

## 고정밀 레이저 변위기용 반사 광량 측정 기법

# The Measurement Method of Reflected Intensity of Radiation for High Precision Laser Range Finder

배영철\*, 조의주\*, 이현재\*, 김성현\*\*, 김현우\*\*\*

Young-Chul Bae\*, Eui-Joo Cho\*, Hyen-Jae Lee\*, Sung-Hyen Kim\*\* and Hyeon-Woo Kim\*\*\*

### 요 약

고정밀 레이저 변위기에서 측정하고자하는 목표물인 표적으로부터 반사되어 돌아오는 반사광의 강도에 따라 에벌런치 포토다이오드(APD; Avalanche Photo Diode) 출력신호의 위상 지연이 발생한다. 이 위상지연에 의한 차이는 측정오차의 주요 원인이 되나 이를 측정하기 위한 적절한 계측기와 측정 방법이 없었다. 본 논문에서는 이들 문제를 해결하기 위하여, APD의 수신회로에 반사광량에 비례하는 출력 DC 전압을 측정하여 실시간으로 반사광의 강도를 측정할 수 있는 광량 측정기법을 제시하고 구현하였다.

### Abstract

The phase delay of output signal of APD(avalanche photo diode) caused by intensity of reflected light which comes from target. These difference of phase delay is an one of the main reason of measurement error, but there is no reasonable measurement meter and method to detect it. In this paper, to solve the problem, we propose and implement a method to measure the intensity of radiation. The method measures DC voltage which is proportional to the reflected intensity of radiation and come out from APD in receiver by realtime.

Key words : Laser Range Finder, Reflected Light Measurement, Laser Displacement Measurement

### I. 서 론

최근 대부분의 산업 설비는 자동화 설비로 구성되어 있다. 제품의 경쟁력이 요구되는 자동화산업 설비 시스템에서는 더 많은 생산과 더 우수한 품질의 제품 생산을 요구하고 있다. 또한 선진국에 진입하면서 산업설비의 안전에 대한 관심도 매우 높아지고 있다. 이러한 요구를 반영하여 산업 설비 및 공장자동화 설

비에서 보다 정밀하게 거리 및 방위를 측정하고자 하는 노력이 지속되고 있다. 정밀한 거리 및 방위 측정을 위한 방법으로는 초음파, 레이저 등이 이용되고 있다. 이 중에서 레이저를 이용한 거리 및 방위 측정 기술이 최근 많은 관심을 받아왔으며 많은 관련 제품이 상품화되어 현장에 적용되고 있다. 레이저를 이용한 레이저 측정 기법은 측정하고자 하는 대상 물체를 표적으로 하여 측정원으로부터 레이저를 표적에 발

\* 전남대학교 공학대학 전기전자통신컴퓨터공학부

\*\* 전남대학교 공학대학 생명화학공학부

\*\*\* 전남대학교 공학대학 건설환경공학부

· 제1저자 (First Author) : 배영철

· 투고일자 : 2009년 2월 4일

· 심사(수정)일자 : 2009년 2월 5일 (수정일자 : 2009년 2월 16일)

· 게재일자 : 2009년 2월 28일

사시킨 후 표적에서 되돌아오는 레이저의 파장을 측정하여 레이저를 발생시킨 장소와 목표물까지의 거리를 정밀하게 측정하는 기술을 말한다. 레이저를 이용한 측정 기술은 산업용, 과학용뿐만 아니라 레이저용, 군사용 등에 원격 표적 거리에서 반사 및 무반사 기법을 이용하여 측정 대상 물체를 접촉하지 않고 측정을 수행하는데 폭넓게 사용되고 있다.

레이저 계측 기술의 사용 용도가 군사용, 산업용, 레이저용, 과학용에서 공통적으로 요구되는 사항은 고정밀, 높은 신뢰성, 소형화, 경량화, 최소 측정 거리, 최대 측정 거리 등이며 이들 요구 사항들은 대부분 오차로 인하여 그 성능을 만족시키는 것이 쉬운 일은 아니다[1-3]. 산업용 레이저 거리 계측기의 경우 거리가 1km 이내, 측정오차도 1-10 mm 이내를 요구하고 있다[3].

현재 상업적으로 유용한 측정 기술들은 장거리 측정에 적합한 시간-비행 기법(time-of-flight methods)을 적용하거나 단거리 측정에 더욱 적합한 삼각 측량 기법(triangulation)을 적용하고 있다.[1,2]

일반적으로 레이저 거리 계측기에 사용하는 소자로는 레이저 다이오드(LD), 주제어 장치(MCU), 각종 신호들을 혼합하는 혼합기, 전치 증폭기, 카운터 이외에 많은 소자들이 사용되고 있다. 이들 소자들을 사용하기 위해서는 각 소자마다 소자들의 클럭을 처리하기 위한 발진기를 부착해야 한다. 클럭이 많다는 것은 클럭간의 동기화를 맞추기 어려워 오차가 발생하며 이를 해결하기 위한 방법을 제시하여 여러 개의 주파수 발진을 하나의 발진기에 삽입하여 원하는 주파수를 마음대로 조정하여 레이저 거리계에서 발생하는 오차를 줄였으나[4] 모든 오차를 해결했다고 보기는 어렵다.

레이저 광은 반사경과 표적을 통하여 반사될 때 표적의 반사율, 빛의 세기가 거리의 제곱에 반비례하여 감소하고 빛의 경로상의 산란 등 원인으로 광량이 감소하게 됨에 따라 광검출기에 도착한 빛의 세기는 목표물의 거리 및 경로 조건에 따라 달라져 거리 측정의 오차 원인이 된다.

이에 본 연구에서는 측정하고자하는 목표물인 표적으로부터 반사되어 돌아오는 반사광의 강도에 따라 애벌런치 포토다이오드(APD; Avalanche Photo

Diode)에 출력신호의 위상 지연이 발생하며, 이 위상 지연 차로 인한 레이저 변위기 측정오차가 매우 클 뿐만 아니라 이를 측정하기 위한 적절한 계측기가 없다는 문제점을 해결하기 위한 방법으로 실시간으로 정밀한 광량 측정기법을 제시하였다.

제시한 기법에 따라 실시간으로 반사광의 강도를 측정할 수 있어 오차를 줄이는 고정밀 거리 계측기 구현이 가능하다.

## II. 레이저 변위계

### 2-1 레이저 변위계의 원리 및 구조[3-5]

일반적으로 레이저 변위계는 렌즈, 프리즘, 거울로 구성된 외부 간섭계인 광학 트랜스듀서를 가지고 레이저 빛 또는 백색광을 이용하여 판독하는 구조로 구성되어 광주파수에서 레이저 빔의 위상 변위 차인 주파수 변화를 측정함에 의해 표적과의 거리를 측정하는데 사용한다. 최근에는 보다 정밀한 측정 요구에 부응하기 위하여 이러한 기본 구조에 전자부품과 광학 회로가 추가되는 변형된 구조가 발표되고 있다[4].

레이저 변위계의 측정 원리는 호모다인(homodyne) 또는 헤테로다인(heterodyne) 기법을 이용하는데 이는 주파수에서의 변화가 원래의 레이저 주파수와 동일하거나 또는 거의 근접한 일정 주파수의 빛을 가진 산란된 빛의 혼합에 의해 측정하는 방식이다. 호모다인 시스템은 (Mach-Zehnder interferometers) 기초하여 설계된다[6].

본 연구에서 사용한 레이저 변위기의 기본 구조는 마이켈슨 간섭기 또는 마하젠더 간섭기의 원리에 기초하여 설계하였으며 그 구성은 FPGA, 레이저 구동부, APD, 전치 증폭부, 위상 출력부, 레이저 송수신을 위한 구동부, 제어부, MCU로 구성되며 이를 그림 1에 나타내었다. 레이저 변위기는 레이저 다이오드(LD)에서 발생시킨 레이저 빛을 표적을 향해 발생시키면 빛은 빔 분리기(beam splitter)에 의해 2 방향으로 나뉘어 진행된다. 한 방향은 전체 빛의 5[%] 미만 정도의 빛의 일부분을 빔 분리기를 통하여 반사거울(mirror)로 향한 후 반사되어 다시 빔 분리를 통하여

광검출기로 되돌아오며 이 신호를 기준신호라고 부른다. 빛의 다른 한 방향은 나머지 95[%] 대부분 빛을 이 빔 분리기를 통하여 표적을 향해 비행한 후 표적에 닿으면 반사되어 다시 빔 분리기로 되돌아와 빔 분리기를 통하여 광검출기에 도착하게 된다. 광 검출기에서는 반사경을 통하여 되돌아 온 기준 신호와 표적을 통하여 반사되어 온 빛의 위상차를 계산하여 거리를 구하는 구조로 구성되어 있다.

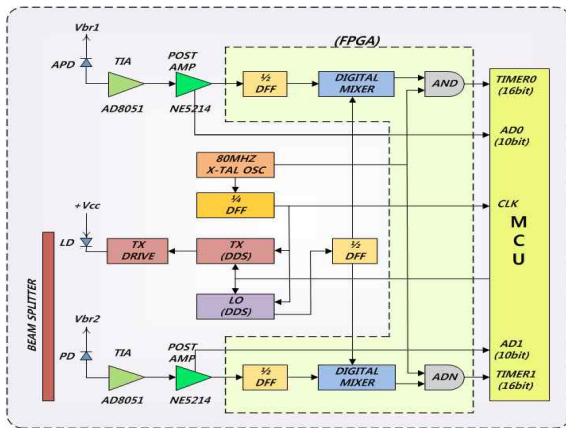


그림 1. 레이저 변위기의 기본 구조  
Fig. 1 The Basic structure of laser displacement

2-2 통합 클럭 시스템[4]

그림 1의 기본적인 레이저 변위기 일반적으로 MCU, 카운터, 레이저의 송신 및 수신 구동부에 적어도 1 개의 클럭 즉 적어도 4개 이상의 클럭 발생 회로가 필요하다. 또한 각 클럭 발생회로들은 서로 다른 클럭 주파수를 생성하기 위한 회로로 크리스탈 발진기인 PLL 회로를 사용하기 때문에 클럭 주파수에 대한 상호간 동기를 맞추기 어려워 고정밀 계측에 장애가 된다는 문제점을 가지고 있다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 4개의 클럭을 하나의 클럭 시스템으로 구성하여 공동으로 사용하는 기법을 그림 2와 같은 원리로 제시하여 구성한다. 이는 1개 클럭만을 사용함으로써 회로가 간단하고, 클럭간의 동기화를 맞추는 필요가 없으며 소수점 2자리까지의 주파수를 계산하여 사용할 수 있을 뿐만 아니라 원하는 주파수 대역의 클럭을 마음대로 제작할 수 있다는 장점을 가진다.

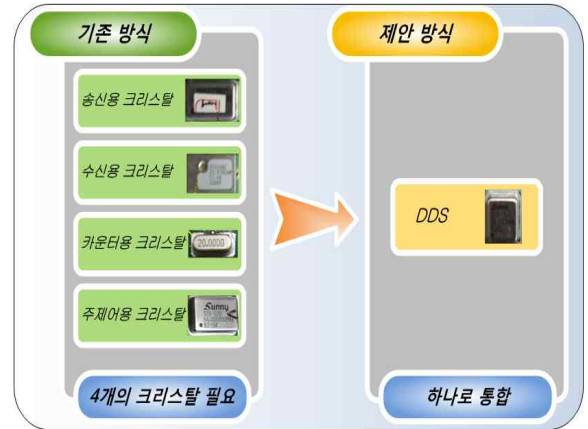


그림 2. 통합 클럭 시스템  
Fig. 2 Integrated clock system

2-3 디지털 복조 시스템[4]

디지털 복조회로에서 오차율을 0.02[%] 이내를 줄이기 위하여 정현파와 국부발진기의 구형파 듀티 (duty) 비를 50[%] 맞추는 것이 요구되며 이를 구현한 디지털 복조 시스템을 그림 3에 나타내었다.

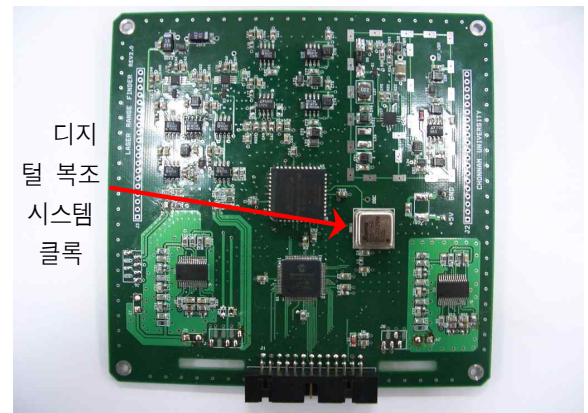


그림 3. 디지털 복조 시스템 구현  
Fig. 3 Implementation of digital demodulation system

Ⅲ. 반사 광량 측정 회로

레이저의 변위계에서 발생하는 오차의 원인은 다양하며[7], 그 오차를 줄이기 위한 노력에 집중하고 있다. 일반적으로 레이저 변위계에서 가장 큰 오차는 APD 위상 지연차에 의한 측정오차이다. 이 오차는 측정하고자 하는 물체의 표적에 반사되어 돌아오는 반사광의 강도에 따라 APD 출력신호에서 위상 지연

의 발생으로 인한 오차를 말한다. 이 오차가 매우 크  
에도 불구하고 현재 정확한 측정 회로가 개발되어 있  
지 않아 오차를 측정하지 못함은 물론 오차를 줄이기  
위한 노력도 할 수 없는 상황이다.

이 오차를 측정하기 어려운 이유는, 반사광의 강  
도를 측정하여 위상 지연 차를 보정하여 주어야하는  
데 측정을 하기 위한 광 변조파가 서로 달라 정밀한  
광량을 측정하기가 곤란하기 때문이다. 이에 본 연구  
에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여, APD의 수  
신회로에 반사광량에 비례하는 출력 DC 전압을 측정  
하면 실시간으로 반사광의 강도를 측정할 수 있다는  
점에 주목하여 정밀한 반사광을 측정할 수 있는 회로  
를 개발하였다.

### 3-1 측정 원리

표적 물체에 맞고 반사되어오는 반사광의 강도가  
높으면 높을수록 APD 수신회로의 출력 DC 전압은  
낮아지며, 수신된 변조파의 최대값은 커진다. 반대  
로 강도가 낮으면 낮을수록 출력 DC 전압은 높으며  
변조파의 최대값은 낮아진다.

이러한 원리를 그림 4에 나타내었다. 일반적으로  
실제 수신 변조파의 최대값은 출력 DC 레벨에 비하  
여 최대 4 [%]에 불과하나 그림 4에서는 이해를 돕기  
위하여 수신된 변조파의 출력신호를 보다 크게 표현  
하였다.

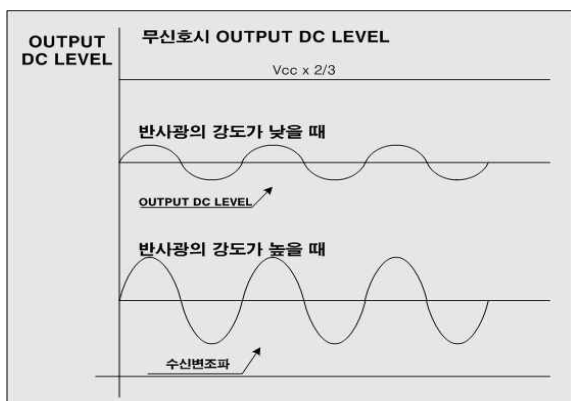


그림 4. 반사 광량 측정 원리  
Fig. 4 The Principle of intensity of reflect

### 3-2 측정 회로

그림 4의 반사광량의 측정 원리를 이용하여 그림  
5와 같은 측정회로를 구현하였으며 그림 5에 기반한  
실제 주변 회로의 블록 다이어그램을 그림 6에, 기판  
에 실장하여 구현한 한 시스템을 그림 7에 나타내었  
다.

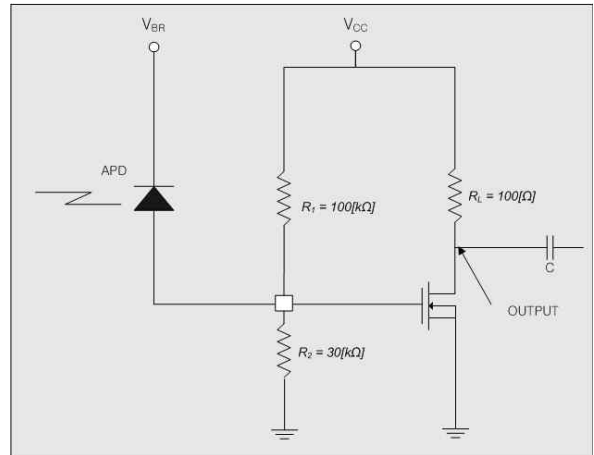


그림 5. 반사광량 측정 회로  
Fig. 5 Measurement circuit of intensity of reflect

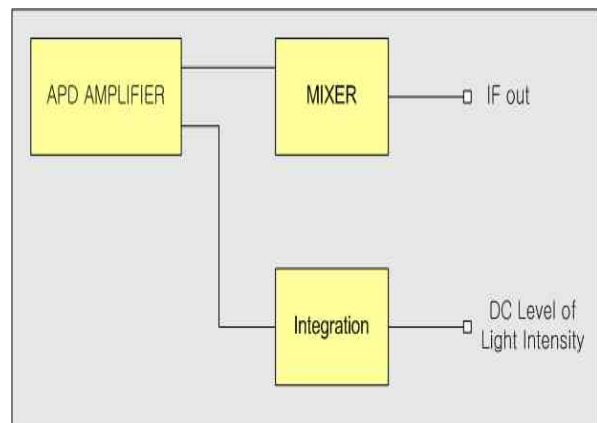


그림 6. 반사광량 블록 다이어그램  
Fig. 6 Block diagram of intensity of reflect

## IV. 실험 및 고찰

그림 5와 그림 6의 AMP 회로는 I-V 컨버터 기능  
과 고이득의 증폭회로의 기능을 겸하도록 구성되어  
있다. APD의 출력전류는 MOSFET의 출력전압으로  
나타나며 그 이득은 약 60 [dB]이다.

본 실험에서는 광량이 전혀 없을 때 MOSFET의 드레인(drain)측 DC 전압  $V_d$ 은 식(1)과 같이 되도록 정하였다.

$$V_d = V_{cc} \times \frac{2}{3} \quad (1)$$

식(1)의 조건을 만족하도록 그림 4와 그림 5에서 저항  $R_1 = 100[k\Omega]$ ,  $R_2 = 30[k\Omega]$ 의 값으로 정하고 드레인 전류  $I_d$ 가 약 15~20[mA]가 흐르도록  $R_L = 100[\Omega]$  값을 정하였다.

본 연구에서 실험 할 때  $V_{cc} = +5[V]$ ,  $I_d = 17[mA]$ ,  $R_L = 100[\Omega]$  이었으며, 신호가 없을 때 드레인 전압  $V_d = 3.3[V]$ 의 값으로 측정되었다.

게이트 전류 대 출력전압은 식(2)과 같이 나타낸다.

$$V_d / I_g = 60[dB] \quad (G = 1,000) \quad (2)$$

$I_g$ 가  $\pm 1 [uA]$ 일 때  $V_d \pm 1 [mV]$ 이며, APD의 동적 범위(dynamic range)는 일반적으로  $\pm 20 \sim 50 [uA]$ 이므로  $V_d$ 는  $\pm 20 \sim 50 [mV]$ 가 된다.

그러나, 레이저 변위계의 측정용 광은 직접 광변조 방식으로 적용하고 있기 때문에 레이저광의 세기가 APD의 출력 오프셋(offset) 전류로 변환되며 APD의 오프셋 전류가 곧 입사광의 세기와 정확하게 일치하게 된다. 또한 이 오프셋 전류가 변조파의 변동분과는 별도로 MOSFET의  $V_d$ 에 입사광의 강도에 정비례하여 나타남을 알 수 있다.

4-1 실험 결과

그림 8에 그림 7을 통하여 얻어진 출력 전압 레벨을 나타내었으며 이는 식(1)과 식(2)을 통하여 계산한 결과와 정확하게 일치함을 알 수 있다.

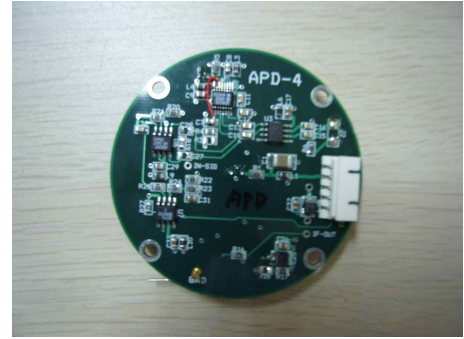
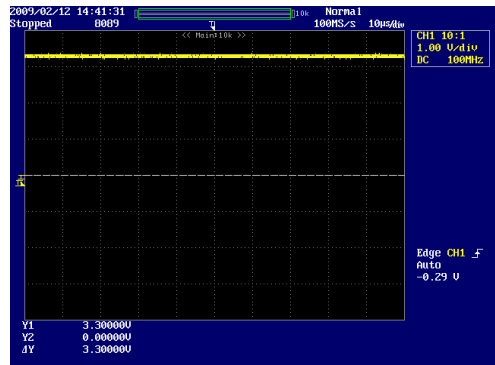
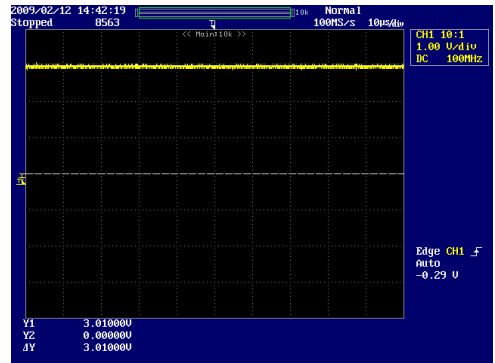


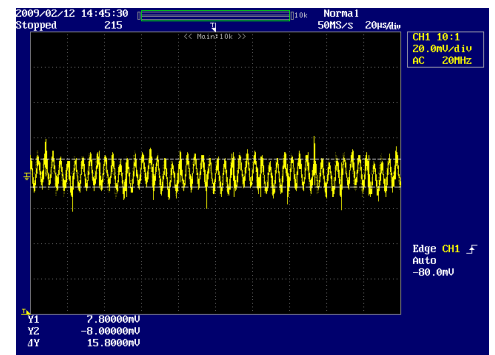
그림 7. 구현 회로  
Fig. 7 Implement of circuit



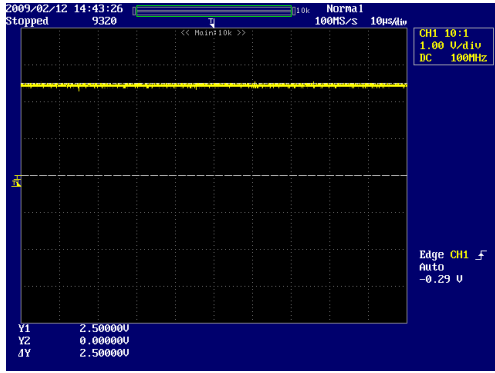
(a) 무신호시  $V_d$  오프셋 출력전압(직류 3.30V)



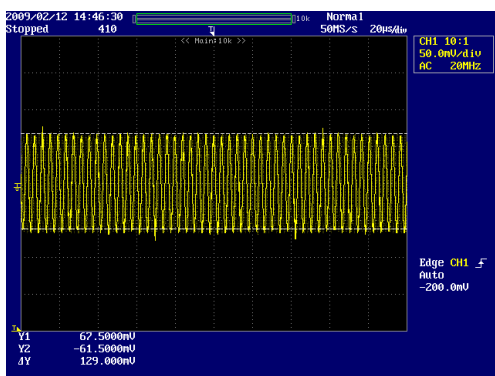
(b) 반사광의 강도가 약할 때의 DC 오프셋 출력전압(직류 3.01V)



(c) 수신된 변조파 출력신호 (주파수:250KHz, 최고전압:8mV)



(d) 반사광의 강도가 강할 때의 DC 오프셋 출력전압(직류 2.50V)



(e)수신된 변조파 출력신호 (주파수:250KHz, 최고전압: 65mV)

그림 8. 측정 결과

Fig. 8. Measurement result.

### V. 결론

본 연구에서는 레이저의 변위계에서 발생하는 다양한 오차의 원인 중 가장 큰 오차는 APD 위상 지연 차에 의한 측정오차를 측정하기 위한 측정 회로 개발하였다. 개발한 방법은 APD의 수신회로에 반사광량에 비례하는 출력 DC 전압을 측정하면 실시간으로 반사광의 강도를 측정할 수 있도록 하였으며, 이 회로 개발로 레이저 변위계에 발생하는 오차를 직접 실시간으로 측정 가능하므로 오차를 줄일 수 있음을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

### 참 고 문 헌

- [1] S. Donati, *Electro-Optical Instrumentation*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-hall, 2004.
- [2] M. C. Amann, T. Bosch, M. Lescure, R. Myllyla, and M. Rioux, "Laser ranging: A critical review of usual techniques for distance measurement," *Opt. Eng.*, vol. 40, no. 1. pp. 10-19, 2001.
- [3] 배영철, 김이곤, 박종배, 김천석, 조의주, 서종주, 이지모프, 구영덕, "고정밀 레이저 거리 계측기 개발에 관한 연구", *한국해양정보통신학회논문지*, 10권 12호, pp. 2296-2302, 2006.
- [4] 배영철, 박종배, 조의주, 강기웅, 강건일, 김현우, 김은주, "고정밀 레이저 거리 계측기용 디지털 복조 회로 개발에 관한 연구", *한국해양정보통신학회 논문지*, 12권 4호, pp. 730-736, 2008.
- [5] M.J. Rudd, "A laser Doppler velocimeter employing the laser as a mixer-oscillator", *J. of Phys. E*, vol. 1, pp. 723-726, 1968.
- [6] J. W. Foreman, E. W. George and R. D. Lewis, "Measurement of localized flow velocities in gases with a laser Doppler flowmeter", *Appl. Phys. Lett.* vol. 7, pp.77-78, 1965.
- [7] 배영철, 박종배, 조의주, 강기웅, 강건일, 김현우, 김은주, "고정밀 레이저 변위를 위한 레이저 반사 신호 레벨의 변동최소화 기법에 관한 연구", *한국 전자통신학회논문지* 제 3권 제1호, pp. 12-18, 2008.



## 배 영 철(裴英哲)



1984년 2월 : 광운대학교 전기공학과(공학사)

1986년 2월 : 광운대학교대학원 전기공학과(공학석사)

1997년 2월 : 광운대학교대학원 전기공학과(공학박사)

1986년 ~ 1991년 : 한국전력공사

1991년 ~ 1997년 : 산업기술정보원 책임연구원

1997년 ~ 2006년 : 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수

2006년 ~ 현재 : 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부 부교수

관심분야 : 레이저 거리계, 비선형 시스템, 비선형 제어, 카오스

## 조 의 주(曹義周)



1999년 2월 : 여수대학교 전자통신공학과(공학사)

2002년 2월 : 여수대학교 전자통신공학과(공학석사)

2004년 8월 : 여수대학교 전자통신공학과(공학박사 수료)

관심분야 : 의료정보통신, 무선이동통신

## 이 현 재(李賢宰)



2008년 2월 : 전남대학교 전자통신공학과(공학사)

2009년 : 전남대학교 전자통신공학과 석사과정

관심분야 : Wireless Sensor Network, RFID, 마이크로프로세서, 안테나 공학

## 김 성 현 (金成炫)



2008년 2월 : 전남대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)

2009년 2월 현재: 전남대학교 생명·화학공학과 재학중(공학석사)

관심분야 : 프로그래밍, 초임계

## 김 현 우 (金鉉宇)



2006년 2월 : 여수대학교 해양토목공학전공 (공학사)

2008년 8월 : 전남대학교 건설·환경공학과 (공학석사)

2008년 9월 : 전남대학교 건설·환경공학과 (박사과정)

관심분야: Optical fiber sensor, FBG sensor, structure health monitoring, 유한요소해석, 구조물 수치해석 등