

레이더의 유효 반사전력을 이용한 도로 상태 측정 Road Condition Measurement using Radar Cross Section of Radar

박재형*, 이재균*, 이채욱**, 이남용***

Jae-Hyoung Park*, Jae-Kyun Lee*, Chae-Wook Lee**, Nam-Yong Lee***

요약

스마트하이웨이는 고속 주행하는 운전자에게 교통안전 개선 및 교통사고 발생률 감소, 지능적이고 편리한 주행환경을 지원하는 차세대 고속도로이다. 스마트하이웨이를 구현하기 위해 도로조건 및 주행 중인 차량들의 상태, 기타 다양한 데이터의 수집이 필요하다. 현재 고속도로에서 광학센서(CCTV 등)를 이용하여 교통정보를 수집하고, 분석하여 운전자에게 제공하고 있다. 그러나 이와 같은 기법은 다양한 정보수집의 한계, 기상여건에 따른 정확도의 결여 및 유지관리의 한계 등의 문제가 있다. 도로상태 정보를 운전자와 자동차에게 안전주행정보를 제공하기 위해서는 환경 변화에 영향을 받지 않은 레이더 시스템과 알고리즘 처리 기술이 필요하다. 본 논문에서는 노면상태 성능을 실험하기 위해 9.4GHz 레이더를 이용하였고, 표적 탐지 성능 시험은 개발한 레이더 시스템을 사용하였다. 각 레이더로부터 획득한 데이터를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 그 성능을 비교, 분석하였다.

Abstract

Smart Highway is a next generation highway that significantly improves a traffic safety, reduces incidence of traffic accidents, and supports intelligent and convenient driving environments so that drivers can drive at high speeds in safety. In order to implement smart highway, it is required to gather a large amount of data including conditions of a road and the status of vehicles, and other useful data. To provide situation information of highway, it has been gathered traffic information using optical sensors(CCTV, etc.). However, this technique has problems such as the problem of information gathering, lack of accuracy depending on weather conditions and limitation of maintenance. It needs radar system which has not effect on environmental change and algorithm processing technique in order to provide information for a safety driving to driver and car. In this paper, it is used radar with 9.4GHz to test performance of a road surface and developed radar system for detecting test. And we compared and analyzed a performance of data acquired from each radar through computer simulation.

Keywords : Smart Highway, Radar System,

I. 서론

스마트하이웨이는 신속성, 안전성, 정시성 및 개별성을 확보할 수 있는 차세대도로로서, 기존의 고속도로와 달리 전천후, 주야간에 안전주행에 위협이 되는 요인들을 수집 및 분석, 제공할 수 있어야 한다[1][2]. 2009년 도로교통공단에서 발간된 교통사고통계에 따르면 기상 상태 별 교통사고 통계에서 사망자 수는 안개, 비 온 날이 가장 높았으며, 낮보다는 야간시간에 사고빈도가 높은 것으로 조사되었다[3]. 이러한 사실은 운전도중 시야가 불확실한 날에 사고가 많이 일어나는 것을 보여준다. 따라서 가시거리가 확보되지 않은 상태에서 장애물, 정지된 차량, 노면상태에 의한 사고를 미연에 방지하고 기존 도로에 비해 안전성을 높여 줄 수 있도록 도로상황 정보를 제공할 수 있는 도로상태 탐지 시스템 개발이 필요하다.

현재 고속도로의 상황정보를 제공하기 위해 광학센서(CCTV) 및 각중센서를 이용하여 교통정보를 수집 및 분석하여 운전자에게

제공하고 있다[4][5]. 그러나 이와 같은 기존 방식은 센서매설에 의해 발생하는 문제점인 광범위한 영역의 정보수집 어려움, 다양한 정보수집 불가, 정확도 결여, 시공비 과다 및 유지관리 한계 등의 문제점을 가지고 있으며, 제공의 어려움, 많은 인력 소모 등으로 인하여 정확한 정보를 제공하지 못하고 있는 실정이다. 특히 위험상황 발생에 대하여 악천후, 야간 등에는 정보수집이 거의 되지 못하고 있으며, 악천후 및 야간에도 결빙/수막/안개/낙하물과 같은 도로정보를 탐지하여 운전자와 자동차에게 안전주행정보를 제공하기 위해서는 레이더 시스템과 알고리즘 처리 기술이 필요하다.[6][7].

본 논문에서는 고속 주행하는 스마트하이웨이도로에서 차량의 안전성을 확보하기 위하여 사고위험요소를 탐지하여 전천후, 주야간으로 도로상태 상황을 제공해주는 레이더 시스템의 개념을 정립하고, 노면상태 RCS(Radar Cross Section) 측정 및 장애물에 따른 RCS 변화를 측정하였다. 또한, 34.5GHz의 레이더 시스템을 이용하여 표적 탐지 성능의 결과를 보였고, 노면상태 성능 검증을 위해 실제 도로 상황을 모사한 9.4GHz 실험용 레이더를 사용하여 노면상태 및 장애물 재질, 크기, 거리에 따라 데이터를 획득하였으며 matlab에서 알고리즘을 수행하여 그 성능을 검증하였다.

* 메타빌드 ** 대구대학교 *** 숭실대학교

투고 일자 : 2011. 3. 3 수정완료일자 : 2011. 4. 25

게재확정일자 : 2010. 4. 30

II. 도로상태 레이더 설계

2.1 도로상태 레이더 시스템 구조

도로상태 레이더의 전체적인 시스템은 모듈 별로 크게 송수신기, 안테나, 신호처리기로 구분할 수 있으며 블록도는 그림 1과 같다.

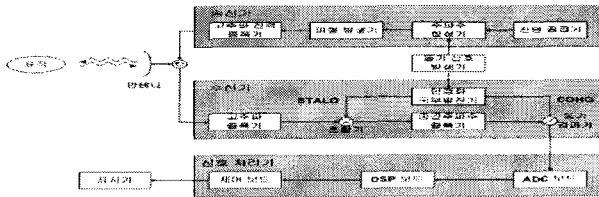


그림 1. 도로상태 레이더 시스템 블록도

Fig. 1. Road condition radar system block diagram

안테나는 사용 목적, 중심 주파수, 비용, 제작의 용이성 등을 고려하여 본 노변 레이더에서는 도파관 슬롯 배열 안테나(Edge Slotted Waveguide Array Antenna)를 고려하였다. Edge Slotted Waveguide Array Antenna는 도파관 슬롯 배열 안테나와 레이돔 및 편파필터로 구성된다. 도파관 슬롯 배열 안테나는 도파관에 일정 간격으로 중심주파수 파장에 해당하는 길이의 슬롯을 만들어 파형을 만드는 방식으로 슬롯이 가공된 위치, 모양, 크기 등에 따라 그 복사특성이 달라진다. 그림 2는 레이더 송수신기의 인터페이스를 나타낸다.

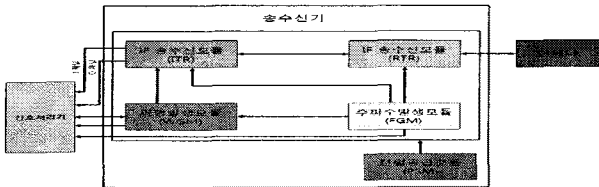


그림 2. 도로상태 레이더 송수신기 인터페이스

Fig. 2. Road condition radar transceiver interface

레이더 송수신기는 크게 전원 공급기, 주파수 합성기, 파형 발생기, Transceiver 등으로 구분할 수 있고, 레이더 수신기는 고주파 증폭기, 혼합기, 안정화 국부발진기, 중간주파수 증폭기, 동기 검파기 등으로 구분할 수 있으며 그 외에는 송수신기 모두에 신호를 공급하는 동기 신호 발생기 등이 있다.

송수신기의 동작은 레이더의 PRF(Pulse Repetition Frequency)를 결정하는 동기 펄스를 동기 신호 발생기에서 송수신기의 주파수 합성기로 송신한다. 파형 발생기에서 PRF에 맞추어 파형을 발생시키고 고주파 전력 증폭기는 파형발생기에서 결정된 임의의 펄스폭으로 고주파 신호를 발생한다. 고주파 전력 증폭기에서 발생한 고주파 신호는 Duplexer를 거쳐 안테나로 공급되며 Duplexer는 송신 시에는 수신기와의 연결을 차단하고 수신시에는 송수신기와의 연결을 차단하는 역할을 한다. 안테나를 통해 수신된 표적 반사 신호는 매우 미약하므로 다시 Duplexer를 거쳐 고주파 증폭기를 거쳐 증폭된다. 증폭된 신호는 안정화 국부발진기(STALO)의 출력과 혼합기에서 혼합되어 중간주파수 신호가 된다. 중간주파수 신호는 중간주파수 증폭기에 의하여 증폭되며 Coherent 국부발진기(COHO) 출력과 혼합되어 동기 검파기에서 출력 신호로

변환된 후 신호처리기로 입력된다. 신호처리기는 크게 ADC 보드, DSP 보드, 제어보드로 구성된다. 레이더 신호처리기는 그림 3과 같다. 앞서 송수신기에서 출력된 신호는 ADC 보드로 입력되어 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하게 된다. DSP 보드에서는 표적정보를 펄스마다 또는 펄스의 연속에 신호처리를 가하여 레이더의 운용목적에 따라 원하는 정보를 얻어낸다.

본 레이더에서는 펄스 적분을 통하여 신호처리를 하므로 펄스의 연속을 이용하며 신호처리를 통하여 표적을 식별하고, 상관처리, 식별처리, 추적처리 등을 행하여 표적의 symbol 표시, 고도표시, 속도, 위치 등을 나타낼 수 있다.

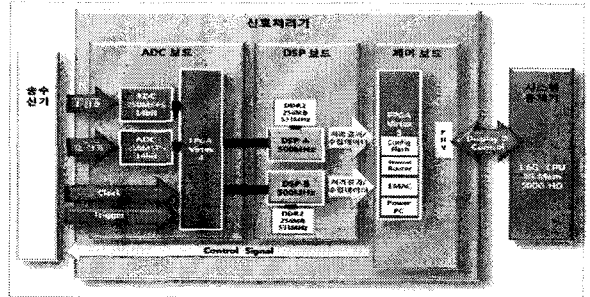


그림 3. 레이더 신호처리 구조

Fig. 3. Radar signal processing architecture

본 논문에서는 그림 4에서 보듯이 송수신기를 통해 수신된 신호를 신호처리기의 ADC보드에서 200MHz의 sampling rate로 데이터를 입력받아 DAC로 출력 후 데이터를 수집한다. 수집한 데이터는 matlab 시뮬레이션을 통해 그 성능을 검증한다.

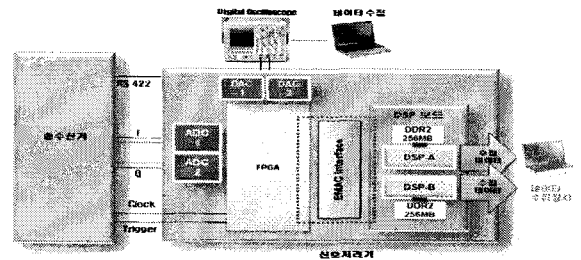


그림 4. 성능시험 신호처리 구조

Fig. 4. Performance test signal processing architecture

2.2 도로상태 레이더 파라미터 설계

2.2.1 레이더 탐지거리 산출

레이더 탐지 거리는 레이더 송수신기, 수신기, 안테나, 목표물의 상태 그리고 주위환경을 고려하여 표적으로부터 반사된 예코전력과 거리와의 관계를 통해 구할 수 있다. 이러한 관계를 나타낸 식을 레이더 방정식이라고 하며 가장 기본적인 형태의 레이더 방정식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다[8].

$$R_{max} = \left[\frac{P_t \lambda^2 G^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}} \right]^{1/4} \quad (1)$$

여기서 P_t 는 송신 출력, λ 는 파장, G 는 안테나 이득, σ 는 목표물의 유효 단면적, S_{min} 은 최소 수신 가능 신호 크기를 나타낸다. 위 식은 대기 손실, 시스템 손실, 잡음 등을 고려하지 않은 가장 이상적인 식이며 이를 이용하여 레이더의 최대 탐지 거리를 계산

할 수 있다. 레이더를 설계하기 위해서는 위 식을 변환하여 각 파라미터를 설계에 활용 할 수 있다.

3.2.2 레이더 PRF 선정

주파수 영역으로 나타낸 펄스간의 간격을 PRF라 한다. 레이더 PRF는 표적의 탐지 거리와 속도정보를 얻는 수단으로 매우 중요한 파라미터이다[8].

$$f_d = 2v_t f_c / c, \quad f_r > 2f_d \quad (2)$$

고속도로에서 차량의 속도는 110km/h를 최대속도로 제한하고 있다, 그 이상의 속도로 이동하는 차량도 많다. 그러므로 과속차량을 포함하였을 때, 도로상태 레이더 시스템 200km/h 이동하는 표적을 1km까지 탐지가 가능한 사양이 목표이다. 200km/h의 속도로 달리는 차량을 측정하기 위해서 요구되는 PRF의 크기는 도플러공식 식 (2)에 의하여 25.6kHz 이상이 요구된다. 따라서 장거리탐지가 요구되지 않고 정밀한 속도 측정이 요구되므로 본 도로상태 레이더에서는 속도 추출이 용이하고, 1km 탐지와 같이 비교적 단거리를 탐지하는 레이더의 경우 Fully Unambiguity Range/Doppler 요구사항을 충족하는 High PRF인 30kHz를 사용한다.

3.2.3 안테나 크기

안테나의 크기는 방위 해상도, 고도 해상도, 탐지 거리, 파장에 의하여 결정되며 이를 수식으로 나타내면 방위방향 안테나 크기는 식 (3), 고도방향 안테나 크기는 식 (4)과 같다[8].

$$D_{az} = \eta R \lambda / \Delta X \quad (3)$$

$$D_{el} = \eta \lambda / \theta_{el} \quad (4)$$

본 노면 레이더인 경우 최대 1km를 탐지하며 Middle Mode의 경우 최대 500m를 탐지한다. 또한 1~3차선과 같은 차선 수에 따라 3.5~10.5m의 방위 해상도를 요구한다. 따라서 안테나 설치 높이가 8m, 중심 주파수(f_c)가 34.5GHz, 안테나 효율(η)이 0.7일 때 요구되는 안테나 크기는 그림 5 그리고 표 1과 같다.

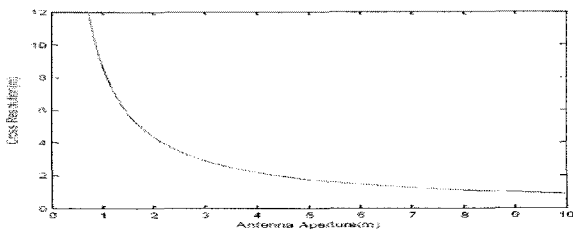


그림 5. 안테나 크기

Fig. 5. Antenna size

표 1. 탐지거리와 차선 수에 따른 안테나 크기

Table 1. Antenna size for detection range and the number of lanes

	Maximum Detection Range 1km
1-lane(3.5)	3.55m
2-lane(7m)	1.77m
3-lane(10.5m)	1.18m

3.2.4 펄스 압축 및 Sampling rate 계산

목표물의 속도를 측정하기 위해서는 도플러 주파수를 계산하여야 하며 이 과정은 주파수 도메인에서 이루어진다. 시간 도메인에서 주파수 도메인으로 변경하기 위해서는 FFT(Fast Fourier Transform)를 거쳐야 하며 이는 2의 승수개의 샘플 수를 요구한다. 즉, 하나의 신호를 분석하기 위해서는 기본적으로 FFT의 샘플 수를 충족시켜야 한다. 펄스 압축의 경우 압축을 많이 할 경우 최소 탐지 거리가 줄어드는 효과(Blind Zone)가 발생한다. 그림 6과 같이 기존의 펄스 폭 (a)를 (b)만큼 확장한 경우 (c)의 거리에 있는 목표물은 기존의 펄스로는 탐지 가능하나(c) 확장된 펄스로는 탐지 불가능함(e)을 확인할 수 있다. 따라서 펄스 압축(확장)은 Blind Zone을 고려하여 설계하여야 한다.

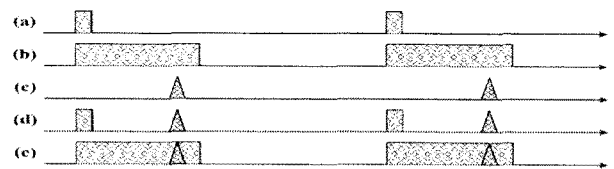


그림 6. 펄스압축의 Blind Zone

Fig. 6. Blind Zone of pulse compression

펄스 압축의 경우 압축률이 높아질수록 시스템의 속도가 느려지고 Blind Zone이 확장되는 등의 문제가 발생하고 FFT를 하기 위해서는 필수적으로 일정량의 데이터가 필요하므로 본 노면 레이더 설계에서는 FFT 요구 샘플 수를 펄스 적분의 개수로 정하고 펄스 적분 후 부족한 전력을 펄스 압축을 통하여 해결한다.

목표물의 속도를 측정하기 위해서는 FFT 조건을 만족시키는 개수의 펄스 데이터가 필요하므로 도플러 주파수 f_d 를 측정하기 위해서는 $2f_d$ 의 sampling rate가 요구된다. 속도 해상도에 따라 요구되는 sampling rate는 식 (5)와 같다[8].

$$f_s = 2f_d = \frac{2 \times 2v_t f_c}{c} \quad (5)$$

$$= \frac{2 \times 2 \times 34.5 \times 10^9 \times v_t}{3 \times 10^8} = 460v_t$$

따라서 1km/h(0.278m/s)의 속도 분해능을 가지기 위해서는 126.8Hz의 sampling rate가 요구되며, 10km/h(2.78m/s)의 속도 분해능을 가지기 위해서는 1.268kHz의 sampling rate가 요구된다. PRF가 30kHz이므로 요구되는 샘플 수는 각각 237개이다. 샘플 수가 2의 승수여야 하므로 요구되는 최소 개수는 256(2^8)개이다.

III. 표적 탐지 신호처리 알고리즘

3.1 장애물 탐지 알고리즘

도로상태 레이더에서 장애물은 노면 상에 존재하는 낙석, 낙하물, 야생동물, 차량 파편 등으로 볼 수 있다. 따라서 장애물 탐지 알고리즘은 정지 물체, 저속 이동 물체 탐지 알고리즘이 요구된다. 그림 7은 정지 물체와 저속 이동 물체를 탐지하는 알고리즘을 나타내었다. 실제 환경에서 레이더를 통해 입력되는 신호 혹은 시뮬레이션 신호는 ADC(Analog Digital Converter)를 거쳐 디지털 신호로 변화되고 MTI(Moving Tacket Indicator), Anti-MTI,

Clutter Map Processing 그리고 CFAR를 통해 신호처리 된다. 정지 물체는 Anti-MTI(Moving Target Indicator)를 통해 도플러 효과가 없는 신호가 검출되며 이는 Clutter Map Processor를 통해 장애물이 없는 상태의 Reference Map과 비교되며 CFAR를 통해 정지 장애물을 검출한다. 저속 이동 물체는 MTI를 통해 탐지하며 이 중 도플러 효과가 적은 물체를 CFAR를 거쳐 검출한다.

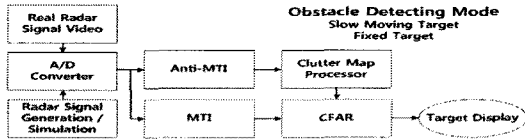


그림 7. 정지 물체 및 저속 이동 물체의 탐지 알고리즘
Fig. 7. Detection algorithm of stop object and low speed moving obstacle

고속 이동 물체는 주로 차량을 의미하며 도로상의 차량에 대한 정보를 수집할 때 사용된다. 그림 8은 고속 이동 물체 탐지 알고리즘을 나타낸다. 실제 환경에서 레이더를 통해 입력되는 신호 혹은 시뮬레이션 신호는 ADC를 거쳐 디지털 신호로 변환되고 MTI를 통해 도플러 효과가 큰 빠른 이동 신호를 가진 물체의 반사 신호만을 추출한다. 마지막으로 CFAR 알고리즘을 통해 임계값을 만족하는 값은 고속 이동 물체로 간주한다.

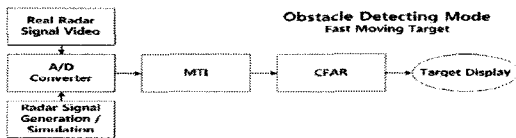


그림 8. 고속 이동 물체의 탐지 알고리즘
Fig. 8. Detection algorithm of high speed moving obstacle

3.2 노면상태 탐지 알고리즘

노면상태 탐지 알고리즘은 장애물, 차량이 존재하지 않는 도로의 RCS를 측정을 하여 건조 상태일 때 Reference RCS 값과의 비교를 통해 Wet, Snow, Iced 상태를 탐지하는 알고리즘을 요구한다. 그림 9는 노면 상태 탐지 알고리즘을 나타내었다. 실제 환경에서 레이더를 통해 입력되는 신호 혹은 시뮬레이션 신호는 ADC를 거쳐 디지털 신호로 변화되고 Ani-MTI를 거쳐 도플러 효과가 없는 정지 물체에 대한 반사 신호만을 추출한다. 정지 신호는 Clutter Map Processing을 거치며 장애물이 존재하는지에 대한 분석을 하고 장애물이 존재하지 않는 상태일 때 CFAR를 통해 Reference RCS 값과의 비교 후 노면 상태를 탐지한다. 탐지된 노면 상태는 이용자에게 전송된다. 이 때 Reference RCS는 노면 상태를 탐지하기 위해 기본적인 Dry 상태의 Clutter Map 정보가 요구되며 Wet, Iced, Snow 상태일 때의 노면 반사 신호 변화를 데이터베이스에 축적 비교하는 것이 요구된다.

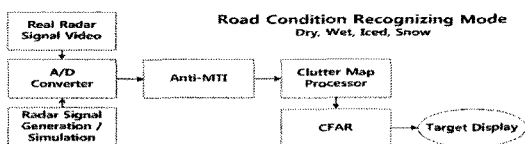


그림 9. 노면 상태 탐지 알고리즘

Fig. 9. Road surface condition detection algorithm

IV. 실험 및 고찰

4.1 실험용 9.4GHz 레이더

4.1.1 실험환경

본 실험에서 사용한 레이더는 Lab-Volt사에서 제작한 실험용 9.4GHz 레이더(그림 10)이며 기본적인 사양은 다음 표 2와 같다.



그림 10. 9.4GHz 실험용 레이더

Fig. 10. 9.4GHz experimental radar

표 2. 9.4GHz 실험용 레이더 사양

Table 2. 9.4GHz experimental radar specification

Division	Specifications
Frequency	9.4GHz
Antenna Power	+10dBm(10mW)
Range	1.8m/3.6m/7.2m
PRF	12, 18, 144, 216, 288Hz
Pulse width	1ns, 2ns, 5ns
Range resolution	15cm(max)
Beam width(3dB)	6 deg.
Antenna Gain	27dB(typical)

본 실험용 레이더는 기본적인 레이더 시스템의 모듈을 모두 구성하고 있으며 송수신된 신호는 I/Q 채널로 구분되어 아날로그 형태로 출력된다. 이렇게 출력된 신호는 DAQ를 통하여 디지털 신호로 수집되게 된다. 이 때 신호 저장은 labview를 통하여 저장하게 된다. 최종적으로 저장된 신호 데이터는 labview와 matlab을 통하여 분석한다. 그림 11은 Radar-DAQ-Laptop으로 구성된 시스템을 나타내고 있다. 이 때 단일 DAQ를 사용하여 저장되는 신호는 I/Q 채널의 신호로 두 신호간의 동기를 맞출 수 있는 기준이 입력되지 않아 정확한 데이터 값을 얻기 어렵다.

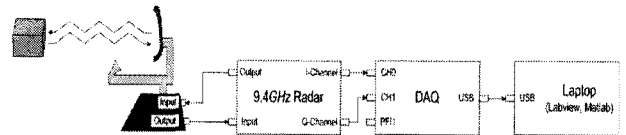


그림 11. 단일 DAQ를 이용한 레이더 시스템

Fig. 11. Radar System of single DAQ

이러한 동기 문제를 해결하기 위하여 9.4GHz 레이더의 출력단 자에는 I/Q 채널 외에 동기를 맞출 수 있는 A-Scope가 존재한다. 보유한 DAQ의 입력이 2개뿐인 관계로 I/Q 채널의 동기를 맞추기 위해서는 그림 12와 같이 A-scope를 연결하여 DAQ 2개를 사용하는 방법을 사용하였다.

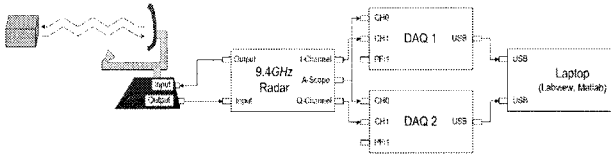


그림 12. 2개의 DAQ를 이용한 레이더 시스템

Fig. 12. Radar system using two DAQ

본 실험은 실제 레이더 설치 환경과 유사한 실험실 환경에서 이루어지는 것을 기본으로 하고 있다. 따라서 레이더 안테나는 실제 입사각과 동일한 각도로 입사가 가능하여야 한다. 이를 위하여 그림 13과 같이 안테나의 입사각을 조정하는 장치를 제작하여 입사각 조정이 가능토록 하였다.

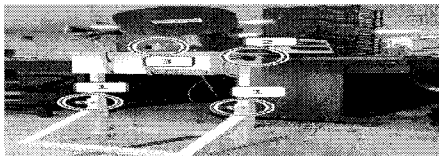


그림 13. 입사각 조정장치

Fig. 13. Incident angle adjustment device

안테나 조정 방식은 그림 13의 ①을 이용하여 높이를 조정하고 ②를 이용하여 각도를 조정한다. 그리고 마지막으로 ③을 이용하여 방향을 조정한다. 이 때 높이 조정, 각도 조정 과정에서 발생하는 수평 오차를 줄이기 위하여 그림 14와 같이 수평계를 이용하여 수평 오차를 줄인다.

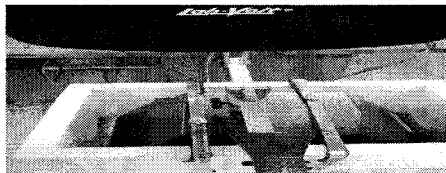


그림 14. 안테나 수평 조정

Fig. 14. Antenna horizontal adjustment

레이더에서 출력되는 신호는 아날로그 형식으로 출력되어 신호 처리 보드를 사용하거나 컴퓨터를 사용하여 신호처리를 하기 위해서는 디지털 신호로 변환해주는 ADC(Analog Digital Converter)가 필요하며 본 실험과 같이 신호처리를 위해서는 데이터를 전송해주는 데이터 수집 장치(DAQ, Data Acquisition)가 요구된다. 본 실험에 사용된 National Instrument사의 DAQ(NI USB-5133)을 사용하여 아날로그 신호를 수집하여 컴퓨터에 전송해 주는 장치이며 상세한 사양은 표 3과 같다.

표 3. DAQ 사양

Table 3. DAQ specification

모델명	NI USB-5133
채널/트리거	2개/1개
샘플 주파수	최대 100MHz
On board Memory	32MB/ch
데이터 전송 타입	USB
시스템 노이즈	40mV

4.1.2 노면상태 측정

노면상태(Dry/Wet/Snowy/Icy)에 따른 RCS 측정을 위하여 그

림 15, 그림 16과 같이 시스템을 구성하고 측정 시료를 구성하였다. 주변에서 들어오는 잡음을 줄이기 위하여 시료 부근을 스티로폼으로 거치하였으며, 실험은 Dry, Wet, Snow, Iced 총 4가지 상태에 대하여 입사각을 30~60도(5도 간격)로 조정하여 각 6번씩 측정(Iced 2번)하였다.

Dry 상태 아스팔트 RCS는 건조한 상태의 아스팔트를 사용하였으며, Wet 상태는 건조한 상태의 아스팔트에 지속적으로 물을 부어 표면에 물이 고이는 상태에서 실험을 진행하였으며, Snow 상태는 건조한 아스팔트에 실제 눈을 넣어 사용하였으며, Ice 상태는 Snow 상태에서 빙판이 언 상태와 유사한 환경을 구성하여 실험을 진행하였다.



그림 15. 노면상태 측정 환경

Fig. 15. Road surface condition measurement environment

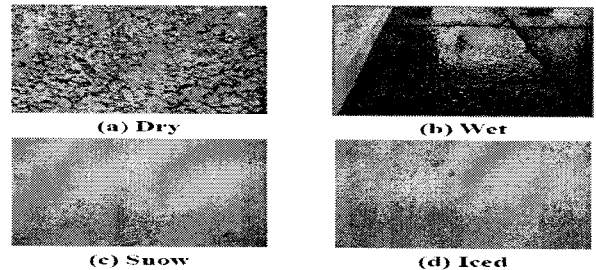


그림 16. 노면상태 측정 시료

Fig. 16. Road surface condition measurement samples

그림 17은 실험에 의한 노면상태와 입사각에 따른 RCS 측정값을 나타낸다.

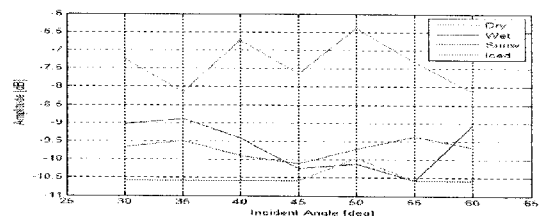


그림 17. 노면상태와 입사각에 따른 RCS 측정값

Fig. 17. RCS measurement value for road surface condition and incident angle

노면상태에 따른 RCS는 Incident Angle이 45도일 때부터 RCS 값이 서로 비슷하거나 그 차이가 미미한 것을 확인 할 수 있었다. 실험실 환경에서 9.4GHz 레이더를 이용한 결과, Incident Angle이 30~40도일 때 가장 노면상태 별 RCS 크기 차이가 큰 것을 확인할 수 있었다. 따라서 실제 도로상태 레이더 설계 시 레이더 입사각을 30~40도 설계하여 반영하는 것이 바람직하다.

4.1.3 장애물 RCS 측정

장애물 종류에 따른 RCS 측정을 위하여 그림 18, 그림 19와

같이 시스템을 구성하고 측정용 시료를 구성하였다. 주변에서 들어오는 잡음을 줄이기 위하여 시료 부근을 스티로폼으로 거처하였으며, 실험은 각 3가지 크기를 가진 4종류의 표적의 RCS를 측정하였다. 즉, 3*3*3(cm3), 5*5*5(cm3), 8*8*8(cm3) 3가지 크기의 금속, 플라스틱, 목재, 박스 4종류 표적을 안테나와 표적간 거리를 1m로 고정하여 각 9번씩 측정하였다.



그림 18. 장애물 측정 환경
Fig. 18. Obstacle measurement environment

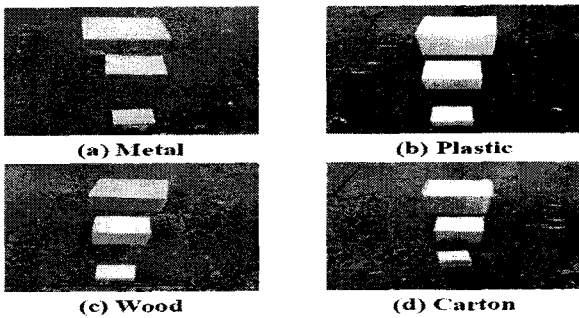


그림 19. 장애물 종류별 측정용 시료
Fig. 19. Measurement samples for obstacle types

그림 20은 실험에 의한 장애물 종류와 따른 RCS 측정값을 나타내었다. 일정한 크기 이상의 장애물은 종류와 관계없이 모두 탐지함을 확인하였다.

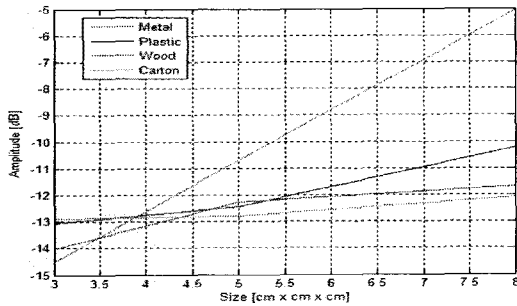


그림 20. 장애물 종류와 크기에 따른 RCS 측정값
Fig. 20. RCS measurement value for obstacle type and size

4.2 34.5GHz 개발 레이더 시스템

4.2.1 실험환경

본 실험에서 사용한 레이더는 개발한 레이더 시스템(그림 21)이며 기본적인 사양은 표 4와 같다.

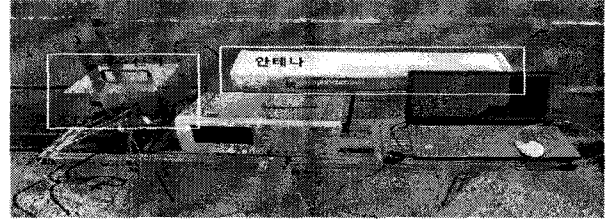


그림 21. 34.5GHz 레이더 시스템
Fig. 21. 34.5GHz radar system

표 4. 34.5GHz 레이더 시스템 사양
Table 4. 34.5GHz radar system specification

Parameter	Specification
Frequency	34.5GHz(Ka-band)
Peak Power	100mW
PRF	30KHz
Bandwidth	150MHz
Type	Pulse Doppler
sampling rate	200MHz
Pulse Width	6.67ns
Range resolution	1m @ 1km
velocity resolution	1.6km/h(0.46m/s)

4.2.2 34.5GHz 레이더 성능검증

송수신기를 통해 수신된 신호를 신호처리기의 ADC보드에서 200MHz의 sampling rate로 데이터를 입력받아 DAC로 출력 후 데이터를 수집하고, 수집한 데이터는 matlab 시뮬레이션을 통해 그 성능을 검증하였다. 신호 수집은 전방 100m - 500m(100m, 300m, 500m)거리에서 Corner Reflector 설치 후 신호를 수집하였다. 그림 22 - 그림 24는 거리별 표적 탐지 결과이다. 각 그림에서 x축은 거리, y축 크기 값, 위 그래프는 CFAR알고리즘의 임계값과 신호 처리된 신호를 나타낸다. 아래 그래프는 y축을 확대한 결과이다. 100m, 300m, 500m에서 모두 표적이 탐지되었으며 100m에서는 1m, 300m에서는 3m, 500m에서는 9m의 오차를 보였다.

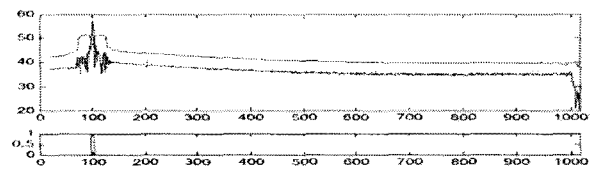


그림 22. 100m 표적 탐지 결과
Fig. 22. 100m target detection result

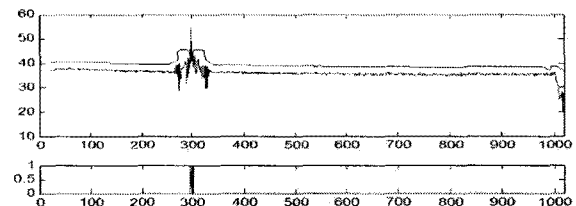


그림 23. 300m 표적 탐지 결과
Fig. 23. 300m target detection result

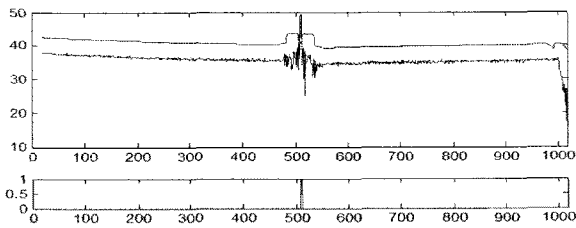


그림 24. 500m 표적 탐지 결과
Fig. 24. 500m target detection result

V. 결론

본 논문에서는 고속 주행하는 스마트하이웨이에서 차량의 안전성을 확보하기 위하여 사고위험요소를 탐지하여 전천후, 주야간으로 도로 상태를 제공해주는 레이더 시스템에 대해 연구하였다.

노면상태 성능 검증을 위해 실제 도로 상황을 모사한 9.4GHz 실험용 레이더를 사용하여 노면상태 및 장애물 재질, 크기, 거리에 따라 데이터를 획득하였고, 획득된 데이터의 시물레이션을 수행한 결과 노면상태는 Incident Angle이 30~40도일 때 가장 노면 상태 별 RCS 크기를 뚜렷하게 구별할 수 있었으며, 장애물인 경우 일정한 크기 이상에서는 종류와 관계없이 모두 탐지할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 개발한 34.5GHz의 레이더 시스템의 표적 탐지 성능 시험 또한 약간의 오차는 발생하였지만, 거리별 표적을 모두 탐지하는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서 확보한 실측 데이터는 실제 도로상태 레이더 설계 시 도로 상황을 고려한 레이더 설계 및 신호처리를 위한 기반이 될 수 있을 것이다. 향후 컴퓨터기반 알고리즘을 신호처리보드에서 구현하여야 할 것이며, 실제 고속도로 환경에서의 도로노면 상태와 장애물 종류에 따른 성능 실험이 요구된다.

참고 문헌

[1] 박재형, 정인철, 장서영, 한민홍 "스마트하이웨이 도로 관제 레이더 시스템 구축 방안," 2008년도 한국방송통신학회 추계종합학술발표대회 논문집, 9. 2008.

[2] Shin-Bum Oh, Jae-kyun Lee and Poon-Yeon Jo, "Implementation of Road Control Radar Signal Processing in Smart Highway," 17th ITS World Congress Busan 2010, Ubiquitous Society with ITS, IS24, 09. 2010.

[3] 도로교통공단, "2009년판 교통사고 통계분석", 2009.

[4] Y. Shinmoto, J. Takagi and K. Egawa, "Road Surface Recognition Sensor using an Optical Spatial Filter," *Proc. Intelligent Transport System '95 YOKOHAMA*, pp. 468-473, 1995.

[5] Kiyokazu TAKAGI, "A Road Surface Condition Sensing System Using Laser Radar and Fussy Inference," *DENSO Tech Rev*, Vol.6, no.1, pp 49-53, 2001.

[6] Ville V. Viikari and Mikko Kantanen, "A Road-Condition Recognition Using 24-GHz Automotive

Radar," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 10, no.4, pp 639-648, Dec. 2009.

[7] Nam-Yong Lee, Charles R. Litecky, "An Empirical Study of Software Reuse with Special Attention to Ada," *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol.23, no. 9, Sep. 1997.

[8] Byron Edde, *RADAR: principles, technology, applications*, Prentice Hall, 1995.

박 재형(Jae-Hyeong Park)



1998년 2월 충남대학교 컴퓨터과학과(이학사)
2000년 2월 충남대학교 컴퓨터과학과(이학석사)
2010년 2월 숭실대학교 IT정책경영학과(박사수료)
2000년 1월 ~ 현재 메타빌드 상무이사
※주관심분야 : 레이더신호처리, 유비쿼터스컴퓨팅

이 재균(Jae-Kyun Lee)



2004년 2월 대구대 정보통신공학부 공학사.
2006년 2월 대구대학교 정보통신공학과 석사.
2010년 8월 대구대학교 정보통신공학과 박사.
2010년 8월 ~ 현재 메타빌드 선임연구원
※주관심분야 : 디지털신호처리, 레이더신호처리, 이차원비뉴드

이 채욱(Chae-Wook Lee)



1980년 2월 한국항공대학교 통신공학과 학사.
1987년 2월 동경공업대학 전기전자공학과 석사.
1990년 2월 동경공업대학 전기전자공학과 박사.
1990년 3월~현재 대구대학교 정보통신공학부 교수.
※주관심분야 : 디지털신호처리, 광통신공학, ANC

이 남용(Nam-Yong Lee)



1979년 2월 숭실대학교 컴퓨터학과 공학사
1982년 2월 고려대학교 경영학석사
1993년 2월 미국 미시시피주립대 경영학(MIS) 박사
1999년~현재 숭실대학교 컴퓨터학부 교수
한국정보통신기술사협회 회장 역임
※주관심분야 : 시스템엔지니어링, 소프트웨어엔지니어링 등