레이저스캐너를 이용한 차량저속운전보조장치의 설계

Design of Vehicle Low speed Drive Assistant System with Laser Scanner

문 희 창*, 손 영 진, 김 정 하
(Hee Chang Moon, Young Jin Son, and Jung Ha Kim)

Abstract : This paper describes a vehicle low speed driving assistant (VLDA) system that is composed of laser scanner. This vehicle is designed for following lead vehicle (LV) without driver's operation. The system is made up several component systems that are based on unmanned ground vehicle (UGV). Each component system is applied to use advanced safety vehicle developed to complete UGV system. VLDA system was divided into vehicle control system and obstacle detecting system. The obstacle detecting system calculate distance and angle of LV and transmit these data to vehicle control system using front, left and right laser scanners. Vehicle control system makes vehicle control values such as steering angle, acceleration and brake position and control vehicle's movement with steering, acceleration and brake actuators. In this research, we designed VLDA system like as low speed cruise control system and test it on real road environments.

Keywords : Vehicle Low speed Drive Assistant(VLDA), Advanced Safety Vehicle(ASV), Unmanned Ground Vehicle(UGV), laser scanner, low speed ACC(Adaptive Cruise Control)

I. 서론

매년 증가하는 도로에서의 교통사고 건수와 인명 및 재산 피해에 대한 위험은 자동차 관련산업에서 안전성 개선에 대한 연구와 투자를 더욱 증대시키는 요인이 되고 있다. ASV(Advanced Safety Vehicle)는 차량의 핵심 모듈 및 시스템의 지능화와 도로, 차량운영 기술의 연계를 통해 안전도 향상과 사고예방이 가능한 시스템이다. ASV의 핵심기술로는 ACAS(Automotive Collision Avoidance System)와 LDWS(Lane Departure Warning System) 그리고 그림 1에 표현한 FVCWS (Forward Vehicle Collision Warning System)이 대표적이다.

ASV에 대한 연구와 적용은 일본과 유럽에서 가장 활성화되어 있다. 일본은 국토 교통성 주도로 1991년부터 지능형교통시스템(ITS)의 개발을 촉진하고 있으며 ASV의 연구개발을 주도적으로 수행하고 있다. 이와 더불어 유럽에서의 ASV에 대한 연구는 지능형 교통시스템의 일종인 PROMETHOUS (Program for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety)에 5개국의 자동차 완성업체가 참여하는 것으로 시작되었다. 국내에서도 1990년대 중반 이후부터 지능형자동차연구의 일환으로 고 안전차량에 대한 연구가 자동차 산업체와 연구소를 중심으로 활발히 진행되고 있다[1].

1. 연구목적

ASV에 대한 연구는 지능형 교통시스템(ITS)의 여러 연구분야 중 하나로 차량에서 여러 센서와 구동기를 이용하여 차량을 지능화하고 도로의 상태를 확인 할 수 있는 장비 등을 이용하여 도로의 지능화를 통해 사고 발생의 감소 및 운전자에게 각종 정보를 전달하는 복합적인 시스템으로 연구, 개발되고 있다[2-5].

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수 : 2008. 3. 5., 채택확정 : 2008. 5. 6.
문희창, 손영진 : 국민대학교 자동차공학전문대학원
(hcmoon@kookmin.ac.kr/yjson@kookmin.ac.kr)
김정하 : 국민대학교 기계자동차공학부(jhkim@kookmin.ac.kr)

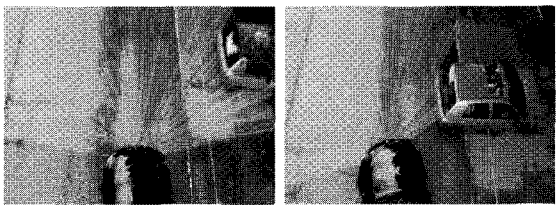


그림 1. 차량용 충돌방지시스템.
Fig. 1. Automotive collision avoidance system.

이번 연구는 다양하게 세분화되어 개발되고 있는 장치들을 이용하여 향후 완전한 UGV(Unmanned Ground Vehicle)로 가는 중간단계에서 활용할 수 있는 시스템의 구축(test bed)과 ASV로의 적용 가능성을 가늠해보고자 한다. 안정되고 숙련된 운전자와 같은 수준의 능력을 갖는 UGV의 개발을 위해서는 하드웨어 통합기술과 센서 신호의 분석, 판단, 조작을 수행하는 소프트웨어의 통합기술이 필요하다. 이를 위해서 다양한 주행자료의 측정 및 분석을 통한 시스템의 설계와 제어 개발 기술을 확보하는 것이 중요하며, 이런 기반 기술이 없는 경우에는 시스템 개발 후 시행착오 방법을 통한 검증 및 평가가 이루어질 수 밖에 없을 것이다. 그러므로 본 시스템이 주행 자료의 수집 · 분석을 통한 시스템의 설계와 제어 기반 기술을 확보하는데 중요한 역할을 할 것이다. 또한 외국에 비해서 가시적인 결과가 없는 국내 low speed ACC (Adaptive Cruise Control)분야에 있어 기술 개발에 대안이 될 수 있을 것이다.

II. 시스템 소개

VLDA(Vehicle Low speed Drive Assistant)시스템은 차량이 자동차전용도로에서 30km/h 이하로 저속 운전시 운전자를 대신하여 차량 스스로 가속과 감속 그리고 조향장치제어를 통해 전방차량을 추종하여 주행하는 시스템으로 low speed ACC이라 할 수 있다. Low speed ACC의 경우 이미 일본과 유럽의

자동차 선진국들을 중심으로 관련 연구/개발이 이루어지고 있다[6]. 본 연구에서는 이들 연구들을 참조하여 low speed ACC시스템을 구성하였다.

1. VLDA 시스템의 구성

본 연구에서 사용한 VLDA시스템은 그림 2와 같이 일반적인 SUV(Sports Utility Vehicle)을 이용하여 내부에 차량의 움직임을 제어하는 차량제어시스템과 전방차량의 위치를 인식하는 장애물인식시스템으로 이루어진다.

차량제어시스템은 VLDA시스템에 있어서 가장 기본이 되는 플랫폼으로 각종 센서와 장치들이 탑재되며 이들로부터 오는 신호를 조향, 가속, 제동 장치에 연결된 구동기를 작동시켜 차량을 움직이게 된다. 장애물 인식시스템은 레이저 스캐너(laser scanner)를 이용하여 차량의 전방 및 측방의 장애물을 인식하고 각 장애물의 위치정보를 차량제어시스템에 전달한다. 차량제어시스템에서는 이 신호를 바탕으로 전방 차량을 추종하여 자율주행을 하게 된다.

2. 차량제어 시스템

2.1 종방향 제어

차량의 종방향제어를 위하여 스마트모터를 사용하였으며 세부 제원은 표 1과 같다. 그림 3과 같이 운전석 시트 아래 부분에 모터를 설치를 하였다. 가속 페달과 브레이크 페달의

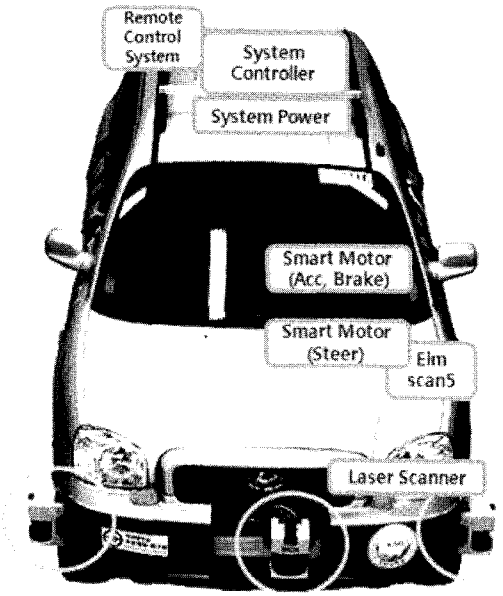


그림 2. VLDA 시스템 구성.

Fig. 2. System configuration of VLDA.

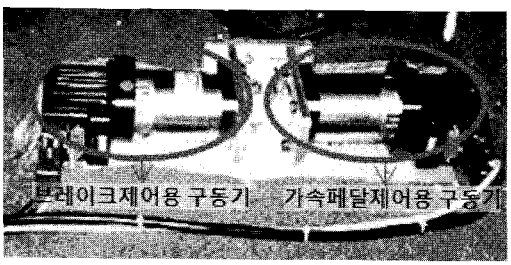


그림 3. 종방향 제어 구동기.

Fig. 3. Longitudinal control actuators.

표 1. 스마트모터 제원.

Table 1. Specification of smart actuator.

Input power	20~40V (DC)
Peak torque	0.3 Nm
Nominal power	0.13 kw
No load speed	9000 rpm
Continuous torque	0.19 Nm

위치제어를 위해 강철연선(flexible wire)를 스마트모터에 연결하여 각 페달의 위치를 제어하게 된다. 스마트모터는 차량제어시스템과 RS232C통신으로 연결되며 모터의 상태를 피드백(feed back) 받아 모터의 위치값과 속도값을 제어하게 된다.

2.2 횡방향 제어

차량의 횡방향 제어는 차량의 조향 핸들을 제어하기 위해 스마트모터를 그림 4와 같이 조향축(steering column)의 중간샤프트(intermediate shaft)에 장착하였다.

중간샤프트와 스마트모터는 타이밍 풀리와 벨트로 연결되어 있다. 조향제어에 사용된 스마트 모터는 차량제어시스템과 RS232통신을 통해 조향 제어명령을 입력 받으며 내부의 PID제어기를 통해 정확한 조향각을 유지한다.

2.3 OBD II

OBD(On Board Diagnostics)는 제어계통의 어떤 부품이나 시스템의 이상이 있을 경우 차내 계기판의 고장지시등(malfunction indicating lamp)을 점등시켜 운전자에게 알려주는 장치를 말한다. OBD II는 DTC(Diagnostic Trouble Code - 고장코드)와 고장이 발생할 경우 이를 수리하기 위해 필요한 정보를 알 수 있도록 운전 상태와 관련 센서 측정값 등을 구체

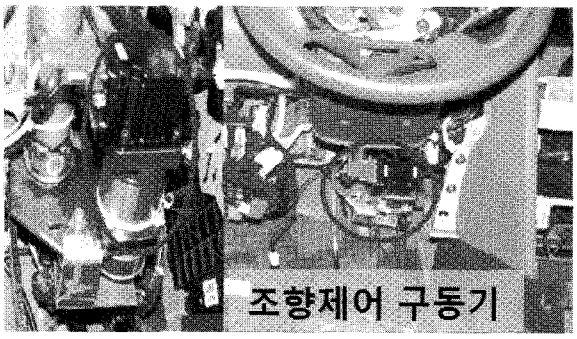


그림 4. 횡방향 제어 구동기.

Fig. 4. Lateral control actuator.

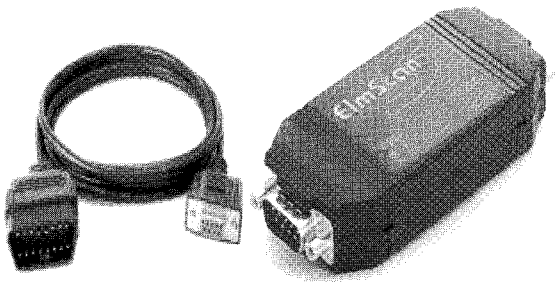


그림 5. 차량고장진단용 통신장비(ELM scan5).

Fig. 5. ELM scan 5, OBD II cable.

적이고 개별적으로 컴퓨터에 기억시키며 이 정보는 쉽게 지워지지 않도록 규정하고 있다. 또한 이러한 정보를 알 수 있도록 정비소에서 사용하는 진단장치로 통신이 가능하도록 규정하고 있다.

본 연구에서 사용한 SUV차량은 K-라인 OBD II규약을 사용하고 있으며 그림 5의 장비를 통해 K-라인통신을 RS232통신으로 변환하여 차량 ECU와 연결하며 ECU내의 차량정보(차량속도, 엔진RPM, 스로틀 포지션 등)을 얻을 수 있으며 이 정보는 차량제어시스템에서 차량속도제어를 위해 사용된다.

2.4 전원 공급 시스템

VLDA시스템의 전원은 차량에 Delko의 12V DC31(deep cycle battery)에 100Ah의 용량을 가진 배터리 2개를 직렬로 연결하여 DC 24V 100Ah의 전원을 사용하였다.

그림 6과 같이 12V배터리를 직렬로 연결하여 24V 의 전원을 공급하며 차량시스템과 장애물인식시스템 그리고 기타 센서에서 필요한 전원을 공급하기 위해서 그림 7과 같이 DC-DC컨버터를 제작하였다. 제작한 DC-DC컨버터는 24V를 입력전압으로 출력전압은 DC 3.3V, 5V, 12V, 24V가 출력되고 최대출력은 150W이다.

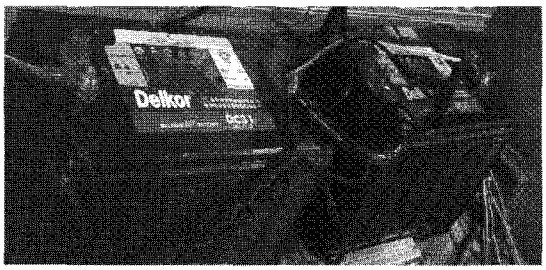


그림 6. VLDA시스템 전원(12V 100Ah 고방전배터리).
Fig. 6. VLDA power source (12V 100Ah deep cycle Battery).

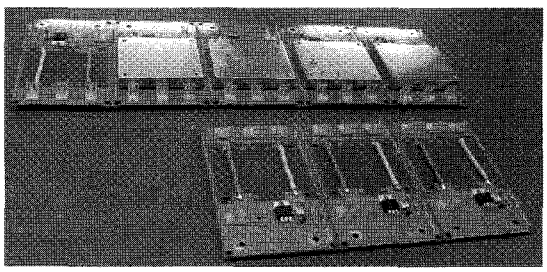


그림 7. 직류 전압 변환기.
Fig. 7. DC to DC converter.

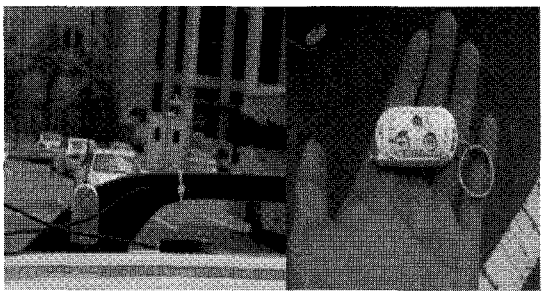


그림 8. 비상정지용 RF 송수신기.
Fig. 8. RF transmitter and receiver for emergency stop.

2.5 비상정지 제어 시스템

저속 주행 하는 차량이지만 부분적인 무인 자율 주행 시스템이므로 시험 과정에서 이에 대한 안전장치는 반드시 필요하다. 이를 위하여 원격으로 VLDA시스템을 정지시키는 제어시스템을 구축하였다. 이 시스템은 외부에서 차량 정지를 실행할 수 있는 RF 송신기와 이 신호를 수신하는 수신기, 그리고 수신된 신호를 차량제어 시스템에 입력시키는 NI-DAQ로 구성된다. 사용된 RF송신기는 그림 8과 같은 컴파일테크놀로지사의 GRFM-3KEY이다. 사용거리는 일반 도로에서 약 300m이다. 동작방법은 송수신기의 설정을 완료한 후 RF송신기의 스위치를 누르면 각 버튼에 해당하는 수신기의 채널에서 신호가 출력된다. 채널의 신호는 스위치를 누르고 있는 동안 계속 출력되며 최대 약 8초간 출력된다. RF송신기에는 3개의 스위치가 있으며 수신 부에 각각 CH1, CH2, CH3의 포트에서 5V가 출력된다. 하나의 수신기에 최대 10대의 송신기를 설정할 수 있으므로 예측 불가능한 상황에 대비해서 총3대의 RF송신기를 수신기에 등록하였으며 실험 시 위험 상황에서 개별적으로 차량을 비상정지 시킬 수 있게 하였다.

3. 장애물 인식 시스템

차량의 전방과 측면의 장애물의 검출은 다양한 종류의 센서들이 사용된다[7,8]. 일반적인 장애물검출센서는 초음파센서, 적외선센서, 밀리미터파 레이더 등이 있다. 본 연구에서는 독일 SICK의 레이저 스캐너(LMS291-S05) 모델을 사용하였으며 사양은 표 2와 같다. 이 센서는 외부환경에서 사용이 가능한 유일한 모델로써 차량에 장착된 지점을 기준으로 반경 40미터 주위 지형 또는 장애물까지의 거리를 초당 37번이란 빠른 속도로 정확히 측정할 수 있는 장점 때문에 대부분의 무인차량에서 사용된다[9].

본 연구에서는 전면 및 측면의 차량을 정확히 인식하기 위하여 대부분의 차량의 범퍼부분인 지면으로부터 약 70cm높이에 차량의 전면과 좌우 측면에 각각 한 개의 레이저 스캐너를 그림 9와 같이 장착하였다.

표 2. 레이저 스캐너 LMS291-S05의 제원.
Table 2. Specification of LMS291-S05.

Detecting Range	Max. 80m
Scan range	180°
Angulat Resolution	0.25° , 0.5° , 1°
Data Interface	RS232C(5Hz), RS422(75Hz)

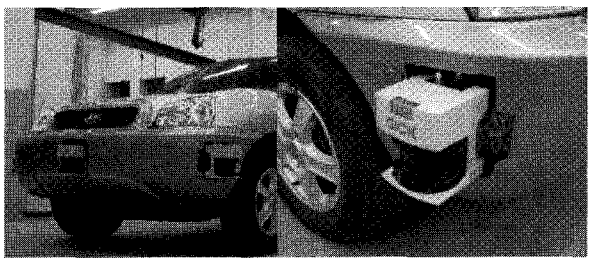


그림 9. 차량에 장착된 레이저 스캐너.
Fig. 9. Laser scanners mounted on front bumper of vehicle.

III. 제어알고리즘

1. VLDA 시스템 제어 알고리즘

시스템의 전체 제어 흐름도는 아래 그림 10과 같다. 차량이 저속 자율 주행 모드(VLDA)에 진입하기 위해서는 다음과 같은 조건들이 만족되어야 한다.

1) System-on: VLDA 모드를 시작하겠다는 운전자의 의지가 있어야 한다.
2) Shift position-on: Gear Select Lever가 자동변속기의D(Drive)에 위치해 있어야 한다.
3) OBD II-on: OBD II 데이터가 프로그램에 입력되어야 한다.
4) Emergency-off: 비상정지 기능이 해제상태여야 한다.

1.1 비상정지 제어

차량의 주행 상태가 자동주행 상태(automation mode)일 때 비상 신호가 입력되면 VLDA 시스템은 비상 상황으로 인식하고 바로 비상정지 모드로 시스템의 제어권한을 변경한다. 비상정지모드로 변경되면 시스템은 차량제어시스템에 다음과 같은 명령을 전달하게 되고 차량은 바로 정지하고 시스템은 다음 명령을 기다리게 된다.

(1) Full brake : 차량의 브레이크를 급격히 최대한 밟는다.
(2) Steering servo off : 자율주행상태에서 조향 핸들이 자동으로 동작하는 것을 해지시키고 모터가 발생하는 토크를 0으로 한다.
(3) Acceleration servo initialize and off : 자율주행 시 가속페달이 제어되고 있는 상태에서 페달의 위치를 초기값으로 하고 모터의 토크를 0으로 한다.
(4) Emergency light on : 차량이 급정지한 후 2차 사고를 방지하기 위하여 비상등을 켠다.

1.2 비상정지 거리의 설정

VLDA시스템이 최대주행속도(30km/h)를 상정하여 위험상황에 대비 하였다. 비상정지 상황이므로 최대제동 상태(Full Braking)가 되도록 브레이크 위치를 변경 하였다. 이를 위하여 모터의 회전 속도를 변경 하면서 최대 정지 거리를 설정하였다.

비상정지 기능을 실험하기에 앞서 운전자가 제동할 경우의 정지거리(braking distance)를 확인하였다. 마른 아스팔트도로에서, 자동변속기의 기어를 2단으로 고정시킨 후 30km/h로 주행 중, 실제 사람이 제동을 할 경우 정지거리가 약 5.5~6m가 됨을 확인하였다.

운전자 없이 제동모터를 이용하여 차량을 정지시킬경우 제동모터의 RPM에 의해 차량이 제동거리가 달라짐을 실제 실험을 통한 결과를 표 3에 나타내었다. 제동모터의 작동속도를 900rpm으로 하였을 때 정지거리가 7m로 사람이 운전하였을 때와 정지거리가 같음을 알 수 있었다.

2. 주행제어 알고리즘

주행제어 알고리즘은 가속과 제동, 그리고 조향제어의 세 부분으로 구성되어 있으며 전방차량(lead vehicle)과의 거리와 속도 및 조향각에 따라 종방향과 횡방향 제어를 하게 된다. 가속 제어, 제동 제어 그리고 조향 제어의 판단기준은 다음과 같다.

2.1 정지거리(stopping distance)의 설정

정지시거(SSD: Stopping Sight Distance)는 운전자가 주행 차로 상에 있는 장애물 또는 위험 요소를 인지하고 제동을 걸어서 안전하게 정지할 수 있는 거리를 말하며 (1)과 같이 공주 거리와 제동 거리의 합으로 나타낸다[10].

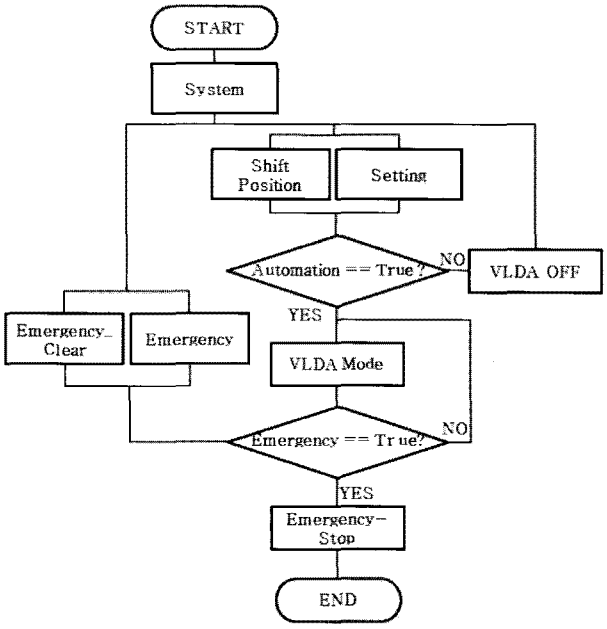


그림 10. 시스템 제어 흐름도.
Fig. 10. Control flow chart of VLDA system.

표 3. 30km/h에서 모터 회전속도 변화에 따른 정지거리.
Table 3. Braking distance against RPM change of motor at 30km/h.

Motor RPM	Brake Distance (m)
790	16~19
850	15
900	6.7~7

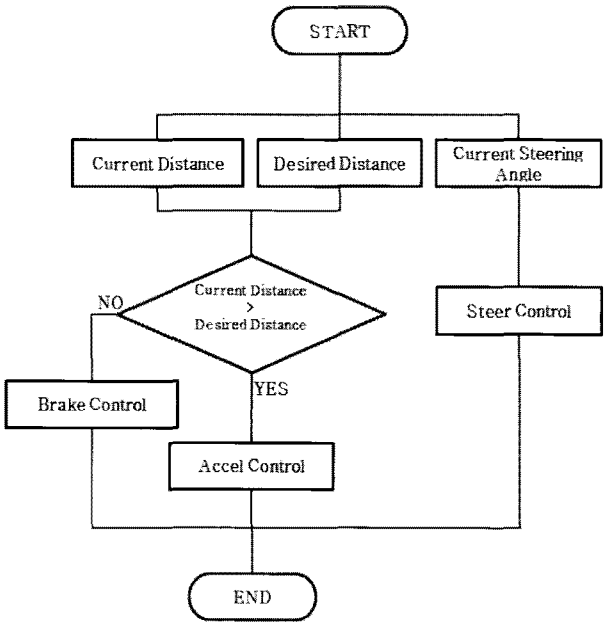


그림 11. 주행제어 흐름도.
Fig. 11. Flowchart of driving control algorithm.

표 4. 속도에 따른 정지시거.
Table 4. Stopping sight distance against vehicle velocity.

속도 (km/h)	마찰계수(f)	인지반응 시간 (t)	d1 (m)	d2 (m)	정지시거 (m)
5	0.8	0.4	0.5556	0.1230	0.68
10	0.8	0.4	1.1111	0.4921	1.60
15	0.8	0.4	1.6667	1.1073	2.77
20	0.8	0.4	2.2222	1.9685	4.19
25	0.8	0.4	2.7778	3.0758	5.85
30	0.8	0.4	3.3333	4.4291	7.76

$$SSD(m) = d_1 + d_2 = \frac{V}{3.6} \times t + \frac{V^2}{254f} \quad (1)$$

d_1: 공주거리(반응시간 동안의 주행거리) (m)
d_2: 제동거리 (m), V: 속도(km/h)
t: 운전자 인지 반응시간(sec),
g: 중력가속도(m/sec^2)
f: 노면과 타이어간의 종방향 미끄럼 마찰계수

본 연구에서는 운전자의 인지 반응시간을 가장 짧은 시간인 0.4초를 적용 하였으며 노면 마찰 계수는 0.8로 설정하고 (1)을 이용하여 이론 정지시거를 표 4와 같이 구하였다.

표 4의 결과를 바탕으로 차량을 정지시키기 위한 최적의 모터의 위치값을 구하기 위해 시험 차량을 대상으로 제동모터의 위치값을 변동시키면서 실제 제동거리를 그림 12와 같이 확인하였다. 또한 제동거리를 측정하면서 제동시의 승차감도 확인하였다. 승차감에 대한 판단은 사람마다 판단 기준이 다르기 때문에 10명의 운전자를 대상으로 실험을 하였다. 실험 결과 모든 운전자가 브레이크 페달을 70% 정도로 밟았을 때 불편함을 느끼지 않았다고 답하였으며 이때가 제동거리와 승차감이 가장 안정적인 것을 확인하였다.

2.2 가 · 감속 제어 알고리즘

차량의 종방향 제어(가 · 감속 제어)를 위해 전방차량과의 거리와 속도에 따라 가 · 감속 제어를 실시하는 알고리즘을 그림 13과 같이 설계, 적용하였다.

차량의 가 · 감속제어는 차량의 주행 상태에 따라 네 가지 모드로 분류를 하였고 각각의 모드에 따른 가 · 감속 형태는 다음과 같다.

모드 1: VLDA가 동작중인 차량이 주행 중이고 전방차량과의 거리가 줄어들고 있다면 그 거리에 따라 가 · 감속제어를 실시한다. 즉 거리에 따른 가장 많은 제동력을 발휘한다.

모드 2: VLDA가 동작중인 차량이 주행 중이고 전방차량과의 거리가 늘어나고 있다면 그 거리에 따라 가/감속 제어를 실시한다. 즉 거리에 따라 조금 더 일찍 제동력을 해제하여 추종성능을 향상시켰다.

모드 3: VLDA가 동작중인 차량이 정지상태이고 전방차량과의 거리가 늘어나고 있다면 그 거리에 따라 가 · 감속제어를 실시한다. 즉 거리에 따라 제동력을 가장 먼저 해제하여 출발성능을 향상시킨다.

모드 4: VLDA가 동작중인 차량이 정지상태이고 전방차량과의 거리가 늘어나고 있다면 그 거리에 따라 가 · 감속제어

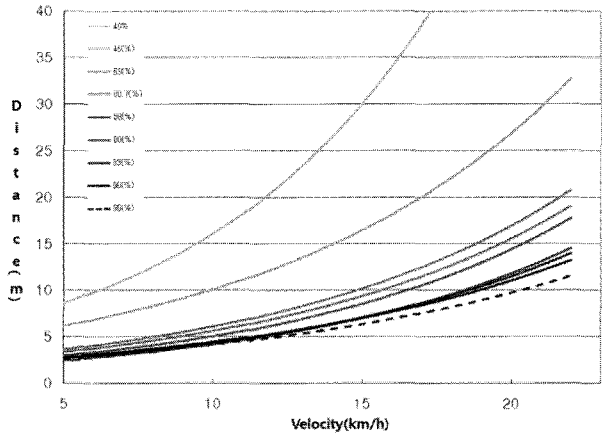


그림 12. 모터 위치 변화에 따른 제동거리.
Fig. 12. Brake distance against difference of motor position.

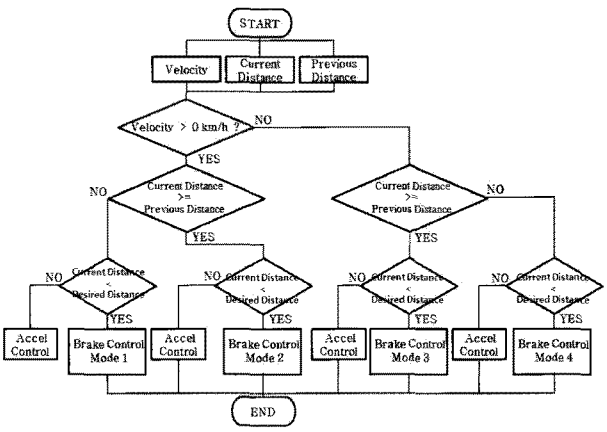


그림 13. 차량의 가 · 감속 제어 흐름도.
Fig. 13. Flowchart of acceleration and deceleration control.

를 실시한다. 즉 거리에 따라 조금 더 일찍 제동력을 해제하여 추종성능을 향상시킨다.

거리에 따른 각각의 제어모드 이외의 경우에는 가속성능을 추가하여 추종성능의 향상을 꾀하였다.

3. 전방차량 인식 알고리즘

3.1 전방차량의 인식

레이저스캐너를 이용한 전방차량의 인식방법은 그림 14와 같다. 레이저스캐너의 스캔 영역 폭을 차량을 중심으로 앞으로 30m 좌우로 10m, 총 20m의 스캔영역을 제한하여 데이터를 처리하였다. 스캔영역에 존재하는 장애물의 폭이 1.0~2.5m 이내인 것들을 구분하여 차량으로 인식하고 그 이외 것들은 장애물로 인식한다. 만약 전방에 차량으로 인식한 물체가 2개 이상이 검출된다면 그 크기와 위치를 비교하여 차량의 진행방향에 존재하는 장애물을 전방차량으로 인식한다. 전방차량이 인식되면 추종하면서 가/감속제어와 조향제어를 수행하게 된다. 또한 1~2.5m 이외의 장애물에 대해서는 다른 판단경로를 가지고 있다. 우선 1m이하에 대해서는 그 크기가 작다고 판단하고 선행차량을 대신하기 위하여 전방 20m에 장애물이 있다는 가상 대상물을 프로그램으로 입력하여 차량이 직진주행 하게 된다. 그러나 2m이상의 장애물에 대해서는 차량충돌회피시스템(Automotive Collision Avoidance

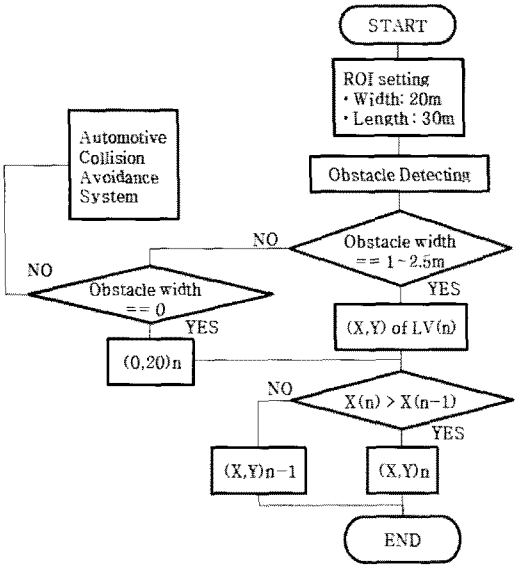


그림 14. 전방차량인식 알고리즘.

Fig. 14. Lead vehicle recognition algorithm.

System)에서 처리하여야 할 사항으로 본 연구에서는 고려하지 않았다.

3.2 조향각 계산

전방차량과 목적차량(Subject Vehicle: SV)과의 중심각 α와 γ는 그림 15에 나타낸 위치 조건을 이용하여 다음 (2)와 (3)을 이용하여 같이 구할 수 있다.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma \tag{2}$$

$$\gamma = \cos^{-1}\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \tag{3}$$

전방차량의 회전반경 r_1과 목적차량의 회전반경 r_2는 사인법칙으로부터 다음 (4), (5)를 구할 수 있다.

$$\frac{\sin\alpha}{b} = \frac{\sin\gamma}{r_2} = \frac{\sin\beta}{r_1} \tag{4}$$

$$r_1 = \frac{b\sin\beta}{\sin\alpha}, \quad r_2 = \frac{b\sin\gamma}{\sin\alpha} \tag{5}$$

차량의 조향모델[11]과 같이 본 연구에서도 (5)와 같이 전방차량과 목적차량의 회전반경을 계산하였고 회전 반경 r_1, r_2의 크기에 따라 목적차량의 조향각을 아래와 같이 3가지 경우로 나누어 적용하였다.

$r_1 = r_2$: 전방차량의 회전반경과 목적차량의 회전반경이 같으므로 전방차량으로부터 얻어진 조향각은 목적차량에 보정 없이 적용할 수 있다.

$r_1 > r_2$: r_1의 반경이 더 클 경우 목적차량의 조향각을 전방차량의 조향궤적에 진입시키기 위하여 L의 중심점에서 r_1, r_2반경의 차를 반영한 점p_2와 목적차량의 위치 $p_0(S_x,S_y)$, 그리고 전방차량의 위치 $P_1(p_x,p_y)$을 선정한다. 선정된 세 점을 지나는 포물선의 방정식(parabola equation: $y = ax^2+bx+c$)을 구하고 이를 목적차량의 조향각(Θ)으로 전환하여 목적차량의 속도로부터 p_2에 도달하는 시간까지 궤적을 추종한다.

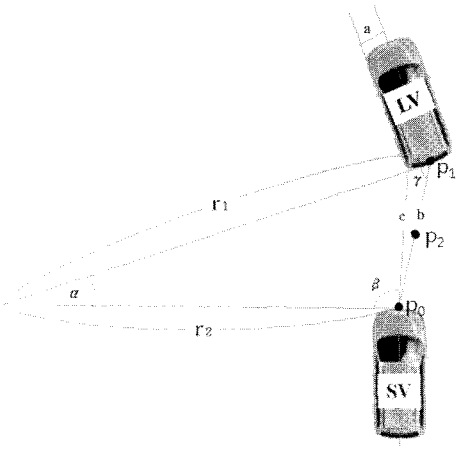


그림 15. 전방차량추종을 위한 조향각 계산방법.

Fig. 15. Method of calculating steering angle for following lead vehicle.

$r_1 < r_2$: r_2의 반경이 더 클 경우는 $r_1 > r_2$와 반대로 적용한다.

IV. 실험 및 결과

1. 실험환경

실제 주행상황에서 전방차량의 추종여부와 가/감속 제어가 제대로 이루어지는지 실험을 통해 검증하였다.

실질적인 목적차량의 전방차량의 인식 및 추종능력을 검증하기 위하여 그림 16과 같은 실제 도로주행 환경에 가까운 장소에서 주행시험을 실시하였다. 주행시험은 전방차량에 운전자가 탑승하여 10km/h의 속도로 주행하고 그 후미에서 목적차량이 추종주행을 하는 방법으로 하였다.

2. 실험 결과 및 분석

2.1 주행성능

차량의 추종시험을 위하여 우선 차량의 편안한 주행을 위해 최적의 브레이크 동작위치와 속도를 찾는 시험을 하였다. 초기시험은 제동량 100%, 가속량 100%, 브레이크가 동작하는 앞차와의 거리를 12m로 설정한 후 주행시험을 수행하였다.

그림 17은 실제 도로 상황과 유사한 환경의 짧은 거리를 시험 주행 후 획득한 데이터이다. 종방향 주행 알고리즘에 따라 선행차량과의 거리와 속도에 따라 가 · 감속 제어를 실시함을 알 수 있다. 그러나 실험차량의 가 · 감속 성능에 대

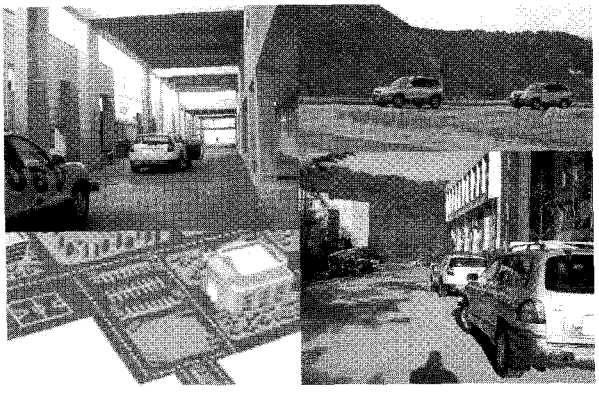


그림 16. 주행 실험 환경.

Fig. 16. Driving test environment.

한 이해가 부족한 상황에서 차량에 장착된 각 센서들의 안전을 최우선으로 했기 때문에 우선 거리에 따른 제동력을 최초 단계에서 약 50%의 제동압력을 시작으로 차간거리가 짧아질수록 제동압력이 커지도록 하고 주행특성을 관찰하였다. 승차감이나 제동특성 등이 가장 좋지 않았으며 다음 단계로 가기 위한 시험 성격의 주행이었다.

그림 18은 제동거리와 제동압력을 전 시험의 제어값을 약 8% 정도 완화한 것이다. 가장 주의해야 하는 상황인 모드1을 제외하고 다른 모드에서는 브레이크가 동작하는 차간거리를 1m 완화하였다. 이전 실험 때 보다는 안정감이나 주행성능이 향상되었으나 기대 성능에는 여전히 미치지 못하였다.

그림 19는 거리와 제동압력은 유지한 체 가속량을 약 8% 정도 줄인 경우이다. 그림에서는 잘 나타나지 않지만 추종성능이 가장 미흡하게 나타났다. 그 원인은 제동성능도 미흡하고 가속량을 줄여서 추종성능까지 떨어져 가 · 감속 제어가 제대로 이루어지지 않았기 때문인 것으로 보인다.

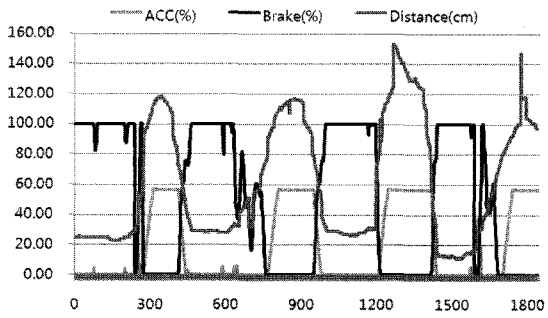


그림 17. 차량 주행 시험 #1.
Fig. 17. Vehicle driving test #1.

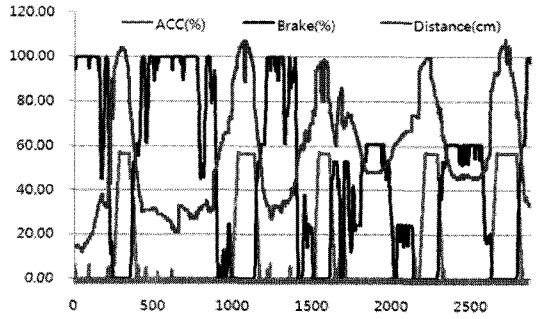


그림 18. 차량 주행 시험 #2.
Fig. 18. Vehicle driving test #2.

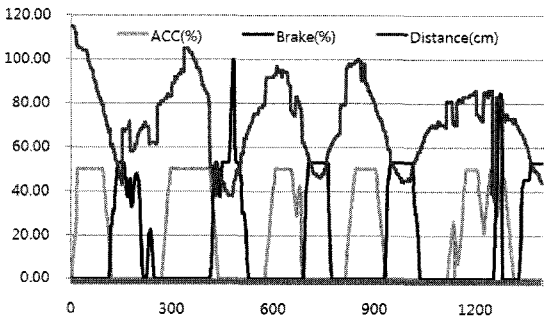


그림 19. 차량 주행 시험 #3.
Fig. 19. Vehicle driving test #3.

그림 20은 가속량을 이전 단계로 제 설정하고 브레이크 작동 거리를 약 10% 정도 줄이고 제동압력을 10% 향상시켜서 얻은 주행 데이터이다. 전방차량과의 거리에 따라 가/감속 제어가 이루어지는 것을 알 수 있다. 승차감을 고려해 본다면 조금 더 최적화된 가/감속제어가 필요 하였지만 주행 시험을 하기 위한 최소 조건을 만족하였다. 본 시험을 통해 변화된 제어변수의 값은 표 5와 같으며 총 제동압력은 초기값에 비해 10%가 증가가 되었고 브레이크가 동작하는 차간거리는 초기 12m에서 10m로 설정하였다.

앞선 실험을 통하여 구한 시스템을 안전하게 주행시킬수 있는 설정값을 세팅한후 주행시험을 다시 수행하였다. 교내 도로에서 안전을 확보한 약 1km의 거리를 10km/h의 속도범위로 주행을 하면서 전방차량을 인식하고 추종주행하는지 실험을 하였다. 그림 21은 주행시험의 결과를 나타낸다. 목적차량이 전방차량과의 거리가 멀어짐에 따라 가속 제어가 이루어지고 전방차량이 일정속도로 유지할 경우에는 목적차량도 전방차량과의 일정거리를 유지하며 일정속도를 유지하고 전방차량이 감속하여 거리가 가까워지면 목적차량도 감속을 위해 감속제어를 수행하는 것을 알 수 있다.

표 5. 실험을 위한 설정값의 변화와 결과.
Table 5. Result of test and setting value for experiment.

	제동량	가속량	차간거리	결과그림
초기설정값	100 %	100 %	12 m	그림 17
실험 1	92 %	100 %	11 m	그림 18
실험 2	92 %	92 %	11 m	그림 19
실험 3	110 %	92 %	10 m	그림 20

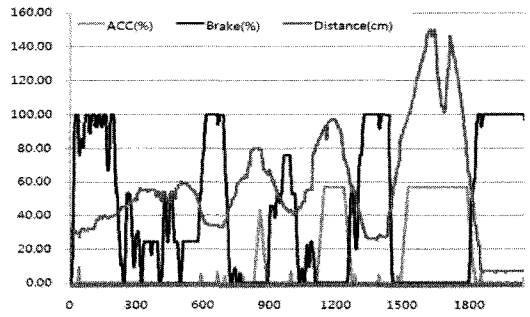


그림 20. 차량 주행 시험 #4.
Fig. 20. Vehicle driving test #4.

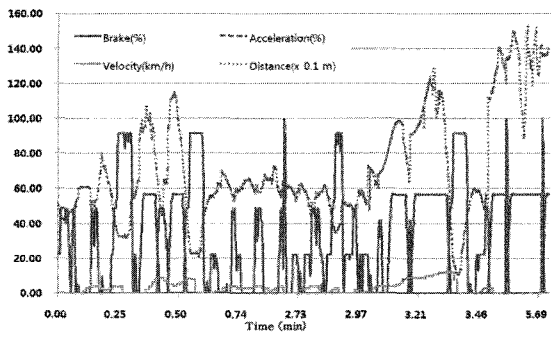


그림 21. 전방차량 추종 주행 결과.
Fig. 21. Result of following lead vehicle.

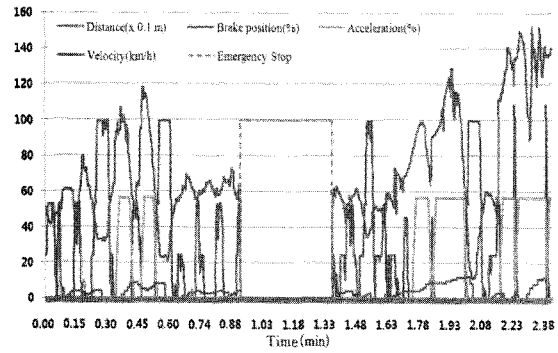


그림 22. 전방차량 추종 주행 중 비상정지 시험 결과.
Fig. 22. Result of e-stop test for following lead vehicle.

2.2 비상정지시험

그림 22는 전방차량추종주행 중 운전자나 외부에서 원격 제어기를 이용하여 비상 정지시켰을 때 저장된 데이터이다. 비상정지 기능의 정상 작동여부는 시스템의 안전에 매우 중요하므로 가 · 감속 성능을 안정화 시킨 후 비상정지기능을 실험하였다. 주행 중 비상정지신호가 들어오면 시스템은 비상정지모드로 변환하고 시스템을 정지시킨다. 운전자 혹은 외부에서 비상정지를 해지하게 되면 시스템은 초기화 되고 다시 전방차량의 위치를 찾은 후 추종주행을 하게 된다.

V. 결론

본 연구에서 대표적인 장애물 인식 센서인 레이저스캐너를 이용하여 주행환경을 스캔 한 후 장애물과 전방차량을 구분하고, 전방차량의 위치에 따른 조향각을 계산하여 최대 30km/h 이하의 속도로 추종 주행 하는 시스템을 설계 하였다. 본 연구를 통해 설계된 주행보조장치는 기존의 차량시스템을 이용하였으며 가 · 감속과 조향제어 구동기를 추가하고 이를 제어함으로써 구현하였다.

그러나 본 시스템은 시험시스템이라는 한계로 인해 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 그것을 보면 시스템 구축비용에 관한 것으로서 레이저 스캐너와 PXI(산업용 컴퓨터)등 고가의 장비를 사용하여 상용화의 어려움이 예상된다. 다음으로 시스템의 설계환경에 대한 것으로서 설계속도를 초과한 때의 알림 기능이나 다른 차량의 접근에 대한 인식과 경보기능 등의 알고리즘이 완전하게 갖추어 지지 않았으며, 차선 인식을 위한 비전 시스템은 적용하지 않았다. 비전시스템은 또 다른 전문연구분야로서 단기간 내에 구축하기에는 어려운 점이 있어 적용할 수 없었으나 적용할 경우 레이저 시스템만을 이용한 본 시스템에 비해 보다 많은 변수들에 대한 대응이 가능할 것으로 판단된다. 또한 실험설비와 연구원들에 대한 안전 때문에 폭넓게 적용하지 못한 부분인 가속 제어는 저속주행구간 전체에 보다 넓은 개도의 가속량이 접목되어야 원활한 주행이 이루어질 수 있을 것이다. 마지막으로 현재 개발된 시스템에 대한 정확한 시험과 평가가 이루어져야 할 것이다. 그러기 위해서 다양한 실험 시나리오의 개발 및 실험이 필요하며 다른 차량과의 비교 시험 또한 필요할 것이다. 시험 시스템의 한계에도 불구하고 전방차량을 추종주행하는 본 실험의 일차적인 목표는 성공적으로 끝났으며 보다 더 많은 변수들을 시스템에 반영하여 알고리즘을 구축한다면 향후 저속주행구간에서의 주행 보조 장치로서의 실용성을 향상 시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 전황수, 이진우, "ASV(첨단안전자동차)의 기술동향 및 개발 현황," ETRI, 주간기술동향 통권 1279호, 2007.

[2] E. J. Bernabeu, J. Tornero, and M.-omizuka, "A navigation system for unmanned vehicle in automated highway systems," *IEEE/RSJ Intelligent Robots and Systems and Systems*, October, 2002.

[3] W. Prestl, T. Sauer, J. Steinle, and O. Tschernoster, "The BMW active cruise control ACC," *SAE Technical Paper 2000-01-0344*, March 2000.

[4] G. R. Widmann, M. K. Daniels, L. Hamilton, L. Humm, B. Riley, J. K. Schiffmann, D. E. Schnelker, and W. H. Wishon, "Comparison of lidar-based and radar-based adaptive cruise control system," *SAE Technical Paper 2000-01-0345*, March 2000.

[5] Y. Takae, M. Iwai, M. Kubota, and T. Watanabe, "A study of driver's trust in a low speed following system," *SAE Technical Paper 2005-01-0430*, April 2005.

[6] Y. Teguri, "Laser Sensor for Low-Speed Cruise Control," *SAE Technical Paper 2004-21-0058*, October 2004.

[7] R. Sosa and G. Velazquez, "Modeling of detection and avoidance of obstacles as a contribution to automotive applications," *SAE Technical Paper 2007-01-4279*, 2007.

[8] W. Uhler and P. M. Knoll, "Surround sensors enablers for predictive safety systems," *SAE Technical Paper 2006-21-0032*, 2006.

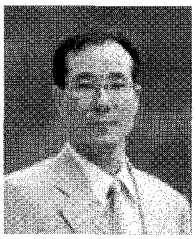
[9] 이홍철, "레이저 센서를 이용한 장애물 인식시스템 개발," 국민대학교 자동차공학전문대학원석사 학위 논문, 2006.

[10] 이수범, 장명순, 도철웅, 김원철, "인적요인이 도로설계에 미치는 영향(제1단계)," 교통개발연구원 첨단도로연구센터, 2001.

[11] 박정술, 한민홍, "지능형 자동 주차 지원 시스템의 구현," 신호처리 시스템 학회 논문집 제 6 권 제 4 호, pp. 182-190, 2005. 9.

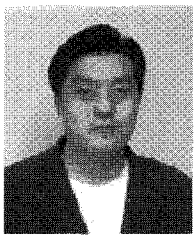
문 희 창

1976년 7월 5일생. 2001년 선문대학교 기계설계학과 졸업. 2003년 국민대학교 자동차공학전문대학원 석사. 2003년~현재 동 대학원 박사과정 재학중. 관심분야는 무인자동차, 카메라를 이용한 장애물 인식, 마이크로 로봇.



김 정 하

1959년 3월 21일생. 1981년 성균관대학교 기계공학과 졸업. 1986년 Univ. of Cincinnati 공학석사. 1990년 Univ. Pennsylvania 공학박사. 1994년~현재 국민대학교 기계자동차공학부 교수. 관심분야는 차량전자제어시스템, 무인자동차.



손 영 진

1972년 7월 5일생. 2003년 서울산업대학교 신소재공학과 졸업. 2005년 국민대학교 산업기술대학원 자동차공학과 석사. 2005년~현재 국민대학교 자동차공학전문대학원 박사과정 재학중. 관심분야는 무인자동차, 원격제어시스템.