THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2014 Jan.; 25(1), 99～107.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2014.25.1.99
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

도로 장애물 경보를 위한 Ka-대역 펄스 도플러 레이다 시스템 개발 및 성능시험

Development and Performance Test of Ka-Band Pulsed Doppler Radar System for Road Obstacle Warning

정 정 수 · 서 영 호 · 곽 영 길

Jung-Soo Jung · Young-Ho Seo · Young-Kil Kwag

요 약

돌발적으로 발생하는 도로 장애물은 고속으로 주행하는 차량의 안전운행을 위협한다. 따라서, 악천후 시에도 도로상의 돌발 장애물을 탐지하고, 충돌을 방지할 수 있는 전천후 레이다 센서에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 도로 장애물 탐지 및 경보를 위한 Ka-대역 펄스 도플러 레이다 시험모델의 설계 제작 및 성능시험 결과를 제시한다. 레이다 센서는 도로 환경조건에 적합하고, 다양한 고정 및 이동 장애물에 대하여 탐지, 추적 및 차선 식별 기능이 요구된다. 개발된 레이다는 안테나, 송수신기, 신호처리기 및 제어기로 구성된다. 주요 적용 기술은 고정 장애물 탐지를 위한 클러터 맵 기반 변화 탐지 기법, 이동 장애물 속도 탐지를 위한 도플러 추정 기법, 그리고 차선 식별을 위한 3-horn 모노펄스 방위각 추정 및 추적 기법이 포함된다. 개발된 레이다 시스템의 장애물 탐지와 차량 감시 성능은 성능시험과 환경시험을 통하여 설계 요구 조건을 만족하는 것으로 확인되었다.

Abstract

Abruptly occurred obstacles on highway threaten driving safety. Radar draws the attention to the collision avoidance system because it can be fully operational in all weather, and day and night condition. This paper presents the design, implementation and performance test results of pulsed Doppler radar system for detection and warning of road obstacles. The system is designed to consider highway environment and detection capability about various fixed and moving obstacles. The system consists of 4 subsystems, which include antenna unit, transmitter and receiver unit, radar signal & data processing unit, and controller & display unit. The core technologies include clutter map based change detection for fixed obstacles detection, Doppler estimation for velocity detection of moving targets, and azimuth angle estimation method using monopulse for lane estimation and tracking. The design performance of the developed radar system is verified through experiments using a fixed reference target and moving vehicles in test highway.

Key words: Road Obstacle Detection, Radar System Design, Change Detection, Monopulse Processing

「이 연구는 국토해양부 스마트하이웨이 사업으로 지원되었음.」

한국항공대학교 항공전자공학과(Department of Avionics, Korea Aerospace University)

· Manuscript received August 23, 2013 ; Revised November 5, 2013 ; Accepted November 25, 2013. (ID No. 20130823-02S)

· Corresponding Author: Young-Kil Kwag (e-mail: ykwag@kau.ac.kr)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. All Rights Reserved.

Ⅰ. 서 론

오늘날 차량 사고 발생률이 증가함에 따라 고속도로 상의 차량 안전도 향상 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 최근 운전자들의 안전 의식이 높아지면서 사고 위험을 미리 감지하여 사고를 예방하고, 피해를 감소시킬 수 있는 능동형 차량 안전 시스템의 필요성이 요구되고 있다. 레이다는 기상 여건에 관계없이 전천후로 운용이 가능하기 때문에, 능동형 차량 안전 시스템의 핵심 센서로 연구되고 있다[1],[2].

차량 탑재 레이다는 차량 전방과 측후방의 주변 정보를 운전자에게 제공하여 충돌 회피 센서로 사용된다. 차량 탑재 레이다의 유효 방사 전력은 국제적으로 55 dBm 이하로 제한되므로 100~200 m의 짧은 최대 탐지 거리를 가진다[3].

노변에 설치되는 고정형 레이다 시스템은 미국의 VII (Vehicle Infrastructure Integration), 일본의 Smartway 등 선진국에서 실용화 프로젝트가 진행 중인 지능형 고속도로의 주요 센서 중 하나이다[4],[5]. 고정형 레이다 시스템은 도로 교통 상황, 정차된 차, 그리고 장애물 등의 정보를 운전자에게 전송하여 도로의 안정성을 확보한다. 최근 국내에서도 스마트 하이웨이 사업을 통하여 차세대 도로 안전을 위한 다양한 기술이 개발되고 있다. 특히, 전천후로 주야간에도 안전 주행에 위험이 되는 장애물을 탐지하고, 경보 정보를 제공할 수 있는 도로 장애물 경보용 레이다에 대한 관심이 높아지고 있다[6],[7].

본 논문에서는 Ka-대역 도로 경보 레이다 시험 모델의 설계, 제작 및 성능시험 결과를 제시하였다. 2장에서는 사용자 요구 조건을 분석하여 시스템 설계와 제작 결과를 제시하고, 3장에서는 주요 신호처리 기법을 설명한다. 4장에서는 성능시험 및 실제 도로 환경에서 수행된 고정 및 이동 장애물 탐지 시험 결과를 제시하여 레이다 탐지 성능을 분석하였다.

Ⅱ. 레이다 시스템 설계 및 제작

도로 장애물 경보 레이다(road watch radar: RWR) 시스템의 요구 조건은 500 m 이내의 탐지거리에서 차량 운행에 위협이 되는 고정/이동 장애물들을 탐지하고, 장애물의 거리, 차선, 그리고 속도 정보를 제공하는 것이다. 장애물 크기는 0.5~1 m이며, 레이다 설치 환경은 차선 당 3.5 m의 폭을 가지고 직선구간으로 구성된 최대 3차로의 고속도로이다. 레이다 설치 방식은 도로 중앙에 설치하는 방식이고, 최저 설치 높이는 고속도로에서의 교통단속 카메라 설치 높이인 5 m이며, 운용 개념도는 그림 1과 같다.

RWR 시스템의 시스템 파라미터는 운용 환경과 시스템 기하구조 등을 고려하여 정립되었으며, 주요 사양은 표 1에 제시한다[6]~[9]. RWR 시스템은 고정 표적과 이동 표적의 분리가 가능한 코히어런트 펄스 도플러 방식이 선정되었으며, 모노펄스 방식은 장애물의 차선 정보를 제공하기 위하여 적용되었다. 레이다 운용 주파수는 ITU-R에서 권고하는 대역 중 차량 탑재 레이다와의 간섭 영향

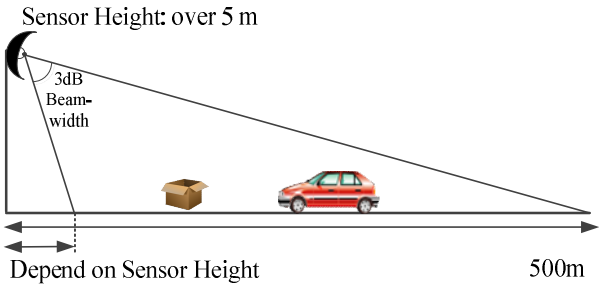

그림 1. RWR 시스템 운용 개념도
Fig. 1. Operational concept of RWR system.

표 1. RWR 시스템 주요 사양
Table 1. RWR system parameter.

항목	사양
운용 주파수	Ka 대역
변조방식	Linear FM
대역폭	300 MHz
확장펄스폭	324 ns
PRF	25 kHz
거리 해상도	< 1 m
최대 탐지 거리	500 m
최대 탐지 속도	±195 km/h
운용 모드	차량 감시/장애물 감시
탐지 정보	거리, 속도, 차선

을 고려하여 Ka-대역을 선정하였다. 변조 방식은 도로상에서 방사할 수 있는 유효 방사 전력에 대한 국제 규정을 준수하고, 최대 탐지 거리에서 표적 SNR(Signal-to-Noise Ratio)을 확보하기 위해 펄스 압축이 가능한 LFM(Linear Frequency Modulation)을 적용하였다. 또한, 확장 펄스폭으로 인한 근거리 미 탐지 영역을 탐지하기 위하여 송수신기를 분리하고, I/Q 불균형을 해결하기 위하여 IF 인터페이스 신호처리 방식으로 설계하였다.

펄스 도펄러 방식의 레이다의 도로상에 방사할 수 있는 최대 유효 방사 전력은 미국에서는 첨두 전력이 23.5 dBm이고, 유럽은 첨두 전력과 평균 전력이 각각 55 dBm과 23.5 dBm이다[3]. LFM 파형의 확장 펄스폭은 송수신기의 안테나 이득, 송신기 출력, 그리고 최대 탐지 거리에서의 SNR을 고려하였다. 설계단계에서 검토된 안테나 이득과 송신기 출력은 각각 17 dBi와 200 mW이다. 최대 탐지 거리에서의 기준 표적의 최소 SNR이 15 dB일 경우 신호처리 이득은 45 dB가 요구된다. 신호 처리 이득은 LFM 파형을 이용한 압축 이득과 펄스 누적을 통한 누적 이득으로 분류된다. 신호 처리 이득은 시스템 마진을 포함하여 20 dB의 압축 이득과 30 dB의 누적 이득으로 분리하였고, 확장 펄스폭과 펄스 누적개수는 각각 324 ns와 1,024개이다. 제시된 하드웨어 사양에서 평균 유효 방사 전력을 만족하는 확장 펄스폭은 최대 563 ns이므로 국제 규정을 만족하였다. 레이다 PRF는 최대 탐지 거리, 최대 탐지 속도, 듀티팩터, 그리고 평균 유효 방사 전력에 따라 25 kHz에서 44 kHz까지의 범위를 가질 수 있다. 시스템 동기 신호와 데이터 처리 시간을 고려하여 PRF는 25 kHz를 선정하였다.

RWR 시스템은 그림 2와 같이 4개의 부 체계로 구성된다. 안테나부, 송수신기부, 레이다 신호처리 및 제어기부, 그리고 통제 및 전시부는 부 체계별 조립체와 모듈로 구성된다. 시스템의 전체적인 통제 제어는 통제기부에서 관장하며, 운용 모드 제어는 신호처리부의 제어기가 통제기부의 명령을 받아 수행한다. 레이다 신호처리 및 제어기부는 고정 및 이동 표적 탐지와 표적 추적 기능을 가지며, 원시 데이터부터 신호처리 단계별 데이터 저장이 가능한 DAQ(Data Acquisition) 기능을 보유한다. RWR 부체계는 기능시험을 통하여 제작 사양이 설계 사양을 만족함을

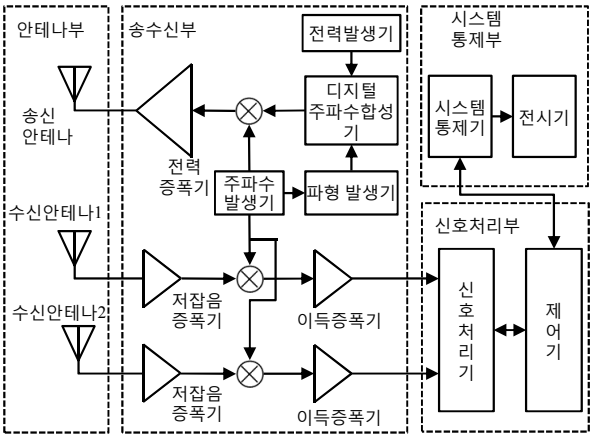

그림 2. RWR 시스템 구성도
Fig. 2. Block diagram of RWR system.

확인하였다[9],[10].

Ⅲ. 도로 장애물 탐지 기법

RWR 시스템은 I/Q 신호의 불균형으로 인한 부엽 레벨 증가와 Blind Phase를 해결하기 위하여 IF 대역 기반 신호처리를 수행한다. 디지털화된 IF 신호는 힐버트 변환과 디지털 대역 통과 필터를 이용하여 기저대역으로 변환되어 펄스 압축이 수행된다. 펄스 압축된 신호는 장애물의 SNR 감소와 방위 추정 오차를 발생시키는 샘플링 손실을 보상하기 위해서 싱크 내삽법이 적용된다. 샘플링 손실이 보상된 펄스 압축 신호는 고정 장애물 탐지와 이동 장애물 탐지 기법에 동시 적용된다.

3-1 고정 장애물 탐지 기법

고정 장애물 탐지 기법은 고정 클러터와 이동 차량들이 혼합되어 있는 환경에서 발생하는 고정 장애물을 탐지하며 구성도는 그림 3에 제시한다.

Inverse-MTI(Moving Target Indication) 필터는 도로 환경에서 고정 클러터를 탐지하기 위하여 'Zero (0)' 도플러 이외의 도플러 성분의 신호를 제거한다. 필터링 된 신호는 표적의 SNR을 향상시키기 위하여 코히어런트 펄스 누적 기법이 적용된 후, Δ과 Σ신호를 생성한다. Σ신호를 이용하여 생성된 클러터 맵은 변화 탐지 기법의 문턱치 생성에 적용된다. 클러터 맵 변화 탐지 기법은 클러터 맵

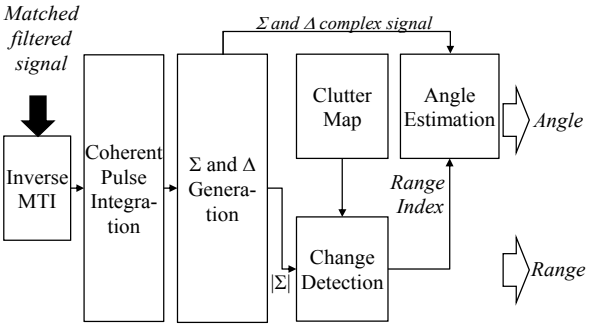

그림 3. 고정 장애물 탐지 신호처리 구성도
Fig. 3. Block diagram for fixed obstacle detection.

의 각 거리 빈에서 CNR(Clutter-to-Noise Ratio)을 추정하여 일정한 오경보율을 가지도록 문턱치를 계산한다. 수신 신호는 문턱치와 비교하여 문턱치 이상일 때 표적으로 탐지한다. 탐지된 표적은 각도가 추정되어 표적의 차선 정보를 제공하고, 차선 밖의 변화일 경우는 클러터 맵을 갱신한다.

클러터 맵 CFAR(Constant False Alarm Rate)는 배경 데이터를 이용하여 현재 입력 신호의 문턱치를 결정하기 때문에 클러터 환경의 균질성을 요구하지 않는다. 하지만, 배경 데이터의 평균을 이용하여 문턱치를 결정하기 때문에 CNR이 높은 경우에는 손실이 존재한다[11]. 또한, 배경 환경이 레일리 모델을 따른다고 가정하기 때문에 문턱치가 CNR의 영향을 받지는 않는다. 도로 환경과 같이 비균질 환경에서 고정 장애물을 탐지하기 위하여 적용된 클러터 맵 기반 변화 탐지 기법은 클러터 거리 빈의 시간 특성이 라이시안 분포 특성을 가진다고 가정한다. 각 거리 빈에서 라이시안 파라미터는 수신 데이터의 평균과 분산을 라이시안 확률밀도 함수의 1차와 2차 모멘트를 비교하여 추정된다[12]. 그림 4는 파라미터 추정을 위해 수신 데이터에서 평균과 분산을 추정하는 블록도를 나타낸다. 여기서 μ는 평균, σ는 표준편차, W는 0에서 1 사이 지수평활법의 평활화 계수이다.

클러터 맵 CFAR와 적용된 기법의 SCNR(Signal-to-Clutter plus Noise Ratio)에 따른 탐지 확률에 대한 비교는 그림 5에 제시한다. 하얀색 표시는 클러터 맵 CFAR 기법의 성능이고, 검정색 표시는 제안된 기법을 나타낸다. 배경 거리 빈의 CNR이 15 dB일 때, 오경보율 10^{-6}에서 90 %의 탐지율을 가지기 위한 SCNR은 클러터 맵 CFAR의

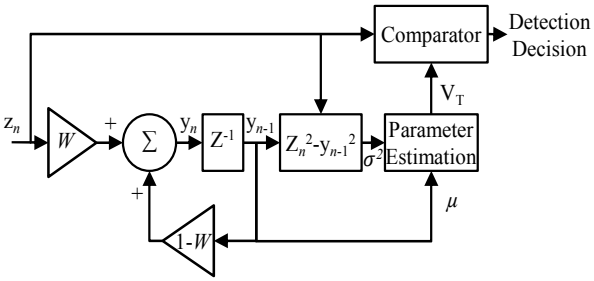

그림 4. 클러터 맵 변화 탐지 기법 구성도
Fig. 4. Block diagram of clutter map based change detection.

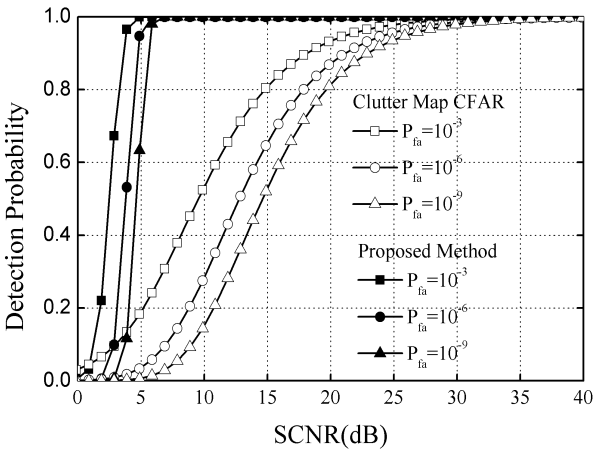

그림 5. 클러터 맵 CFAR와 제안된 기법의 SCNR 변화에 따른 탐지확률(CNR=15 dB)
Fig. 5. Comparison of detection probability between clutter map CFAR and proposed method(CNR=15 dB).

경우 21 dB, 제안된 기법은 5 dB가 요구된다. 이 결과는 변화에 대한 민감도가 기존 방법보다 뛰어남을 의미한다. 제안된 기법은 클러터의 신호 크기에 따라 다른 문턱치를 적용하기 때문에 CNR에 따라 탐지 성능이 변화한다. CNR이 '0'의 값을 가질 때 클러터 맵 CFAR와 동일한 성능을 가지며, 그 이상의 신호를 가지면 더 좋은 성능을 나타낸다.

3-2 이동 장애물 탐지 기법

이동 장애물 탐지 기법은 고속도로에서 주행 중인 차량을 탐지하며, 구성도는 그림 6과 같다. MTI 필터는 PRI (Pulse Repetition Interval) 위상 변화가 없는 신호를 제거

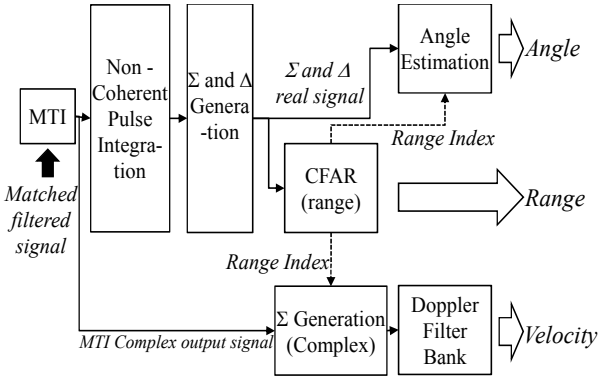

그림 6. 이동 장애물 탐지 신호처리 구성도
Fig. 6. Block diagram for moving obstacle detection.

한다. 이동 표적은 PRI마다 위상변화가 존재하므로 SNR을 향상시키기 위하여 비 코히어런트 펄스 누적 기법이 적용된다. 이동 표적의 거리는 CFAR(Constant False Alarm Rate) 검출기를 이용하여 탐지되고, 속도와 차선은 탐지된 거리 빈에서 FFT와 모노펄스 기법을 이용하여 추정된다.

3-3 각도 추정 기법

모노펄스 방식은 방위 방향으로 스퀸트 각도를 가지는 두 개의 안테나에 수신되는 신호의 크기 변화를 이용하여 각도를 추정한다. 두 개의 안테나에 수신된 표적 반사 신호를 이용하여 Δ/Σ를 생성한 후, 다음의 방법으로 각도를 추정한다.

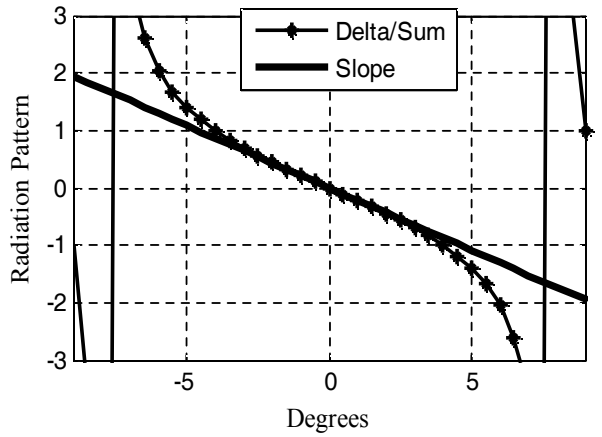

그림 7. Δ/Σ 비율과 기울기
Fig. 7. Δ/Σ ratio and slope.

$$\Theta = \frac{1}{k} real\left(\frac{\Delta}{\Sigma}\right) \quad (1)$$

여기서, Θ는 표적 각도, k는 원점에서 Δ/Σ 기울기, Δ은 두 수신 채널의 차, Σ은 두 수신 채널의 합을 각각 나타낸다. 그림 7은 제작된 안테나 패턴에 2.75도의 스퀸트 각도를 적용하여 생성한 Δ/Σ 비율과 기울기를 나타낸다. 원점 주위의 선형성이 확보되는 구간은 약 ±3.5도이므로 3차선 도로에서 표적 방위 각도를 추정할 수 있는 최소 거리는 약 86 m이다.

Ⅳ. 레이다 성능 시험 및 분석

레이다 성능은 기본 성능시험, 각도 추정 성능시험, 그리고 도로 환경시험으로 구분하여 검증되었다. 기본 성능시험과 각도 추정 성능시험은 한국항공대학교 활주로에서 수행되었고, 도로 환경 시험은 여주 시험 고속도로에서 기준 표적에 대한 탐지시험, 장애물 종류별 각도 변화에 따른 탐지시험, 이동 표적 탐지 및 추적시험이 수행되었다.

4-1 기본 성능시험

기본 성능시험은 레이다의 거리탐지, 해상도, 이동/고정 표적 구분, 이동 표적 속도 측정, 그리고 모노펄스 성능시험 순서로 수행되었다. 활주로의 길이와 폭은 각각 1.2 km와 16 m이고, 활주로 주변은 개활지이다. 레이다 설치 위치는 활주로 시작 지점이며, 그림 8은 한국항공대학교 활주로와 시험환경이다.

거리 측정 시험은 삼면반사기를 이용하여 레이다로부터의 실제 표적거리와 탐지된 거리를 비교하여 수행하였으며, 오차는 50 cm 미만이다. 해상도 측정 시험은 직경과 높이가 30 cm인 원통 2개를 이용하여 1 m 이내임을 검증하였다. 기준 표적 탐지 시험은 탐지거리 내에서 50 m 단위로 수집된 원통 데이터를 이용하여 수행하였고, 표적은 모두 탐지되었다[11]. 이동 표적 분리와 속도 측정 시험은 특정 거리에 삼면반사기와 원통을 설치하고, 20~140 km/h 차량을 주행하여 이동 장애물 탐지 성능과 약 0.4 km/h 이하의 속도 해상도를 확인하였다[7],[9].

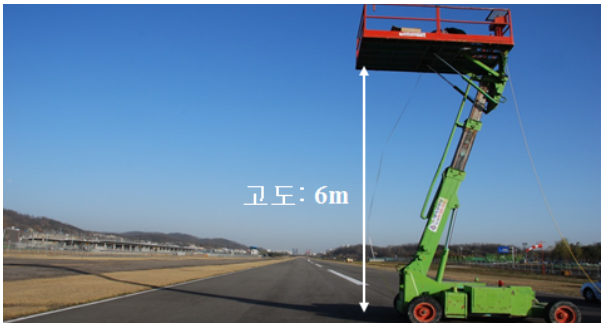

그림 8. 성능시험 환경
Fig. 8. Radar performance test environment.

4-2 각도 추정 성능시험

모노펄스 방식의 각도 추정 정확도는 수신되는 두 채널의 합과 차에 의한 모노펄스 기울기에 의해 결정된다. 각도 추정 정확도는 스퀸트 각도가 클수록 향상되지만, 비선형 구간이 증가하게 된다. 비선형 구간의 증가는 각도 추정 오차 영역을 증가시키므로 관측 범위 내의 비선형 구간은 회피해야만 한다. 다양한 스퀸트 각도 변화에 따른 데이터 수집과 분석 결과, 도로 환경에 적합한 최적의 스퀸트 각도는 2.5도~3도로 이론값인 그림 5의 결과와 같음을 확인하였다[13].

2 채널 수신 안테나 고도각 패턴의 동일성은 거리 변화에 따른 모노펄스 기울기의 일관성을 나타낸다. 수신 안테나의 미세한 고도각 패턴 차이로 인한 차선 추정 오차 분석은 100 m부터 500 m까지 100 m 간격으로 수집된 방위방향 표적 데이터를 이용하여 수행되었다. 500 m에서 15 dB의 SNR을 가지는 표적과 100 m에 위치한 표적과의 방위 오차는 최대 69 cm임을 확인하였다. 기준표적의 차선 구분 범위는 거리별로 수집된 기준 표적의 SNR을 추정하여 최대 300 m임을 확인하였으며, 분석 결과는 표 2와 같다.

4-3 도로 환경시험

레이다 도로 환경시험은 그림 9와 같이 여주에 위치한 시험도로에서 수행되었다. 고속도로 옆에 위치한 시험도로의 폭은 10 m이고, 직선길이는 500 m 이상이며, 레이다 설치 고도는 6 m이다. 그림 9는 레이다에 수신되는 클러터 환경을 나타낸다. 큰 철제 표지판은 180 m와 460 m 지점에 위치해 있고, 작은 철제 표지판은 220 m, 380 m, 410 m 지점에 있다.

표 2. 기준표적의 거리별 방위 해상도 분석 결과
Table 2. Azimuth resolution of reference target.

기준표적 거리(m)	방위해상도(m)
100	0.4
200	1.5
300	3.3
400	6.4
500	9.3

그림 9. 도로 환경시험 장소와 레이다 설치 형상
Fig. 9. Road test site and configuration.

고정 표적의 거리별 탐지 성능 시험은 100 m부터 50 m 간격으로 500 m까지 설치되어 수집된 기준 표적 데이터를 이용하여 분석되었으며, 수신 표적 신호와 문턱치는 그림 10과 같다. 여기서, 문턱치는 클러터 맵에서 CNR을 추정

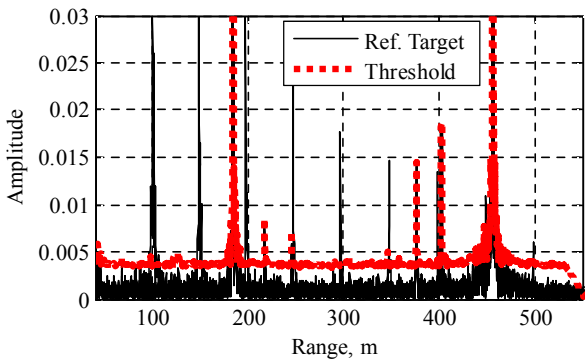

그림 10. 거리별 기준 표적과 문턱치(오경보율: 10^{-6})
Fig. 10. Received reference target signals and threshold(10^{-6} of false alarm rate).

표 3. 오경보율에 따른 기준표적 탐지확률(500 m)
Table 3. Detection probability of reference target depending on various false alarm rate.

오경보율	탐지확률(%)	문턱치(V)
10^{-1}	99.9	0.0020
10^{-2}	99.9	0.0027
10^{-3}	99.9	0.0033
10^{-4}	99.4	0.0037
10^{-5}	97.3	0.0041
10^{-6}	90.6	0.0044

한 후 10^{-6}의 오경보율을 적용하였다. 다양한 오경보율에 따른 최대 탐지 거리에 위치한 기준 표적의 탐지 확률은 표 3과 같으며, 오경보율이 10^{-4} 이상일 때 99 %의 탐지 확률을 가지므로 설계 사양을 만족하였다[10],[14].

도로상에 존재할 수 있는 장애물 탐지 시험은 철, 나무, 플라스틱, 그리고 종이 박스를 이용하여 각도 변화에 따라 수행되었고, 탐지 결과는 그림 11과 같다. 정면으로 위치한 장애물은 재질에 관계없이 500 m 탐지가 가능하며, RCS가 가장 작은 45°의 각도로 위치한 장애물은 나무박스를 제외하고는 200 m까지 탐지 가능하다.

이동차량에 대한 탐지 및 추적 시험은 1차선, 2차선 그리고 갓길에서 왕복 20～120 km/h의 속도로 이동하는 차량을 이용하여 수행되었다. 다양한 속도로 이동하는 차량은 탐지 범위 내에서 모두 탐지되어 설계 사양을 만족하였다. 하지만, 차선 추정 신뢰구간은 약 100～400 m로 분석되었다. 최소 신뢰구간은 이론치인 86 m와 유사하고, 원거리에서는 표적 SNR이 감소하여 차선 추정 정확도가 저하되었다. 그림 12는 이동 차량 탐지 결과에 대한 예시를 나타낸다. 저속으로 운행 중인 이동 차량은 200 m 위치에서 +20 km/h의 속도로 탐지되었다. 여기서, 거리 300～500 m 사이에서 약 −100 km/h로 탐지된 표적은 시험도로 옆에 위치한 고속도로에서 주행 중인 차량을 나타낸다.

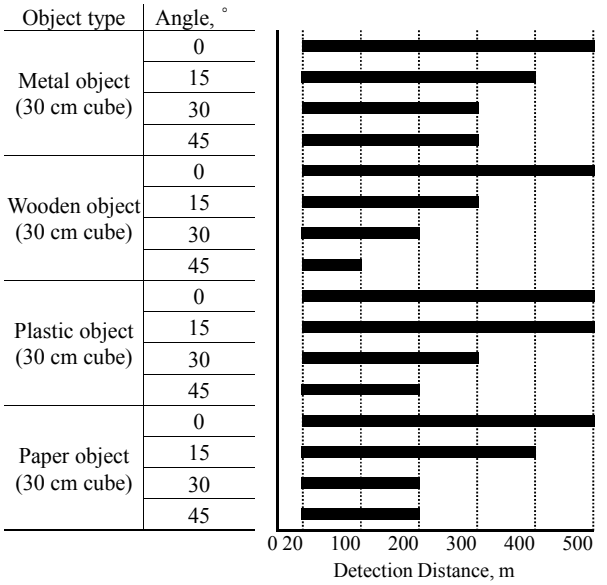

그림 11. 다양한 고정 장애물 탐지 결과(오경보율: 10^{-6})
Fig. 11. Detection result of various fixed obstacle(10^{-6} of false alarm rate).

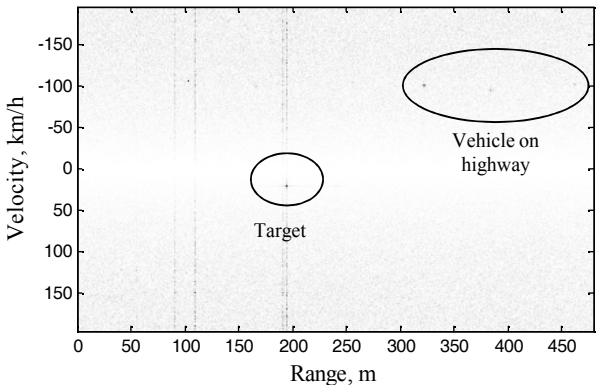

그림 12. 이동 장애물 탐지 결과
Fig. 12. Detection result of moving obstacle.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 도로 장애물 경보를 위한 레이다 시험 모델 시스템을 설계, 제작하고, 다양한 성능시험과 환경시험을 통하여 레이다 탐지 성능을 확인하였다. 레이다 시스템은 요구 조건을 분석하고, 운용 환경을 고려하여 설계하였다. 또한, 시스템 제작을 위해 부체계 요구 조건을 정립하고, 시험을 통하여 제작 사양이 설계 사양을 만족함을 확인하였다. 레이다 기본 성능은 성능시험을 통하여 검증되었고, 실제 도로 환경에서 수행한 환경시험 결과를 통하여 레이다의 설계 성능을 확인하였다. 본 연구 결과, 시제품은 용인 IC 입구와 스마트 하이웨이 체험 도로에

설치하여 레이다의 성능 향상을 위하여 테스트 베드로 활용되고 있다. 향후 테스트 베드에서 수집된 데이터를 분석하고, 시스템 및 알고리듬을 최적화하여 고속도로의 차량 교통량 감시 안전성 향상에 크게 기여할 것으로 기대한다.

References

[1] K. Kaliyaperumal, S. Lakshmanan, and K. Kluge, "An algorithm for detecting roads and obstacles in radar images", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 50, no. 1, pp. 170, 182, Jan. 2001.

[2] G. Alessandretti, A. Broggi, and P. Cerri, "Vehicle and guard rail detection using radar and vision data fusion", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 8, no. 1, pp. 95,105, Mar. 2007.

[3] ETSI, "Technical characteristics and test methods for radar equipment operating in the 76 GHz to 77 GHz band", EN 301091-1, 2006.

[4] Toshiki Yamawaki, Shin-ichi Yamano, Yutaka Katogi, Toshihito Tamura, and Yasuyuki Ohira, "Millimeter-wave obstacle detection radar", *FUJISU TEN Tech. M.*, no. 15, 2000.

[5] J. Johnston, "Off-highway obstacle detection", *Instrumentation & Measurement Magazine*, IEEE, vol. 9, no. 5, pp. 16, 24, Oct. 2006.

[6] Y. K. Kwag, J. M. Bak, J. T. Park, P. Y. Cho, and J. H. Park, "Road-side multi-mode radar system concept for obstacle detection on the various road conditions in the highway", *ITS World Congress Busan 2010*, Oct. 2010.

[7] J. S. Jung, J. M. Bak, H. J. Yang,, Y. H. Seo, and Y. K. Kwag, "Obstacle detection radar system for highway safety", *2011 3rd International Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar*, pp. 1-4, Sep. 2011.

[8] 곽영길, 박진만, "고속도로 장애물 충돌 경보 레이다 연구", 한국항공대학교 레이다 연구소, 2010년 6월.

[9] 곽영길, 정정수, 서영호, "도로 장애물 경보 레이다 시험시제 개발", 한국항공대학교 레이다 연구소, 2011년 5월.

[10] J. S. Jung, H. J. Yang, Y. H. Seo, and Y. K. Kwag, "Road watch radar development for obstacle detection and warning", *International Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar 2013*, pp. 1-4, Sep. 2013.

[11] R. Nitzberg, "Clutter map CFAR analysis", *Aerospace and Electronic Systems*, *IEEE Transactions on*, vol. AES-22, no. 4, pp. 419-421, 1986.

[12] C. G Koay, P. J. Basser, "Analytically exact correction scheme for signal extraction from noisy magnitude MR signals", *Journal of Magnetic Resonance*, vol. 179, Issue 2, p. 317-322, 2006.

[13] 곽영길, 정정수, "도로레이다 신호수집 분석 및 알고리듬 검증", 한국항공대학교 레이다 연구소, 2013년 3월.

[14] 곽영길, 정정수, 서영호, "통합 검지용 도로레이다 알고리즘 개발 및 시스템 통합", 한국항공대학교 레이다 연구소, 2012년 6월.

정 정 수

2006년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
2009년 8월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
2012년 3월～현재: 한국항공대학교 항공전자공학과 박사과정
2010년 1월～2012년 2월: 한국해양과학기술원 해양위성센터 연구원
[주 관심분야] Radar System Design, Radar Signal Processing, Sar Signal Processing, Digital Beamforming

서 영 호

2011년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
2013년 8월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
[주 관심분야] Radar Signal Processing, Radar Detector

곽 영 길

1976년 2월: 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)
1981년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)
1987년 6월: 미국 오하이오대학교 전기전자공학과 (공학박사)
1976년 3월～2001년 3월: 국방과학연구소 책임연구원, 레이다 및 SAR 연구실장
1997년 2월～1999년 2월: 영국 Matra Marconi Space 위성 SAR 프로젝트 책임자
2001년 3월～현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수 및 레이다연구소 소장
2002년 4월～2008년 12월: 한국전자파학회 레이다연구회 위원장, IEEE Radar Society 및 APSAR Committee 위원
2007년 9월～2008년 8월: 영국 옥스퍼드대학교, Dept. of Engineering Science, 방문교수
2009년～2011년: 국회 한국과학기술정책연구회 회장
2009년～2011년: APSAR 2011, General Chair, 대회장
2010년～현재: IEEE AESS Korea Chapter Chair
2013년 4월～현재: 미래창조부 국가과학기술심의회 전문위원
[주 관심분야] Radar System Design, Radar Signal Processing, Synthetic Aperture Radar, Collision Avoidance Radar for Automotive, Adaptive Array, Spectrum Analysis and Interference Rejection