



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학 석사 학위논문

레이더 반사강도를 이용한
강우 감쇠특성 분석



2007년 8월

부경대학교 산업대학원

정보통신공학과

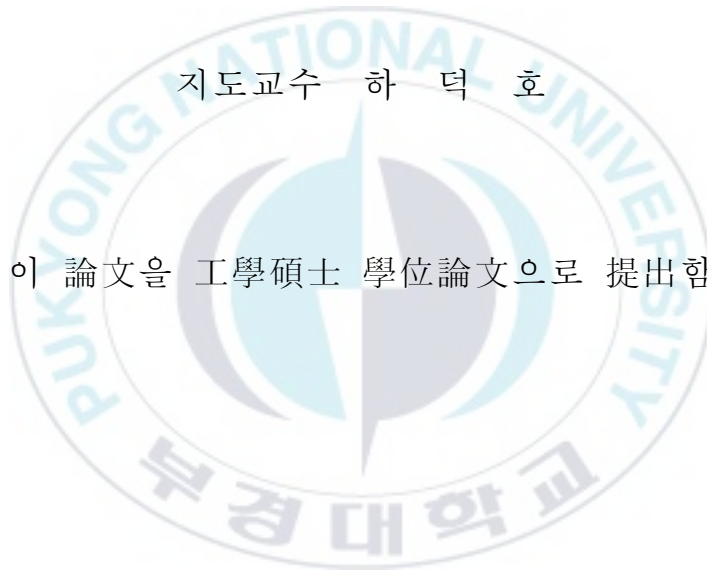
황 윤 재

공학 석사 학위논문

레이더 반사강도를 이용한 강우 감쇠특성 분석

지도교수 하 덕 호

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



2007년 8월

부경대학교 산업대학원

정보통신공학과

황 윤 재

이 논문을 황 윤 재의 공학석사
학위논문으로 인준함

2007년 7월 13 일



주 심 공학박사 윤 종 락 (인)

위 원 공학박사 김 성 운 (인)

위 원 공학박사 하 덕 호 (인)

목 차

제 1 장 서 론

1.1 기상레이더	1
-----------------	---

제 2 장 기상레이더시스템 구성

2.1 송·수신기	4
2.2 안테나	8

제 3 장 기상레이더 원리

3.1 레이더 신호	13
3.2 펄스반복주파수와 유효관측거리	19
3.3 레이더 방정식	22

제 4 장 레이더반사도를 이용한 신호파 감쇠특성 조사

4.1 레이더전파 감쇠특성	28
4.2 반사강도를 이용한 감쇠특성	37

제 5 장 결 론

	50
--	----

참고문헌	51
------------	----

Analysis on characteristics of rainfall attenuation by using radar
reflectivity(intensity)

Yun-Jae Hwang

Major : Electronic computer and IT engineering
Graduate School of Industry, Pukyong National University

Abstract

The weather radar is the weather devices that observes the meteorological targets, forecasts the precipitation by detecting and tracking the precedent events before bad weather, and produces the wind field with the Doppler effects, by using the electronic waves. Currently, Korea Meteorological Administration is operating the weather radar in C-band, S-band and X-band frequency band for the research purpose. Besides Korea Meteorological Administration, Korean and U.S. Air Force, Ministry of Construction & Transportation and Korea Aerospace Research Institute are also operating the weather radar. It was possible to only detect the precipitation such as rainfall or snow with the first weather radar. But now as it enables to observe the wind with the Doppler effects to directly know the air current, it is used as the important weather data observation for mid-size weather, typhoon, cloud physical study, flood warning and safe aircraft service.

The electronic waves from the weather radar computerizes the moving speed and reflectivity intensity, by using the reflective waves dispersed and returned by the meteorological targets. weather. The short electronic pulse used by weather radar detects the reflectivity intensity by detecting the weak signals returning from the meteorological target

during the time between the pulses. Therefore, it is possible to measure the radial velocity by using the changes in phase difference between the pulses. The attenuation of the radar waves is mainly caused by the dispersion and absorption of the vapor, oxygen gas, rain drop or solid state of particles. The attenuation by the air gas is normally ignored because the amount is very small while the attenuation by the solid particles is much bigger than that by the gas. In other words, the attenuation is the most influenced by raindrops and the degree of attenuation is influenced by the particle diameter and its relation to the wave that is the subject of target. Likewise, the weather radar analyzes the characteristics of particle in the air with the pulse waves, and tracks on the sudden meteorological status and typhoon such as heavy rain, hail, falling of thunderbolt, for the short-time weather forecast.

This paper uses the two weather radars that use different wave bands, in order to analyze the characteristics of attenuation and reflectivity for air particles and to interpret the attenuation degree for the rainfall amount.

In the result, the electronic energy in the air loses its energy because of the absorption and dispersion. It was possible to derive the attenuation coefficient by combining the loss caused by these two factors. The radar for the field measurement purpose used the wavelength between 5.6cm and 10cm, with the quantitative observation. As the system contained the processor, it was possible to amend the data by applying the amending coefficient. The result is summarized as follows.

(1) The air gas that makes important influence on the attenuation by absorption is vapor and oxygen. It is possible to ignore the attenuation caused by the dispersion of gas molecules, and to know the attenuation caused by the oxygen in the air was extremely constant between , 3cm and 10cm.

(2) In the result of comparative analysis between the characteristics of attenuation of 10cm wavelength and 5cm wavelength through the rainfall intensity reflectivity visuals using different two wavelengths, it was noted there was differences of about 10~20dBz in attenuation.

제 1 장 서 론

군사용으로 개발된 RADAR는 Radio Detection And Ranging의 약어이며, 초기에는 적군의 상공 침투를 경고하고 대공무기를 통제하기 위한 수단 주로 사용되었다. 이러한 레이더가 기상관측용으로 시도된 것은 1944년 캐나다의 Wilson에 의해서였고, 순수 기상관측 목적으로 도입된 것은 1959년 미국에서 WSR-57 모델인 S-band 기상레이더가 최초이다. 이후 1970년대부터 도플러 기능에 대한 연구가 시작되어 1988년 도플러 기능을 갖춘 WSR-88D 모델이 미국에서 개발되어 미국전역에 설치 운영되므로써 기상레이더의 전성기를 맞게 되었다. 한편, 국내 최초로 기상레이더가 도입된 것은 1969년 서울 관악산에 S-band대역의 레이더 설치운영이 시초이며, 1988년에는 도플러 기능을 갖춘 C-band대역의 레이더로 교체된 바 있다.

기상레이더는 전자기파를 이용하여 기상목표물을 관측하며 악천후 선행현상을 탐지 및 추적하여 강수량을 예측하고 도플러 효과를 이용한 바람장 자료 등을 생산하는 기상장비이다. 현재 기상청에서는 C-band, S-band, 그리고 연구용으로 X-band 주파수대의 기상레이더를 운영중에 있다. 기상청 이외에 우리나라 공군 및 주한 미공군, 건설교통부, 항공우주연구소 등에서도 기상레이더가 운영되고 있다. 초기 기상레이더는 단지 비나 눈등의 강수현상만 탐지 가능했으나 현재는 도플러기능에 의해 바람 관측이 가능하여 기류를 직접 파악할 수 있으므로 중규모 기상이나 태풍, 구름 물리 연구, 홍수정보 그리고 항공기의 안전운항 등에 필요한 중요한 기상데이터 관측용으로 활용되고있다.

기상레이더에서 방사된 전자기파는 기상목표물에 의해 산란되어 되돌아오는 반사파를 이용하여 목표물의 이동속도 및 반사강도를 컴퓨터로 산출해 낸다. 기상레이더에서 사용하는 펄스형태의 짧은 전자기파는 펄스와 펄스 사이의 시간 동안에 기상목표물로부터 돌아오는 미약한 신호를 검출하므로써 반사강도 정도를 알수있으며, 펄스간의 위상차 변화를 이용하여 시선속도(radial velocity)의 측정이 가능하다. 그리고 레이더파의 감쇠는 대기중의 수증기나 산소 기체, 우적이나 고체성 입자들에 의한 산란 및 흡수에 의하여 감쇠가 주로 일어난다. 대기기체에 의해 산란되는 양은 아주 적고 대기중의 우적이나 고체입자에 의한 감쇠는 기체에 의한 것 보다 훨씬 크기 때문에 대기기체에 의한 감쇠는 통상 무시된다. 즉 감쇠에 가장 심한 영향을 주는 것이 우적에 의한 것이며, 감쇠정

도는 목표물의 대상이되는 입자의 직경과 파장과와의 관계에서 영향을 받는다. 이처럼 기상레이더는 레이더 펄스파에 의해 대기중의 입자 특성을 분석하여 주로 호우, 우박, 낙뢰 등 돌발적인 기상현상과 태풍을 추적하여 주의보, 경보 등 단 시간 예보에 활용한다.

제 2 차 세계대전(1939-1945) 직전에 개발되었다. 전쟁 기간 동안 지상용 레이더와 항공기용 레이더가 급속도로 발전되어 군사 활동에 없어서는 안될 속명적인 장비가 되었고, 1945년 이후에는 추가로 항공교통 통제에 필수적인 역할을 하게 되었다.

원래 긴 파장(10cm 이상)의 전자기파는 대개 기상 상태에 영향을 받지 않지만, 레이더 파장이 그 이하가 되면 최대 관측범위내에서 기상 목표물로부터 반사가 일어나는 것이 명백하게 되었다. 최근에는 기상목적이 아닌 레이더에 특수 회로를 부가하여 기상 목표물의 영향을 제거하는 경우도 있다.

1945년 경, 기상학자들은 10cm 또는 3cm 파장을 가진 여분의 레이더를 얻어 연구를 할 수 있게 되었다. 그들은 이 레이더들이 다른 수단에서는 얻을 수 없는 데이터를 제공해 주는 새로운 관측 도구라는 것을 깨닫게 되었다. 각국의 많은 연구원들은 기상 목표물로부터 일어나는 반사 현상의 이해, 레이더 자료의 기상 정보로의 변환 및 현업 목적에 레이더 시스템이 활용되는 방법상의 고려 등에 목적을 두고 많은 프로그램을 수행하였다. 1950년대와 1960년대에는 많은 나라에서 뇌우와 저기압을 탐지하여 추적할 목적으로 항공이나 해양 레이더와 다소 다른 기상 레이더를 실용적으로 활용하기 시작하였다. 이 레이더는 주로 공항이나 폭풍 다발 지역에 설치되었다. 관측 결과에 대한 경보성 정보가 항공기에 통보되었고, 때로는 지역 기상관서와 국민들에게도 통보되었다. 레이더 관측 정보는 다른 기상관측 자료와 더불어 예보 생산을 위해 활용되었다. 탐지된 강수의 강도를 결정할 수 있는 설비가 추가되므로써 레이더는 정보 제공 차원을 넘어 기상 데이터를 제공하기 시작하였다.

한편, 연구원들은 충분한 정확성을 가지고 기상학자와 수문학자들에게 사용될 수 있는 정량적인 강수 측정치를 어떻게 하면 결정할 수 있을까 궁리하게 되었다. 또한 연구원들이 관심을 가진 것은 아날로그 값을 디지털값으로 변환시키는 것이다. 비록 컴퓨터가 이미 보급되어 있어서 이 문제를 해결하기 위한 수많은 노력이 있었지만, 데이터의 양이 너무 많고 변환 처리가 너무 느려 독립된 현상만을 처리하는 정도에 그쳤다.

1960년대 후반 고속의 소형 컴퓨터가 개발되면서 레이더의 활용 면에서도 급진전을 보게 되었다. 즉 레이더로 실시간 처리된 강수량 데이터가 생산되었다. 그러나 데이터의 정확성을 높이거나 향상시킬 수 있는 수단을 강구하기 위한 많은 노력이 필요하였다. 이러한 노력은 지금까지 여전히 계속되고 있지만, 많은 국가에서는 레이더로 처리된 데이터가 홍수 정보 목격이나 또는 수자원 관리에 유용하다는 것이 증명되었다. 현재는 여러 레이더로부터 관측된 데이터를 모아 합성 자료를 만들거나 또는 레이더와 위성 자료 혹은 다른 관측 자료와 조합하는 기술이 이미 개발 실용화되었다. 이와 같은 여러 자료를 이용하여 강수량과 강수시간에 대한 단시간 예측기술이 개발되고 있거나 이미 실용화한 국가도 있다. 단일 레이더나 또는 여러 레이더로부터 합성된 데이터는 칼라 모니터에 쉽게 표출시킬 수 있고, 칼라 인쇄할 수 있으며 기상모델이나 수문 모델에 사용되기 위해 다른 컴퓨터로도 전송될 수 있다. 데이터는 포착 영역에 대해서 총강수량의 형태로 출력할 수 있다. 데이터는 디지털 형태이므로 아주 먼 거리까지 보내져 표출시킬 수 있고, 다른 형태로 처리될 수도 있다. 대기의 구조를 이해하는데 아직 많은 과제가 남아 있는 현 시점에서 보면 레이더는 수십년 동안 그랬듯이 앞으로도 지대한 관심과 노력으로 발전될 것은 틀림 없다.

본 논문에서는 기상레이더 펄스파의 대기입자에 대한 감쇠 및 반사특성에 대한 기본원리를 바탕으로 서로 다른 두 파장대를 사용하는 기상레이더들로부터 반사강도를 이용하여 강우량에 따른 감쇠정도를 분석하였다. 제2장에서는 기상레이더의 일반적인 사항과 레이더시스템의 구조를 다루었으며 제3장에서는 레이더파의 송신으로부터 반사신호를 전력단위로 수신하여 시스템 내부적으로 단위환산을 통해 반사강도를 추정해 내는 기상레이더의 원리를 다루었다. 마지막으로 4장에서는 실질적인 두 파장대의 레이더를 이용하여 강우량에 따른 동일 지점의 반사강도를 비교하여 감쇠특성을 분석하였으며 제5장에서 결론을 맺는다.

제 2 장 기상레이더시스템 구성

2.1 송·수신기

레이더 송신기는 고출력의 마이크로파를 생성하여 고주파 펄스 신호로 바꾸어 주는 역할을 하며, 마이크로파를 생성하는 송신관으로는 마그네트론과 클라이스트론이 사용되고있다.

마그네트론은 양극(anode), 음극(cathode), 공동(cavity), 반응공간, 출력단자로 구성되어 있으며, 발진 진동수는 양극으로부터 형성되는 공진진동수에 의해 결정되며 외부로부터 진동수를 제어할 수 있는 가변 진동수형과 제어할 수 없는 고정 진동수형이 있다.

클라이스트론에서는 전자 빔이 두 개 또는 그 이상의 공동을 통과하게 되며 첫 번째 공동은 고주파 입력을 받아들이고 전자 빔을 고밀도 영역으로 묶어 변조시켜 집속하게 된다.

집속된 전자 빔은 다음 공동으로 들어가게 되므로 더욱더 전자빔 집속을 강화시키게 되고 캐비티에서 크게 증폭시켜 고주파 전력을 생성하게 된다.

클라이스트론은 수 MW의 첨두전력을 발생시키며, 높은이득, 높은 첨두출력, 양호한 효율을 얻을 수 있는 반면에 진동수 대역폭이 좁고 높은 동작전압을 필요로 하는 결점이 있다.

기상레이더에서 이용되는 송신관의 첨두출력은 200kW~850kW이며 기상목표물에 의해 흡수 및 산란되어 돌아오는 수신신호는 많은 감쇠현상에 의해 미약한 신호로 수신되어진다.

미약한 신호를 수신한 수신기는 슈퍼헤테로다인(superheterodyne)방식으로 수신된 신호의 전자기파를 낮은 중간주파수로 변환하여 증폭·검파를 통해 얻고자 하는 신호를 분리해낸다.

마그네트론의 경우 발진 진동수가 시간이 경과함에 따라 변화게 되어 국부발진기의 진동수를 자동으로 조정하는 진동수자동제어기가 필요하지만 클라이스트론의 경우에는 위상이 일정하여 신호 진동수를 분배 또는 체배하여 사용하기 때문에 진동수자동제어기가 필요가 없다.

기상레이더의 송·수신기는 하나의 안테나에서 송신과 수신을 하게되므로 서큘레이터(circulator)라는 송·수신 절환스위치에 의해서 송신과 수신을 반복하게 된다.

레이더의 최대탐지거리를 산출하기 위해서는 미약한 반사파 신호를 포착하기 위한 레이더 수신기의 능력을 알아야 한다. 레이더 수신기는 항상 잡음을 동반한다. 실제 미약한 신호를 검출하는 능력을 최소수신감도(MDS: Minimum Discernible Signal)이라고 하며 단위는 dBm이다. 일반적으로 기상레이더 수신기 감도 전력과 감도는 각각 약 10^{-13} Watt와 -105dBm 이다. 레이더 수신기의 최소수신감도는 통계적 신호의 검출 방식에 따라서 그 값이 달라진다. 신호의 존재 여부는 수신기 출력에 잡음보다 신호레벨이 보통 1 dB 이상을 넘었을 때만 신호가 존재하는 것으로 판정하는 임계치검출 방식을 사용한다. 이러한 잡음은 항상 일정하지 않으므로 문턱값 레벨을 넘는지의 여부는 확률적 통계적으로 나타낸다.

최소수신감도는 잡음전력에 비례하기 때문에 잡음전력을 낮게하지 않으면 신호 전력을 검출할 수 없다. 따라서 레이더 수신기의 성능은 신호대잡음비를 높게 하는 데에 있다. 잡음 중에서 신호를 탐지하는 데 필요한 최소수신감도는 잡음에 비례해서 증대해야 하고, 또 잡음전력은 통과 진동수대역폭에 비례하여 대역폭은 펄스폭에 반비례 한다. 잡음이 없다면 아무리 작은 신호라도 증폭해서 감지할 수 있지만 실제로는 반드시 잡음이 존재하므로 신호는 잡음보다 크지 않으면 검출할 수가 없다. 잡음과 신호 정보가 혼합된 상태에서 레이더 신호를 잡음으로부터 분리해서 증폭하는 것이 레이더 수신기의 역할이다.

잡음에는 안테나를 통하여 들어오는 외래 잡음과 수신기 자체에서 발생하는 고유한 내부 잡음이 있다. 절대온도 0° K보다 큰 온도에서 전자운동에 의하여 수신기 내에 항상 생성되는 수신기의 고유잡음으로서 내부 잡음은 열요란잡음과 전자방출이 항상 균일하지 않고 불규칙하게 요동하기 때문에 나타나는 산탄 잡음등이 있다. 이 중에서 열요란잡음이 제일 크다. 열을 발생하는 전자회로인 레이더 수신기에서 발생하는 내부 잡음과 외부로부터 피할 수 없는 외래 잡음 관계를 잡음지수(noise figure)라고 한다. 레이더 수신기의 대역폭은 입력되는 레이더 펄스를 처리할 수 있을 정도로 충분히 넓어야 하지만 이와 반대로 수신기를 통해서 들어오는 잡음과 간섭 신호를 감소시키기 위해서는 가능한 대역폭을 좁게 해야 한다. 레이더 수신기는 입력 신호 파형보다 넓은 중간진동수 대역폭을 가져야 하며 진동수혼합기의 잡음지수는 만족할 만한 범위 내에 있어야 한다. 슈퍼헤테로다인 방식에서 낮은 중간진동수를 선택하면 진동수혼합기와 국

부발진기에서 유기되는 잡음의 영향이 많아지고 이와 반대로 중간진동수가 높아지면 중간진동수증폭기로부터 잡음의 영향이 많아진다. 중간진동수는 영상 출력을 얻기 위한 검파기 다이오드에 적용되기 전 다른 증폭기들에 의해 증폭된다. 필요한 대역폭에 대한 일정한 응답을 제공하기 위하여 연속적인 중간진동수 단계는 파상동조 된다. 즉 중심 대역의 양쪽에 상대적으로 약간 다른 진동수로 동조된다. 그 대역폭은 신호의 푸리에 성분을 통과하기 위하여 충분히 넓어야 하지만 잡음을 낮게 유지하도록 제한되어야 한다. 이것은 정합필터에 의해 이루어진다. 송신기의 펄스폭 선택에 의하여 수신기의 중간진동수대역폭은 선택된 펄스폭에 따라 적당하게 전환된다.

송신기의 심장은 무선 주파수(RF : radio frequency)에서 마이크로파 전력을 생성하는 송신관(transmitter tube)이다. 현재 두 종류의 송신관, 즉 마그네트론(magnetron)과 클라이스트론(klystron)이 일반적으로 사용되고 있다. 마그네트론은, RF 진동 주파수가 주로 마그네트론의 내부 구조에 의해 결정되는 일종의 진동관(振動管)이다. 클라이스트론은 보통 전력 증폭기처럼 작동되며, 마이크로파 주파수는 안정된 저전력(低電力) RF 진동자에 의해 생성된다. 클라이스트론 송신기를 사용하는 레이더 시스템의 구조는 그림 3.1과 다소 다르다.

두 종류의 송신관 중에서 어느 쪽을 선택하느냐는 레이더를 활용하는 분야에 따라 좌우된다. 같은 출력에서 마그네트론을 사용하는 송신기는 클라이스트론 송신기 보다 크기가 작다. 따라서 소형의 송신기를 필요로 하는 항공기나 차량에 설치되는 레이더에는 마그네트론 송신기를 주로 사용한다. 클라이스트론 송신기는 마그네트론 송신기 보다 더 안정된 출력 주파수를 생성하며 더 큰 평균 전력을 전달할 수 있다. 도플러 레이더 시스템과 같이 주파수나 위상 변화를 탐지하는 경우에는 주파수의 안정성이 무엇보다도 중요하므로, 이 때는 클라이스트론 송신기가 더 바람직하다.

레이더 시스템의 작동은 송신기에 내장되어 있는 시계장치 또는 동기화 장치에 의해 제어된다. 이 장치는 레이더의 펄스반복주파수(PRF : pulse repetition frequency)를 만드는 비율로 일련의 시간 펄스(트리거 혹은 동기 펄스)를 발생시킨다. 각 펄스는 변조기를 작동시켜 주파수자동조정(AFC : automatic frequency control) 회로를 기동(起動)시켜 표출회로가 초기 상태로 설정되게끔 한다.

변조기는 송신 펄스 사이의 시간에 에너지를 누적하는 에너지 저장용 장치를

포함하고 있다. 변조기가 시간 펄스에 의해 기동될 때 저장된 에너지를 짧은 펄스의 고전압/고전력으로 송신관에 전달한다. 에너지 저장용 장치를 보통 펄스형 성네트워크(PFN : pulse-forming network)이라 부른다. PFN은 에너지를 저장할 뿐만 아니라 송신관으로 전달되는 펄스의 모양도 결정한다. 마그네트론 송신기를 사용하는 레이더에서는 변조기의 펄스 모양이 송신 펄스의 모양을 결정하지만, 클라이스트론 송신기에서는 펄스의 모양이 주진동기(主震器)와 출력 클라이스트론 사이에 있는 중간 전력 증폭기에서 생긴 펄스에 의해 형성된다.

레이더 수신기는 슈퍼헤테로다인(superheterodyne) 형식이다. 전단(front end)이라 부르는 수신기의 첫 단계는 그림에서와 같이 RF 증폭기가 없고 믹서(mixer)가 전단 부분이 되었다. 믹서에는 비선형 소자인 크리스탈 다이오드(crystal diode)가 있어서 RF 에코를 중간주파수(IF : intermediate frequency)라 부르는 저주파수로 변화시키는 역할을 한다. 이와 같이 신호를 다른 주파수로 변환시키는 과정을 헤테로다이닝(heterodyning)이라 부른다. IF 변환을 하는 이유는 저주파수에서 신호를 증폭하기 쉽기 때문이다. 믹서의 IF 출력에는 수신된 RF 신호와 같은 정보가 포함되어 있다.

이와 같은 변환을 원활히 하기 위하여 믹서는 국부발진기(LO : local oscillator)라 부르는 RF 발진기로부터 연속파(CW : continuous-wave) 형태의 신호가 공급된다. 이 발진기로부터 요구되는 전력은 수 mW 정도이며, 송신기 주파수에 가까운 주파수에서 동작된다. 믹서의 출력에는 두 입력 주파수의 합과 차이가 포함되어 있지만, 주파수 차이는 수신기의 IF로 사용된다. 레이더 시스템에 사용되는 IF는 보통 30MHz 와 60MHz 가 있다.

IF 증폭기가 고정 주파수에서 동작하도록 설계되어 있으므로 송신기와 LO 주파수의 차이는 원하는 IF와 같은 일정한 값을 유지해야만 한다. 마그네트론 송신기를 사용하는 레이더에서는 자동제어장치(servomechanism)를 사용하여 올바른 차이를 유지하도록 LO 주파수를 조정한다. 이것을 주파수자동조정(AFC : automatic frequency control) 시스템이라 하며, 송신된 펄스를 샘플링하여 그 주파수를 LO 주파수와 비교하므로써 동작된다. 주파수 차이가 원하는 IF 주파수와 같지 않으면 AFC 시스템은 LO 주파수를 조정하여 올바른 값을 얻는다.

클라이스트론 송신기를 사용하는 레이더에서는 송신기와 LO 사이의 일정한 주파수 차이를 유지하는 헤테로다이닝(heterodyning) 과정에 의해 송신 주파수가 LO 주파수로부터 유도되기 때문에 AFC가 필요하지 않다.

2.2 안테나

송신기의 출력은 펄스형으로 변조된 무선 주파수(RF : radio frequency)의 사인파이므로 대기중으로 발사하려면 안테나가 필요하다. 기상레이더인 경우 안테나부는 초점을 향하는 안테나 휘이드와 포물형의 반사경으로 구성되어있다. 최근의 레이더 안테나의 가장자리 모양은 원형이지만, 과거에는 수직 보다는 수평쪽으로 길거나 혹은 이와 반대되는 모양이 많았다. 어떤 경우에도 안테나의 목적은 방사되는 에너지를 좁은 빔 모양으로 집중시키는 것이다. 휘이드는 점 모양의 에너지를 내며 반사경이 원형이면 이때의 빔은 연필 모양이 되지만, 대기의 아주 작은 부피만을 비추게 되므로 실용적이 못된다. 따라서 약간 퍼지는 빔이 실제로는 바람직하다. 이런 경우 반사경 면에 수직인 축을 따라 최대 강도를 가지며 축을 중심으로 빔의 각도가 클수록 최대 강도는 적어진다.

레이더 전파는 듀플렉서(duplexer)를 통해 도파관(waveguide)이라 불리는 마이크로파 송신관을 따라 안테나로 보내진다. 듀플렉서는 안테나를 송신기와 수신기 사이를 교대로 연결시키는 초고속 전자 스위치이다.

송신기에서 생성된 마이크로파는 안테나를 통해 대기중으로 방사되는데, 안테나는 특수한 목적에 적합하도록 마이크로파를 집중시켜 빔형(beam shape)으로 만들도록 설계되어 있다. 기상레이더의 빔은 연필빔(pencil beam)이라 부르는 좁은 콘(cone) 모양을 취한다. 만약 마이크로파(microwave)인 빔이 대기중의 어떤 물체에 부딪히면 에너지의 일부가 반사되거나 안테나 쪽으로 후방 산란된다. 후방 산란된 파(혹은 레이더 에코)는 안테나에 포착되어 도파관을 따라 듀플렉서를 통과하여 수신기로 들어간다. 송신파와 목표물의 산란 특성과의 상호반응에 따른 변조 형태인 RF 사인파로 변조된다.

목표물의 방향은 에코가 관측될 때의 안테나 방향으로 결정된다. 안테나를 받히고 있는 페데스탈(pedestal)은 각도가 표시되는 장치와 더불어 설치된다. 가장 흔히 사용되는 장치는 안테나의 방위각과 고도각 데이터를 페데스탈로부터 표출부의 표출기로 보내는 전기적 또는 동기 시스템으로 구성되어 있다.

기상레이더의 안테나는 파라볼릭(Parabolic)으로 지향성을 좋게 하는 포물면 반사기와 전자기파를 방사하는 개구부(feed horn), 안테나를 지지하는 페데스탈로 구성되어 있으며 각 주파수대역의 파장에 따라 안테나 직경은 비례한다.

C-band의 경우 안테나 직경은 약 3.6m, S-band의 경우 약 8.6m이며 급전장

치인 feed horn에 의해 에너지원이 방사된다.

송·수신단에서 안테나까지의 급전장치로는 저항손실과 유전체 손실이 적은 직사각형 모양의 도파관이 주로 이용된다.

feed horn에서 방사된 구면파는 안테나 반사면에 의해 반사되어 목표물로 진행하고 수신파는 반사면에 의해 반사되어 feed horn쪽으로 들어오게 된다.

feed horn은 나팔모양으로 생겨서 나팔관이라고 하는데 지향성이 높으며 도파관의 한쪽끝에서 여진시키고 다른 쪽을 개방시키면 도파관을 따라 에너지는 개구단에서 공진으로 방사된다.

도파관 공간이 임피던스 정합이 되어있지 않기 때문에 에너지의 일부가 반사되어 공간으로 방사되지 못하는 것을 방지하기 위해 feed horn을 나팔모양으로 만들어 자유공간에서의 특성 임피던스와 비슷하게 맞춰주므로써 도파관과의 공간을 정합시켜서 전자기파를 복사하게 된다. 레이더 안테나 이득은 20~45dB 정도이며 빔폭은 일반적으로 1.0° 내지 1.2° 로서 최대전력밀도는 빔의 중심선을 따라 존재하고 전력밀도가 1/2되는 곳에서 절반으로 감소하게 된다.

빔폭은 파장에 비례하고 포물면 반사기의 직경에 반비례한다. 빔폭이 작으면 작을수록 먼 거리에서도 단위 부피당 에너지 집중이 유지되고 방위각과 고도 분해능이 증가하게 된다. 포물면 반사기 가장자리에서 전자기 에너지 회절로 인하여 에너지의 약 80%만 절반 전력 레이더 빔에 포함되는데 이 절반 전력 빔을 주엽(main-lobe), 나머지 20%는 다른 방향으로 방사되는데 이것을 부엽(side-lobe)라 한다. 부엽은 절반전력 레이더 빔보다 전력밀도가 낮기 때문에 가까운 거리에서 영향을 미친다. 예로서 레이더안테나로부터 가까운 곳에 산이나 건물 등이 있다면 부엽에 의한 지형물의 반사강도는 기상목표물의 반사강도보다 더욱 강하게 나타나게 된다. 이러한 점을 고려하여 소프트웨어적으로 지형물(지형클러터)를 제거하고 있다.

또한 안테나를 비나, 눈, 강풍으로부터 보호하기 위해 설치해 놓은 레이돔(radom)은 양방향으로 0.5dB 정도의 감쇠현상이 나타나며, 레이돔 표면이 젖을 경우 수막형성으로 인해 전자기파의 흡수와 반사를 증가시켜 약 2~3dB 정도의 신호손실이 생기는 것으로 알려져 있다. 안테나 이득은 목적하는 방향으로 얼마만큼 레이더 빔을 집중하여 방사하는가를 나타내는 것으로서 안테나 복사 패턴의 최대 복사방향의 이득을 의미한다. 빔폭은 파장에 비례하고 포물면 반사기의 직경에 반비례한다. 빔폭이 작으면 작을수록 먼 거리에서도 단위 부피당 에너지

집중이 유지되고 방위각과 고도 분해능이 증가한다. 수평 빔폭은 안테나 패턴의 수평면에서의 각 폭이며 전력밀도가 빔 축에 대해 1/2이 되는 곳이다. 수직 빔폭은 안테나 패턴의 수직면에서의 각 폭으로 전력밀도가 빔 축에 대해 1/2이 되는 곳이다.

동일 거리에 있는 2개의 작은 목표물을 2개로 분리해서 볼 수 있는 능력을 방위각 분해능이라고 한다. 방위분해능을 좋게 하기 위해서는 안테나 빔폭을 좁게 하고 사용파장을 짧게 하거나 반사파의 횡 폭을 높게 하면 된다. 같은 거리에 있는 2개의 작은 목표물을 분리해낼 수 있는 능력을 거리분해능이라고 하며 펄스폭과 관련이 있으며 거리분해능을 좋게 하기 위해서는 펄스폭은 될 수 있는 한 좁아야 한다.

안테나 특성상 임피던스는 전류가 흐르기 어려움을 나타내는 양으로 전압과 전류의 비이다. 동축선로 그리고 안테나 모두 각각의 임피던스 값을 가지고 있다. 각각의 임피던스 값이 일치할 때에 가장 효과적으로 전자기파가 전해지며 보통 동축선로의 임피던스는 50Ω으로 고정되어서 생산된다. 안테나의 임피던스는 50Ω이 아닌 경우가 많기 때문에 안테나의 임피던스가 50Ω에 가깝도록 조정을 해 주어야 하며 이러한 조정을 정합이라고 한다. 선로의 부정합 척도로서 정재파비는 바로 이 임피던스가 일치한 정도를 나타내는 값이다. 임피던스 정합 또는 튜닝의 중요성을 열거하면 부하가 선로에 정합되고 급전선로에서의 전력 손실이 최소화될 때 최대의 전력이 전달되고 안테나, 저잡음증폭기 등과 같이 임피던스 정합에 민감한 수신기용의 부품들은 시스템의 신호대잡음비를 개선시킨다.

안테나 이득은 안테나의 성능이며 안테나 복사패턴의 최대 복사패턴의 최대 복사 방향의 이득을 의미한다. 레이더 안테나는 송신기의 파장과 일치하여야 하며 이때 포물면 반사기의 크기와 안테나 이득이 큰 변수이다. 안테나 이득은 모든 방향으로 빔을 동등하게 내보내는 등방성 안테나로부터 동일한 지점에서 받게 된 전력과 파라볼라 안테나로부터 특정한 한 지점에서 받는 전력의 비율을 의미하며 전형적인 기상레이더의 안테나 이득은 20~45dB이다.

이상적인 안테나는 레이더의 전력을 한 방향으로만 내보내야하지만 이것은 물리적으로 불가능하다. 전력의 대부분은 어떤 방향으로 진행하지만 전력의 일부는 그것의 바깥쪽으로도 가고 심지어는 안테나 뒤로도 전달되기도 한다. 안테나가 특정한 방향으로 전자기파를 더 많이 보내는 특성을 지향성이라고 한다. 지

향성이 있는 안테나를 지향성 안테나라고 하며 지향성이 없이 모든 방향으로 동일하게 전자기파를 보내는 안테나를 무지향성 안테나라고 한다. 원하는 곳으로 좀더 많은 지향성을 갖기 위하여 포물면 반사기를 이용한다.

안테나의 여러 부분 중에서 실제로 전자기파를 방사하거나 수신하는 부분을 엘리먼트라고한다. 엘리먼트는 안테나의 실질적인 부분이며 전기가 잘 통하는 도체로 이루어져 있다. 레이더 전자기파는 이러한 엘리먼트에 공진하여 대기로 방사된다. 공진이란 안테나가 어떤 특정한 파장의 전자기파를 가장 효과적으로 보내고 받는 현상을 의미한다.

급전선은 송신기에서 송신 안테나까지 또는 수신 안테나에서 수신기 까지 접속된 마이크로파 전송선로로서 대부분의 레이더에서는 비동조 급전선인 도파관과 동축선로를 사용한다. 기상레이더 시스템은 마이크로파 펄스송신관에서 안테나까지 전력 급전은 주로 직사각형인 도파관을 이용하며 비동조 급전선은 안테나와 급전선과의 접합부에 정합회로를 설치하여 급전선상에 진행파만 존재하고 정재파는 생기지 않게 하는 급전방법이다. 급전선의 길이는 사용 파장과 특별한 관계가 없으므로 급전선 길이를 충분히 길게 할 수 있고 또한 정합 방법을 적당히 하여 전송 능력을 좋게 할 수 있다. 안테나와 송신기와의 거리가 근거리일 때는 정재파가 어느 정도 있어도 무관하나 장거리인 경우는 급전선의 손실이 크고 전파가 복사되므로 정재파를 없애야 한다.

마이크로파 전송에 쓰이는 금속 파이프 형태의 도파관은 보통 구리로 만들어지며 단면 형상은 구형이 많았. 무선 송신기에서 송출된 전자기파를 안테나로 유도할 때 금속도체를 이용하면 그 표면에서 전자기파가 공중으로 발산되는 경우가 있어 금속의 파이프 속으로 전자기파를 유도시키는 방법을 사용한다. 전자기파는 도파관의 벽으로 한정된 공간을 통하여 운반되며 도파관의 내면에는 전류가 전혀 흐르지 않으므로 전자기파의 에너지 손실이 없다. 도파관은 레이더 시스템에서 요구되는 상당히 높은 전력을 취할 수 있다는 이점을 갖고 있지만 대역폭에 제한이 있고 부피가 크며 비용이 비싼 단점이 있다. 동축선로는 대역폭이 넓고 많은 초고주파 응용분야에 편리하지만 초고주파 회로를 구상함에 있어서 다루기 힘든 매체이다.

레이더 방정식을 보면, 수신신호가 안테나 유효면적(A_e)에 직접 비례함을 알 수 있으므로, 기상관측 목적에서 볼 때 안테나가 크면 클수록 그 만큼 더 좋다는 것을 의미한다. 단지 안테나의 크기에 대한 제약은 주로 기계상의 문제이다.

큰 반사경은 그 만큼 더 큰 페데스탈과 더 강력한 구동 모터를 필요로 한다. 따라서 이러한 구조는 비용이 많이 들 뿐만 아니라, 레이돔의 크기도 증가해야 하므로 그 만큼 문제가 뒤따르게 된다.

원형의 포물형 반사경의 빔폭(θ)은 다음과 같이 대략적으로 계산될 수 있다.

$$\theta = 1.2 \frac{\lambda}{d} \text{ (radians)}$$

여기서 λ 는 파장, d 는 반사경의 직경이다. 따라서, DWSR-88C 레이더의 경우, 파장이 5.6cm, 빔폭이 1.2° 이므로 반사경의 직경은 3.6cm가 된다. 이 값은 기상레이더 안테나의 실용적인 최대 직경이며, 1.2° 는 해당 주파수에서 기대되는 빔폭의 하한값이다. 즉, 짧은 파장에서는 더 작은 반사경을 사용할 수 있다는 의미이다. 레이더 방정식의 사용 목적상, A_e 는 실제 반사경의 직경에 비례하는 것으로 간주할 수 있다.

빔폭의 중요한 특징 중의 하나는 두 목표물이 방위각 상으로 빔폭 보다 가까우면 레이더 에코 상으로 볼 때 분리되어 있는 것으로 표출시킬 수 없다는 것이다. 예를 들면, 빔폭이 1°이면, 180km 레인지에 있는 두 개의 뇌우는 같은 레인지에서 약 3km 이상 떨어져 있지 않으면 분리해서 표출할 수 없다. 레인지가 감소함에 따라 두 목표물은 분리되어 별도의 에코로 나타날 것이다. 그러므로 선상으로 탐지된 에코의 떠는 레이더로 접근할수록 분리되는 것처럼 오인될 수 있는 결과를 초래한다.

제 3 장 기상레이더 원리

3.1 레이더 신호

기상목표물로부터 수신되는 반사신호는 레이더 시스템을 제어하는 신호제어 처리기에 의해서 모든 신호가 제어되고 영상신호는 영상신호처리기를 통해 표출되어져 모니터링을 할 수 있다. 수신기로 들어오는 아날로그 신호 즉 대수영상, 동위상변위영상, 직각위상변위영상을 양자화 과정을 거쳐 디지털신호로 변환시키고 다시금 아날로그 신호로 복원하여 수신신호는 영상으로 표출되어진다.

동위상변위영상 신호와 직각위상변위영상 신호는 도플러효과를 이용한 시진속도를 구하는데 이용되며, 동위상과 직각위상변위영상의 (+)신호는 레이더로부터 멀어져 가는 신호, (-)신호는 레이더로 다가오는 신호로 표현된다.

레이더의 빔은 펄스부피로서 펄스폭, 휴지시간, 펄스반복진동수 등으로 결정된다. 펄스폭은 송신기의 펄스와 지속시간에 따라서 시간 또는 거리개념으로 나타낼수 있으며 시간개념으로는 0.5~10us이고, 펄스의 전단에서 후단까지의 길이개념으로 주로 15~300m로 레이더의 최소탐지거리를 결정하는 중요한 변수로 작용한다.

하나의 펄스가 송신되고 다음 펄스가 송신되기전 레이더에서는 반사된 신호를 수신하게되는데 이때의 송신되지않는 순간적인 시간을 휴지시간이라고 한다. 펄스반복진동수는 초당 반복되는 펄스의 수를 의미하며, 250~2000Hz까지 목적에 맞게 조정할 수 있다. 레이더 관측거리는 레이더에서 송신하는 에너지 크기에 비례하므로 펄스가 짧으면 관측거리도 짧아지게되지만 분해능이 좋아진다는 장점이 있다.

일반적으로 기상레이더에서는 짧은 펄스와 긴펄스를 병행해서 이용하는데 긴 펄스는 높은 전력을 전송하게되어 미약하거나 먼거리에 있는 목표물을 탐지하는데 유용하며, 짧은펄스는 거리분해능이 좋아지므로 작은 규모의 특징(주로 강수입자의 운동)을 쉽게 탐지할 수 있다. 펄스의 전력단위는 dB로 나타내며 강우량을 추정하기 위해 레이더 반사도(Z)와 강우강도(R) 사이의 관계식으로부터 유도된 값을 데시벨로 나타내는 단위로 dBz를 사용한다. 레이더 방정식에서 기상에코의 유효 반사면적과 레이더 최소수신감도를 일수 있으면 레이더의 최대 탐지거리를 구할 수 있다. 최대탐지거리의 정확한 예측을 위해서는 레이더 빔의

전파과정에서 도파관과 레이더의 손실, 시스템의 고유한 손실, 반사파와 직접파의 위상정합 등을 고려하여야 한다.

레이더 신호는 레이더 송신기에서 대기 중으로 방사된 펄스파가 목표물 후방에 산란되어 다시 레이더 안테나로 들어와 수신기에 감지되는 전자기파 신호이다. 수신된 레이더 신호에는 목표물에 대한 정보와 기타 전자기파원으로 부터의 위상정합 신호 정보로부터 목표물의 반사도를 알 수 있고 진동수편이 또는 위상변화로부터는 목표물의 강도, 시선속도, 스펙트럼폭 등의 정보 분석이 가능하다.

이처럼 레이더 시스템 내에는 다양한, 종류의 레이더 신호가 존재하는데 이러한 여러 가지 레이더 신호로부터 목표물의 위치, 강도, 운동 상태 등의 기상학적 변수를 추출하는 모든 절차를 레이더 신호처리라고 한다. 레이더 신호처리기는 레이더 수신 신호에서 목표물의 정보를 최대한 정확하고 효율적으로 추출해내기 위한 모든 알고리즘을 포함하고 있으며 이를 실시간적으로 빠르게 처리할 수 있는 고속 프로세서 등을 포함하고 있다.

산이나 고층건물과 같이 고정된 목표물로 항상 동일한 양의 반사도를 레이더 수신기에 전달해 주는 것을 지형클러터라고 한다. 지형클러터를 제거하는 일반적인 방법은 강우 에코가 없을 때 지형클러터자료를 기억했다가 제거하는 것과 필터를 사용하는 방법이 있다. 지형클러터로부터 반사파의 진폭 변동은 목표물에 비하면 매우 작으므로 반사파의 변동 성분, 즉 교류 성분을 바이패스 필터에 의해서 추출하면 지형클러터를 제거 할 수 있다. 필터링 자동알고리즘은 IIR(Infinite Impulse Response)과 FFT(Fast Fourier Transformation) 클러터 필터이다. 보통 한 개의 신호처리에 7~8개의 필터가 있으며 상황에 따라 다양하게 선택할 수 있다. 임펄스 응답이 무한한 IIR 클러터 필터는 일반적으로 순회형 혹은 재귀형의 구성으로 실현할 수 있기 때문에 순회형 혹은 재귀형 필터라고도 하며 그 특성은 FIR 클러터필터보다 적은 차수로 급준한 감쇠특성을 실현할 수 있으나 선형위상특성을 실현하기 어렵고 귀환이 있기 때문에 항상 안정하다고는 할 수 없다.

선형위상이란 필터 입출력의 위상차가 신호의 진동수에 비례하는 것을 의미한다. 군 지연 특성이 진동수에 관계없이 일정하다. 신호파형의 형태가 문제가 되는 경우 파형을 가능한 찌그러지지 않도록 해야 하는데 이와 같은 경우에 선형위상 특성을 갖는 필터를 이용한다. 선형위상특성을 근사할 수 있는 것으로

아날로그 필터 혹은 IIR 클러터필터로도 실현 가능하지만 완전한 선형위상을 실현할 수 있는 것은 FFT 클러터필터이다.

임펄스 응답이 유한한 필터를 FFT 클러터필터라고 한다. 디지털필터의 일종인 FFT 클러터필터는 일반적으로 비순회형 혹은 비재귀형의 구성으로 실현할 수 있기 때문에 비순회형 또는 비재귀형 필터라고도 한다. FIR 디지털필터는 앞서서도 언급하였지만 기본적으로 안정성이 보장되는 비재귀형이 가능하다. 선형위상특성을 정확히 그리고 용이하게 실현 할 수 있으며 귀환이 없기 때문에 항상 안정하다. 진동수 영역에서 급준한 감쇠특성을 실현할 때는 높은 차수의 필터가 필요하다.

동위상과 직각위상변위영상 신호에 대한 클러터를 제거하는 방법은 PPP(Pulse Pair Processing)와 FFT 두 가지가 있다. PPP 방법은 타임 도메인에서 FFT 방법은 진동수 도메인에서 클러터를 제거하는 방법이다. 결과적으로 볼 때 마지막 결과는 PPP나 FFT의 경우 같지만 클러터 필터링을 어느 도메인에서 했느냐가 다르며 이것 때문에 클러터 제거에도 조금의 차이는 있다. 일반적으로 FFT가 더 효과적인 방법이라고 알려져 있다.

목표물로부터 수신전력은 목표물 입자의 상대적인 위치관계 또는 개개 운동에 의하여时时각각으로 급격히 변동하고 있기 때문에 수신전력을 정확히 측정하려면 시간적으로나 공간적으로 신호 샘플링을 취할 필요가 있다. 일반적으로 기상레이더의 반사도 샘플 크기는 각 처리 주기에 사용되는 레이더 송신기 펄스의 수이다. 기본 값은 긴펄스의 경우 샘플당 20개이지만 4~256까지 가능하다. 샘플 크기가 클수록 보다 정확하게 자료가 처리된다. 그러나 처리 시간의 증가로 자료 손실의 원인이 될 수 있다. 특히 높은 펄스반복진동수를 가진 도플러 강도모드에서 그러하다.

레이더 관측에서 공간분해능은 빔폭과 펄스폭의 공간길이가 빈으로 둘러싸인 목표물 부피에 의하여 한정되므로 목표물 부피를 고려한 임의의 넓이마다 공간적으로 샘플링된다. 이것은 자료량을 줄이고 또 자료처리장치에 부담을 줄이는 데도 매우 중요하다. 샘플링을 많이 할수록 신호의 복원상태는 좋지만 샘플링 시간을 줄이기 위하여 펄스반복진동수를 높여야 한다. 기상레이더의 샘플링은 거리간격별과 레이더 신호를 취득한다. 임의 거리간격의 중심에서 신호를 취득한다. 샘플링 주기는 레이더의 펄스반복진동수와 동일하다. 따라서 레이더의 펄스반복진동수가 높으면 샘플링 비율과 시선속도의 분해능도 높아진다.

관측자료의 품질과 안정성이라는 측면에서 잡음 샘플링은 매우 중요하다. 일반적으로 잡음 샘플링은 기상레이더를 운영하면서 수시로 수행되며 이것이 기상 신호의 세기를 분별 해 내는 주요 기준이 된다. 기상레이더 시스템을 캐리브레이션 하면서 최소수신감도를 정할 때 잡음레벨의 기준이 정해진다. 이렇게 정해진 잡음레벨은 캐리브레이션 할 때 최소수신감도에 포함되어 설정된다. 이 값은 변하지 않아야 하며 변할 경우 캐리브레이션 기준값이 변하기 때문에 관측자료의 정확도와 품질에 지대한 영향을 미친다.

일반적으로 잡음 샘플링 방법은 레이더 제조사마다 기본적인 기능으로 정해져 있다. 주기적으로 측정된 잡음레벨은 신호대잡음비를 결정하는 수식의 잡음으로 설정된다. 따라서 잡음 샘플링이 수시로 변화 하면 레이더 관측자료의 정확도는 수시로 변동한다는 의미라고 이해할 수 있다. 잡음 샘플링의 오류로 인한 문제를 보면 가끔 관측되는 에코의 강도가 수시로 변하는 것을 볼 수 있다. 이는 레이더 수신기가 수신한 신호로부터 기상 신호를 추출해 낼 때 신호대잡음비를 계산한 후 잡음레벨에 이 값을 더하여 기상 신호의 세기를 계산하난, 이때 잡음레벨의 값이 변하면 산출되는 기상 에코의 강도도 변화게 된다. 잡음 샘플링 오류가 심하여 관측 에코의 차이가 심하게 나타 날 경우에는 쉽게 문제를 파악할 수 있지만 미미한 차이로 인한 영향은 찾기가 힘들다. 레이더시스템의 안정도와 관련되기 때문에 잡음레벨의 변동은 이론적으로는 거의없는 것이 좋다.

대부분의 기상레이더는 매 부피 관측 후 휴지시간에 잡음 샘플링을 수행한다. 이는 수신기의 갑작스런 변화에도 대응할 수 있도록 그 주기를 정해 놓은 것이다. 잡음샘플링의 중요성은 신호 분별에 대한 수신기의 주요기준을 정의하고 레이더 시스템의 캐리브레이션을 위한 중요한 시작점이다. 잡음 샘플링이 변동하면 관측자료에 편차가 생긴다. 잡음레벨의 값이 변하면 관측자료가 변동한다.

초기 데이터의 수집과 처리를 위하여 필요한 bin의 크기는 빔폭과 펄스길이에 의해 결정되는 하한값을 가지고 있다. 즉, bin의 최소 크기는 빔폭과 1/2 펄스길이의 곱보다 더 작을 수는 없다. 실제 이 크기의 bin을 사용하면 처리해야 할 데이터의 양이 너무 많게 된다. 따라서 데이터의 양을 줄이기 위하여 레인지 셀은 많은 레인지 조각으로 재구성되어야 한다. 강수량 측정에 사용되는 레이더 안테나의 회전율을 부분적으로 결정하지만 반대로 안테나의 표준 회전율에 의해 거꾸로 결정되기도 한다. 전자는 데이터가수신되면서 처리되어야하는 우리 레이더

시스템인 경우를 말하며 극좌표로 원시데이터를 저장할 필요가 없는 경우이다. 데이터가 본격적으로 처리되기 전에 디스크로 먼저 저장된다. 이 경우에는 데이터가 제대로 처리되어 이용되기까지 약간의 시간적인 지연이 있지만, 그리 중요한 문제는 아니다. 안테나 회전율과 데이터 처리방법의 조합 때문에만 레인지의 데이터 간격이 커질지도 모른다. 그러나, 이것은 어쩔 수 없이 데이터의 정밀성을 저하시키지만 인근 빈들의 데이터에 근거를 둔 값으로 가정하면 해소될 수 있다.

샘플링에서 중요한 점은 데이터의 높은 정확도를 확보하기 위하여 비상관성 관측법을 사용해야만 한다는 것이다. 강우입자에서 반사된 신호는 펄스부터 내의 개개의 단일 빔방울에서 반사된 신호의 벡터합이다. 어떤 한 쌍의 빔방울이 레이더로부터의 거리 차가 있다면 이 두 빔방울에서 온 신호는 합산된다. 주어진 펄스부터 내의 빔방울이 서로 상대적으로 계속 움직이면 총 반사도는 끊임 없이 변한다. 실제로 빔방울의 운동으로 인하여 연속된 측정치 사이의 상관계수는 기상레이더 파장에 대해 약 3~15ms 후에는 0이 된다. 무상관화 시간은 레인지와 풍속에 따라 좌우되므로 샘플링을 잘 선택하므로써 독립적인 측정이 무난히 이루어지게 할 수 있다. 1rpm과 같이 저회전율의 유리한 점은, 비록 저회전율이 강수측정 뿐만 아니라 클러스터 측정에도 영향을 주며, 요동분광차별평균에 의해 클러스터가 제거되기 어려운 면이 있지만, 저회전율이 샘플링 무상관시간을 줄일 수 있다는 것이다. 두 번째 잇점으로는 무상관 시간이 보다 더 짧은 것은 송신기 펄스에서의 불안정과 수신기 밴드폭에서의 결점을 해소시킬 수 있다는 것이다.

많은 레이더 시스템은 높이 및 입체 데이터를 필요로 하므로, 이 또한 회전을 에 영향을 주는 한 요소이기도 하다. 너무 느린 안테나 회전은 오히려 출력 데이터의 활용도를 저하시키는 결과를 초래할 수 있다. 원이 등간격으로 분할될 수 있는 극좌표 상의 레인지 셀의 수는 다음 두 가지를 잘 절충해서 결정되어야 한다. 즉 레인지 셀이 너무 많으면 데이터가 많아져 처리하기가 그리 용이치 않은 반면에, 너무 적으면 해상도가 저하된다. 레이더로부터 거리가 멀으면 멀수록 셀의 크기는 그만큼 더 커진다는 것을 알아야 한다. 이것은 직교좌표상의 셀은 모든 레인지에서 그 크기가 일정하기 때문에 극좌표에서 직교좌표로 변환할 때 상당히 중요하다. 그러나 데이터 처리에서의 해상력 저하는 바로 레이더 자체의 성능 저하와 일치한다.

10cm 파장 (S-band : 2,700~2,900 MHz) 이 파장은 강수에 의해 레이더 전파의 감쇠가 문제가 되는, 즉 호우가 자주 발생하는 지역에 사용되는 레이더에 적합하다. 그러므로, 이 파장은 열대지역과 태풍, 토네이도 및 저기압이 자주 발생하는 곳에 특히 권장할 만 하다. 침투 출력은 700~850kW 정도가 기상 레이더에서 사용된다. 세계적으로 볼 때, 10cm의 레이더 시스템을 제작한 경험이 상당히 있지만, 강수량 측정에 대한 요구가 점차 증가하므로 좁은 빔폭을 필요로 하게 되는 결과를 낳았다. 10cm 파장에서 1°의 빔폭을 가질려면, 7.3m의 포물면 형의 반사경이 필요하다.

또한, 안테나를 구동시키는데 꽤 큰 모터가 필요하며 안테나를 보호하는 레이돔도 직경이 10m 정도나 되기 때문에 총 무게와 풍압에 견딜수 있는 지반용 탐이나 건물도 상당한 견고성이 요구된다.

5.6cm 파장 (C-band : 5,300~5,700 MHz) 이 파장은 1933-1945 전쟁기간 동안, 기상 레이더가 아닌 레이더에 극소수 사용되었지만, 그 후로는 점차 사라졌다. 최근에는 기상현상의 탐지 목적에 가장 적합한 것으로 판단되어 열대 지역을 제외한 지역에 설치되는 대부분의 신형 레이더에 이 파장이 사용되게 되었다. 이 파장에서는 1° 빔폭에 대해 3.7cm의 안테나 직경이 필요하다. 또한, 레이더 빔은 중간 정도의 강도를 가진 강수를 투과할 수 있으며, 데이터 처리 시스템과 함께 사용될 때 감쇠에 대한 보정이 프로그램내에서 효과적으로 적용될 수 있다. 침투 출력은 보통 240-300kW 정도이다.

어떤 지역에서는 이 파장이 무선통신 목적으로 사용된다. 따라서 기상레이더와 전파 간섭을 때때로 일으키기도 하지만, 이 문제는 인근 두 레이더의 주파수 간격을 약간 두면 해결될 수 있다.

3cm 파장 (X-band : 9,300-10,000 MHz) 이 파장은 항공용과 해상용 레이더에서는 매우 일반적으로 이용되고 있다. 1970년 이전에는 대부분의 기상레이더가 3cm였다. 그러나, 그 당시의 기상레이더는 기상현상의 탐지와 추적이 주목적이었다. 이 시기에 이 파장을 사용한 레이더로 강수량 탐지에 성공한 나라는 거의 없을 정도였다. 왜냐하면 극지방이나 그 주변 국가에 대부분 설치되었기 때문이다. 우적에 의한 감쇠 문제가 전적으로 대두되었을 때, 3cm에 대한 수요는 상당히 줄어 들었다. 이 레이더는, 단지 2m 직경의 반사경으로도 1°의 빔을 얻을 수 있고, 안테나의 구조상 취급하기 편리하며, 값이 싸다는 실용적인 이유 때문에 초기에 많이 설치되었다.

0.8cm 파장 (K-band : 37,500 MHz) 이 파장은, 비록 많은 이중 파장 (3cm/0.8cm) 레이더가 러시아와 대부분의 동유럽 국가에서 현업용으로 사용되고 있지만, 세계적으로 볼 때 그다지 많이 사용되고 있지 않다.

이 파장에서 우적에 의한 감쇠는 매우 크므로 방사 에너지가 빠르게, 그리고 거의 전부 흡수될 수 있다. 그 결과 0.8cm에서 기상레이더가 활용될 수 있는 일반적인 방법은 강수량 에코를 불연속적으로 측정하는 것으로써, 이 때는 분석하는 대상이 수신신호라기 보다는 오히려 모니터된 출력강도에 대한 감쇠량이다. 이 파장에서 동작되는 레이더는, 적어도 짧은 레인지에서 구름을 탐지하는데 이용될 수 있다.

3.2 펄스반복주파수와 유효관측거리

펄스반복주파수(PRF)와 유효관측거리는 반비례관계로 연속된 펄스 사이에 왕복할 수 있는 최대거리를 의미한다.

$$R = \frac{C}{2 \cdot PRF} = \frac{C \cdot PRT}{2}$$

여기서 R는 유효레인지(단위는 m), C는 빛의 속도, PRF는 펄스반복주파수(단위 sec^{-1}), PRT는 펄스반복주기(단위 sec)를 나타낸다. PRF가 크면 클수록 PRT는 작아지고 레이더의 유효레인지도 작아진다.

기상레이더는 PRF와 펄스폭이 잘 조합되어 운영되고 있다. 강수 탐지를 주목적으로 할 때는 보통 긴 펄스(Long Pulse) 모드에서 관측을 하며, 반대로 강수 입자의 운동을 분석하고자 할 때는 짧은 펄스(Short Pulse)모드가 더 유리하다. 일반적으로 긴 펄스 모드에서는 $2\mu\text{s}$ 의 펄스폭을 주로 사용하고, 짧은 펄스 모드에서는 사용 목적에 따라 $0.25\mu\text{s}$ 에서 $1\mu\text{s}$ 사이의 펄스를 많이 사용한다.

긴펄스의 경우 짧은펄스보다 많은 전력을 필요로하고 약하거나 먼 거리의 목표물을 탐지할 수 있으며 유효레인지가 크기 때문에 레인지접힘현상이 적다는 장점이있다. 짧은 펄스의 경우 레인지 해상도가 좋고 수신신호 강도가 크기 때

문에 작은 규모의 현상을 탐지할 수 있다는 장점이 있다.

펄스폭은 관측거리를 결정하는 중요한 변수로서 펄스길이라고도 한다. 펄스길이는 에너지의 속도와는 관련이 없으나 목표물로부터 반사되는 전력양에는 영향을 준다. 레이더의 수신전력은 거리가 멀수록 작아진다. 수신기에서 잡음과 신호를 구별할 수 있는 최소수신전력을 가질때의 거리를 최대탐지거리라고 한다. 최소수신전력은 실제 미약한 신호를 검출하는 수신기의 능력을 의미하며 이를 최소수신감도(Minimum Discernible Signal) 라 하며 단위는 dBm을 사용한다. 현재 기상레이더의 최소수신감도는 -113~-114dBm로 성능이 많이 향상되었다.

이러한 최소수신감도는 수신기의 잡음전력에 비례하므로 신호 전력을 검출하기 위해 수신기의 신호대 잡음비를 높게한다. 목표물을 탐지할 수 있는 최소한의 거리를 최소관측거리라고 하는데 펄스폭이 좁을수록 좋으나 너무 좁게 하면 영상의 선명도, 신호대잡음비 등이 저하된다.

또한, 펄스길이의 1/2 지점에서 거리왜곡이 발생되므로 펄스길이가 짧을수록 펄스반복진동수를 높게 하면 관측거리는 짧아지나 분해능이 좋아진다. 도플러레이더의 경우 펄스반복진동수를 높게하는 편이며 관측거리에 따라 다르게 적용하여진다.

레이더 진동수는 어떤 진동수 범위로 한정되어 구분되어 있지 않고 파장대가 광범위하게 어느 진동수라도 사용 할 수 있으나 대체로 400MHz~40GHz 사이의 마이크로파 대역을 많이 사용 할 수 있으나 전자기파 에너지를 방출하고 목표물로부터 산란된 에코 신호를 검출하기 위해서는 레이더에 요구되는 사양과 조건 그리고 레이더의 특성에 따라 진동수 범위가 분류된다. 일반적으로 레이더의 반사 분해능과 정도를 높여야 할 때는 비교적 짧은 펄스에 높은 진동수를 사용하고 레이더의 탐지거리를 크게할 경우에는 긴펄스에 낮은 진동수로 파장이 긴 것을 사용한다. 그러나 특별한 경우를 제외하고는 최근 대부분의 레이더는 마이크로파 진동수 대역을 사용하고 있다.

레이더의 파장에 따라 사용 목적이 달라지는 것은 방사된 전자기파가 물체에 부딪칠 때 반사된 전자기파의 파장에 따라 그 물체와 상호 작용하는 양상이 달라지기 때문이다. 전자기파가 물체에 부딪쳐 산란될 때의 파장과 특성을 잘 설명해 주는 것이 미산란 이론인데 일반적으로 미산란¹⁾의 근사로 레일리산란²⁾

- 1) 산란입자가 커지면 미산란이 일어나며 모든 파장이 거의 균일하게 산란되기 때문에 파장에 의한 산란정도가 변화는 경우는 거의 없으며 후방보다는 전방으로 더 많은 에너지를 산란한다.
- 2) 산란을 일으키는 입자의 크기가 전자기파 파장보다 훨씬 작은 경우에 일어나며 파장이 짧을수록 강하게 산란된다.

이론을 사용하여 전자기파와 물질의 상호작용을 설명한다. 일반적으로 레이더 파장이 커지면 관측하는 물체도 크고 반대로 파장이 짧아지면 관측하는 물체도 작다. 그러므로 X대역은 소규모 강수역을, K대역은 구름 입자 등을 관측하게 된다. 또한, 강수관측에 있어서 중요한 점은 강수에 의한 전자기파의 산란이다. 파장이 짧을 수록 전자기파가 강수에 의해 잘 산란되기 때문에 먼 거리까지의 강수를 잘 관측하려면 파장이 길수록 좋다. 넓은 범위의 강수현상을 정확하게 관측하기 위해서는 X대역보다는 C대역이, C대역보다는 S대역이 더 우수하다.

레이더 파장이 길어질수록 레이더를 제작하는 비용은 높아지고 유지비용도 더 들게 되므로 레이더의 파장을 결정할 때는 관측목적, 범위, 비용 등을 고려한다.

레이더 빔 에너지는 송신되는 빔의 펄스길기와 비례한다. 긴펄스는 짧은 펄스보다 에너지가 강하여 전력을 더 소모하며 목표물로부터 강한 신호를 받으나 분해능이 낮아진다. 펄스길이는 레이더의 최소탐지거리를 결정하며 $1\mu s$ 의 펄스길이일 경우에는 안테나로부터 150m 이내에 있는 목표물은 탐지할 수 없다. 펄스반복진동수를 높게 하면 펄스길이가 짧아지고 펄스길이가 짧아지면 송신 에너지가 약해져서 유효관측거리가 작아진다. 레이더 관측거리는 레이더에서 송신하는 에너지 크기에 비례하므로 펄스가 짧으면 에너지 량이 적어서 관측거리가 짧아진다. 펄스반복진동수를 높게 하면 관측거리는 짧으나 분해능이 좋아진다. 따라서 도플러 레이더는 펄스반복진동수를 높게 하는 추세이지만 관측거리 때문에 어느 정도 한계가 있다.

분해능과 펄스길기와 관계는 펄스길이가 짧으면 거리분해능이 좋아지며 예를 들면 $2\mu s$ 펄스는 300m, $1\mu s$ 펄스는 150m, $0.5\mu s$ 펄스길이는 75m의 분해능을 가진다. 일정한 레이더 출력에서 펄스길이가 긴 경우에는 펄스반복진동수가 낮고 길이가 짧은 펄스반복진동수가 높다.

운영중인 레이더는 대부분의 시간을 수신신호 포착에 소요한다. 매 펄스를 전파하는데 소요되는 수 μs 라는 시간은, 회신되는 에너지를 레이더 시스템이 수신하는데 걸리는 시간에 비하면 극히 짧다. 전자가 에너지의 펄스 전송은 레이더 시스템으로 하여금 목표물까지의 거리를 결정하여, PPI나 RHI 표출기 상에 나타나게 한다.

레이더 시스템에 사용되는 레인지 게이트의 수는 신호 처리 시스템의 설계에 따라 다르다. 레이더의 운영 레인지와 마찬가지로 레인지 게이트의 개수는 레인지 게이트의 간격을 결정한다. 예를 들면, 어떤 레이더의 이용 가능한 레인

지 게이트가 255개이고 225km까지 관측 가능하다면 이 레이더의 레인지 게이트의 간격은 1km가 될 것이다. 이것은 목표물까지의 거리를 계산하는데 정확성에 대한 실제 한계성을 나타낸다. 펄스 길이 보다 적은 레인지 게이트는 의미가 없다.

보통의 기상레이더는 PRF와 펄스폭이 잘 조합되어 운영되고 있다. 강수 탐지를 주 목적으로 할 때는 보통 긴 펄스(Long Pulse) 모드에서 관측을 하며, 반대로 강수 입자의 운동을 분석하고자 할 때는 짧은 펄스(Short Pulse)모드가 더 유리하다. 일반적으로 긴 펄스 모드에서는 $2\mu s$ 의 펄스폭을 주로 사용하고, 짧은 펄스 모드에서는 사용 목적에 따라 $0.25\mu s$ 에서 $1\mu s$ 사이의 펄스를 많이 사용한다.

총 송신전력에 대한 레이더 시스템 성능의 한계 때문에 레이더 펄스폭이 커지면 PRF는 작은 값으로 제한된다. 반대로 PRF가 커지면 펄스폭은 작아진다. 이와 같이 레이더에 대한 동작상의 한계는 레이더 설계에 의해 좌우된다. 현업용 기상레이더에서 짧은 펄스모드와 긴 펄스모드의 상대적인 장점은 긴 펄스의 경우 펄스당 더 많은 전력을 송신하므로 상대적으로 약하거나 먼 거리의 목표물을 탐지할 수 있으며, 유효레인지가 더 크기 때문에 레인지가 접힌 에코가 상대적으로 적다. 짧은 펄스의 경우 레인지 해상도가 더 좋으므로 수신신호의 강도가 충분히 크다면 작은 규모의 특징이 쉽게 탐지된다.

탐지상의 짧은 펄스의 유일한 장점은 레인지 해상도가 더 좋다는 것이며 그 결과 레인지 편이가 그 만큼 줄어 든다는 것이다. 일반적으로 레인지 상의 에코의 상세한 모양을 탐지할 때를 제외하고는 단순한 강수 탐지에서는 긴 펄스가 더 바람직하다.

3.3 레이더 방정식

기상레이더에 의해 기상 목표물을 탐지하여 정량적으로 계산하기위해서 레이더 방정식이 사용된다. 이 레이더 방정식은, 안테나에 수신되는 평균전력(P_r)이 송신 첨두전력(P_t), 레이더 파장(λ), 안테나의 크기(A_e), 목표물의 성질($|K|^2$) 등에 의하여 좌우되며 이것들의 관계를 나타낸 것이 레이더 방정식이다. 레이더 방정식을 유도하기위한 가정은 다음과 같다.

- ① 목표물의 입자는 완전 구형이다
- ② 입자들에 의한 산란은 등방산란이다.
- ③ 입자의 크기는 레이더 파장에 비하여 작은 직경을 갖는 유전체 구이다.(Rayleigh 산란)
- ④ 강수입자들은 레이더 빔 내에 균일하게 충만되어 있다.

송신출력 P_t 가 안테나로부터 방사될 때 레인지 r 만큼 떨어진 구형(球形) 목표물의 단위 단면적에 부딪히는 전력값은 $P_t/4\pi^2$ 으로 나타내며 전파는 빔 형태로 좁게 집중되므로 등방으로 방사되는 전력에 대한 빔 방향으로의 출력비는 안테나 이득으로 나타내며 이 때의 빔축에 수직인 면적 A_t 인 목표물이 받게 되는 전력 P_σ 는 다음과 같다.

$$P_\sigma = \frac{P_t G A_t}{4\pi r^2} \quad (3.1)$$

이 때 목표물에 부딪힌 전력 P_σ 가 모든 방향으로 산란되어 그 일부가 다시 유효면적 A_e 인 안테나로 되돌아 오는 수신전력 P_r 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r = P_\sigma \left(\frac{A_e}{4\pi r^2} \right) = \frac{P_t G A_t}{4\pi r^2} \left(\frac{A_e}{4\pi r^2} \right) \quad (3.2)$$

식 (3.2)에는 대기 기체에 의한 감쇠는 고려되지 않았다. 안테나의 유효면적이 $A_e = G\lambda^2/4\pi$ 로 표시되므로 식 (3.2)는 다음과 같이 정리된다.

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 A_t}{(4\pi)^3 r^4} \quad (3.3)$$

식 (3.3)은 수직단면적이 A_t 인 독립된 입자에 의해 산란된 수신전력을 나타내고 있으며, 또한 독립된 입자는 완전한 등방산란(isotropic scattering)체 라는 가정을 전제로하고 있다. 그러나 대기중의 빗방울이나 구름입자는 가정된바와

같이 등방으로 전파를 산란하지 못하므로 집합체로서의 목표물을 고려해야 한다. 따라서 입사된 전파를 산란시키기는 목표물의 단면적(cross section)을 σ_i 라 하면, 수신기로 들어오는 전력은 다음과 같다.

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 r^4} \sum_{i=1}^N \sigma_i \quad (3.4)$$

위 식에서 마지막 항은 직접 계산될 수 없는 값이며, 또한 빔의 진행에 따른 부피³⁾도 레인지가 클수록 증가하므로, 빔부피(beam volum) 내의 입자들의 개념을 고려하여야 한다. 빔폭이 θ , 펄스폭이 h 인 빔이 레인지 r 까지 진행했을 때의 부피는 $\pi r^2 \theta^2 h / 8$ 이므로 이 항은 다음과 같이 나타낸다.

$$\sum_{i=1}^N = \frac{1}{8} \pi r^2 \theta^2 h \sum_{vol} \sigma_i \quad (3.5)$$

여기서 마지막 항은 단위 체적에 대한 입자들의 단면적을 합친 것으로서, 레이다 반사도(radar reflectivity)로 알려져 있다(jones, 1956). Probert-Jones(1962)에 의하면 레이다 빔 내에 입자가 고르게 분포되어 있다는 가정하에 식 (3.5)가 유도 되었기 때문에, 이 가정에서 발생하는 오차를 보정할 필요가 있다고 하였으며 보정인자로 $2\ln 2$ 를 사용하여 식 (3.6)과 같이 나타내었다.

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \theta^2 h}{512 (2\ln 2) \pi^2 r^2} \sum_{vol} \sigma_i \quad (3.6)$$

Mie(1908)는 수평으로 편파(horizontal polarization)된 전파가 구형 물방울을 통과할 때, 물방울 내부에 전기적, 혹은 자기적 쌍극성을 가진 진동이 생기고 입사된 에너지 중의 일부가 다시 재방사되는 점을 고려하여 다음과 같은

3) 한 펄스가 차지하는 부피

후방산란 때의 단면적을 생각하였다.

$$\sigma = \frac{\pi a^2}{\alpha^2} \left| \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n (2n+1)(a_n - b_n) \right|^2 \quad (3.7)$$

여기서 a 는 물방울의 반경, α 는 물방울의 직경과 파장의 비율에 따라 산란되는 방식이 달라지게 되는 중요한 인자로서 $\pi a/\lambda$ 이며 α 가 커지면 단면적은 광학적인 값인 πa^2 에 접근하며, 반대로 작아지면 레일리(Rayleigh) 산란이 고려되는 단면적이 중요하므로 레이더 주파수에 의한 물방울 탐지에는 후자가 적용된다.

식 (3.7)은 a_n 과 b_n 에 대한 베셀함수(Bessel function)와 헨켈함수(Hankel function)의 개념을 도입하면 다음과 같이 변형된다(Herman and Battan, 1961 ; Herman, 1970)

$$\sigma_i = \frac{\lambda^2}{\pi} \alpha^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right| = \frac{\pi^5}{\lambda^4} |K|^2 D_i^6 \quad (3.8)$$

여기서 m 은 굴절률로서 복소수인 $n-ik$ 로 나타낼 수 있으며, D_i 는 입자의 직경, $|K|^2$ 는 파장 3-10cm일 때 0℃에서 20℃의 온도를 가진 물방울에 대해서 0.93을 취한다, 식 (3.8)은 레일리 근사식으로 알려져 있으며 파장이 긴 전파에 대해서 잘 성립된다.

결국, 레이더 방정식인 식(3.6)은 에코강도 계산에 적용 가능한 다음의 형태로 된다.

$$P_r = \frac{\pi^3 P_t G^2 \theta \phi h}{1024 \ln 2} |K|^2 \sum_{vol} D_i^6 \quad (3.9)$$

여기서 우변의 마지막 항을 반사인자(reflectivity factor)라 부르며, 단순히 Z 로 표시한다. 식 (3.9)에는 기상레이더의 기종이 정해지면 상수화할 수 있는 파

라미티들이 있는데 총괄적으로 C로 나타내면 식 (3.9)는 다음과 같이 간단한 형태로 된다.

$$P_r = \frac{C |K|^2}{r^2} Z, \left(C = \frac{\pi^3 P_t \theta \phi h G^2}{1024 \lambda^2 \ln 2} \right) \quad (3.10)$$

식 (3.10)에서 반사인자 Z는 산란체의 체적내에 존재하는 물방울의 직경과 개수에 따라 결정되는 값이므로 강수강도, 즉 강수율을 결정하는 인자이기도 하다 (Marshall and Palmer, 1948). 대기중에서 강수입자의 분포는 다음과 같이 지수함수적으로 표현된다.

$$N(D) = N_0 e^{-AD} \quad (3.11)$$

여기서 N(D)는 단위 체적내에 존재하는 직경 D+dD인 물방울의 개수이며, N₀는 물방울의 직경에 따라 변하기 때문에 V_t(D) = 14.2D^{1/2}로 나타낼 수 있으므로 (Gunn and Kinzer, 1949), 강수율 R은 다음과 같이 된다.

$$R = \int_0^\infty N \frac{\pi D^3}{6} V_t dD = \frac{14.2 \pi N_0 \Gamma(4.5)}{6 A^{4.5}} \quad (3.12)$$

여기서 Γ(n)은 감마함수(Gamma function)로서 (n-1)의 값이다. 한편, 반사인자 Z는 전술한 바와 같이 물방울의 직경과 갯수에 관련되어 있으므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = \int_0^\infty N D^6 dD = \frac{N_0 \Gamma(7)}{A^7} \quad (3.13)$$

식 (3.12)과 식 (3.13)에서 A를 소거하여 강수량과 반사계수, 즉 Z-R 관계식을 유도하면,

$$R = \left(\frac{1420\pi N_0 \Gamma(4.5)}{6} \right) \left(\frac{Z}{720 N_0} \right)^{4.5/7} \quad (3.14)$$

혹은,

$$Z = Constant \cdot R^{1.6} (= A \cdot R^{1.6}) \quad (3.15)$$

로 된다. 여기서 Z와 R의 단위는 각각 mm^6/m^3 , mmh^{-1} 이다. Marshall-PALMER(1948)는 물방울의 분포수 0.08cm^{-4} 에 대해서 $Z=200R^{1.6}$ 을 구한 바 있으며, 이것은 기상레이더의 신호 처리기의 제작시 보편적으로 사용되는 Z-R 관계식으로 알려져 있다. 식 (3.15)의 A, b는 강수형태와 지역에 따라 여러 가지 값들을 가질 수 있는데(Battan, 1973), 대표적인 것은 다음과 같다.

$$\text{층상우} : Z = 200R^{1.6} \quad (3.16a)$$

$$\text{지형성 강우} : Z = 31R^{1.71} \quad (3.16b)$$

$$\text{뇌우성 강우} : Z = 486R^{1.37} \quad (3.16c)$$

$$\text{강설} : Z = 2000R^{2.0} \quad (3.16c)$$

일반적으로 대류성 강도가 증가하면 계수 A는 증가하고 지수 b는 감소한다 상수를 잘 선택한다는 것은 강수량 측정에 있어서 중요한 문제이다. 만약 사용자가 자신의 지역에 대한 특별한 경험이 없다면, 일단 모든 강우에 대해 $Z=200R^{1.6}$ 를 사용하는 것이 무난하다. 상수는 강우 유형에 맞도록 조정되는 것이 타당하다. 최근 레이더의 프로그램에서는 이 상수를 수동으로 조정하게끔 되어 있다. 또한 위치가 잘 정해져 있고 유지 상태가 양호한 적은 수의 강우계 자료를 가지고 레이더 데이터를 조정하는 방법이 최근에는 현업용 레이더에 적용되고 있다. 이것은 A와 b를 잘못 선택하므로써 야기되는 오차의 영향을 어느 정도 줄일 수 있다.

제 4 장 레이더반사도를 이용한 신호파 감쇠특성 조사

4.1 레이더전파 감쇠특성

레이더파는 대기중에서 구름입자, 강수입자, 기체 등과 상호작용에 의해 산란이나 흡수를 통해 감쇠현상이 나타난다. 산란이 일어나면 레이더 안테나로부터 방사된 전자기파의 파장과 같은 파장대 에너지가 목표물 입자의 원자나 분자로부터 방출되고 흡수가 일어난다면 다른 파장대의 에너지가 방출된다.

대기중의 입자들이 전자기파 에너지를 여러 방향으로 산란시킬때 레이더 쪽으로 되돌아가는 에너지를 후방산란(backscatter)이라 한다. 레이더를 이용하여 대기 목표물을 탐지할 수 있는 것은 바로 이와 같은 후방산란 때문이다. 산란은 파장과 목표물의 입자직경은 밀접한 관계가 있으며, 목표물의 직경이 레이더 파장보다 작으면 레일리 산란이 일어난다.

산란은 어떤 방향이든 똑같이 일어나기 때문에 산란시키는 입자를 등방산란자라 한다. 레일리 산란에 의해 레이더 수신기로 후방산란된 에너지 양은 입자의 직경과 레이더 빔의 파장에 의해 결정되며 관계식은 다음과 같다.

$$P_R \propto D^6/\lambda^4$$

P_R 은 레이더로 수신된 에너지, D 는 목표물의 직경, λ 는 레이더 파장을 나타낸다. 파장이 감소하고 입자의 직경이 증가하면, 레일리 산란은 급격히 증가한다. 그러나, 목표물의 직경이 레이더 파장에 접근하면 Mie 산란이 일어난다. 대부분의 입자 에너지가 전방 산란되는 것이 Mie 산란의 한 예이다. 대부분의 기상레이더에서는 폭풍내의 큰 우박의 존재가 Mie 산란을 일으키는 원인이 된다. 레이더의 파장이 작으면 작을수록, Mie 산란이 일어 날 확률은 그만큼 더 커진다. 결과적으로, X 밴드(3cm) 레이더는 호우나 우박을 탐지하는데는 적합하지 않으며 산란되는 정도는 입자의 구성과도 관계가 있다. 따라서 K 밴드(0.86cm) 레이더는 구름을 탐지하는데 사용되며, X, C, S 밴드 레이더는 강수를 탐지하는데 주로 이용된다.

레이더파가 입자들에 의해 흡수되면 입자를 구성하는 원자의 에너지를 증가

시키고 입자에 의해 재방사되지만 다른 파장에서 방출된다.

대상 입자들의 원자나 분자에 대해 흡수는 선택된 공명주파수에서만 감지 가능하다. 다른 모든 주파수에서의 흡수는 무시된다. 즉 일반적으로 파장이 1cm 이상이면 기체에 의한 흡수는 무시할 수 있으며 파장이 5cm 이상이면 구름 입자에 의한 흡수는 무시할 수 있다. 10cm 이상이면 강수 입자에 의한 흡수를 무시할 수 있는 한정된 수의 파장만이 흡수된다. 파장이 길면 길수록 흡수에 의한 감쇠는 점점 더 작아지고 기상레이더에 사용되는 파장은 대기중의 고체성 입자에 의해 흡수되는것을 최소화하도록 한다. 산소와 수증기에 의한 흡수는 먼 거리에서 크게 나타나지만, 전체적으로 볼 때 흡수되는 양은 훨씬 적다. 대기중의 액체나 고체 입자에 의한 감쇠는 기체에 의한 것보다 훨씬 더 심하다. 그러므로 대기기체에 의한 감쇠는 기상레이더에서는 보통 무시된다. 실질적으로 대기기체에 의한 감쇠보다는 강수입자에 의한 레이더파 감쇠가 훨씬 크게 나타난다.

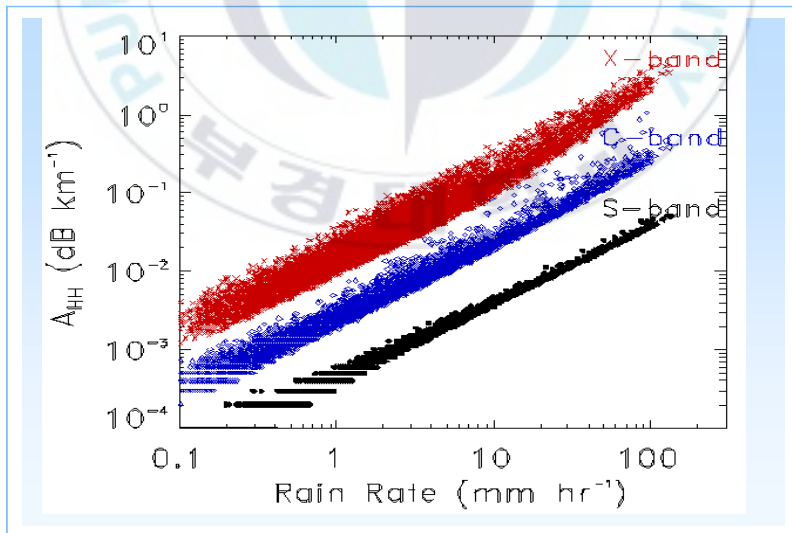


그림 4.1 반사도(dBZ)와 강우율(T=18℃)의 함수인 편도 감쇠율

그림 4.1은 3.2cm, 5cm, 10cm 레이더에 대한 편도 감쇠를 나타내고 있다. 3.2cm 파장은 어떤 반사도에서도 10cm 파장보다 더 큰 감쇠율을 보이고 있다. 이것은 짧은 파장의 레이더는 긴 파장의 레이더보다 감쇠 영향을 더 받으며, 다른 파장으로 같은 폭풍을 관측하면 왜 다르게 표출되는지를 설명하고 있다. 또한, 레이더 표면에 빗방울이 부착되어 있으면 짧은 파장에서 심각한 감쇠를 유발하는 이유를 설명하고 있다. 더구나 파장이 증가하면 감쇠 곡선의 기울기가 감소한다. 강수 탐지시 S 밴드 레이더의 사용이 지배적인 것은, 짧은 파장의 레이더의 이러한 특징으로 인해 받아 들일 수 없을 정도로 감쇠를 받기 때문이다. 그림 4.1는 세가지 파장에 대해서 강수강도의 함수로 나타낸 감쇠율을 보여주고 있다. 레이더 빔의 감쇠량은 강수 유형에 따라 크게 좌우되며, 물로 싸여 있는 큰 얼음 입자가 있을 때 특히 심각하다.

또한, 거리에 따라서 레인지 감쇠가 일어나는데 이와같은 경우 같은 강도의 강수량을 똑같이 표출시키기 위해서 레인지에 관계없이 수신기의 증폭을 레인지가 증가함에 따라 단계적으로 조정하거나 혹은 전산기로 보상함으로써 레인지 감쇠가 해결될 수 있다. 여기서 적용되는 보정 곡선은 관측이 이루어지는 모든 레인지에 대해 $\pm 1\text{dB}$ 보다 더 좋아야 한다는 이론법칙과 잘 일치해야 한다. 송신기 발진 후 전자회로가 안정되는데 극히 짧은 시간이 걸리고, 또한 레이더 근처에는 지형 클러스터가 존재하기 때문에 약 5km 이내에서는 의미있는 관측이 되지 못한다. 만약 신호가 잡음지수 이상의 진폭을 가지지 못하게 되는 레인지를 초과하여 훨씬 더 멀고 더 정확하게 관측하려면, H/W적 보정방법은 다루기 어려운 진폭 수준까지 모든 신호를 약화시키는 경향이 있어서 의미 있는 관측의 기회를 감소시킬 것이다. 한편 보정이 S/W적으로 프로그래밍 된다면 이 문제는 대개 해소된다. 만약 위에서 언급된 대로 $\pm 1\text{dB}$ 조차도 실제 요구된 것보다 더 크고 강수량 측정시 감지 할 수 있을 정도의 오차를 유발시킬 수 있다는 것을 염두해 두어야 한다. 그러나, 스위프 이득 오차는 안정도에 관계없이 어떤 특정 레인지에서만 발생해야만 하며, 전체적인 수신기 안정도 내에서는 항상 일정해야 한다.

레이더 빔이 대기 중을 진행함에 따라 에너지의 일부를 잃는다. 에너지가 강수 입자, 구름 입자, 기체, lithometeor 등과 상호작용할 때 이러한 에너지 손실이 일어난다, 물리적으로 말해서 전자기 에너지는 분자와 상호작용하여 경계 전자들의 운동을 혼란시킨다. 전자가 전자기 에너지의 일부를 흡수하면 원자는

흥분 상태가 된다. 레이더 빔이 분자를 만나면 빔은 분자로 에너지를 잃게 된다. 이 에너지 손실을 감쇠(attenuation)라 부르며, 손실량은 상호작용이 일어나는 대상 까지의 거리, 대상의 크기와 성분 및 레이더 펄스의 파장에 따라 기본적으로 좌우된다.

산란이나 흡수를 통해 레이더 펄스로부터 에너지가 감쇠되는 양은 입자 크기와 성분에 관련된 파장의 함수이다. 산란이 일어나면 같은 파장의 에너지가 원자나 분자로부터 방출된다. 한편, 흡수가 일어난다면 원자와 분자는 방출 후 좀더 흥분된 상태에 있게 되며, 다른 파장에서 에너지가 방출된다. 흡수의 한 예로서 마이크로 오븐은 레이더 파장의 에너지를 물분자를 포함하고 있는 음식에 방사한다. 즉, 이러한 물분자는 에너지를 흡수하여 가열된다.

원자나 분자의 경계전자는 레이더 펄스에 해당하는 전자기 복사를 흡수한다. 전자는, 힘이 가해지면 진동하는 전자 쌍극자 같이 반응하며, 흥분된 원자나 분자는 입사된 파와 같은 파장의 전자기 에너지를 방출한다. 이 과정을 산란(scattering)이라 한다. 빗방울과 같은 대기중의 입자들이 라디오파 에너지를 산란시킬 때, 여러 방향으로 에너지를 분산시킨다. 이 산란된 방향 중에서 레이더 쪽으로 되돌아가는 에너지를 후방산란(backscatter)이라 부른다. 레이더를 이용하여 대기 목표물을 탐지할 수 있는 것은 바로 이와 같은 후방산란 때문이다.

산란이 일어 날 때 파장과 목표물의 직경 사이의 관계는 중요하다. 목표물의 직경이 레이더 파장보다 작으면 레일리 산란이 일어난다. 이 때, 모든 방향으로 산란이 똑같이 일어나는데, 이 입자를 등방산란자(等方散亂子)라 부른다. 즉, 전방산란과 후방산란이 같다. 레일리 산란에 의해 레이더 수신기로 후방산란된 에너지 양은 입자의 직경과 레이더 빔의 파장에 좌우된다. 이 관계를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_R \propto D^6 / \lambda^4$$

여기서 D는 목표물의 직경, λ 는 레이더 파장, P_R 은 레이더로 수신된 에너지를 타나낸다. 파장이 감소하고 입자의 직경이 증가하면, 레일리 산란은 급격히 증가한다. 그러나, 목표물의 직경이 레이더 파장에 접근하면 Mie 산란이 일어난다. 대부분의 입사 에너지가 전방 산란되는 것이 Mie 산란의 한 예이다. 대부분의 기상레이더에서는 폭풍내의 큰 우박의 존재가 Mie 산란을 일으키는 원인이 된다. 레이더의 파장이 작으면 작을수록, Mie 산란이 일어 날 확률은 그만큼 더 커진다. 결과적으로, X 밴드(3cm) 레이더는 호우나 우박을 탐지하는데는 문제

가 있다. 입자의 크기와 레이더 파장 이외에 산란되는 양에 영향을 미치는 것은 입자의 구성이다. 예를 들면, 어떤 직경을 가진 우박에 의한 산란은 드라이아이스인 우박보다 물로 싸인 우박에 대해서 훨씬 더 클 것이다.

레이더의 주요 탐지 대상들 보다 더 작은 입자들에 의해 산란되는 것을 최소화하도록 레이더에 사용되는 파장이 선택된다. 따라서 K 밴드(0.86cm) 레이더는 구름을 탐지하는데 사용되며, X, C, S 밴드 레이더는 강수를 탐지하는데 주로 이용된다.

펄스 에너지가 대기 중의 입자에 포착되어 간헐 때 흡수가 일어난다. 흡수된 에너지는 입자를 구성하는 원자의 에너지를 증가시킨다. 흡수된 에너지는 나중에 입자에 의해 재방사되지만 다른 파장에서 방출된다. 결과적으로 에너지를 전송한 레이더에는 인정되지 않는 것이다. 입자의 에너지 수준은 흡수가 일어난다면 원래의 상태까지 되돌아가지 못한다.

주어진 원자나 분자에 대해 흡수는 선택된 공명주파수에서만 감지 가능하다. 다른 모든 주파수에서의 흡수는 무시된다. 즉, 주어진 원자나 분자가 흡수할 수 있는 넓은 범위의 파장이 있지만, 이 범위내의 한정된 수의 파장만이 흡수된다. 일반적으로 파장대에 대한 흡수를 정리하면 다음과 같다.

- ① 만약 파장이 1cm 이상이면 기체에 의한 흡수는 무시할 만하다.
- ② 만약 파장이 5cm 이상이면 구름 입자에 의한 흡수는 무시할 수 있다.
- ③ 만약 파장이 10cm 이상이면 강수 입자에 의한 흡수를 무시할 수 있다.

일반적으로 파장이 길면 길수록 흡수에 의한 감쇠는 점점 더 작아진다. 기상레이더에 사용되는 파장은 대기중의 고체성 물질(입자)에 의한 흡수를 최소화하도록 선택된다.

대기기체에 의해 산란되는 레이더 에너지의 양은 적다. 비록 산소와 수증기에 의한 흡수가 먼 거리에서는 심각하지만, 전체적으로 볼 때 흡수되는 양은 훨씬 적다. 대기중의 액체나 고체 입자에 의한 감쇠는 기체에 의한 것보다 훨씬 더 심하다. 그 결과, 대기기체에 의한 감쇠는 현업용 기상레이더에서는 보통 무시된다. 그림 4.2 은 10cm 레이더에 대해서, 빔이 표준대기를 통과할 때 고도 각의 함수로 나타낸 기체에 의한 양방향 감쇠를 보여 주고 있다.

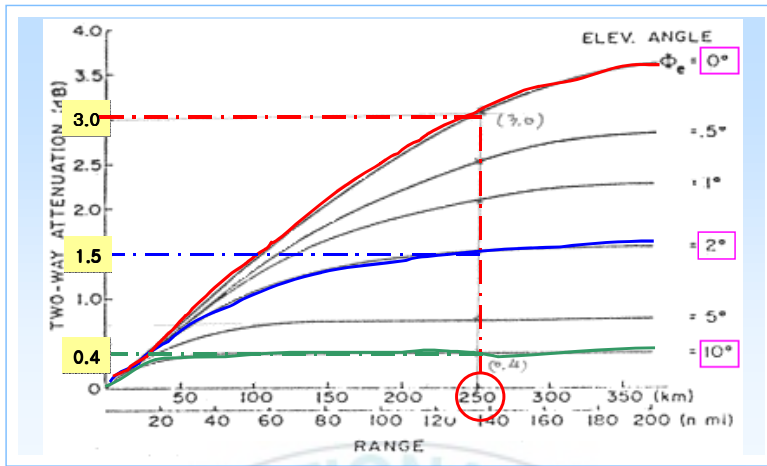


그림 4.2 10cm 레이더의 경우 기체에 의한 양방향 감쇠(Doviak & Zrnice, 1984에서 인용)

레이저에 관계없이 같은 강도의 강수량을 똑같이 표출시키기 위해서 수신기의 증폭을 레이저가 증가함에 따라 단계적으로 조정하거나 혹은 전산기로 보정함으로써 레이저 감쇠가 해결될 수 있다. 여기서 적용되는 보정 곡선은 관측이 이루어지는 모든 레이저에 대해 $\pm 1\text{dB}$ 보다 더 좋아야 한다는 이론법칙과 잘 일치해야 한다. 송신기 발진 후 전자회로가 안정되는데 극히 짧은 시간이 걸리고, 또한 레이저 근처에는 지형 클러터가 존재하기 때문에 약 5km 이내에서는 의미있는 관측이 되지 못한다. 만약 신호가 잡음지수 이상의 진폭을 가지지 못하게 되는 레이저를 초과하여 훨씬 더 멀고 더 정확하게 관측하려면, H/W적 보정방법은 다루기 어려운 진폭 수준까지 모든 신호를 약화시키는 경향이 있어서 의미 있는 관측의 기회를 감소시킬 것이다. 한편 보정이 S/W적으로 프로그래밍 된다면 이 문제는 대개 해소된다.

만약 위에서 언급된 대로 $\pm 1\text{dB}$ 조차도 실제 요구된 것보다 더 크고 강수량 측정시 감지 할 수 있을 정도의 오차를 유발시킬 수 있다는 것을 염두해 두어야 한다. 그러나, 스위프 이득 오차는 안정도에 관계없이 어떤 특정 레이저에서만 발생해야만 하며, 전체적인 수신기 안정도 내에서는 항상 일정해야 한다.

전자기 복사에너지는 특히 짧은 파장에서 우적에 의해 감쇠됨을 설명 한 바 있다. 따라서 평범한 반사도 기법에 의해 강수량을 측정할 때, 긴 파장의 전자기 에너지가 더 바람직하다. 그러나 감쇠량을 측정하므로써 강수량을 측정하는

것이 가능하다, Ryde(1974)와 Wexler & Atlas(1963)는 1cm 근처의 파장에서 감쇠는 주로 강우율에 선형적으로 관련되어 있음을 지적하였다. 실제로 사용되는 파장은 대부분 0.86cm이다. 감쇠에 의한 측정 방법은 다른 지점에 많은 목표물(혹은 수신기)을 설정해 놓고 건조한 날에 신호 강도를 측정하는 것이다. 강우인 경우, 신호강도의 차이를 이용하여 진로상의 누적 강우량을 계산하는데 사용되고 있다. Gunn & East(1954)는 0.9cm에서 $K=0.22R$ 를, 1.25cm에서 $K=0.12R^{1.05}$ 라는 관계식을 만든 바 있다. 여기서 K는 편도 감쇠율로 단위는 dBkm^{-1} 이고, R_{dms} 18℃에서의 강우율로 단위는 mm h^{-1} 이다

온도의 의존성은, 0℃에서 30℃ 사이에서, 강우의 모든 강도에 대한 감쇠율의 변동이 18℃일 때의 값의 15%를 넘지 않는 정도 밖에 안된다. Collis(1960)에 의해 제안된 이 방법은 그 자체가 아직 현업화 된 것은 아니다.

레이돔은 레이더, 위성 수신국 및 통신 터미널의 안테나를 보호하기 위한 돔형의 구조물이다. 이것은 안테나가 서있는 플랫폼 위에 여러 조각의 판넬로 조립된 구조로 되어 있다. 레이돔은 고무를 먹인 재질로 되어 있으며, 주위 기압에 견딜 수 있도록 구형으로 제작되고 있다. 현재 가장 보편적인 것은 손으로 제작한 삼각형 조각의 형태인 화이버(fiber)이다. 이 조각들이 수직으로 조립되어 자기지지형 구조를 형성한다. 어떤 경우에는 조각의 가장자리 부분이 알루미늄으로 되어 있는 경우도 있으며, 이 때의 구조를 금속제 공간 골격형 레이돔이라 불린다. 다른 경우에는 조각의 가장자리가 화이버 섬유로 보강된 것이 있는데, 이 구조는 유전체 공간 골격형 레이돔이라 한다. 레이돔의 재질은 보통 폴리에탄 혹은 그래프지를 유리섬유에 혼합한 플라스틱(FRP)을 끼운 판넬이 대부분이다.

레이돔의 원래 목적은 모든 종류의 바람, 비, 눈 등으로부터 안테나를 보호하기 위한 것이다. 이렇게 하므로써 안테나 시스템의 부식을 막을 수 있어서 어떠한 기상 상태에서도 레이더를 가동할 수 있게 해 준다. 또한 레이돔이 있으면 다소 구동력이 떨어지는 모터를 사용할 수 있으며, 강풍 때문에 생기는 안테나의 일정치 못한 회전 문제도 극복될 수 있다.

그러나, 레이돔을 설치하면 다소 불리한 점이 있다. 레이돔은 전력의 손실을 초래하고, 안테나의 부방사부(side lobe) 값을 증가시키게 되므로 가능한 한 이러한 영향을 최소화 할 필요가 있다, 따라서 레이돔은 전파의 통로에 대한 경사부분을 적게 하고, 안테나의 직경에 비해서 크기가 약 1.5배 이상되는 것을 사용하되 산란이 적은 재료와 구조를 갖추어야 한다. 일반적으로 C-band 레이더의 레이돔은 그 직경이 약 5.5m 정도이다.

레이돔은 실용적인 장점을 가지고 있지만, 반대로 단점도 가지고 있다, 즉, 레이돔에 의해 레이더 빔 에너지가 감쇠된다는 것이다.

공간 골격형 레이돔은 전송 빔과 부방사부에 영향을 준다. 빔의 요동이 약간 일어나는데, 이것은 부방사부에 대해서는 측정 가능한 정도이지만, 주방사부(main lobe)에 대해서는 별로 문제가 되지 않는다. 레이돔의 구조가 잘 설계되었다면 그 영향은 상당히 일정하며 강수 관측에는 그다지 영향을 주지 않는다. 따라서 이러한 영향은 무시 되어도 좋다.

그러나 문제가 되는 것은 레이돔의 재질이나 구조가 어떠한 간에 전자기 에너지의 감쇠나 손실이 어느정도 일어난다는 것이다. 이것은 구조물에 흡수되거나 반사되는 것을 의미한다. 일반적으로 양방향으로 0.5dB 정도의 손실이 각각 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 레이돔의 재질은 레이더 파장에 심각한 영향을 주지 않도록 선택된다.

감쇠 특성이 모든 상황에서 일정하다면 전산기 프로그램에서 영구적인 보정을 하는 것이 그리 어렵지 않을 것이다. 그러나, 불행하게도 물은 전파에 민감하다. 따라서 레이돔이 젖어 있으면 수막이 전파의 흡수와 반사를 증가시키기 때문에 감쇠는 상당히 커진다. 따라서 감쇠 특성은 아직 확실하게 알려져 있지 않다. 이 감쇠 특성은 여러 요인, 즉 레이돔의 크기와 재질, 청결도, 수막의 두께, 레이돔 도색료의 특성 등에 좌우된다. 일단 레이돔이 설치되면, 그 크기, 재질, 레이더 주파수는 일정하므로 총감쇠에는 영향을 주지만, 감쇠 변동에는 그렇지 못하다. 감쇠 변동을 줄이려면 정기적으로 청소를 하고 적당한 방수 화합물로 도장하여야 한다.

레이돔 표면을 방수 처리하면 레이돔이 수분을 잘 흡수하지 않으며, 설령 수분을 흡수하였다하더라도 강수가 그친 후 회복 시간이 빠르게 된다. 고무 재질은 일반적으로 인조 화이버 보다 흡수성이 더 크며 총감쇠와 회복 시간 면에서 만족스럽지 못하다.

감쇠 문제의 심각성에 대해서는 많은 의견들이 있다. 이에 대한 실험 결과는 많지만, 서로 다른 결과를 보여 주므로 좀더 많은 객관적인 증거가 필요하다. 특히 그 중에서 더욱 모호 한 것은 레이돔의 어느 부분에 두께가 어느 정도 되는 수막이 있는지를 모른다는 것이다. Wilson(1978)은 강우율의 증가에 관계없이 수막의 두께는 최대에 달할 수 있다고 믿었지만, 다른 대부분의 조사에서는 그렇지 않는었다. 어떤 학자들은 온도가 떨어지면 물의 점성이 증가하여 더운 날보다는 추운 날에 감쇠가 더 커진다는 사실을 지적하고 있다. 만약 방수 표면에 있는 물을 레이돔 조각의 이음새 부분을 통해 일정한 방식으로 흘러 내리게 한다면, 원치 않는 영향이 일어 날 수 있다. 즉 이것은 빔을 왜곡 시킬 수 있는

격자 모양을 형성할 수 있기 때문이다.

강우율(즉 40mm/h)에 대한 수 많은 감쇠 추정치를 보면 아주 다르게 나타난다. 그러나 레이돔 특성이 어떻게 다른지는 알려져 있지 않다. Wilson(1978)은 1dB가 옳다고 한 반면에 Kodaira 등 다른 연구자들은 4dB 이상이라 하였다. 궁극적으로 볼 때, 이러한 종류의 연구 목적은 데이터 처리용 프로그램에서 실시간적으로 가동될 수 있는 보정 기법을 개발해 내는 것이다.

강우율이 상당히 큰 강수 현상이 자주 있는 영대 지역에서 레이돔 감쇠는 상당히 심각하다. 또한 온대나 극지방에서는 얼음이나 눈의 성장이 거의 무한정 일어나 결과적으로 더 큰 감쇠를 유발할 수 있다. 이것을 극복하기 위해서 레이돔안을 가열하는 것이 필요하지만, 계산해 보면 빙결의 모든 장해를 제거하기 위해서는 레이돔의 크기에 따라 20kW가 넘는 상당한 전력이 필요하다.

레이돔에 미치는 강수량의 정량적인 영향에 관하여 여러 관점들이 있지만, 레이돔에 의해 보호되지 않은 안테나가 미치는 강수량의 정략적인 영향에도 여러 의견이 있다. 더구나, 반사경의 표면 뿐만 아니라 오히려 반사경에 에너지를 지향시키는 혼(horn)이나 휘이드(feed)에 덮인 물에 따라 손실이 있을 것이라고 가정하는 것이 더 이치에 맞다.

감쇠계수(attenuation factor ; K)의 측면에서 보면 이 계수를 레인지 때문에 생기는 감쇠와 혼동하여서는 안된다. 대기중을 진행하는 전자기 에너지는 흡수와 산란에 의해 에너지를 잃는다. 따라서, 이 두가지 요소에 의한 손실을 조합하면 감쇠계수를 유도할 수 있다.

흡수에 의해 생기는 감쇠에 중요한 영향을 미치는 대기기체는 수증기와 산소이며, 기체 분자 때문에 생기는 산란에 의한 감쇠는 무시할 만하다. 3cm 와 10cm 사이에서 대기중의 산소에 의한 감쇠는 극히 일정하다고 볼 수 있다. 해면 기압에서 산소에 의한 감쇠는 0.01 과 0.008 dBkm^{-1} 사이에 있다. 이것은, 100km의 레인지에서 2와 1.6dB 사이므로, 먼 레인지에 있는 강수를 탐지할 때 심각한 오차를 유발할 수 있다. 이것은, 사실, 지구 곡률 때문에 레인지가 증가할수록 낮은 기압을 가진 대기를 빔이 지나게 되므로, 강우강도를 다소 과대측정하는 원인이 된다.

물론, 수증기 흡수에 의한 감쇠는 공기중의 수증기량에 의해 좌우된다. 10cm 파장에서는 감쇠율이 0.0002 dBkm^{-1} 로서 무시할 만하지만, 파장이 감소하면 급격히 증가한다. 1000hp의 기압에서 7.5 gm^{-3} 의 수증기량에 대한 감쇠량은 3cm 파장에서의 산소에 의한 감쇠량인 0.01 dBkm^{-1} 에 접근한다. 현업용 레이더는 3과 10cm 사이의 파장을 사용하고 있고, 특히 정량적인 관측에

이용될 때는 5.6cm나 10cm를 사용한다. 정량적이 아닌 정성적인 탐지 목적이 라면, 대기기체에 의한 흡수 효과는 무시할 만하다. 시스템에 처리기가 포함되어 있으면 보정 계수를 적용하여 데이터를 보정할 수 있다.

대기기체보다 더 중요한 것은 대기중의 빗방울이나 고체성 입자이다. 감쇠는 산란과 흡수에 의해 일어나며, 파장, 입자의 직경, 유전상수(誘電常數 : dielectric constant)에 따라 다르다. 물방울로 이루어져 있는 구름에 대해서는 감쇠의 정도는 수증기량에 따라 다르며, 구름 입자의 크기와는 상관이 없다. 대류운의 일부분을 제외하고는 대부분의 구름에 있어서는 큰 값인 1gm^{-3} 의 수증기량에 대해, 3cm의 파장에서는 감쇠가 거의 0.1dBkm^{-1} 이며, 10cm에서는 0.01dBkm^{-1} 이다. 농도가 1gm^{-3} 인 얼음입자의 구름에 대해서는, 3cm일 때 0.004dBkm^{-1} , 10cm일 때는 0.0008dBkm^{-1} 이다. 따라서, 레이더 빔을 따라 0.5gm^{-3} 이하의 수증기를 포함하는 구름이 있다하더라도 10cm에서의 감쇠는 그다지 심각하지 않다.

가장 심각한 문제는 강수에 의한 감쇠이다. 입자의 평균적인 크기분포에 대해 여러 파장과 강우율에 대해 감쇠량을 계산할 수 있다.

4.2 반사강도를 이용한 감쇠특성

실험적으로 측정된 물방울 크기 분포가 레이더 반사율과 강수율 계산에 이용되는 것을 Z-R 관계식이라고 하며 이 식은 통계적 계산 과정을 거쳐 강수량과 반사도 관계를 설정한다.

레이더 에코는 강우입자에 부딪혀서 반사되어온 반사도 인자(Z)를 나타내는 것으로 그 단위는 dBz이다. dBz는 단위 체적(m^3)당 직경 1mm인 물방울 1개를 기준으로 한 레이더 반사도로서 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\text{dBz} = 10 \log Z$$

여기에서

$$Z = \sum D^6 \quad \frac{mm^6}{m^3}$$

이 식에서 Z는 1 m³에 들어있는 수상 입자의 직경 D를 6 제곱하여 더한 값이다.

즉, 1 m³당 직경 1 mm의 물입자가 있으면 반사도는 0dBz, 10개 있으면 10개 있으면 10dBz, 100개 있으면 20dBz가 된다.

위와 같은 반사도와 강수율 사이에 공통적인 관계를 이용하여 다음식과 같이 강수량으로 환산한다.

$$Z(mm^6/m^3) = aR^b$$

$$\text{또는} \quad R = \left(\frac{Z}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

여기서 z는 레이더의 반사도, R은 지상에서의 강수율(mm/h), a와 b는 경험을 통하여 얻어진 경험적 상수이다.

Ryde(1974)와 Wexler & Atlas(1963)는 1cm 근처의 파장에서 감쇠는 주로 강우율에 선형적으로 관련되어 있음을 지적하였다. 실제로 사용되는 파장은 대부분 0.86cm이다.

Gunn & East(1954)는 0.9cm에서 $K=0.22R$ 를, 1.25cm에서 $K=0.12R^{1.05}$ 라는 관계식을 만든 바 있다. 여기서 K는 편도 감쇠율로 단위는 $dBkm^{-1}$ 이고, Rdms 18℃에서의 강우율로 단위는 $mm h^{-1}$ 이다

온도의 의존성은, 0℃에서 30℃ 사이에서, 강우의 모든 강도에 대한 감쇠율의 변동이 18℃일 때의 값의 15%를 넘지 않는 정도 밖에 안된다. Collis(1960)에 의해 제안된 이 방법은 그 자체가 아직 현업화 된 것은 아니다.

아래 표 4.1은 $Z = 200 R^{1.6}$ 의 관계식을 적용한 강수의 반사도 값으로 이 표에서 반사도 23dBz는 1mm/h의 강수량을 나타내고 있다.

표 4.1 반사도에 의한 강수량 환산표

강수량 (mm/h)	반사도 (dBZ)	강수량 (mm/h)	반사도 (dBZ)	강수량 (mm/h)	반사도 (dBZ)
0.1	7.0	9.0	38.3	28.0	46.2
0.3	14.6	9.5	38.7	29.0	46.4
0.5	18.2	10.0	39.0	30.0	46.6
0.8	21.5	11.0	39.7	33.0	47.3
1.0	23.0	12.0	40.3	35.0	47.7
1.5	25.8	13.0	40.8	37.0	48.1
2.0	27.8	14.0	41.3	40.0	48.6
2.5	29.4	15.0	41.8	43.0	49.1
3.0	30.6	16.0	42.3	45.0	49.5
3.5	31.7	17.0	42.7	47.0	49.8
4.0	32.6	18.0	43.1	50.0	50.2
4.5	33.5	19.0	43.5	55.0	50.9
5.0	34.2	20.0	43.8	60.0	51.5
5.5	34.9	21.0	44.2	65.0	52.0
6.0	35.5	22.0	44.5	70.0	52.5
6.5	36.0	23.0	44.8	75.0	53.0
7.0	36.5	24.0	45.1	80.0	53.5
7.5	37.0	25.0	45.4	85.0	53.9
8.0	37.5	26.0	45.6	90.0	54.3
8.5	37.9	27.0	45.9	100.0	55.0

앞에서도 언급했듯이 대기기체, 강수입자, 레인지에 따라 감쇠현상이 나타나지만 가장 심각하게 고려되어야 할 점은 강수에 의한 감쇠현상이다.

사용목적에 따라 기상레이더 주파수대역을 달리 하고있지만, 현재 먼거리 강우관측에 실용성이 높고 감쇠현상이 적은 S-band 레이더를 사용하고 있으며, 여러 가지 감쇠현상에 대한 보정 또한 소프트웨어적으로 이루어지고 있다.

실질적으로 강한 반사강도를 나타내는 태풍현상을 대상으로 하여 레이더 주파수대역별로 반사강도를 이용한 감쇠현상을 비교분석해 보았다.

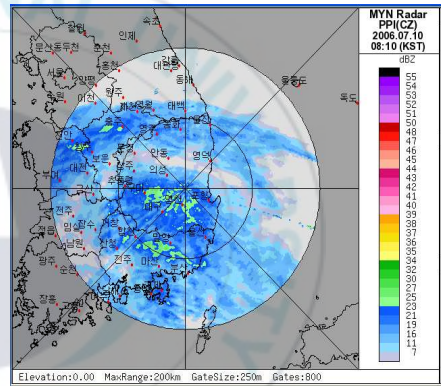
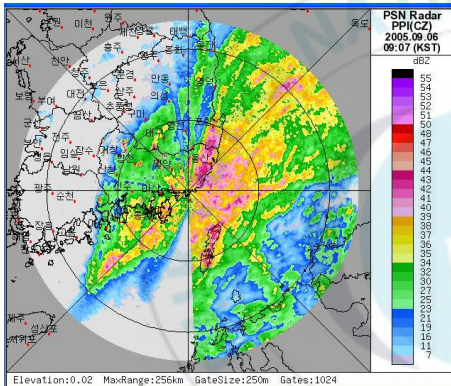
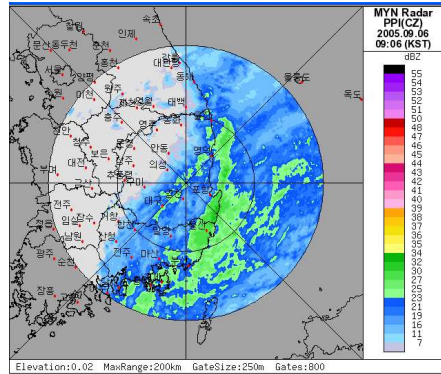
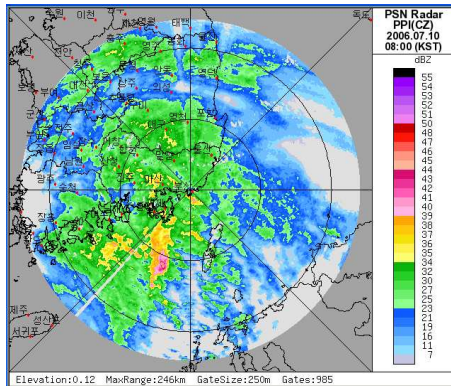


그림 4.3 S-band와 C-band 레이더영상

위 그림은 S-band와 C-band 레이더에서 관측한 레이더에코(비구름) 영상으로 S-band의 경우 전반적으로 11~21dBz의 푸른색계열과 23~32dBz의 녹색계열의 반사도를 보이며 가장 강한 강도를 보이는 곳은 41~43dBz 시간당 강우량으로 환산하면 17mm/h의 붉은색 계열로 나타나고 있는 반면 C-band의 경우 전반적으로 S-band에 비해 푸른색 계열의 낮은 강도를 보이며 전체적으로 감쇠현상이 심하게 나타나는 것을 알 수 있으며, 그 차이는 약 10~20dBz정도이다.

지역별 강우량에 의한 반사강도는 다음과 같다

S-band 레이더 반사도

측정 지역	레이더강우량(mm/h)	레이더반사도(dBz)	오차범위(dBz)
대구	4~5	32.6~34.2	1.6
밀양	3~4	30.6~32.6	2.0
마산	7~8	36.5~37.5	1.0
울산	3~4	30.6~32.6	2.0
진주	3~4	30.6~32.6	2.0
통영	4~5	32.6~34.2	1.6
남해	4~5	32.6~34.2	1.6
거제	7~8	36.5~37.5	1.0
부산	7~8	36.5~37.5	1.0

$$Z(mm^6/m^3) = aR^b$$

$$dBz = 10 \log Z$$

$$1837.9 = 200 \cdot 4^{1.6}$$

$$32.6dBz = 10 \log 1837.9$$

C-band 레이더 반사도

측정지역	레이더강우량(mm/h)	레이더반사도(dBz)	오차범위(dBz)
대구	0.5~0.8	18.2~21.5	3.3
밀양	0.5~0.8	18.2~21.5	3.3
마산	0.5~0.8	18.2~21.5	3.3
울산	0.5~0.8	18.2~21.5	3.3
진주	0.5~0.8	18.2~21.5	3.3
통영	0.5~0.8	18.2~21.5	3.3
남해	0.5~0.8	18.2~21.5	3.3
거제	0.5~0.8	18.2~21.5	3.3
부산	2.0~4.0	27.8~32.6	4.8

$$Z(mm^6/m^3) = aR^b \quad 0.32987 = 0.5^{1.6}$$

$$dBz = 10 \log Z \quad 18.2dBz = 10 \log 0.32987$$

S-band와 C-band 레이더 반사도 오차

측정지역	S-band(dBz)	C-band(dBz)	오차범위(dBz)
대구	1.6	3.3	1.7
밀양	2.0	3.3	1.3
마산	1.0	3.3	2.3
울산	2.0	3.3	1.3
진주	2.0	3.3	1.3
통영	1.6	3.3	1.7
남해	1.6	3.3	1.7
거제	1.0	3.3	2.3
부산	1.0	4.8	3.8
평균	1.5	3.5	3.9

위 결과에서 나타나듯이 C-band에 비해 S-band에서 감쇠의 영향을 덜 받게됨을 알수있으며, 강수량에 따른 파장대별 감쇠정도는 통계상 10cm파장의 경우 0.0003~0.18mm/h, 5.6cm파장의 경우 0.002~3.48mm/h 정도의 감쇠율이 나타남을 앞장에서 언급한바 있다. 이렇듯 S-band의 경우 감쇠가 문제가 되는 지역 또는 호우가 자주 발생하는 지역에 적합함을 알 수 있다.

레이더의 파장에 따라 사용 목적이 달라지는 것은 방사(radiating)된 전자기파가 물체에 부딪칠 때 반사된 전자기파의 파장에 따라 그 물체와 상호 작용하는 양상이 달라지기 때문이다. 일반적으로 레이더 파장이 커지면 관측하는 물체가 크고 반대로 파장이 짧아지면 관측하는 물체도 작다. 따라서 X-band 대역은 소규모 강수역을, K-band대역은 구름 입자들을 관측하게 된다. 또한 강수 관측에 있어서 중요한 점은 강수에 의한 전자기파의 산란이다.

파장이 짧을수록 전자기파가 강수에 의해 잘 산란되기 때문에 강수현상을 정확하게 관측하기 위해서는 X-band대역보다는 C-band대역이, C-band대역보다는 S-band대역이 더 우수하다.

강수는 비나 눈, 우박 등과 같이 대기 중의 작은 물방울이나 빙정 등이 구름으로부터 땅에 떨어져 내리는 현상을 말한다. 일반적으로 비나 안개비 등이 내릴 때 강우라 하고 눈이나 싸락눈 등을 강설이라고 하며, 강수는 하늘에서 떨어져서 물이 될 수 있는 모든 현상을 의미한다.

기상레이더는 넓은 지역에 걸쳐 강수와 구름의 움직임을 실시간으로 관측할 수 있어 급속히 발달하는 호우 등 악기상에 대한 경보에 유용하다. 또한, 레이더는 좁은 지역에 나타나는 국지적인 강우 셀을 더 파악할 수 있는 공간분해능을 갖추고 있으며 시간적으로 오차가 적은 우량자료를 제공할 수 있다.

레이더 반사도로부터 직접적으로 강수를 나타내지 못하므로 반사도 Z와 강수 R과의 경험적 관계식, 즉 Z-R 관계식으로 전환하여 강수량을 나타내어야 한다. 구름에 대한 레이더 반사도는 -17dBz 이하로 매우 약해 몇 km를 벗어나면 대부분의 기상레이더에서 감지하지 못한다. 구름은 강우성 구름과 비강우성 구름으로 분류할 수 있다. 비강우성 구름은 구름 내부의 입자가 너무 작아서 아래로 떨어지지 않은 즉 강우 입자를 만들기에 충분한 시간을 갖지 못한 생성 중인 구름이거나 구름 속 상승하는 공기운동이 일정하여 일정고도각에서 구름 입자가 부유하고 있는 것을 말한다.

구름에 의한 레이더 빔의 감쇠는 구름의 형태가 다양하고 구름 자체가 매우

변하기 쉽기 때문에 대기의 감쇠보다 변동성이 더 많다. 구름이 얼음상태라면 0.0006에서 0.009(dB/km)(g/m³)까지 이며 물로 된 구름은 예를 들어 3.2cm파장을 사용하여 편도 25km의 경로를 이동하는 20℃ 온도에서 4 g/m³의 수분 함량을 갖는 구름은 총 10dB의 감쇠가 있다. 일반적으로 구름을 관측하는 레이더를 특별히 구름레이더(cloud radar)라고 한다.

비는 가벼운 이슬비부터 심한 뇌우까지 다양한 강도로 나타나며 기상레이더에 의해 쉽게 감지된다. 강수에 의한 레이더 빔의 감쇠는 매우 커서 X-band대역에서 감쇠율이 뇌우와 같은 많은 비를 동반할 경우 100mm/h 강수율을 가진 뇌우가 10km의 경로를 통과할 때 11.6dB의 감쇠를 받는다.

눈과 비의 탐지에는 차이가 있는데 첫째, 눈에 대한 강수율이 비에 대한 것보다 훨씬 적다. 둘째, 얼음의 유전 상수가 물보다 작다. 셋째, 눈을 발생시키는 폭풍이 비와 우박을 만드는 매우 거대한 폭풍우보다 더 낮고 더 작다.

눈의 감쇠가 비보다 작은 것은 강설운은 하층운이기 때문이다. 예를 들어 10mm/h 강수율을 갖는 눈을 왕복거리 50km 경로로 탐지하면 2dB 정도의 비교적 적은 감쇠를 받는다. 따라서 가끔 레이더에 의한 눈의 감쇠가 무시될 수 있다.

우박은 거의 뇌우에서 발생하지만 가끔은 번개와 천둥을 동반하지 않은 폭풍우에서 발생 할 수도 있다. 우박의 직경은 5mm에서 10cm정도로 크기가 매우 다양하고 떨어지는 속도가 다르기 때문에 보통 큰 것이 먼저 떨어지고 작은 것들이 다음으로 떨어진다. 우박의 반사도는 바깥 표면이 습한지 건조한지에 따라 또는 우박 속에 물을 함유하고 있는지에 따라서 다르다. 얼음과 물의 유전 상수가 다르기 때문에 건조한 우박은 같은 크기의 습한 우박보다도 반사도가 낮다. 단, 우박은 크기가 커서 레일리산란 조건에 적용되지 못하고 미산란 영역을 적용한다.

일반적으로 우박을 탐지하는 레이더는 우편파 혹은 좌편파의 레이더 빔을 방사하며, 우박 입자에서 산란되어 오는 각 방향의 회전편파는 그 비가 변하는 정도를 측정하여 우박의 존재 유무를 파악할 수 있다. 물론 이중편파(dual polarization)를 사용하는 경우도 있다.

흔히 발생하지 않은 다양한 우박의 감쇠를 추정하는 것은 매우 어렵다고 한다. 우박은 강한 뇌우와 함께 동반하는 것이 일반적이며 비와 우박의 감쇠효과는 우박이 없을 때보다 훨씬 크다. 이 경우도 파장이 짧을 수록 감쇠가 커지게 된다.

다음은 서로 다른 두 과장대의 영상으로 레이더안테나가 360° 회전하며 관측한 자료와 안테나가 위치한 장소에서 가장 반사도가 강하게 나타나는 일자와 시간대가 같은 동일지점(붉은색 실선 부분)의 수직분포 나타내는 자료로서, 거리와 고도별 감쇠정도를 알 수 있다.

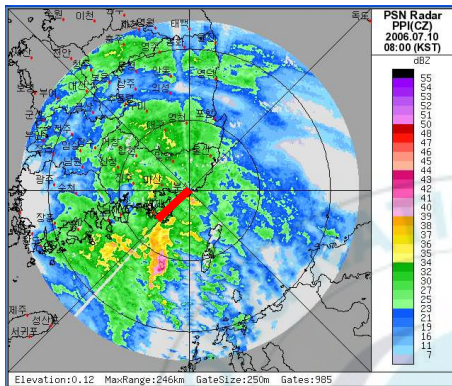


그림 4.3 S-band영상

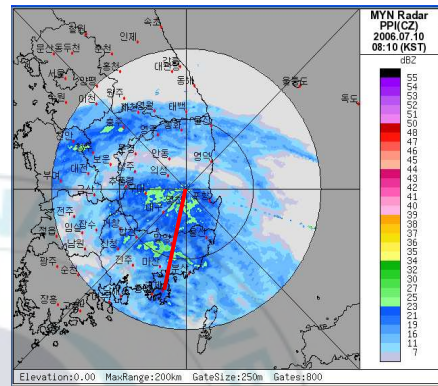


그림 4.4 C-band영상

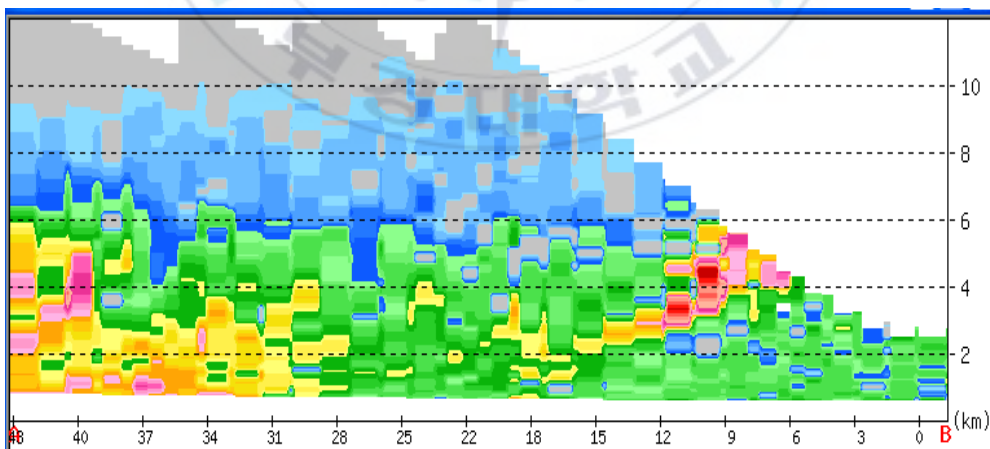


그림 4.5 S-band 연직분포 (거제(A지점)-안테나(B지점))

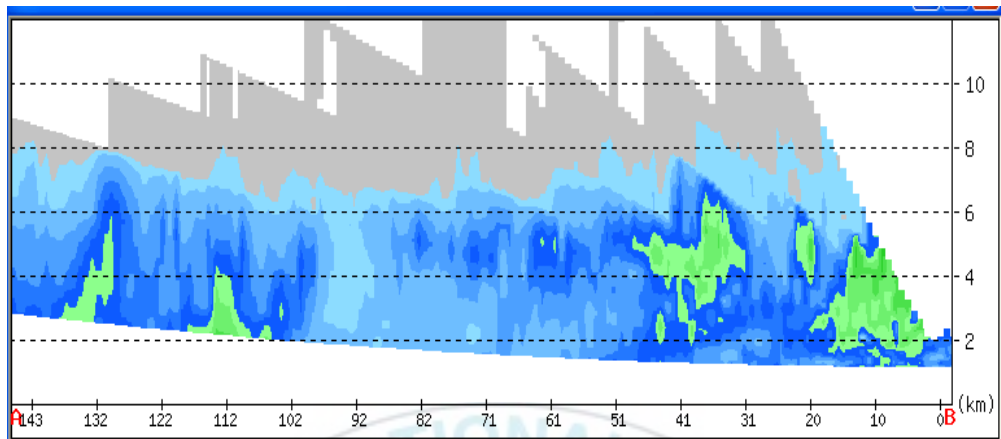


그림 4.6 C-band 연직분포(거제(A지점)-안테나(B지점))

동일지점에서 반사강도를 보면 S-band의 경우 고도 2~6km 이에 37~40dBZ의 강도를 보이는 반면 C-band의 경우 16~19dBZ 정도의 강도를 보이고 있다. 이시간대의 강우량은 시간당 45.0mm로 나타났으며, 약 20dBZ 정도의 감쇠가 있음을 알 수 있다.

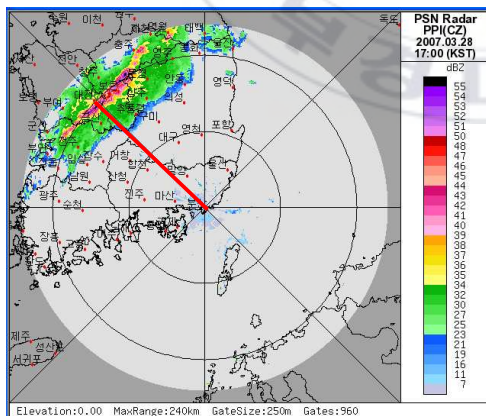


그림 4.7 S-band영상

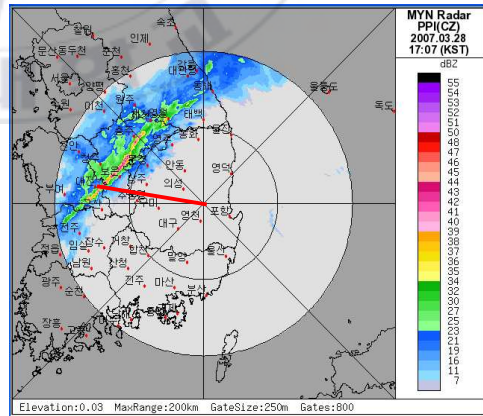


그림 4.8 C-band영상

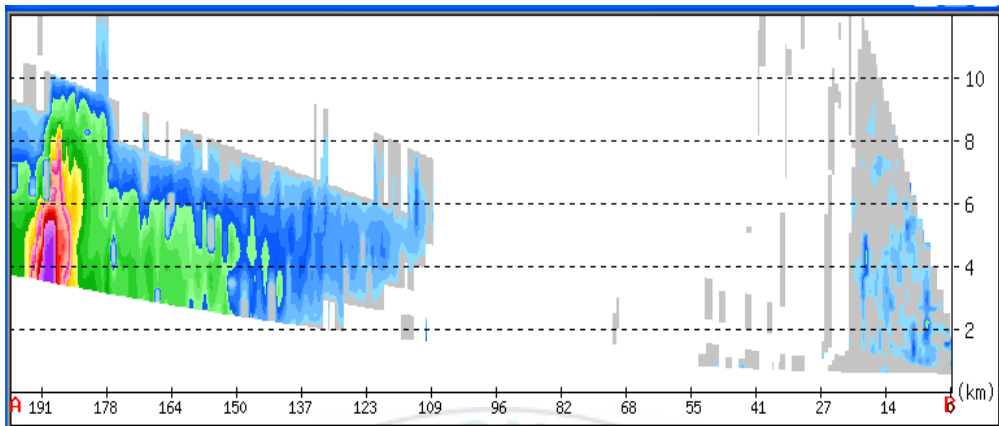


그림 4.9 S-band 연직분포(대전(A지점)-안테나(안테나(B지점))

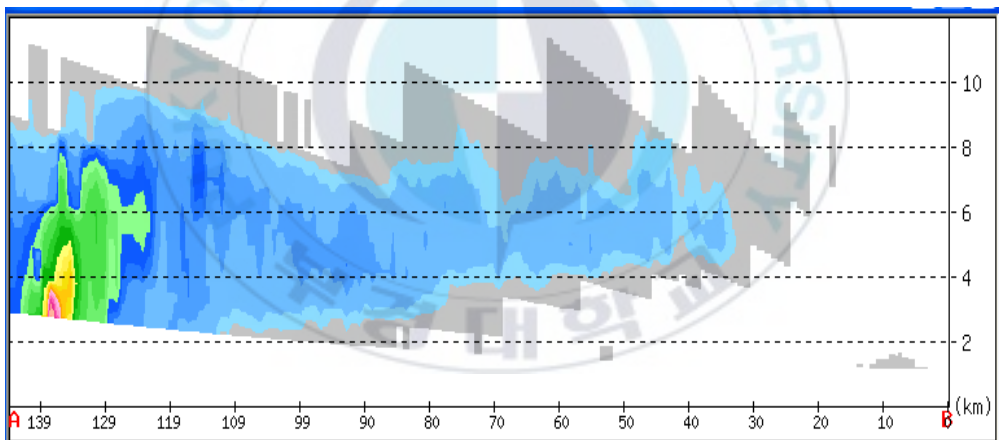


그림 4.10 C-band 연직분포(대전(A지점)-안테나(안테나(B지점))

S-band의 경우 고도 2~6km 사이에 40~47dBz의 강도를 보이는 반면 C-band의 경우 25~35dBz 정도의 강도를 보이고 있으며, 약 15dBz 정도의 감쇠가 있음을 알 수 있다.

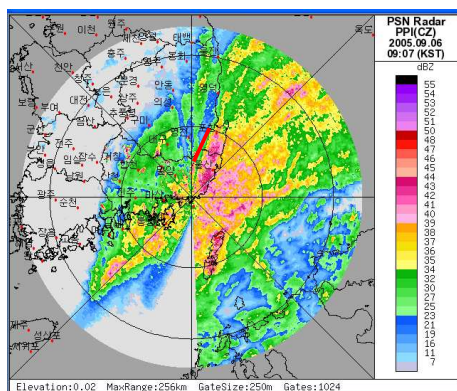


그림 4.11 S-band영상

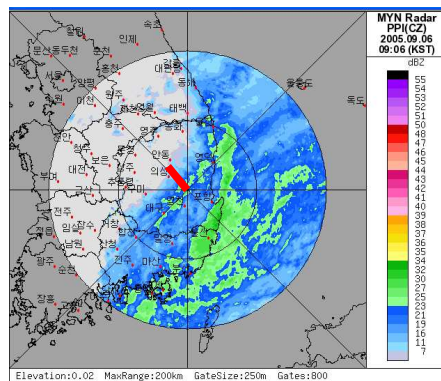


그림 4.12 C-band영상

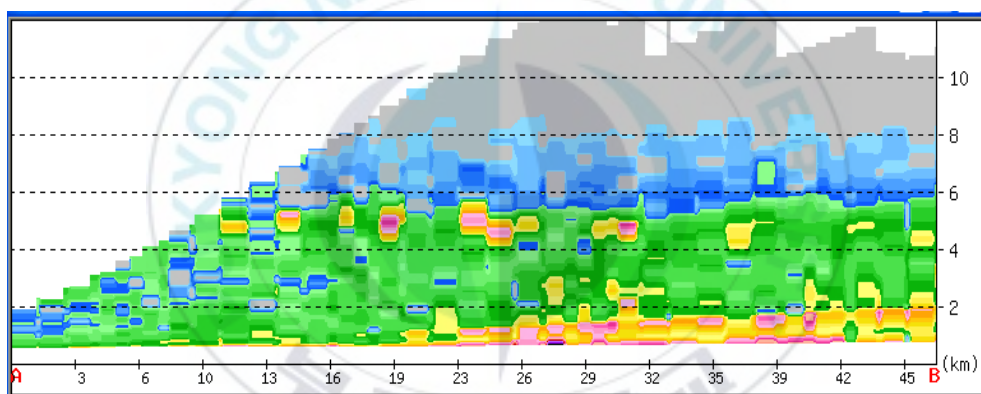


그림 4.13 S-band 연직분포(울산(B지점)-안테나(안테나(A지점))

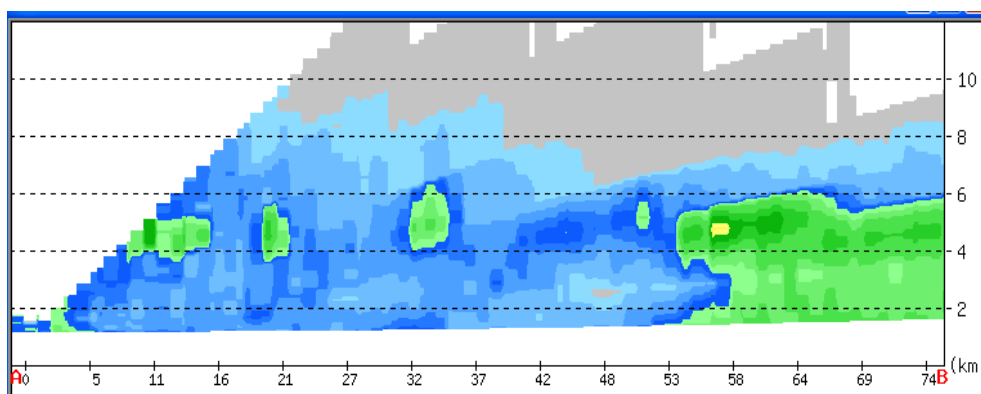


그림 4.14 C-band 연직분포(울산(B지점)-안테나(안테나(A지점))

S-band의 경우 고도 2km 이하에서 35~40dBz의 강도를 보이는 반면 C-band의 경우 25~30dBz 정도의 강도를 보이고 있으며, 약 10dBz 정도의 감쇠가 있음을 알 수 있다. 전반적으로 S-band와 C-band영상에서의 감쇠 정도는 약 10~20dBz정도의 차이가 있을 수 있다.

감쇠는 산란과 흡수에 의해 일어나며, 파장, 입자의 직경, 유전상수(誘電常數 : dielectric constant)에 따라 다르다. 물방울로 이루어져 있는 구름에 대해서 감

쇠의 정도는 수증기량에 따라 다르며, 구름 입자의 크기와는 상관이 없다. 대류운의 일부분을 제외하고는 대부분의 구름에 있어서는 큰 값인 1gm^{-3} 의 수증기량에 대해, 3cm의 파장에서는 감쇠가 거의 0.1dBkm^{-1} 이며, 10cm에서는 0.01dBkm^{-1} 이다. 농도가 1gm^{-3} 인 얼음입자의 구름에 대해서는, 3cm일 때 0.004dBkm^{-1} , 10cm일 때는 0.0008dBkm^{-1} 이다. 따라서, 레이더 빔을 따라 0.5gm^{-3} 이하의 수증기를 포함하는 구름이 있다하더라도 10cm에서의 감쇠는 그다지 심각하지 않다.

가장 심각한 문제는 강수에 의한 감쇠이다. 입자의 평균적인 크기분포에 대해 여러 파장과 강우율에 대해 감쇠량을 계산할 수 있다. 표 4.2은 10, 5.6, 3, 0.8cm의 네 가지 파장에 대한 강우율 별로 감쇠율을 나타낸 것이다.

표 4.2 강수에 의한 감쇠율(양방향)

강우율 (mm/hr)	파 장(cm)			
	10	5.6	3	0.8
0.5	0.0003	0.002	0.006	0.22
1.0	0.0006	0.004	0.014	0.44
5.0	0.003	0.03	0.122	2.2
10.0	0.006	0.066	0.302	4.4
50	0.03	0.43	2.5	22
100	0.06	0.962	6.16	44
200	0.12	2.16	15.3	88
300	0.18	3.48	26	132

제 5 장 결 론

본 논문에서는 서로 다른 파장대를 사용하는 두개의 기상레이더를 이용하여 대기입자에 대한 감쇠 및 반사특성을 분석하고 강우량에 대한 감쇠정도를 해석하였다.

그 결과 대기중을 진행하는 전자기 에너지는 흡수와 산란에 의해 에너지를 잃게 되는데, 이 두가지 요소에 의한 손실을 조합하여 감쇠계수를 유도할 수 있었다. 현업용 측정에 이용된 레이더는 5.6cm와 10cm 사이의 파장을 사용하였고, 정량적인 관측을 하였다. 시스템에 처리기가 포함되어 있어서 보정 계수를 적용하여 데이터를 보정할 수가 있었다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 흡수로 인한 감쇠에 중요한 영향을 미치는 대기기체는 수증기와 산소이다. 기체 분자 때문에 생기는 산란에 의한 감쇠는 기상레이더에서는 무시가능하기 때문에 우적에 의한 감쇠현상이 파장이 길고 짧음으로서 감쇠현상이 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다.

(2) 서로 다른 두 파장대를 사용하는 레이더의 강우강도 반사도영상을 통해 10cm파장대와 5cm파장대의 감쇠특성을 비교분석한 결과 약10~20dBz의 감쇠 차이가 나타남을 알 수 있었다.

이와같이, 레이더 반사도를 이용하여 감쇠특성 조사를 하게되면 시스템 내부적으로 감쇠현상에 대한 보정이 이루어지기 때문에 같은 파장대의 레이더를 이용하여 같은 위치의 목표물의 반사강도를 살펴보면 큰 차이를 발견할 수 없으나 서로 다른 파장대의 경우 파장이 길고 짧고의 차이로 인한 감쇠정도를 알 수 있었다. 하지만 각 지점에 설치된 레이더안테나로부터 강우량에 따른 반사강도를 이용하여 감쇠정도를 비교분석한 것이기 때문에 실질적인 같은 거리상에서의 같은 강도를 가지는 목표물을 관측하므로써 수신되는 전력의 차이를 알 수가 없었다. 추후 연구과제로서는 여러지점에 많은 목표물 또는 레이더 수신기를 이용하여 건조한날 수신전력을 비교 측정하므로써 강도의 차이를 분석해야 할 것이다. 이러한 실험을 위해서 각 레이더가 위치한 지점에서 동일한 거리에 있는 같은 목표물을 정해놓고 그에 따른 수신전력을 비교측정해 보는 방법이 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

1. 엄원근, “레이더 기상학”, 영재사, 1995. pp. 67~73, 122~129.
2. 박균명, 정효상, “기상레이더 입문”, 인쇄출판 토파민, 2005. 11, pp. 19~33, 104~113
3. Merrill I.Skolnik, 정재순 역, “레이더 이론 및 원리 (Introduction to Radar Systems)”, 2001.2, pp. 217~233, 569~575.
4. 정성화, 김경익, 하경자, “지상 우량계의 강우강도를 이용한 개선된 레이더 강우강도의 실시간 추정”, 한국기상학회지, 제41권 제5호, 2005. 10, pp. 751~762
5. 기상청, "EDGE Technical Manual" DRS Co, 2005.
6. 기상청, "EDGE Operation Manual" DRS Co, 2005.
7. 기상청, "EDGE RVP-7 Manual" DRS Co, 2005.
8. 전일권 외, “레이더 반사강도와 강우강도 관계 평가”, 건설기술 연구, 1999. 4, pp. 185~199
9. 박동원, “기상레이더의 원리와 응용”, 대우엔지니어링기술보, 1999. 10, pp. 120~132
10. 엄원근 외, “기상레이더 관측자료의 품질향상에 관한 연구”, 기상연구논문집, 1991. 11, pp. 21~30