

# CW 레이다와 자계기술을 복합한 새로운 차량검지기 개발

## Development of a New Vehicle Detector Combining CW Radar and Magnetometer Techniques

정재영\* · 김인석\*\*

Jae-Young Jeong\* · Ihn-Seok Kim\*\*

### 요 약

본 논문에서는 CW 레이다기술, 자계기술, VHF/UHF 안테나를 사용한 적은 비용으로 작고 튼튼하며, 신속한 교체가 가능한 도로 관입형 차량검지기를 소개한다. 기존의 교통정보시스템의 알고리즘을 변화시키지 않고, 모든 환경조건에서 보다 정확히 동작하며 널리 사용되고 있는 루프검지기를 대체할 수 있도록 개발되어졌다. 검지된 차량정보는 물리적으로 강한 유전물질에 삽입된 소형의 헬리컬안테나에서 송출하여 5/8 파장의 GP 안테나로 받아 제어부로 전송한다. 청명한 날씨에는 24 GHz로 동작하나 많은 비가 올 때는 자동스위치에 의해 자계검지부가 동작한다.

### Abstract

This paper introduces a new, small, low cost, robust and quick replaceable pavement-based vehicle detector using CW radar, magnetometer, and UHF small antenna techniques. The detector has been developed for a replacement of loop detectors having wide surface areas, for a more accurate operation under all weather conditions, and for no algorithmic change of the existing traffic information system. The detected vehicle information is sent by a small helical antenna embedded in a plastic material and received by a 5/8 λ long GP antenna for signal processing. In a relatively good weather condition, the detector operates at 24 GHz. But in a heavy rain condition, magnetometer is activated by automatic switching.

### I. 서 론

차량검지기란 도로상의 교통정보, 즉, 차량속도, 차량대수, 차량점유율 등을 검지하여 도로의 이용 현황을 파악할 수 있고, 미래의 교통계획을 수립할

수 있는 교통정보를 수집하는 소자로써 첨단교통 체계(ITS: Intelligent Transport Systems)에서 첨병과 같은 중요한 기능을 가진다.

1991년 이후 연간 백만대 이상의 자동차수가 증가하고 있는 우리 나라를 비롯한 세계의 대부분의 국가들은 심각한 교통문제에 직면하고 있다. 이러

\*기원전자

\*\*경희대학교 전자정보학부

· 논문 번호 : 990308-023

· 수정완료일자 : 1999년 5월 8일

한 교통문제를 해결하기 위하여 교통시설의 확충 등의 미래교통계획을 효율적으로 추진할 필요가 있어서, 미국, 유럽, 일본 등의 선진국에서는 국가적인 정책사업으로 '80년대부터 첨단교통체계를 연구·개발하고 있다. 물류와 인간이동의 원활한 흐름은 인체의 혈액이 원활히 흘러야 건강함을 유지 하듯이 ITS는 국가 경쟁력 측면에서 중요성이 나 날이 증대되고 있다.

차량검지기는 첨단교통체계의 중요한 요소기술 로써 각국에서는 표 2.1에서 보여주는 바와 같은 다양한 기술 즉, 루프, 레이더, 레이저, 적외선, 압력, 초음파, 자계 등을 이용한 차량검지기를 개발 하여 이용하고 있다. 이러한 차량검지기는 각각 저 마다의 장점이 있지만 반면에 참고문헌[1]과 [2]에서 보인 바와 같이 심각한 단점도 모두 가지고 있어, 이러한 문제점을 보완하고, 또한 정확한 차량검지기능을 가지고 있어야 정확한 미래교통 계획 수립할 수 있기 때문에 새로운 차량검지기가 요구되고 있다.

루프검지기는 표 2-1과 2-2에서와 같이 타검지

기와 비교하면 성능면으로는 장점이 많아서 국내의 에서 현재 제일 많이 이용되고 있지만, 국내의 경우 도로여건상 고장이 너무 많은 단점을 가지고 있어 이를 교체할 수 있고, 기존의 루프검지기가 연결된 교통정보 네트워크 환경하에서의 연동이 스프스한 차량검지기가 필요하였다. 그래서 본 연구에서는 상기 요구에 맞게 24 GHz의 CW 레이더 기술과 자계 기술을 복합한 새로운 차량검지기를 개발하였다.

## II. 기존의 차량검지기 소개

### 2-1 기존의 차량검지기의 성능 비교

다양한 차량검지시스템이 사용중이거나 개발되고 있다. 차량검지시스템의 성능은 차량대수, 차량 존재, 속도, 점유율, 대기행렬 등의 측정 가능성으로 평가하고 있으며 표 2-1과 같이 요약할 수 있다<sup>[1],[2]</sup>.

표 2-1에서는 검지기의 종류를 전자기 에너지 변화, 힘의 변화, 그리고 방사 에너지 변화의 3 중

표 2-1. 차량검지시스템의 성능비교표

검지기 종류		차량대수	차량존재	속도	점유율	대기행렬
전자기 에너지 변화	루프(Loop)	가능	가능	가능	가능	가능
	무지향성 마그네틱(Magnetic Nondirectional)	가능	불가능	불가능	불가능	불가능
	지향성 마그네틱(Magnetic Directional)	가능	불가능	불가능	불가능	불가능
	마그네틱 메타(Magnetometer)	가능	가능	불가능	가능	가능
힘의 변화	압력(Pressure)	가능	불가능	불가능	불가능	불가능
방사 에너지 변화	레이더(Radar)	가능	불가능	가능	불가능	불가능
	초음파펄스이용(Sonic Pulsed)	가능	가능	가능	가능	가능
	초음파 CW 이용(Sonic Continuous Wave)	가능	불가능	가능	불가능	불가능
	발광소자(Light Emission Photoelectric)	가능	가능	가능	가능	가능
	적외선(단속빔)(Infrared Interrupted Beam)	가능	가능	가능	가능	가능
	적외선(반사빔)(Infrared Reflected Beam)	가능	가능	가능	가능	가능
	높은 강도의 빛 감지(High-intensity Light)	가능	가능	불가능	불가능	NA

류로 나누고 각각을 세분하여 총 12 종류로 나눠 보았다. 그리고 각각을 차량대수, 차량존재, 속도, 점유율, 대기행렬 등의 정보를 얻을 수 있는지를 비교하였다. 전부가 가능한 시스템은 루프, 초음파 펄스 이용, 발광소자, 적외선 검지기이다.

기존의 각종 차량감지기들은 저마다의 장·단점을 가지고 있다. 이를 표 2-2에 요약하였다<sup>[1],[2]</sup>. 표 2-2에서는 앞 절에서 분류된 12종류에 RF 이용을 첨가해 13종류에 대해 장단점을 비교하였다.

2-2 기존의 감지기의 장·단점 비교

2-3 준 밀리미터파 레이더 차량검지기술

준 밀리미터파대역인 24 GHz를 사용한 차량용

표 2-2. 검지기별 장·단점 비교

검지기종류	장 점	단 점
루프 (Loop)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 루프크기로 검지범위의 크기와 형태를 쉽게 설정</li> <li>2. 차량의 존재 유무 감지 기능이 우수</li> <li>3. 모든 형태의 교통자료를 측정 가능</li> <li>4. 설치가 상대적으로 용이</li> <li>5. 상대적으로 가격 저렴 [매설된 루프는 버리고 감지회로부는 재사용 가능]</li> <li>6. 크기가 소형인 차량을 감지</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 설치비용이 고가</li> <li>2. 설치기간동안 차선 통제</li> <li>3. 유지보수가 어렵다.</li> </ol>
무지향성 마그네틱 (Magnetic Non-directional)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 도로면에 매설되어 손상에 안전</li> <li>2. 상대적으로 교환이 용이함</li> <li>3. 유지보수 적음</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 무지향성(Non-directional)</li> <li>2. 감지영역 설정이 어렵다.</li> <li>3. 인접한 직류라인 (DC Line)에 오동작</li> <li>4. 차량 존재 유무 측정 불가</li> </ol>
지향성 마그네틱 (Magnetic Directional)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 방향성</li> <li>2. 인접한 직류라인에 영향을 받지 않음</li> <li>3. 감지영역 설정 용이</li> <li>4. 유지보수가 적음</li> <li>5. 도로면에 매설되어 손상에 안전</li> <li>6. 상대적으로 교환용이</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 설치를 위해서 차선 통제가 필요</li> <li>2. 무지향성보다 고가</li> <li>3. 차량 존재 유무 측정 불가</li> </ol>
발광소자 (Light Emission Photo-electric)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 단일차선에서 차량의 통과 측정에 정확도 높음</li> <li>2. 일정한 빛에서 가장 적당</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 여러 개의 차선에서 감지는 부정확</li> </ol>
마그네트 메타 (Magneto -meter)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 상대적으로 설치 용이</li> <li>2. 차량의 존재 유무 측정 가능</li> <li>3. 신뢰성</li> <li>4. 인접한 DC라인에 의한 영향이 없음</li> <li>5. 도로면에 매설되어 손상에 안전함</li> <li>6. 상대적으로 교환 용이</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 설치를 위해 차선 통제 필요</li> <li>2. 무지향성보다 고가</li> <li>3. 인접한 차량을 카운트할 수 있어 오차 발생(자성재료의 영향으로 어떤 차량을 두 대로 감지)</li> <li>4. 감지영역 설정이 어렵다.</li> </ol>

표 2-2. 계속

감지기종류	장 점	단 점
압력 (Pressure)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 감지영역이 명확함</li> <li>2. 설치 용이</li> <li>3. 고신뢰성</li> <li>4. 상대적으로 가격이 저렴</li> <li>5. 속도에 무관하게 이동중인 모든 차량 감지</li> <li>6. 유지보수 용이</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 차량의 측방향 대수 카운트 부정확</li> <li>2. 차량 존재 유무 측정 불가</li> <li>3. 설치기간 동안 교통차단 기간이 길다.</li> <li>4. 노면 재포장시 위치 재조정 필요</li> <li>5. 제설 작업차량에 손상을 입기 쉽다.</li> <li>6. 설치위치 변경이 어렵다.</li> </ol>
레이더 (Radar)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 전자기적 간섭에 강함</li> <li>2. 설치를 위해서 차선통제 불필요</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 제조 및 설치비용이 고가</li> <li>2. 무선국 허가 필요</li> <li>3. 설치 및 유지보수를 위해 경험 있는 기술자 필요</li> <li>4. 정지되어 있는 차량의 존재 유무 측정 불가</li> </ol>
초음파펄스이용 (Sonic Pulsed)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 설치를 위해 차선통제 불필요</li> <li>2. 무선국허가 불필요</li> <li>3. 도로면이 불량한 곳에서도 사용 가능</li> <li>4. 차량의 높이 판별 가능</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 제조 및 설치비용이 고가</li> <li>2. 원뿔형 감지범위와 차량의 높이 및 진행 방향의 변화로 다수 부정확한 감지</li> <li>3. 무지향성</li> <li>4. 주변 환경에 민감</li> <li>5. 교통이 혼잡한 곳에서는 다소 부정확한 감지</li> </ol>
초음파 CW 이용 (Sonic Continuous Wave)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 설치를 위해 차선통제 불필요</li> <li>2. 무선국허가 불필요</li> <li>3. 도로면이 불량한 곳에서도 사용 가능</li> <li>4. 속도 측정 정확도가 개선</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 제조 및 설치비용이 싸다.</li> <li>2. 주변 환경에 민감</li> <li>3. 교통이 혼잡한 곳에서는 다소 부정확한 감지</li> <li>4. 차량의 존재 유무를 감지 못함</li> </ol>
적외선(단속빔) (Infrared Interrupted Beam)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 단일차선에서 차량의 통과 측정에 정확도 높음</li> <li>2. 일정한 빛의 조건에서 가장 적당</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 여러개의 차선에서 감지는 부정확</li> </ol>
적외선(반사빔) (Infrared Reflected Beam)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 일정한 빛의 조건에서 가장 적당</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 고가</li> <li>2. 주변의 빛과 노면의 색상에 민감</li> <li>3. 기후 영향을 받음</li> <li>4. 반사의 차이로 인한 부정확</li> </ol>
높은 강도의 빛 감지(High-intensity Light)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 긴급차량 인식수단으로 사용 가능</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 고가</li> <li>2. 차량에 장비설치 필요</li> </ol>
RF 이용 (Radio Frequency)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 특정차량을 선택하기 위하여 사용 가능</li> <li>2. 정확도가 높고 신뢰성이 높음</li> <li>3. 대중교통 우선 통행은 특별한 목적 사용</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 상대적으로 설치비용이 고가</li> </ol>

충돌방지 레이다가 상용화되어 버스, 트럭 등 대형 차량에 장착되어 운용되고 있으며, 밀리미터파 대역인 60, 77, 94 GHz 대역에서의 차량충돌 방지용 레이더 시스템에 대한 연구 개발도 세계각국에서 활발히 진행 중이다<sup>[3],[4]</sup>.

최근 밀리미터파에서 각광을 받고 있는 중요한 상업적인 두 분야가 있다. 이미 상업적으로 생산되고 있는 PCN 설치를 위한 38 GHz의 Short-Haul 전송선 링크가 하나이며, 두 번째는 77 GHz를 이용하는 간단한 차량충돌방지 레이더와 또한 자동 항법장치에 사용되는 제어 센서소자이다. 아주 가까운 미래에는 가장 큰 시장 수요를 형성할 것으로 예상된다<sup>[5]</sup>.

준-밀리미터파 레이더 기술을 이용한 차량검지기를 개발한다면 다음과 같은 장점을 가질 수 있다<sup>[6]</sup>.

- ① Beam 각이 예리하여 차량길이, 속도 등의 정확한 교통정보를 제공할 수 있다.
- ② 대기중에 급격히 감쇠하므로 타 통신 등에 영향을 감소시킬 수 있다.
- ③ 파장이 짧아 검지기의 크기를 소형화 할 수 있다.
- ④ 연기, 안개, 야간 등에 관계없는 특성을 보이고 있다.

그런데 본 논문의 경우, 24 GHz를 이용하여서 청명한 날씨에는 매우 정확한 차량정보를 얻을 수 있지만, 비가 와서 수막이 검지기상에 형성되면 24 GHz가 통과하지 못하는 문제점이 발생한다. 이 경우에는 자체검지부분으로 자동 스위치되어 문제점을 해결하였다.

### III. 시스템 구성

#### 3-1 소 개

그림 3-1과 같이 도로의 각 레인의 중심에 원통

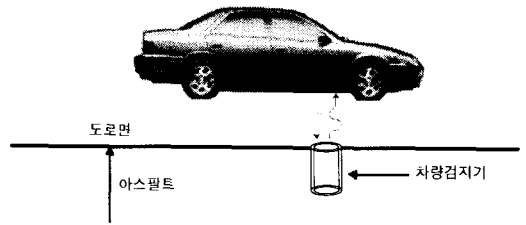


그림 3-1. 차량검지기의 설치 위치

형의 구멍을 파고 검지기를 매설한다. 시스템은 24 GHz를 사용하는 CW-레이더 부분과 자체검지기부분으로 나누어져 각각 차량을 검지할 수 있다. 청명한 날씨는 24 GHz를 사용하며, 비가 와서 검지기 위쪽에 수막이 형성될 때에는 자동 스위치가 작동되어 자체검지기로 대체된다. 검지된 신호는 UHF로 변환하여 도로밖에 위치한 신호처리 센터로 무선으로 전송한다.

#### 3-2 레이더 시스템

그림 3-2의 레이더 시스템에서 발진된 신호는 혼안테나를 통해서 송신된다. 이 신호가 차량에 의해 반사되어 다른 혼안테나를 통해 수신해서 검출기에서 차량정보를 추출한다. 이 수신신호를 다이오드를 통해 오실로스코프로 측정할 파형을 그림 3-3에 보이고 있다. Pspice를 이용하여 그림 3-3의 신호를 그림 3-4의 슈미트 트리거회로에 입력시켜 모의 실험한 출력파형이 그림 3-5이다. 그림 3-3의

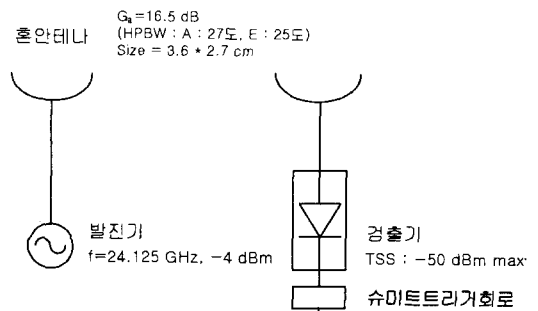


그림 3-2. 레이더 시스템 구성도

CW 레이더와 자체기술을 복합한 새로운 차량검지기 개발

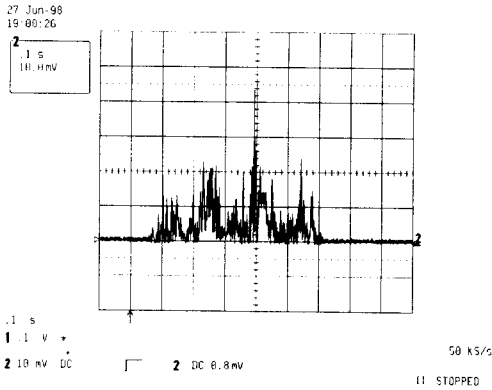


그림 3-3. 차량 밀바닥에 의한 반사파

차량밀면의 반사파가 그림 3-5에서는 완전한 펄스 파가 된 것을 볼 수 있다.

전력을 적게 소비하기 위해서는 필요한 최소의 송신출력을 알아야 한다. 차량검지기의 다이오드 검파기의 민감도 TSS(Tangential Signal Sensitivity)가 약 -50dBm이 된다고 생각하고, 최소 출력값을 구하기 위해서 레이더 거리 계산식을 이용한다.

$$P_r = \frac{P_t G_a^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (3.1)$$

여기에서  $R$ 은 검지기와 차량밀바닥면 사이의 거리,  $P_r$ 은 검출기에서의 수신전력,  $P_t$ 는 발진기에서의 송신전력,  $G_a$ 는 안테나 이득, 그리고  $\lambda$ 는 파장을 의미한다.

$P_t$ 에 대하여 풀기 위해서,  $\sigma$ 값에 제 4-1절에서 구한 값 3을 대입한다.

$$P_t = \frac{P_r (4\pi)^3 R^4}{G_a^2 \lambda^2 \sigma} \quad (3.2)$$

$$\frac{(4\pi)^3}{G_a^2 \lambda^2 \sigma} = 430 \Rightarrow 60.6(\text{dB}) \quad (3.3)$$

$$P_t(\text{dBm}) = P_r(\text{dB}) + 40 \log R + 60.6(\text{dB}) \quad (3.4)$$

만약 수신검파기의 민감도(TSS)가 -50 dBm 이라면, 최소수신전력  $P_r$ 은 -50 dBm이 된다.

$$P_t(\text{dBm}) = 40 \log R + 10.6(\text{dBm}) \quad (3.5)$$

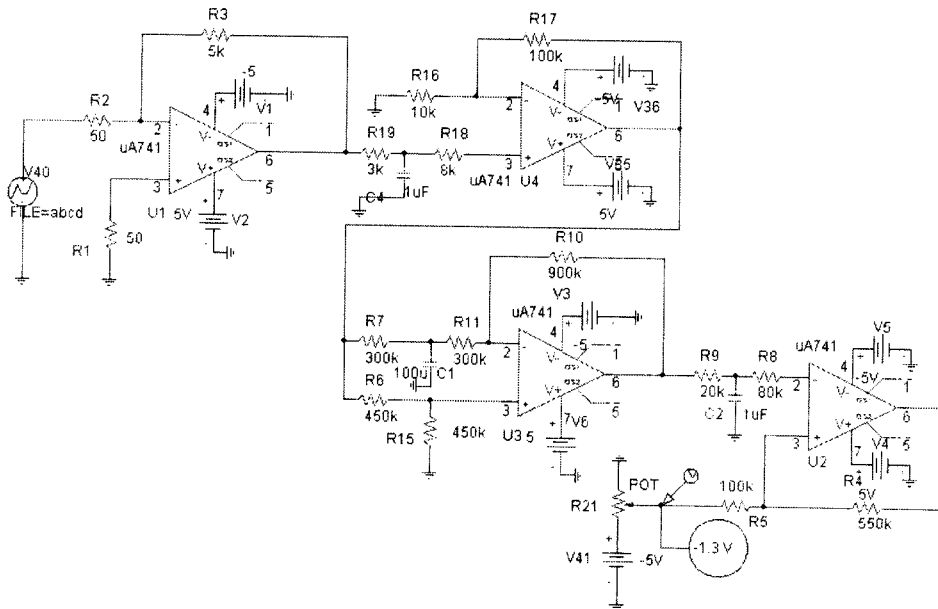


그림 3-4. 슈미트 트리거회로

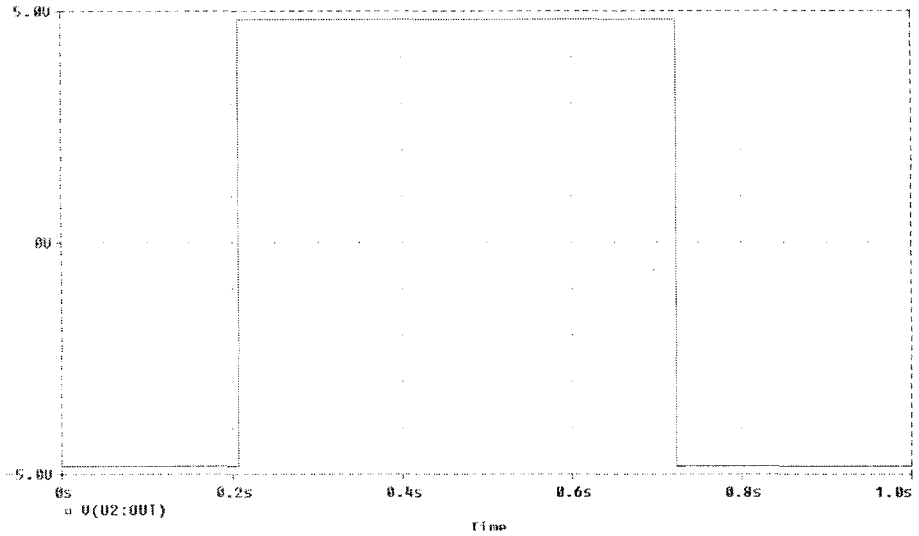


그림 3-5. 차량이 검지기 위를 지나가는 기간을 파악하기 위한 슈미트 트리거회로의 출력파형

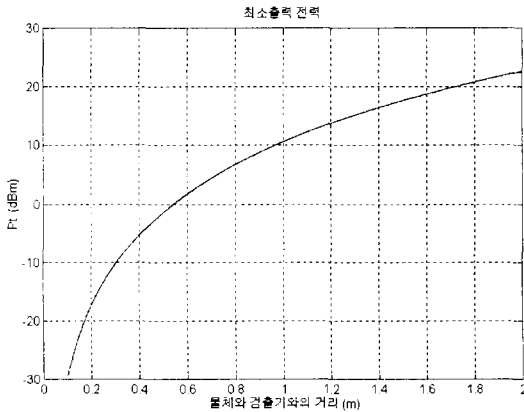


그림 3-6. 거리에 따른 최소출력 전력

$R$ 의 변화에 대하여  $P_t$ 를 나타내면 그림 3-6과 같다. 거리  $R$ 이 60 cm일 경우, 최소송신전력으로 1.73 dBm이 요구된다.

CW 레이더 기술에서 하나의 안테나를 사용하는 경우, 써큐레이터의 이용으로 발생하는 송신전력의 수신쪽으로 누출되는 문제를 안테나 2개를 사용하여 송신출력이 수신쪽으로 유입되는 것을 해결할 수 있다<sup>[4]</sup>.

### 3-3 자계 시스템

비결정의 선(Amorphous Wires)과 같이 성장시킨 매우 큰 자기-임피던스(GMI : Giant Magneto-Impedance)를 이용한 새로운 고성능 초소형 자계 헤드(Magnetic Head)와 센서가 개발되었다<sup>[8]</sup>.

자계센서는 다음의 4가지 특성을 갖추어야 한다.

1. 10<sup>-5</sup> Oe의 감도에서 약 1 mm의 적은 크기
2. 차단주파수가 20~30 MHz의 빠른 응답 특성
3. 0.01 FS/°C의 높은 온도 내성
4. 자기발진기 회로를 이용한 10 mW 이하의 적은 전력소비

GMI는 자기-저항(MR: Magneto-Resistance)과 Fluxgate 센서와 비교해서 위의 특성을 모두 장점으로 갖는다.

그림 3-7에서 GMI의 인덕턴스와  $C_1$ 와  $C_2$ 의 용량성분의 발진을 이용한 콜피츠 발진기 센서 모델회로를 나타낸다. 공진 주파수  $f_0$ 는

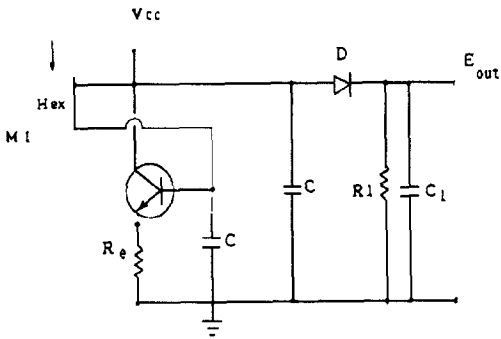


그림 3-7. GMI 핀포인트 발전기 진폭변조-복조 형태의 센서 모듈

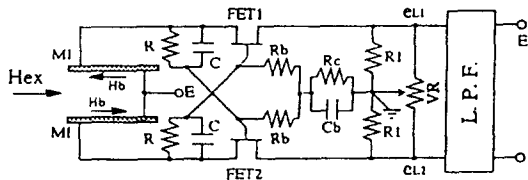


그림 3-8. 두 개의 마이크로 GMI 소자와 FETs를 이용한 선형센서

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{LC_1C_2}{C_1 + C_2}} \quad (3.6)$$

GMI의 직경이  $30 \mu\text{m}$ 일 때  $L = 0.56 \mu\text{H}$ 이고,  $C_1 = C_2 = 10 \text{ pF}$  조건에서  $100 \text{ MHz}$ 의 높은 공진주파수를 얻을 수 있다.

GMI 소자를 그림 3-8과 같이 적절한 직류전압을 인가하고 쌍으로 연결하면 넓은 영역에서 선형성을 얻고 민감도가 크고 넓은 동작영역을 가지는 센서로 구현할 수 있다<sup>[8]</sup>.

### 3-4 복합시스템

$24 \text{ GHz}$ 를 이용하면 청명한 날씨에는 매우 정확한 차량정보를 얻을 수 있지만, 비가 와서 수막이 검지기 상에 형성되면  $24 \text{ GHz}$ 가 통과하지 못하는 문제점이 발생한다. 이 경우에는 자계검지부분으로 자동 스위치 되어 문제점을 해결한다. 그림 3-9에

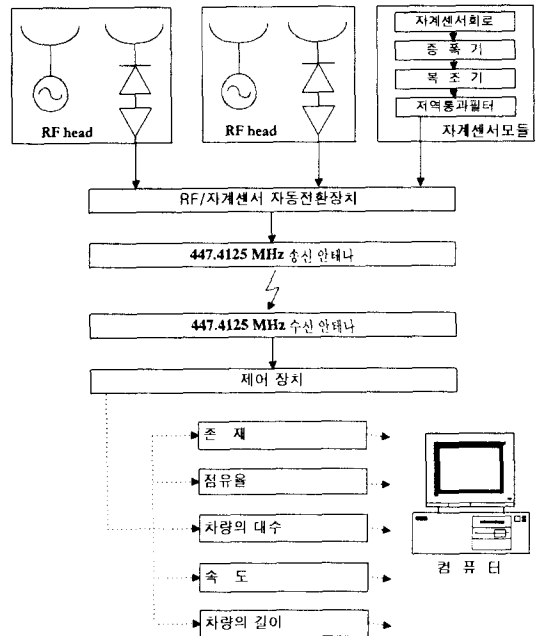


그림 3-9. 레이더와 자계기술을 복합한 시스템 구성도

서 RF Head부분과 자계센서 부분이 자동전환된다. 검지기를 도로방향으로 고정된 거리간격을 유지하며 일정한 간격의 두 시스템을 사용해서 시간차로부터 속도를 얻는다. 검지된 차량정보는 도로밖의 제어장치까지 아래 제 5장에서 언급한 송수신안테나를 이용하여 전송한다.

## IV. 시스템 변수 추출

### 4-1 차량바닥면의 $\sigma$ 값 계산

차량밀면의  $\sigma$  값은 최소 송신출력을 정하기 위해 필요하며, 측정은 전자파 무반사실에서 해야 하지만 본 연구에서는 수식으로  $\sigma$  값을 추측하고 실제 도로환경에서 측정하여  $\sigma$  값을 유추하였다.

주파수  $f = 24 \text{ GHz}$ 에서 강한 반사체<sup>[9]</sup>와 약한 반사체<sup>[10]</sup>를 이용하여 근사적인  $\sigma$  값을 표 4-1의 과정으로 구하였다. 단위면적에 대한  $\sigma$  값을 먼저 계산한 후 안테나 빔폭에 해당하는 반사면적을 곱해서 구한다. 반사면적을 고려하면  $0.8450 \times 5.81 =$



표 4-1.  $\sigma$ 를 구하는 과정

Type	최대 $\sigma$	전체에 기여하는 비율	최대값과 평균값과의 비율	실제적인 기여값
Square Trihedral Corner Retroreflector	24.52	0.1	0.0001	$2.45 \times 10^{-5}$
Right Dihedral Corner Reflector	16.35	0.1	0.001	$1.63 \times 10^{-4}$
Flat Plate	817.27	0.1	0.01	0.41
Cylinder	0.51	0.2	0.1	$5.1 \times 10^{-3}$
Sphere	0.031	0.5	1	$2.5 \times 10^{-2}$
합 계				0.8450

4.91 이다.

실제 측정 결과는 아래와 같다. 수신안테나 뒷단에 전력측정기를 연결하여 측정하였다. 이때 최대 잡음 수준은 -35 dBm이다.

식 (3.2)를  $\sigma$ 에 대하여 풀면

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{P_r (4\pi)^3 R^4}{P_t G_a^2 \lambda^2} \\ &= \frac{0.0158mW (-16 dBm) * (4\pi)^3 * 0.215^4}{1.259mW (1 dBm) * 10^2 * 0.0125^2} \\ &= 3.458 \end{aligned} \tag{4.1}$$

안테나 이득을 고려할 때 반사물체의 크기가 측정거리와 비교해 매우 작아야 한다. 안테나 이득을 고려한다면  $\sigma$ 값은 더 커질 것으로 예상된다. 차량을 검지하기에 충분히 큰 RCS(Radar Cross Section)를 가진다고 할 수 있다.

#### 4-2 비에 의한 감쇠

비에 의한 감쇠는 환경조건 중에서 중요한 변수이다. Currie가 시도한 식 (4.2)를 이용하여 예측한다<sup>[11]</sup>.

$$\alpha = AR^B \tag{4.2}$$

$\alpha$  : 감쇠상수 dB/km,  $R$  : 강우량비

다음과 같이 표를 이용하여 구한다.

표 4-2. 강우량비에 따른 강우의 감쇠 상수 예측값 (Adapted from Currie, Dyer, and Hayes)<sup>[11]</sup>

R (mm/hr)	$\alpha$ (dB/km) = $AR^B$			
	9.375 GHz	35 GHz	70 GHz	95 GHz
	A=0.009 B=1.16	A=0.273 B=0.985	A=0.634 B=0.868	A=1.6 B=0.64
5	0.05	1.33	2.56	4.48
10	0.13	2.64	4.68	5.98
15	0.21	3.93	6.65	9.05
20	0.30	5.22	8.54	10.88
25	0.39	6.50	10.36	12.55

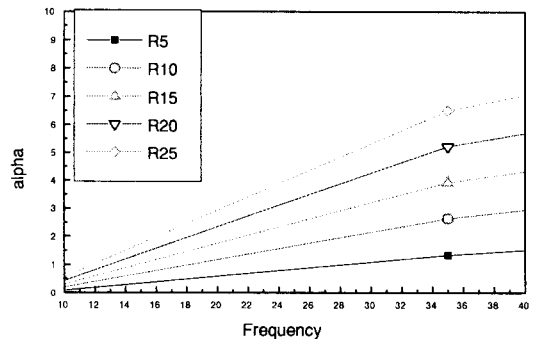


그림 4-1. 표를 이용한 비에 의한 감쇠

그림 4-1에서  $R=25$ 일 때 24 GHz에서의  $\alpha \approx 4$  dB/km=0.04 dB/m이다. 만약 거리가 1 m 이면 99 %가 그대로 통과함을 의미한다. 즉 비에 의한 감쇠는 무시할 수 있다.

실제 측정결과 비에 의한 감쇠는 오차수준이하이다.

### 4-3 비에 의한 반사 (Rain backscatter)

비에 의한 후방산란은 감쇠와 같은 형식으로 표현된다.

$$\eta = AR^B \quad (4.3)$$

$m\eta$ : 후방산란계수( $m^2/m^3$ ),  $R$ : 강우량비 mm/hr,  $A$ 와  $B$ 는 실험그래프로부터 구한다.

Currie가 구한 그림 4-2의 실험결과로부터 강우량비  $R$ 이 100일 때도  $\eta \approx 2 \times 10^{-4}$ 로 적은 양이다.

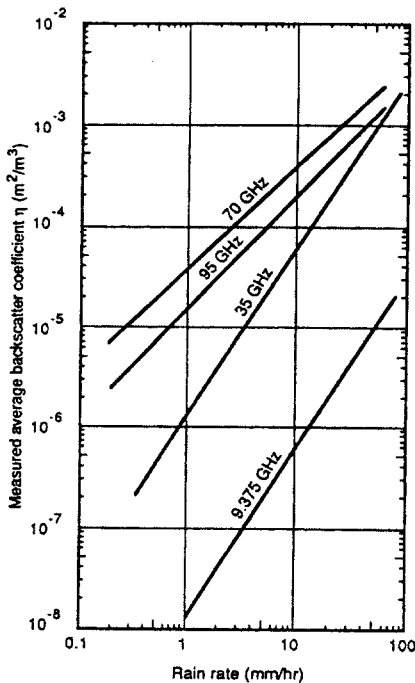


그림 4-2. 강우량비에 대한 비의 측정된 후방산란 계수<sup>[11]</sup>

즉 비에 의한 반사도 무시할 만큼의 적은 양이다.

실제 측정에서 빗물에 의한 반사는 송신 출력 1 dBm에서 잡음레벨의 최대값이 -35 dBm인 환경에서 측정했을 때 -30 dBm ~ -28.5 dBm이다. 이 값은 송신 출력의 약 0.1 %에 해당하는 양이다.

### 4-4 수막에 의한 감쇠

물의 도전율(conductivity)  $\sigma$  값은 바닷물의 경우 4정도이고 맑은 물의 경우  $10^{-3}$ 정도이며 증류수의 경우  $2 \times 10^{-4}$ 정도 된다<sup>[12]~[14]</sup>. 빗물에는 많은 이온이 포함되어 있다<sup>[15]</sup>.  $\sigma = 1$ 일 경우를 가정하여 표피두께를 계산하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{\pi * 24 \times 10^9 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1}} \quad (4.4) \\ &= 0.0032 = 3.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

만약 수막이 형성되었다면 송신때와 수신때 두 번의 감쇠가 일어난다. 수막에서 다중반사를 무시하면, 이 조건에서 수막의 두께에 따른 감쇠를 그림 4-3에 나타내었다.

수막의 두께가 2 mm일 때, 송신과 수신경로를 통해 투과된 전력은 8.45 % 이다.

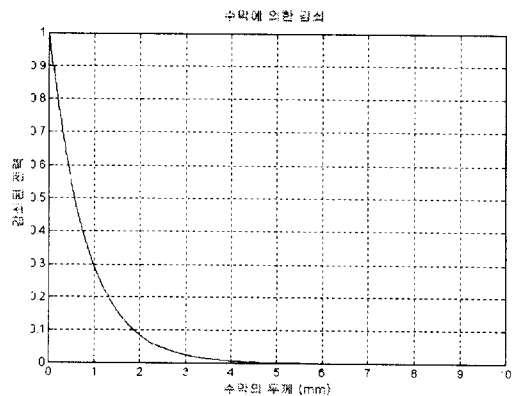


그림 4-3. 수막의 두께에 따른 전력의 감쇠된 양

4-5 수막에 의한 반사

물의 상대 유전율 값을 맑은 물에서 바닷물까지 일정하게  $\epsilon_R = 80$  이다<sup>[12]~[14]</sup>. 파가 수직으로 입사될 때 반사계수는 아래와 같다.

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \tag{4.5}$$

$$\Gamma = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} = \frac{\frac{\eta_0}{\sqrt{80}} - \eta_0}{\frac{\eta_0}{\sqrt{80}} + \eta_0} = -0.80 \tag{4.6}$$

여기에서,  $\eta_1$ 는 매질 1에서의 고유임피던스를,  $\eta_2$ 는 매질 2에서의 고유임피던스를 나타낸다.

투과되는 전력은  $1 - \Gamma^2 = 0.36$ 이고 송신과 수신 경로에서의 두 번 감쇠가 된다. 남은 투과전력은 송신과 수신경로에서 제공이 된다.

$$(1 - \Gamma^2)^2 = 0.13 \tag{4.7}$$

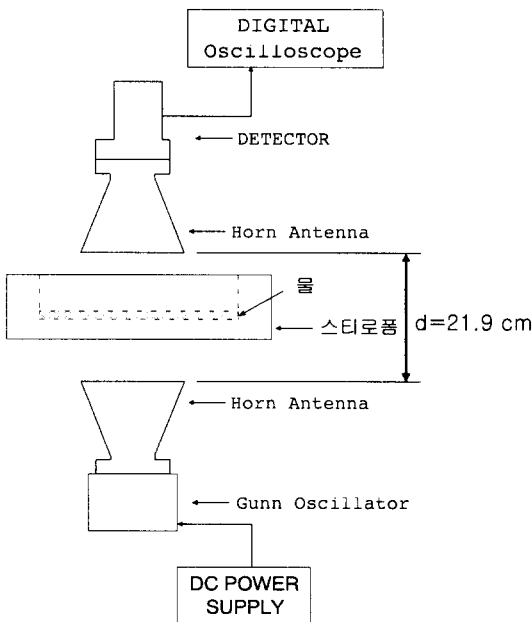


그림 4-4. 24 GHz에서 수막에 의한 감쇠 실험

즉 13%만이 투과된다.

물의 반사와 감쇠를 모두 고려하면 순수하게 송수신 경로를 통하여 수신되는 전력은 반사되어 감쇠되는 효과와 감쇠되어 감쇠되는 효과를 고려하면 전력과 감쇠되어 남은 전력이 다시 반사되고 남은 전력은 0.59% 정도이다. 수막이 있다면 준-밀리미터파로는 검지능력이 작동되지 않음을 알 수 있다.

수막을 통과한 투과파의 실험 장치는 그림 4-4와 같다. 스티로폼은 반사가 거의 없으므로 물을 담는 기기로 사용하였다.

물이 없는 송수신 설정 상태에서 물을 부으면 그림 4-5에서와 같이 50 mV의 수신전압이 과도기가 생긴 후 거의 없어짐을 볼 수 있다.

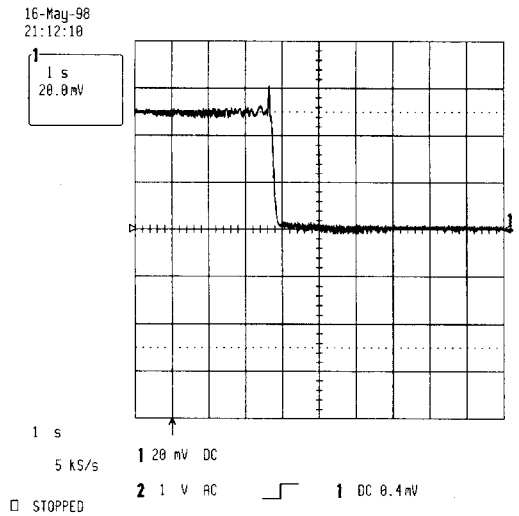


그림 4-5. 송수신 상태에서 맑은 물 (두께: 1.1 mm)을 넣었을 경우

V. 송수신 안테나

5-1 소개

국내를 포함하여 거의 전세계적으로 이용되는 차량검지기인 루프검지기는 여러 면에서 장점이 있지만, 도로상에서 얻는 차량정보를 도로가에 있

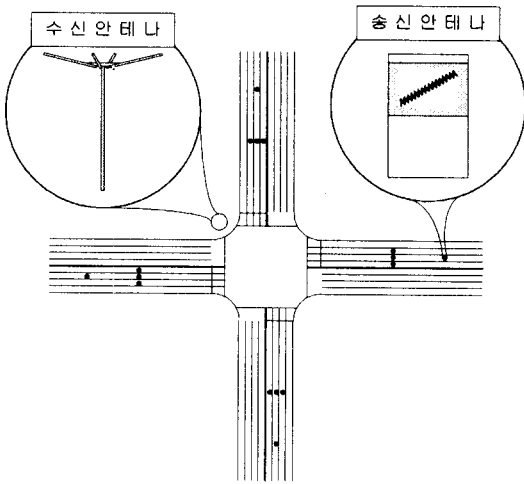


그림 5-1. 송수신 안테나가 위치할 교차로 모형

는 교통정보 조절기(control box)로 보내기 위한 신호선과 전원선이 도로를 가로질러 지나기 때문에 여름철에 무거운 통과차량이 지나갈 때 끊어지는 등 많은 문제점을 가지고 있어 무선으로 전송해야 할 필요가 있어 도로주변의 환경에 적절한 송수신시스템과 안테나가 요구된다. 도로에 매설되는 송신안테나를 구현하기 위해서는 소형안테나 기술이 필요하고 적절한 지향특성 등을 가져야 한다. 그림 5-1과 같은 사거리의 교차로에서 교통제어시스템으로 응용할 경우, 수신안테나는 무지향성의 수평복사패턴과 아래쪽으로 도로면을 향한 수직복사패턴이 요구된다. 위와 같은 요구사항을 만족할 송수신 안테나를 본 논문에서 개발하였다.

### 5-2 도로면 근처에서의 안테나 특성

도로면 내부에 안테나를 매설할 때 수직안테나는 수직으로 큰 영역이 필요하고 안테나의 중심이 도로면의 접지평면보다 상대적으로 아래에 위치하면 효율이 떨어진다. 도체면과 수평으로 전류가 흐르는 경우 도체에 가까이 갈수록 그림 5-2에서 영상이론에 의해 복사 효율이 떨어진다<sup>[16]</sup>.

그림 5-2에서와 같이 yz 평면이 도전성 평면이

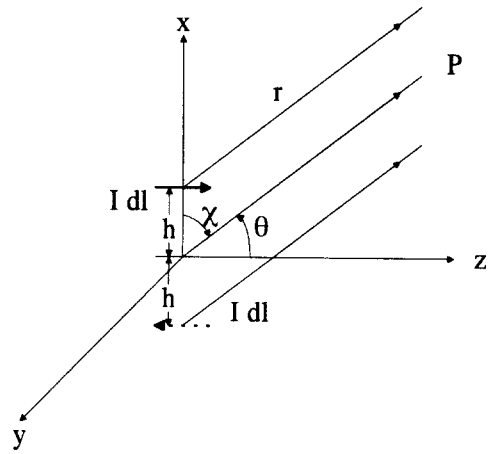


그림 5-2. 완전한 도전성 접지평면에서 원거리장의 기하학적 계산

고, 그 평면 위의 한점 P에서 전계 E는

$$E(r) = \frac{I dl \exp(-jkr)}{4\pi r} k\eta \sin \theta \cdot [\exp(jkh \cos \chi) - \exp(-jkh \cos \chi)]$$

$$= \frac{I dl \exp(-jkr)}{4\pi r} k\eta \sin \theta 2 \sin(kh \cos(\chi)) \quad (5.1)$$

이다. 그리고 E의 크기는

$$|E(r)| = \frac{I dl}{4\pi r} k\eta \sin \theta f(\cos \chi) \quad (5.2)$$

여기에서

$$f(\cos \chi) = 2 \sin(kh \cos \chi) \quad (5.3)$$

영상에 의한 상을 배열로 본다면 배열인자(array factor)는

$$f = 2 \sin\left(\frac{2\pi h}{\lambda} \cos \psi\right) \quad (5.4)$$

여기에서  $\psi$ 는 수평면에서의 고도(elevation)각이다.

예를 들어, 수평안테나의 배열인수는 450 MHz,

$\varphi=30^\circ$ , 안테나의 지면에서의 높이  $h=1\text{cm}$ 에서 0.094가 된다. 즉 안테나 출력의 약 10%가 방사되므로 송신안테나로 부적절하다. 일반적인 수평안테나는 도로에 매설되면 복사효율이 떨어지므로, 본 논문에서는 다음과 같은 조건을 만족하는 특별한 송신 안테나 개발을 목표로 한다.

- ① 도로면 아래에 매설되어야 한다.
- ② 크기가 작아야 하므로 소형안테나 기술을 사용한다.
- ③ 기계적인 강도를 유지하기 위하여 유전체(MC-라이론) 물질 안에서 동작해야 한다.

### 5-3 수직모드 헬리컬 안테나

앞의 조건을 만족하는 안테나로 같은 크기의 다이폴보다 복사효율이 좋은 NMHA(Normal Mode Helical Antenna) 안테나를 사용할 수 있다<sup>[17],[18]</sup>. 헬리컬 안테나는 크게 두 종류의 모드를 가지고 있다. 안테나 구조는 그림 5-3과 같다. 여기서  $a$ 는 도선의 반지름,  $D_h$ 는 안테나의 직경,  $P$ 는 pitch,  $l_0$ 는 도선의 1회전 길이 ( $=\sqrt{(\pi D_h)^2 + (p)^2}$ ),  $n$ 은 도선을 감은 횟수를 의미한다.

$$\frac{3}{4} < \frac{\pi D_h}{\lambda} < \frac{4}{3} \text{ 이고 } P \approx \frac{\lambda}{4} \text{ 일 때 헬리컬}$$

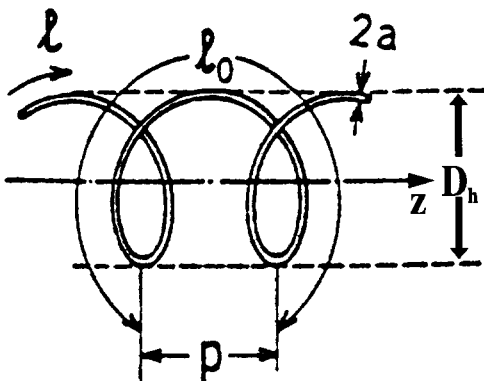


그림 5-3. 헬리컬 안테나의 구조

안테나는 축 방향인 Z축으로 주엽이 형성되는 축(Endfire) 모드가 된다. 이렇게 될 때 보통 광대역 특성을 보이고 이득이 11~16 dB로 크며, 인공위성, 우주탐침(Space Probe), 탄도미사일의 지상조정장치에 응용된다<sup>[19]</sup>.

$a \ll \lambda$ 이고  $n l_0 \ll \lambda$ 일 때 헬리컬 안테나는 축인 Z방향에 수직으로 주엽이 형성되는 수직(Broadside) 모드가 된다. 미소다이폴과 유사한 지향특성을 나타내고 협대역이다. 그림 5-4(b)와 같이 작은 루프안테나와 작은 다이폴안테나의 배열로 등가적으로 나타낼 수 있다.

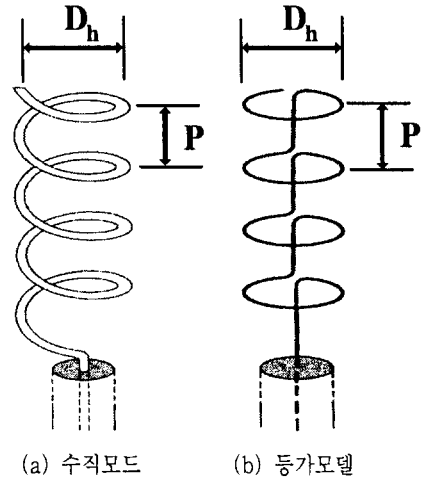


그림 5-4. 헬리컬 안테나의 수직모드와 등가모델

$I_0$ 의 균일한 전류가 흐르는 길이 P의 작은 다이폴안테나의 원역장의 필드는 식 (5.5)와 같고, 작은 루프의 원역장은 식 (5.6)과 같다.

$$E_\theta = j\eta \frac{k I_0 P e^{-jkr}}{4\pi r} \sin \theta \quad (5.5)$$

$$E_\phi = \eta \frac{k^2 (D_h/2)^2 I_0 e^{-jkr}}{4r} \sin \theta \quad (5.6)$$

위의 안테나를 도로면에 매설하기 위해 그림 5-5와 같이 물리적으로 강한 유전체인 MC-라이론 안에 설치한다. 이 유전체의 영향으로 자유공간에서

의 중심주파수가 변한다. 유전체 안에서는 유전율의 제곱근에 비례하여 안테나의 실효 크기가 커진다. 즉 중심주파수가 낮아진다. 본 수신안테나의 경우 자유공간에서 575 MHz일 때 MC-라이론안에 설치하면 유전율이 커짐에 따라 주파수는 447.4125 MHz로 낮아진다.

안테나의 재료로 인천동을 이용하였으며, 동의 도전율  $\sigma = 1.04 \times 10^7$  Mhos/m이다. 실험적으로 조정된 설계결과는  $a=0.95$  mm,  $D_h=2.2$  mm,  $p=3$  mm, 감은 횟수=16회, 전체 길이=48 mm이다.

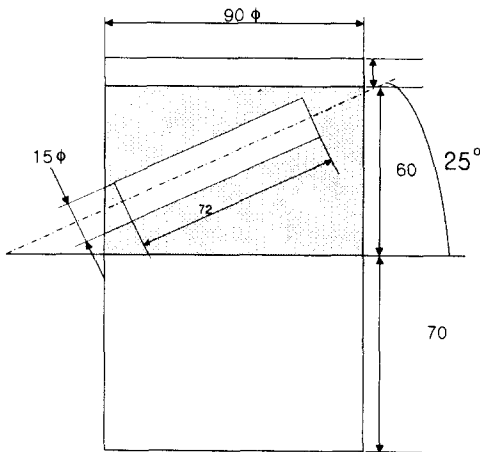


그림 5-5. MC-라이론내의 송신안테나의 위치

#### 5-4 수신안테나

수신안테나는 그림 5-6와 같이  $\frac{5}{8}\lambda$  GP(Ground Plane) 안테나로 구현하였다. GP 안테나는 수직방향 복사패턴이 지면에서 위쪽으로 향한다. 이 원리로부터 상하가 뒤집어진 GP 안테나는 수직방향 복사패턴이 지면아래로 향하게 될 것을 착안하였다. GP를 4개의 방사형 라디얼로 대체하고 동축케이블로 위에서 급전한다. 안테나 길이는  $\frac{5}{8}\lambda$ 보다 조금 긴 46 cm로 하였고, 라디얼은  $\frac{1}{4}\lambda \approx 16.7$  cm로 정하였다. 효율이 최대가 되는 라디얼과 안테나 사이의 각은 실험적으로 약 14°로 정했다. 이 GP

안테나는 방사패턴이 지면으로 향하게 되어 매설된 송신안테나의 수직면 복사패턴과 적절한 조화를 이루게 하였다.

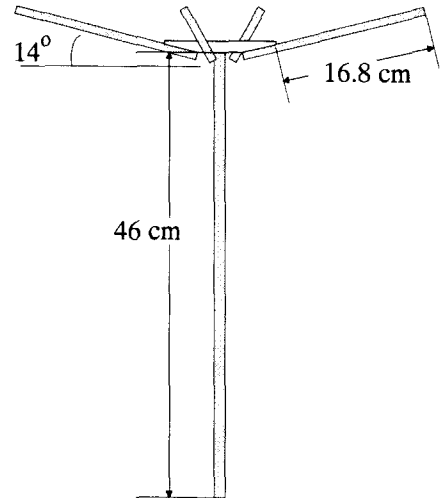


그림 5-6. 447.4125 MHz 수신안테나

#### 5-5 시뮬레이션과 실험

그림 5-7은 네트워크 분석기로 송신안테나 반사손실 특성을 본 것이다. 그림에서 MC-라이론 안에 헬리컬 안테나를 넣은 경우가 Marker 1이 표시하는 447.333 MHz에서 반사손실이 -22.6 dB이고, 자유공간에서 헬리컬 안테나의 공진주파수인 575.000 MHz에서 반사손실이 -11.7 dB이다. 유전체 안에 삽입하면 공진주파수가 0.778배로 낮아짐을 보인다.

HFSS(High Frequency Structure Simulator)로 수치계산한 결과는 450 MHz 근처에서 최소가 되는 공진점은 실험결과와 일치하지만, 반사손실 값은 공진점에서 약 25 dB 차이가 있었다.

그림 5-8은 MC-라이론내에 포함된 헬리컬 안테나를 공기중에 위치시켜 시뮬레이션 한 모델이다. MC-라이론 안에 헬리컬 안테나가 15° 각도로 포함되어 있고 그 주위로 공기로 채워진 방사흡수조건(Radiation Absorbing Boundary Condition)이 계산 영역으로 되어있다. 그림 5-9는 그림 5-8의 모

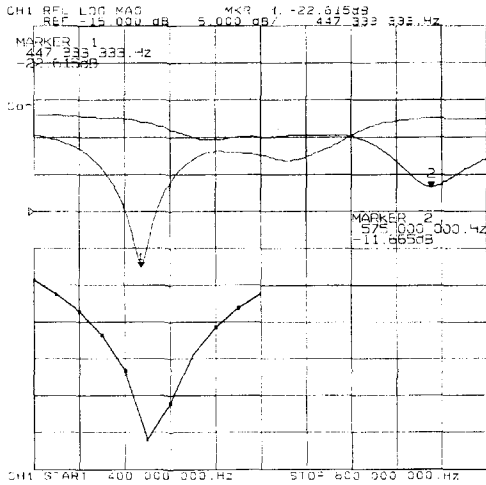


그림 5-7. 헬리컬 안테나의  $S_{11}$ (측정과 시뮬레이션)의 비교)  
 Marker 1 : MC-라이론내에서 공진점  
 Marker 2 : 자유공간에서의 공진점  
 □ : HFSS 시뮬레이션 결과

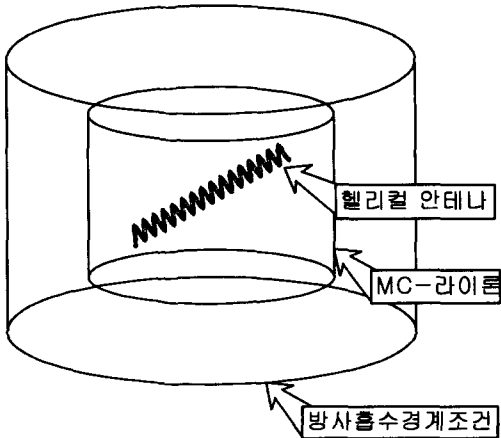


그림 5-8. 자유공간상에 위치하였을 때의 MC-라이론내에 포함된 헬리컬 안테나의 시뮬레이션 모델

델로 시뮬레이션한 수직, 수평 복사패턴이다. 수평 복사패턴은 대략 90도(수평) 일때 최대가 되고, 수직복사패턴은 수직에서 48도에서 최대가 된다. HPBW는 수평일 때 230도, 수직일 때 244도이다.

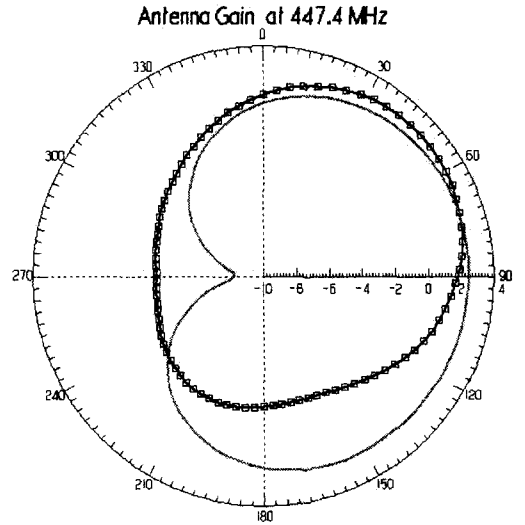


그림 5-9. 자유공간상에 위치하였을 때의 MC-라이론내에 포함된 헬리컬 안테나의 복사패턴  
 -- : 수평복사패턴, □ : 수직복사패턴

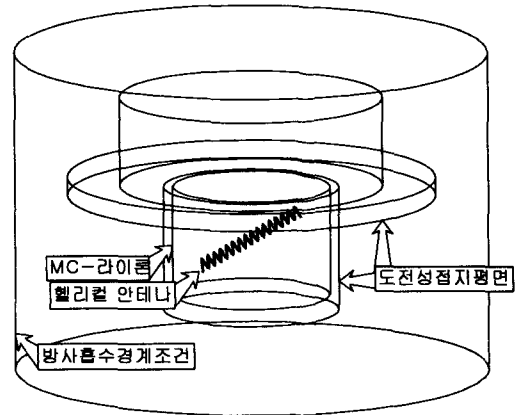


그림 5-10. 도로안에 매설했을 때의 MC-라이론내에 포함된 헬리컬 안테나의 시뮬레이션 모델

이득은 2.87 dB이다.

그림 5-10은 MC-라이론내에 포함된 헬리컬 안테나를 도로안에 매설시켜 시뮬레이션 한 모델이다. 헬리컬 안테나가 포함된 MC-라이론을 뒤집어진 모자 모양의 도전성 접지평면 안에 넣었다. 그 위로 공기가 있고 전체를 감싸는 방사흡수경계조

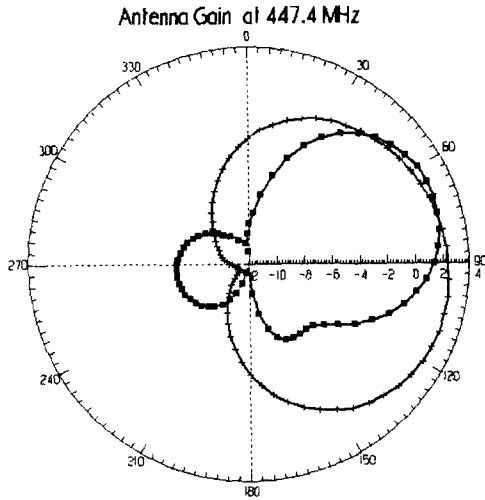


그림 5-11. 도로안에 매설했을 때의 MC-라이론내에 포함된 헬리컬 안테나의 복사패턴  
 - - : 수평복사패턴, ■ : 수직복사패턴

건이 계산 영역이다. 그림 5-11은 그림 5-10의 모델로 시뮬레이션 한 수직, 수평 복사패턴이다. 여기서도 수평복사패턴은 대략 90도(수평)일 때 최대가 되지만, 수직복사패턴은 수직에서 70도에서 최대가 된다. HPBW는 수평일 때 175도, 수직일 때 70도이다. 이득은 3.2 dB이다. 이 모델에서 이득은 향상되었고 HPBW는 줄어들었다.

## VI. 결 론

기존의 루프검지기에서 추출된 데이터가 교통정보시스템에서 이용되는 알고리즘을 바꾸지 않고 이용할 수 있는 준-밀리미터파 CW 레이더와 자계기술을 복합한 검지기의 기능과 설계에 대하여 소개하였다. 차량검지기의 링크계산을 하였고 환경조건이 이 검지기에 어떻게 작용하는지에 대하여 알아보았다. 비에 의한 수막이 형성될 때에는 반사와 감쇠에 의해 24 GHz가 통과하지 못하는 문제점이 발생하므로 이 경우에는 자계검지기로 자동 스위치가 되도록 시스템을 설계하였다. 도로에 매설하기 위해 헬리컬 안테나를 유전체에 삽입하여 응용

하였고 수선안테나로는  $\frac{5}{8} \lambda$  GP 안테나를 사용하였다.

이 차량검지시스템의 응용분야로는 교차로 신호 제어, 고속도로 차량제어 등과 같은 많은 응용분야가 있다. 전원을 연결하지 않고 한번 설치하여 장기간 사용할 수 있는 전전지를 사용해야 유지보수 관리에 편리하므로, 본 검지기의 전력소비를 줄이고 민감도를 더욱 향상시켜야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Traffic Control Systems Handbook, U. S Department of Transportation, 1985. 12.
- [2] Traffic Control Systems Handbook, Institute of Transportation Engineer, 1985.
- [3] P. Lowbridge, P. Briggingshaw, and B. Kumar, "A Low Cost mm-wave Cruise Control System for Automative Application" *Microwave Journal*, pp. 24-36., Oct., 1993.
- [4] A. G. Stove, "Obstacle detection radar for cars", *Elec. & Comm. Eng. Journal*, pp. 232-240, Oct., 1991.
- [5] Holger H. Meinel, "Commercial Applications of Millimeter waves History" Present Status, and Future Trends", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 43, no 7, pp. 1639~1653. July, 1995.
- [6] David Fenihehl, Philip Alling, Grand A. Klein, Merrill Douglas, *Advanced Traffic Detection: Emerging Technologies and Market Forecast*, Transport Technology Publishing, Page 43, 1995.
- [7] W. O. Agar, and Morgan, "Isolation of Separate Transmitter and Receiver Aerials for Continuous Wave Radars", *The Marconi Review*, First Quarter, 1963.
- [8] K. Mohri, L. V. Panina, T. Uchiyama, K. Bushida and M. Noda, "Sensitive and Quick



- Response Micro Magnetic Sensor Utilizing Magneto-Impedance in Co-rich Amorphous Wires," *IEEE Trans. Mag.*, vol. 31, pp. 1266-1275, March, 1995.
- [9] E. F. Knot, J. F. Shaeffer, and M. T. Tuley, *Radar Cross Section*, Artech House, Inc., Norwood, Massachusetts, pp. 177-180, 1995.
- [10] R. N. Trebits, "Radar Cross Section" Chapter 1 in *Techniques of Radar Reflectivity Measurement*, N. C. Currie, ed., Artech House, Inc., Norwood, Massachusetts, p. 34, 1984.
- [11] N. C. Currie, F. B. Dyer, and R. D. Hayes, "Analysis of Radar Rain Return at Frequencies of 9.375, 35, 70, and 95 GHz", Technical Report No. 2, Contract DAAA 25-73-0256, Georgia Institute of Technology, February, 1975.
- [12] International Telephone and Telegraph Co., Inc.: "Reference Data for Radio Engineering", 7th ed., Howard W. Sams & Co., Indianapolis, Ind., 1985. This handbook has excellent data on the properties of dielectric and insulating materials.
- [13] Von Hippel, A. R.: "Dielectric Materials and Application," The Technology Press of the Massachusetts, Mass., and John Wiley & Sons, Inc., New York, 1954.
- [14] Fink, D. G., and H. W. Beaty: "Standard Handbook for Electrical Engineers," 12th ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1987.
- [15] 강인구, 이창기, 한의정, 신찬기, 한진석, 박태술, 장남익, 최수연, 권평수, 심규호, 1992, "대기오염과 산성비에 의한 피해조사 및 평가에 관한 연구" 국립환경연구원보, 14, pp. 107-126.
- [16] Kai F. Lee, *Principles of Antenna Theory*, John Wiley & Sons, Ltd., New Delphi, pp. 118-121, 1984.
- [17] K. Fujimoto, A. Handerson, K. Hirasawa, and J. R. James, *Small Antennas*, Research Studies Press Ltd, and John Wiley & Sons Inc, pp. 59-75, New York, 1987.
- [18] Tingye Li, "The Small-Diameter Helical Antenna and its Input-Impedance Characteristics," Eanston, Ill.: Northwestern University, 1958.
- [19] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory*, Second ed., John Wiley & Sons, Inc., pp. 505-512, New York, 1997.

정 재 영



1973년 8월 25일생  
 1996년 2월: 경희대학교 공과대학  
 전파공학과(공학사)  
 1999년 2월: 경희대학교 대학원 전  
 파공학과(공학석사)  
 현재: 기원전자 기술사원  
 [주 관심분야] 차량감지기, 마이크

로파 소자설계

김 인 석



1947년 8월 4일생

1974년 2월: 경희대학교 전파공학과  
(공학사)

1980년 8월: 한국방송공사(KBS) 기  
술사원

1984년 2월: Univ. of Ottawa, School  
of Engineering, Dept. of Elect-  
rical Eng.(공학석사)

1985년 8월: Com Dev Ltd, Div. of Satellite System  
(Technical Staff), General Instrument of Canada,  
Div. of Satellite System, Senior Engineer

1990년 10월: Univ. of Ottawa, School of Engineering,  
Dept. of Electrical Eng.(공학박사)

1991년 2월: Canadian Space Agency, David Florida  
Lab., Research Scientist

현재: 경희대학교 전자정보학부 부교수, 한국전자과학회  
총무이사, 주파수심의위원

[주 관심분야] Doppler Radar의 응용기술, FDTD Method,  
전자파와 생체의 상호작용, EMI/C, 마이크로파 비선  
형회로, Direct Conversion 기술, 주파수 자원관리 기술  
등