

---

# 산업용 레이저 거리 계측기 개발

배영철\* · 김천석\* · 김이곤\* · 조의주\* · 박종배\*

## The Development of Industrial Laser Range Finder

Young-chul Bae\* · Chun-suk Kim\* · Yi-gon Kim\* · Eui-joo Cho\* · Jong-bae Park\*

### 요 약

레이저 거리 계측기는 과거에 주로 군사용으로 사용되어 헬기나 전차에 탑재하여 목표물과 발사체와의 거리를 측정하는데 사용하였다. 따라서 군사용의 경우 측정 거리가 수 km에서 수십 km까지의 범위이며 측정하고자하는 오차도 5m 내외였다. 이와 같이 군사용 사용하던 레이저 거리 계측기를 산업용에 사용하고 자 하는 노력이 계속되고 있으며 이에 본 논문에서는 산업용에 적용할 수 있는 산업용 레이저 거리 계측기를 개발하고 그 유용성을 검증하였다.

### ABSTRACT

The Laser distance instrument in past was used mainly with military affairs and the helicopter loaded measures the distance with target and the firing body used in the tank. The military suspicion case measurement distance was scope until of tens km consequently from possibility km and under measuring should have been boiled the low error was 5m husbands and wives. Like this under using should have been boiled the effort was being continued the Laser distance instrument will be able to apply in industry from the present paper hereupon and the usability developed verified.

### 키워드

Distance Instrument, Military, Laser, 무인화

## 1. 서론

레이저 거리 측정 기술은 레이저를 이용하여 레이저를 발생한 장소에서 레이저를 발생 시킨 후 목표물에서 되돌아 오는 레이저의 파장을 측정하여 목표물까지의 거리를 원격으로 측정하는 기술을 말한다. 과거에는 주로 이 레이저 거리 측정 기술이 레이저 및 부품 등의 가격이 비싸고 기술적인 난이도 때문에 주로 군사용 사용되어 헬기나 전차에 탑재하여 발사체와 목표물과의

거리를 측정하는데 주로 사용하였다. 따라서 주로 군사용으로 사용되었기 때문에 측정거리도 수 km에서 수십 km 정도이고 측정오차도 5~10m 정도였다. 군사용의 경우 5~10m의 오차라도 매우 정밀한 급에 속한다. 최근에는 이 레이저 거리 계측기를 군사용에서 산업용에 적용하고자 하는 노력을 계속하고 있다. 레이저 거리 계측기를 산업용에서 상용화 하기 위해서는 정밀도와 신뢰도, 소형, 경량화가 필수적이다. 레이저 거리 계측기는 자동화 산업 현장의 무인화 시스템, 선박 접안시

---

\* 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부  
심사완료일자 : 2007. 11. 24

접수일자 : 2007. 10. 13

배의 파손을 막기 위한 거리 측정, 무인 과속 감지기, 차량 충돌 방지 시스템 등에 적용 가능하다. 산업용 레이저 거리 계측기의 경우 산업 현장의 무인 요구 장소 등의 특성에 의해 군사용에 비해 측정거리가 1km 이내로 짧고 측정오차도 1~10mm 이내를 요구하고 있다.

레이저 빛의 직진성과 높은 반사율의 특성을 이용하여 정밀한 거리 측정이 가능하다. 그러나, 반사되어 돌아오는 빛의 세기는 거리 및 반사물체의 표면 상태에 따라 변화가 심하여 이 빛의 세기의 강약에 의한 측정 오차 변동 폭이 크게 나타난다. 이런 경우 측정 횟수를 크게 늘려 평균값을 구하여 거리 오차 폭을 감소시키고 있으나, 측정 반복 횟수에 비례하여 측정 시간이 길어져서 고속 주행하는 설비에는 적용하기가 적절치 않다.

이에 본 연구에서는 또한 빛의 세기에 크게 영향을 받지 않고 정밀한 거리계측과 측정 속도를 대폭 개선할 수 있는 기술로서 5m 단위의 거리 계측에는 pulsed time of flight 방법을 사용하고, 1mm 단위의 계측에는 헤테로다인 방법을 적용하여, 장거리 계측이 가능하게 함과 동시에 측정오차 1mm 이내, 측정 거리 1km 이내의 산업용의 거리 계측이 가능한 방법을 개발하고 그 유용성을 검증하였다.

## II. 레이저 거리 측정기

### 2.1 레이저 거리 계측기의 구성

산업용 산업용 레이저 거리 계측기는 PLL& 레이저 구동부, APD와 전치 증폭부, 위상 출부, 제어부와 이를 연결하는 마이크로프로세서로 구성되며 이를 그림 1에 나타내었다.

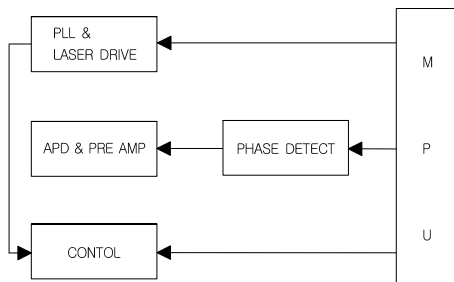


그림 1. 레이저 거리 측정기의 기본 구조  
Fig. 1 Basic structure of laser rangefinder

### 2.2 Pulsed time of flight

#### 2.2.1 Pulsed time of flight 방법에 의한 거리 계측

장거리 측정에 적합한 방법으로 그림2 와 같이 나타내며 펄스의 왕복 시간을 측정하여 거리를 계측하는 방식으로 측정거리는 식 1과 같이 나타낸다.

$$d = c \cdot \Delta t / 2 \tag{1}$$

여기서 d는 목표물과의 거리, Δt는 레이저 펄스의 왕복 시간, c는 빛의 속도  $c = 3 \times 10^8$ [m/s]이다.

#### 2.2.2 Δt 측정방법

pulse를 발사하는 시점과 펄스가 되돌아오는 시간의 차를 구하기 위해서는 카운터용 주파수(100MHz)를 사용하고 수신된 신호를 구형파로 변환하여 발사시점의 trigger 신호와의 시간차를 식 2를 이용하여 계산하며 이를 그림 3에 나타내었다.

$$t_p = t_0 + \frac{t_w}{2} \tag{2}$$

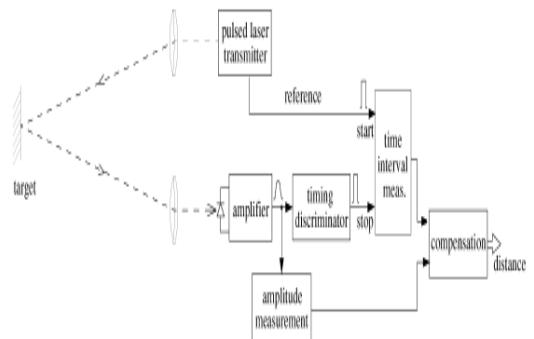


그림 2. Pulsed time of flight 방법에 의한 거리 계측 구성도  
Fig. 2 The configuration of distance instrument by Pulsed time of flight

#### 2.2.3 수신신호의 강약에 의한 오차 보정 방법

미약한 레이저 빛을 수신하기 위해서는 APD(avalanche

photo diode)를 사용하였다. 신호 대 잡음(S/N)비가 우수하

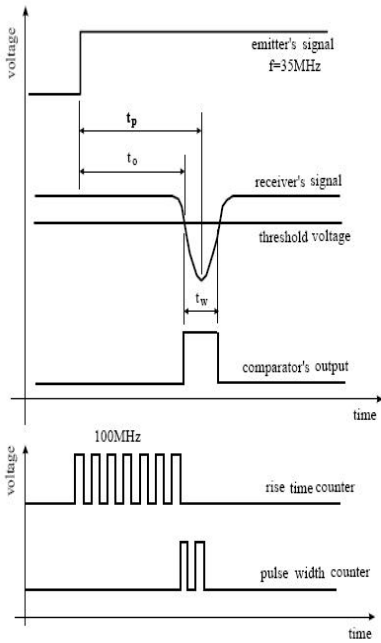


그림 3. Δt 측정방법  
Fig. 3 Δt Measurement method

고 신호 증폭특성이 뛰어난 장점이 있으나, 레이저 빛의 세기에 따른 위상 군지연(group delay) 특성이 강하여 이에 따른 적절한 보완 기술이 필요하다. 일반적으로 알려진 CFD(constant fraction discriminator)회로를 개선하여 threshold의 bias 전압이 자동으로 조절되도록 하였고, 발생하는 pulse 신호를 bipolar pulse 방식을 고안하여 수신신호의 특성을 개선시켰다 이를 그림 4에 나타내었다.

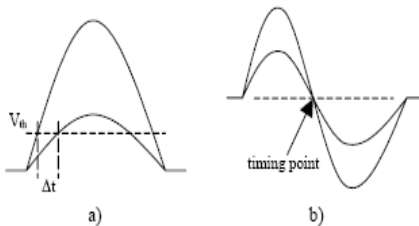


그림 4. 오차 보정 기법  
Fig. 4 Error revision technique  
(a) 개선전의 수신신호의 오차

- (a) Error of improvement intention to fight reception signal
- (b) bipolar 방식을 적용한 CFD의 신호
- (b) Pulsed measuring union of time of flight methods

and Heterodyne methods

그림 4의 a)의 경우 Δt의 오차는 수신신호의 세기에 의하여 변동 폭이 매우 심하나, b)의 경우는 timing point가 매우 안정되어 오차를 개선시키고 있음을 확인할 수 있다.

### 2.3 Heterodyne 방식

#### 2.3.1. Heterodyne 방법에 의한 거리계측

레이저 빛을 최대 측정 거리에 비례하는 주파수 신호로 변조하여 반사되어 돌아오는 빛을 복조한 후 원래의 변조 신호와의 위상차를 검출하여 거리를 측정할 수 있다. 구조는 다소 pulsed time of flight 방법보다 복잡하지만 1 mm 단위의 거리 오차를 갖는 정밀한 계측을 할 수 있는 장점이 있다.

거리에 비례하는 변조 주파수는 다음과 같다.

$$f_m = \frac{c}{2d} \quad [\text{Hz}] \quad (3)$$

여기서 c는  $3 \times 10^8$  [m/s], d는 최대 측정 거리이다.

원래의 변조 신호와 복조된 신호간의 위상차를 직접 검출하면 오차 범위가 확대 되므로 두 신호의 주파수를 위상 측정이 용이한 낮은 주파수로 변환할 필요가 있다. 이 낮은 주파수를 중간 주파수라 하면

$$f_i = f_l \pm f_m \quad (4)$$

식 4에서 국부 발진 주파수( $f_l$ )를 구하여 복조회로에서 원하는 중간 주파수를 얻을 수 있다. 변조 주파수를  $f_i$ 와 동일한 주파수로 변환하여 기준 신호로 사용한다. 이 기준신호를  $f_{ref}$  라 하면 주파수 분배비 N는

$$f_{ref} = f_i, \quad N = \frac{f_m}{f_i} \quad (5)$$

#### 2.3.2 Transimpedance Amplifier(TIA)

변조된 미약한 레이저 빛의 신호를 증폭함에 있어서 전압증폭 방식과 전류신호를 전압신호로 변환하는 방법이 있다. 신호 대 잡음비 특성이 우수한 TIA 방식을 그림5와 같이 적용한다. 그림 5로부터 입력저항과 주파수는 식6, 7과 같이 정리할 수 있다.

$$R_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}} = \frac{R_F}{1 + A_{vol}} \quad (6)$$

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R_{IN} C_{IN}} \quad (7)$$

Dynamic Range는 아래와 같다.

$$De = \frac{(\text{max. input current})}{(\text{peak. noise current})} \quad (8)$$

$$De (dB) = 20 \log \frac{(120 \cdot 10^{-6})}{(\sqrt{2} * 52nA)} \quad (9)$$

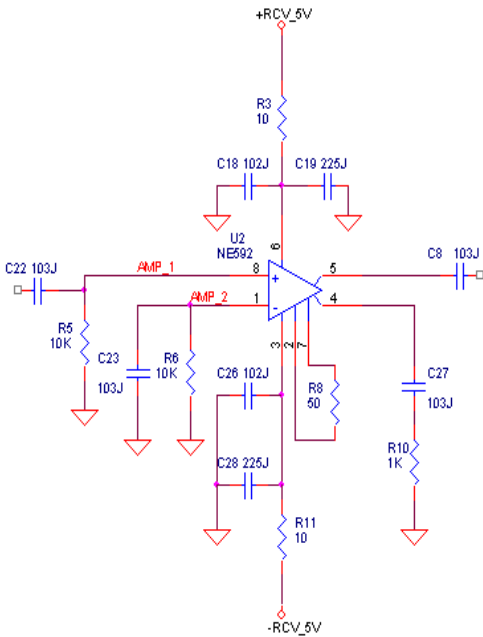


그림 5. TIA 회로도  
Fig. 5 TIA circuit diagrams

### 2.3.3 위상차 검출

위상차 검출을 위해 식 10의 공식을 이용하였으며

tx의 정밀도는 counter clock에 의하여 정하여지며, d.max는 변조신호의 파장에 의하여 정하여 진다.

$$D_{ph} = tx/2 * d.max \quad (10)$$

여기서 tx는 기준신호와의 위상차, d.max : 최대 측정거리이다.

### 2.3.4 Pulsed time of flight 방식과 Heterodyne 방식의 계측 조합

빛의 세기에 크게 영향을 받지 않고 정밀한 거리계측과 측정 속도를 대폭 개선할 수 있는 기술로서 5m 단위의 거리 계측에는 pulsed time of flight 방법을 사용하고, 1mm 단위의 계측에는 헤테로다인 방법을 적용하여 그림 6과 같이 적용하였다.

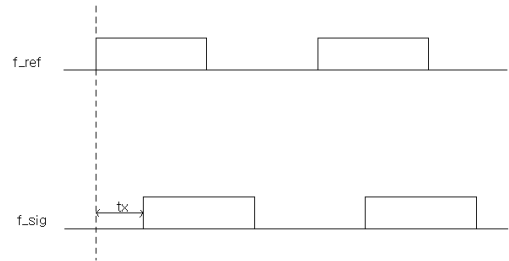


그림 6. Pulsed time of flight 방식과 Heterodyne 방식의 계측 조합  
Fig 6. Pulsed measuring union of time of flight methods and Heterodyne methods

Pulsed time of flight 계산은 식 11과 12를 이용하였으며 Heterodyne 방식에서는 식 13을 이용하였다.

$$t_p = t_0 + \frac{t_w}{2} \quad (11)$$

$$D_{ft} = c \cdot t_p / 2 \quad (12)$$

$$D_{ph} = tx/2 * d.max \quad (13)$$

예를 들어 d.max = 10m라 하면

$D_{ft} = \text{int}(D_{ft} / 10m)$ 가되며 실제측 거리(조합된 거리)는 식 14와 같이 정리할 수 있다.

$$D_{cmb} = D_{ft} + D_{ph} \quad (14)$$

### III. 레이저 거리계측기 구현

#### 3.1 산업용 레이저 거리계측기 구성도

2절에서의 관계이론을 가지고 산업용 레이저 거리계측기를 구성하면 그림 7과 같이 나타낼 수 있다.

#### 3.2 디지털 복조 회로도

본 연구에서는 디지털 복조회로에서 가장 중요한 요건 중에 하나로써 sig 와 Lo의 구형파와 duty 비가 50.000% 정도의 정밀도가 필요하다. 오차를 0.02% 이내를 의미한다. 그러나, 송신 및 수신파의 duty 비를

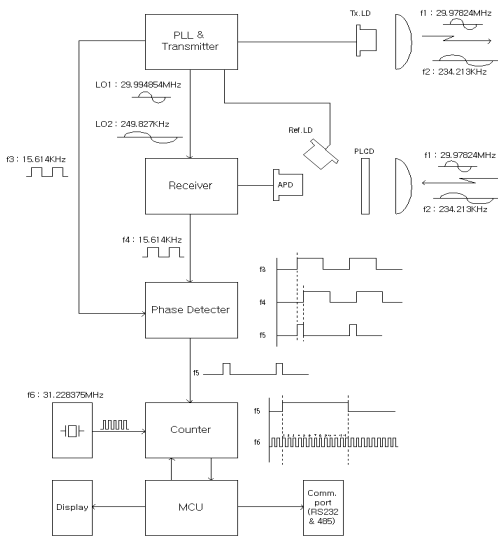


그림 7. 산업용 레이저 거리 계측기의 구성도  
Fig. 7 Block diagram of industrial Laser distance instrument

50.000% 정도의 정밀도를 갖도록 하는 것은 매우 어려운 문제이므로 DDF 로서 duty 비가 50.000% 되도록 구형파를 정형화하여 sig와 Lo의 주파수차 및 위상차를 구하도록 하였다. 회로도의 U1A와 U2A가 duty 비

를 정형화 하고 있다. U1B와 U2B는 sig와 Lo의 주파수 차를 구하는 기능이다. 회로도의 하단부는 측정거리와 비례하는 위상차를 구하는 기능을 하고 있다. 본 연구에서 제안한 디지털 복조 회로도를 그림 8에 나타내었다. 제안한 디지털 복조 회로도는 아날로그 복조회로에서 발생하는 위상오차 및 편차 값을 대폭 개선할 수 있으며 회로구성을 PLD 디바이스를 이용하여 ONE CHIP화 할 수 있어서 제품의 소형화 및 저가격화를 꾀할 수 있다. PLD 디바이스로는 EPM7032SLC44-10을 사용하였다.

#### 3.3 레이저 거리 계측기 구현

그림 7과 8을 기반으로 구현한 레이저 거리 계측기를 그림 9에 나타내었다.



그림 8. 구현한 산업용 레이저 거리 계측기  
Fig. 8 The industrial Laser distance instrument which embodies

### IV. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 산업용에 적용 가능한 산업용 레이저 거리 계측기를 구현하고 그 결과를 확인하였다. 앞으로 현장에 적용하여 산업용의 특성을 가지는지에 대한 실험이 계속되어야 할 것으로 보인다.

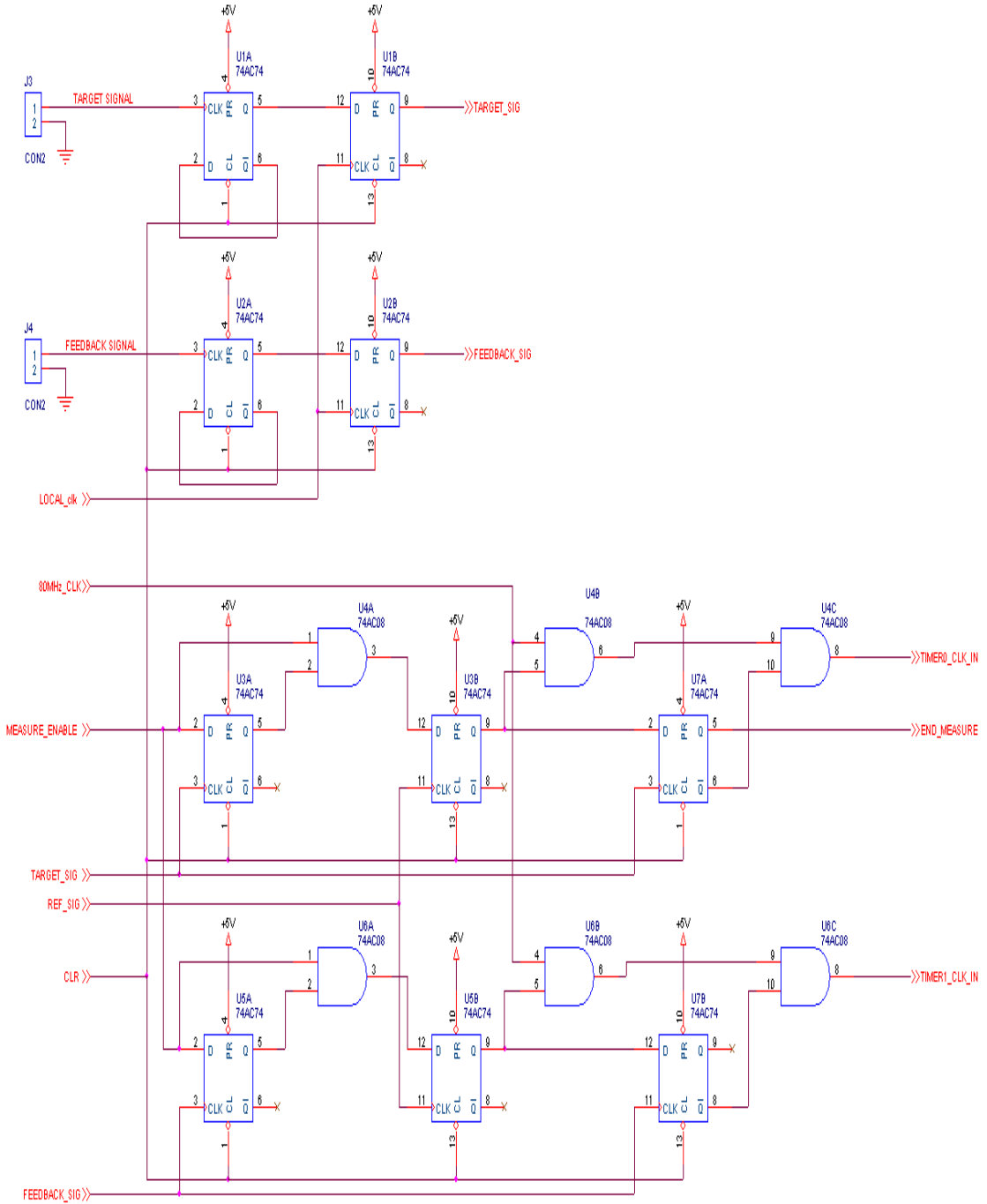


그림 9. 디지털 복조 회로도  
Fig. 9 Digital recovery circuit diagram

**감사의 글**

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구 및 TBI 사업의 일부 지원에 의해 수행되었음

**참고 문헌**

[1] Erkki Ikonen and Viktor Krozer, "Pulsed time-of-flight laser range finder techniques for fast, high precision measurement application", OULU university press, pp.24-29, 2004.

[2] Dukhyeon Kim, Hyungki Cha, Kyuseok Song and Kiho Yang, "Development of Time Counter for Range Finder Using Pulsed Diode Laser", The Journal of KASBIR Vol. 3, No. 1, pp.205-211, 2003.

[3] 구연덕, "Aerosol 투과특성에 따른 적외선 레이저 거리측정기의 최대 거리측정 능력분석", Ungyong Muli, Vol. 11, No. 2, pp.123-127, 1997.

[4] David Dupuy, Marc Lescure and Helene TapBeteille, "High frequency scanning response of an APD photocurrent for laser range finder", ENSEEIHT Electronic Laboratory, 2003.

[5] Roman Ostrowski and M. Strzelec, "Eye-safe laser", Military University of Technology(Poland), 2002.

[6] Erkki Ikonen and Viktor Krozer, "Pulsed time-of-flight laser range finder techniques for fast, high precision measurement application", OULU University press, pp.24-29, 2004.

[7] Dukhyeon Kim, Hyungki Cha, Kyuseok Song and Kiho Yang, "Development of Time Counter for Range Finder Using Pulsed Diode Laser", The Journal of KASBIR Vol. 3, No. 1, pp.205-211, 2003.

[8] John Nettleton, Dallas Barr, Brad Schilling and Jonathan Lei, "Micro-Laser Range Finder Development", <http://www.repairfaq.org/sam/Ir/,1999>.

[9] 최영수, 박용찬, 강웅철, "펄스형 고반복 레이저를 이용한 거리측정", 국방과학연구소, The Journal of Optical Society of Korea (Korean Edition), Vol. 6, No. 1, 1995.

[10] 임민호, "비선형 광학 단결질 KNbO<sub>3</sub>를 이용한 광 파라메트릭 진동자의 제작 및 특성", 2001.

[11] David Dupuy, Marc Lescure and Helene TapBeteille, "High frequency scanning response

of an APD photocurrent for laser range finder", ENSEEIHT Electronic Laboratory, 2003.

[12] Roman Ostrowski and M. Strzelec, "Eye-safe laser", Military University of Technology(Poland), 2002.

**저자 소개**



**배영철(Young-chul Bae)**

1984년 2월 광운대학교 전기공학과 졸업

1986년 2월 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1997년 2월 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1986~1991 한국전력공사

1991~1997 산업기술정보원 책임연구원

1997~2006.3 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수

2006.3 - 현재 전남대학교 전자통신전기공학부 교수

※ 관심분야 : 퍼지 및 신경망, 카오스 동기화 및 암호화, 카오스 로봇 설계 및 제어, Small World



**김천석(Chun-suk Kim)**

1980년 9월 : 광운대학교 전자공학과(공학사)

1982년 9월 : 건국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1998년 : 경남대학교 대학원 전자공학(공학박사)

1982년 11월~현재 : 전남대학교 전자통신공학과 교수

※ 관심분야 : 수중통신, 정보통신분야



**김이곤(Yi-gon Kim)**

전남대학교 전기공학과 교수



**조의주(Eui-joo Cho)**

1999년 2월 : 여수대학교 전자통신공학과 (공학사)

2002년 2월 : 여수대학교 전자통신공학과 대학원(공학석사)

2004년 8월 : 여수대학교 전자통신공학과 대학원 박사과정 수료

※관심분야 : 무선이동통신, 인터넷통신, 의료 정보통신

**박종배(Jong-bae Park)**

전남대학교 전기공학과 석사과정 수료