

원격 탐사용 레이더의 기술 동향

金 榮 洙, 全 珉, 朴 亨 根
 浦項工科大學校 電子電氣工學科
 (電磁波 特化研究 센터)

원격탐사란 원거리에서 지구표면 및 대기권 등을 관측 또는 감시하는 것을 이르는 말로서, 1백여 년전 부터 항공 사진촬영을 군사목적의 원격탐사에 이용해왔다. 최근에는 인공위성을 이용한 원격탐사가 일반화되어 인공위성에서 촬영한 사진이 세계 각국의 민간인들에게 판매되고 있으며, 또한 레이더 등을 이용한 초고주파 원격탐사도 활발히 진행되고 있다.

항공사진에 사용되는 가시광선이나 적외선은 구름을 통과하지 못하기 때문에 꼭 필요한 정보를 필요한 때에 입수하지 못할 수 있다는 단점이 있다. 그러나 초고주파는 파장이 훨씬 크기 때문에 구름이나 비 등을 통과하여 지상에 관한 정보를 얻을 수 있고, 또 태양광선의 반사에 의지하지 않으므로 주야간을 막론하고 사용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 초고주파는 광선보다 지상의 수목들이나 토양을 더 깊이 통과하기 때문에 사용하는 파장에 따라 경작물의 상태 또는 그 밑의 토양에 대한 정보를 얻을 수 있고, 사막지역에서는 땅속깊이 침투하여 지하자원 탐사에 필요한 정보나 또는 다른 유익한 정보를 얻을 수도 있다.

빛에 대한 목표물들의 반사는 주로 물체 표면의 분자공명에 의한데 반해 초고주파를 쏘인 목표물들의 반사는 물체전체의 기하학적 및 전기자기학적 성질에 의해 결정된다. 그러므로 빛과 초고주파를 이용한 원격탐사는 상호보완적인 관계에 있으며, 이 둘이 같이 사용될 때 비로소 표면 및 내부의 정보를 더 많이 얻을 수 있게 된다.

실질적으로 원격탐사용 레이더는 지질탐사, 홍수탐사, 토양의 수분조사, 강설량 및 분포조사, 농작물의 분포 및 경계조사, 삼림감시, 산불피해조사, 대륙이용도 조사, 빙산 및 해빙의 이동 및 두께 추정, 기름에 의한 해양 오염 조사, 풍속측정, 해류측정 등등 많은 분야에 사용되고 있으며, 화성, 금성 등의 우주탐사에도 활발히 적용되고 있다.

1950년대 이래로 주로 군에서 발달되어 온 원격

탐사용 레이더에는 크게 SLAR(Sidelooking Airborne Radar), SAR(Synthetic Aperture Radar), Scatterometer, Altimeter 등이 있는데 이 중 SLAR와 SAR는 주로 넓은 지역의 레이더 영상을 얻는데 사용되기 때문에 영상레이더라고 일반적으로 분류된다.

Scatterometer는 표적으로부터의 전파산란계수를 정확히 측정할 수 있는 시스템인데, 해양의 풍속을 측정하는데 사용되고, 또한 레이더 영상으로부터 표적의 제반 특성을 추출하는데 필요한 inversion 알고리즘을 개발하는데에도 사용된다.

Altimeter는 센서에서 표적까지의 수직거리를 측정하는 시스템인데 해양 표면의 topography 연구에 주로 사용된다.

인공위성 탑재용 영상 레이더(SAR)가 처음 사용된 것은 비교적 최근인 1978년으로서 미국의 해양탐사 위성인 SEASAT에서였고, 그 후 스페이스 셔틀 탑재용 레이더인 SIR-A,-B,-C 및 유럽의 ERS-1, 일본의 JERS-1, 캐나다의 Radarsat 등이 개발, 운영되고 있다. 이들의 표적분해능(resolution)은 주로 수십 미터 정도이나, 항공기 탑재용의 경우 30cm의 분해능을 가진 것들도 연구, 운영되고 있다.

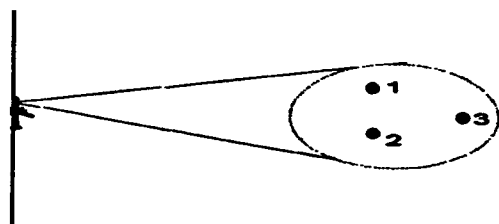
SLAR에서는 안테나 빔폭에 의해 분해능이 결정되기 때문에 원거리(특히 인공위성)에서는 사용할 수 없다. SAR는 거대한 안테나를 시간적으로 합성해서 분해능을 향상시키는 방식이므로 기본적으로 방대한 양의 데이터를 처리해야하는데, 분해능을 좋게 할수록 필요한 신호처리의 양은 기하급수적으로 증가한다. 본 원고에서는 제II장에서 SAR의 신호처리 방식에 대해 고찰하고 최근 발표된 방식을 적용한 본 대학에서의 간단한 실험결과를 보였고, 제III장에서는 Interferometric SAR에 대해 소개했으며, 제IV장에서는 본 대학에서 제작 중인 차량탑재형 Scatterometer와 이의 모델이 된 미국의 시스템들에 대해 기술하였다.

II. SAR 신호처리

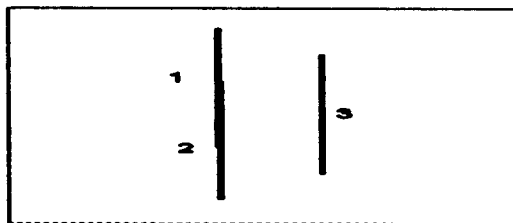
1. SAR 와 SLAR의 차이

영상 레이더에는 크게 SLAR와 SAR가 있다. SLAR는 그림1.a에서 볼 수 있는 것처럼 비행기에 안테나를 부착시켜 신호를 송신한 후 지면에서 반사되어온 신호를 측정하여 영상을 만드는 레이더로 표적1과 표적3은 신호가 도착하는 시간차를 이용하여 구분할 수 있지만 표적1과 표적2는 같은 거리에 있기 때문에 하나의 표적으로 보인다. 따라서 각 표적은 실제로 점표적(point target)인데도 그림1.b와 같이 나타난다.

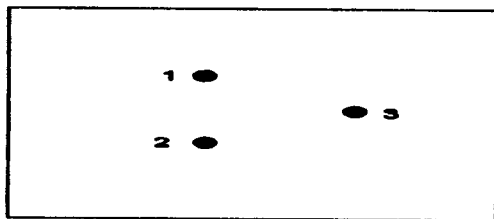
반면,SAR는 플랫폼이 이동하면서 측정한 데이터를 적절히 신호처리를 함으로써 표적1과 표적3



a) Geometry



b) SLAR 이미지

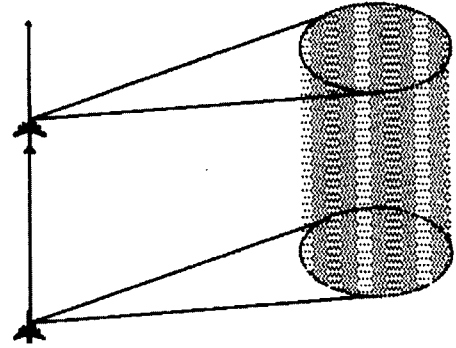


c) SAR 이미지

〈그림 1〉 SAR 와 SLAR 영상의 차이

뿐만 아니라, 표적1과 표적2의 도플러가 서로 다르다는 것을 이용하여 두 표적을 구분할 수 있도록 해주는 시스템이다. 그림1.c는 그림1.b보다 방위분해능이 향상된 SAR 이미지이다.

SAR신호처리는 방대한 양의 계산을 요구하는데, SAR가 처음 등장한 시기에는 컴퓨터가 그런 방대한 계산을 할 수 있도록 발달하지 못했기 때문에 주로 광처리(optic processing)를 이용하였다. 광처리의 핵심은 전기적 신호에서 광신호로 변환된 수신된 신호를 푸리에 변환하는 렌즈이다. 이 렌즈를 통하여 푸리에 변환된 광신호를 필름에 저장하여 이미지를 만든다. 1970년대 후반에 컴퓨터가 SAR신호를 처리할 수 있을 정도로 발달하자, 디지털 방식의 SAR 신호처리가 개발되었다. 아울러 다양한 신호처리 알고리즘이 연구 개발되었고, 이를 바탕으로 여러 가지 방식의 SAR가 개발

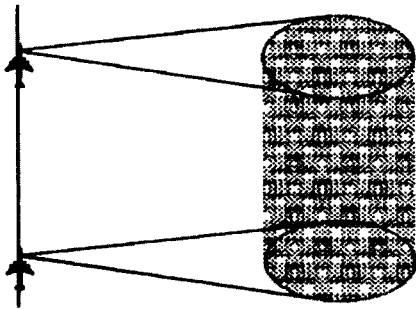


c) Squint Stripmap 방식

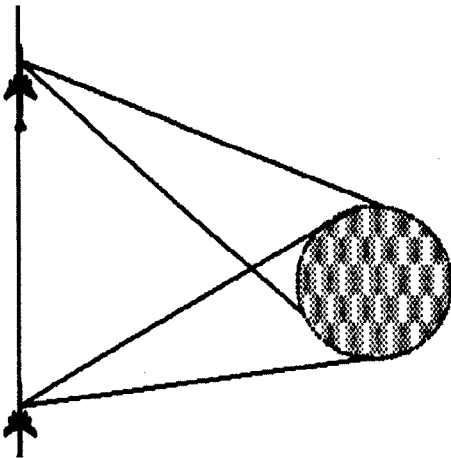
〈그림 2〉 여러가지 방식의 SAR

되었다. 그림2는 여러 가지 방식의 SAR를 그린 것이다.

그림2.a는 안테나를 플랫폼의 진행방향과 수직 방향으로 고정시키고 비행기가 이동하면서 넓은 지역을 이미징하는데 쓰이는 방식이다. 디지털 신호처리를 하기전에는 주로 이런 방식의 측정이 이루어졌다. 그림2.b는 플랫폼이 움직여도 안테나는 특정지역을 계속 조사(illumination)하도록 제어하여 특정지역을 집중적으로 이미징하는 방식이다. Spotlight방식은 Stripmap 방식에 비하여 향상된 방위분해능을 얻을 수 있고, 동일지형을 여러각도에서 측정할 수 있다는 잇점이 있다. 실제 레이더 이미지는 보는 각도에 따라 많은 변화가 있어 여러 각도에서 측정한 이미지들의 평균을 구하면 실제에 더 가까운 이미지를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 그림2.c는 안테나가 플랫폼 진행방향의 앞쪽을 조사하는 방식이다.



a) stripmap 방식



b) Spotlight 방식

2. SAR 신호처리의 문제점과 알고리즘의 종류

SAR는 비행기 혹은 인공위성에 탑재되어 움직이는 것을 이용하여 방위분해능을 향상시키는 시스템이다. SAR에서 이동은 필수적인 것이며, 다음 세가지로 분류할 수 있다.

첫째, 펄스를 송신하고 그 다음 펄스를 송신하기 전까지의 이동거리이다.

둘째, 펄스를 송신한후 송신된 펄스가 지면에 맞

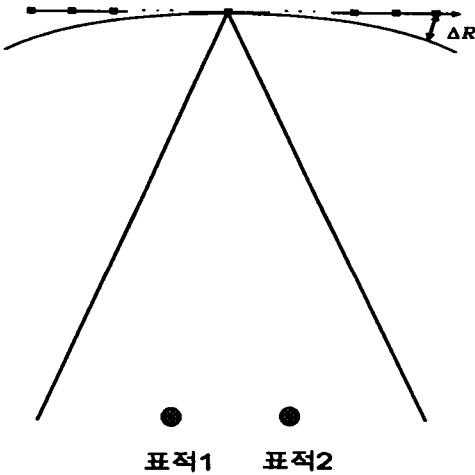
고 돌아오는 시간동안 레이더가 이동하는 거리가
다.

셋째, 펄스가 송신되거나 수신되는 동안에 레이
더가 이동하는 거리이다.

이후로 이러한 이동들을 각각 1번이동, 2번이동, 3
번이동으로 편의상 부르기로 한다.

1번이동으로 인하여 레이더와 표적간의 거리가
펄스를 송신 할 때마다 달라지게 되고 이 때 발생
하는 위상차가 SAR신호처리의 핵심이다.

그림3은 1번이동으로 인한 거리차를 보인 것이
다. ΔR 은 펄스를 송신하는 위치에 따라서 달라지



<그림 3> 비행기의 위치에 따른 거리 차이

므로 신호를 방위각방향으로 변조시킨다. 이와같
이 거리차이로 인하여 생기는 위상의 변화를 공간
도플러(spatial doppler)라고 한다. 표적1과 표적2
는 레이더의 각 측정위치에서 공간도플러가 다르
기 때문에 상관관계기법(correlation)을 이용하여
두 개의 표적으로 구분할 수 있다.

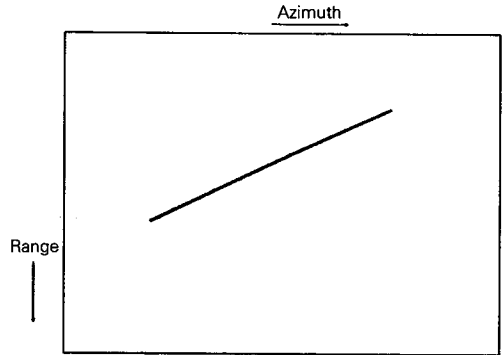
2번이동과 3번이동은 SAR데이터 처리를 복잡
하게 만드는 요인으로서 비행기나 위성탐재용레이
더처럼 연속적으로 움직이는 측정 시스템에서 불
가피하게 발생하는 현상이다.

2번이동은 두 개의 안테나가 일정한 간격으로
떨어져서 각각 송신과 수신을 하는 것으로 생각할
수 있으며 대부분의 비행기 탐재용 SAR에서는 무
시가능하지만 위성탐재용 SAR에서는 고려해 주어

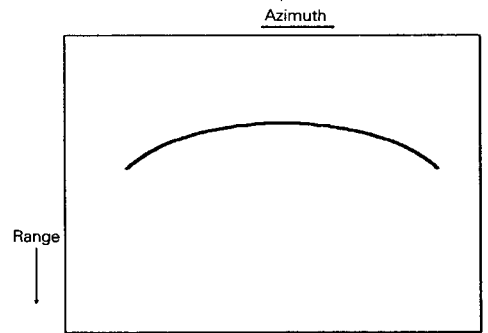
야 한다.

3번이동은 일반적인 레이더에서 많이 쓰이는 도
플러 현상으로 원래 시스템에서 만든 신호를 주파
수 영역에서 도플러 주파수만큼 천이시킨다. 이는
위성탐재용 SAR에서는 고려해 주어야 하고, 비행
기 탐재용 SAR에서는 일반적으로 무시하지만 비
행기의 요동이 심하거나 펄스폭이 길고 사용주파
수가 높아지면 고려해 주어야 한다.

초기의 SAR 신호처리 알고리즘 개발의 주요 결



a) Squint 방식



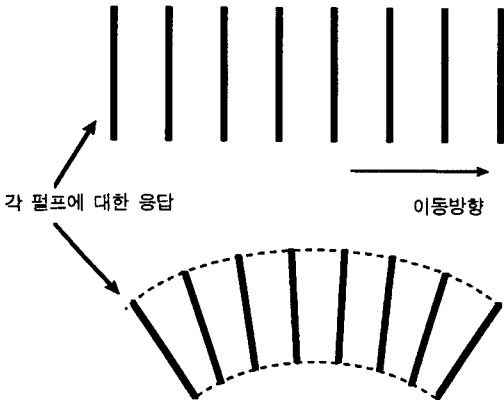
b) Spotlight 방식

<그림 4> Motion through resolution cell

림들은 이른바 “Motion through resolution cell”
이었다¹⁾. “Motion through resolution cell”은 대
개의 Stripmap 방식에서는 발생하지 않지만
Spotlight방식이나 Squint방식의 경우 문제가 된
다.

그림4.a와 그림4.b는 각각 Squint 방식과
Spotlight 방식의 레이더에서 점표적이 SAR처리

를 하기전에 나타나는 이미지를 나타낸 것이다. 데이터 메모리상에서 같은 거리에 위치하지 않기 때문에 방위각방향으로 SAR 신호처리가 용이하지 않다. 특히 그림4.b와 같은 “Motion through resolution cell”을 “range curvature”라고 하는데, 이를 보상해주기 위하여 초기에는 각 펄스에서 측정된 데이터를 그림5와 같이 부채꼴모양으로 저장하는 방법을 이용하기도 했다.

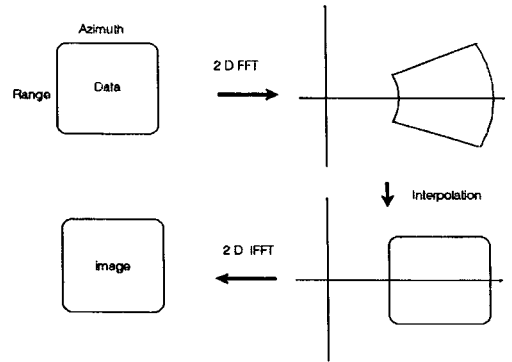


(그림 5) 부채꼴형 저장법

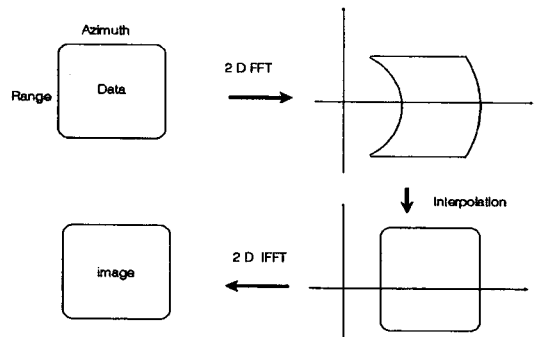
그 이후 신호처리 알고리즘이 발달하여 “Motion through resolution cell” 문제를 해결하였는데 다음에 소개할 알고리즘들은 SAR 데이터 자체를 처음부터 이차원신호로 간주하기 때문에 자연스럽게 그러한 문제들을 해결하였다. 여러 가지 알고리즘이 있지만 두 가지만 간단히 소개하기로 한다.

첫째, 평면과 근사 처리법이다^[2]. 이는 레이더와 지표면 사이의 거리가 너무 멀어 구면파를 평면파로 근사화 시켜서 처리하는 방법으로 측정된 데이터를 이차원 푸리에 변환한 데이터는 주파수 영역에서 부채꼴 모양이 되고, 효율적인 계산을 위하여 부채꼴 모양을 사각형으로 interpolation한 후 이차원 푸리에 역변환을 하면 지형의 이미지를 얻을 수 있다는 이론이다. 이러한 과정을 간단히 그림으로 나타내면 그림 6과 같다.

둘째는 구면파 처리법이다^[3]. 앞의 평면과 근사 처리법에서처럼 구면파를 평면파로 근사화 시키지 않고 처리하는 방법으로 비교적 최근에 등장한 이론이다. 모든 과정은 평면과 근사법과 동일하지만



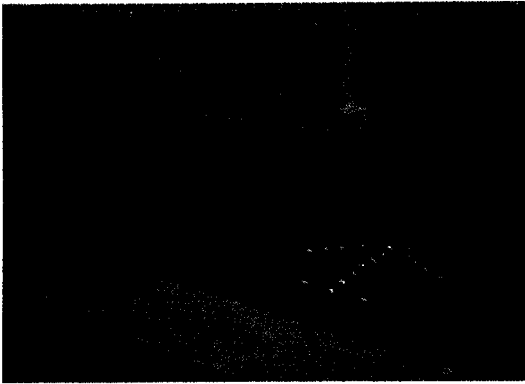
(그림 6) 평면과 근사처리법



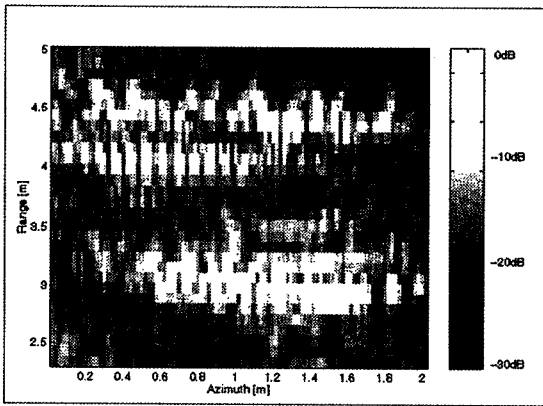
(그림 7) 구면파 근사처리법

이차원 푸리에 변환한 SAR데이터는 주파수 영역에서 부채꼴모양이 아니라라는 점이 다르다. 간단히 블록다이어그램은 그림 7과 같다.

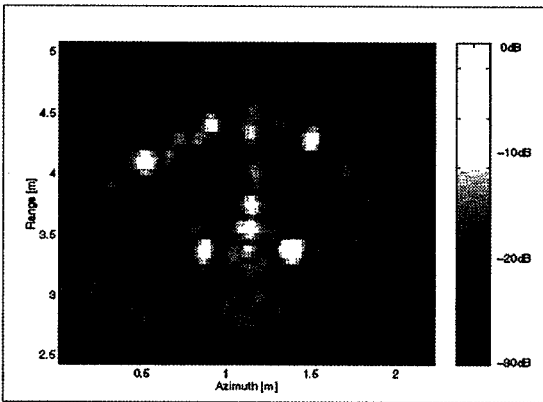
앞에서 언급한 신호 처리법들은 비행기나 위성 같은 플랫폼이 정확하게 직선경로로 움직인다는 가정 하에서 출발하였다. 그러나 실제로 플랫폼이 정확한 직선경로로 움직이는 것은 불가능하므로 플랫폼의 흔들림을 보상해 주어야 한다. 이 흔들림을 얼마나 잘 보상해 주느냐에 따라 SAR 이미지의 질이 결정된다고 할 수 있을 정도로 이 과정은 중요하다. 실제 직선경로에서 레이더 신호파장의 1/4(10GHz에서는 0.75 cm)을 벗어나면 180도의 위상오차가 생기므로 이를 보상해 주지 않으면 SAR 이미지는 얻을 수 없다. 따라서 움직인 경로를 측정할 수 있는 하드웨어가 필요하다. 그러나 하드웨어로 움직임을 보상한 뒤에도 여전히 무시할 수 없는 위상오차가 생기게 되는데, 이는 다시 신호처리로 보상해 주어야 한다. 이러한 신호처리



〈그림 8〉 근거리 지상용 측정 시스템



a) SLAR 이미지



b) SAR 이미지

〈그림 9〉 SLAR와 SAR 이미지의 비교

기술을 autofocus라고 하는데, 이는 위상오차가 포함된 수신 데이터만으로 위상오차를 추정하여

오차를 제거하는 알고리즘으로서 최근에도 활발히 연구되고 있는 분야이다. Autofocus는 플랫폼의 흔들림으로 인한 위상오차 뿐만 아니라 대기권에서의 전자파가 진행하면서 생기는 위상오차와 시스템의 오차 등도 보상해 준다.

3. 구면파 처리를 이용하여 얻는 이미지

지금까지 SAR와 SLAR의 차이점과 여러 가지 SAR 시스템의 방식, 그리고 몇 가지 신호처리법들에 대해 간단히 알아보았다. 여기서는 본 대학에서 실제 측정된 데이터에 대한 SLAR 이미지와 SAR 이미지를 비교해 보기로 한다.

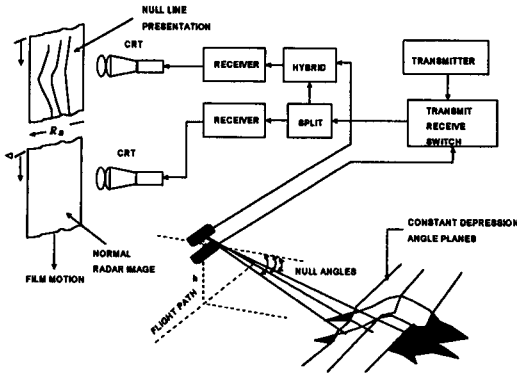
그림 8은 레이다가 조사하는 영역의 사진이다. 타일이 깔린 바닥에 은박지를 구 모양으로 뭉쳐 배열해 놓았다. 여기에 사용된 레이다는 비행기나 위성에서 탑재되어 측정하는 것이 아니고, 지상에서 Network Analyzer를 이용하여 측정하는 시스템이다

그림 9는 SLAR 이미지와 SAR 이미지를 보여 준다. SLAR 이미지에 비해 SAR 이미지가 x축 방향으로 분해능이 향상되었음을 볼 수 있다.

III. Interferometric SAR

SAR는 지표면 또는 해수면에서 반사된 레이다 신호의 크기를 2차원적인 사진과 같은 영상으로 제공한다. 이 때 제공되는 영상의 정보는 레이다에 의하여 측정되고 신호처리를 거친 후 최종적으로 복소수 신호의 크기만을 나타내므로써, 위상의 정보를 상실한다. 이러한 위상의 정보를 이용하여 3차원적인 영상, 즉 2차원적인 영상에 반사된 표적의 고도를 더한 영상을 얻게 해주는 시스템이 interferometer이며 SAR 시스템과 연계하였을때 interferometric SAR라고 한다.

Interferometric SAR에 대한 최초의 제안은 1974년 Graham에 의해서 였다^[4]. 여기에서 그는 두 개의 안테나를 사용하여 하나는 송·수신용으로 사용하며, 다른 하나는 수신용으로 사용하였다.



(그림 10) Interferometer의 데이터 처리과정

이 때 두 개의 수신 안테나의 거리의 차이에 따른 수신 신호의 위상차를 이용하여 표적의 고도에 대한 정보를 추출하였다. 먼저 두 개의 안테나 중 송·수신용으로 사용하는 아래쪽의 안테나로부터 수신된 신호는 다음과 같다.

$$e_a = A \sin \omega t \tag{1}$$

또한 윗쪽의 수신 전용 안테나로부터 수신된 신호는 두 안테나의 위상차이를 고려하여

$$e_b = A \sin(\omega t + \phi) \tag{2}$$

와 같이 나타낼 수 있다. 이 두 신호의 합은 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$e_a + e_b = A[\sin \omega t + \sin(\omega t + \phi)] \tag{3}$$

$$= 2A \cos \frac{\phi}{2} \sin(\omega t + \frac{\phi}{2})$$

이 때 $\phi = \pi(2n+1)$ 일 때마다 null값이 생긴다. 즉,

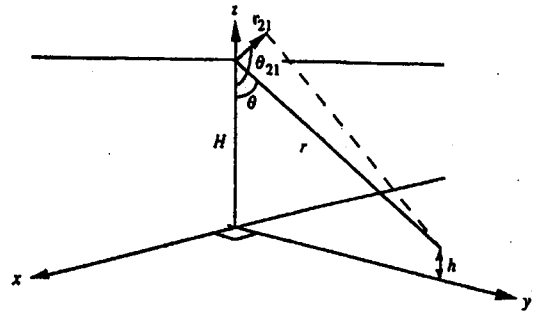
$$\theta_{null} = \sin^{-1} \frac{(2n+1)\lambda}{2h} \tag{4}$$

과 같다. 2차원적인 영상에서 특정 입사각에 따라 null이 나타나며, null까지의 거리는 식(1)로부터 얻어지는 정상적인 레이다 영상에 null 영상을 오버랩 시킴으로써 구할 수 있다. 송·수신용 안테나로부터는 정상적인 SAR의 영상을 얻고 다른 하나의 수신전용 안테나로부터는 null영상을 얻는 방법이다.

Graham이 제안한 방법은 interferometer의 가능성을 제시했다는 데 그 의의가 있으나, null 영상 사이의 중간 부분에 위치한 표적에 대한 고도 정보를 정확히 추출할 수 없다는 단점이 있다. 그 이

후 많은 연구자에 의해서 더욱 발전되어 Goldstein 과 Zebker는 1987년에 방사상의 속도(radial velocity)를 측정하기 위한 along-track interferometric SAR에 대한 연구를 수행하였다^[5]. 그들은 두 개의 수평방향으로 분리된 안테나를 사용하여 해수면의 유동으로부터 산란된 신호를 안테나로부터 수신하여 두 개의 복소수 영상을 형성하였으며, 각각 두 영상의 픽셀사이의 위상차를 얻으므로써 해수면의 움직임을 측정할 수 있었다.

또한 Gabriel과 Goldstein^[6]은 1988년에 단정한 개의 안테나로서 SIR-B(Shuttle Imaging Radar)의 두 번의 다른 경로를 통해 얻어진 영상을 이용하여 repeat-pass interferometry에 대한 가능성을 제시하였다. 앞서 Graham이 제시한 null영상을 이용한 interferometer와는 달리 레이다의 지표면으로부터의 기하학적인 정보로부터 표적의 고도에 대한 정보를 추출할 수 있다. Interferometer에서 두 개의 안테나가 수직으로 분리되었다고 가정할 때 그림11과 같은 구조로 나타낼 수 있다.



(그림 11) Interferometric SAR의 지표면으로부터의 기하학적 구조

이때 두 개의 안테나로부터의 위상차는 다음과 같다.

$$\phi = -\frac{2\pi}{\lambda} \Delta \gamma = -\frac{2\pi f}{c} \Delta \gamma \tag{5}$$

만일 repeat-pass interferometer와 같이 한 개의 안테나를 사용할 때에는 식(5)의 2π 를 4π 로 바꾸어야 한다. 그림 11로부터

$$\frac{\phi \lambda}{2\pi} = -\Delta \gamma = |r_{21}| \cos(\theta - \theta_{21}) \tag{6}$$

$$\theta = \theta_{21} - \arccos\left(\frac{\phi\lambda}{2\pi |r_{21}|}\right) \quad (7)$$

$$h = H - r \cos\theta \quad (8)$$

$$y = r \sin\theta \quad (9)$$

여기에서 θ 는 안테나가 표적을 바라보는 look angle이며, θ_{21} 은 baseline의 각도이다.

Interferometer의 기본 이론은 비교적 간단하지만, 실제 두 개의 영상으로부터 고도의 정보를 얻는 과정은 좀 더 복잡하고, 많은 연구가 이루어지고 있다. 그중 한 분야가 image registration이다. 두 개의 안테나를 이용한 single-pass 이던지 한 개의 안테나를 이용한 repeat-pass이던지, 얻어지는 두 개의 영상으로부터 원하는 표적의 고도에 대한 정보를 얻기 위해서는 두 영상의 위상차를 구하여야 한다. 그런데 이 때 위상차를 구하는 표적의 픽셀의 위치가 정확히 두 영상에서 일치하여야만 정확한 고도의 정보를 얻을 수 있다. 만일 서로 다른 위치의 신호에 대한 위상차를 구한다면, 예상치 못하는 결과를 초래할 수도 있다. 이러한 두 영상의 정확한 위치를 파악하는 일이 바로 image registration이다. Gabriel과 Goldstein은 1988년에 cross-orbit에 의하여 SIR-B로부터 얻어진 영상에 대한 image registration에 대하여 언급하였다. 얻어진 두 개의 영상중의 한 영상은 다른 영상에 대한 cross 방향과 along-track 방향으로 다시 샘플링하는 방법을 사용하였다. Image registration에 대하여는 지금도 가장 적합한 방법을 찾기 위한 연구가 수행중이다.

Interferometric 영상을 얻기 위한 또 하나의 신호처리 과정이 phase unwrapping이다. 위상값은 항상 2π 의 모듈로서 얻어지기 때문에 $-\pi$ 에서 π 의 값을 갖게 된다. 하지만 두 영상의 위상차를 구하기 위해서는 π , 2π , 3π , 4π ...와 같이 위상을 unwrapping 시켜야한다. 가장 간단한 방법은 바로 이전 픽셀과의 위상차가 π 를 넘었을 때 π 를 더해주거나, 빼주는 방법이다. 그러나 이러한 방법은 단순하고, 위상이 심하게 변하는 상황에서는 적합하지 않기 때문에, phase unwrapping의 알고리즘에 대한 많은 연구가 수행되고 있다. 그중 몇

가지 방법을 소개하면 least-square의 방법에 의하여 위상의 편미분의 차를 최소화하여 위상을 unwrapping 하는 방법이 있으며, Neumann의 경계조건을 갖는 직사각형의 그리드상의 Poisson 방정식을 적용한 방법이 제시되었으며, FFT를 이용한 least-square의 방법을 적용하여 2차원적인 위상의 unwrapping을 시도하기도 하였다.

이와 같이 Interferometric SAR는 2차원적인 영상의 정보에 표적의 고도에 대한 정보를 얻기 위한 시스템으로, 시스템적인 측면에서는 single-pass InSAR와 repeat-pass InSAR로 나눌 수 있으며, 그 신호 처리과정에 필요한 image registration, phase unwrapping 또는 calibration, 오차의 원인에 대한 분석의 분야로 나누어져 활발히 연구가 진행되고 있다.

IV. 차량 탑재형 Scatterometer 시스템

원격 탐사분야에 사용되는 지상형(ground-based) 시스템은 airborne이나 spaceborne과는 달리 한정된 목적에 사용되고 있다. Airborne이나 spaceborne 시스템에서는 광범위한 지역을 측정 대상으로하여 지표면 및 해양의 상태, 변화 등을 연구하기 위하여 사용되고 있으나, 지상형 시스템의 경우 지표면의 영상을 얻기보다는 특정한 환경 또는 지형 지물에서의 산란 계수를 측정하거나 (scatterometer), 지하의 매질물을 탐지하기 위한 GPEN(Ground Penetration Radar), 또는 숲 속의 표적을 탐지하기 위한 FOPEN(Foliage Penetration Radar) 등의 연구용으로 주로 사용되고 있다.

Scatterometer 시스템의 경우 과거에는 단일 편파에서의 산란 특성을 측정하는 시스템이 주류였으나, 현재 대부분의 시스템들이 산란 행렬의 네 가지 선형 편파특성 즉, HH, HV, VH, VV의 크기와 위상을 모두 측정할 수 있는 polarimetric 시스템으로 개발되고 있다. 여기서는 미국 미시건 대학의 지상형 polarimetric scatterometer인

〈표 1〉 Univ. of Michigan의 truck-mounted scatterometer의 특징

- HP8753A N.A. based system
- truck-mounted system
- L,C,X band system
 - L-band
 - center freq : 1.5GHz, bandwidth : 300MHz
 - C-band
 - center freq : 4.75GHz, bandwidth : 500MHz
 - X-band
 - center freq : 9.5GHz, bandwidth : 1000MHz
- Polarization : full polarimetric
- antenna : square pyramidal horn antenna
 - gain : L : 22.1dB, C : 25.3dB, X : 29.5dB
 - V-pol beamwidth EL. : 12.0, 8.0, 5.4deg.
 - V-pol beamwidth Az. : 15.2, 10.4, 6.5deg.

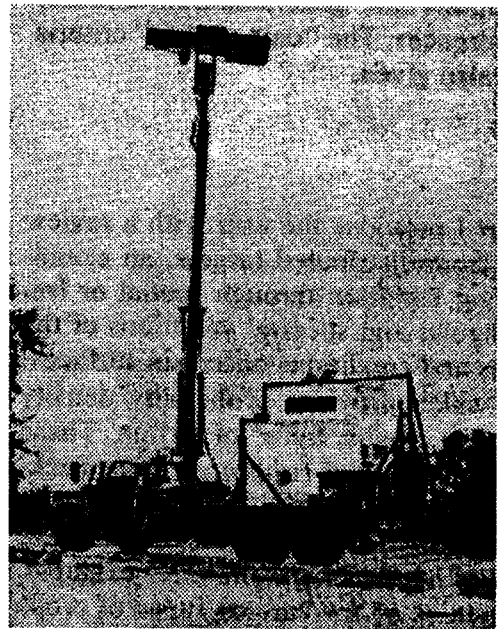
POLARSCAT과 미국 미시건 환경 연구소 (ERIM)의 rail SAR에 대한 소개와 현재 본 대학에서 제작중인 POPOS(POSTECH Polarimetric Scatterometer)에 대하여 소개한다.

Polarimetric 시스템은 표적으로부터 산란된 신호를 측정하여 표적의 σ^0 또는 σ 를 계산할 수 있는 scatterometer 뿐만 아니라, SAR와 같은 영상 레이다 분야에까지 널리 사용되고 있다.

미국 미시건 대학의 truck-mounted scatterometer의 경우 HP-8753A Network Analyzer를 사용한 시스템으로 이 시스템의 특징은 표 1과 같다^[7].

이 시스템의 실제 사진이 그림12로서, 높이 약 10m의 기둥기에 안테나가 장착되어 있으며, 트럭을 이용하여 측정하고자 하는 지역으로 쉽게 이동할 수 있다.

표 2는 ERIM의 rail SAR 시스템의 특징이다. 이 시스템은 HP-8510B를 이용한 시스템으로 이미지 측정과 표적의 전달계수를 측정할 수 있는 두 가지 모드로 사용할 수 있다. 그림13의 사진에서 볼 수 있듯이 3-14m의 높이가 조절 가능한 lift 위에 약 10m의 rail을 장착하여 안테나가 10m의 거리를 이동할 수 있도록 설계되었다. 이미지 모드



〈그림 12〉 미시건 대학의 truck-mounted Scatterometer

에서는 10m의 rail의 크기가 synthetic aperture size가 되어 약 0.5m의 azimuth 분해능을 얻을 수 있다. HP-IB로 PC와 인터페이스하므로써 PC에 의하여 N.A.시스템을 제어하며, N.A.로부터 측정

〈표 2〉 ERIM의 rail SAR의 특징

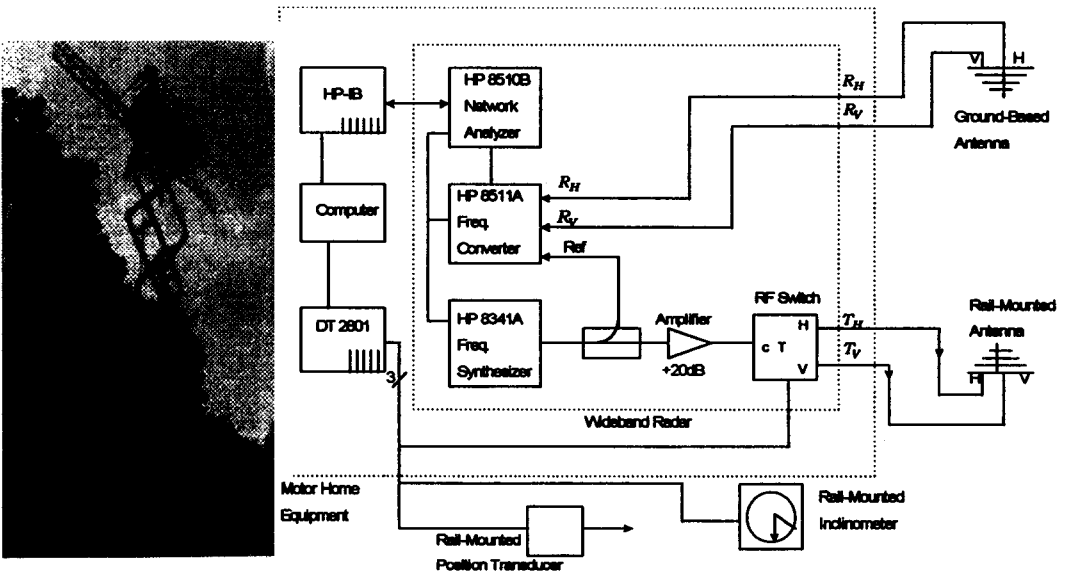
- HP-8510B N.A based system
- platform : lift(height : 3-14m)
- frequency : 400-1300MHz
- polarization : full polarimetric
- synthetic aperture size : 10m
- range resolution : 0.17m
- azimuth resolution : 0.5m
- two modes
 - 1) monostatic : image measurements
 - 2) bistatic : transmission measurements

된 데이터를 PC에 저장, 처리할 수 있다. 또한 rail 위에 장착된 안테나의 이동에 필요한 제어신호도 PC에 의하여 제어된다.

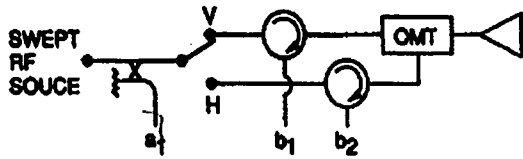
앞서 언급한 두 가지 시스템 모두 지상형 시스템으로서 N.A를 기본 시스템으로 하는 polarimetric 시스템이다. Polarimetric 시스템을 구성하는데 가장 중요한 부분이 바로 안테나 부분이다. 미시건 대학 시스템의 경우 L, C, X 밴드에서 각각 한 개의 안테나로 구성되어져 그림14의 a)와 같이 구성되어졌으며, ERIM의 시스템의 경우 그림14의 b)와 같은 시스템으로 구성되어져 있다^[8].

단지 한 개의 안테나로서 polarimetric 시스템을 구성할 경우 안테나 전단부에 OMT(orthomode transducer)가 있어야 하며, 이 경우 두개의 circulator가 필요하며, 송신시에 V와 H port를 선택할 수 있는 스위치가 필요하다. 또한 수신기의 경우 V와 H port를 동시에 측정할 수 있는, 즉, 수신채널이 두 개일 경우는 그림 14 a)와 같이 b1과 b2 port에 각각 수신단을 연결한다. 그러나, 수신 채널이 한 개 뿐일 경우에는 b1과 b2를 선택할 수 있는 스위치가 필요하다. 그림14-b)와 같이 두개의 안테나와 OMT로 구성되어질 경우 송신측의 V, H port를 선택할 수 있는 스위치와, 한 개의 수신채널이 있을 때는 추가로 b1 과 b2를 선택할 수 있는 스위치가 필요하다. 그림14-c)의 경우는 가장 간단한 경우로 polarizer가 있을 경우 단지 송신단에 송신 안테나를 수신단에 수신 안테나를 연결한다.

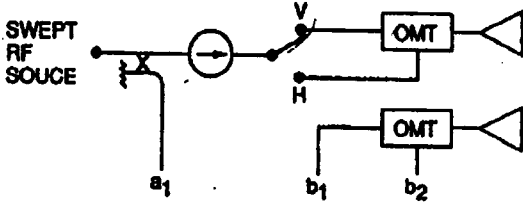
미시건 대학 시스템의 경우 HP-8753A를 기본 시스템으로 하였으며, ERIM의 경우는 HP-8510B를 사용하였다. 본 대학에서는 HP-8720C를 선택하였다. HP- 8510의 경우 다른 두 Network Analyzer에 비하여 성능면이나 기능면에서 앞서지만, N.A. 자체의 부피가 크기 때문에, 야외에서



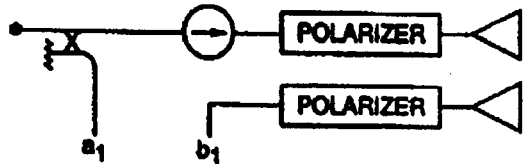
〈그림 13〉 ERIM의 rail SAR의 사진 및 블럭 다이어그램



(a) Dual Polarized Single Antenna System



(b) Dual Polarized Two Antenna System



(c) Two Antenna System Using Polarizers

(그림 14) Polarimetric 시스템의 기본 안테나 구성도

의 실험을 위해서는 보다 컴팩트하고 이동이 간편한 모델을 선택하여야만 했다. HP-8753의 경우는 최대 주파수가 3GHz이다.

표 3은 본 연구실에서 제작하고자 하는 시스템의 특징이다.

(표 3) POPOS(POSTECH Polarimetric Scatterometer)의 특징

- HP-8720C N.A. based system
- polarization : full polarimetric
- automobile based system
 - for various target and area measurements
- X band system
- pulsing network to remove the reflections from short range
- control the entire system, process and the data storage by PC

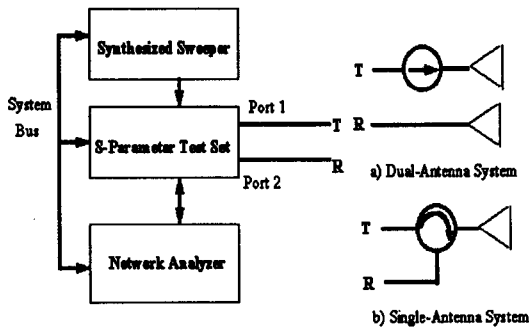
일반적으로 N.A는 어떤 선형 회로의 상대적인 크기와 위상 특성을 측정할 수 있으며, 이것은 선형회로의 전달과 반사 특성을 측정할 수 있게 한다. 전달 특성의 측정은 실험회로를 통해 전달된 신호를 입사된 신호와 비교함으로써 측정할 수 있고, 반사 특성은 입력단자로부터 반사된 신호를 입사된 신호와 비교함으로써 측정하며, 이 경우에는 출력단자는 matched load로써 terminate 시킨다^[9].

N.A 시스템의 기본적인 구성은 RF 신호원, RF to IF converter, IF signal detector & A/D converter와 디지털 마이크로프로세서 및 디스플레이로 구성되어있다. RF 신호원은 실험회로에 입사신호를 제공하는 데 사용되며, 전달 또는 반사된 RF 신호와 입사신호의 샘플은 두개 신호사이의 크기와 위상을 유지한 채 IF 신호로 바뀐다. 그 다음에 IF 신호는 검파되고, 실험회로에 대한 정보를 얻기 위해 디지털 형태로 바뀌어서 N.A에 내장된 마이크로프로세서에 의해서 처리된다. 만일 frequency-swept 입사신호가 사용될 때는, 그 측정결과는 회로의 주파수 응답특성을 나타내며, 시간영역의 응답을 얻기 위해서는 N.A의 FFT 기능을 이용하여 얻을 수 있다.

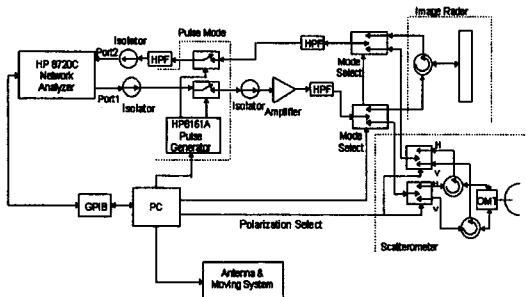
그림 15의 측정 시스템은 N.A를 scatterometer로서 사용할 수 있음을 보여준다. Scatterometer에서 실험회로는 측정 시스템과 분리된 자유공간에서의 어떤 레이다 표적이 된다. 이 경우 RF 신호원으로부터 나온 신호는 안테나를 통해 목표물을 향해 공중으로 전파된다. 목표물로부터 반사된 신호는 다른 안테나에 수신되어, RF 신호원으로부터 전달된 신호의 샘플과 비교된다. 이 시스템은 그림 15와 같이 송신단과 수신단의 안테나를 분리한 dual-antenna 시스템이거나, 송·수신 안테나를 circulator를 이용하여 하나의 안테나를 사용한 single-antenna 시스템으로 구성할 수 있다^[10].

Transmission-Reflection 시스템과 scatterometer 사이의 주요한 차이는 scatterometer로서 동작할 때에는 전송된 신호와 다시 목표물에 맞고 되돌아 온 수신된 신호 사이에 상대적으로 긴 시간 지연이 있어, 지연시간 동안 reference 신호는

Δf 만큼의 주파수 변화가 있고, 이와 함께 $\Delta\phi = 360 \Delta f r$ 정도의 위상오차를 갖는다. 여기에서 지연시간 τ 는 전송된 거리와 목표물에 맞고 다시 되돌아 온 거리를 합해 $\tau = 2r/c$ 이다. 만일 synthesized 신호원을 사용하면 전송 신호를 continuous sweep 대신 step frequency를 사용할 수 있어, 수신 신호와 똑같은 주파수에서 reference 신호를 유지할 수 있다. 그러나 신호원에서의 위상 불안정(phase instability)은 위상오차를 발생시킬 수 있어, coherent 시스템으로 동작하기 위해서는 이러한 위상오차는 지연시간 τ 보다 작아야한다.



(그림 15) Scatterometer로서의 Network Analyzer의 구성도



(그림 16) POPOS(POSTECH Polarimetric Scatterometer)의 시스템 블럭 다이어그램

그림16은 본 연구실에서 설계한 POPOS (POSTECH Polarimetric Scatterometer)의 시스템 블럭 다이어그램이다.

이 시스템은 레이더 영상을 측정할 수 있는 영상모드와 역산란 계수를 측정할 수 있는 polarimetric scatterometer 모드로서 동작할 수

있다.

먼저 영상모드에서는 단일 편파(HH)에서 클러터의 영상을 측정할 수 있다. 측정된 영상의 azimuth 방향의 분해능을 향상시키기 위해서 여러 가지 관련 알고리즘을 사용할 수 있으며, 본 논문의 제 2장에서 설명한 여러 가지 SAR 신호처리 기법이 사용될 수 있다.

N.A를 이용하여 영상모드에서의 레이더 영상을 측정하기 위해서는 N.A의 자체의 측정에 소요되는 시간과 PC로의 데이터 전송에 소요되는 시간 때문에 시스템을 이동하면서 실시간 측정을 할 수 없다. 그러므로 어느 한 지점에서 측정한 후 데이터를 PC에 저장하고, 다시 일정한 거리만큼 움직인 후 데이터를 측정하는 시스템이 될 수 밖에 없다.

Scatterometer 모드에서는 그림14-a와 같이 한 개의 안테나에 두개의 circulator와 두개의 스위치를 이용하여 시스템을 구성하였다. 또한 영상모드와 scatterometer 모드를 선택할 수 있는 스위치가 송·수신단에 각각 한 개씩 있으며, 근거리에서 안테나와 회로로부터의 반사를 제거하고, N.A의 dynamic range를 증가시키기 위해 펄스모드를 사용하였다.

펄스모드를 사용시에 신호대 잡음비를 약 10dB 정도 향상시킬 수 있으며, N.A에 손상을 주지 않고도 송신 전력을 증가시킬 수 있다. 여기에서 유의해야 할 것은 펄스모드가 일반적인 레이더에서 말하는 펄스 레이더는 아니라는 점이다. N.A의 손상을 막기 위하여 송·수신단을 on/off 하는 것이 펄스폭에 의해서 거리방향의 분해능이 정해지거나, pulse compression과 같은 기법을 사용하지 않는다. N.A는 동작자체가 FM-CW로서 동작하게 된다.

GPIB(General Purpose Interface Bus)를 이용하여 PC에 의하여 N.A와 pulse generator를 제어하며, 디지털 I/O 보드를 이용하여 영상모드와 scatterometer 모드의 선택 및 scatterometer 모드에서 H와 V port를 선택을 PC에 의하여 제어한다.

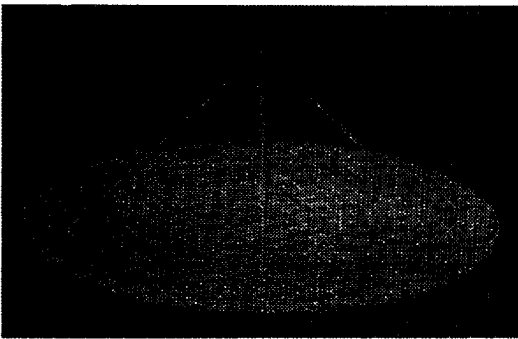
그림 17은 POPOS를 차량에 탑재하여 안테나



〈그림 17〉 POPOS의 차량 및 안테나 장착대
장착대에 안테나를 장착시킨 모습인데 현재 제작
중에 있다. 차량의 지붕에 장착된 유압실린더가 높
이 4미터까지 올라갈 수 있으며, 유압실린더 상단
의 rotator/elevator가 안테나의 azimuth와
elevation 각을 조절한다.

POPOS에 사용될 안테나는 그림18.과 같다.
WJ-48780은 dual-polarized 파라볼릭 안테나로
서, scatterometer모드의 기본 안테나로 사용한다.
이 안테나의 빔폭은 약 4°로서 pencil 빔이다.

실내에서의 calibration 기법 등을 연구하는 데



〈그림 18〉 POPOS에 사용될 WJ-48780
Dual-polarized parabolic 안테나

에는 두 개의 혼 안테나를 사용할 계획이며, 레이
다 영상 제작용으로 사용될 GS-952 slotted 도파
관 안테나는 수직방향의 빔폭이 27°, 수평방향의
빔폭이 2.0°인 팬빔으로서 레이다 영상을 측정하기
에 적절하다고 생각된다.

현재 제작중인 POPOS는 RF 부품 및 컴퓨터 제
어 부분은 완성 단계에 와 있으며 차량과 안테나

장착부분에 대한 연구가 진행중이다.

V. 요약

본 원고에서는 원격탐사용으로 사용되는 레이다
중에서 가장 많이 사용되는 Scatterometer에 대해
소개하였다. SAR는 주로 넓은 지역의 레이다 영
상을 얻는데 사용되는 소위 영상레이다로서, 기본
구성품은 일반적인 레이다와 크게 다를 바 없으며
거의 모든 부분에서 현재의 state-of-the-art를 크
게 벗어나는 요구사항은 없다고 판단된다. 단지 아
주 작은 분해능(수십cm정도)을 실시간으로 요구
할 때에는 막대한 계산량으로 인한 신호처리에서
의 병목 현상을 적절히 해결해야 한다. 본 원고에
서는 여러 가지의 SAR 신호처리 방식을 소개하였
으며 본 대학에서 수행한 간단한 실험에 적용시킨
결과를 보였다. 또한 현재 많이 발표되고 있는
Interferometric SAR에 대해 간단히 소개하였으
며, 마지막으로 레이다 영상으로부터 표적의 체반
특성을 추출하는 inversion algorithm을 개발하거
나 기타 여러 연구에 사용될 수 있는 차량 탑재형
Scatterometer에 대해 소개하였다 본 대학에서 개
발중인 POPOS가 완성되면 지금까지 측정되거나
발표된 적이 없는 한국 특유의 표적이나 경작물들
의 산란 특성(σ^0)을 측정할 수 있으며, 또한 현재
관심의 대상이 되고 있는 GPEN 또는 FOPEN 등
의 연구에도 크게 도움이 될 수 있으리라 기대된
다.

참고 문헌

- [1] Brown, W.M., and R.J. Fredericks, "Range-Doppler Imaging with Motion through resolution cell", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. AES-5, No.1, January 1969, pp98-102.

- [2] M.Soumekh, *Fourier Array Imaging*, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [3] M.Soumekh, "A System model and inversion for synthetic aperture radar imaging", *IEEE Transactions on Image Processing*, January 1992.
- [4] Graham, L. C., "Synthetic Interferometer Radar for Topographic Mapping," *Proc. of the IEEE*, 62(2), 763-768, 1974.
- [5] Goldstein, R. M. and H. A. Zebker, "Interferometric Radar Measurements of Ocean Surface Currents," *Nature*, 328 (20), 707-709, 1987.
- [6] Gabriel, A. K. and R. M. Goldstein, "Crossed Orbit Interferometry : Theory and Experiments Results from SIR-B," *Int. J. of Remote Sens.*, 9(5), 857-872, 1988.
- [7] F. T. Ulaby, M. W. Whitt and K. Sarabandi, "AVNA-Based Polarimetric Scatterometer," *IEEE Antennas and Propagation Mag.*, 6-17, October 1990.
- [8] D. R. Sheen, N. P. Malinas, D. W. Kletzli, T. B. Lewis and Juan F. Roman, "Foliage Transmission Measurements Using a Ground based Ultrawide Band (300 - 1300MHz) SAR System," *IEEE Trans. on Geosic. Remote Sensing*, 32, 118-130, January 1994.
- [9] "Radar Cross Section Measurements with the HP 8510 Network Analyzer," *Hewlett Packard Product Note*, No. 8510-2, 1987.
- [10] F. T. Ulaby and C. Elachi, *Radar Polarimetry for Geoscience Applications*, Artech House, Norwood, MA, 1989.

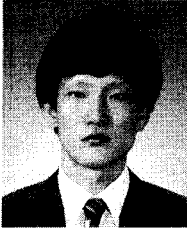
저 자 소 개



金 榮 洙

1952年 1月 23日生
 1974年 2月 서울대학교 전자공학과 학사
 1980年 5月 University of Kansas 전기공학과 석사
 1984年 5月 University of Kansas 전기공학과 박사
 1974年 8月~1977年 8月 국방과학 연구소 연구원
 1978年 5月~1983年 12月 캔사스대학 원격탐사 연구소 연구원
 1983年 12月~1987年 4月 Florida Atlantic University 조교수
 1987年 4月~현재 포항공과대학교 전자전기공학과 교수

주관심 분야 : 초고주파 원격탐사, EMC, 레이더



全 珉

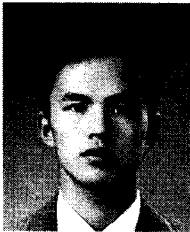
1965年 12月 14日生

1991年 2月 전북 대학교 전자공학과 학사

1993年 2月 포항공과대학교 전자·전기공학과 석사

1993年 3月~현재 포항공과대학교 전자·전기공학과 박사과정 재학중

주관심 분야: 초고주파 원격탐사, 레이다



朴 亨 根

1972年 10月 4日生

1995年 2月 연세대학교 전기공학과 학사

1995年 3月~현재 포항공과대학교 전자전기공학과 석사과정 재학중

주관심 분야: 초고주파 원격탐사, 레이다