서문

*전자전 기초*는 전자전의 기본 개념을 이해하는데 필요한 기초를 제공하는 참고서이다. 이 책은 전투에서의 전자전의 활용과 관련한 필수적인 내용들을 학생들이 쉽게 이해할 수 있도록 기초부터 차근차근 쌓아 올리는 식으로 구성되어 있다.

레이더와 적외선(IR) 무기체계가 오늘날의 전장에서 공중 작전에 가장 큰 위협이 되고 있기 때문에, 이 책은 레이더와 적외선 이론, 그리고 대응책들에 대해 다룬다. 지휘통제(C2) 체계는 현대전에서 중요한 역할을 하지만 조종사들에게 직접적인 위협이 되지 않으므로 이 책에서는 다루지 않는다. 이 책에서는 현대의 통합 방공 시스템(IADS, Integrated Air Defense System)과 연관이 높은 특정 레이더 시스템들에 대해 다룬다.

독자들에게 전자전을 소개하기 전에 먼저 레이더의 역사, 레이더 기능 전반, 그리고 일반적인 통합 방공 시스템과 연관이 있는 위협 시스템들에 대한 간략한 소개로 이 책을 시작한다. 이어지는 두 챕터에서는 레이더의 작동과 관련 있는 RF 에너지의 이론과 특성에 대해 소개한다. 그 다음으로 레이더 신호의 특성, 레이더 시스템의 구성 요소, 레이더의 표적 식별 능력 등이 소개된다. 안테나의 종류와 스캔, 표적 추적, 그리고 미사일 유도 기술도 소개한다.

다음으로 레이더 시스템을 파괴하기 위해 만들어진 대응책에 대해 자세히 설명한다. 먼저 잡음과 기만 재밍과 관련한 이론 및 적용 시 고려사항에 대해 설명하고 해당 재밍들이 레이더 시스템에 미치는 영향에 대해 다룬다. 다음으로 통합 방공망 시스템 및 자체보호장비에 대한 대응책인 디코이에 대해 다룬다. 그 다음 챕터는 채프의 특성, 적용, 레이더에 대한 영향 등을 설명한다.

이어지는 두 챕터에서는 적외선 위협에 대해 다룬다. 먼저 적외선 이론, 적외선 표적 탐지 및 추적, 그리고 플레어에 대한 적외선 미사일의 대응기술에 대해 살펴본다. 두 번째 챕터에서는 플레어, 기동, 미사일 경보 장비 등 적외선 대응책에 대해 소개한다.

그 다음으로 전자전의 중요한 측면인 전자보호(EP)에 대해 살펴본다. 잡음 및 기만 재밍, 채프에 대응하기 위해 고안된 레이더의 전자보호 기법 중 가장 일반적인 기법들에 대해 다룬다. 마지막으로 일반적인 레이더 경보 수신기(RWR)의 기본 구성 요소와 한계, 위치정보 기술, 그리고 자체보호재머의 기본 구성요소를 설명한다.

이 책은 본문 외에도 전자전 관련 용어에 대한 설명과 약어를 제공하여 독자들이 참고할 수 있게 하였다. 또한 이 책을 집필하는데 사용된 참고서적 목록도 제공된다. 특정 주제에 대해 더 배우고 싶은 학생들은 이 목록을 참조하면 된다.

챕터1. 레이더 입문

1. 소개

RADAR(레이더)라는 단어는 RAdio Detection And Ranging(무선탐지와 거리측정)의 약어이다. 레이더는 전파를 사용하여 표적의 존재를 감지하고 거리를 측정한다 (그림 1-1).

1. 역사

전파가 물체에 맞아 반사된다는 것은 100년도 전에 처음 언급되었다. 1903년 독일에서는 전파의 반사를 활용하여 해상에서 배를 탐지할 수 있다는 것을 보여주기 위한 실험이 진행되었다 (그림 1-2). 1922년에는 마르코니도 영국에서 같은 아이디어를 제시했지만 공식적인 관심은 거의 받지 못했다. 이러한 초기 실험들에서는 지속파(CW파)를 전송한 뒤 표적으로부터 반사되는 신호에 의존해 표적의 존재를 확인했다. 지속파 전송은 물체의 존재를 감지할 수 있으며, 전파를 좁은 빔으로 만들어 전송할 경우 방위 정보도 제공할 수 있다. 그러나 지속파는 거리 정보는 제공하지 못한다.

1. 거리 정보를 제공하지 못하는 것은 심각한 한계였지만, 펄스들을 엮은 펄스열로 송신하도록 전파 송신을 조절함으로써 문제를 해결했다 (그림 1-3). 펄스 송신 시간과 수신기가 받은 반사신호 수신 시간의 차이는 거리를 직접 측정할 수 있게 해준다. 펄스 레이더의 실질적인 개발은 1930년대에 시작되었으며, 주로 미국, 영국, 독일에서 이루어졌다. 영국은 독일과의 관계 악화와 침략 위협으로 인해 펄스 레이더 개발에 박차를 가했다. 이러한 노력은 체인 홈 시스템(Chain Home System)을 이루는 다중 레이더 스테이션의 개발과 배치 때 절정에 달했다. 이 레이더들은 영국 전투 당시 독일군 폭격기 편대의 규모와 위치 정보를 영국 조종사들에게 제공하는 역할을 했다.
2. 체인 홈 시스템은 첫 번째 통합 방공망 시스템, IADS로 간주된다. 레이더 개발은 군과 민간 영역에서 오늘날까지도 꾸준히 이어지고 있다.

3. 표적 판별

사람의 눈보다 뛰어난 레이더의 고유한 장점 때문에 레이더는 군 및 민간 영역에서의 광범위하게 사용된다 (그림 1-4). 레이더는 사람의 눈보다 더 멀리 볼 수 있고 물체까지의 거리를 정확하게 측정할 수 있다. 레이더는 날씨와 상관없이 잘 작동하며 연기, 안개, 구름에 거의 영향을 받지 않는다. 게다가 레이더는 햇빛이나 주변 방사선 등에 의존하지 않고 자체적으로 에너지를 방사할 수 있기 때문에 24시간 운용할 수 있다. 사람의 눈과 비교하여 몇 가지 단점도 있다. 먼저 레이더는 사람의 눈만큼의 해상도가 없다. 레이더는 항공기의 존재만 탐지할 수 있는 반면, 사람의 눈은 모양, 크기, 색상, 심지어 항공기 동체의 표식까지도 아주 상세하게 구별할 수 있다. 만약 교전 전에 이러한 정보들이 필요할지라도 레이더는 이를 제공하지 못한다.

두 번째 단점은 사람의 눈은 클러터라고 불리는 원치않는 반사신호의 영향을 받지 않는데 반해 레이더는 종종 영향을 받는다는 것이다. RF(무선 주파수) 에너지를 반사하는 가장 좋은 반사체는 금속이지만 거의 모든 물질이 RF 신호의 일부를 반사할 수 있다. 산, 나무, 건물, 빗방울, 새, 채프 등이 모두 RF 에너지를 반사한다. 레이더 시스템은 표적 판별자들을 활용하여 클러터로부터 원하는 표적을 분리해 내야 한다. 이러한 표적 판별자들은 거리, 속도, 그리고 각도이다 (그림 1-5).

1. 첫 번째 표적 판별자는 거리이다. RF파가 표적으로 이동하고 다시 레이더로 돌아오는데 걸리는 시간을 통해 해당 표적에 대한 거리를 측정할 수 있습니다. 우리는 RF 에너지가 빛의 속도인 초당 3X10^8미터로 이동한다는 것을 알고 있습니다. 표적의 거리는 기초적인 레이더 거리 공식(공식 1-1)을 통해 계산할 수 있다. 이 공식에서 표적의 거리는 측정 시간 곱하기 빛의 속도 나누기 2로 구할 수 있다.
2. 표적 각도 판별은 레이더 시스템의 또 다른 중요한 능력이다. 레이더 시스템이 표적을 탐지하기 위해서는 RF 에너지를 송수신 하는 동안 안테나가 표적을 향하고 있어야 한다. 각도를 정확하게 측정하는 레이더 시스템의 능력은 안테나의 수평 빔 폭에 의해 좌우된다. 만약 레이더가 진북(true North)을 기준으로 빔을 방사한다면 표적으로부터 반사되어 돌아오는 신호의 각도는 진북에 대한 상대 각도로서 측정할 수 있다.
3. 속도 판별은 지속파와 펄스 도플러 레이더만의 고유한 능력이다. 지속파 레이더의 송신기는 RF 신호를 특정 주파수에 맞춰 지속적으로 방사한다 (그림 1-7). 이 때 움직이는 표적에 맞고 반사되어 돌아오는 신호는 주파수가 변화되거나 천이되어 있다. 도플러 효과라고 불리는 이 주파수 변화를 통해 레이더를 기준으로 표적의 상대 속도를 측정할 수 있다. 수신기는 주파수의 변화량을 측정하여 속도를 알아낸다. 펄스 도플러 레이더는 도플러 효과를 측정하는 동시에 거리 정보도 얻을 수 있다.
4. 기본적인 펄스 레이더 시스템은 송신기, 안테나, 수신기 및 타이머로 구성된다 (그림 1-8). 송신기는 RF 에너지를 안테나에 보낸다. 그러면 이 에너지는 대기를 통해 방사된다. 만약 이 RF 에너지가 항공기, 선박, 또는 지구와 같이 특정 물체에 부딪힌다면 RF 에너지의 일부가 안테나로 반사되어 돌아오며 수신기에 의해 처리된다.

그 반사신호를 에코라고 하며, RF 에너지가 부딪힌 물체를 표적이라고 한다. 에코가 존재한다는 말은 표적을 탐지했다는 것이다. 만약에 탐지된 표적이 원하는 표적이라면, 에코는 표적 신호라고 불리게 된다. 만약 에코가 지면과 같이 원치 않는 물체로부터 왔다면 에코는 클러터라고 불리게 된다. 클러터라는 말은 원치않는 에코가 원하는 표적의 탐지를 어렵게 만들 수 있다는 점에서 꼭 맞는 단어이다. RF 에너지를 집중시키는 안테나의 능력은 레이더의 각도 판별 능력에 영향을 미친다. RF 송신과 표적 에코 수신 간의 시간을 재는 타이머의 능력은 레이더의 거리 판별 능력에 영향을 미친다. 표적 에코로부터 도플러 주파수 변화를 분석하는 수신기의 능력은 레이더의 속도 판별 능력과 클러터 제거 능력을 좌우한다.

4. 통합 방공 시스템(IADS) 소개

레이더 시스템은 항공 표적의 정확한 거리, 방위, 그리고/또는 속도 정보를 측정하는 능력을 가지고 있다. 레이더 시스템은 어떤한 날씨에도, 밤낮으로, 그리고 인간의 눈이 표적을 탐지할 수 있는 거리를 훨씬 벗어나는 거리에서 이러한 정보를 제공할 수 있다. 군 지휘관들은 레이더 시스템을 배치하여 방공망을 구축함으로써 레이더의 이점들을 활용하고자 했다. 이러한 방공 레이더 시스템의 주요 임무는 공격 경보와 위협 교전이다.

1. 공격 경보를 제공하기 위해 특별히 고안된 레이더 시스템을 조기 경보(Early Warning) 레이더라고 한다 (그림 1-9). 조기 경보 레이더들은 고출력, 대형 안테나, 낮은 주파수라는 특징을 가지고 있다. 이 특징들로 인해 조기 경보 레이더는 표적에 대해 정확도가 높지 않은 정보를 제공한다. 장거리 탐지 및 가능한 빠른 공격 경보를 통해 조기 경보 레이더는 방공 시스템 위한 첫 번째 방어선 역할을 한다.
2. 표적 교전 정보를 제공하기 위해 고안된 레이더 시스템들은 지상 요격 관제 레이더(GCI), 획득 레이더(acquisition), 표적 추적 레이더(TTR), 그리고 공중 요격(AI) 레이더들이다.
3. 지상 요격 관제 레이더(GCI)는 아군 항공기에게 적 항공기의 거리, 방위, 고도 정보를 충분히 높은 정확도로 제공하여 적 항공기를 요격하고 파괴하는 것을 돕는다 (그림 1-10). 해당 정보를 제공하기 위해 조기경보 레이더와 고도 탐지 레이더를 함께 사용할 수 있다. 이 두 레이더의 조합을 지상 요격 관제 사이트라고 한다. 신형 지상 요격 관제 레이더는 위상 배열 안테나와 도플러 처리능력을 갖추고 있으며 3차원 표적 정보를 제공할 수 있다. 3차원의 표적 정보를 제공할 수 있고 이 정보를 항공 자산에 전달할 수 있는 통신 장비를 갖춘 레이더 시스템 혹은 레이더 시스템들의 조합은 지상 요격 관제 사이트의 역할을 수행할 수 있다. 지상 요격 관제 레이더 시스템은 조기 경보 레이더를 보완하여 치명적인 공격 경보를 제공한다.
4. 획득 레이더 시스템(Acquisition)은 지상 무기체계의 표적 추적 레이더(TTR)를 위한 지상 요격 관제 레이더 역할을 하도록 설계되었다. 획득 레이더 시스템은 일반적으로 조기 경보 레이더보다 짧은 거리 탐지 능력을 가지며 더 높은 주파수를 사용한다. 이러한 레이더 시스템은 표적 추적 레이더에 표적의 정확한 거리 및 방위 데이터를 제공하여 교전을 돕는다. 획득 레이더는 별개의 레이더 시스템일 수도 있고(그림 1-11) 표적 추적 레이더의 일부일 수도 있다 (그림 1-12).
5. 방공 시스템을 지원하는 표적 추적 레이더의 주요 역할은 사격 통제 컴퓨터(Fire control)에 지속적이고 정확한 표적 정보를 제공하는 것이다. 사격 통제 컴퓨터는 이 데이터를 이용하여 미사일을 유도하거나 대공포(AAA)를 조준하여 적 항공기를 파괴한다. 표적 추적 레이더는 다양한 추적 기술을 사용하여 표적 정보를 계속 업데이트한다. 표적 추적 레이더는 일반적으로 높은 주파수, 좁은 빔폭, 컴퓨터 신호 처리를 활용하여 사격 통제 컴퓨터로 전달되는 표적 정보의 정확도를 높인다.
6. 공중 요격 레이더 시스템(AI)은 전투기에 장착된 표적 추적 레이더로서 적 항공기와 교전하는데 사용된다 (그림 1-13). 이 레이더 시스템은 높은 주파수 사용, 정교한 컴퓨터 처리, 정확한 표적 추적 능력 등을 특징으로 한다. 공중 요격 레이더는 항공 자산이 공대공 미사일이나 기총을을 사용하는 것을 돕는다. 표적 추적 레이더와 공중 요격 레이더는 방공 시스템 중 가장 위험도가 높은 레이더들이다.
7. 방공 시스템과 관련하여 또 다른 치명적인 위협은 적외선 미사일이다. 적외선 미사일은 휴대용(man-portable) (그림 1-14)이거나 차량에 장착되어 있거나, 항공 자산에 탑재되어 사용된다. 이러한 미사일 시스템은 항공기의 독특한 적외선 특성(IR signature)을 따라 유도된다. 최근 적외선 시스템의 확산과 성능 향상은 방공망에 대한 적외선 시스템의 기여도를 높이고 있다.
8. 이 모든 레이더 시스템들은 특정 국가 또는 특정 지역에 방공망을 제공하기 위해 배치될 수 있다. 이렇게 배치된 레이더 시스템들이 지휘통제(C^2) 구조와 통합되면 이를 통합 방공망 시스템, IADS라고 한다 (그림 1-15). 지휘통제 구조는 군 지휘관이 조기 경보 레이더가 제공한 위협 경보를 활용할 수 있게 해준다. 이 위협 경보를 바탕으로 군 지휘관은 공중의 적과 교전하기 위해 특정 자산(지상 요격 관제, 공중 요격 자산, 획득 레이더, 표적 추적 레이더 등)을 할당한다. 이 때 시스템들의 능력과 전술적 상황을 고려하여 자산을 할당한다. 이 할당 과정은 적 항공기와 교전할 때 군 지휘관이 군대의 능력을 최대한 발휘할 수 있도록 한다.

5. 요약

레이더 시스템은 현대 통합 방공 시스템의 토대를 이룬다. 레이더와 적외선 위협 시스템은 전자기 스펙트럼 중 넓은 범위의 주파수 영역에서 운용된다. 각 시스템은 통합 방공 시스템을 지원하는데 필요한 임무를 수행할 수 있는 고유의 능력과 운용특성을 가지고 있다. 현대 전장에서 공군력을 공격적으로 운용하기 위해서는 통합 방공망 시스템을 이루는 시스템들을 무력화해야 한다. 레이더와 적외선 시스템이 어떻게 작동하는지, 그늘의 능력, 한계, 그리고 대응 수단에 대한 기본적인 지식은 해당 시스템을 물리치는 열쇠이다. 이 책의 목적은 그 지식을 제공하는 것이다.

챕터 2. RF 방사 특성

1. 소개

레이더 시스템이 거리, 방위, 고도, 또는 속도 데이터를 얻기 위해서는 전자기 방사신호를 송수신해야 한다. 이 전자기 방사신호를 RF 방사신호라고 한다. RF 송신에는 표적 반사 신호의 특성을 분석하여 표적 정보 데이터를 제공할 수 있는 레이더의 능력과 한계를 결정하는 요소들이 있다. RF 송신 에너지의 주파수는 표적 반사 신호를 분석하여 표적의 거리를 측정하는 레이더 시스템의 능력에 영향을 준다. RF 주파수는 또한 방위 및 고도 정보를 얻기 위해 송신 안테나가 RF 에너지를 집중하여 좁은(narrow) 빔을 만들어내는 능력에도 영향을 준다. 송신 RF 에너지의 파장과 주파수는 대기 중으로 날아가는 레이더 신호의 전파 특성에도 영향을 미친다. RF 신호의 극성은 레이더가 다뤄야 하는 클러터의 양에 영향을 준다. 레이더 반사 신호를 분석해서 도플러 효과를 측정하는 레이더 신호의 능력은 레이더의 속도 측정 능력에 영향을 준다. RF 방사신호의 이러한 특성들을 이 챕터에서 논의하고자 한다.

1. 주파수

일반적인 무선 시스템 또는 레이더 시스템의 출력 신호는 해당 시스템의 능력과 한계에 영향을 주는 중요한 특성들을 가지고 있다. 첫 번째 특성은 RF이다. 송신 신호의 주파수는 RF 에너지가 1초 동안 완성한 사이클의 횟수를 말한다. 그림 2-1의 RF신호는 초당 1 사이클의 주파수를 보여준다. 주파수의 기본 측정 단위는 헤르츠(Hz)이다. 1 헤르츠는 초당 1 사이클이다. 대부분의 레이더는 수백만 헤르츠 혹은 메가헤르츠(MHz) 단위의 RF를 가지고 있다.

1. 파장

또 다른 특성은 파장이다. 파장은 외부로 방사된 신호의 사인파에서 두 개의 봉우리(peak) 간의 물리적인 거리를 말한다 (그림 2-2).

파장의 측정에는 미터 단위를 쓰지만 대부분의 레이더 신호는 센티미터 또는 밀리미터의 파장을 가지고 있다. 레이더 신호의 파장은 수식 2-1을 이용하여 계산할 수 있다. 파장과 주파수는 서로 반비례한다. 주파수가 높을수록 파장은 짧다. 초기 무선 및 레이더 용어에서는 시스템의 작동 특성을 설명할 때 주파수가 아니라 파장이 주로 쓰였었다. 오늘날에는 파장은 밀리미터파나 적외선 시스템 등을 이야기할 때 사용된다.

1. 극성(Polarization)

RF파의 또 다른 특성은 극성이다. 극성은 레이더 안테나에 의해 결정되며, RF파가 공간을 통해 나아갈 때의 방향을 말한다. 극성에는 선형과 원형, 두 가지 종류가 있다.

1. 이동하는 전자기 에너지는 두 가지 요소를 가지고 있다. 이는 정전기장(electrostatic field)과 자기장(magnetic field)이다. 이 두 장은 항상 서로에게 수직이며 진행 방향에 대해서도 수직이다. RF파의 극성은 정전기장의 방향으로 결정된다. 많은 수의 레이더 안테나는 수직 또는 수평방향으로 선형 편파되어 있다. 그림 2-3의 신호는 수직으로 편파된 신호를 보여준다.
2. 일부 레이더는 우천 시 표적 탐지 능력을 높이기 위해 원형 편파를 사용한다. 원형 편파는 오른쪽 방향일 수도 있고 왼쪽 방향일 수도 있다. 원형 편파의 경우 정전기장의 방향은 시간에 따라 변하며 RF파의 진행 방향에 수직인 고정된 평면을 중심으로 원형 편파를 추적한다. 오른쪽 방향으로 도는 원형 편파 신호의 경우 정전기 벡터가 시계방향으로 도는 것처럼 보인다. 왼쪽 방향으로 도는 원형 편파 신호의 경우 반시계 방향으로 돈다. 엄지 손가락을 RF파의 진행 방향을 가르키도록 하고 나머지 손가락을 정전기장의 회전 방향을 따라 쥐면 원형 편파를 시각적으로 볼 수 있다 (그림 2-4).
3. 수신기와 송신기에 대한 극성의 영향은 매우 간단하다. 만약 안테나가 특정 극성을 수신하도록 설계되었다면 반대 방향으로 편파된 신호를 수신하는데 어려움을 겪게 될 것이다. 이러한 상황을 교차 극성(cross polarization)이라고 한다 (그림 2-5).

전자전투에서 교차 극성은 엄청난 영향을 줄 수 있다. 만약 레이더 경보 수신기의 안테나가 수직 편파 신호를 수신하도록 설계되어 있다면 수평 편파 신호를 사용하는 위협 시스템은 탐지되지 않거나 위협 시스템이 항공기를 확실하게 잡은 이후에야 레이더 경보 수신기의 스코프에 나타날 수 있다. 또한 만약 전자 공격 시스템의 재밍 안테나가 수직으로 편파되어 있다면, 수평 편파된 위협을 재밍할 수 없을지도 모른다. 다행스럽게도 이런 치명적인 상황은 거의 발생하지 않지만, 미래의 위협 시스템은 이러한 특성을 이용할 수도 있다. 표 2-1은 송신기와 수신기 안테나의 극성에 따른 영향이 자세히 설명되어 있다.

5. 도플러 효과

“도플러 효과”는 레이더를 기준으로 상대적으로 움직이고 있는 표적에 반사되어 돌아온 RF파의 주파수가 변화하거나 이동한다는 사실을 이용한다. 돌아온 RF파의 주파수 변화량은 표적 항공기의 움직임에 의해 결정된다. 그림 2-6, 2-7, 2-8에서 f0는 레이더의 송신 주파수이고 ft는 표적에서 반사된 RF파의 주파수이다. 정지된 표적의 경우 반사된 신호의 주파수는 송신한 신호의 주파수와 같다 (그림 2-6).

1. 레이더 쪽으로 이동하는 표적에 대해서는 반사된 신호의 주파수가 송신 신호보다 높을 것이다 (그림 2-7).
2. 레이더에서 멀어지는 표적에 대한 반사 주파수는 송신 주파수보다 낮을 것이다 (그림 2-8).

6. 전자기 스펙트럼

오늘날의 전자 전투 시스템들은 전파(radio wave)부터 시작하여 마이크로파, 적외선, 그리고 적외선의 일부 영역을 포함한 전자기 스펙트럼의 범위(그림 2-9)를 처리할 수 있어야 한다. 통신 시스템은 일반적으로 HF, UHF 및 VHF 영역에서 작동한다. 일부 위성 통신은 SHF 영역에서 작동한다. 레이더는 보통 0.2~200 기가헤르츠(GHz)의 마이크로파 영역에서 작동한다. 적외선 시스템은 가시광선 바로 아래 영역에서 작동한다.

1. 표 2-2는 과학적 표기법과 그 약어를 나타내기 위해 일반적으로 사용되는 접두사 목록이다. 이러한 접두사들은 극도로 높은 주파수의 레이더 신호 또는 극도로 작은 파장의 RF파를 다룰 때 주로 사용된다. 예를 들어 극도로 높은 주파수의 RF를 다룰 때 기가헤르츠, 즉 GHz를 사용하는 것이 간단하다. 1 기가헤르츠는 1000 메가헤르츠(MHz)이다. 예를들어 3150MHz에서 작동하는 레이더는 3.150GHz에서도 작동한다.
2. 주파수 대역은 레이더와 전자 전투 시스템을 논할 때 자주 사용된다. 레이더 설계자는 전자 전투에서 사용되는 것과 전혀 다른 주파수 밴드 구분을 사용한다. 표 2-3은 각각의 주파수 밴드 구분을 보여준다.

7. RF 전파

RF 에너지의 전파 특성은 지구의 표면과 대기 조건에 크게 영향을 받는다. 레이더 성능 분석은 반드시 “실제" 환경에서 RF 방사와 관련된 현상들을 고려해야 한다. 가장 중요한 전파 현상으로는 굴절, 비정상적인 전파(빔 갇힘), 감쇠 등이 있다.

1. 진공 상태에서 RF파는 직선으로 이동한다. 그러나 지구 대기 내에서 이동하는 RF파는 일직선으로 이동하지 않는다. 지구의 대기는 RF파를 휘게하거나 굴절시킨다. RF파의 대기 굴절로 인한 영향 중 하나는 레이더가 볼 수 있는 거리(line of sight)가 증가한다는 것이다. 이렇게 증가된 거리는 효과적으로 레이더 시스템의 사정거리를 늘려준다 (그림 2-10).

RF 에너지의 대기 굴절은 또한 레이더 시스템의 고도 측정 에러를 유발하기도 한다 (그림 2-11).

1. 대기 중 RF파의 굴절은 고도별로 다른 전파 속도에 의해 발생한다. 굴절률 (n)은 이 속도 변화를 설명하는데 사용되며 공식 2-2에 정의되어 있다.
2. 굴절도(N)라는 용어는 굴절이 RF파 전파에 미치는 영향을 예측하는데 사용된다. 굴절도는 굴절률에서 단위를 높인 것이며 실제 레이더 시스템에 대한 굴절의 영향을 계산하기 위해 레이더 설계자들이 사용한다. 일반적인 레이더 작동 주파수에서 수증기가 포함된 공기의 굴절도는 공식 2-3을 사용하여 계산할 수 있다.
3. 고도가 높아지면 기압과 수증기가 급격히 줄어든다. 동시에 절대 온도는 기온 감률에 따라 천천히 내려간다. 이를 공식 2-3에 대입해 보면 대기의 굴절도는 고도가 높아질수록 감소한다는 것을 알 수 있다. 이러한 굴절도의 감소는 RF파의 속도가 고도가 높아질수록 증가한다는 것을 의미한다. 그 결과 그림 2-10과 같이 RF파가 아래로 휘거나 굴절된다. RF파의 굴절은 주로 안테나의 고도각이 낮아 수평선에 가까운 지상 레이더 시스템들에 주로 영향을 미친다. 레이더를 사용하는 대부분의 시스템은 고도각이 5도 이상으로 굴절이 주요한 요인이 되지 못한다.
4. 비정상, 또는 비표준 전파라는 용어는 RF파의 전파 거리를 늘려 레이더의 사정거리를 늘리는 대기 조건을 말하는데 사용된다. 가장 흔한 비정상적 전파 현상은 초굴절 또는 빔 갇힘(ducting)이라고 불린다.
5. 초굴절 빔 갇힘 현상은 대기의 굴절도가 고도가 증가할 때 급격하게 감소하여 발생한다. 공식 2-2에 따르면 이는 고도에 따라 온도가 상승하거나 수증기 함량이 고도에 따라 감소할 때 발생한다. 고도가 증가할 때 온도가 증가하는 것을 기온 역전이라고 한다. 빔 갇힘을 만들어내려면 기온 역전 현상이 매우 뚜렷해야 한다.
6. 초굴절 빔 갇힘은 RF파를 가두는 도파관 역할을 한다 (그림 2-12). 그러면 레이더 신호가 그 안을 따라 움직이고 감쇠는 줄어든다. RF파가 빔 갇힘 안에서 전파되려면 빔 갇힘 구역에 대한 레이더 신호의 각도가 1도 미만이어야 한다. 빔 갇힘 현상이 일어난 RF파는 굴절도의 감소를 이용하여 정상적인 경우보다 더 멀리 이동한다. 이는 레이더 시스템의 사정거리를 크게 확장한다.