

## 초음파 센서를 이용한 모션 인식 차량 통합 제어 장치의 제작 및 실험

나영민 · 박종규<sup>+</sup> · 이현석 · 강태훈

### Fabrication and Experiment of Ultrasonic Sensor Integrated Motion Recognition Device for Vehicle Manipulation

Yeongmin Na, Jongkyu Park<sup>+</sup>, Hyunseok Lee, and Taehun Kang

#### Abstract

Worldwide, studies on intelligent vehicles for the convenience of drivers have been actively conducted as the number of cars has increased. However, vehicle convenience enabled by buttons lowers the concentration on driving and hence poses as a huge threat to the safety of the driver. The use of one of the convenient features, impaired driving auxiliary equipment, is limited because of its complex usage, and this device also hinders the front view of the driver. This paper proposes a vehicle-control device for controlling the convenient features as well as changes in speed and direction using gestures and motions of the driver. This device consists of an ultrasonic sensor for recognizing movement, an arduino for accepting signal control functions and servo and DC motors apply to various vehicle parts. Firstly, the vehicle-control device was designed using a 3D CAD program known as Solidworks based on the size of the steering wheel. Then, through simulations, a suitable length for minimizing the absorbent between ultrasonic sensors was confirmed using a program known as COMSOL Multiphysics. Finally, simulation results were verified through experiments, and the optimal size of the device was identified through the number of errors.

**Keywords:** Ultrasonic sensor, Non-contact system, Driving assistance system

#### 1. 서 론

기존의 운전대를 이용한 자동차의 조향장치는 운전자의 고도의 집중력이 필요하며 장애인과 같이 손이 불편한 운전자에게는 조향에 어려움을 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 자동차의 다양한 운전 기능을 운전자의 모션을 통해 조작할 수 있는 장치를 고안하였다.

전 세계적으로 자동차 등록 수는 매년 증가하는 추세이며, 이에 자동 주차 또는 운전 보조 시스템[1,2]과 같은 지능형 자동차에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[3,4]. 그 결과로 차량 내부에 블루투스 통화, 전자동 운전석 등과 같은 운전자의 편의

성을 위한 기능들이 추가되었다.

그러나 에어컨, 음악 재생 등, 버튼 방식과 같은 보조 기능들의 경우 차량 주행에 있어서 가장 중요한 운전자 전방 주시 의 집중도를 하락시켜 교통사고가 발생할 수 있다.

그리고 다른 형태의 차량 보조 기능인 장애인 전용 운전 보조 장치는 복잡한 조작법으로 인해 손 또는 발이 불편한 사람에게 사용이 제한적이다. 또한 운행 시, 기능을 작동하기 위해서는 운전자의 시선이 전방을 주시하지 못하는 단점이 있다.

이 문제에 대한 심각성은 교통안전공사에서 제시한 통계에서 확인할 수 있다. Table 1과 같이 최근 5년간 전방 주시 태만으로 발생하는 교통사고는 전체 사고 수의 55.2%, 그리고 사망률은 3.25%로 각각 1위, 3위를 기록하였다.

발생된 사고를 분석하면 보조 기능을 위한 버튼 조작 등의 행동으로 인해 차량 전방의 장애물과 같은 사고요인을 인식하지 못한 것으로 나타났다.

즉, 안전운전에 방해가 되지 않는 새로운 형식의 보조 기능 제어 장치가 필요하다. 이에 사람의 동작을 이용하여 차량을 제어하면 운전자의 편의성 증대와 전방 주시의 집중도를 유지시킬 수 있다.

현재 동작 인식의 관련 기술로는 Fig. 1의 ‘동작인식 장치 및 그 방법’과 Fig. 2의 ‘멀티미디어 장치의 사물을 이용한 제스처 인식방법 및 장치’ 등이 있다. 그러나 앞서 언급한 기술들은 각

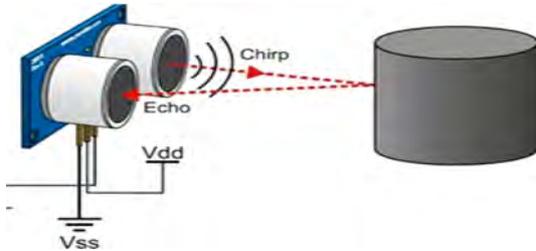
창원대학교 기계공학부(Dep. of Mechanical Engineering, Changwon National University)  
53320, 20, Changwondaehak-ro, Uichang-gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do 641-241, Korea

<sup>+</sup>Corresponding author: [chong@changwon.ac.kr](mailto:chong@changwon.ac.kr)  
(Received :May.13, 2015, Accepted :May.27, 2015)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Table 1.** Tendency of accident by Forward-looking neglect over the past 5 years

Factor	Ratio	Ranking
Frequency	55.2%	1st
Death rate	3.25%	3rd



**Fig. 1.** Distance measurement of ultrasonic sensor.

기 다른 동작 인식 방법을 이용하여 구조가 복잡하며, 또한 차량의 주행에 직접적으로 제스처 인식을 접목시킨 기술은 개발되어 있지 않다.

따라서 본 논문에서는 차량 보조 기능 제어, 속도 조절 페달 그리고 조향 장치를 운전자의 동작으로 제어하는 차량 통합 제어 시스템을 제안 하고자 한다. 먼저 차량 스티어링 휠의 크기, 초음파 센서의 특성과 인식범위, 그리고 구동 방식 등을 고려하여 설계하였다. 그 후 센서의 인식률을 높이기 위해 초음파 센서의 간섭에 대한 시뮬레이션을 실시하며, 이 결과를 바탕으로 제작한 장치의 실험을 통해 성능평가를 수행하였다.

## 2. 초음파 센서 이론 및 차량 통합 제어 장치 설계

### 2.1 초음파 센서

본 논문의 차량 제어 장치에 사용된 초음파 센서의 원리는 Fig. 1과 같이 송신부에서 발생된 음파가 물체에 부딪혀 수신부로 돌아오는 시간을 측정하여 식 (1)을 통해 거리(s)를 계산하고 이를 전기신호로 변경하여 제어장치에 전달한다.

$$s = \frac{v \times t}{2} \tag{1}$$

식 (1)에서 s는 장애물까지의 거리이며 v는 음파의 속도, t는 음파가 송신부에서 수신부로 돌아오는 시간이다[5-7].

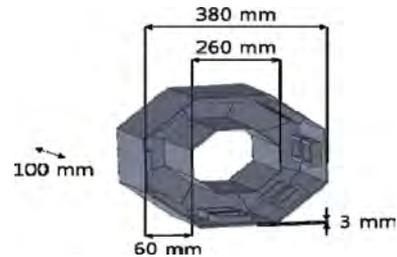
그리고 온도 T일 때 센서에서 방사되는 초음파의 속도(v)는 식 (2)와 같다.

따라서 본 장치에서 센서와 운전자의 손 사이의 평균거리인 40 mm, 상온(20°C)일 때의 센서 반응 시간(t)은 식 (3)과 같이 계산된다[8].

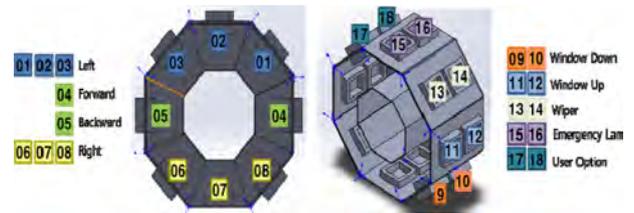
$$v = 331 + 0.6T \tag{2}$$

**Table 2.** Specification of HC-SR04.

Factor	Value
Voltage	5 V (DC)
Current	15 mA
Weight	15 g
Size(W·H·D)	45 mm·20 mm·15 mm
Range	2~400 cm
Angle	±15°
Trigger	10 μs
Frequency	40 kHz



**Fig. 2.** Dimension of vehicle controller.



**Fig. 3.** Functions of each ultrasonic sensor.

$$t = 2 \times \frac{(0.04m)}{\{331 + 0.6(20)m/s\}} = 2.332 \times 10^{-4} s \tag{3}$$

식 (3)의 센서 반응속도는 사람의 평균 반응속도인 0.5초 에 비해 미소하므로 긴급 상황의 경우 빠른 대처가 요구되는 차량 에도 사용 가능하다는 것을 알 수 있다. 본 장치에 사용 된 초 음파 센서는 중국 Iteadstudio에서 제작한 HC-SR04이고 사양은 Table 2와 같으며 이 센서를 제어하기 위해 임베디드 시스템 중 하나인 아두이노(Arduino)[9]를 이용하였다.

### 2.2 설계

Fig. 2는 3차원 CAD 프로그램인 Solidworks를 이용하여 본 연구의 차량 통합 제어기를 설계한 형상이다[10,11]. 본 설계는 중형차 운전대의 크기에 기초하여 지름을 380 mm로 설정하였다. 그리고 깊이를 100 mm, 케이스의 두께 3 mm, 초음파 센서 인식 구간을 60 mm로 지정하였다.

그리고 각 센서 사이의 간섭영향을 고려하여 내측 8개, 외측 10개를 배 치하였다. 또한 센서 사이의 간섭을 줄이기 위해 흡

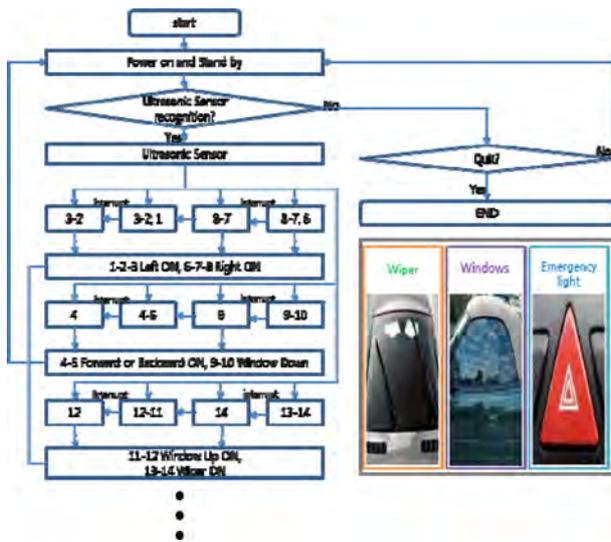


Fig. 4. Algorithm of the system.

음재를 설치하여 센서의 인식범위를 좁혔다.

본 장치에서는 Fig. 3과 같이 움직임을 감지하는 센서에 따라 동작하는 기능을 달리 하였으며 장치 내측의 경우, 1, 2, 3번 센서는 좌측 방향전환, 4, 5번은 전진과 후진 그리고 6, 7, 8 번은 우측 방향전환을 위한 동작을 인식한다. 또한 외측 의 경우 9, 10번은 창문 내림, 11, 12번 센서는 올림 기능을 수행한다. 그 외에 13, 14번은 와이퍼, 15, 16번은 비상등을 작동시키며, 17, 18번은 개인이 필요한 기능을 동작하도록 설정하였다.

### 2.3 알고리즘

본 논문의 차량 통합 제어기는 센서와 제어장치, 그리고 각 기능에 맞게 입력된 구동 알고리즘에 따라 작동하며 이를 Fig. 4에 나타내었다. 먼저 차량의 시동이 켜지는 것으로 시작하여 시스템은 대기 상태가 되며 잠시 후, 초음파 센서의 감지 유무를 식별한다. 이 단계에서 동작이 감지되지 않으면 차량 시동의 여부를 확인하며 시동이 꺼져있으면 종료되고 켜져 있을 경우 대기상태로 돌아간다. 동작이 인식되면 센서에서 아두이노로 신호를 전달하고 각 센서에 해당하는 기능을 수행한다. 우선 1, 2, 3번이 인식되면 좌회전, 6, 7, 8번은 우회전 기능을 수행한다. 또한 4번과 5번은 각각 차량의 전, 후진, 9~12번은 창문 동작, 13, 14번은 와이퍼, 15, 16은 비상등이며 기능 동작이 끝나면 다시 대기상태로 돌아가게 된다.

## 3. 흡음재의 높이와 음압의 상관관계 시뮬레이션

### 3.1 해석 조건

실제 차량의 제한적인 공간에 본 시스템을 적용하기 위해서는 초음파 센서의 배치 간격이 최소화 되어야 한다. 그러나 좁

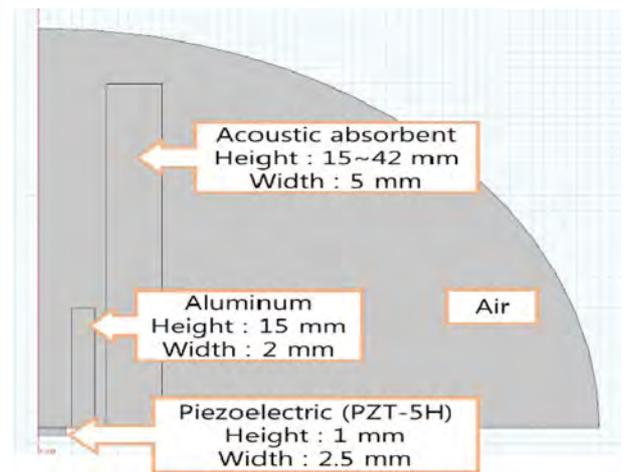


Fig. 5. Each part dimension of analysis model.

Table 3. Properties of aluminum

Property	Unit	Value
Density	kg/m <sup>3</sup>	2700
Young's modulus	N/m <sup>2</sup>	70×10 <sup>9</sup>
Poisson's ratio	-	0.33

Table 4. Properties of polyethylene

Property	Unit	Value
Density	kg/m <sup>3</sup>	930
Young's modulus	N/m <sup>2</sup>	1×10 <sup>9</sup>
Poisson's ratio	-	0.46

Table 5. Properties of air

Property	Unit	Value
Density	kg/m <sup>3</sup>	1.204
Speed of sound	m/s	343

Table 6. Properties of PZT-5H

Property	Unit	Value
Density	kg/m <sup>3</sup>	7500
Elasticity matrix	N/m <sup>2</sup>	$c_{11}=1.26 \times 10^{11}$
		$c_{12}=7.95 \times 10^{10}$
		$c_{13}=8.41 \times 10^{10}$
		$c_{33}=1.17 \times 10^{11}$
		$c_{44}=2.30 \times 10^{10}$
		$c_{66}=2.33 \times 10^{10}$
Coupling matrix	C/m <sup>2</sup>	$e_{31}=-6.5$
		$e_{33}=23.3$
		$e_{15}=17$
Relative permittivity	F/m <sup>2</sup>	$\epsilon_{11}=1.503 \times 10^{-8}$
		$\epsilon_{33}=1.3 \times 10^{-8}$

은 공간에 설치된 초음파 센서는 인식범위로 인해 인접한 센서 간의 신호 간섭 현상이 발생하여 차량의 오작동을 일으킬 수 있다.

따라서 앞서 언급한 간섭 현상을 해결하기 위해 본 장치에 흡음재를 설치하여 초음파 센서의 직진성을 강화했다. 또한 설치에 앞서 흡음재의 높이를 선정하기 위해 다물리 해석 프로그램인 COMSOL Multiphysics를 사용하여 음압과의 상관관계를 확인하였다[12].

본 장치에 적용한 초음파 센서의 송신부와 수신부는 원형이다. 이에 따라 3차원에 비해 해석시간을 단축시킬 수 있는 2차원 축대칭으로 해석 형상을 모델링하였다.

그리고 센서의 감지 정도는 음파의 세기와 연결되어 있으며 이는 음압으로 나타낼 수 있다. 따라서 센서의 음압을 확인하기 위해 Pressure Acoustics, Frequency Domain과 Solid Mechanics, Electrostatics, Acoustic-Structure Boundary 그리고 Piezoelectric Effect 모듈을 이용하였다. 또한 초음파를 발생시키는 압전 소자의 크기와 알루미늄, 흡음재의 두께 등, 해석에서 설정한 주요 인자의 크기는 Fig. 5에 표시하였으며, 사용한 재료의 물성치를 Table 3, 4, 5, 6에 나타내었다.

해석 조건으로는 초음파의 속도를 상온(20°C)에서의 음파 속도인 343 m/s로 설정했다. 그리고 흡음재의 높이를 센서를 두른 원형 알루미늄의 높이인 15 mm부터 43 mm까지 1 mm간격으로 늘리면서 Frequency Domain해석을 실시하였다. 또한 해석 모델의 크기를 고려하여 메시를 Free Triangular모형을 사용하였으며 최대 0.2 mm, 최소 0.00135 mm의 요소 크기를 지정하였다.

### 3.2 해석 결과

Fig. 6은 해석으로 도출한 흡음재의 높이에 따른 음압의 크기를 나타낸다. 먼저 최소 높이인 15 mm일 때 0.18 Pa의 음압을

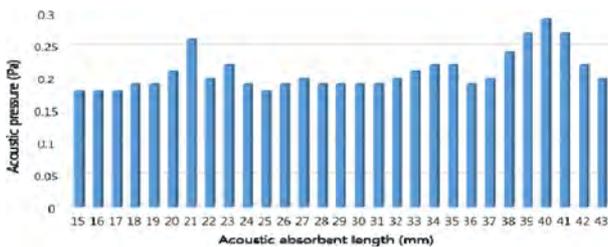


Fig. 6. Acoustic pressure according to acoustic absorbent length.

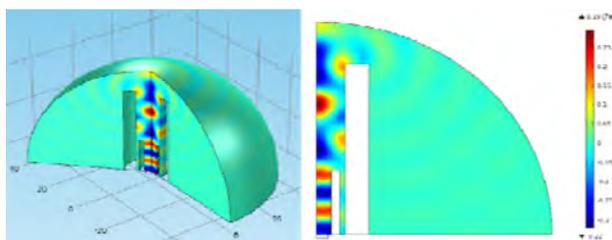


Fig. 7. Analysis result in the case of 40 mm.

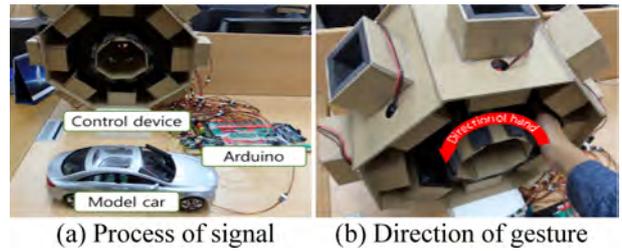


Fig. 8. Experimental environment.

확인하였다. 그래프를 보면 21 mm까지 증가하는 추세 이나 그 이후 값은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 초음파의 파장 길이에 따른 중첩 및 상쇄 현상으로 인한 것이다. 또한 40 mm일 때 0.29 Pa로 다른 높이에 비해 가장 큰 음압을 보였으며 이 때의 해석 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 따라서 본 장치에 가장 적합한 흡음재의 높이는 40 mm인 것을 확인하였다.

## 4. 성능 평가 실험

### 4.1 실험 환경 및 조건

본 장치는 운전자의 움직임을 통해 차량을 제어하는 시스템으로 구성 요소와 작동 방식을 Fig. 8에 나타내었다. 구성요소로는 Fig. 8-(a)와 같이 차량 통합 제어 시스템은 제어 장치, 아두이노, 모형 자동차로 되어있다.

그리고 작동 방법의 경우 Fig. 8-(b)와 같이 먼저 운전자가 장치에 손을 통과 시키면 초음파 센서에서 움직임을 인식한다. 그 후 센서에서 출력된 신호를 제어 시스템인 아두이노에 전달하여 구동 알고리즘에 따라 각 센서에 맞는 차량 기능을 제어하게 된다.

이 장치는 차량을 제어하는 장치이므로 긴급 상황 시 사고를 예방하기 위해서는 센서간의 간섭을 최소화 시켜 운전자의 움직임을 정확하게 인식해야 한다. 앞서 흡음재의 설치를 통해 초음파 센서 사이의 간섭을 최소화하였으며 해석을 통해 흡음재의 최적 높이를 도출했다. 따라서 해석 결과를 검증하기 위해 초음파 센서와 운전자의 손 사이의 수평거리 즉, 인식 범위 측정 실험을 실시하였으며 간섭으로 인한 오작동 횟수 또한 확인하였다.

또한 실제 차량에 적용하기에 앞서 차량 기능 작동여부를 확인하기 위해 모형 자동차를 대상으로 각 센서에 지정된 기능의 작동 여부를 확인하는 실험을 실시하였다.

### 4.2 흡음재 높이에 따른 초음파 센서의 인식 범위 및 오작동 횟수

초음파 센서의 인식 범위가 넓을 경우 인접한 센서와의 간섭 현상이 발생할 수 있으며 이는 차량의 오작동으로 이어진다. 따라서 센서의 직진성을 확인하기 위해 초음파 센서가 손을 인식

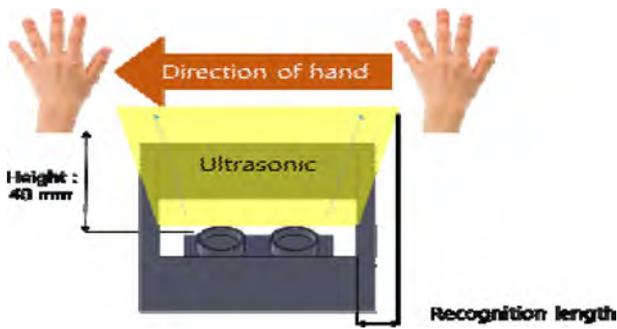


Fig. 9. Recognition length test.

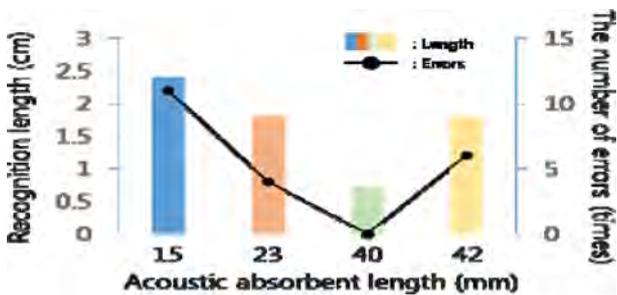


Fig. 10. Recognition length and time of error according to acoustic absorbent length

하는 수평거리를 측정하였다. 실험 방법은 Fig. 9 와 같이 실제 장치에서 손을 인식하는 평균 높이인 40 mm 에서 실시하였으며, 센서의 오른쪽에서 왼쪽으로 손을 이동 시킬 때 최초로 인식되는 지점과 센서 사이의 수평거리를 확인하였다. 또한 신호 간섭으로 인한 인접 센서의 감지 횟수 를 측정하였다.

앞서 해석에서 최소값을 도출한 흡음재의 높이 15 mm, 중간 값의 23, 42 mm, 그리고 최대값 높이인 40 mm를 기준으로 각각 50 번의 반복 실험을 하여 인접 센서간의 신호 간섭 정도를 측정하였다.

그리고 각 높이에 따른 오작동 횟수 를 확인한 결과 Fig. 10 의 그래프와 같이 15 mm일 때 가장 긴 2.4 cm의 평균 인식 범위를 측정하였다. 또한 23 mm와 42 mm의 경우 1.8 cm가 도출되었으며, 40 mm의 높이에 서는 가장 짧은 0.7 cm의 평균 인식 수평 거리가 도출되었다. 오작동 횟수의 경우 15 mm일 때 11번 으로 가장 많은 오류 를 범했으며, 23 mm, 40 mm의 경우 각각 4번, 6번의 오류 가 발생했다. 그리고 40 mm는 단 한번의 오류 도 발생되지 않았다.

### 4.3 차량 기능 작동 여부 평가

흡음재를 설치하여 인식범위를 좁혀 센서간의 신호간섭을 최소화 시킨 후 운전자의 움직임에 따른 차량 기능 작동 여부 실험을 실시하였다. 먼저 Fig. 11과 같이 실제 차량의 와이퍼 역할인 서보 모터 실험을 실시하였으며, 센서에서 움직임이 인식



Fig. 11. Wiper operating test.



Fig. 12. Vehicle turning test.



Fig. 13. Forward and backward drive test.

될 때 구동되는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 방법으로, 전 후진 구동 및 좌우 조향 제어의 DC 모터 또한 신호에 따라 작동되는 것을 확인하였다. 각각의 실험장면을 Fig. 12, Fig. 13에 나타내었으며 전 후진 구동의 경우 구별을 위해 후진 시 전조등이 함께 작동되도록 설정하였다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 초음파 센서와 아두이노를 사용하여 운전자 의 움직임에 따라 기능을 동작하는 차량 통합 제어 시스템을 연구하였다.

실제 차량의 크기를 기준으로 장치를 설계하고 이를 바탕으로 초음파 센서의 배치를 내측 8 개, 외측 10 개로 설정하였다. 그리고 본 시스템에서 아두이노가 차량 기능을 작동시키기 위한 구동 알고리즘을 고안하였다. 또한 초음파 센서 사이에 존재하는 신호 간섭을 막기 위해 흡음재를 설치하였으며, 다물리 해석을 통해 높이가 40 mm일 때 음파의 세기가 가장 강하다는 것을 확인하였다.

그 후 해석을 검증하기 위해 흡음재의 높이를 달리하여 인식되는 수평거리를 측정하였다. 실험 결과, 40 mm의 흡음재 높이에서 최소의 인식 수평 거리인 0.7 cm를 가지며 오작동 횟수는

단 한 번도 측정되지 않았다. 따라서 흡음재를 40 mm로 설정하였으며 모형 자동차 실험을 통해 각각의 센서에 지정된 차량 기능이 구동되는 것을 확인하였다.

제안된 시스템은 초음파 센서를 통해 운전자의 움직임으로 차량 기능을 제어하는 방식이며 조작성이 간편하여 일반인뿐만 아니라 장애인에게도 편리한 차량 운행의 기회를 줄 수 있다. 그리고 운전자의 시야를 방해하지 않고 전방 주시의 집중도를 강화하여 사고 발생률이 낮아질 것으로 기대된다. 또한 운전대의 형상에 국한되지 않고 다양한 형태로 제작할 수 있어 차량 종류의 제한되지 않는 광범위한 적용이 가능 하다.

본 연구를 바탕으로 향후에는 제작한 차량 통합 제어 시스템을 차량에 적용하기 위해 센서의 반응 속도 및 인식률을 향상시키는 방법을 모색하고, 운행 및 기능 작동 실험을 실시할 것이다.

### Acknowledgement

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0030058).

### REFERENCES

- [1] T. J. Yeo, "Technology trend in automotive advanced driver assistance system", *Auto journal*, Vol. 33 No. 6, pp. 36-43, 2011.
- [2] S. Y. Kim, "Intelligent driver assistance systems based on all-around sensing", *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 43 No. 9, pp. 49-59, 2006.
- [3] K. S. Lee, "Intelligent vehicles : Next generation active safety and advanced driver assistance systems", *Auto journal*, Vol. 28 No. 4, pp. 17-21, 2006.
- [4] K. S. Yi and J. Y. Lee, "Vehicle dynamics control applications to automobiles : Survey and some new trends", *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 20, No. 3, pp. 298-312, 2014.
- [5] B. Barshan, "Fast processing techniques for accurate ultrasonic range measurements", *Meas. Sci. Technol.*, vol. 11, pp. 45-50, 2000.
- [6] R. Queirós, F. C. Alegria, P. S. Girão, and A. C. Serra, "Cross-correlation and sine-fitting techniques for high resolution ultrasonic ranging", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. 59, No. 12, pp. 3227-3236, 2010.
- [7] D. T. Blackstock, *Fundamentals of Physical Acoustics*, Wiley-Interscience, New York, pp. 32-35, 2000.
- [8] <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf> (retrieved on Mar. 7, 2015).
- [9] K. M. Lee and J. I. Kim, "Design and implementation of hybrid VR lock system by arduino control", *Journal of the institute of signal processing and systems*, Vol. 15, No. 3, pp. 97-103, 2014.
- [10] J. S. Jeon, B. K. Oh, *Solidworks Simulation 2011*, Dae-youngsa, pp. 188-194, 2011.
- [11] D. H. Won, *2012 PLAY SOLIDWORKS Basic*, Chungdambooks, pp. 161-265, 2012.
- [12] Altsoft, *COMSOL Multiphysics guide book 1*, Altsoft, pp. 29-246, 2014.