

## 마이크로웨이브, 밀리미터웨이브 센서시스템

김 용 훈, 강 금 실

광주과학기술원 기전공학과 센서시스템 연구실

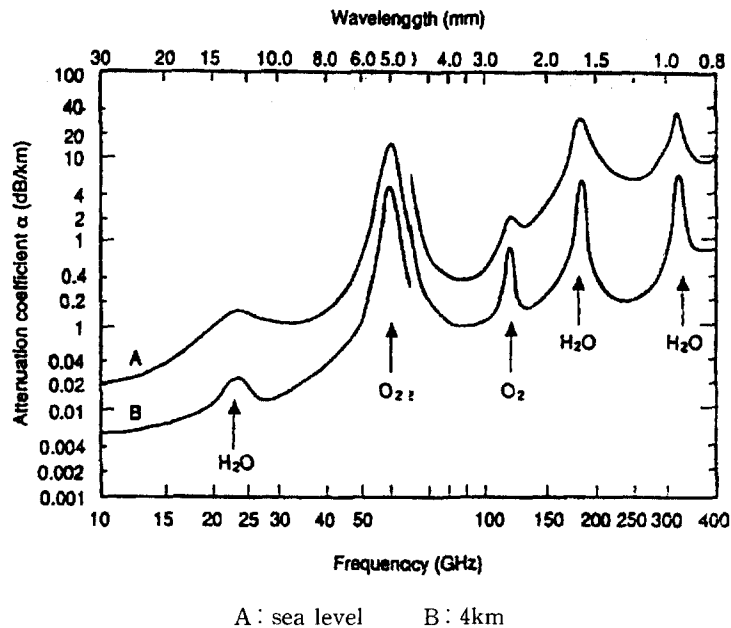
### I. 서 론

마이크로파, 밀리미터파는 대기통과 특성이 나뉘고, 특히 밀리미터파 대역의 경우 부품이 고가인 단점 때문에 지금까지는 군사, 우주 및 전파천문 등 극히 제한된 분야에서만 이용되어 왔다. 그러나 최근 전자 재료, 소자 및 반도체 제작 기술의 발달로 인하여 밀리미터파 소자의 성능이 향상되고 생산 가격이 낮아지면서 상용목적으로 많이 개발되고 있는 추세이다<sup>[1]</sup>.

마이크로파, 밀리미터파 센서시스템은 마이크로파, 밀리미터파 대역의 전자파를 이용하여 측정하는 시스템으로서 송수신기의 여부에 따라 능동형과 수동형 센서시스템으로 구분된다. 레이더와 같은 능동형 시스템은 전자파를 송신하고 반사파를 수신하는 시스템으로서 목표물 탐지시스템, 레이더 영상시스템, 통신시스템 등으로 이용되고 있다. 전파수신기만으로 구성된 라디오미터와 같은 수동형 시스템은 능동형 시스템에 비해 구조가 단순하고 소비전력이 적게 든다는 장점이 있으며 목표물 탐지시스템, 대기관측 센서시스템, 영상시스템 및 의료용 센서시스템 등으로 이용되고 있다. 마이크로파, 밀리미터파를 이용한 센서 시스템은 측정 시스템의 동작 원리에 따라 아주 다양한 장치들이 있으며 본 논문에서는 대표적인 센서 시스템들에 대해서 기술하고자 한다<sup>[1]</sup>.

### II. 마이크로파 및 밀리미터파 전파특성

마이크로파, 밀리미터파 센서 시스템은 대기의 전파특성을 고려하여 개발되는 것이 일반적이다. 센서시스템의 세부적인 특징을 언급하기에 앞서 대기의 전파특성에 대하여 먼저 이해를 하는 것이 필요하다. 대기중을 통과할 때 발생하는 전파 에너지의 감쇄는 일반적으로 주파수가 높아질수록 커진다. 마이크로파 및 밀리미터파의 대기감쇄는 주로 대기중에 분포되어 있는  $H_2O$ 와  $O_2$ 에 의해 발생하며 특정 파장대에서 감쇄특성이 달라진다.  $O_2$ 에 의한 대기감쇄는 산소분자의 자기모멘트와 전자파의 상호작용에 의해서 발생하며 <그림 2-1>에서 보는 것처럼 60 GHz 대역에서는 산소분자와 충돌에 의해 생기는 여러 개의 흡수선이 서로 중첩되어 대역을 형성하며, 118 GHz 대역에서는 고립된 흡수선이 존재하고 있다. 높은 상공에서는 대기의  $O_2$  밀도가 적어져 산소분자와의 상호 작용이 적어지므로 흡수 대역을 형성하지 않고 각각의 흡수선이 분리되어진다. 또한 비, 눈, 안개 등에 의한 감쇄는 밀리미터파의 실외 이용에 큰 장애 요인이며 빗방울의 크기가 밀리미터파 파장과 비슷하기 때문에 빗방울 크기의 분포 특성에 따라 감쇄 정도가 달라지게 되며 전파의 편파가 변하는 교차 편파 현상의 발생 원인이 된다.  $H_2O$ 에 의한 감쇄는 22 GHz 대역과 180 GHz 대역에서 많이 발생하는 데, 두 대역은 흡수대역으로서 라디오미터와 같은 수동형 시스템을 이용하여 대기중의 수증기를 관측하고자 할 때 사용되는 대역이다<sup>[2]</sup>. 35, 90, 135



〈그림 2-1〉 밀리미터파의 대기감쇄 특성

GHz 대역은 흡수대역과 달리 대기감쇄가 낮은 창(window) 대역으로 목표물 탐지를 위한 센서 시스템을 위해서 주로 이용되는 채널이다.

밀리미터파의 대기감쇄 특성은 이용자 측면에서는 단점이 될 수 있지만 사용 목적에 따라 아주 유용하게도 이용 될 수 있다. 통신 부분의 이용에서는 현 마이크로파 대역이 포화 상태가 되어 새로운 주파수 자원의 개발이 요구되고 있고, 또한 전파는 특성상 같은 주파수를 다른 목적에 공유 할 수 없어 전파자원 이용에 한계가 있다. 그러나 밀리미터파 대역 특히 60GHz 대역은 대기중의 감쇄가 크므로 서로 다른 지역에 같은 주파수를 재 할당 할 수 있어 주파수를 재 사용할 수 있는 장점을 보여 주고 있어 단거리 통신에 아주 유용하게 활용될 수 있다. 군사적인 이용 측면에서는 일정한 가청 거리 밖에서는 전파의 감청이 어려워 특별한 장치가 없어도 훌륭히 통신 보안을 확보할 수 있다. 이 이외에도 대기중의 흡수되는 특성을 이용하여 기상 상태를 대기 가스에 의한 흡수 특성을 이용하여 가스의 분포 상태 등도 측정할 수 있는 특징을 지니고 있다.

### III. 마이크로파 및 밀리미터파 센서 시스템

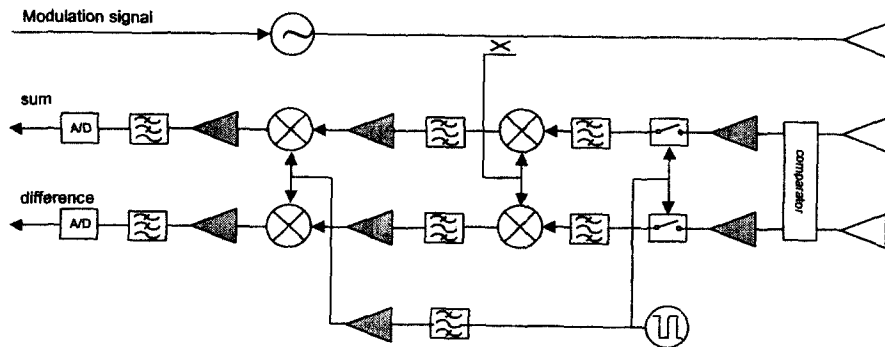
밀리미터파 센서시스템은 고주파 (VHF, UHF) 또는 마이크로파 센서 시스템과 달리 비교적 단 거리에 위치한 표적을 탐지하기 위하여 사용하므로, 좁은 안테나 빔 폭을 작은 크기로 구현할 수 있어 안테나 크기가 작게 요구되는 시스템이 이용되고 있다. 본 절에서는 밀리미터파 센서시스템의 가장 대표적으로 이용되는 차량 충돌 방지 레이더, 표적식별(Classification) 레이더, 표적추적 레이더, 라디오미터(Radiometer) 영상 시스템 등에 대하여 기술하고자 한다.

#### 1. 차량충돌 방지 센서시스템

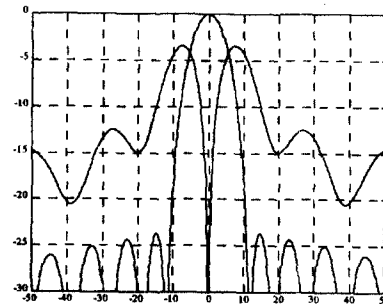
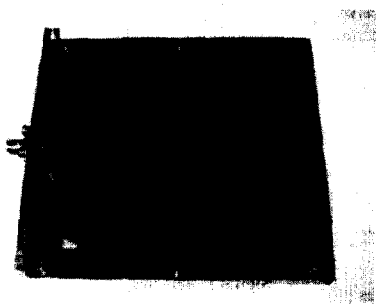
밀리미터파 레이더의 대표적 상업적 이용 기술로써 차량에 소형의 밀리미터파 레이더를 장착하여 전방에 주행하는 차량에 대한 거리와 상대 속도를 측정하여 두 차량간에 최소 안전 거리가 확보되지 못하면 경보 또는 차량의 브레이크를 작동시키는 시스템이다. 차량용 밀리미터파 레이더

는 특히 안전이 요구되는 군용 차량의 군집 운행이 필요한 곳에 이용될 수 있으며 상업적 특성상 차량용 레이다는 소형이면서도 가격이 저렴한 조건을 충족하여야 하므로 하드웨어의 구성이 간단하여야 한다. 이러한 레이다 시스템에 짧은 펄스파를 이용한 펄스 레이다, PN-Code 레이다 등의 기술을 이용할 수 있으나 비교적 고주파 회로 구성이 간단한 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 방식을 많이 채택하고 있다<sup>[3]</sup>. 전방에서 주행하는 차량의 거리 정보는 수신된 beat 신호를 이용하여 FFT(Fast Fourier Transform) 처리함으로써 구할 수 있으나 수평 방향 정보는 안테나 빔을 모터를 이용하여 주사하거나, 또는 위상 배열 안테나를 이용할 수 있다. 그러나 이 방법은 안테나 가격이 너무 고가이므로 당분간 채택이 어려우며, 2~3개의 안테나 빔을 스위치를 이용하여 방향을 선택할 수 있는 안테나 빔 스위치 방식을 사용할 수 있다. 다

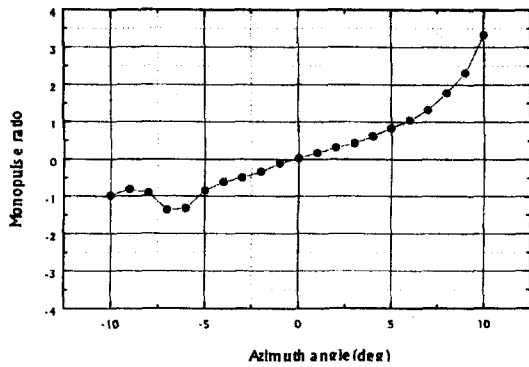
른 방법으로는 2개의 안테나를 이용한 mono-pulse 방식으로 다른 차선에 위치한 차량들을 식별할 수 있다. <그림 3-1>는 mono-pulse 레이다의 구성도이며, <그림 3-2>는 설계 제작된 24 GHz microstrip mono-pulse 안테나와, sum과 difference 방사 패턴을 보여주고 있다. 그림에서 보는 것처럼 sum과 difference 패턴의 안테나 이득은 각각 23dBi와 19dBi이다. <그림 3-3>은 제작된 송신 안테나와 mono-pulse 안테나를 이용하여 측정된 mono-pulse ratio 값과 수평각의 관계를 나타내고 있다<sup>[3]</sup>. 측정된 mono-pulse 값은 수평각도가 약  $\pm 5^\circ$  범위까지 선형적임을 알 수 있으며 이 측정된 값을 이용하여 차선을 분리할 수 있다. 레이다를 중심으로 우측 방향으로 목표물이 있으면 ratio 값이 증가하고 좌측에 있으면 값이 감소하게 되는데 이 값을 통하여 수평 방향으로 정확히 목표물의 위치한 각을 분해할 수 있다.



<그림 3-1> mono-pulse 차량용 레이다 구성도



<그림 3-2> (a) 설계제작된 24GHz mono-pulse 안테나, (b) sum과 difference 방사패턴



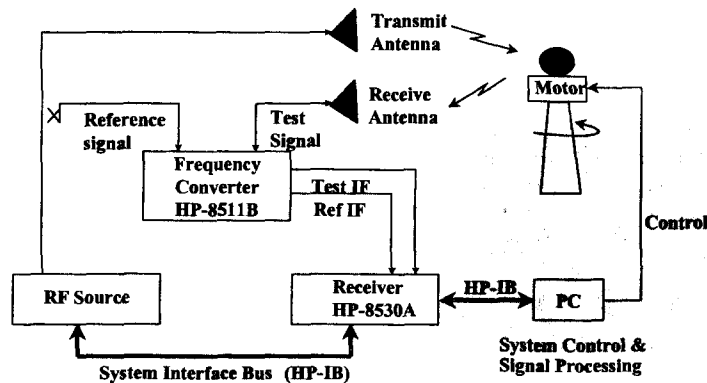
〈그림 3-3〉 Mono-pulse를 이용하여 측정된 mono-pulse ratio

2. 전선 장애물 검출 센서 시스템

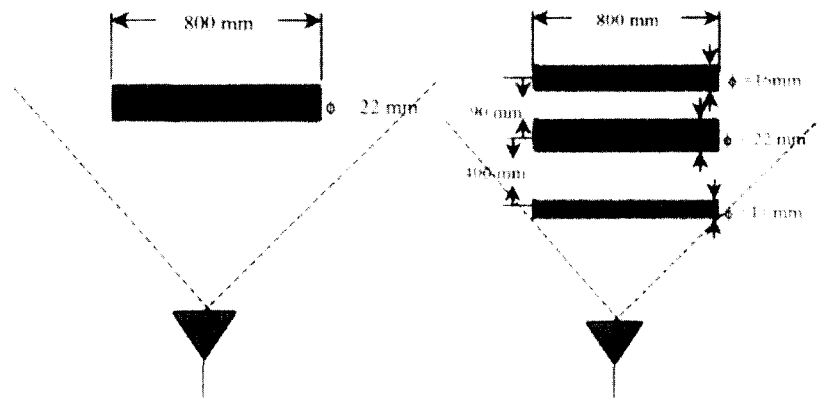
합성개구 방법을 이용하여 전선줄과 같이 RCS (Radar Cross Section)가 작은 목표물 탐지 시스템을 소개하고자 한다. 밀리미터파 탐지 시스템은 비교적 안개, 눈, 비등의 기후 조건에 강하며 야간에도 이용 가능할 뿐만 아니라 시스템의 소형화가 가능하다는 장점을 갖는다. 또한 밀리미터파 장애물 탐지 시스템에 고해상도 획득을 위한 기술을 응용한다면 단지 장애물의 유무 뿐 아니라 고해상도 장애물 관측이 가능해진다. 일반적으로 레이더가 보는 방향의 수직 방향 해상도를 높이기 위해서는 작은 빔 폭의 안테나가 필요하게 된다. 이와 같은 경우 요구되는 해상도가 작아질수록 안테나의 크기가 커져 시스템이 커지

는 단점이 있다. 그러나, 여기서 소개하는 고해상도 장애물 관측 레이더는 넓은 빔 폭을 갖는 작은 안테나를 이용해서 고해상도의 관측을 하게 된다. 이것은 시스템 자체의 부피를 작게 할 뿐 아니라 경제적으로 매우 효율적인 시스템 구성을 가능하게 한다.

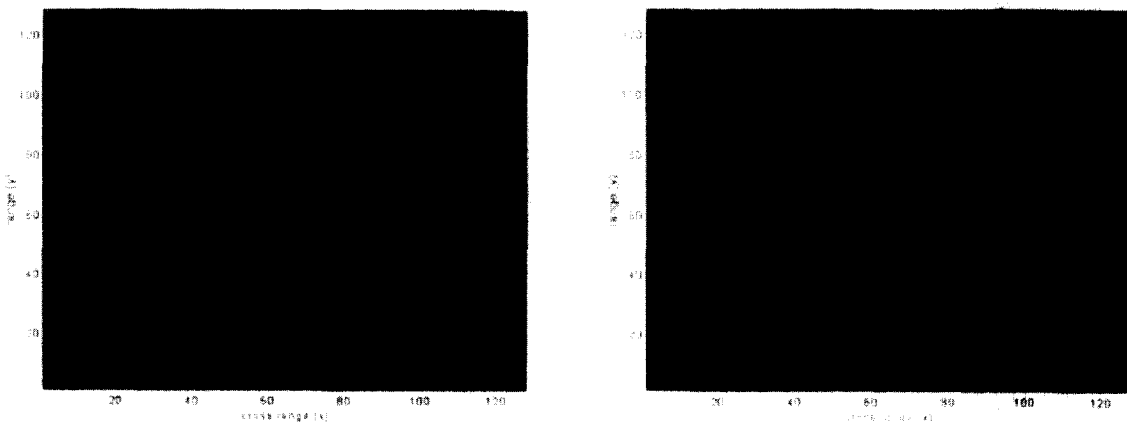
전선줄 형태의 장애물은 RCS가 작기 때문에 레이더 송신신호에 대한 반사신호가 매우 작아 검출이 어렵다. 합성개구 방법을 이용하여 넓은 빔 폭을 갖는 소형의 안테나를 이용하여 전선줄의 검출뿐만 아니라 전선줄의 영상을 획득할 수 있다<sup>[4]</sup>. 〈그림 3-4〉는 합성개구 방법을 적용하여 전선의 영상을 획득하기 위한 실험장치를 보여주고 있다. 송신과 수신을 위해 HP-8530 A 마이크로 웨이브 수신기와 송신 안테나와 수신 안테나를 이용하고, 모터를 이용해 물체를 회전시켰다. 측정 대상물에 의한 신호 외의 다른 잡음 신호를 최소화하는 환경을 만들어 주기 위해 전파 흡수체를 이용했다. HP-8530 A는 HP-IB를 통해서 제어되며 모터의 회전 운동은 I/O 보드를 이용해서 제어하고 있다. 실험에 이용된 중심 주파수는 27.5GHz이며 2GHz의 대역폭을 갖고 step-frequency 레이더 파형을 이용하고 있다. 전선은 모터를 이용하여 안테나에 대해 회전하며 회전 각도는 PC를 이용하여 제어 된다. 〈그림 3-5〉는 전선이 안테나와 평행한 방향으로 위치한 경우 발생하는 상황을 가정한 안테나와 전선과의



〈그림 3-4〉 전선 측정용 위한 실험 구성도



〈그림 3-5〉 안테나와 전선의 위치 설정

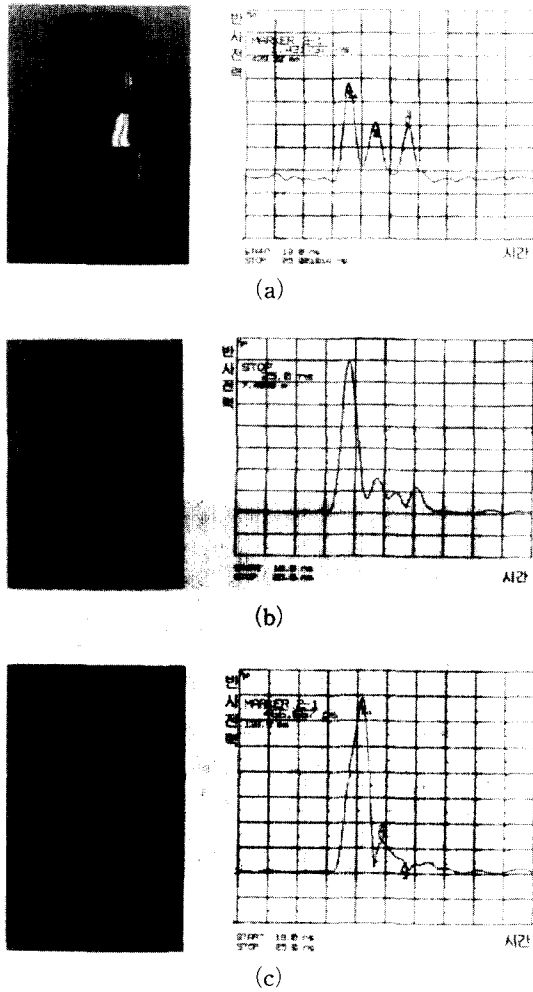


〈그림 3-6〉 측정된 (a) 22mm 전선, (b) 16, 22, 11mm 전선의 영상

위치 설정을 보여주고 있다. 지름이 각각 22mm, 16mm, 11mm인 전선들이 사용되었다. 〈그림 3-6〉는 실험을 통해 획득된 한 개의 전선을 검출한 레이더 영상을 보여주고 있다. 수평 거리 방향으로 길게 뻗은 하나의 전선이 탐지되고 있다. 〈그림 3-6〉에서 전선이 한 개인 경우는 물론 여러 개의 전선이 평행하게 위치하고 있는 경우에도 영상획득이 가능함을 알 수 있다. 〈그림 3-6〉에서는 전선사이에 발생하는 레이더 반사신호의 간섭 현상으로 인해 3개의 전선에서 돌아오는 전파 신호가 일부 서로 혼합되어 수신기에 돌아오므로 각 전선에서 돌아오는 신호의 분리가 명확하지 않지만 그럼에도 불구하고 실험 결과에서는 3개의 전선을 명확히 확인할 수 있었다.

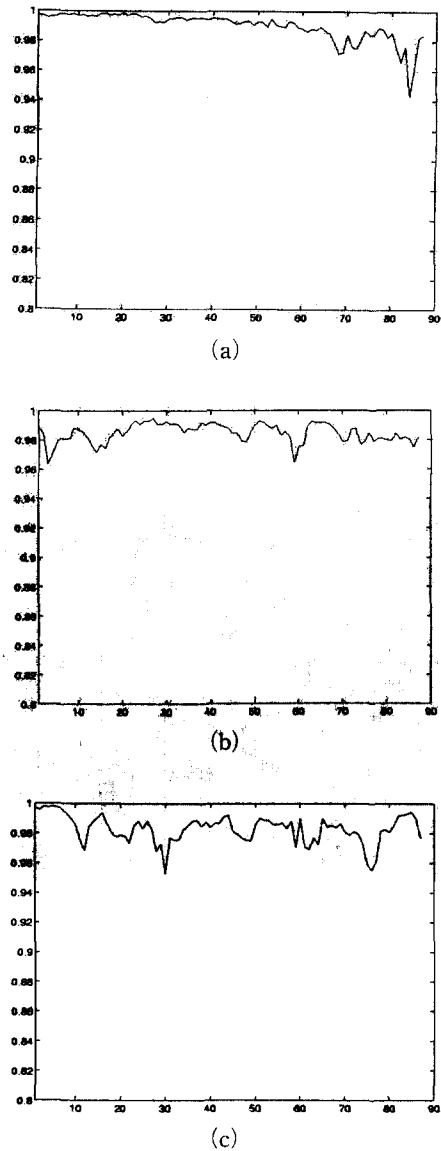
### 3. 표적식별 (Classification) 레이더 시스템

광학 카메라가 형상 판별을 통하여 표적물을 식별하는 것과 달리 레이더는 송신신호에 대해 차량의 표면으로부터 반사되는 신호의 특성을 이용하여 차량에 대한 거리와 속도의 정보뿐만 아니라 차량 형태에 대한 정보를 획득할 수 있기 때문에 표적식별에 이용될 수 있다. 표적물의 구조, 형태, 크기와 재질에 따라 레이더 신호에 대하여 각각 다른 반사 특성을 가지며 차량 또는 항공기의 경우에도 모양과 크기, 입사각에 따라 반사특성이 달라지게 된다. 레이더에 대한 물체의 반사 특성은 여러가지 파라미터로 측정될 수 있는데, 반사신호의 크기를 결정짓는 물체의 유효면적 RCS(Radar Cross Section)는 반사특



〈그림 3-7〉 모형 (a) 승용차, (b) 봉고차, (c) 트럭에 대한 range profile 측정 결과

성을 나타내는 대표적인 파라미터로서 물체의 크기, 형태 및 재질에 따라 다른 값을 가지므로 표적식별에 이용할 수도 있다. 그러나 동일한 물체의 RCS도 주파수, 측정각도에 따라서 달라지기 때문에 표적식별에 있어 여러 문제점이 발생할 수 있다. 이와같은 문제점을 극복하기 위해 레이더의 range profile을 표적식별에 이용할 수 있다<sup>16)</sup>. 측정 〈그림 3-7〉은 27GHz 대역에서 측정된 모형 차량의 range profile들을 보여주고 있다. 승용차, 봉고, 트럭의 모형 차량을 이용했으며 각각의 profile에서 차량의 형태에 따른 특성



〈그림 3-8〉 모형 (a) 승용차, (b) 봉고차, (c) 트럭에 대한 측정 각도에 따른 range profile의 상관계수 측정 결과

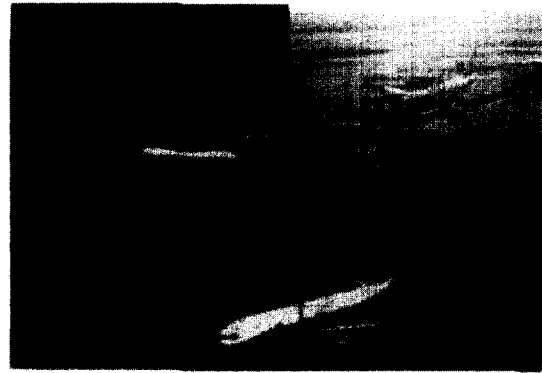
을 찾아볼 수 있다. 모형 봉고의 경우에는 주된 레이더 반사 신호가 한 개인 반면, 트럭의 경우 차량의 전, 후반 부에서 반사되는 두개의 피크 신호가 나타나고 있다. 승용차의 경우에는 전, 중, 후반부 모두에서 레이더 신호가 반사되고 있다. 〈그림 3-8〉는 각 측정각도에 따른 동일 차량의

profile의 상관정도를 보여주고 있다. 승용차의 경우 측정각도가 커질수록 상관계수가 작아지고 있으나 대체적으로 높은 상관계수 값을 보이고 있다. 레이더의 range profile을 표적식별에 이용할 경우 correlation 방법을 적용하여 각 물체에 대한 기준 profile을 만들 수 있다. <그림 3-8>에서 처럼 상관계수가 “1”에 근접할수록 차량 식별의 분별도가 높은 것을 의미하며 본 실험에 사용된 모형차와 correlation 방법의 분별도는 아주 우수하게 나타나고 있다.

#### 4. Passive Radiometer 영상 시스템

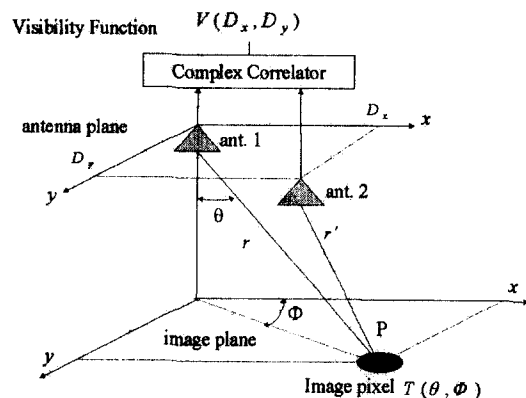
대기, 토양 및 해양 등의 지구 환경 관측 및 군사적 목적을 위해 이용되는 위성용과 지상용 영상 시스템은 주로 가시광선 대역이나 적외선 대역의 광학 카메라와 능동형 영상 레이더 시스템인 SAR(Synthetic Aperture Radar) 시스템을 많이 이용하고 있다. 특히 SAR는 기후상태에 관계없이 전천후 고해상도의 영상을 얻을 수 있는 시스템으로서 인공위성 및 항공용 surveillance 레이더로 이용되고 있다. 수동형 마이크로파, 밀리미터파 라디오미터 영상 시스템은 능동형 레이더와 달리 수신기만으로 구성된 시스템으로서 물체에서 방출되는 마이크로/밀리미터파 대역의 에너지를 측정하여 물체의 brightness temperature를 측정한다. 송신신호에 대한 반사특성을 측정하는 능동형 시스템과 달리 물체 자체의 에너지 방출특성을 측정하므로 대기, 해양 관측등에 특히 많이 이용된다. 군사적으로 이용될 경우 능동형 시스템과 달리 송신 신호가 없으므로 적에게 탐지될 염려가 없다는 장점이 있다. 물체의 탐지를 목적으로 수동형 라디오미터 영상 시스템을 이용할 경우 대기 감쇄가 작은 35GHz와 90GHz 등의 창(window)영역의 주파수를 이용하게 된다. <그림 3-9>은 real aperture를 이용하여 구현한 94GHz 대역의 라디오미터 영상이며 SAR와 마찬가지로 전천후 영상을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다.

Real aperture 라디오미터 영상은 광학 영상에 비해 해상도가 떨어지며, 해상도를 증가하려

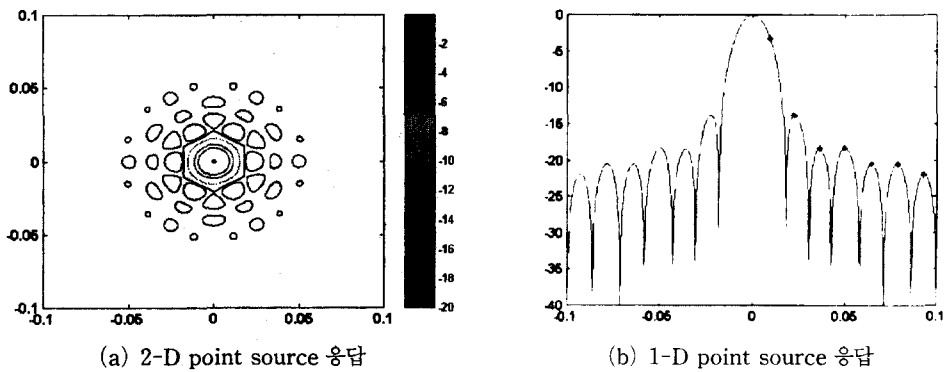


<그림 3-9> Real Aperture를 이용한 94GHz 대역의 라디오미터 영상(DRA 자료)

면 안테나 개구 면적이 커져야 하고 이에 따라 안테나 크기가 커져 실제 이용에 어려움이 발생한다. 해상도를 증가시키기 위해 합성개구 방법을 적용한 SAR 시스템과 비슷하게 Interferometer 방법을 적용한 합성개구 라디오미터 시스템들이 개발되고 있다<sup>16)</sup>. <그림 3-10>는 합성개구 방법을 적용하기 위한 2-channel interferometric 라디오미터 시스템의 측정 방법을 보여주고 있다. 서로 근접한 안테나의 출력 신호가 complex correlator를 통과하여 visibility function이 획득된다. 식 (3-1)에서 알수 있듯이 brightness temperature 영상은 visibility function을 FFT 함으로서 복원된다.



<그림 3-10> 합성개구 방법을 적용하기 위한 2-channel 시스템의 측정방법



〈그림 3-11〉

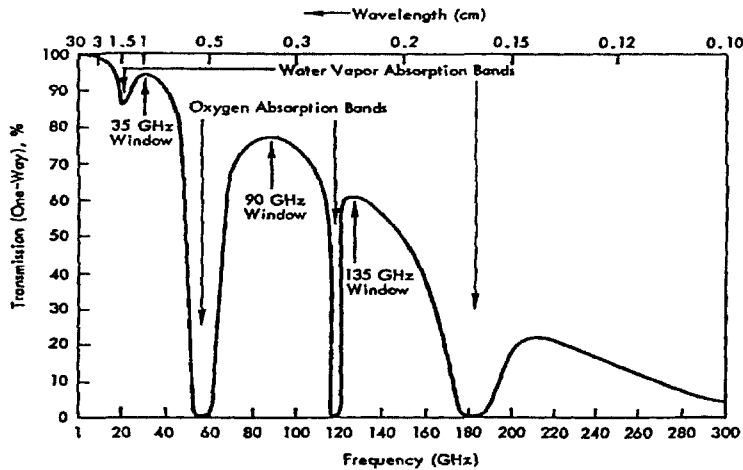
$$T_B(\xi, \eta) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} V(u, v) \exp[-j2\pi(u\xi + v\eta)] du dv \quad (3-1)$$

$$u = \frac{D_x}{\lambda}, \quad v = \frac{D_y}{\lambda}$$

〈그림 3-11〉은 136개의 안테나를  $0.89\lambda$  간격으로 배치시켰을 경우 Blackmann window를 적용하여 얻어지는 point source 응답을 시뮬레이션을 통하여 얻은 결과이다. 약  $1^\circ$ 의 3dB 각 해상도가 획득되며 side lobe는 13dB 정도이다. 합성개구 방법을 적용할 경우 고해상도의 영상이 획득되는 장점 뿐만 아니라 Scanning 없이도 측정대상의 2-D 영상을 얻을 수 있다는 장점이 있다.

### 5. 대기관측 라디오미터 시스템

문명의 발달로 인한 대기오염이 심각해지면서 전세계적으로 오랜 가뭄, 홍수, 폭설 등의 이상 기후가 발생하고 있으며 이로 인한 재산, 인명피해가 늘고 있는 상황에서 지구의 대기모델 개발 및 기후변화의 메커니즘을 이해 함으로서 지구 기후변화에 대처하기 위해 대기관측 시스템들이 이용되고 있다. 대기중의 수증기를 측정하기 위해 이용되는 대기관측 라디오미터는 〈그림 3-12〉에서 볼 수 있듯이 22GHz 대역의 수증기 흡수 (Water vapor absorption) 대역을 측정한다. 수증기 측정의 정확도를 높이고 동시에 cloud liquid water를 관측하기 위해 대부분의 대기관측 라디오미터는 35GHz와 90GHz 대역을 동



〈그림 3-12〉 마이크로파/밀리미터파 대역의 전자파 대기통과 특성



〈표 1〉 관측 파라미터에 따른 측정 주파수의 선택  
Frequency of Observations(GHz)

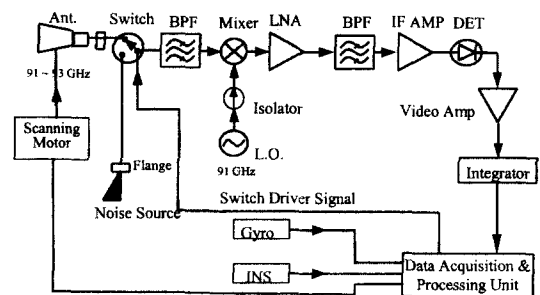
Observations Parameters	1.4	6	10	18	21	37	50-60	90	160	183
Snow		③	③	①		①		②		
Precipitation Ocean			②	①	③	②				
Land				②		①		①		②
Total Water Vapor				①	①	②				
Cloud Water					②	①		①		
Temperature Profile					③	③	①	③		
Soil moisture	①	③								

①: Necessary, ②: Important, ③: Helpful

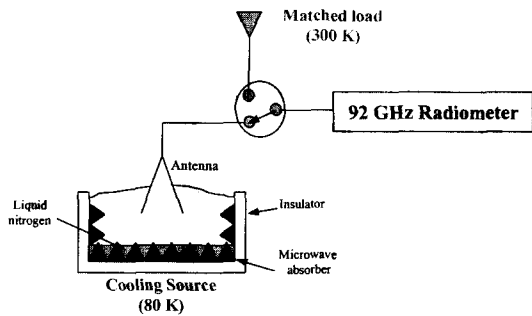
시에 측정한다. 〈표 3-1〉는 관측 파라미터에 따라 요구되는 주파수 대역들을 보여주고 있다. 대기관측을 위해 라디오미터들은 크게 위성용, 지상용으로 구분될 수 있다. TMI(Tropical Rainfall Measuring Missions(TRMM) Microwave Imager)는 대기중의 water vapor, cloud water와 rainfall intensity를 측정하기 위해 위성탑재용으로 개발된 시스템이다. 10.65GHz, 19.35GHz, 21.3GHz, 37.0GHz, 85.5GHz 등의 총 5개 채널을 가지고 있으며 대역폭은 각 100MHz, 500MHz, 2000MHz, 2000MHz, 3000MHz 등이며 온도 해상도는 각 0.63K, 0.50K, 0.71K, 0.36K, 0.52K 등이다. 유럽 위성인 Envisat-1에 탑재되어 이용되고 있는 시스템으로 MWR(Microwave Water Vapor Radiometer)가 있다. MWR은 atmospheric humidity, water vapor emission의 측정을 목적으로 개발된 시스템으로 23.8GHz와 36.5GHz의 Dual channel 시스템이며, 각 채널의 대역폭은 650MHz, 1000MHz로 온도 해상도는 두채널 모두 0.50K이다. 위성탑재를 목적으로 개발되고 있는 AMSR-E(Advanced Microwave Scanning Radiometer-E)은 precipitation, sea surface temperature, total integrated water vapor, wind speed, cloud liquid water, sea ice, snow cover, soil moisture 등의 파라미터를 측정하기 위한 시스템이다. 총 6개의 채널을 가지고 있으며 각 채널의 중심주파수는 6.925GHz, 10.65GHz, 18.7

GHz, 23.8GHz, 36.5GHz, 89.0GHz 등이며, 대역폭은 각 350MHz, 100MHz, 200MHz, 400MHz, 1000MHz, 3000MHz이다. 또한 각 채널은 0.3K~1.1K의 온도 해상도를 갖는 것으로 알려져 있다. 이상의 자료로부터 라디오미터를 이용하여 water vapor를 관측하기 위해서는 22.23GHz와 183GHz의 water-vapor absorption lines의 채널을 측정하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 대기로부터의 방출에너지 이외의 잡음으로 인한 오차를 줄이기 위해 35GHz 대역의 채널을 동시에 측정하는 시스템이 많이 이용되어 왔다. 그러나 근래에 들어 90GHz 대역의 채널을 이용하여 고해상도의 cloud-liquid water 및 water vapor를 측정하기 위한 연구가 이루어지고 있다.

〈그림 3-13〉는 광주과학기술원에서 대기관측을 위해 개발하고 있는 92GHz 레디오미터 시스템의 구성도를 보여주고 있다<sup>7)</sup>. 고해상도의 온도 해상도(Temperature resolution)를 획득하기



〈그림 3-13〉 92GHz 대역의 레디오미터 시스템 구성도



〈그림 3-14〉 cold source를 이용한 라디오미터의 보정 방법

위해 TPR (Total Power Radiometer) 타입의 시스템이 구성되었으며, 측정 중 시스템 이득의 변화로 인해 발생하는 오차는 50 Ω load를 잡음원으로 이용하여 보상한다. 라디오미터의 안정도, 온도해상도 및 공간해상도 특성은 시스템 설계에 있어서 가장 중요한 파라미터라고 할 수 있다. TPR (Total Power Radiometer) 타입의 라디오미터에서 온도해상도는 식 (3-2)와 같이 대역폭과 적분시간에 따라 결정된다.

$$\Delta T = \frac{(T_A + T_N)}{\sqrt{B \cdot \tau}} \quad (3-2)$$

〈그림 3-14〉는 cold source를 이용한 라디오미터의 보정방법을 보여주고 있다. Cold source는 90 GHz 대역에서 Blackbody의 특성을 보이는 absorber material와 액체질소를 이용하여 Blackbody의 실제 온도를 약 80K로 조정할 수 있다.

#### IV. 결 론

과학적 목적을 위한 위성용 센서나 군사적 목적과 같이 한정된 특수 분야에만 이용돼오던 마이크로파/밀리미터파 센서시스템이 소자기술의 발달에 힘입어 ITS, 통신 및 의료용 등의 상업적 용도로 이용분야가 확대되고 있는 실정에서 국내의 과학기술을 세계적 수준을 끌어올리기 위해서

는 마이크로파/밀리미터파 관련 기반기술의 확보가 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 우선 마이크로파/밀리미터파 대역의 센서시스템 개발을 위해서는 시스템 설계 기술과 부품 설계 기술개발이 요구되며 이를 뒷받침할 수 있는 공정 및 제작 기술이 함께 개발돼야한다. 또한 시스템 개발을 위해서는 센서 데이터의 처리 기술과 신호처리 H/W 및 알고리즘 개발이 요구된다. 추가적으로 개발된 센서시스템에 대한 성능 측정 및 검증 기술 개발이 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 환경모니터링 신기술 연구센터(ERC) 프로젝트와 교육부의 BK21 사업에 의하여 지원 되었습니다.

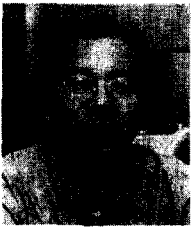
#### 참 고 문 헌

- [1] 김용훈 외 다수, 밀리미터파대 무선전송기술 개발에 관한 연구, 광주과학기술원, 1998.
- [2] Fawwaz T. Ulaby, Richard K. M., Adian K. F., 1981. *Microwave Remote Sensing-Active and Passive*, Vol.1; Artech House, 456p.
- [3] 최성태, 김용훈, 24 GHz Monopulse FMCW Radar with Heterodyne Receiver for automotive applications, 5th World Congress on ITS
- [4] 김용훈, 강금실, Multi-wire Detection and Image Reconstruction using 27 GHz ISAR, IGARSS'99
- [5] 강금실, 김용훈, Automole Classification using Range Profile of Millimeter wave Radar, 5th World Congress on ITS
- [6] 김용훈, 강금실, Interferometric Synthetic Aperture Millimeter-wave Radiometer for High Resolution Imaging, Proceedings of International Symposium on

Remote Sensing, 1999

- (7) 김용훈, 강금실, 김성현, Dual Frequency Millimeter-Wave Radiometer for water vapor Monitoring, The Third International Symposium on Advanced Environmental Monitoring

## 저자 소개



### 김용훈

1952년 9월 3일생, 1974년 2월 경희대학교 전자공학과 (학사), 1976년 2월 연세대학교 전자공학과 (석사), 1990년 2월 Stuttgart University 전자공학과 (박사), 1976년 8월~1980년 7월 : 공군 제2사관학교 전임강사, 1980년 9월~1981년 7월 : 연세대학교, 광운대학교 강사, 1982년 4월~1983년 9월 : 독일 Berlin공대, 항공우주(연), 연구원, 1983년 10월~1990년 9월 : 독일 Stuttgart대, 우주항법(연), 선임연구원, 1990년 10월~1994년 7월 : 한국항공우주연구소 전자탐재실, 실장, 1994년 8월~1995년 1월 : ARINC Research Co., Research Fellow, 1995년 2월~현재 : 광주과학기술원, 부교수, <주관심 분야 : 마이크로파, 밀리미터파 소자 및 시스템, 밀리미터파 통신 시스템, ITS용 레이더 시스템, 밀리미터파 영상 레이더, 밀리미터파 라디오미터 시스템, 고해상도 라디오미터 시스템>

### 강금실

1973년 1월 7일생, 1991년 2월 제주대학교 전자공학과 (학사), 1995년 2월 광주과학기술원 기전공학과 (석사), <주관심 분야 : ITS용 레이더 시스템, 고해상도 영상 레이더 시스템, 합성개구 라디오미터 시스템, 밀리미터파 라디오미터 시스템>