지시기 등을 필요로 하고 있다. 최근에 ASDE는 관측을 하는데 있어서 고빈도화 및 관제탑 내의 주광하에서도 관측이 가능하게 하기 위하여 안테나를 수백 rpm으로 고속 회전하고, 화면은잔상이 아닌 휘선으로 고휘도의 연속 지시기를 사용하고 있다. 고휘도 표시에는 이외에도 축적관, 주사 변환관을 사용하여 TV 주사로 변환하는 주사변환 장치를 사용한다. 대체로 ASDE의 주파수와 안테나 회전수는 14GHz 150rpm, 22GHz 250rpm, 35GHz 750rpm 등으로 고속 회전하는 예가 많다.

## 2. 기상 레이더

기상 레이더는 공중에 분포되어 있는 구름과 비의 모양을 관측하여 비가 내리는 지역에 대한 형태, 비의 이동상황, 비의 강도 등의 정보를 얻고 또 태풍의 위치 및 진행방향, 전선의 형성, 번개의 발생과 진행상황, 강우강도 등을 관측하여 기상에 대한 정보를 레이더로 예측한다. 기상 레이더에 사용되는 파장은 3.2cm대, 5.7cm대 및 10cm대이다. 이 중에서 빗방울의 반사파가 강하고 비의 층을 통해서 어느 정도 먼 곳에 있는 비구름을 관측하기 위해서는 대체로 5cm대의 파장이 많이 사용된다. 그러나 먼 거리에서 태풍과 강우를 관측하고 예보하기 위해서는 전송로의 감쇠가 적은 10cm대(30MHz)의 파가 사용된다. 한편 항공기가 비행할 때 번개 구름이나 비구름으로 들어가면 위험하게 되고 또 항공기가 점점 대형화, 장거리화 되어감에 따라서 비행 중에 시시각각으로 변화되는 기상상황을 정확히 파악하여 운항의 안전을 기할 수 있는 기상 레이더 겸 항법 레이더를 항공기에 탑재하여 사용하는 경우도 있다. 그림 2-3는 국내에서 사용되고 있는 기상 레이더이다.





그림 2-3 기상 레이더

### 3. 선박 레이더

선박이 항행할 때 보조 수단으로 사용되던 선박용 레이더는 현재 일반화되고 모든 선박에 설치가 의무화되어 필수 항행장비로 되었다. 선박용 레이더는 연안의 지형관측, 배와의 충돌방지, 항로표식 등 항법상의 자선위치 측정에 이용되고 경우에 따라서는 기상상황도 예측할 수 있는 비교적 고정밀도이고 높은 분해능의 레이더가 사용된다. 그림 2-4는 선박 레이더의 모습이다.

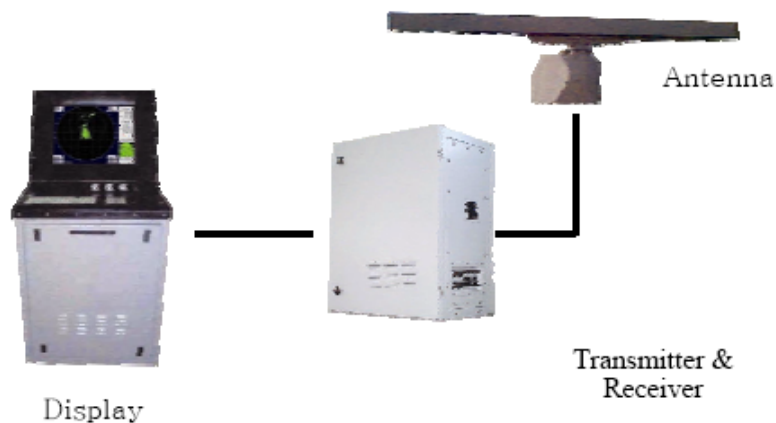


그림 2-4 선박레이더

선박용 레이더에 사용되는 파장은 mm파대, 3cm대, 5cm대, 10cm대가 많다. 그 중에서

mm과 주파수 대역의 레이더는 소형의 안테나로 예리한 지향성이 얻어지기 때문에 높은 분해능을 요하는 좁은 수로를 항해하는 선박에 사용된다. 또 3cm대역 레이더는 비교적 소형인 안테나를 사용하므로 소형 선박에 주로 많이 사용된다. 10cm대역 레이더는 안테나가 대형으로 되지만, 비 혹은 눈에 의한 전파전파 손실이 적으며 또 해면반사 잡음과 비 혹은 눈의 에코가 적고, 악천후일 때도 표적의 탐색능력이 뛰어나기 때문에 대양을 항행하는 대형 선박에 많이 사용되고 있다. 그리고 5cm대역 레이더는 3cm 대역과 10cm 대역의 중간 성능을 갖는다. 선박용 레이더는 다른 레이더와는 달리 풍파가 강하고 시계가 나쁠 때도 사용되기 때문에 안테나의 수평 지향성이 예리하고 수직 지향성은 선박의 롤링(rolling) 및 피칭(pitching)을 하여도 표적을 놓치지 않도록 설계되어 있다.

#### 4. 항공기 탑재 레이더



그림 2-5 항공기 탑재레이더(F-16 탑재)

항공기의 레이더 설치의 안전비행을 위한 필수조건으로 민간 항공기로부터 군용기에 이르기까지 사용목적에 따라 레이더를 탑재하고 있다. 항공기 탑재 레이더에는 용적, 중량, 전원, 설치장소 등 많은 제약조건이 가해지며 또 수행기능도 목적에 따라 매우 다양하다. 민간용으로는 대부분 안전비행을 위한 운항용 레이더를 비롯하여, 주위환경 감시용 레이더, 지형 mapping 작성을 위한 항법 레이더, 주위탐색 및 구조용 레이더 등이 주종을 이루며 대부분 목적에 부합되는 레이더를 각각 별도로 탑재하고 있다. 그러나 군용 항공기탑재용 레이더는 안전항행은 물론이고 지상 및 공중 위협표적의 공대공 또는 공대지의 전술 모드 중에 탐색, 추적, 요격, 군사목표물에 대한 표적표시를 비롯해서 클러터 억제, ECCM, 조기

정보, mapping 화상처리 등의 기능을 수행해야 한다. 따라서 다기능 다목적 고정도의 기술이 요구된다. 군용 항공기에 탑재된 레이더의 대표적인 것으로 F-16 전폭기용 레이더 AN/APG-66 및 68이 있고, F-15용 레이더AN/APG-63, F-20용 레이더로서 AN/APG-67, F-111용 레이더로서 AN/APQ-146, B1B용 레이더로서 AN/APQ-164 등을 들 수 있다. 항공기 탑재 레이더는 부품의 소형·경량화는 물론 신뢰도가 매우 높아야 한다는 특성 외에도 측정 기준점이 매우 빠른 속도로 변화되고 있기 때문에 측정 기준점의 보상(속도보상 및 탐색, 추적, 요격을 위한 좌표보상)이 꼭 수행되어야 한다. 또 다양한 기능을 빠른 시간 내에 동시에 수행할 수 있는 전자주사방식을 채용한 위상배열 안테나, 전투기 조종과 주변 상황을 한 눈으로 알아 볼 수 있는 HUP(Head-UP Display), AMTI(Airborne Moving Target Indicator), 고속의 실시간 신호처리 및 자동화가 요구된다. 그림 2-5는 F-16 탑재된 레이더의 모습이다.

## 5. 탐색레이더

탐색레이더는 대상 표적에 따라 대공탐색레이더, 해면탐색레이더 그리고 전장 감시/통제레이더 등으로 분류되며, 탐색거리에 따라 단거리, 중/장거리 및 초장거리 레이더로 구분되며, 탐색된 표적의 표적정보 추출능력에 따라 2차원(방위, 거리) 또는 3차원(방위, 거리, 고도) 레이더로 구분된다.

### 가. 대공탐색레이더

지상설치 장거리용 대공탐색레이더는 운용에 따른 제한조건이 가장 적은 레이더로서 주로 높은 고지에 설치하여 장거리 고공표적(항공기, 미사일 등)을 탐색, 표적 제원을 추출하여 우군지휘/통제 체계에 전파하는 조기경보/공중 전장감시 및 통제용으로서 무중단 운용되는 주요 센서이다. 중/고고도에 대한 탐색능력이 우수한 반면 저고도 표적에 대해서는 지형차폐의 영향으로 취약하다. 지형차폐 효과를 이용한 침투를 최대한 방지하기 위해서는 항공기에 탑재하여 고고도에서 하방감시형태로 운용함으로써 저고도 비행표적 및 순항미사일 등을 장거리에서 탐색할 수 있다. 항공기 탑재 운용시 항공기 운항에 따른 제한, 탑재 여건에 따른 제한, 항공기 구조적 제한 등 지상설치의 경우에 비하여 여러 가지 제약조건이 추가되며 막대한 운용/유지비용 또한 문제점으로 대두된다. 장거리 레이더는 적에게 노출되어 있어 대전사전 기능의 강화와 대방사 미사일(ARM)의 공격대비도 중요하다. 국지 대공작전 및 장거리레이더의 탐색공백을 메우기 위하여 중거리 또는 단거리레이더를 운용한다. 전술용으로

다양하게 적용되는 단거리 레이더의 경우 이동을 용이하게 하기 위하여 소형/경량화한 차량 탑재형이 많이 운용된다.

#### 나. 해면 탐색레이더

선박 또는 지상에 설치되어 선박항행, 해역감시 그리고 대함 작전을 수행하는데 필요한 정보를 제공하기 위하여 운용되는 것으로서, 해면상태에 의하여 발생하는 클러터를 제거하고 해상 고정물체와 선박, 잠수함의 잠망경 및 환기구 등을 탐색한다. 레이더의 시계는 해면과 선박의 높이에 따라 제한되며 해면 클러터의 제거를 위한 특수필터와 항해/감시를 보조하기 위한 표적 추적 및 위치예측 소프트웨어 등을 내장하고 있다.

#### 다. 전장감시 및 통제레이더

전장감시 및 통제레이더는 지상인원, 차량 및 헬기 탐색용과 박격포탄/포탄 또는 로켓탄 발사위치 탐색용 등이 있다(전술용 저고도탐색레이더는 사통컴퓨터와 연동시 통제레이더로 분류될 수 있으나 여기서는 탐색레이더로 분류), 지상감시의 범위는 적이 소유한 전차나 대전차 미사일 유도무기 체계보다 약 5km 이상 우세하여야 하며, 아군포대의 작전범위 내에서 최대 30km 내지 40km범위내에 있는 것이 통상적이며, 표적을 획득, 지정하기 위한 수단으로 사용된다. 요구되는 성능수준은 표적의 정확한 인식 및 확인이 가능한 분해능과 감지능력, 포병의 사격제원으로서 사용 가능한 정확도, 운용시 주변환경에서 발생하는 전자과 영향을 받지 않고 자동대처 운용되는 기능 등이 필수적으로 요구되며, 전장의 이동상황에 따라 적극 대처할 수 있도록 휴대용 내지는 소형차량 탑재형이 되어야 한다.

#### 라. 3차원 레이더

하나의 레이더에서 표적에 대한 공간위치 좌표의 정보를 연속적으로 계측하는 레이더로서 표적의 거리, 방위각, 고도를 측정하는 레이더를 일반적으로 3차원 레이더라 한다. 3차원 레이더 방식에는 펜슬 빔(Pencil Beam)을 주사하는 빔 주사 3차원 레이더 방식과 수직 탐색 영역을 포함하는 빔을 고정한 대로 안테나의 회전에 의하여 방위 주사하는 빔 비주사 3차원 레이더 방식이 있다. 펜슬 빔을 주사하는 빔 주사 3차원 레이더 방식은 방위각과 양각을 빔의 수신신호 진폭 혹은 위상 모노 펄스 처리하여 측정하고, 빔 비주사 3차원 레이더는 양각을 수직면 내에 중첩시킨 다중 빔 중에 표적을 포착한 인접 빔에 대하여 진폭 비교 모노 펄스 처리하여 측정한다. 빔 주사 방식의 실 예로는 AN/TPS-59 레이더가 있다.

그림 2-6는 대공탐색레이더의 모습이다.



그림 2-6 대공탐색레이더

## 6. 사격통제 레이더

사격통제 레이더는 사격통제장치(FCS : Fire Control System)의 일환으로 레이더와 컴퓨터를 이용하여 표적의 현재 위치와 그 운동을 포착하고, 자기 포화의 특성에 대응한 표적의 진행방향에 대한 미래 위치를 산출해서 표적을 요격하기 위한 사격통제 장치로서 FCS 레이더라 한다.

FCS의 주 요격 표적은 항공기, 로켓, 전차와 함정 등 레이더가 포착할 수 있는 대상물이며, 설치장소는 주로 지상 기동차량, 항공기, 함정 등에 탑재할 수 있다. FCS에 사용되는 레이더는 처음에 표적의 탐색과 포착 그리고 피아식별 과정을 거쳐 거리와 방위를 계산한다. 그리고 탐색 레이더의 정보를 곧 추적 레이더로 보내어 표적을 추적하고 표적의 양각, 방위각의 상대운동과 상대 직선거리를 계산함으로써 표적의 운동방향을 정확하게 계측하여 미래 위치를 산출한다. 요격과정은 모두 컴퓨터와 연계되어 고정밀도의 자동화 시스템으로 이루어지고 있다. 지상에서 사격통제를 할 때 주 대상물은 항공기이다. 항공기는 표적의 이동속도가 빠르기 때문에 사격에 필요한 지원을 신속히 처리할 필요가 있다. 예를 들어 단거리 지대공 사격통제인 경우 10km 이내에서 요격을 가할 때는 목표물은 적어도 20km 전방에서 발견되어야 하고 또 항공기가 초음속으로 진입할 때는 표적의 추적, 요격계산 그리고 요격제어, 발사지령, 명중, 격추까지 30초 이내에 수행하여야한다. 또한 요격시간을 짧게 하기 위하여 각 기능의 자동화와 고정밀도가 필요하며 사격통제 장치는 고도의 기술을 구사

하는 최첨단의 무기체계의 하나로 발전되고 있다. 또한 FCS는 아니지만 박격포 및 로켓과 같은 포탄의 탄도를 추적하여 발사지점을 정확하게 알아내는 레이더가 있다. 이것은 레이더로 탄도를 추적하여 탄도상의 두 점 이상의 좌표를 예측하여 컴퓨터에 의해서 발사지점을 역산함으로써 적의 포대를 역공격하기 위하여 개발된 레이더이다. 이 레이더는 위상배열 안테나를 사용하여 수십 개의 포탄궤적을 동시에 추적할 수 있으며 AN/TPQ-36의 경우는 39개의 포탄을 동시에 추적할 수 있다. 그림 2-7는 사격통제레이더의 모습이다.



그림 2-7 사격통제레이더

## 7. 추적 레이더

측정할 표적을 향하여 항상 안테나가 자동적으로 표적을 추적케 하여 표적의 거리, 방위각, 양각을 연속적으로 계측하는 레이더를 추적 레이더(tracking radar)라 한다. 안테나를 표적 방향으로 지향시키는 각도 추적과 거리를 계측하는 거리 추적의 두 요소가 있으며, 모두 영점검출에 의한 servo loop를 구성하여 고정도의 계측을 수행한다.

각도추적 방식을 크게 분류하면 순차 로빙(sequential lobing) 방식과 동시로빙(simultaneous lobing)방식이 있다. 순차 로빙 방식에서는 빔을 안테나 축의 주위에 전환(lobe switch) 또는 회전시켜(conical scanning) 수신파의 변조 성분을 없애도록 안테나를 구동하여 빔을 정확하게 표적방향으로 지향시킨다. 순차 로빙 방식은 표적을 향한 안테나 축으로부터의 편위에 따라서 극성이 전환되는 신호를 사용하는 것으로 일반적으로 모노 펄스 방식이라고도 한다. 개구면의 분할 또는 고차 모드에 의해서 진폭과 위상과의 전환으로 응용하는 진폭 모노 펄스와 분할된 개구 사이의 편위에 따라 생기는 위상차

응용한 위상 모노 펄스가 있다. 순차 로빙 방식은 수신 채널이 1개로도 가능하지만 수신신호의 진폭변동에 의한 오차를 일으키기 쉽고 또 동시 로빙 방식은 그 영향을 받지 않으나 구성이 복잡하게 되는 결점이 있다.

거리추적 방식에서는 수신 펄스 폭 내에서 전후에 시간 적분 값이 동일하게되는 점에 항상 레인지 게이트(range gate)등을 추종시키도록 servo loop를 구성하여 거리를 계측한다. 수신펄스를 2개의 게이트에 삽입하는 얼리 레이트 게이트(early late gate)방식과 수신펄스에 지연과 위상 반전을 주어 양극성 비디오로서 1개의 게이트로 처리하는 바이폴라 비디오(bipolar video) 방식이 있다.

추적용 레이더의 용도는 처음에는 주로 군사용에서 사격통제, 유도탄 추적등이었으나 최근에는 인공위성 발사용 로켓의 추적 및 유도용으로 사용되고 있으며 또 위성 통신용의 지구국, 위성의 발사와 궤도 수정 및 유지용의 관제 등에도 광범위하게 응용되고 있다. 그림 2-8은 추적레이더의 모습이다.



그림 2-8 추적레이더

## 8. 영상레이더

영상레이더는 지형 영상을 얻는 합성방법에 따라 실개구면 레이더 (Real Aperture Radar: RAR)와 합성개구면 레이더(Synthetic Aperture Radar: SAR)로 나눌 수 있다. 실개구면 레이더는 안테나 위치의 변화에 따른 위상보상없이 합성하므로써 거리에 따라 횡거리 분해능이 다르며 대부분의 항공기탑재 측면관측레이더(SideLooking Airborne Radar: SLAR)가 이에 속하며, 합성개구면 레이더는 위상보상에 의한 초점을 형성하게 하므로써 거리에 따른 횡거리 분해능의 변화가 없는 것이 특징이며 현대식 영상레이더는 대부분



이에 속한다.

항공기 탑재형은 필요시 수시로 임의지역 영상 관측이 가능한 적시성, 저고도 비행으로 고해상도의 영상획득, 획득 데이터 회수용이의 장점이 있는 반면 저고도 운항으로 원거리의 표적 관측에 다소 제약, 지구대기에 의한 항공기의 자세, 고도 및 속도가 불안정에 대한 보정 대책 추가요구 등의 단점도 있다. 위성탑재형의 특징은 대기권 밖의 비행으로 자세가 안정되고, 관측상의 제약이 없으나 궤도비행 주기에 의하여 원하는 시간에 관측하지 못하고 원거리 관측으로 인한 지구곡면 효과 보상필요 등과 같은 단점이 있다.

일반적으로 레이더의 거리 해상도는 송신 펄스 또는 압축펄스의 폭에 의해서 결정되고, 방위 해상도는 안테나 빔폭에 의해서 결정된다. 안테나 빔폭을 충분히 적게하기 위해서는 상대적으로 큰 안테나가 필요하나 현실적으로 불가능하므로 실제 안테나를 배열안테나의 한 개의 방사소자로 취급하여 탑재체의 이동으로 대형 합성배열 안테나를 이론적으로 합성, 완성함으로써 방위해상도를 향상시키는 방법이 합성개구면 레이더의 기본원리이다. 합성개구면을 형성할 수 있는 것은 측정기준인 안테나의 움직임에 따라 발생하는 지상물체의 도플러 주파수의 상대적 변화 특성을 이용하는 것으로서, 신호처리 과정에서 측정대상 물체와 안테나 간의 거리차에 대한 위상 보상방법을 쓰거나, 위상오차 허용 범위내에 있는 신호를 단순히 합산함으로써 이루어진다. 요구되는 해상도는 식별목표에 따라 다르며 한 번의 비행으로 다수의 목표에 대한 정찰을 수행하는 것이 일반적이므로 레이더는 다양한 모드로 운용될 수 있도록 설계된다. 현재 일반적으로 운용되고 있는 모드는 스트립, 스포트라이트, 스캔 등이 있다. 그림 2-9는 영상레이더의 모습이다.



그림 2-9 영상레이더



## 제 3 장 레이더 파라미터 및 방정식

### 제 1 절 레이더 파라미터

레이더는 신호 파형에 따라 크게 CW 레이더와 펄스 레이더로 분류되며 레이더 시스템 성능은 크게 안테나, 송수신기, 신호 처리기의 파라미터에 의해 결정된다. 레이더 파라미터는 레이더 형식, 송신 주파수, 탐색거리, PRF, 안테나 빔 폭, 이득, 안테나, 편파특성, 안테나 부엽레벨, 안테나 탐색속도, 송신기 형식, 송신 파워, 펄스폭, 송신 대역폭, 수신기 중간 주파수, 중간 주파수 대역폭, 수신기 잡음 지수 등으로 기술되며, 신호 처리 기법으로 신호 처리 형식, MTI/MTD 필터 특성, CFAR, 오경보율, 탐색 확률, 신호 처리 이득, 간섭 잡음 억제 성능, 펄스 압축, ECCM 기술 등으로 정립된다.

레이더는 전파형식에 따라 CW(Continuous Wave) 레이더와 펄스(Pulse) 레이더로 구분된다. CW레이더는 송수신 파형은 연속 파형이고 송수신 주파수 차이로 속도 성분을 추출한다. FM CW 변조파로 거리를 측정하며 소형, 경량, 저가이다. 하지만 송수신 안테나가 분리되어 있고 거리 측정 시에 별도의 변조가 필요하다는 단점이 있다. 그리고 펄스레이더는 송수신 파형으로 주파수 및 위상 변조된 펄스가 사용되고 펄스의 송수신 왕복 시간으로 거리를 측정하며, 도플러 신호변이를 이용하여 속도를 추정한다. 최신의 펄스 도플러 기술로 속도/거리 동시 분해가 가능해졌으며 송수신시 동일 안테나를 사용하므로 송수신이 간단하다. 펄스 도플러 레이더는 코히어런트 방식의 레이더 소스를 이용하므로 위상의 변화를 측정하여 속도를 추정하고, 일정하지 않은 간섭신호 제거에 매우 우수한 MTI, MTD, 클러터 맵, CFAR 기술 등을 적용할 수 있다. 표 3-1은 레이더 파라미터를 나타낸다.

표 3-1 레이더 파라미터

번호	파라메타	내 용	수 식
1	송신 주파수(f)	레이더 동작 주파수 $f = c/\lambda$	$f = c/\lambda$
2	펄스폭( $\tau$ )	송신기에서 신호 전력이 전송되는 시간 간격	
3	펄스 반복 주파수 (PRF)	펄스 레이더에서의 펄스의 반복 주기	
4	대역폭(B)	캐리어 주파수가 변동하는 범위를 말하며, 3dB 대역폭은 송수신 신호 전력의 $1/\sqrt{2}$ 의 전력 값을 가지는 지점이며, 변조 방식을 사용하지 않는 펄스 신호에서 대역폭은 펄스의 역수	
5	드웰 타임 (Dwell Time)	에너지가 안테나의 빔 폭에 해당하는 시간 동안 특정 방위 방향으로 방사될 때의 시간	
6	첨두 전력( Pt)	펄스 1주기 사이에 송신기에서 안테나의 급전선에 공급되는 평균 전력	
7	평균 전력(Pav)	일정한 시간 동안에 레이더 송신기가 방출한 전력의 평균	
8	전력 밀도(Pd)	지향성 안테나에서 방사되는 전력과 이득의 곱을 안테나 방사 면적으로 나눈	$\frac{P_t G}{4\pi R^2}$
9	탐색 거리( R)	레이더가 표적을 탐색할 수 있는 거리	$R = \left( \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma T_D f_r \tau}{(4\pi)^3 (SNR)_n k T_e F L} \right)^{1/4}$
10	거리 해상도()	동일한 각도에서 다른 거리에 존재하는 표적을 구분하는 능력으로서, 레이더의 신호 펄스폭의 함수로 표현	$\Delta R \approx \frac{c\tau}{2}$
11	방위/고도각 해상도	횡 거리 해상도는 동일한 거리에 위치하는 표적을 구분하는 능력으로서, 방위방향 또는 고도방향 횡 거리 해상도로 구분되어 안테나의 유효 빔 폭에 대한 함수로 표현	$\Delta X \approx R\theta$ $\Delta X \approx R\theta(\pi/180)$
12	도플러 주파수와 해상도	도플러 주파수는 표적의 속도와 안테나와 표적과의 각도에 대한 함수이며, 도플러 해상도는 동일 거리, 동일 방위각, 동일 고도각에서 서로 다른 속도로 이동하는 표적들을 구분 할 수 있는 능력	$f_d = \frac{2v}{\lambda} \cos\theta$ $\Delta f_d = 1/T_d$
13	탐색 확률과 오경보율	탐색 확률은 탐색을 목표로 하는 표적 신호와 클러터(clutter) 신호 등의 원하지 않는 신호를 포함한 수신 신호에서 표적 신호를 구분할 수 있는 제한 레벨이 주어질 때 표적을 탐색할 확률이며, 오경보율은 원하지 않는 신호가 제한 레벨을 넘어서게 되어 표적으로 인식하게 될 확률	
14	Radar Cross Section(RCS)	레이더 수신 안테나 방향으로의 목표물에 대한 신호의 반사도로 반사 단면적(m2)으로 표현됨	
15	잡음 지수(Noise Figure, Fn)	수신기에서 입력의 신호 대 잡음비인 (SNR)i와 출력의 신호 대 잡음비인 (SNR)o로 표현	$F_n = \frac{(SNR)_i}{(SNR)_o} = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o}$
16	STC(Sensitivity Time Control)	일정한 단면적을 가진 목표물로부터 수신된 신호가 거리에 따라 변화되지 않도록 하는 수신기 이득 제어	
17	FTC(Fast Time Constant)	수신 클러터나 잡음이 레일라이(Rayleigh) 확률 밀도 함수로 표현될 때 사용되므로 레일라이 특성을 지니지 않은 해양이나 지상 클러터에는 효과적이지 못하나 강우나 기상 클러터에는 매우 효과적인 방법	
18	AGC(Automatic Gain Control)	강한 신호에 의한 수신기의 민감도를 감소시켜 레이더 전시기의 과부하를 방지하나 원하는 신호의 탐색 확률도 떨어뜨리므로 이것은 간섭 완화 기술	
19	MTI(Moving Target Indicator)	클러터와 표적 신호가 같이 있을 경우 MTI 필터를 사용하여 클러터를 제거하는 기법	
20	듀티 사이클(Duty Cycle, dc)	듀티 사이클은 펄스가 반복되는 주기	$dc = \tau/PRF = \tau \cdot PRF$
21	안테나 빔 폭	안테나의 빔 폭은 송신 파장의 길이에 비례하고 안테나 길이에 반비례하며, 빔 폭이 좁으면 전파 방해 등 간섭 노출 범위가 줄어들고 팬 빔처럼 빔 폭이 크면 방위 및 고도방향으로 간섭 영향이 크다.	
23	안테나 부엽 레벨	부엽 레벨(side lobe level)은 첨두 부엽 값과 첨두 주엽 값의 비로써 방사 전력이 얼마나 잘 주엽으로 집중되어 있는지의 척도	$SLL_{dB} = 20 \log \frac{ F(SLL) }{ F(max) }$
24	안테나 이득	안테나가 전파를 송신할 때 얼마나 효과적으로 입력 단자에서의 가용 전력을 방사 전력으로 변화시킬 수 있는가를 정량화한 것으로써 높은 이득의 안테나는 안테나 빔에 더 많은 에너지를 포함	$G = \frac{\text{Solid angle in sphere}}{\text{Solid angle in beam}}$
25	안테나 회전률	안테나가 회전하는 속도로서 분당 회전수(rpm)로 표시	
26	안테나 편파	안테나 편파의 방향은 전계 벡터의 방향으로 정의되며 선형, 원형, 타원편파가 있음	

## 제 2 절 레이더 방정식

레이더 방정식은 레이더의 탐색 성능을 결정하는 주요한 파라미터가 결집된 식으로써 최대 탐색 거리는 송신 출력과 안테나 이득, 송신 파장에 비례하며, 특히 표적의 반사 단면적의 크기에 비례하며 송신 펄스폭과 반복 주기에 비례하여 변화하는 특성을 나타낸다.

### 1. 일반적인 레이더 방정식

#### 가. 침투 전력 밀도( $P_D$ )

전방향 안테나의 침투 전력 밀도  $P_D$ 는 식 (3-1)으로 표현된다.

$$\begin{aligned} P_D &= \frac{\text{Peak transmit power}}{\text{area of a sphere}} \left[ \frac{\text{watts}}{\text{m}^2} \right] \\ &= \frac{P_t}{4\pi R^2} \end{aligned} \quad (3-1)$$

표적과의 거리가  $R$ 이고, 안테나 지향 이득이  $G$ 이면 전력 밀도  $P_D$ 는 식 (3-2)로 표현된다.

$$P_D = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \quad (3-2)$$

#### 나. 안테나 유효 개구면( $A_e$ )

지향성 안테나의 안테나 유효 개구면  $A_e$ 는 식 (3-3)으로 나타낸다.

$$A_e = \frac{G\lambda^2}{4\pi} \quad (3-3)$$

$A_e$  : 안테나 유효 개구면 (antenna effective aperture)

$G$  : 안테나 이득

$\rho$  : 개구면 효율 (aperture efficiency) ( $0 < \rho < 1$ )

일반적으로  $\rho$ 는 0.7을 사용한다.

#### 다. RCS(Radar Cross Section)

식 (3-4)은 RCS( $\sigma$ )의 밀도  $\sigma_D$ 를 나타낸다.

$$\sigma_D = \frac{\sigma}{4\pi R^2} \quad (3-4)$$

#### 라. 수신되는 총 신호 전력( $S$ )

수신되는 신호의 전력은 식 (3-5)과 같이 송신 출력, 표적 반사 신호, 그리고 안테나의 유효 개구면에 의한 식으로 정리된다.

$$S = P_D \cdot \sigma_D \cdot A_e = \frac{P_t G \sigma}{(4\pi R^2)^2} A_e = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (3-5)$$

#### 마. 최대 레이더 탐색 거리( $R_{max}$ )

최대 탐색 거리는 시스템 파라미터인 최소의 표적 탐색 신호 전력( $S_{min}$ )에 의한 탐색 가능한 최대 거리를 말하며 식 (3-6)와 같이 표현된다.

$$R_{max} = \left( \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}} \right)^{1/4} \quad (3-6)$$

$S_{min}$  : 최소 탐색 신호 전력

#### 바. 잡음 전력(Noise Power)

잡음 전력은 수신기의 고유한 인자로 식 (3-7)과 같이 온도와 대역폭의 함수로 표현된다.

$$N_i = k T_e B \quad (3-7)$$

$k$  :  $1.38 \times 10^{-23}$  joule/degree Kelvin (볼츠만 상수)

$T_e$  : 유효 잡음 온도 (in degree Kelvin)

#### 사. 잡음 지수(Noise Figure)

잡음 지수  $F$ 는 수신기에서의 입력의 신호 대 잡음비인 ( $SNR$ )와 출력의 신호 대 잡음비인

$(SNR)_o$ 에 관한 식으로 식 (3-8)와 같이 표현된다.

$$F = \frac{(SNR)_i}{(SNR)_o} = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} \quad (3-8)$$

식 (3-23)은 식 (3-24)을 이용하면 식 (3-9), 식 (3-10)와 같이 SNR에 관한 식으로 변형 된다.

$$S_i = kT_e BF(SNR)_o \quad (3-9)$$

$$S_{\min} = kT_e BF(SNR)_{o_{\min}} \quad (3-10)$$

식 (3-26)을 식 (3-22)에 대입하면 식 (3-11)을 얻을 수 있다.

$$(SNR)_o = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 kT_e BFR^4} \quad (3-11)$$

각 시스템의 손실을 고려하면 식 (3-11)은 식 (3-12)로 표현된다.

$$(SNR)_o = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 kT_e BFLR^4} \quad (3-12)$$

#### 아. 다중 펄스 레이더 방정식

송신 과정에서 변조 방식을 사용하지 않는 경우 송신 펄스폭은 대역폭과 역 관계에 있으므로  $B=1/\tau$ 를 식 (3-28)에 대입하면 레이더 방정식은 식 (3-13)로 유도된다.

$$R = \left( \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma \tau}{(4\pi)^3 (SNR)_n kT_e F} \right)^{1/4} \quad (3-13)$$

그러나 식 (3-13)는 단일 펄스에 대한 레이더 방정식이므로 다중 펄스에 대한 레이더 방정식을 구해보면, 안테나 빔이 표적에 머무는 때의 총 펄스의 개수  $N_p$ 는 식 (3-14)로 구해진다.

$$N_p = T_D \times F_r \quad (3-14)$$

$N_p$  : 총 펄스의 개수

$T_D$  : 안테나 빔이 표적에 머무르는 시간 (Dwell time)

$F_r$  : PRF

식 (3-13)과 식 (3-14)를 곱하게 되면 다중 펄스에 대한 최종적인 레이더 방정식인 식 (3-15)을 얻게 된다.

$$R = \left( \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma T_D f_r \tau}{(4\pi)^3 (SNR)_n k T_e F} \right)^{1/4} \quad (3-15)$$

## 2. 기상 레이더 방정식

기상 레이더는 점표적을 탐색하는 레이더와 달리 표적의 RCS가 기상 현상인 부피를 탐색하는 레이더이다. 기상 레이더에서 표적의 총 RCS는 식 (3-16)과 같이 나타내며 레이더 셀의 부피는 식 (3-17)로 표현된다.

$$\sigma_c = V_c \eta = V_c \sum_i \sigma_i \quad (3-16)$$

$$V_c = \frac{\pi}{4} (R \theta_B) (R \phi_B) \left( \frac{c\tau}{2} \right) \frac{1}{2 \ln 2} \quad (3-17)$$

$\sigma_c$  : 총 RCS

$\sigma_i$  : 각각의 RCS

$V_c$  : 레이더 셀의 부피

$\eta$  : 각 단위 부피당 RCS

$R$  : 표적과의 거리

$\theta_B$  : 레이더 안테나의 수평 half-power 빔 폭

$\varphi_B$  : 레이더 안테나의 수직 half-power 빔 폭

$\tau$  : 펄스폭 (time)

$c$  : 빛의 속도

일반적인 레이더 방정식은 식 (3-18)와 같다.

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma_c}{(4\pi)^3 R^4} \quad (3-18)$$

$P_t, P_r$  : 송신, 수신 전력

$G$  : 안테나 이득,  $\lambda$  : 파장

### 3. SAR 레이더 방정식

SAR의 경우, 빔 폭은 식 (3-19)로 정의된다.

$$\beta_{az,SA} = \frac{\lambda}{2L_{SA}} \quad (3-19)$$

빔 폭이 작은 경우,  $\sin(\beta_{az,SA}) \approx \beta_{az,SA}$  이므로, 방위 해상도인  $\delta_{az,SA}$  는 식 (3-20)를 만족한다.

$$\delta_{az,SA} = \beta_{az,SA} R \quad (3-20)$$

그러므로 SAR의 방위 방향 길이는 식 (3-21)으로 표현된다.

$$L_{SA} = \frac{\lambda}{2\beta_{az,SA}} = \frac{R\lambda}{2\delta_{az,SA}} \quad (3-21)$$

단일 펄스를 사용할 경우 일반적인 레이더의  $S/N$ 비는 다음과 같은 식 (3-22)로 정의된다.

$$\frac{S}{N} = \frac{P_t G_t A_r \sigma}{(4\pi)^2 R^4 k T_0 B F_n} \quad (3-22)$$

$P_t$  : 최대 송신 출력

$G_t$  : 안테나 전송 이득

$A_r$  : 수신측 안테나 면적

$\sigma$  : 표적의 RCS

$K$  : Boltzmann 상수

$T_0$  : 지구 온도(290 Kelvins)

$B$  : 수신기 잡음의 대역폭

$F_n$  : 수신기 잡음 지수

펄스 압축이 사용될 경우 SNR은 식 (3-23)에 영향을 받는다.

$$\frac{\tau_i}{\tau_o} \quad (3-23)$$

$\tau_i$  : 입력 또는 수신할 때의 펄스폭

$\tau_o$  : 출력 또는 압축했을 때의 펄스폭

또, 펄스 집적 시 SAR 레이더 개구면 형성 시간은 식 (3-24)이 된다.

$$\frac{PRF \cdot L_{SA}}{v} \quad (3-24)$$

$v$  : 레이더 플랫폼 이동 속도

그러므로 총 SNR 성능 지수(improvement factor)는 식 (3-25)로 표현되며,



$$\frac{\tau_i PRF \cdot L_{SA}}{\tau_o v} \quad (3-25)$$

식 (3-46)에 식 (3-42)을 대입하면 SNR 성능 지수는 식 (3-26)이 된다.

$$\frac{\tau_i PRF \cdot R \lambda}{2 \tau_o v \delta_{az,SA}} \quad (3-26)$$

따라서 SNR은 식 (3-27)과 같다.

$$\frac{S}{N} = \frac{P_t G_t A_r \sigma}{(4\pi)^2 R^4 k T_0 B F_n} \cdot \frac{\tau_i PRF R \lambda}{2 \tau_o v \delta_{az,SA}} = \frac{P_t \tau_i PRF}{(4\pi)^2 R^3 k T_0 F_n} \cdot \frac{G_t A_r \lambda}{B \tau_o} \cdot \frac{\sigma}{2 v \delta_{az,SA}} \quad (3-27)$$

일반적으로 정합 필터의 경우 식 (3-28)를 만족한다.

$$B \tau_o = 1 \quad (3-28)$$

또한, 수신 안테나와 송신 안테나가 같다면 이득은 식 (3-29)이 된다.

$$G_t = \frac{4 \pi A_r}{\lambda^2} \quad (3-29)$$

$P_t \tau_i PRF = P_{avg}$  이므로 위에서 열거된 식들을 식 (3-29)에 적용하면 다음과 같은 식 (3-30)로 유도 된다.

$$\frac{S}{N} = \frac{P_{avg} \cdot 4 \pi A_r^2 \lambda \sigma}{2 (4\pi)^2 R^3 k T_0 F_n \lambda^2 v \delta_{az,SA}} = \frac{P_{avg} \cdot A_r^2 \sigma}{8 \pi R^3 k T_0 F_n \lambda v \delta_{az,SA}} \quad (3-30)$$

RCS는 식 (3-31)처럼 거리 해상도와 방위 해상도에 관한 식으로 표현된다.

$$\sigma = \frac{\rho \delta_r \delta_{az,SA}}{\cos(\psi)} \quad (3-31)$$

$\psi$  : depression angle

$\rho$  : 반사도

최종적으로 SAR의 SNR은 식 (3-32)로 정리 된다.

$$\frac{S}{N} = \frac{P_{avg} \cdot A_r^2 \rho \delta_r}{8 \pi R^3 k T_0 F_n \lambda v \delta_{az,SA} \cos(\psi)} \quad (3-32)$$

## 제 4 장 레이더 전파간섭 기준

### 제 1 절 레이더 전파간섭 형태

전파간섭은 하나 이상의 전자기적 에너지의 방사나 통신 시스템의 전기적 유도에 의해 성능 저하나 오차 또는 정보의 손실을 가져오게 하는 원하지 않는 신호이다. ITU-R에서 규정한 간섭 보호 기준을 평가하기 위한 간섭 신호의 종류는 크게 5가지 나눌 수 있다. 수신기 출력의 대역폭보다 훨씬 작은 대역폭을 가지는 연속된 간섭 신호(continuous wave, CW), 수신기 RF 대역폭의 가우시안 잡음과 유사하거나 같은 영향을 주는 연속된 간섭 신호(noise-like), 일정 시간 동안 on-off를 반복하며 펄스폭과 펄스 반복 주기로 표현되는 펄스형 간섭 신호(pulse), 매우 작은 펄스폭을 가지는 임펄스 간섭 신호(impulse)와 모든 변조 신호의 파라미터가 표적 신호와 같을 때의 신호(same as desired signal)로 구분된다.

#### 1. CW 신호 전파간섭

레이더는 다른 형태를 지닌 간섭에 의해서 많은 방법들로 영향을 받는다. 잡음 형태의 CW 간섭은 무선 표적 레이더의 감도를 저하시키고, 그 영향은 잡음의 강도와 연관되어 있다. 간섭이 존재하는 방위각 영역 내에서 간섭의 전력 스펙트럼 밀도는 레이더 시스템의 열 잡음에 의한 전력 스펙트럼 밀도와 더해져 표현 될 수 있다. 만약 간섭이 없는 상황에서의 레이더 시스템 잡음의 전력이  $N$ , 외부 간섭 전력이  $I$ 로 표시된다면, 결과적으로 총 잡음 전력은  $I+N$ 이 된다. 레이더 간섭 기준은 일반적으로 ITU-R에서 규정된다. ITU-R에서 규정한 간섭 보호 기준은 잡음 전력이  $N$ 에서  $I+N$ 으로 증가함에 따른 반사 신호의  $S/N$ 비 감소를 기반으로 하였다. 이에 따라, 간섭이 존재 할 경우, 레이더는 소형 표적의 검출이 가능하도록 최대 탐지 거리를 줄이거나 고출력 송신기나 전력 합성 장치를 레이더에 사용함으로써 임무를 수행할 수 있다. 이러한 성능 감소는 레이더의 임무와 표적의 환경에 따라 다르다. 대부분의 레이더에서 1dB의 잡음 레벨 증가는 시스템이 허용 할 수 있는 성능 감소의 최대 범위에 영향을 끼친다. 평균 또는 중간 레벨의 RCS를 가지고 있는 점표적의 경우, 1dB의 증가는 약 6%의 탐지 거리를 감소시킨다. 1dB의 잡음 전력증가의 인수는 1.26이고, 이는 주어진 표적으로부터  $1/(1.26)^{1/4}$ , 또는 1/1.06만큼의 감소된 거리를 요구하며, 이 때의 탐지 거리는 6%가 감소된다. 거리공식에서 SNR은 송신 전력, 합성 전력량, RCS에 비례한다. 잡음 레벨의 1dB 증가는 표적의 RCS가 간섭이 없을 때보다 1.26배 크거나, 송신

전력이 1.26배 증가하거나 26% 이상의 합성 전력 생산량의 증가를 필요로 한다. 특히, 이동하는 레이더에서 이런 대안 중 일부는 가격이나 실행 가능성, 그리고 시스템 사양에 의해 제한된다. 점표적에서의 성능은 주어진 탐지 확률, 오경보율 그리고 표적 진동 특성에 따라 달라진다. 기상 회피, 기상 관측 레이더는 점표적 레이더와는 달리 큰 표적을 가진다.

레이더의 점표적 방정식에 따르면 SNR은 거리의  $-4$ 승이다. 빔 폭 전체에 퍼져있는 비를 관측하는 기상 레이더에서 탐지 거리 감소의 인자는  $(1.26)^{1/2}$ 이다. 이런 간섭이 있게 되면 12%의 탐지 거리 손실이 발생하고 전체 탐지 범위는 26%의 손실이 발생한다. 대신 주어진 거리에서의 간섭은 기상 반사 진동 특성과 관계없이 약 26% 이상의 최소로 측정 가능한 기상 반사도를 증가시킬 것이다. 기상 레이더에서 약 0.5 dB의 증가는 거리 5%, 전체 범위 11%의 감소를 가져온다. 이 증가비는 약  $-10\text{dB}$ 의  $(I+N)/N$ 과 같다.

SAR는 레이더 플랫폼의 이동에 의해 관측된 부분 내에서 안테나 빔 RF가 각각의 픽셀을 지나가면서 요구하는 시간 동안 반사된 펄스의 코히어런트 적분을 수행한다. 지상에 조명되는 빔 폭은 거리와 적분 가능한 펄스의 수에 비례하며 잡음과 연관된 전체 처리 이득 또한 거리에 비례한다. 설계 시 허용된 유연성의 범위와 출력 SNR은 거리의  $-3$ 승에 비례한다. 1dB의 유효 잡음 전력 증가는 영상화된 지상 표적으로부터 SAR까지의 거리가  $(1.26)^{1/3}$ 의 인수로 감소하며, 이때의 손실은 7.7%이다. 제공된 운용 제한들은 이미지 데이터가 수집될 수 있는 비율 감소와 같은 비율로 거리 감소를 일으킨다. 이것이 허용 가능 능력의 제한이다. 다른 선택은 SAR 송신기의 평균 전력을 26%이상 증가시키는 것이다.

레이더에서의 1dB의 유효 잡음 전력 증가는 1.26의  $(I+N)/N$ 비 또는  $-6\text{dB}$ 의  $I/N$ 비와 같다. 이는 레이더의 주엽과 부엽으로 들어오는 모든 간섭의 허용 가능 총계를 나타낸다. 각각의 잡음 형태 간섭에의 허용 가능  $I/N$ 비는 간섭의 수와 지형에 따라 달라지고, 기본적으로 레이더에서의 탐지는 통신이라기보다는 RF 스펙트럼의 다른 용도이고, 양쪽에 같은 간섭 기준율을 적용하는 것은 적합하지 않으므로 주어진 시나리오를 분석함으로써 평가되어야만 한다.

## 2. 펄스 신호 전파간섭

펄스 신호 전파간섭의 영향은 그 크기를 측정하기가 어렵고, 수신 처리기의 종류와 시스템 동작 모드에 따라 크게 변한다. 특히 동기화된 펄스를 가지는 유효 표적 반사와 비동기된 간섭 펄스들의 다른 처리 이득은 펄스 간섭의 주어진 레벨 강도에 중요한 역할을 한다. 성능 저하의 여러 형태들은 비동기된 간섭 펄스에 의해 영향을 받을 수 있다. 다른 처리

이득 부여는 특정한 탐색 종류간의 상호 작용을 평가 분석하여 이루어진다. 일반적으로, 많은 형태의 탐색은 일부 독립된 탐색으로부터 생성된 낮은 듀티 싸이클을 가진 펄스 간섭을 억제하는 특징을 지닌다.

## 제 2 절 레이더 파라미터와 전파간섭 보호기준 관계 분석

ITU-R 권고문은 탐색 시스템에서 연속 또는 높은 듀티 비를 가진 잡음과 같은 형태의 간섭에 대한 보호 기준은 간섭 대 잡음( $I/N$ )의 비로 표현한다. 잡음 형태의 연속되는 간섭 파형에 대한 탐색의 보호 기준은 시스템의 고유 잡음 레벨 이상에서 허용 가능한 간섭 레벨( $I+N$ ) 증가를 기반으로 한다. 따라서, 보호 기준은 간섭 신호가 존재하지 않는 환경에서의 신호 대 잡음비( $S/N$ )가 간섭 신호가 존재하는 환경에서의 신호 대 잡음+간섭비( $S/(N+I)$ )를 고려하여 설정되었다.

### 1. 표적 탐지 거리와 $I/N$ 비와의 관계

간섭이 존재하지 않는 경우, 점표적 감시 탐색의 방정식은 다음 식 (4-1)과 같이 표현된다.

$$\frac{S_N}{N} = \frac{P_t G_t}{4\pi R_N^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi R_N^2} \cdot \frac{G_R \lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{1}{L_R} \cdot \frac{1}{N} \quad (4-1)$$

여기서  $S_N$ 는 잡음만 존재할 때의 탐색에 수신되는 신호의 전력을 나타내며,  $N$ 은 시스템 수신부의 잡음 전력,  $P_t$ 는 송신 전력,  $G_t$ 는 송신 안테나 이득,  $R_N$ 은 표적 탐지 최대 거리,  $\sigma$ 는 표적 RCS,  $L_R$ 은 수신 손실,  $G_R$ 은 수신 안테나 이득,  $\lambda$ 는 운용 파장을 나타낸다. 식 (4-1)은 다음과 같이 거리  $R_N^4$ 에 대한 식 (4-2)로 전개된다.

$$R_N^4 = \frac{P_t G_t G_R \lambda^2}{(4\pi)^3} \cdot \sigma \cdot \frac{1}{\left[\frac{S_N}{N}\right]} \cdot \frac{1}{N \cdot L_R} \quad (4-2)$$

잡음이 존재하는 환경에서의 탐색의 점표적 방정식은 위와 유사한 방법으로 유도될 수

있으며, 시스템의 잡음 전력에 간섭 신호의 전력이 더해진 형태로써 식 (4-3)으로 표현된다.

$$\frac{S_{N+I}}{N+I} = \frac{P_t G_t}{4\pi R_{N+I}^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi R_{N+I}^2} \cdot \frac{G_R \lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{1}{L_R} \cdot \frac{1}{N+I} \quad (4-3)$$

여기서  $S_{N+I}$ 는 잡음 형태의 간섭이 존재하는 경우 탐색의 수신 신호 전력,  $I$ 는 수신된 잡음 형태 간섭의 평균 전력,  $R_{N+I}$ 는 간섭이 존재할 때 표적이 탐지 가능한 최대 거리를 말한다. 식 (4-2)와 동일한 방법으로  $R_{N+I}^4$ 에 대해서 전개하면, 식 (4-4)와 같이 표현된다.

$$R_{N+I}^4 = \frac{P_t G_t G_R \lambda^2}{(4\pi)^3} \cdot \sigma \cdot \frac{1}{\left[\frac{S_{N+I}}{N+I}\right]} \cdot \frac{1}{N+I} \cdot \frac{1}{L_R} \quad (4-4)$$

간섭의 존재 유무에 대한 최대 탐지 거리의 영향을 분석하기 위해 식 (4-4)를 식 (4-2)로 나누게 되면 다음과 같은 식 (4-5)로 유도된다.

$$\frac{R_{N+I}^4}{R_N^4} = \left[ \frac{\frac{S_N}{N}}{\frac{S_{N+I}}{N+I}} \right] \cdot \frac{N}{N+I} \quad (4-5)$$

간섭이 존재하는 환경과 존재하지 않는 환경에서 표적 탐지 확률  $P_d$ 와 오경보율  $P_{fa}$ 의 값이 동일한 수치이고, 표적 탐지를 위한 문턱치가 적절하게 설정되었다면 탐지 확률과 오경보율은  $S/N$ 과  $S_{(N+I)}/(N+I)$ 의 값에 의해서 정해지며,  $S/N$ 과  $S_{(N+I)}/(N+I)$ 는 동일한 값을 가지게 될 것이다. 따라서 최종적으로 식 (4-6)과 같이  $R$ 과  $I$ ,  $N$ 에 대한 식으로 표현된다.

$$\frac{R_{N+I}}{R_N} = \left[ \frac{N}{N+I} \right]^{(1/4)} \quad (4-6)$$

식 (4-6)을 사용하여 간섭 신호의 전력에 따른 최대 탐지 거리의 손실 변화를 계산할 수 있으며, 그림 4-1과 표 4-1을 통하여 결과를 제시하였다.

그림 4-1에서  $I/N$ 비에 대한 탐지 거리의 변화를 살펴보기 위해 탐지 확률, RCS, 오경보율은 일정하게 유지하였다.

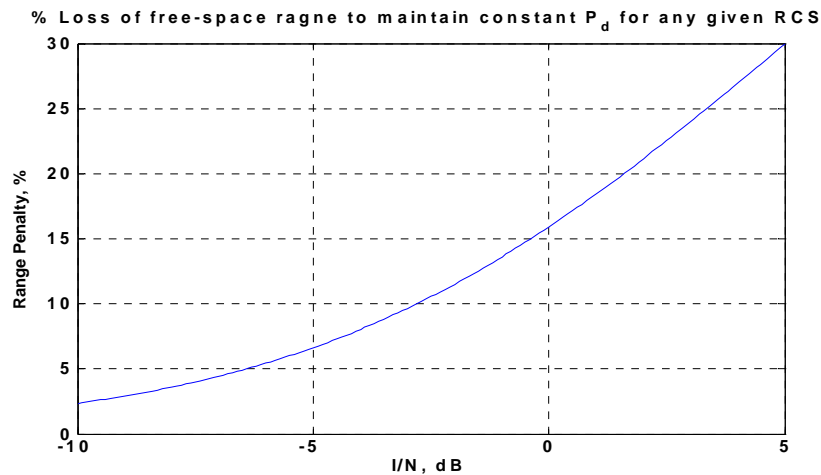


그림 4-1  $I/N$ 에 따른 최대 탐지 거리 손실 변화

표 4-1  $I/N$ 비에 따른 최대 탐지 거리 손실

$I/N$ , dB	-10	-6	0	3.32
$I/N$ , numeric	0.1	0.26	1.0	2.148
$(N+I)/N$ , numeric	1.1	1.26	2.0	3.148
$R_{N+I}/R_N = [N/(N+I)]^{(1/4)}$	0.976	0.946	0.841	0.751
loss of detection range	2.4%	5.4%	15.9%	24.9%

## 2. 평균 표적 RCS와 $I/N$ 비의 관계

최대 탐지 거리와  $I/N$ 비의 관계에서 고려한 방법과 같이  $I/N$ 비의 변화에 의한 RCS의 영향을 분석하기 위해 잡음만 있는 환경에서의 RCS를  $\sigma_N$ 라 하고, 간섭과 잡음이 동시에 존재하는 환경에서의 RCS를  $\sigma_{N+I}$ 라 하면 두 환경에서의 거리 방정식은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\frac{S_N}{N} = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \cdot \frac{\sigma_N}{4\pi R^2} \cdot \frac{G_R \lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{1}{L_R} \cdot \frac{1}{N} \quad (4-7)$$

$$\frac{S_{N+I}}{N+I} = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \cdot \frac{\sigma_{N+I}}{4\pi R^2} \cdot \frac{G_R \lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{1}{L_R} \cdot \frac{1}{N+I} \quad (4-8)$$

위 두 식을 RCS에 대해서 정리하면 다음 두 식으로 표현 된다

$$\sigma_N = \frac{(4\pi)^3 R^4}{P_t G_t G_R \lambda^2} \cdot N \cdot L_R \cdot \left[ \frac{S_N}{N} \right] \quad (4-9)$$

$$\sigma_{N+I} = \frac{(4\pi)^3 R^4}{P_t G_t G_R \lambda^2} \cdot (N+I) \cdot L_R \cdot \left[ \frac{S_{N+I}}{N+I} \right] \quad (4-10)$$

$I/N$ 의 변화에 의한 RCS 변화를 분석하기 위해 식 (4-10)을 식 (4-9)로 나누어 정리하면 식 (4-11)과 같이 표현되며, 간섭의 존재 유무에 따른 탐지 확률 및 SNR의 변화는 동일해야 하므로 식 (4-12)와 같다.

$$\frac{\sigma_{N+I}}{\sigma_N} = \frac{N+I}{N} \cdot \left[ \frac{S_{N+I}/N+I}{S_N/N} \right] \quad (4-11)$$

$$\frac{\sigma_{N+I}}{\sigma_N} = \frac{N+I}{N} \quad (4-12)$$

식 (4-12)로부터 주어진 거리, 탐지 확률과 오경보를 측면에서 간섭의 영향에 따른 표적 RCS의 변화를 얻을 수 있으며, 그 결과를 그림 4-2와 표 4-2에 나타내었다.

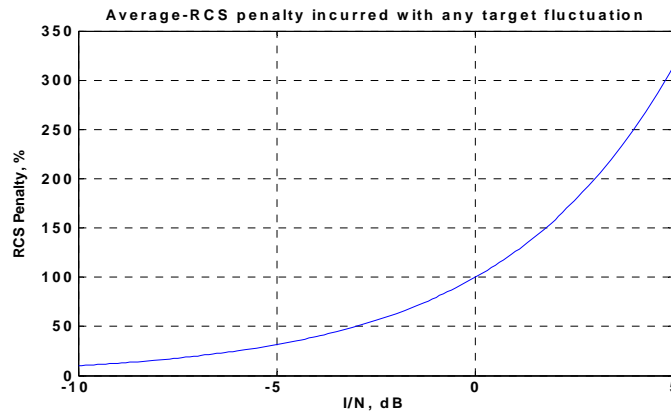


그림 4-2  $I/N$ 비에 따른 RCS의 변화



표 4-2  $I/N$ 비에 따른 RCS 변화량

$I/N$ , dB	-10	-6	0	3.32
$I/N$ , numeric	0.1	0.2512	1.0	2.148
$(N+I)/N$ , numeric	1.1	1.2512	2.0	3.148
$avgRCS_{N+I}/avgRCS_N$	1.1	1.2512	2.0	3.148
RCS penalty , %	10%	25.1%	100%	215%

### 3. 송신 전력과 $I/N$ 비의 관계

송신 전력에 따른 RCS의 값이 일정하다면, 송신 전력과  $I/N$ 비의 관계식은 식 (4-12)의 형태와 유사한 식으로 표현된다.

$$\frac{P_{t,N+I}}{P_{t,N}} = \frac{N+I}{N} \quad (4-13)$$

RCS 요구치와 동일한 방법으로 식 (4-13)을 이용하여  $I/N$ 비의 변화에 따른 필요 송신 전력의 변화를 얻을 수 있으며, 그림 4-3 및 표 4-3에 그 결과를 나타내었다.

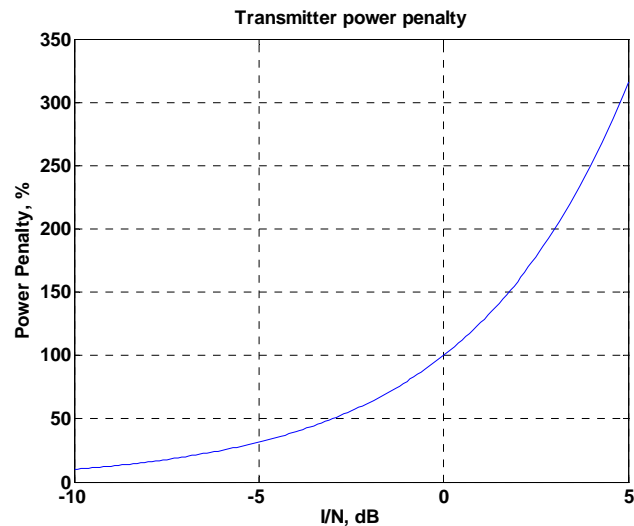


그림 4-3  $I/N$ 비에 따른 송신 전력의 변화

표 4-3  $I/N$ 비에 따른 필요 송신 전력량

$I/N$ , dB	-10	-6	0	3.32
$I/N$ , numeric	0.1	0.2512	1.0	2.148
$(N+I)/N$ , numeric	1.1	1.2512	2.0	3.148
$avgRCS_{N+I}/avgRCS_N$	1.1	1.2512	2.0	3.148
Required transmitter power increase, %	10%	25.1%	100%	215%

### 제 3 절 ITU 권고에 의한 선박무선항행 탐색의 간섭 기준

위에서 규정된 시나리오에서는 현재 사용 중인 선박 탐색의 국제적 간섭 기준은 아직 없다. 그러나 ITU-R M. 1461은 일반적인  $-6\text{dB}$ 의  $I/N$  레벨을 제안한다. IMO는 선박 탐색의 표준 동작 성능 개정안을 만들고, 이 개정안은 원하지 않는 결과물들로 인해 최근에 ITU 요구들을 고려한다. 먼저, IMO 개정은 다른 원격 서비스로부터의 간섭 가능성 인식을 제공하고, 탐색 주파수 대역의 기능으로 필수 거리와 RCS로 표현된 특정 표적들의 탐지와 같은 새로운 요구들을 포함한다. 표적의 탐지는  $10^{-4}$ 의 오경보율을 지니고 적어도 8~10번의 탐색 수행을 기반으로 한다. 또한, 탐지 요구는 안테나가 해수면으로부터 15m의 위치에 있고, 바다 클러터, 비, 안개 등의 부재를 조건으로 한다.

가장 중요한 사항은, 국제적인 해양 기관들은 IMO Safety of Life at Sea Convention (SOLAS)를 따르고, 탐색은 충돌 회피를 위한 최우선 센서라는 점이다. 이 내용은 자동 인식 시스템(AIS)의 필수 정비 문맥에서 볼 수 있으며, 이런 시스템들은 충돌 회피 시나리오를 위한 관점에서 상대적인 위치 확인을 확실히 하기 위해 GPS같은 외부 장치에 의존한다. 그러나 시스템의 조정은 AIS에 맞지 않는 해상 물체들인 빙하, 떠다니는 파편, 난파선, 그리고 다른 배 등에 대해서는 고려하지 않는다. 그러므로 탐색은 앞으로도 충돌 회피를 위한 주요 시스템으로 남아야 한다. 사용자와 해양 기관들의 집중적 논의는 허용 가능한 규정 내에서 간섭이 존재 하지 않는 항해 시 조정 가능한 운용상의 요구들을 이끌어 냈다. 접근법은 실험을 수행하여 현재 선박 탐색이 탐지 확률의 함수로써  $I/N$ 비를 간섭의 요소로써 허용될 수 있다는 것을 결정했다. 표 4-5는 각 대역별 간섭 보호 기준과 관련된  $I/N$ 비 기준과 ITU-R 권고문을 나타낸다.

표 4-4 주파수 대역별 전파간섭 보호기준 관련 ITU-R 권고문

대역	탐색 주파수 대역 및 업무	CW와 잡음 간섭 신호	ITU-R 권고문
UHF	420~450 MHz Radiolocation	$I/N \leq -6\text{dB}$	M. 1462
L	1215~1400 MHz Radiodetermination	$I/N \leq -6\text{dB}$	M. 1463
S	2700~2900 MHz Radionavigation and Meteorological Aids	$I/N \leq -10\text{dB}$	M. 1464
S	2900~3100 MHz Maritime Radionavigation	$I/N \leq -6\text{dB}$	M. 1313
S	2900~3100 MHz Radiodetermination and Meteorological Aids	$I/N \leq -6\text{dB}$	M. 1460
S	3100~3700 MHz Radiodetermination	$I/N \leq -6\text{dB}$	M. 1465
C	5250~5850 MHz Radiolocation, Aeronautical Radionavigation, and Meteorological Aids	$I/N \leq -6\text{dB}$	M. 1638
X	8500~10500 MHz Radiodetermination	$I/N \leq -6\text{dB}$	M. 1796
Ku	13.75~14 GHz Radiolocation and Radionavigation	$I/N \leq -6\text{dB}$	M. 1644
Ku	15.7~1.73 GHz Radiolocation	$I/N \leq -6\text{dB}$	M. 1730
Ka	31.8~33.4 GHz Radionavigation	$I/N \leq -6\text{dB}$	M. 1466
Ka	33.4~36 GHz Radiodetermination	$I/N \leq -6\text{dB}$	M. 1640

## 제 5 장 결 론

군 작전개념이 전자전·정보전 양상으로 변화함에 따라 주파수 사용이 급증하고 있으며, 주파수 이용에 있어서 광역화·광대역화 되고 있다. 또한 레이더를 비롯한 무선 통신이 작전 수행에 필수 요소로 변해 감에 따라 주파수 소요가 증가하고 있다.

국내 주파수 분배대역에서 레이더 장비가 속하는 무선표정 대역은 MF대역에서 Ka대역까지 넓게 분포되어 있으며, 전체 대역폭 대비 약 20%를 차지하고 있다. 특히 레이더 주파수는 X밴드 (8~12GHz)에서 집중적으로 분포되어 있으며 대부분 군 레이더가 차지하고 있다.

레이더는 주파수 특성상 높은 출력과 넓은 대역폭을 사용하여 타 무선통신망 또는 레이더 상호간 전파간섭을 야기할 수 있다. ITU 등 국제적으로 레이더 주파수 이용 및 전파간섭 문제에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

따라서 본 연구는 레이더 스펙트럼 전파간섭 분석을 위한 연차별 연구 기본계획안을 마련하여 레이더 주파수 이용에서 전파간섭 문제점과 그 해결방안을 찾고자 한다.

본 연구는 국내 레이더 주파수 대역과 이용현황을 살펴보고 레이더 종류와 특성을 조사하였다. 또한 레이더 시스템의 파라미터를 분석하여 레이더 종류별 방정식을 통해 전파전파 특성을 살펴보았으며, 레이더 전파간섭 형태와 파라미터와 전파간섭의 관계를 분석하고 주파수 대역별 ITU 권고 전파간섭 보호기준을 조사하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 한국전자과학회, 레이더 공학과 전자전 응용, 2006
- [2] 미국방부(DOD), MIL STANDARD 496B
- [3] [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu), 레이더 기본원리
- [4] NTIA, Radar Engineering Note
- [5] ITU, ITU-R M.1313. TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MARITIME RADIONAVIGATION RADARS
- [6] NTIA, Analysis of Electromagnetic Compatibility Between Radar Statellite Earth Stations
- [7] IEEE, A Physically Based Radar Simulator
- [8] ITU, ITU-R M.1462. CHARACTERISTICS OF AND PROTECTION CRITERIA FOR RADARS OPERATING IN THE RADIOLOCATION SERVICE IN THE FREQUENCY RANGE 420–450 MHz
- [9] ITU, ITU-R M.1463. CHARACTERISTICS OF AND PROTECTION CRITERIA FOR RADARS OPERATING IN THE RADIOLOCATION SERVICE IN THE FREQUENCY RANGE 420–450 MHz
- [10] ITU, ITU-R M.1464–1 Characteristics of radiolocation radars, and characteristics and protection criteria for sharing studies for aeronautical radionavigation and meteorological radars in the radiodetermination service operating in the frequency band 2 700–2 900 MHz
- [11] nato, radar ANTENNA RADIATION PATTERNS
- [12] CHRIS ALLEN, 레이더의 원리
- [13] NTIA, INTERFERENCE MEASUREMENTS ON A FIXED GROUND–BASEDMET EOROLOGICAL RADAR
- [14] IEEE, Modeling Radar Propagation in Three–Dimensional Environments