

기존의 루프감지기와 호환성 있는 레이더 차량감지기

Radar Vehicle Detector for the Replacement of the Conventional Loop Detector

정 기 · 정재권 · 김인석

Key Jeong · Jae-Kwon Jeong · Ihn-Seok Kim

요 약

본 논문에서는 기존의 루프감지기와 호환성이 있는 레이더 기술을 이용한 차량감지기를 개발하였다. 24 GHz 의 FMCW 고도계와 도플러 속도계 기술을 이용하여 도로상의 차량의 길이와 속도정보를 알아낼 수 있는 비매설형의 차량감지기이다. 신호처리에는 DAQ 보드를 사용하였고, 응용소프트웨어인 LabView로 프로그래밍 하였다. 기존의 루프감지기와 연결된 교통정보 네트워크와의 호환성을 위해 RS-232C 표준인터페이스를 이용하여 VDS(Vehicle Detector System)로 차량데이터를 전송하였다. 속도와 차량길이 정보의 정확도에 있어서 기존 루프감지기보다 약 10% 정도 향상되었음이 측정되었다.

Abstract

In this paper, a radar vehicle detector compatible with the existing ILD(Inductive Loop Detector) without any modification has been developed. With this vehicle detector based on FMCW altimeter and Doppler speedometer techniques at 24 GHz, the length and speed of a vehicle passing can be detected. For signal processing part, we have used DAQ board and programmed with LabView. For compatibility with traffic information network connected with the existing ILD's, traffic information has been sent to VDS by using RS-232C standard interface. This development has improved approximately 10% in accuracy in terms of the speed and length information

I. 서 론

바다와 대기에서 충돌사고를 피하기 위해 이웃하는 물체와의 거리를 파악하는 레이더기술이 가치가 있다는 것이 증명되면서, 도로상에서도 충돌방지를 위해 앞차와의 거리를 알려주는 기술로 쓰여질 수 있다는 자연적인 발상으로 레이더 기술이 도로상에서도 쓰이게 되었다^[1]. 그러나 CW 레이더 기술로는 거리를 측정할 수 없어 FMCW신호를 이용하고 있다^[2]. 본 연구에서는 도로상공에서 FMCW레이더 기술을 이용하여 레이더와 도로면간의 거리를 감지하

면서 차량이 지나가면 레이더와 도로면 간의 거리의 차이를 측정하여 차량의 길이를 파악하는 차량감지기를 개발하였다.

차량감지기는 어떤 조건이나 환경에서도 차량길이, 속도, 통과 대수와 같은 차량교통정보를 정확하게 제공하여야 도로의 이용도(利用度) 파악과 미래의 도로계획을 정확하게 세울 수 있어, ITS실현을 위해 매우 중요한 소자이다. 현존하는 다양한 차량감지기는 제각기 장점을 가지고 있지만 또한 모두 단점^{[3],[4]}도 가지고 있어, 이러한 단점을 보완할 수 있는 차량감지기 연구의 필요성이 존재하였었다. 현

경희대학교 전파공학과(Department of Radio Engineering, KyungHee University)

· 논문 번호 : 20000525-061

· 수정완료일자 : 2000년 10월 4일

재 우리나라 및 세계적으로 가장 많이 이용되고 있는 루프감지기의 경우는 고장이 많아 교체를 하는 경우, 보수 시간이 많이 소요되고, 차량을 통제해야 하는 단점을 가지고 있어 교통정체의 커다란 원인이 되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 개발된 도로상공에 설치하는 영상감지기를 비롯한 다양한 차량감지기는 기존의 루프감지기시스템의 통신 알고리즘을 따르지 않았기 때문에 감지기에서 획득된 정보를 교통정보관리센터로 전송하고자 할 경우에는 루프식의 통신 시스템과는 별도의 비용으로 정보 송수신용 네트워크 시스템을 새로이 구성해야 하는 커다란 단점이 생기게 된다. 그래서 본 논문에서는 루프감지기와 호환성이 있는 레이더 비매설형 차량감지기^[4]를 개발하였다.

제 II장에서는 기존의 루프감지기의 차량정보를 획득하는 알고리즘과 루프감지기에 연결된 교통정보네트워크와 호환이 되는 본 논문에서 개발한 레이더기술의 차량감지기 시스템을 소개한다. 제 III장에서는 차량감지기를 이루는 다양한 회로의 성능을 측정한 결과를 먼저 포함시키고, 후반부에 기존의 루프감지기와 본 차량감지기의 차량정보 획득의 정확성을 비교 측정하였다. 그리고 제 IV장에서는 결론과 향후 연구방향을 제시하였고, 마지막으로 부록에서 기존의 루프감지기의 차량교통정보획득 알고리즘을 설명한다.

II. 레이더 차량감지 시스템

본 논문에서 개발한 차량감지 시스템은 24 GHz를 이용하여 그림 1과 같이 도로상공 4.5 m 정도에 위치시켜, 도로까지의 높이를 측정하여 차종(차량길이)을 감지하는 FMCW 고도계 레이더 시스템과 속도를 감지하는 도플러 레이더 시스템으로 구성된다. 그림 2에서는 시스템 전체의 구성을 블록다이어그램으로 나타내었다. 본 장에서는 고도계와 속도계, 그리고 신호처리 회로의 세 부분으로 나누어 그 회로 내용을 차례로 소개한다.

2-1 FMCW 고도계

본 연구에서 개발한 고도계는 그림 1에서 보듯이

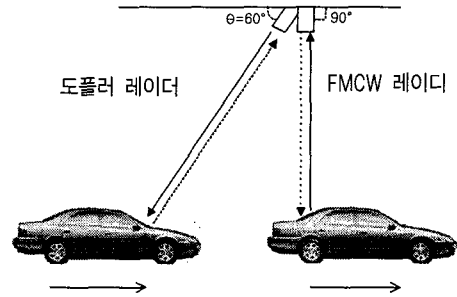


그림 1. 레이더방식 차량감지기 시스템의 설치모양
Fig. 1. Installation and basic operation mode of radar vehicle detector system.

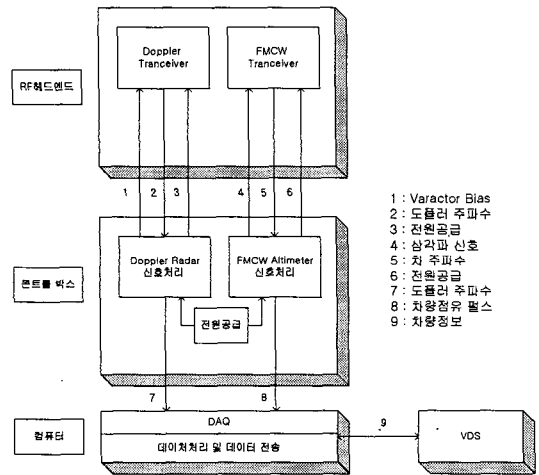


그림 2. 레이더방식 차량감지기 시스템의 전체 구성도
Fig. 2. Full topology of radar vehicle detector system.

송신 신호와 반사된 신호 사이의 주파수 차로 거리를 측정하는 시스템이다. 송신주파수는 선형적으로 증가하게 되고, 반사되어 되돌아온 신호의 주파수를 측정하여 거리차의 정보를 획득하게 된다^{[5]-[7]}.

24 GHz 송신 주파수는 그림 3(a)에서처럼 시간과 함께 선형적으로 증가하여야 이론적으로 정확한 측정이 이루어진다. 거리 R 에 반사물체가 있다면, 반사된 신호는 시간 $T(=2R/c)$ 후에 되돌아 올 것이다. 그림 3(b)에서 점선은 반사된 신호를 나타낸다. 차이 신호인 f_b 는 송신신호와 반사된 신호의 주파수 차이를 나타내는데 식 (1)로 표현이 된다^{[5],[7]}. $1/f_m = T_m$ 은 변조 주기를 나타내고, Δf 는 송신 신호의

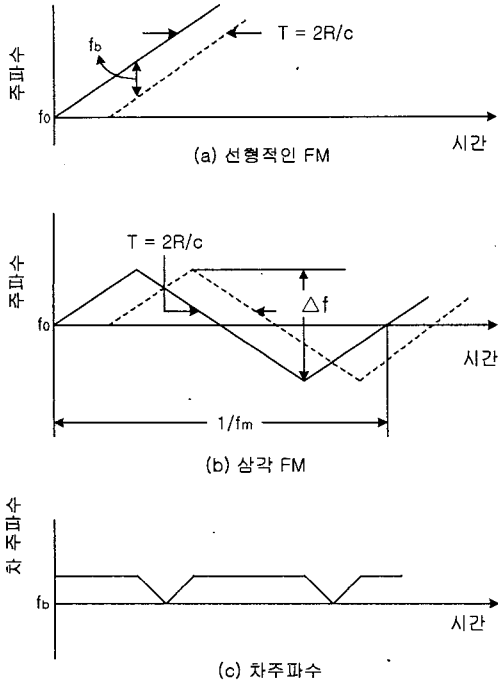


그림 3. 고정된 목표물에 대한 FMCW식의 거리측정 방법을 묘사한 시간대 주파수의 관계
 Fig. 3. Relationship for the time versus frequency depicting the method of measuring distance for a fixed target.

최고 주파수와 최저 주파수의 차이이며, R 은 목표물까지의 거리를 나타낸다. 목표물이 정지되어 있을 때는 도플러 주파수변이가 없으며, 차 주파수는 목표물과의 거리에 따른 주파수변이가 된다^[7].

$$f_b \equiv Tf_0 \equiv \frac{2R}{c} f_0 \equiv \frac{2R}{c} \cdot \frac{2\Delta f}{T_m} \equiv \frac{4R}{c} \cdot f_m \Delta f \quad (1)$$

여기서 f_0 는 송신하는 주파수이다. 따라서 차 주파수가 측정되면 거리 R 이 식 (2)에 의해 결정된다.

$$R = \frac{c}{2f_0} f_b = \frac{c}{4f_m \Delta f} f_b \quad (2)$$

FMCW 고도계는 그림 4와 같은 블록다이하그램으로 시스템이 이루어졌다. 삼각파에 의해 시간에 따라 변하는 주파수 $f_0(t)$ 신호가 발진기에서 출력되는데, 출력 신호 10 dBm 중 3 dB 방향성결합기(1)를 통해 7 dBm이 휘더를 통해 진행하다가 다시 3

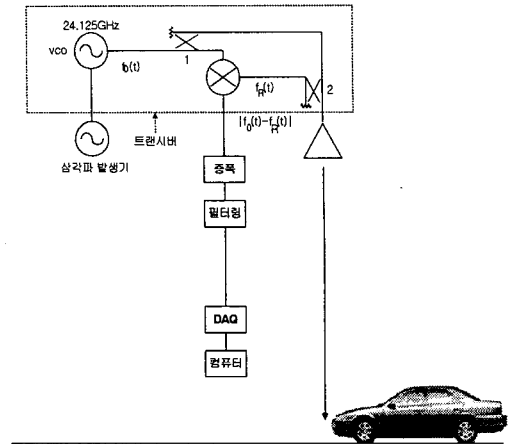


그림 4. FMCW 고도계의 블록도
 Fig. 4. The block diagram of FMCW altimeter system.

dB 방향성결합기(2)를 통해 4 dBm이 안테나를 통해 출력된다. 이득이 21 dB인 혼안테나를 통해 약 4.5 m의 거리에 있는 아스팔트 도로면에 반사되어 되돌아와서 다시 혼안테나를 통해 들어온 신호는 약 -17.06 dBm이 된다. 다시 3 dB 방향성결합기를 통과하게 되면 -20.06 dBm이 주파수 혼합기로 입력된다. 수신된 신호 $f_R(t)$ 는 주파수 혼합기에 입력되어 $f_0(t) - f_R(t)$ 의 신호가 출력되는데, 이 신호가 거리정보를 포함하고 있는 차 주파수 신호이다.

FMCW 고도계의 좀 더 자세하게 묘사된 기능 블록도는 그림 5와 같다. 트랜시버의 IF출력을 66 dB 증폭한 후 관심대역인 40 kHz까지 필터링하였다. AGC에서는 1.5 m 이내의 입력 파형과 4.5 m 이상에서의 입력 파형의 크기를 일정하게 하여 파형의 왜곡이 없도록 하였다. BPF에서는 4.5 m에 해당하는 주파수인 15.5 kHz만 통과시켜 도로면으로 정의하고 이외의 주파수는 차량이 있는 것으로 정의하였다. 트랜시버 VCO의 비선형 특성에 의한 측정 오차를 줄이기 위하여 비교기에서 VCO에 입력되는 삼각파의 신호가 3~5 V 사이에서만 차 신호가 출력되도록 아날로그 스위치를 컨트롤하였다. 차량이 없어 도로면을 감지하고 있을 경우 One shot multivibrator의 트리거 신호를 제공하게 되어 출력에서 +5 V를 출력하고 이를 NOT회로에 넣어 차량이 없을

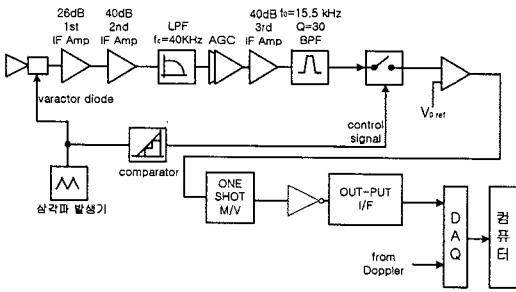


그림 5. FMCW 고도계의 기능적인 블록도
Fig. 5. Functional block diagram of FMCW altimeter.

경우 0 V, 차량이 있을 경우 +5 V를 출력하도록 하였다. 출력 인터페이스에서는 DAQ보드에 5 V 이상이 걸리지 않도록 전압분배회로를 넣어 3 V로 조정하였다.

그림 6은 FMCW 고도계를 이루는 한 부분인 AGC 증폭기의 회로도이다. 두 번째 OP Amp가 능동 정류작용을 하며, 여기서 출력된 직류 전압을 Cold 바이어스된 FET의 Gate 단자에 넣어 전압에 따라 변하는 Drain과 Source 단자사이의 저항 성질을 이용하여 첫 번째 OP Amp로의 입력신호전압을 일정하게 한다. 측정결과 300 mV에서 5 V까지의 입력전압에 대해서 약 0.15 V의 출력을 나타낸다. 5 V 이상의 전압이 입력되면 출력 파형은 일그러지게 된다.

그림 7은 FM변조를 위한 삼각파 발생기 회로도이다. 첫 번째 OP-Amp는 정계환을 이용하여 발진을 하고 두 번째 OP-Amp에서는 적분기로 동작을

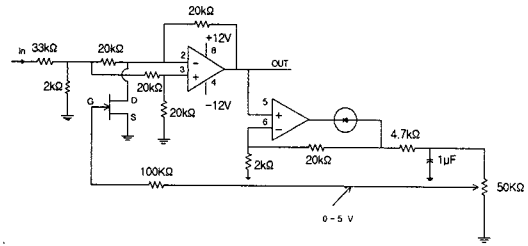


그림 6. AGC 회로도
Fig. 6. AGC circuit.

한다. 세 번째 OP-Amp에서는 Offset전압을 조정하기 위한 회로를 구성한다. VR10은 주파수, VR9는 Offset, VR11은 진폭 조정용 가변 저항이다. 390 Hz에서 650 Hz까지 가변가능하고 진폭은 $V_{p-p} = 12 V$ 까지 조정 가능하다.

2-2 도플러 레이더

목표물이 레이더 가시거리를 따라 속도를 가지고 움직인다면, 반사되어 되돌아온 신호는 도플러효과에 의해 송신 주파수와 비교해 천이가 될 것이다. 도플러 레이더와 목표물이 이루는 각도를 θ , 송신한 주파수를 f_0 , 목표물의 속도를 v 라고 하면 송신과 수신 주파수 변화분 Δf_0 는 식 (3)으로 표현이 된다^{[2],[5],[6],[7]}.

$$\Delta f_0 = \frac{2v}{c} f_0 \cos \theta \quad (3)$$

본 논문에서는 4.5 m 높이에서 설치된 도플러 레

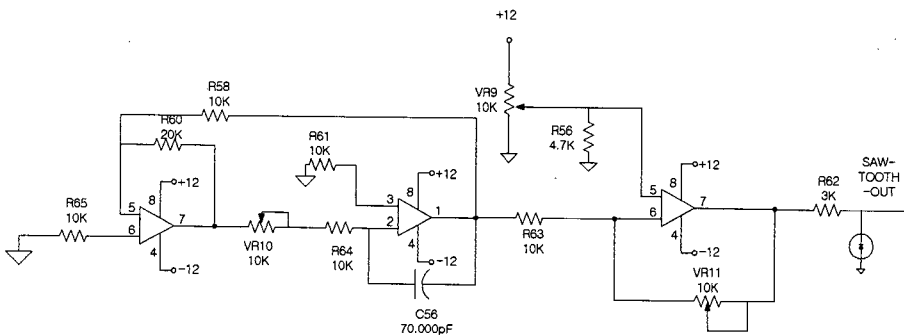


그림 7. 삼각파 발생기 회로도
Fig. 7. Circuit generating triangular wave.

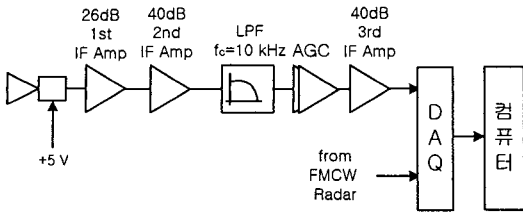


그림 8. 도플러 레이더의 기능적 블록도
Fig. 8. Functional block diagram of Doppler radar.

이더가 도로면과 이루는 각도 θ 를 60도로 하여 차량이 줄지어 오더라도 각각의 차량이 정확히 구분되어 속도가 측정될 수 있도록 하였다.

그림 8과 같이 구성된 도플러 레이더의 전체적인 회로구성은 FMCW 고도계에서 삼각파 발생기와 필터 부분을 제외하고 비슷하다. 차 주파수를 46 dB 증폭 후 관심 대역인 10 kHz 미만의 주파수만을 필터링 한 후에 거리에 따라 일정한 이득을 얻기 위하여 AGC를 삽입하였고, 이를 다시 40 dB 증폭 후 DAQ보드로 입력시켰다.

2-3 신호처리

FMCW 고도계의 출력 파형과 도플러 레이더로 출력되는 파형은 데이터 수집 시스템(DAQ : Data Acquisition System (National Instrument Lab PC+))으로 신호처리를 하였다. 데이터 수집 시스템이란 아날로그 신호를 컴퓨터로 입력받아 디지털신호로 변환하고, 이 변환된 데이터를 사용자의 요구에 맞게 분석하는 시스템을 말한다. 이 시스템은 각종 센서(온도, 압력, ...)를 통해 받아들여진 아날로그 신호를 분석하는 용도에 대부분 사용되고 있지만 계측기나 분석 기기 등에서 출력되는 전압신호(10 V 이하)를 입력받아 분석하는 응용 분야에도 사용되고 있다^[10]. 그림 9는 그림 4와 같이 DAQ보드에 입력된 데이터를 컴퓨터에서 처리하는 LabView로 작성된 프로그램의 흐름도를 나타내고 있다. 속도계산은 식 (2.3)으로부터 $v(\text{km/h}) = \frac{c\Delta f_0}{2f_0 \cos \theta} \times 3.6$ 하였고, 차량길이는 $v \times \tau(\text{차량점유시간})$ 로 계산하였다.

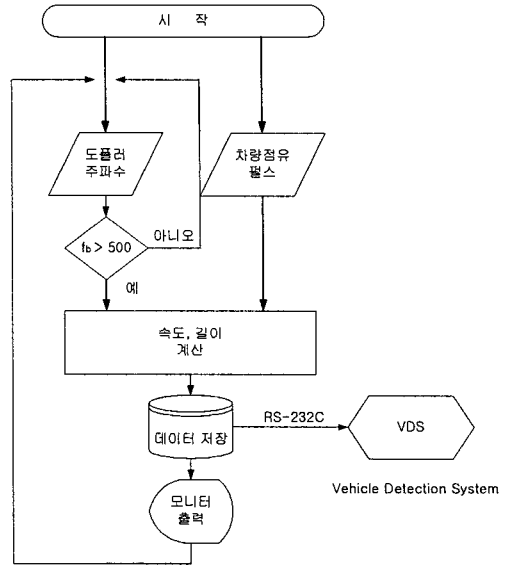


그림 9. 데이터처리 프로그램 흐름도
Fig. 9. Flow chart for data management.

III. 측정결과

본 장에서는 차량감지기 내부회로들의 성능측정과 시스템이 이루어진 후의 실제 도로상에서의 실측방법과 결과를 소개한다.

그림 10은 VCO(Voltage Controlled Oscillator)를 작동시키기 위한 0.5~12 V의 크기에 500 Hz 주파수의 삼각파의 파형을 측정된 것이다.

트랜시버의 제원상 0.5~20 V까지의 VCO입력이 가능하나 12 V 이상에서는 선형성이 비교적 좋지않아 삼각파를 최대 12 V로 제한을 하여 23.70 ~ 24.24 GHz 범위 내에서만 작동하도록 하였다.

그림 11은 $\Delta f = 540 \text{ MHz}$ (0.5~12 V)이고, $f_m = 500 \text{ Hz}$ 일 때 측정된 거리에 따른 차 주파수를 나타내고 있는데, 이는 비선형 특성의 영향으로 완전한 선형성을 나타내지 못하고 있는 것을 보여주고 있다. 그림 12는 그림 4에서 보여주는 트랜시버 IF 출력에 위치한 첫 번째 IF 증폭기의 출력 단에서 삼각파에 실린 차 주파수의 진폭과 위상이 일정한 것을 보기 위하여 디지털 오실로스코프로 측정된 파형이다. 그러나 500 Hz의 삼각파에 실린 차주파수가 비선형 특성에 의하여 차주파수 A, B, C, D가

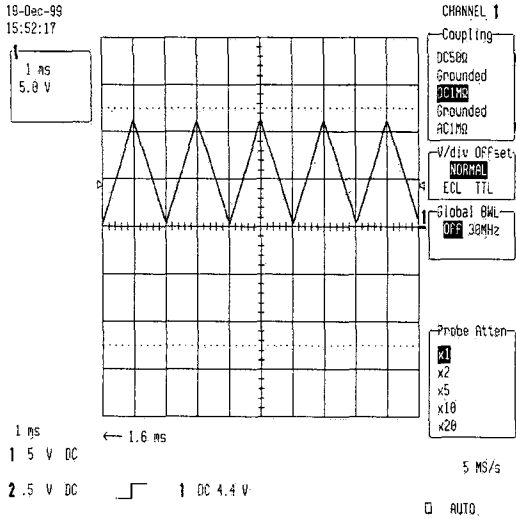


그림 10. 주파수 변조를 하기 위한 삼각파 신호(500 Hz)

Fig. 10. The triangular signal for frequency variation(FM).

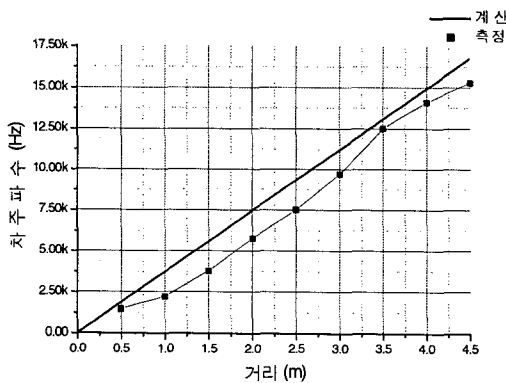


그림 11. 거리에 따라 측정된 차 주파수

Fig. 11. Beat frequencies measured along the distance.

8.3 kHz에서 12.5 kHz까지 변하고 있다.

그림 13과 같이 교내도로에 루프감지기와 본 시스템을 같은 장소에 설치하여 동일차량에 대하여 본 시스템과 루프감지시스템 및 스피드건으로 동시에 측정이 이루어지도록 하였다.

그림 14는 LabView를 이용하여 통과하는 차량의 길이와 속도 데이터를 수집하여 PC화면에서 보여 주고 있다.

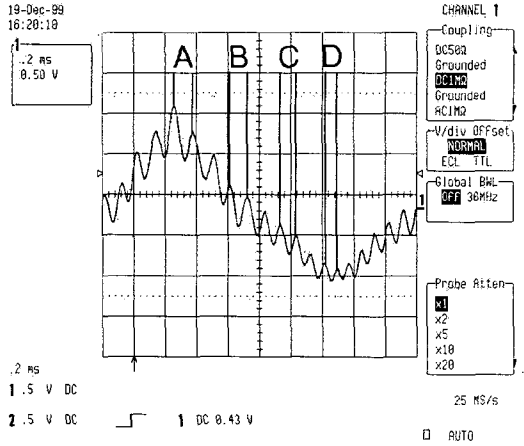


그림 12. 차 신호의 일차 증폭후의 신호를 디지털 오실로스코프로 찍은 파형

Fig. 12. The shape of beat signal amplified first taken with digital oscilloscope.

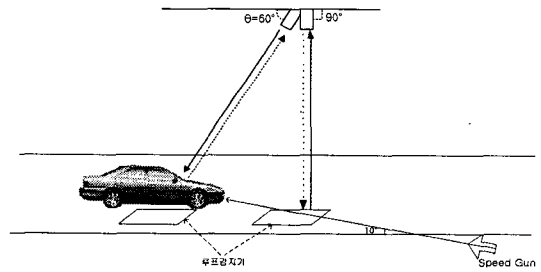


그림 13. 성능측정을 위한 측정시스템 설치

Fig. 13. Installation of measuring system for the performance of the detector.

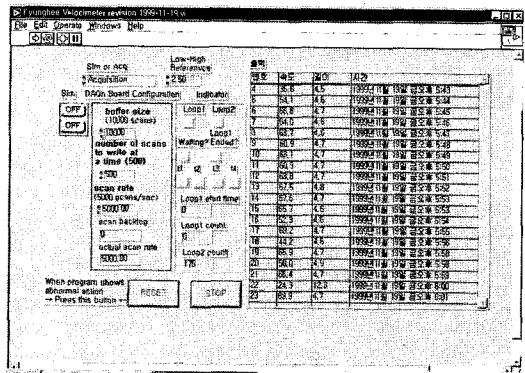


그림 14. 데이터처리 프로그램 화면

Fig. 14. A screen showing data treatment during the program process.

표 1. 본 시스템과 ILD의 속도와 차량길이 측정결과 비교

Table 1. Speed and length comparison of this system with conventional ILD.

구 분 차 종	본 연구		루프		정확도 비교용		정확도(%)	
	속도 (km/h)	차길이 (m)	속도 (km/h)	차길이 (m)	차길이; 제작사 (m)	스피드건 (km/h)	속도	차길이
소 나 타	33.3	4.2	31	5.1	4.71	30	89	89.2
봉 고	40.3	5.2	36	5.4	5.03	40.3	100	96.6
마 티 즈	32.1	3.5	33	4.5	3.50	33.2	97.3	100
엑 셀	34	4.2	27	5.3	4.35	34.1	100	96.6
카 렌 스	28	5.5	28	4.8	4.45	29.4	96.6	76.4
그 랜 저	29.2	4.8	32	5.0	4.75	31.1	94.2	98.9
엑 셀	36.6	4.3	34	5.1	4.35	36.3	98	98.8
버 스	24.8	12.8	26	8.9	11.54	26	95.4	89.1
아 반 테	40.5	4.4	42	5.3	4.45	41	98.8	98.9

본 시스템으로 교내도로에서 총 90대의 차량을 측정된 결과로 속도측정은 스피드건과 거의 비슷한 98%의 정확도가 나왔고, 차량길이는 차량 제작사에서 제공한 차량길이 자료를 기준으로 약 90%의 정확도를 보였다. 기존의 ILD 보다 10% 정도 정확도가 개선된 데이터이다. 표 1은 총 90대의 측정차량 중에 무작위로 추출한 9대 차종에 관한 데이터이다. 좀 더 자세한 데이터를 원하시는 독자는 참고문헌^[7]을 참조하기 바란다.

기존의 교통정보 네트워크와 본 차량감지기 시스템과의 호환을 위하여 VDS의 콘솔단자와 컴퓨터에서 제공하는 RS-232C 표준 인터페이스를 이용하여 차량의 속도 및 길이 데이터를 한 대의 차량을 측정할 때마다 VDS로 전송하였다.

IV. 결 론

FMCW 고도계 기술과 도플러 레이더 기술을 이용하여 ITS 기반을 이루는 차량감지기를 개발하였다. 기존 루프감지기에 비하여 약 10% 이상 정확한 차량 정보를 알아 낼 수 있었다. FMCW 고도계에서는 한 지점에서의 차량점유 시간을 측정하고 도플러 레이더에서는 차량의 속도를 측정하여 통과차량의 속도와 길이를 파악하였고, 영상감지기와는 다르

게 밤낮, 그리고, 안개와 연기 등에 영향을 받지 않는다는 점이 본 차량감지기의 특징이다^[11]. FMCW 고도계에서 비선형 특성을 줄이고자 아날로그 스위치를 사용하여 VCO에 입력된 삼각파의 전압이 비교기를 이용하여 3~5 V 사이에서만 IF신호가 출력되도록 하여 비선형성을 줄임으로서 차량의 점유, 비점유를 정확히 감지하도록 하였다. 향후 트랜시버 내의 VCO의 비선형성을 줄이고 신호처리에 PC대신에 MCU(Micro Controller Unit)를 이용하여 저가격, 고성능, 경량의 고도계를 개발할 계획이고, 트랜시버를 한 개만 사용하여 속도와 차량길이를 알아 낼 수 있는 차량감지기를 개발할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] A. G. Stove, "Obstacle Detection Radar for cars", *Electronics & Communication Engineering Journal*, pp. 232-240, Oct., 1991.
- [2] M. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, 2nd ed., New York, McGraw Hill, 1990.
- [3] *Advanced Traffic Detection; Emerging Technologies and Market Forecast*, Transport Technology Publishing, 1995.
- [4] *Traffic Control Systems Handbook*, U.S. Depa-

rtment of Transportation Engineer, 1985. 12.

- [5] H. D. Griffiths, "New Ideas in FM Radar", *Electronics & Communication Engineering Journal*, pp. 185-194, Oct., 1990.
- [6] 정재영, 김인석, "CW 레이더와 자계기술을 복합한 새로운 차량감지기 개발", 한국전자파학회, 제10권, 제4호, pp. 564-581. 1999. 12.
- [7] 김인석, "미약전파를 이용한 새로운 차량감지기 개발", 한국도로공사, Dec., 1999.
- [8] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison

Wesley, 1998.

- [9] M. Skolnik, *Radar Handbook*, McGraw Hill, pp. 14.27, 1989.
- [10] L. K. Wells, *The LabView Student Edition User's Guide*, Prentice Hall, 1995.
- [11] G. L. Duckworth, M. L. Frey, C.E. Reme, S. Ritter, and G. Vidaver, "Comparative study of non-intrusive traffic monitoring sensors", *SPIE*, vol. 2344, Intelligent Vehicle Highway Systems, pp.16-29, 1994.

정 기



1998년 2월: 경희대학교 물리학과 (이학사)
 1999년 3월~현재: 경희대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 초고주파 주파수 혼합기, Radar 응용기술

김 인 석



1974년 2월: 경희대학교 전자공학과(공학사)
 1980년 8월: KBS 기술사원
 1984년 2월: Univ. of Ottawa, School of Engineering, Dept. of Electrical 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
 1999년 : 스위스연방 공과대학 방문교수, ETRI 초빙연구원, Motorola EMLab 방문연구원
 1992년~현재: 경희대학교 전자정보학부 부교수, 한국전자파학회 이사, 주파수심의위원
 "IEEE Transactions MTT 2000년도 논문편집위원"
 [주 관심분야] 초고주파 비선형회로, 시간영역의 수치해석기술(FDTD와 TLM), Radar의 응용기술, EMI/C(전자파와 생체영향, 주파수관리 등)

정 재 권



1999년 2월: 경희대학교 전자공학과(공학사)
 1999년 3월~현재: 경희대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 초고주파 발전기, 자동차 충돌방지 시스템

부 록 [루프 감지기의 측정 알고리즘]

기준에 도로표면에 매설되어 있는 루프감지기 (ILD : Inductive Loop Detector)는 기본적으로 차량 길이를 측정하여 차종분류를 하고, 차량속도를 측정하여 실시간으로 분석·처리하여 중앙관리센터 (Control Center)로 그 자료를 일정 시간 간격으로 전송한다. 차량 속도는 그림 A-1과 A-2와 같이 2개 차량감지기의 출력의 시간차를 이용하여 측정되며 각 차량의 순간속도를 계산하고 단위 시간당 평균하여 중앙관리센터로 전송한다.

$$\text{속도 (km/hr)} = \frac{\text{감지기매설거리}(\ell)}{\text{통과시간}(t)} \quad (\text{A.1})$$

여기서 감지기 매설거리 ℓ 은 2개의 감지기 매설간격(m)인데 국내에서는 보통 3 m에서 5 m의 거리간격을 유지한다. 그리고 통과시간(t)은 2개의 감지기 사이에 차량이 감지되는 시간(Hour)이다. 그리고 평균속도는 식 (A.2)과 같이 계산된다.

$$\text{평균속도(km/hr)} = \frac{\sum \text{각차량의 순간속도}}{\text{단위시간내의 차량대수}} \times \text{보정계수} \quad (\text{A.2})$$

차량길이는 그림 A-2와 같이 두 개의 Loop를 동시에 점유하고 있는 시간과 차량속도에 의해서 계산되어진다.

$$\text{차량길이 (m)} = \text{차량속도(m/sec)} \times T_{ab} \quad (\text{A.3})$$

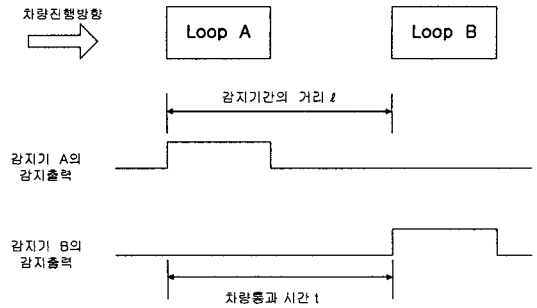


그림 A-1. 속도감지를 하기 위한 Loop A와 Loop B의 펄스 형태

Fig. A-1. Shape of pulse of Loop A and B to detect velocity.

감지기의 데이터스캔 주기는 그림 A-3과 같이 최소 10 msec에서 100 msec 단위로 증가시킬 수 있도록 하면서 최대 초당 100회 스캔을 한다.

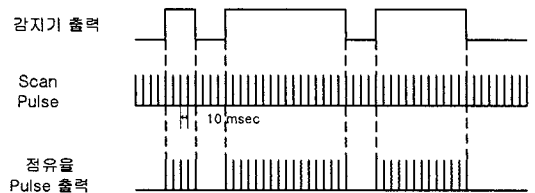


그림 A-3. 감지기의 데이터 스캔 주기

Fig. A-3. Data scan rate of detector.

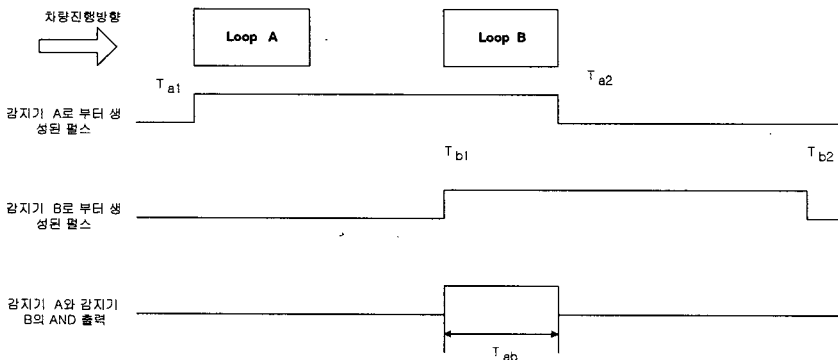


그림 A-2. 차량길이를 감지하기 위한 펄스의 형태

Fig. A-2. Shape of pulse to detect length of vehicle.