

## 평면 LED 램프에서의 초음파 센서의 반사특성을 고려한 위치측정 기법

(Location Measurement method Depending on Reflection Characteristics of Ultrasonic Sensors for The Flat LED Lamp)

허영록\* · 윤장희 · 염정덕\*\*

(Young-Rok Heo · Jang-Hee Yun · Jeong-Duk Ryeom)

### Abstract

In this paper, the location measurement method for the reliable location data using ultrasonic sensors is proposed for the dimming control of the LED flat lamp. The measurement errors depending on the reflection angle of the object have to be considered to obtain the reliable location data in the ultrasonic sensors. In the experiment, the cause of the measurement errors depending on reflection angle is analyzed and velocity change of ultrasonic wave depending on reflection angle is measured. And the location measurement method depending on velocity change of ultrasonic wave is proposed. From the results, the average absolute deviation of the x-coordinates was 1.47cm when the location measurement method was considered, and it was closer to the true values than the average absolute deviation of the x-coordinates which was 5.89cm without regard to the reflection angle.

Key Words : Location Measurement, Ultrasonic Sensors, Local Lighting, Flat LED Lamp, Smart Lighting

### 1. 서 론

전 세계적으로 효율적인 에너지 사용을 위하여 백열 등, 형광등과 같은 기존 조명을 수명이 길고 저소비전력인 LED 램프로 교체하고 있다. 최근 LED 램프는 효율 150[lm/W]인 제품이 개발되는 등 지속적인 기술 발전이 이루어지고 있어 LED 램프는 다양한 조명시스템에서 사용되고 있다[1]. 기존의 조명 시스템들은 조명의 점등/소등과 같은 단순한 제어만 가능 하였으나, 최근 각종 센서를 LED 램프에 적용하여 조명환경에 따라 효율적으로 조광 제어하는 스마트 조명시스템들이 다양하게 연구되고 있다[2-3]. LED 램프의 점

---

\* 주저자 : 송실대학교 전기공학과 석사과정  
\*\* 교신저자 : 송실대학교 전기공학과 부교수  
\* Main author : Master's course, Department of Electrical Engineering, Soongsil University  
\*\* Corresponding author : Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Soongsil University  
Tel : 02-828-7267, Fax : 02-826-5125  
E-mail : cosmos01@ssu.ac.kr  
접수일자 : 2013년 9월 30일  
1차심사 : 2013년 10월 9일  
심사완료 : 2013년 10월 30일

등 제어에 사용되는 센서에는 적외선 센서, 초음파 센서, 이미지 센서 등이 있다[4]. 그 중 초음파 센서를 이용한 시스템은 가격이 저렴하고, 하드웨어의 구조가 간단하며, 사물의 위치정보 획득이 가능하여 그 유용성이 매우 높다[5].

본 연구에서는 초음파 센서를 사용하여 물체의 위치를 측정할 때 발생하는 물체의 반사각도에 따른 측정 오차의 원인을 규명하였다. 그리고 반사각도에 따른 초음파의 속도 변화량을 측정하고 이를 고려하여 신뢰성이 높은 물체의 위치데이터 측정 방법을 제시하였다.

## 2. 반사각도에 따른 측정 오차 분석

그림 1은 물체의 반사각도에 따른 초음파의 속도를 측정하기 위한 실험장치의 구성도이다. 실험에서 사용된 초음파 센서는 하기소닉社의 송수신 분리형 초음파 센서/모듈 HG M40TC(송신)와 HG M40RC(수신)이며, 측정대상 물체의 폭은 2cm이다. 반사각도  $\theta_r$ 이 증가함에 따라 초음파 센서 수신부를 그림과 같이 원을 그리며 이동시켰다. 실험은 반사각도  $\theta_r$ 을  $0^\circ$ 에서  $20^\circ$ 까지  $5^\circ$ 단위로 증가시키며 수행되었다. R-axis stage를 사용하여 물체로부터 반사된 초음파가 수신부에 수직으로 입사되도록 수신부를 회전시키면서 측정하였다.

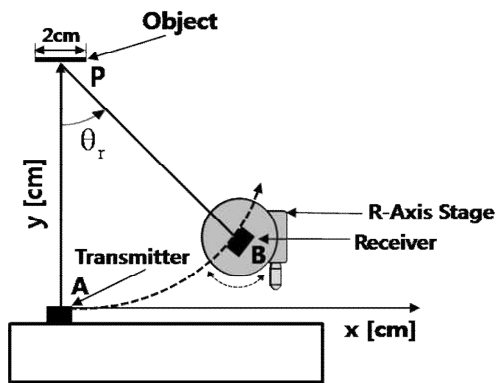


그림 1. 물체의 반사각도에 따른 초음파의 속도 측정  
Fig. 1. Measurement on ultrasonic velocity according to reflection angle of the object

초음파 센서는 그림 2와 같이 송신부의 트리거 입력 시작점과 수신부의 에코 펄스 시작점의 시간 차이

(TL)에 초음파의 전파속도(온도  $20^\circ\text{C}$ 인 공기 중에서  $343\text{m/s}$ )를 곱하여 거리를 계측한다[6].

그림 3은 실험에서 사용된 초음파 센서는 하기소닉社의 초음파 센서/모듈 HG M40TC의 송신부 지향각이다. 초음파의 지향각은 구동 주파수의 함수로 동일한 주파수에서는 동일한 지향각을 갖는다[6]. 초음파의 음압은 지향각( $0^\circ$ )에서 최대값을 갖고, 각도가 증가할수록 음압이 점차 감소한다. 초음파 센서의 수신부도 유사한 지향각 특성을 나타낸다. 또한 모든 초음파 센서는 그림 3의 모델과 유사하게 지향각 특성을 가진다.

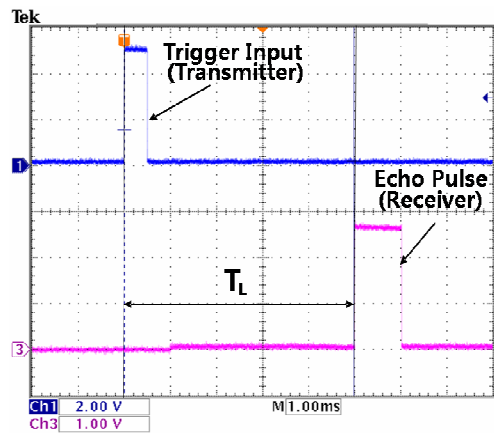


그림 2. 초음파 센서 송수신부의 펄스 파형  
Fig. 2. Waveform of trigger input and echo pulse from ultrasonic sensors

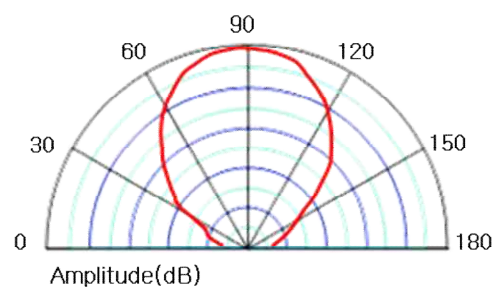


그림 3. 초음파 센서 송신부의 지향각  
Fig. 3. Beam angle of ultrasonic sensor transmitter

그림 4는 초음파 센서 수신부의 내부회로도이다. 그림에서 ㉑와 ㉒는 각각 1단 증폭기와 2단 증폭기의 출력부이며, ㉓는 비교기의 출력부이다. 물체로부터 반

사된 초음파는 센서 수신부의 공진자를 진동시켜서 전기신호를 발생시킨다. 발생된 전기신호의 진폭은 미미하기 때문에 ㉠과 ㉡를 통하여 2단 증폭된 후 비교기에 입력된다.

그림 5의 (a)와 (b)는 반사각도  $\theta_r$ 이 각각  $0^\circ$ 와  $20^\circ$  일 때 초음파센서 수신부의 신호파형이다. 반사각도  $\theta_r$ 이  $0^\circ$ 인 경우, 초음파센서 송신부와 수신부가 인접해 있기 때문에 초음파의 송신과 동시에 수신부로 넘어오는 노이즈가 존재한다. 따라서 그림 5의 (a)에서 (가)부분이 이 노이즈로 거리계측에서는 제외시켰다. 반사각도  $\theta_r$ 이 증가하면 초음파 센서 수신부로 입사되는 초음파의 진폭이 그림 5의 (b)와 같이 감소한다. 그러나 비교기에서는 기준전압 이상의 신호에 대해서 출력신호가 나오므로 비교기에서 출력되는 신호는 시간이 지연된다. 이 지연된 시간 때문에 초음파의 비행 시간에 측정 오차가 발생한다. 그림 5의 (a)와 (b)에 보인 실선은 실제 거리에 해당하는 측정 시간이고 그림 (b)의 점선은 지연시간에 의한 오차가 포함된 측정 시간이다. 따라서 신뢰성 있는 거리계측을 위해서는 이 지연시간에 의한 오차를 고려해야 한다.

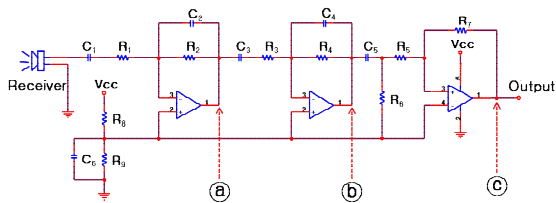
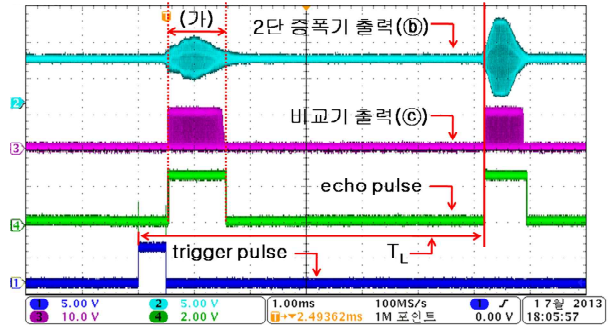
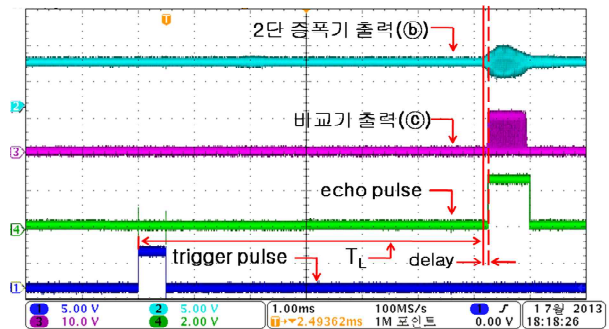


그림 4. 초음파 센서 수신부 회로  
Fig. 4. The circuit of Ultrasonic sensor receiver

그림 6은 그림 1에서 보인 측정방법을 사용하여 측정한 초음파의 속도를 나타낸 그래프이다. 일반적인 조명 환경에서 천장으로부터 사람의 상체까지의 거리를 2m 이내라고 가정하여 물체의 y좌표가 100cm, 150cm, 200cm일 때 각각 측정실험을 하였다. 측정결과, 초음파의 속도는 반사각도  $0^\circ$ 에서 최대값을 갖고 반사각도가 증가함에 따라 점차 감소하여  $20^\circ$ 에서 최소값을 갖는다. 이것은 전술한 시간지연에 의한 오차가 반영되었기 때문으로 사료된다. 한편 y좌표가 증가하면 초음파의 속도가 같이 증가하였다. 전술한 것



(a)



(b)

그림 5. 초음파 센서 수신부의 신호파형 (a) 반사각도  $\theta_r=0^\circ$  (b) 반사각도  $\theta_r=20^\circ$   
Fig. 5. Signal waveform of Ultrasonic sensor receiver (a)  $\theta_r=0^\circ$  (b)  $\theta_r=20^\circ$

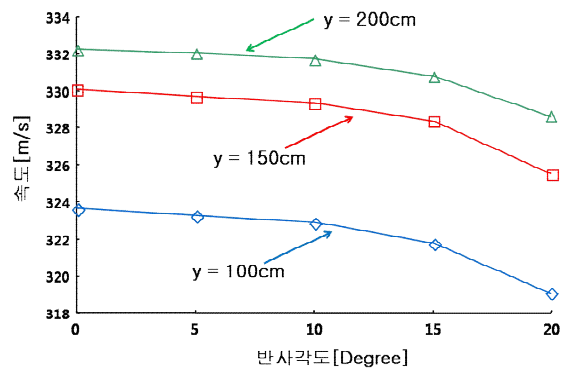


그림 6. 반사각도에 따른 초음파 속도변화  
Fig. 6. Ultrasonic velocity with reflection angle

같이 초음파 비행시간은 트리거 펄스의 시작점과 에코 펄스의 시작점의 시간 차이로 측정된다. 그러나 트리거 펄스의 시작점과 실제 공진자가 진동을 시작하

여 초음파가 송신되기 시작하는 시점 사이에도 물리적인 이유로 일정한 지연시간이 존재한다. y좌표가 증가하면 이러한 지연시간에 의한 부분은 상대적으로 줄어들기 때문에 초음파 속도는 증가한다.

### 3. 반사각도에 따른 측정 오차를 고려한 위치 측정 방법

그림 7은 물체의 위치데이터를 측정하기 위한 실험 장치의 구성도이다. 초음파 센서 배열은 1개의 송신부와 2개의 수신부로 구성되었으며, 2차원 좌표의 원점은 송신부의 중앙이다. 원점에서 x축을 따라 15cm 떨어진 지점에 수신부1을, 30cm 떨어진 지점에 수신부2를 설치하였다. 측정대상 물체의 폭은 2cm이다. 물체는 x축을 따라 0cm에서 25cm까지 5cm단위로 이동시켰다. 반사각도  $\theta_r$ 은 Snell의 법칙에 따르는 정반사 기준선과 물체로부터 수신부까지의 선( $\overline{PB_1}$  또는  $\overline{PB_2}$ )이 이루는 각도이다.

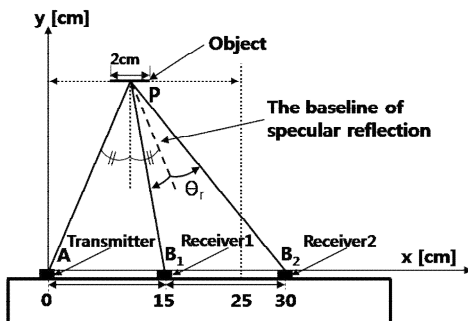


그림 7. 물체의 위치데이터 측정 실험장치  
Fig. 7. Experimental device to measure the position data of the object

두 개의 초음파 센서 수신부로부터 획득한 시간 데이터들을 이용해 물체의 x좌표를 계산할 수 있다. 식 (1), (2)는 각각 수신부1과 수신부2에서 측정된 초음파의 비행시간이다. 시간( $T_{AP}$ )은 센서 송신부로부터 물체까지의 거리( $\overline{AP}$ )를 비행한 초음파의 시간이고 시간( $T_{PB_1}$ 와  $T_{PB_2}$ )은 각각 물체로부터 센서 수신부1과 수신부2까지의 거리를 비행한 시간이다.

식 (3), (4)는 각각 초음파의 비행거리를 초음파의

비행시간과 속도의 함수로 표현한 것이다. 여기서  $v_p$ 는 이전 논문에서 측정된 초음파의 비행거리에 따른 속도 변화를 적용하여 결정한 초음파의 속도이다[7]. 이 실험에서는 물체의 x좌표를 이미 알고 있다고 가정하였다. 따라서 초음파의 속도  $v_p$ 와 송신부로부터 물체까지의 거리( $\overline{AP}$ )를 이용하여 시간( $T_{AP}$ )을 계산할 수 있다. 속도  $v_r$ 은 반사각도에 따른 초음파의 속도이다. 식 (3), (4)에서  $v_p$ 는 공통이므로 물체의 x좌표 추출에서 반사각도에 따른 초음파 속도인  $v_r$ 의 영향을 평가할 수 있다. 식 (5)는 식 (3), (4)에서 획득한  $L_1$ 과  $L_2$ 를 사용하여 x좌표를 계산하는 식이다[7].

$$T_1 = T_{AP} + T_{PB_1} \quad (1)$$

$$T_2 = T_{AP} + T_{PB_2} \quad (2)$$

$$L_1 = T_{AP}V_p + (T_1 - T_{AP})V_{r1} \quad (3)$$

$$L_2 = T_{AP}V_p + (T_2 - T_{AP})V_{r2} \quad (4)$$

$$x = \frac{L_1L_2(L_2 - L_1) + 225L_2 - 900L_1}{30(L_2 - 2L_1)} \quad (5)$$

이 실험에서는 물체의 x좌표를 이미 알고 있으므로 이것을 사용하여 반사각도  $\theta_r$ 을 구하고 이 각도에 대응하는 초음파 속도를 거리 계산에 사용하였다. 그러나 이 위치데이터 측정 장치를 실제로 평면 LED 램프에 적용하는 경우, x는 미지의 값이 되므로 초음파 속도 곡선을 사용하여 미지의 x값에서의 반사각도에 따른 초음파 속도를 추정하는 최적화 알고리즘이 필요하다. 이 부분은 추후 연구할 예정이다.

그림 8에서 초음파 속도(㉑)는 그림 6에서 보인 y좌표에 따른 초음파의 속도를 평균한 그래프이다. 물체의 위치가  $y=100\text{cm}$ 에서  $y=200\text{cm}$ 까지의 범위 내에 위치해 있다고 가정하여 이와 같은 평균값을 선정하였다. 그러나 그림 1과는 달리 그림 7의 측정 장치는 물체와 초음파 센서 수신부를 x축에 평행하게 배치하였다. 이 경우 그림 1의 측정 장치와는 달리 물체로부터 반사된 초음파가 수신부에 수직으로 입사되지 않는다. 따라서 수신부도 그림 3과 같은 지향각 특성을

가지므로 수신부에 의한 측정오차도 함께 고려해 주어야 한다. 즉 수신부에 의한 측정오차를 반영하기 위해 초음파 속도(㉠)의 최대값 대비 백분율을 제공하여 보정된 초음파 속도(㉡)를 구하였다.

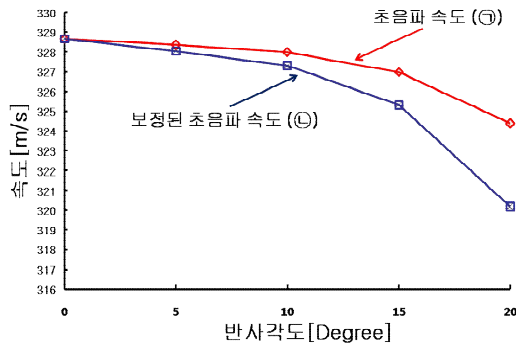


그림 8. 반사각도에 따른 초음파 속도의 평균 곡선  
Fig. 8. The average of ultrasonic velocity with reflection angle

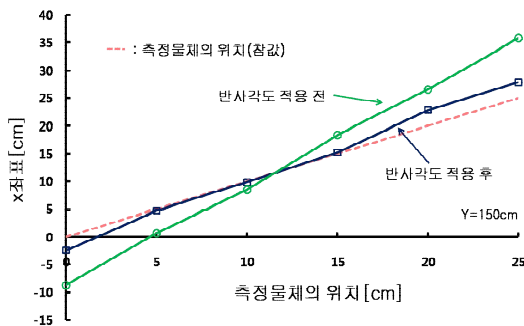


그림 9. 반사각도 적용 전과 적용 후 x좌표의 비교  
Fig. 9. Comparison between x-coordinates by applying the reflection angle and x-coordinates regardless of the reflection angle

그림 9는 y=150cm에서 반사각도에 따른 초음파 속도의 변화를 고려하지 않고 측정된 x좌표 값과 그림 8의 보정된 초음파 속도(㉡) 곡선을 적용하여 측정된 x좌표 값을 보인 것이다. 그림의 가로축은 실제 물체의 x좌표 값을 나타내고 세로축은 측정에 의해 얻어진 x좌표 값을 나타낸다. 반사각도  $\theta_r$ 이 가장 작은 12.5cm 부근에 측정 물체가 있을 때는 위의 두 경우 모두 측정오차가 매우 작다. 그러나 이 지점을 기준으로 물체가 좌우로 이동하면 반사각도는 점차 증가하

므로 반사각도를 고려하지 않은 측정 방법은 절대오차가 크게 증가한다. 반면에 반사각도에 따른 초음파 속도를 적용한 경우는 반사각도가 증가하는 구간에서도 측정오차가 크게 감소하였다.

표 1은 반사각도를 고려하지 않은 방법으로 얻은 x좌표와 반사각도를 고려하여 얻은 x좌표의 평균 절대오차를 나타낸 것이다. 전자는 x좌표의 평균 절대오차가 5.83cm로 참값과 큰 차이를 보이지만, 후자는 x좌표의 평균 절대오차가 1.54cm로 참값에 근사함을 알 수 있다. 따라서 물체의 신뢰성 있는 위치데이터를 얻기 위해서는 반사각도에 따른 초음파의 속도변화를 고려해야 한다.

표 1. 반사각도 적용 전 x좌표와 적용 후 x좌표의 평균 절대 오차

Table 1. Average absolute deviation of x-coordinates by applying the reflection angle and x-coordinates regardless of the reflection angle

각도 [degree]	오 차 [cm]	
	반사각도 적용 전	반사각도 적용 후
0	8.78	2.57
5	4.29	0.31
10	1.58	0.20
15	3.37	0.29
20	6.56	2.87
25	10.76	3.00
평균절대오차	5.89	1.54

#### 4. 결 론

실험 결과로부터, 물체의 반사각도가 증가함에 따라서 반사된 초음파의 진폭이 감소하고, 이로 인해 초음파 센서 수신부 회로에서 발생하는 신호의 전압이 감소한다. 이것은 결과적으로 기준전압과 비교해서 만들어지는 수신신호의 시간지연을 나타내고, 이 지연시간에 의해 측정오차가 발생한다는 것을 알았다. 이 지연시간 때문에 측정된 초음파의 속도는 반사각도가 증가함에 따라 점차 감소하였다.

실험에서는 물체의 반사각도에 따른 초음파의 속도 변화량을 측정하고 이를 적용한 물체의 x좌표 값 측정 방법을 제안하였다. 그리고 제안된 측정 방법을 사용하여 물체의 x좌표 추출 실험을 한 결과, 반사각도를 고려하지 않고 x값을 측정한 경우는 반사각도가 상대적으로 큰 구간에서 측정오차가 크게 발생하였다. 그러나 반사각도를 고려하여 x좌표를 측정한 경우에는 반사각도가 큰 구간에서도 측정오차가 크게 발생하지 않았다. 제안된 방법으로 측정된 x좌표의 평균절대오차는 1.54cm로 반사각도를 고려하지 않은 경우의 평균절대오차 5.89cm에 비해 신뢰도가 73.8% 향상되었다. 한편, 측정 물체의 재질, 크기 등에 따라서도 초음파의 반사특성은 변하므로 추후에는 이러한 경우를 고려한 오차 보정 기술을 개발하여 위치측정 방법에 적용할 필요가 있다.

본 연구에서 제안된 초음파 센서를 사용한 위치측정 방법은 빌딩의 복도나 일반 주거환경 또는 주차장, 창고 등에서 사용하는 평면 LED 램프에 부분 조광 기술과 함께 사용하는 것이 가능하며 사람의 유/무 및 위치에 따라 LED 램프를 부분 조광제어 하면 효율적으로 에너지를 사용할 수 있다. 추후에는 실제 평면 LED 램프에 본 연구에서 제안된 기술을 적용하여 그 유용성을 검증할 필요가 있다.

**감사의 글**

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다. (NIPA-2013-H0401-13-1002)

**References**

[1] Steven P. DenBaars, Daniel Feezell, Katheryn Kelcher, Siddha Pimputkar, Chi-Chen Pan, Chia-Chen Yan, Shinichi Tanaka, Yuji Zhao, Nathan Pfaff, Robert Farrell, Mike Iza, Stacia Keller, Umesh Mishra, James S. Speck, Shuji Nakamura, "Development of gallium-nitride-based light-emitting diodes (LEDs) and laser diodes for energy-efficient lighting and displays", Journal of acta materialia, volume61, Issue3, pp. 945-951, 2013.  
 [2] Jinsung Byun, Insung Hong, Byoungjoo Lee, and Sehyun Park, "Intelligent Household LED Lighting System Considering Energy Efficiency and User Satisfaction", IEEE

Transactions on Consumer Electronics, Vol. 59, No. 1, pp.70~76, February. 2013.  
 [3] Sun-Jin Oh, "Implementation of a Ad-Hoc based LED-IT-Sensor Integrated Streetlight with Selective Remote Control", Journal of The Institute of Webcasting Internet And Telecommunication, Vol. 11, No. 5, pp. 19~25, October. 2011(Korean).  
 [4] Yun-Su Ha, Duck-Gon Kim, "Environmental Perception Considering Beam Opening Angle and Specular Reflection of Ultrasonic Sensors", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 30, No. 8, pp.919~926, November. 2006(Korean).  
 [5] Ying Zhang, Fenglan Shaa, "Study of active ultrasonic localization in LED Street light controller", Proc. IEEE int. conf. on Mechanic Automation and Control Engineering, pp. 694~696, July. 2011.  
 [6] Bozma. O, Kuc. R, "Building a sonar map in a specular environment using a single mobile sensor", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.13, No. 12, pp.1260~1269, December. 1991.  
 [7] Sungho You, Jeonghun Lee, Jeongduk Ryeom, "Development of Local Driving System for Flat LED Lamp Using Ultrasonic Sensors Array", journal of Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.25, No. 12, pp.67~73, December. 2011(Korean).

◇ 저자소개 ◇



**허영록 (許永緣)**

1985년 3월 20일생. 2012년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정.



**윤장희 (尹長熙)**

1984년 2월 26일생. 2010년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 2012년 숭실대학교 전기공학과 졸업(석사). 현재 숭실대학교 전기공학과 박사과정.



**엄정덕 (廉正德)**

1960년 5월 14일생. 1987년 서울대 전기공학과 졸업. 1989년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 서울대 대미 91학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년 ~1995년 LG전자(주) 영상미디어(연). 1996년 일본 전기·통신대학 외국인연구자. 1997~1999년 삼성SDI(주) 기술본부. 2000~2005년 경주대학교 컴퓨터전자공학부 조교수. 2006년~현재 숭실대학교 전기공학부 부교수.