

## 고정밀 레이저 거리계용 렌즈 설계 기법

# The Lens Design Technique 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

렌즈는 고정밀 레이저 거리 측정기에서 중요한 핵심 부품의 하나이다. 렌즈는 레이저 다이오드로부터 나온 광을 렌즈를 통하여 목표물로 보내고 또한 표적을 통하여 반사된 레이저 광을 다시 수신하여 그 위상 변위를 측정함으로써 거리를 계산하는데 이용한다. 본 논문에서는 렌즈의 곡률이 일정하지 않음으로서 발생하는 문제를 해결하기 위하여, 광을 일정하게 모아, 송수신이 가능한 새로운 연마기법의 레이저 거리 계측기용 렌즈를 설계하고 이를 기반으로 한 레이저 거리계를 구현한다. 구현한 레이저 거리계는 기존의 방법에 비해 오차가 적어 보다 정밀한 거리 계측에 적용 가능할 것으로 예상하고 있다.

### Abstract

A lens which is one of cores for the high precision laser range finder is utilized to compute the distance by measuring the phase displacement. In order to measure the phase displacement, we transmit the optical signal from the laser diode to a target and receive the reflected laser light from the target. In this paper, we propose new lens design technique to solve the problem due to the inconsistent curvature of the lens, which consistently collects optical signals and performs the transmission and reception of the optical data, and test the implementation of the laser range finder based on the proposed technique. Since the proposed laser range finder has low error rate comparing to the conventional techniques, it may be apply to the high precision distance measurement.

Key words : Laser Range Finder, Lens Design, Light Measurement, Laser Displacement Measurement

### I. 서 론

최근의 공장 및 산업체에서 사용하고 있는 산업 설비는 거의 완전 자동화를 구현할 수 있는 자동화 설비로 구성되어 있다. 글로벌 경쟁력이 요구되는 자

동화산업 설비시스템에서는 더 많은 생산과 더 우수한 품질의 제품 생산을 요구하고 있다. 또한 그동안 크게 관심을 가지지 않았던 안전에 대한 관심도 선진국에 진입하면서 매우 높아지고 있다. 이러한 시대적인 요구 사항을 반영하기 위하여 산업 설비 및 공장

\* 전남대학교 공학대학 전기전자통신컴퓨터공학부

\*\* 전남대학교 공학대학 생명화학공학부

\*\*\* 전남대학교 공학대학 건설환경공학부

· 제1저자 (First Author) : 배영철

· 투고일자 : 2009년 2월 12일

· 심사(수정)일자 : 2009년 2월 16일 (수정일자 : 2009년 3월 4일)

· 게재일자 : 2009년 4월 30일

자동화 설비에서 보다 정밀한 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 측정 기술과 거리 및 방위를 동시에 측정하는 기술이 많은 관심을 받아왔다. 레이저를 이용한 거리 측정용은 크레인과 같은 산업 현장의 무인화 시스템에 방위 및 거리 측정용은 로봇시스템에서 로보스이 자기 위치(localization)과 장애물을 회피하기 위한 방법으로 많은 관련 제품이 상품화되어 현장에 적용되고 있다.

레이저를 이용한 거리 측정 기법은 측정하고자 하는 대상 물체에 광원인 레이저 다이오드로부터 레이저를 측정 대상 물체에 보낸 후 측정 대상 물체에 반사되어 되돌아오는 레이저의 파장을 측정하여 거리를 계산하는 기술을 말한다. 레이저를 이용한 측정 기술은 산업용, 과학용, 레저용, 군사용 등에 원격 측정 대상 물체 거리에서 반사 및 무반사 기법을 이용하여 측정 대상 물체를 접촉하지 않고 측정한다.

용도에 관계없이 레이저 거리 계측기에서 요구하는 공통의 요소는 고정밀, 고신뢰성, 소형화, 경량화, 최소 측정 거리, 최대 측정 거리 등이 있다. 이들 요구 사항들은 렌즈, 광학계 등의 오차로 인하여 그 성능을 만족시키는 것이 쉬운 일이 아닌 것으로 알려져 있다[1-3]. 실제 산업 현장에서 사용하는 산업용 레이저 거리 계측기에서 요구하는 사항은 측정 거리 1km 이내, 측정오차 1-10 mm 이내를 요구하고 있다[3].

일반적으로 레이저 거리 계측기에 사용하는 소자로는 렌즈, 레이저 다이오드(LD), 포토다이오드(PD), 주제어 장치(MCU), 각종 신호들을 혼합하는 혼합기, 전치 증폭기, 카운터 이외에 많은 전자 소자들이 사용되고 있다. 이들 소자들 중에서 대부분의 전자와 광학계 소자들이 오차가 발생할 수 있는 가능성들이 매우 높으며 레이저 거리 계측기들을 개발할 때 이들 오차 요인을 줄여주는 것이 중요하다.

먼저 오차 요인들 중 클럭 부분을 살펴보면 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 조정하

여 레이저 거리계에서 발생하는 오차를 줄였으며[4], 빛의 반사 광량을 측정하는 기법을 제시하여 오차를 줄이는 노력을 시도한 연구[8]도 있었으나 레이저 거리 측정기의 모든 오차를 해결했다고 보기는 어려우며 지속적인 관심과 연구가 필요하다.

레이저 다이오드와 빔 분리기를 통하여 렌즈를 통과한 레이저 광은 반사경과 측정 대상 물체에 반사될 때 측정 대상물체의 반사율, 빛의 세기가 거리의 제곱에 반비례하여 감소하고 빛의 경로상의 산란, 렌즈의 곡률 등의 많은 원인으로 광량을 정확하게 렌즈에 모을 수 없다. 또한 광 검출기에 도착한 빛은 목표물의 거리 및 경로 조건에 따라 달라져 거리 측정의 오차 원인이 된다.

이에 본 연구에서는 레이저 다이오드로부터 발생하는 레이저 광을 정확하게 빔분리기와 렌즈를 통하여 측정하고자하는 목표물인 측정 대상 물체에 도달하고, 측정 대상물체로부터 반사되어 돌아오는 반사 광을 모을 수 있는 다양한 렌즈 설계 기법을 제안한다. 또한 제안한 기법을 적용한 레이저 거리계측기를 제작하였다. 제작한 레이저 거리계측기는 기존의 렌에서 오는 여러 가지의 오차 문제를 줄일 수 있을 것으로 기대되고 있으며, 이를 실제 산업현장에 적용할 경우 기존 제품에 비해 성능 면에서 오차가 적은 우수한 제품이 될 것으로 기대하고 있다.

## II. 레이저 거리 측정기

본 장에서는 레이저 거리 측정기의 기본 원리와 기존의 레이저 거리 측정기에서 적용한 기법과 이들의 문제점에 대하여 설명한다.

### 2-1 레이저 거리계의 원리 및 기본 구조[3-8]

레이저를 이용한 광학적 거리 측정 기법은 크게 시간 비행법(time-of-flight), 삼각형 기법(triangulation), 간섭계 측정 기법(interferometric methods)으로 나뉜다 [1,2]. 레이저를 이용하여 광학적으로 측정하는 기법을 가진 장치를 일반적으로 레이저 거리 측정기라 부른다.

레이저 거리 측정기의 구성은 크게 외부 간섭계와 판독계로 나누어진다. 외부간섭계는 광학 트랜스듀서로 불린다. 외부 간섭계는 빛을 목표물에 발사하고 반사된 빛을 모으는 일을 하는 것으로 주로 렌즈, 프리즘, 거울로 크게 나눌 수 있다. 판독계는 레이저 빛 또는 백색광을 이용하여 거리를 판독하는 일을 하는 것으로서, 디지털 혼합기를 포함한 FPGA 등으로 구성되어 있다. 판독계의 원리는 광주파수에서 레이저 빔의 위상 변위 차인 주파수 변화를 측정하여 측정하고자 하는 표적과의 거리를 측정하는 것이다. 최근에는 산업용 및 군사용, 레저용에서 보다 정밀한 측정 요구가 증가함에 따라 레이저 거리 측정기의 기본 구조에 정밀도 개선을 위한 광학 회로 및 보조 회로가 더 많이 추가되는 변형된 구조가 발표되고 있다[4].

최근의 레이저 거리 측정기에는 변위 측정 기법으로서 호모다인(homodyne) 또는 헤테로다인(heterodyne) 기법을 주로 사용하고 있다. 이 기법은 주파수에서의 변화가 원래의 레이저 주파수와 동일하거나 또는 거의 근접한 일정 주파수의 빛을 가진 산란된 빛의 혼합에 의해 측정하는 방식이며, 그 기본은 마하젠더 간섭계(Mach-Zehnder interferometers)에 기초하여 설계된다[6].

본 연구에서는 마이켈슨 간섭기 또는 마하젠더 간섭기의 원리에 기반하여 설계하였다. 제안한 거리 측정기는 디지털 혼합기(digital mixer)와 각종 논리회로를 포함한 FPGA, 레이저를 구동하기 위한 각종 구동부 및 이를 증폭하기 위한 전치 증폭부, 위상 출력부, 레이저 송수신을 위한 송수신부, 이를 제어하기 위한 제어부 및 변위기의 수치 처리 및 전체적인 제어를 위한 MCU로 구성되며 이를 그림 1에 나타내었다.

### 2-2 레이저 구동 시스템 [8,9]

레이저 거리 측정기의 일반적인 원리는 LD라 표시하는 레이저 다이오드에서 발생시킨 레이저 광을 측정하고자 하는 대상 물체인 표적을 향해 쏘면 레이저 광은 빔 분리기(beam splitter)에 의해 기준 신호와 표적 방향의 두 방향으로 나뉘어 나가게 된다.

먼저 기준 신호 방향은 전체 빛의 5[%] 미만 정도의 빛을 빔 분리기를 통하여 반사거울(mirror)로 향

하게 한 후 반사 거울에서 반사되어 나온 빛을 다시 빔 분리를 통하여 광검출기로 되돌아오는 구조로 되어 있다.

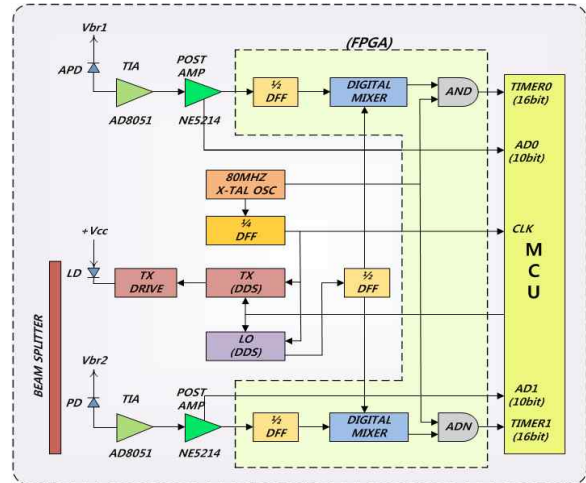


그림 1. 레이저 변위기의 기본 구조  
Fig. 1 The Basic structure of laser displacement

표적 방향은 기준 신호 방향을 빛을 제외한 나머지 95[%] 대부분 빛을 이 빔 분리기를 통하여 표적을 향해 날아간 후 표적에 닿으며, 표적이 닿은 후 이 빛은 표적을 맞고 반사되어 다시 빔 분리기로 되돌아와 빔 분리기를 통하여 광검출기에 도착하게 된다. 광검출기에서는 반사거울을 통하여 되돌아 온 기준 신호와 표적을 통하여 반사되어 온 표적 신호의 빛의 위상차를 계산하여 거리를 구하는 구조로 구성되어 있다. 이를 간섭성 검출 기법이라 하며 이상의 관계를 그림 2에 나타내었다.

### 2-3 렌즈 설계

레이저 변위기의 렌즈는 일반적으로 제품에 따라 다르지만 크게 송신용과 수신용을 분리하여 사용하는 양안렌즈를 이용한 방식과 송수신 겸용의 하나의 렌즈를 사용하는 단안렌즈 방식으로 나뉘어진다.

양안렌즈의 경우 송신과 수신을 분리하여 사용하므로 측정의 편리함과 송신과 수신 빛을 서로 다른 렌즈로 처리할 수 있어 거리 계산의 편리성이 높은 방식이다. 그러나, 양안 렌즈를 이용한 측정 방법은 송신 렌즈와 수신 렌즈가 그림 3과 같이 구성될 수밖에 없어 거리를 측정할 때 송수신 렌즈에 의한 위상

차가 발생하게 되어 1[m] 미만의 단거리 측정은 불가능하거나 어려운 것으로 알려져 있다.

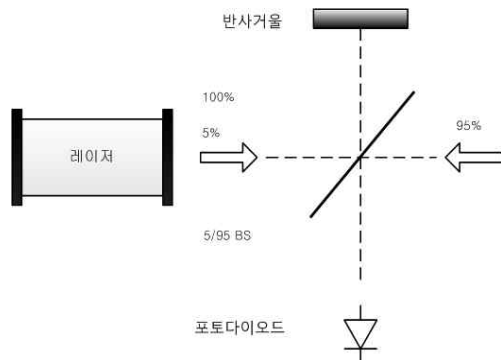


그림 2. 간섭성 검출 기구의 기본 원리  
Fig. 2 The Basic principle of coherent detection

단안렌즈의 경우 렌즈 2개를 사용하는 대신에 송수신 겸용의 하나의 렌즈를 사용하여 송신용 수신용 2개의 렌즈를 사용할 경우 보다 위상 변위가 없어 1[m] 이하의 거리 특별히 10[cm] 이하의 거리도 측정할 수 있어 산업용의 보다 정밀한 측정에 이용할 수 있다.

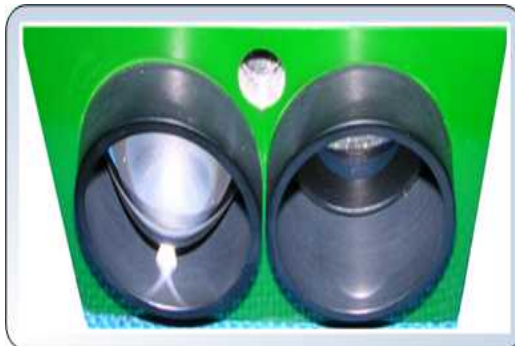


그림 3. 양안 렌즈  
Fig. 3 Two Lens

2-4 클럭 시스템[4]

일반적으로 그림 1의 기본적인 레이저 변위계에서는 그 구성상 MCU, 카운터, 레이저의 송신 및 수신을 위한 구동부에 적어도 1 개의 클럭이 요구되어 전체적으로는 4개 이상의 클럭 발생 회로가 필요하다. 레이저 변위계에서 총 4개의 클럭 발생회로들은 서로 클럭 주파수를 생성하기 위한 회로로서 크리스탈 발진기인 PLL 회로를 사용하므로 클럭 주파수에 대

한 상호간 동기를 맞추기 어려우며 전체적으로 4개의 클럭으로 인한 동기를 일치시키는 것이 어려워 산업용의 고정밀 거리 측정에 장애가 된다는 문제점을 가지고 있다.

이에 앞선 연구에서는 그림 4와 같이 클럭 시스템을 하나의 클럭으로 통합하여 클럭의 동기 불일치에 의한 문제점을 해결하였다.



그림 4. 클럭 시스템  
Fig. 4 Clock system

III. 레이저 변위계용 렌즈 설계

레이저의 변위계에서 발생하는 오차의 원인은 다양하며[7], 그 오차를 줄이기 위한 노력에 집중하고 있다. 레이저 변위계의 오차 중 가장 근원적인 원인으로서는 렌즈에서 정확한 빛의 양을 보내고 받아들이는 문제를 렌즈가 해결하지 못한다는 점을 들 수 있다.

본장에서는 지금까지 레이저 변위계를 설계할 때 가장 어려운 부분으로 알려져 있으며 오차의 근원적인 요소인 렌즈 설계 기법을 제안하고 기존의 방법에 비해 오차를 줄이기 위한 여러 가지 방법을 모색하고 최적의 방법을 제안하였다.

3-1 단안 렌즈 설계

레이저 변위계에서 2개의 렌즈를 사용하는 양안렌즈 기법은 렌즈를 그 기능에 맞게 송신용 렌즈와 수신용 렌즈로 구분하여 사용하는 방법이 일반적인 방

법으로 알려져 있다. 이 방법은 구성상 아주 짧은 거리 즉 10[cm] 미만의 거리를 원천적으로 측정하지 못하는 방식이어서 초정밀의 산업용에서는 적용하기 어려운 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 양안렌즈 대신에 송수신 겸용으로 사용할 수 있는 1개의 렌즈를 이용한 단안렌즈 방식을 제안하였으며 이를 그림 5에 나타내었다. 주목하여 정밀한 반사광을 측정할 수 있는 회로를 개발하였다.



그림 5. 단안 렌즈  
Fig. 5 One Lens

3-2 천공에 의한 렌즈 가공

레이저 변위계에 사용하는 일반적인 렌즈는 볼록 렌즈를 사용하며 이를 그림 6에 나타내었다.



그림 6. 볼록 렌즈  
Fig. 6 Convex Lens

그림 6과 같은 렌즈를 레이저 변위계에 사용할 때 요구되는 사항은 렌즈의 곡률이 일정하게 가공되어야만 한다. 만약 곡률이 틀리게 되면 빛이 나가고 들어올 때 정확한 초점을 맞출 수가 없어 빛이 여러 방향으로 산란될 가능성이 높아 오차의 큰 원인이 된다. 이에 본 연구에서는 LD에서 나온 빛이 빔 분리기에서 5:95의 비율로 나뉘어져 하나는 기준 신호로 사

용되고 하나는 표적으로 나간 후 다시 렌즈에 정확하게 들어오도록 하기 위한 방법의 하나로 렌즈의 중앙에 그림 7과 같이 구멍을 뚫어 사용하는 기법을 제안하였다.

그림 7과 같은 천공렌즈의 경우 그림 6에 비하여 렌즈의 곡률 반경에 의한 문제점인 빛이 일정하게 송수신 하는 문제점을 해결할 수 있었으나 천공된 렌즈를 레이저 계측기의 내부에 장착할 경우 렌즈의 구멍으로 인하여 정확하게 체결하기 위한 방법이 없어 현장 설치 할 경우 진동으로 인한 오차가 더 커지고 헐거워지는 것으로 나타나 사용할 수 없는 것으로 판단하였다.



그림 7. 천공 렌즈  
Fig. 7 Punching Lens

3-2 평면 연마에 의한 렌즈 가공

그림 6과 7의 문제점을 해결하고자 그림 8과 같은 원리를 적용하여 렌즈의 단면을 평면으로 연마하는 기법을 제시하였다.

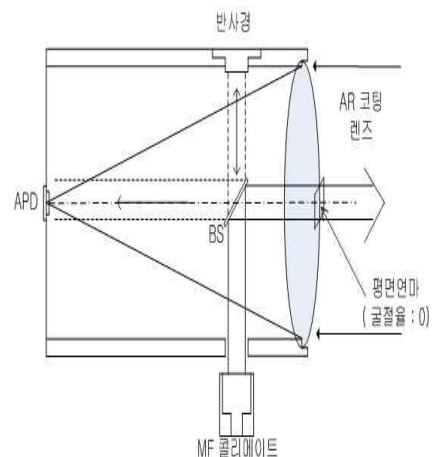


그림 8. 렌즈의 평면 연마  
Fig. 8 Surface grind of lens

그림 8과 같이 평면을 연마하면 렌즈의 굴절률이 0이 되어 빔 분리기에서 나가는 빛이 일직선으로 비행하여 목표물에 맞고 반사되고 반사된 빛이 다시 일직선으로 연마된 렌즈에 되돌아 오게되므로 일정한 빛 즉 빛의 휨이나 굴절이 없어 그 만큼 오차를 줄일 수 있는 특징이 있다. 이와같은 원리로 구성된 렌즈를 그림 9에 나타내었다.



그림 9. 절삭 렌즈  
Fig. 9 Grind Lens

그림 9와 같은 절삭 렌즈는 그림 6의 곡률이 다름에 의해서 발생하는 오차와 그림 7의 진동이나 먼지로부터 발생하는 오차의 문제를 해결할 수 있어 기존의 방법보다 오차가 적은 레이저 거리계를 제작할 수 있다.

#### IV. 레이저 거리계 제작

그림 9의 레이저 변위계의 렌즈 설계 기법을 적용하여 제작한 레이저 변위계를 그림 10에 나타내었다.

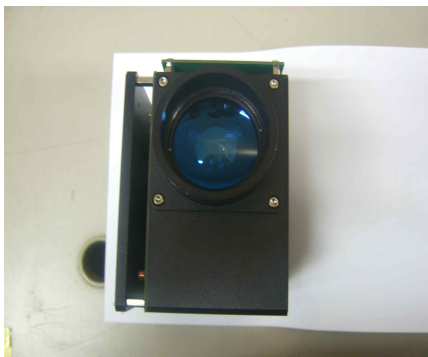


그림 10. 레이저 거리 측정기  
Fig. 10 Laser range finder

그림 10에 나타난 레이저 거리계는 기존의 렌즈에서 발생하는 렌즈의 곡률이 일정하지 않아서 발생하기 쉬운 오차를 줄일 수 있어 보다 정밀한 거리 측정이 가능할 것으로 기대하고 있다.

#### V. 결 론

본 연구에서는 레이저의 거리 측정기에서 발생하는 다양한 오차의 원인 중 가장 오차를 잡기 어려운 렌즈로부터 발생하는 오차를 줄이기 위한 방법으로 레이저 거리 측정기에 사용하기 적합한 렌즈를 설계하고 이를 이용하여 레이저 거리 측정기를 구현하였다. 설계한 렌즈는 레이저 광을 송수신 하는 영역을 연마하여 수평면으로 제작한 것으로 이 영역을 통과하는 레이저 광은 렌즈의 곡률과 관계없이 빛을 정확하게 모으고 보낼 수 있어 오차를 줄인다. 설계한 렌즈 기법을 기반으로 새로운 레이저 거리 측정기를 구현하였다. 오차가 적은 레이저 거리 측정기를 이용하여 실제 많은 잡음과 진동 및 열이 발생하는 작업 환경에서 이를 현장 실증 시험하여 성능이 우수한 레이저 거리측정기임을 확인하는 일이 과제로 남는다.

#### 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 측정기 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", *한국전자통신학회논문지*, 제 3권 제1호, pp. 12-18, 2008.
- [8] 배영철, 조의주, 이현재, 김성현, 김현우, " 고정밀 레이저 변위기용 반사 광량 측정 기법", *한국항공우주학회논문지*, 제 13권 1호, pp. 34-40, 2009.
- [9] Guido Giuliani<sup>1</sup>, Michele Norgia<sup>1</sup>, Silvano Donati<sup>1</sup> and Thierry Bosch, " Laser diode self-mixing technique for sensing applications", *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* 4 S283-S294, 2002

**배 영 철 (裴英哲)**



1984년 2월 : 광운대학교 전기공학(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

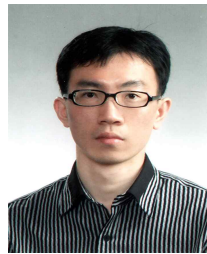
**조 의 주 (曹義周)**



통신

1999년 2월 : 여수대학교 전자통신공학과(공학사)  
 2002년 2월 : 여수대학교 전자통신공학과(공학석사)  
 2009년 2월 : 전남대학교 전자통신공학과 졸업(공학박사)  
 관심분야 : 의료정보통신, 무선이동

**이 현 재 (李賢宰)**



2008년 2월 : 전남대학교 전자통신공학과 졸업 (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