
저자 (Authors)	이준영, 이경수
출처 (Source)	제어로봇시스템학회지 21(1), 2015.3, 20-30(11 pages)
발행처 (Publisher)	제어로봇시스템학회 Institute of Control, Robotics and Systems
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06241755
APA Style	이준영, 이경수 (2015). 자율 주행 차량 기술 동향 및 방향. 제어로봇시스템학회지, 21(1), 20-30
이용정보 (Accessed)	영진전문대학 210.101.***.125 2019/05/28 23:48 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

자율 주행 차량 기술 동향 및 방향

본 논문에서는 운전자의 안전 및 승차감을 향상시키기 위한 운전자 지원 시스템 기술의 개발 현황과 최근 연구 동향에 대해서 언급하고 있다. 더 나아가 운전자 지원 시스템의 궁극적인 목표인 자율 주행 제어 시스템을 구현하기 위해서 전 세계적으로 활발히 진행되고 있는 연구 개발 현황 및 주요 이슈들에 대해서 간략히 언급하고 있다. 마지막으로 지능형 자동차 및 자율 주행 자동차의 개발에 따른 사회적 기대 효과를 다루고 실제 지능형 자동차 및 자율 주행 자동차 기술의 구현을 위해 남아있는 과제에 대해 간략히 언급하고 있다.

■ 이준영, 이경수*
(서울대학교 기계항공공학부)

I. INTRODUCTION

자동차는 이제 우리에게 단순한 이동수단으로 여겨지는 것이 아니라 개인적 행복과 삶의 질, 그리고 사회적 지위와 만족도에 깊이 연관되어있는 존재로 우리 삶에 자리매김하였다. 이동수단으로서의 가치뿐만이 아닌 우리 삶의 일부분으로 자동차의 가치가 향상되고, 전 세계적으로 인구 또한 증가하면서 자동차의 절대적 수 및 밀도는 급진적으로 증가하였다. 이로 인해 교통사고가 증가하고 도로 정체 빈도가 늘어나면서 소음 및 공해의 증가, 생산적 시간의 감소 그리고 에너지 자원의 낭비 등 여러 부작용이 사회문제로 야기되었다[1-3]. 세계 보건 기구(World Health Organization)에서 수행한 조사 결과에 따르면 해마다 전 세계적으로 124만명 정도의 교통사고 사망자가 발생하고 5천만명 정도의 사상자가 발생한다고 조사되었다[4-6]. 이러한 부작용들을 해결하기 위해 보다 안전하고, 친인간적이며 친환경적인 지능형 자동차 기술(Intelligent Vehicle Technology) 개발에 대한 사회적 요구가 확대되었다. 지능형 자동차 기술 개발 목표는 크게 2가지로 나눌 수 있다. 하나는 운전자 및 운전자의 탑승자, 보행자들의 안전을 향상시키는 것이고 다른 하나는 공해 유발, 생산적 시간 감소에 따른 경제적 손실 및 에너지 자원 낭비의 원인인 도로 정체를 경감시키는 것이다. 근래에 센서와 액츄에이터 기술의 발전에 힘입어 운전자의 안전을 향상시

키기 위한 다양한 운전자 지원 제어 시스템(Driver Assistance System)들이 개발되고 차량에 탑재되기 시작하였다. 또한 운전자 지원 제어 시스템 개발의 궁극적 목표인 자율 주행 제어 시스템의 개발을 위한 연구가 세계 유수의 자동차 기술 선진 업체에서 진행되고 있다. 그리고 도로 정체에 따른 공해 및 에너지 자원 낭비 문제를 해결하기 위해서는 교통 흐름을 보다 원활하도록 하는 제어 전략 개발 및 하이브리드 차량과 전기자동차 제어 기술 개발 관련 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다.

본 논문에서는 운전자의 안전을 향상시키기 위한 운전자 지원 제어 시스템 기술의 개발 현황 및 최근 연구 동향에 대해 언급하고, 운전자 지원 제어 시스템의 궁극적인 목표인 자율 주행 제어 시스템 기술의 현황 및 주요 연구 이슈 등에 대해 살펴보고자 한다. 또한 추후 자율 주행 제어 시스템 기술 구현을 위한 연구 방향에 대해 언급하기로 한다.

II. CURRENT STATE OF DRIVER ASSISTANCE SYSTEM AND AUTOMATED VEHICLE TECHNOLOGY

1. Driver Assistance System

앞서 언급하였듯이 최근 자동차 산업은 운전자의 안전을 보다 향상시키면서 안락한 주행환경을 제공하는 방향으로 발전

하고 있다. 이러한 추세에 맞게 운전자 지원 제어 시스템 및 능동 안전 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 실차에 적용되고 있다. 운전자 지원 제어 시스템 개발 초기에는 차량 주행 상태를 측정하는 차량 센서만을 이용한 능동 안전 제어 시스템에 대한 연구가 진행되었다. 차량 센서만을 이용한 운전자 지원 제어 시스템 중 제일 먼저 실제 차량에 적용된 시스템으로는 ABS(Anti-lock Brake System)을 들 수 있다. ABS는 급제동 상황에서 바퀴가 잠기면 차량이 안정성을 잃고 미끄러지면서 운전자가 차량을 제어할 수 없는 상태가 발생할 수 있기에 급제동 상황에서도 바퀴가 잠기지 않도록 제어함으로써 차량의 안정성을 향상시키는 장치로 1978년에 Bosch에서 처음 개발하였다. 차량의 제동력을 조절하여 차량의 안정성을 향상시키는 ABS와 달리 차량의 구동력을 조절하여 차량의 안정성을 향상시키기 위해 TCS(Traction Control System)가 개발되었다. TCS는 미끄러운 노면에서 운전자가 가속하는 경우 타이어나 노면간의 마찰력에 따라 구동력을 자동으로 조정하여 구동륜이 미끄러지는 것을 방지하고 선회 안정성을 향상시키는 기능을 한다. ABS와 TCS 개발에 대한 관련된 연구는 Shurr와 Kachroo에 의해서 수행되었다[7,8].

1990년대 중반에는 앞서 언급한 ABS와 TCS를 통합한 VSC(Vehicle Stability Control)이 연구 및 개발되면서 차량 센서만을 이용한 운전자 지원 제어 기술이 진일보하였다. VSC는 차량의 차륜 속도, 조향각, 운전자의 가속 페달 입력, 측방향 가속도, 브레이크 실린더 압력 등의 정보를 이용하여 차량의 현재 주행 상태를 판단하고 차량의 주행 안정성이 위험하다고 판단되면 제동력과 구동력을 능동적으로 조절하여 차량의 안정성을 확보하도록 하는 기능을 한다[9-12]. BMW에서는 주행 한계에서 차량을 안정성을 향상시키기 위해 구동력 및 제동력을 능동적으로 제어하는 VSC 시스템 개발에 대한 연구를 DSC(Dynamic Stability Control)이라는 이름으로 진행하였고[13,14], Bosch에서는 차량이 주행 중인 노면 상태를 고려하여 차량의 요속도 및 횡방향 미끄러짐을 제한하는 차량 안정성 제어 시스템 개발에 관한 연구를 진행하였다[15].

앞서 언급한 ABS, TCS, 그리고 이들을 통합한 VSC와 같은 차량 안정성 제어 장치는 안전 벨트 다음으로 운전자의 안전을 향상시켜줄 수 있는 것으로 조사되었다[16,17]. 또한 VSC를 다른 차체 자세 제어 시스템과 함께 활용하여 차량의 안정성 및 운전자의 안전을 향상시키고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다. 일례로 차량의 전복을 방지하기 위해 능동 서스펜션과 VSC를 통합한 제어 전략에 대한 연구가 Yoon에 의해 진행되

었다[18]. 또한 차량의 전복을 방지하면서 동시에 차량의 횡방향 안정성을 확보하기 위한 통합 사시 제어 알고리즘에 대한 연구 역시 진행되었다[19]. 이렇듯 VSC의 높은 효용성에 따라 전 세계적으로 VSC 시스템에 대한 시장 수요가 급격히 증가하고 있고 유럽 연합(EU)에서는 2014년 11월부터 생산된 모든 차량에 대하여 VSC 시스템의 장착을 법규화하였다.

차량의 주변 교통 환경을 모니터링하는 환경 센서를 활용한 운전자 지원 시스템은 1990년대부터 등장하였는데 초기에는 주로 운전자에게 주행 위험에 대해 경보를 제공해주는 역할을 하였다. 1990년대 초 Nissan에서는 차량 전방에 장착된 레이더(Radar)를 기반으로 전방 차량과의 충돌 위험을 판단하고 전방 차량과의 충돌 위험이 존재하는 경우 운전자에게 경보를 제공하는 FVCW(Front Vehicle Collision Warning)를 최초로 제품화하였다. 또한 운전자의 졸음 혹은 부주의로 인한 차선 이탈로 발생하는 교통 사고가 전체 교통 사고 중 약 20%의 비중을 차지하고 있기에 이를 방지하기 위한 LDWS(Lane Departure Warning System)이 활발히 보급되고 있다[20]. 운전자가 차선을 변경하는 도중에 발생하는 사고 역시 전체 교통 사고 중 12~13%의 비중을 차지하고 있다[26,27]. 따라서 최근에는 차량 측후방에 장착된 레이더(Radar)를 이용하여 운전자에게 경보를 제공하는 BSD(Blind Spot Detection) 시스템도 제품화되고 있는 추세이다.

이러한 경보 시스템들은 운전자에게 경보는 제공하지만 운전자가 경보에 제때 반응하지 못하는 경우에 대해서는 운전자의 안전을 확보할 수 없게 된다. 따라서 운전자의 안전을 보다 능동적으로 확보하고 운전자의 편의를 향상시키기 위한 운전자 지원 제어 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 1999년에 처음으로 개발된 ACC는 레이더(Radar)를 이용하여 자차량 전방의 주행 환경을 인지하고 선행 차량과의 안전거리를 유지하면서 추종하도록 차량의 가감속을 자동으로 제어함으로써 운전자의 운전 피로도를 감소시키고 안전을 확보하는 종방향 운전자 지원 제어 시스템이다. ACC 양산 초기에는 30kph 이상의 속도에서만 작동하도록 설계되었는데 현재는 전 속도영역에 대해 자동으로 가감속을 할 수 있도록 제품화되고 있다[21,22]. 일례로 GM에서는 Cadillac 차량에 FVCW 기능과 ACC 기능을 통합하여 양산하고 있다. ACC가 종방향 가감속을 자동으로 제어함으로써 운전자의 안전과 편의를 향상시키는 시스템이지만 운전자가 시스템을 작동시키지 않는 상황에서는 전방 충돌 위험에 대한 대처가 불가능하다. 따라서 운전자가 직접 운전하고 있는 상황에 대해서도 보다 적극적인 제어 개입을 통해 전방 충돌을 방지하거나 혹은 충돌이 불가피한 상황에 대해서

는 충돌로 인한 충격을 완화하기 위한 운전자 지원 제어 시스템에 대한 연구 및 개발이 활발히 진행되었다. 환경 센서로부터 인지된 전방 주행 상황 정보를 기반으로 선행 차량과의 충돌 위험을 판단하고 충돌이 불가피하다고 판단된 경우 충격을 완화하기 위한 기능인 AEB(Advanced Emergency Braking)는 ACC가 제품화된 이후 2000년대 초중반부터 활발히 연구되었다[23]. AEB는 특히 상용차량의 전방 충돌 충격을 완화하는데 매우 효과적이라는 연구 결과들에 따라 2013년 11월부터 유럽(EU)에서 생산된 모든 상용차량에 대해서는 AEB 시스템 적용이 법규화되었다[24,25]. 최근에는 충돌 완화뿐만 아니라 저속 상황에 대해서는 적극적인 제어 개입을 통해 선행 차량과 자차량간의 충돌을 방지하도록 AEB기능을 확장한 운전자 지원 제어 시스템이 제품화되고 있다. 2011년부터 Ford에서는 최대 인지 범위 7.6m의 저가형 레이저스캐너(Lidar) 센서를 이용하여 30kph이하의 주행 상황에 대해서는 전방 충돌을 능동적으로 방지하도록 제동을 하는 'Active City Stop' 시스템을 제품화하고 있다. 여기에 더하여 Volvo에서는 최대 인지 범위 10m의 저가형 레이저스캐너(Lidar) 센서를 이용하여 저속 상황에서 차량간의 충돌뿐만 아니라 보행자 혹은 오토바이 운전자와 자차량간의 충돌이 예상될 경우 충돌을 미연에 방지하도록 자동으로 제동을 하는 'City Safety' 기능을 제품화하였다.

ACC와 AEB가 가감속 제어를 통해 운전자의 편의와 안전을 향상시켜주는 종방향 운전자 지원 제어 시스템이라면 조향 제어를 통해 운전자의 안전을 향상시켜주는 대표적인 시스템은 LKAS(Lane Keeping Assistance System)과 LCA(Lane Change Assistance)이다. LKAS는 카메라 센서를 통해 인지되는 차선 정보, 즉 차선까지의 거리, 차선 중심에 대한 차량의 진행 방향, 전방 도로의 곡률 등을 활용하여 차선 이탈 여부를 판단하고 운전자의 부주의로 인한 의도치 않는 차선 이탈이 예상되는 경우 차선 이탈 방지를 위해 능동적인 제어 개입을 하는 시스템이다[28]. 카메라 센서 기술뿐만 아니라 액츄에이터 제어 기술의 발전에 따라 최근 많은 자동차 회사에서 LKAS를 개발하고 제품화하고 있다. Volkswagen에서는 의도치 않는 차선 이탈을 방지하기 위하여 조향 보조 제어를 하는 'Lane Assist' 시스템을 차량에 적용하여 양산하였다. Infiniti는 차선 이탈이 예상되는 경우 운전자에게 소리로 경보를 제공함과 동시에 VSC를 이용하여 차등 제동 입력을 차량에 인가함으로써 차량의 차선 이탈을 방지하도록 제어하는 'Lane Departure Prevention' 시스템을 제품화하였다. 이와 유사하게 Benz에서는 차선 이탈이 예상되는 상황에 운전자에게 시각적 및 촉각적인 경보를 먼저 제공하고 운전

자가 차선 이탈을 회피하기 위한 거동을 보이지 않는 경우 VSC를 이용한 차등 제동을 인가하여 차량의 차선 이탈을 방지하는 'Active Lane Keeping Assist' 시스템을 양산하였다. 운전자의 의도치 않는 차선 이탈을 방지하는 LKAS와는 달리 운전자가 의도적으로 차선 이탈, 즉 차선 변경을 하는 도중에 자차량의 측후방에 있는 차량을 인지하지 못하여 발생하는 충돌 사고를 방지하기 위한 운전자 지원 제어 시스템이 LCA이다. Benz에서는 측후방 레이더(Radar)를 활용하여 자차량의 측후방, 혹은 운전자의 시야로부터 사각지대에 있는 주변 차량에 대한 시각적인 정보를 제공하고 주변 차량과 충돌 위험이 있는데도 운전자가 차선 변경을 시도하는 경우에 대해서 차등 제동 제어 개입을 통해 차선 변경을 방지하는 'Active Blind Spot Assist' 라는 시스템을 차량에 적용하여 양산하고 있다.

앞서 언급한 운전자 지원 제어 시스템들이 모두 도로상에서 주행 도중에 발생할 수 있는 충돌을 방지하거나 충돌로 인한 충격을 완화함으로써 운전자의 안전을 향상시키는 시스템이라면 운전자의 편의를 보다 향상시키기 위한 기능들도 활발히 개발되고 있다. 대표적인 예로는 운전자가 주차할 때 환경 센서를 활용하여 주차 가능 구역 및 주변 장애물을 인지하고 운전자에게 경보를 제공하거나, 운전자의 주차를 보조하는 PAS(Parking Assistance System)를 언급할 수 있다. 1990년대 중반 처음으로 자동차에 적용되어 양산된 PAS는 운전자가 주차를 시도할 때 초음파 센서를 이용하여 주변의 장애물과의 거리를 측량적인 정보를 통해 운전자에게 알려주는 시스템이었다[29]. 근래에 들어 카메라 기술이 발달함에 따라 차량 후방에 장착된 카메라를 통해 운전자에게 주차 가능 영역을 보여주는 기능 역시 추가되었다. 이에 더불어 조향 액츄에이터 제어 기술이 발달함에 따라 운전자는 가감속만을 제어하고 운전자 대신 조향을 제어하여 주차를 보조하는 기능 역시 추가되었다. 현재까지 개발된 PAS에서는 주차 가능 공간을 찾는 것은 운전자의 몫이지만 추후에는 발렛 파킹처럼 주차 가능 공간을 찾는 것에서부터 차량을 주차하는 것까지 주차에 관한 모든 과정이 자동인 시스템이 개발될 예정이다.

지능형 자동차의 궁극적인 목표인 자율 주행 차량을 개발하기 위하여 운전자 지원 제어 시스템이 일차적으로 진화되어야 하는 방향은 그림 1에서 확인할 수 있듯이 특정 주행 상황에 대해서 자율 주행 제어를 수행하는 것이다[30]. 일례로 Benz, Ford, Volvo, BMW 등 여러 자동차 선진 업체에서는 출근길 혹은 퇴근길에서 흔히 발생하는 저속 정체 구간에 대해 종방향 운전자 지원 제어 시스템과 횡방향 운전자 지원 제어 시스템을 통합하여

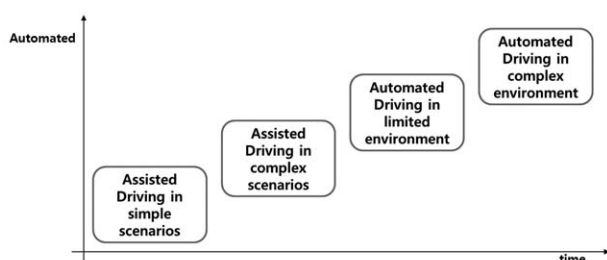


그림 1. 지능형 자동차 기술 개발 로드맵 [30].

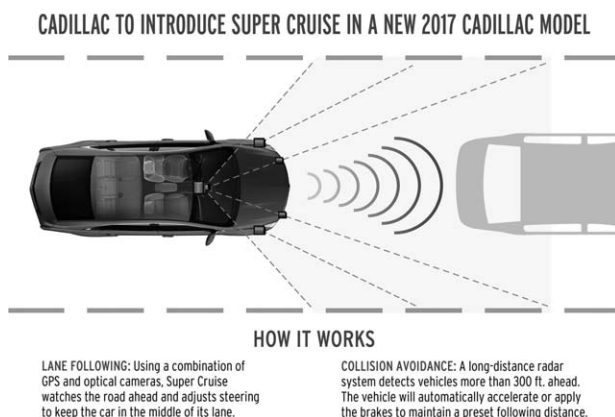


그림 2. 2017년 캐딜락에 선보여질 슈퍼 크루즈 시스템 [35].

자율 주행 제어를 수행하는 TJA(Traffic Jam Assistance) 기능에 대한 연구 및 개발을 진행하고 있다[31-33]. 아직은 비록 돌발 상황에 대해서 대응이 가능한 저속 영역에 대해서만 작동을 하고, 자차량 전방에 선행 차량이 없는 경우에는 작동하지 않는 등의 제약 조건이 있지만 추후에는 점차적으로 작동 가능 영역이 늘어나는 방향으로 개발이 진행되고 있다. 또한 그림 2에서와 같이 GM은 'Super Cruise' 라는 자동차 전용 도로에 대한 자율 주행 제어 시스템을 2017년에 양산될 예정인 자사의 Cadillac CTS 세단에 선보일 예정이다[34,35]. 'Super Cruise' 는 최근 차량에 기본적으로 장착되고 있는 카메라 센서 및 레이더(Radar) 센서를 이용하여 전방 도로 환경 및 주행 상황을 인지하고 가감속과 조향을 모두 자동으로 제어하는 시스템이다. 비차량 장애물에 대한 인지 문제로 인해 자동차 전용 도로에서만 성능을 발휘할 수 있다는 제약이 있지만 환경 센서 기술이 보다 발달한다면 조만간 시내 주행 상황에 대한 자율 주행 제어 시스템 개발도 기대해볼 수 있다.

2. Automated Driving Technology

기존의 여러 조사 결과에 따르면 전체 교통 사고 중 운전자의 과실, 부주의 등으로 인해 발생한 사고가 90%이상의 비중을 차지한다[36-39]. 이에 따라서 지능형 자동차 개발의 궁극적인 목

표는 운전자의 과실, 부주의에 대해 운전자의 안전을 확보하는 무인 자율 주행 차량 기술 개발이다. 무인 자율 주행 차량은 실제 주행 중 나타날 수 있는 모든 상황에 대해서 운전자의 조작이나 별도의 지시 없이 주행 환경을 인지하고 현재 주행 상황에서의 위험 여부를 판단한 후 스스로 주행 계획을 결정하고 가감속 및 조향 제어를 수행해야 한다. 이러한 무인 자율 주행 차량을 개발하기 위한 연구는 전세계 다수의 연구소 및 자동차 업체에서 1980년대 후반부터 지속적으로 수행되고 있다. 1994년에는 파리 인근 도로에서 2대의 차량으로 자율 주행 기능에 대한 시연을 진행하였다[40,41]. 이 시연을 위해서 각 차량에서는 4대의 카메라로부터 들어오는 영상 정보를 50여개의 고성능 마이크로프로세서를 활용하여 처리하여 차선과 도로의 형상 및 주변 차량의 위치를 인식하였고 이를 기반으로 차선 유지 제어를 수행하였다. 1995년에는 독일의 뮌헨에서부터 덴마크의 오펜스까지 최대 속도 175kph로 여정의 95%이상을 자율 주행으로 수행한 연구가 진행되었다[42]. 이와 유사하게 미국에서는 'No hands across America tour' 라는 이름으로 워싱턴에서부터 샌디에고까지 가감속만 운전자가 하고 여정의 98%이상을 자동으로 조향하는 자율 주행 시스템에 대한 연구가 진행되었다[43]. 또한 1990년대 후반에는 도로 정체를 감소시키기 위해 반드시 필요한 기술인 군집 주행 기술이 차량간 통신을 이용하여 개발되고 시연이 진행되었다[44,45].

자율 주행 기술 개발을 독려하기 위한 많은 자율 주행 차량 개발 경진대회들이 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 일례로 미국의 방위 고등 연구 계획국(DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency)에서는 2004년과 2005년에 걸쳐서 비포장도로에서 기준 주행 경로를 주행하면서 장애물을 회피하는 무인 자율 주행 차량 경진 대회인 'Grand Challenge' 를 주최하였다. 2005년에 사막에서 개최된 2차 Grand Challenge에서는 150마일 가량의 기준 경로를 주행하면서 정지 장애물을 회피하는 자율 주행 성능을 평가하였다. 여러 참가팀들 가운데 총 5개의 팀이 완주하는데 성공하였다. 완주팀들은 모두 주변 환경을 인지할 수 있는 고성능 레이저스캐너(Lidar), 레이더(Radar)와 기준 경로에 대한 자차량의 위치를 보다 정확하게 알 수 있는 고정밀 GPS/INS 시스템을 기반으로 자율 주행 기능을 구현하였다[46,47]. DARPA주최로 2007년 11월에 개최된 3차 대회 'Urban Challenge' 는 캘리포니아에 시내 주행 상황을 모사한 환경에서 진행되었다. 자차량 단독으로 기준 주행 경로를 주행하면서 장애물을 회피하는 자율 주행 성능을 평가했던 기존의 대회들과는 달리 이번 대회에서는 스티트맨들이 운전하는 주변 차량들



그림 3. 구글 자율 주행 차량 [51].

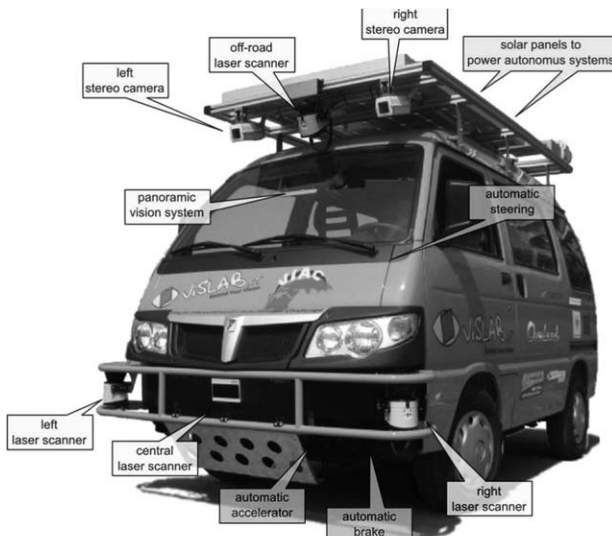


그림 4. VisLab 자율 주행 차량 [53].

이 실제 교통 법규를 준수하면서 주행하는 상황에서 자차량이 주변 차량들을 고려하여 주행 경로를 판단하도록 하였다. 이를 위해 1등으로 완주한 카네기 멜론 대학 팀을 비롯하여 여러 완주팀들은 벨로다인(Velodyne)이라는 고성능 레이저스캐너와 고정밀 GPS/INS 시스템을 함께 사용하여 자차량 주행 환경을 인지하고 자차량이 주행해야 할 경로를 생성하도록 기술 구현을 하였다[48,49]. 2011년에는 네덜란드 헬몬트에서 최초로 국제적인 무인 자율 주행 차량 경진 대회가 개최되었다. 'Grand Cooperative Driving Challenge (GCDC)' 라고 명명된 이 대회에서는 약 10여개국에서 온 팀들이 차량간 통신 장비를 이용하여 고속도로에서의 군집 주행 기능을 구현하도록 진행되었다. 참가하는 팀들은 자차량 외에 군집에 해당하는 차량들이 어떤 알고리즘을 이용하여 동작하는 것인지에 대한 정보 없이 군집 자율 주행을 수행하였다.

이렇듯 전세계적으로 자율 주행 기술을 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 가운데 가장 두드러지는 개발 업체 중

하나로 Google을 손에 꼽을 수 있다. 그림 3에서 확인할 수 있듯이 Google에서 개발한 자율 주행 차량은 사전에 수동 운전을 통해 얻어진 고정밀 맵 정보를 차량 천장에 장착된 벨로다인 레이저스캐너로부터 인지된 주행 환경 정보와 함께 활용하여 무인 자율 주행 기능을 수행하도록 개발되었다[51]. 이 차량을 이용하여 2013년까지 500,000km 이상의 거리를 자율 주행한 것으로 알려졌다[52].

이탈리아 파르마대학의 VisLab 연구팀은 2010년 7월에서 2010년 10월까지 이탈리아 파르마에서부터 중국의 상하이까지 대략 13000km에 가까운 구간에 대해서 'VIAC (VisLab Intercontinental Autonomous Challenge)' 라 명명한 자율 주행 실험을 진행하였다. 2개의 대륙을 거쳐 다양한 도로 환경 및 날씨 상태에 대해서 자율 주행 구현을 위한 환경 인지 기술 및 제어 기술의 성능 실험 및 분석을 진행하였다. 2개의 대륙 및 여러 나라를 지나며 진행될 자율 주행 실험에서 도로 환경 및 주행 환경을 효과적으로 인지하기 위하여 스테레오 카메라, 파노라마 카메라, 레이저스캐너 등 다양한 환경 센서들을 활용하여 그림 4와 같이 차량을 구성하였다. 또한 DARPA에서 개최하였던 대회와는 달리 도로 주변의 기반 시설과 주행 경로에 대한 개략적인 정보가 없는 상황이기 때문에 전방 차량을 추종하면서 V2V통신을 통해 전방 차량으로부터 후방 차량이 선행 경로에 대한 정보만을 제공받아 자율 주행을 하도록 하였다[53-55].

이어서 2013년 7월에는 파르마에서 횡단보도, 터널, 방지턱 및 신호등 등이 있는 시내주행구간 및 고속도로 등으로 이루어진 13km 구간에 걸쳐 자율 주행 기능 시연을 진행하였다[56].

세계 각국의 학계에서 자율 주행 기술 개발을 위한 연구가 진행되고 있는 추세에 맞춰 세계적인 자동차 선진 업체들 역시 자율 주행 차량 개발을 위한 연구를 진행하고 있다. BMW에서는 자체적으로 개발한 자율 주행 기술을 우선 시뮬레이터를 이용하여 가상 주행 환경에서 1차적으로 검증한 후 테스트 트랙에서 2차적으로 검증하고 최종적으로 일반 공용 도로에서 검증하였다. 이러한 검증 과정을 거쳐 2011년 6월 16일 독일의 뮌헨에서부터 잉골슈타트까지 최고 속도 130kph로 자율 주행하는데 성공하였다[57]. 2013년 8월에는 Benz와 KIT, FZI 간의 산학 협동으로 Benz S-Class 차량 기반으로 자율 주행 차량을 개발하여 독일의 만하임부터 포츠하임까지 103km에 이르는 구간에 대해 자율 주행 기능 시연을 진행하였다[41,58,59]. 그림 5에서 확인할 수 있듯이 만하임부터 포츠하임까지 자율 주행 구간은 신호등, 교차로, 협로, 횡단보도 등 복잡한 주행 환경 등이 포

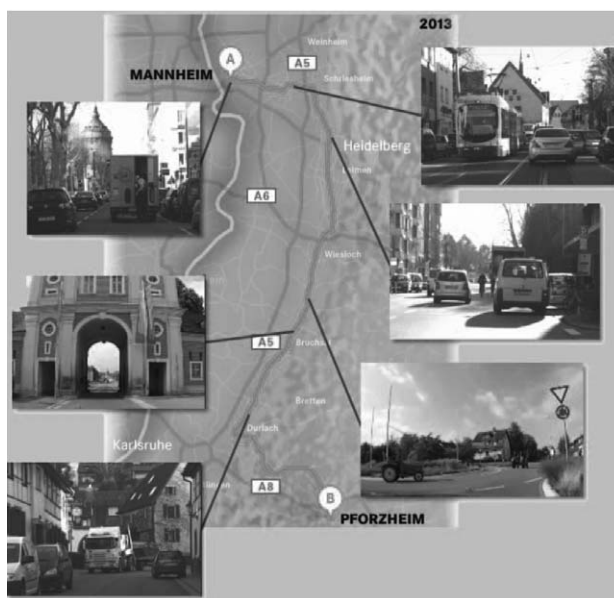


그림 5. 2013년 Benz의 자율 주행 시연 경로 (58).

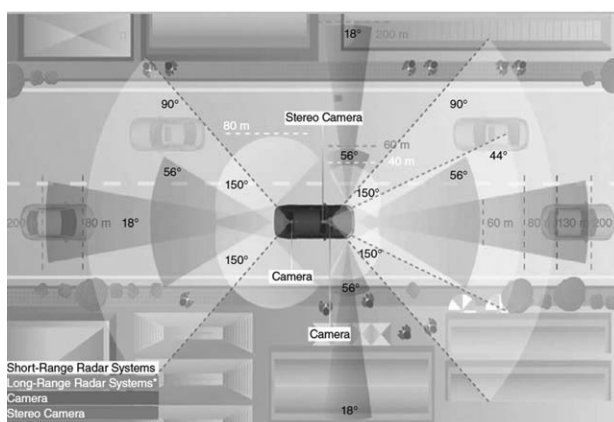
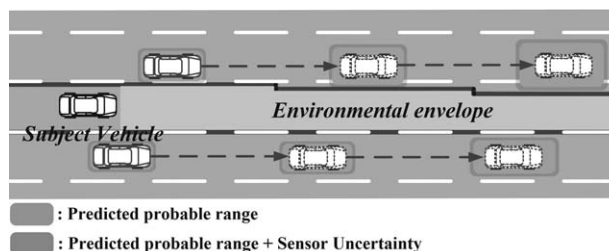


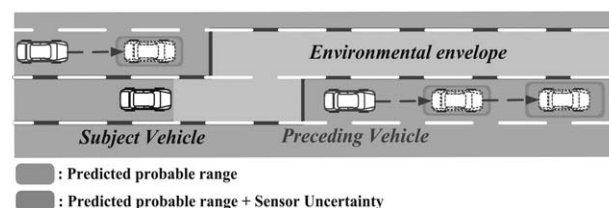
그림 6. Benz 자율 주행 차량 구성도 (58).

함되어 있다. 주변 교통 환경 및 주행 상황을 인지하기 위해서 기존의 연구들에서는 레이저스캐너를 주로 활용하였으나 Benz는 차량 플랫폼인 S-Class에 장착된 양산형 레이더들과 카메라 시스템들을 주로 활용하여 그림 6과 같이 자율 주행 차량을 구성하였다.

자율 주행 기술 개발에 관해 선진 기술을 보유했다고 평가받는 업체 중 하나인 Google에서 최근에 낸 자율 주행 기술 특허에서는 자차량 주변 차량들의 현재 거동뿐만 아니라 미래 거동을 예측하고 이를 고려하여 차량을 제어해야한다고 언급하고 있다[60]. 실제로 인간이 운전할 때도 주변 차량들이 어떻게 움직일지 예측하고 그 결과를 바탕으로 차량의 거동을 결정한다. 이에 따라 자차량 주변 차량들이 어떻게 움직일 것인지 예측하고, 예측된 결과를 바탕으로 충돌 위험도가 낮은 방향으



(a) Environmental envelope to keep the lane while maintaining safety with respect to the surrounding vehicle



(b) Environmental envelope to permit the lane change

그림 7. 주변 차량들의 미래 거동을 고려한 안전 주행 영역 판단 (61).

로 자차량을 유도하도록 제어하는 자율 주행 기술 개발에 관련된 연구가 진행되고 있다[61].

이와 같이 활발히 진행되고 있는 자율 주행 기술들은 일단 고속도로 혹은 자동차 전용도로에서의 자율 주행 기술 및 저속 구간에서의 자율 주행 기술 등 제한된 주행 상황에서만 적용될 수 있게끔 부분적으로 제품화될 예정이다. 현재까지 개발되고 연구된 자율 주행 기술들은 아직 시내 주행 도중 가능한 다양하고 복잡한 주행 상황들에 대해서 제 기능을 수행하기에는 한계가 있다. 이러한 부분에 대해서는 후차 차량의 각종 센서 및 신호 처리 장치 등의 성능이 고도화되고 자율 주행 기술 구현을 위한 기반 시설들 및 호환 기술들이 발달함에 따라 점차적으로 자율 주행 가능 영역이 확장될 것으로 예상된다.

Ⅲ. ISSUES FOR THE REALIZATION OF AUTOMATED DRIVING VEHICLE

지금껏 언급하였던 지능형 자동차, 더 나아가서는 자율 주행 차량 기술을 개발하고 제품화를 활성화시키기 위해서는 선행적으로 해결되어야 할 과제들이 있다.

우선, 운전자 지원 제어 시스템 및 자율 주행 제어 기술들이 각 운전자별 특성을 반영하여 운전자들의 편의성 및 기술에 대한 수용성을 향상시킬 수 있도록 개별화되어야 한다. 현재 개발되어있는 운전자 지원 제어 시스템 기술 및 자율 주행 제어 기

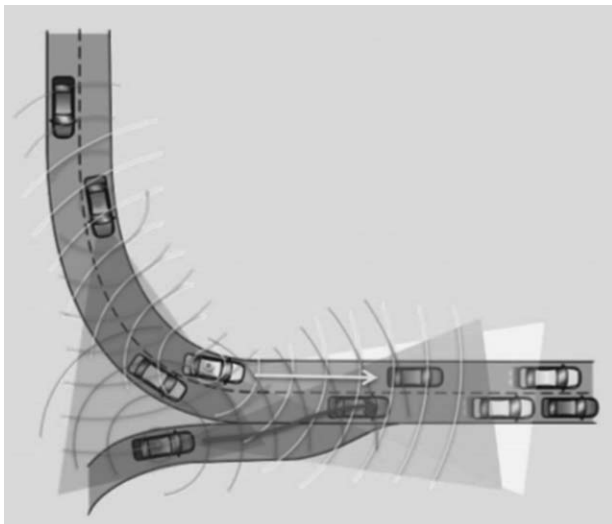


그림 8. V2V를 활용한 주행 환경 인지 영역 확대 [66].

술들은 다수의 운전자들로부터 수집된 주행 데이터를 분석한 결과를 바탕으로 일반적인 운전자의 주행 특성을 도출한 후 이를 반영하도록 연구 및 개발되었다. 하지만 이러한 시스템들은 운전자 각각의 주행 특성을 반영하지 못하고 이는 운전자들에게 시스템에 대한 이질감을 갖게 할 수 있다는 단점이 있다. 예를 들어 운전 전에 미숙한 초보 운전자 혹은 노령의 운전자들은 운전 경험이 많고 능숙한 운전자들에 비해 주변 차량과의 안전거리를 크게 유지하면서 보수적으로 운전하는 성향을 보인다. 이러한 운전자들에게 일반적인 운전자의 주행 특성을 반영한 운전자 지원 제어 시스템 혹은 자율 주행 제어 시스템은 심리적인 주행 이질감을 제공할 수 있고 이는 시스템에 대한 수용성을 떨어뜨리는 요인이 될 수 있다. 만약 이러한 지능형 자동차 기술이 개별화되어 운전자 각각의 주행 특성을 반영한다면 물리적인 주행 안전뿐만 아니라 심리적인 주행 안정감까지도 각각의 운전자에 대해 최대한 만족시킬 수 있게 될 것이고 이는 지능형 자동차 기술의 시장 수요를 증가시키는 원동력이 될 것이라 예상된다.

또한 지능형 자동차 기술의 보급이 활발해지기 위해서는 센서 기술 및 인지 기술의 발전이 필요하다. 현재까지 개발되고 제품화된 대부분의 운전자 지원 제어 시스템 혹은 자율 주행 차량 기술들이 자차량 내에 장착된 센서에만 의존하여 주행 환경을 인지하고 차량의 목표 거동을 판단 및 제어하고 있는 실정이다. 하지만 이러한 경우 센서 특성상 인지할 수 있는 범위가 제한되어 있기에 자차량 주변에 미인지 영역이 발생할 수 밖에 없다. 이는 자차량의 안전을 향상시키기 위한 목표 경로 및 거동을 결정함에 있어서도 최적의 목표 경로 및 거동을 결정하는데

한계가 있음을 의미한다. 또한 차량의 흐름을 최적화시키고 이를 통해 연비를 향상시키는 것에 대해서도 한계가 있을 수 밖에 없다. 주변 주행 상황에 대한 인지 성능을 높이고자 현재까지 개발된 자율 주행 차량 기술의 경우 앞서 언급한대로 고성능 레이저스캐너 및 고정밀 GPS/INS 시스템을 주요 센서로서 활용하고 있다. 이처럼 고가의 센서에 기반한 자율 주행 차량 기술은 설령 개발이 완료된다고 할지라도 실제로 제품화되기는 어렵다고 할 수 있다. 이러한 것들을 미루어보았을 때 보다 저렴하고 제품화할 수 있는 센서들을 사용하면서도 주변 주행 환경에 대해서 효과적으로 정보를 얻을 수 있도록 환경 센서들로부터 제공되는 데이터들의 퓨전 전략에 대한 개발과 연구가 더욱 활발히 진행되어야 한다[62]. 또한 주변 환경에 대한 자차량 상대 위치를 보다 정확하게 인지할 수 있는 기술(Ego-localization)에 대한 연구 역시 주변 주행 환경에 대한 인지 및 판단 성능을 고도화시킬 수 있다고 판단된다[63].

앞서 언급한대로 자차량에 장착된 센서에만 의존할 경우 센서 인지 범위 특성상 미인지 영역이 발생할 수 있기에 이를 보완하기 위해서 차량간 통신(V2V), 혹은 차량과 인프라간의 통신(V2I)을 활용하기 위한 연구가 활발하게 진행되어야 한다[64,65]. 차량간 무선 통신을 활용하여 자차량 주변의 차량들과 로컬 네트워크를 형성하면 각 차량들의 주행 상태 정보 및 각 차량들에 탑재된 환경 센서로부터 인지되는 정보를 공유할 수 있게 된다. 이는 마치 자차량 주변의 차량들을 자차량 외부에 탑재된 환경 센서처럼 활용하여 주변 교통 환경에 대한 인지 영역을 그림 8처럼 확장할 수 있고 이를 통해 주변 교통 환경에 대한 이해도를 높일 수 있다는 것을 의미한다[66]. 차량간 무선 통신을 활용하였을 때 장점을 구체적으로 얘기하자면 자율 주행 제어를 위해서는 주변 차량 운전자의 의도를 판단하고 주변 교통 상황의 변화를 예측해야 할 필요가 있는데 현재 자차량 센서만을 활용하여 이를 수행하기에는 주변 차량 움직임에 대한 불확실성이 크게 존재할 수 밖에 없다. 주변 차량 운전자의 의도를 판단하고 주변 차량들의 움직임 변화를 예측함에 있어서 차량간 무선 통신을 바탕으로 공유된 주변 차량들의 주행 정보를 함께 활용하게 되면 현재로부터 일정시점까지 주변 차량들이 어떻게 움직일 것인지를 보다 정확하게 예측할 수 있고 이를 바탕으로 자차량의 안전 확보를 위한 최적의 목표 경로 및 거동을 결정할 수 있게 될 것이다.

마지막으로 자동차 시장에서 지능형 자동차 기술의 보급을 활성화시키기 위한 정부 정책 및 전략에 대한 강구가 필요하다. 법규 개정을 추진하고 안전 규제를 대응할 수 있는 법적 기반을

확보하고 지능형 자동차 기술 보급을 활성화시킬 수 있는 지원 정책을 마련하는 한편 지능형 자동차를 위한 인프라를 확충함으로써 지능형 자동차 기술에 대한 사회적 수용성을 향상시켜야 한다. 또한 지능형 자동차 기술에 대한 국제 표준을 대응하고 국제 협력을 강화하여 기술 역량을 강화하기 위한 국제 관계를 구축하고 지능형 자동차 개발 산업 기반을 마련함으로써 운전자 지원 제어 시스템, 더 나아가서는 자율 주행 차량 기술 개발을 활성화하고 지원할 수 있는 산업적 기반을 구축해야 한다. 마지막으로 안전 교육을 강화하고 탑승자를 지원하는 등 지능형 자동차 기술의 수요를 확장할 수 있도록 사회적 기반이 마련되어야 한다. 현재의 지능형 자동차 기술 평가 방법 역시 지능형 자동차 기술의 개발 방향에 맞게 수정되어야 한다. 이를 통해 복잡 다양한 주행 환경에 대한 안전성 및 안정성을 합리적으로 평가하고 시장의 수요를 이끌어내야 할 것이다.

IV. CONCLUSION

본 논문에서는 운전자의 안전 및 편의를 향상시키기 위해서 현재까지 개발된 운전자 지원 제어 시스템 및 자율 주행 제어 기술에 대해 간략히 살펴보았다. 또한 앞으로 운전자 지원 제어 시스템, 더 나아가 자율 주행 시스템의 구현을 위해 보완되어야 할 부분들에 대해 간략히 검토해보았다. 본 논문에서 언급된 기술들이 활발히 연구되고 활발히 보급될 수 있는 기반이 마련된다면 조만간 교통 사고는 사라지게 될 수 있을 것이란 기대를 해본다.

참고문헌

- [1] E. Verhoef, "External effects and social costs of road transport," *Transp. Res. Part A: Policy Pract.*, vol. 28, no. 4, pp. 273-287, July 1994
- [2] E. Holden, *Achieving Sustainable Mobility: Every Day and Leisure-Time Travel in the EU Transport and Mobility*. Farnham, Surrey, UK: Ashgate, 2012
- [3] D. Schrank, B. Eisele, and T. Lomax, "TTI's urban mobility report," Texas A&M Transport. Inst., Texas A&M Univ., TX, Tech. Rep., 2012
- [4] M. Simon, T. Hermitte, and Y. Page, "Intersection road accident causation: A European view," 21st International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, pp. 1-10, 2009
- [5] *Volvo Trucks European Accident Research and Safety Report*, Volvo, Gothenburg, Sweden, 2013
- [6] World Health Organization, Global status report on road safety 2013. Available at: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_status/2013/en/
- [7] H. Schurr and A. Dittner, "A new anti-skip-brake system for disc and drum brakes, braking: recent development," *SAE* 840486, May 1984.
- [8] P. Kachroo and M. Tomizuka, "Vehicle traction control and its applications," *California PATH Research Paper*, UCB-ITS-PRR-94-08, Mar. 1994.
- [9] A. T. Van Zanten, R. Erhardt, K. Landesfeind, and G. Pfaff, "VDC Systems Development and Perspective," *SAE* 980235, 1998.
- [10] A. T. Van Zanten, "Bosch ESP systems: 5 years of experience," *SAE* 2000-01-1633, 2000.
- [11] P. E. Rieth and R. Schwarz, "ESC II ~ ESC with active steering intervention," *SAE* 2004-01-0260, 2004.
- [12] H. E. Tseng, B. Ashrafi, D. Madau, T. A. Brown, and D. Recker, "The development of vehicle stability control at ford," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 4, pp. 223-234, 1999.
- [13] H. Leffler, "Consideration of lateral and longitudinal vehicle stability by function enhanced brake and stability control system," *SAE* 940832, 1994.
- [14] H. Leffler, "BMW's dynamic stability control DSC~A stability system with active longitudinal and lateral wheel slip control," *SAE* 95A006, 1995.
- [15] A. T. Van Zanten, R. Erhardt, G. Pfaff, F. Kost, U. Hartmann, and T. Ehret, "Control Aspects of the Bosch-VDC," *Proc. of International Symposium on Advanced Vehicle Control*, pp. 573-608, 1996.
- [16] M. Aga and A. Ogada, "Analysis of vehicle stability control effectiveness from accident data," in *Proc. 18th Int. Enhanced Safety Vehicles-Conf.*, Nagoya, AI, 2003
- [17] R. Sferco, Y. Page, J. Y. Lecoz, and P. Fay, "Potential effectiveness of the electronic stability programs-What European filed studies tell us," in *Proc. 17th Int. Enhanced Safety Vehicles Conf.*, Amsterdam, The Netherlands, 2001.
- [18] J. Yoon, K. Yi, W. Cho, and D. Kim, "Unified chassis control to prevent vehicle rollover," in *Proc. KSME Spring Conf.*, Seoul, Korea, pp. 895-900. BEXCO, 2007.

- [19] J. Yoon, W. Cho, B. Koo, and K. Yi, "Unified chassis control for rollover prevention and lateral stability," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol. 58, no. 2, pp. 596-609, Feb. 2009.
- [20] 이경수, 이준영, "차량 제어 기술 및 선진 연구 동향," 제어 로봇시스템학회 논문지, vol. 20, no. 3, pp. 298-312, Mar. 2014.
- [21] W. D. Jones, "Keeping cars from crashing," *IEEE Spectrum*, vol. 38, no. 9, pp. 40-45, Sept. 2001.
- [22] *Intelligent Transport Systems-Full Speed Range Adaptive Cruise Control Systems-Performance Requirements and Test Procedures*, International Standard Organization 22179 TC204/WG14, 2009.
- [23] K. Kodaka, M. Otake, Y. Urai, and H. Koike, "Rear-end collision velocity reduction system," in *Proc. SAE World Congr.*, Detroit, MI, 2003.
- [24] Report of Two Years Activities in WP29_ITS Informal Group, 2007. UN/ECE/WP29.
- [25] *Regulation (EC) No 661/2009 of the European Parliament and of the Council Concerning Type-Approval Requirements for the General Safety of Motor Vehicles, Their Trailers and Systems, Components and Separate Technical Units Intended Therefor*, Standard EC No 661, 2009.
- [26] S. Habenicht, H. Winner, S. Bone, F. Sasse, and P. Korzeniet, "A maneuver based lane change assistance system," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Germany, pp. 375-380, 2011.
- [27] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), *Pre-Crash Scenario Typology for Crash Avoidance Research*, 2007, Available from: <http://www.nhtsa.gov>
- [28] J. Lee, J. Choi, K. Yi, M. Shin, and B. Ko, "Lane keeping assistance control algorithm using differential braking to prevent unintended lane departures," *Control Engineering Practice*, vol. 23, pp. 1-13, 2014.
- [29] R. Katzwinkel, R. Auer, S. Brosig, M. Rohlf, V. Schöning, F. Schroven, F. Schwitters, and U. Wuttke, "Einparkassistentz," in *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, H. Winner, S. Hakuli, and G. Wolf, Eds., 2nd ed., Wiesbaden, Germany: Vieweg+Teubner Verlag, 2012.
- [30] J. Choi, "Emergency driving support algorithm for collision avoidance," Ph. D. thesis, Seoul National University, 2014.
- [31] <http://www.extremetech.com/extreme/132147-ford-self-driving-cars-2017>
- [32] Daimler AG. (2014, Jan.). Mercedes-Benz intelligent drive. [Online]. Available: www.daimler.com/brands-and-products 2013.
- [33] M. Aeherhard, S. Rauch, M. Bahram, G. Tanzmeister, J. Thomas, Y. Pilat, F. Himm, W. Huber, and N. Kaempchen, "Experience, Results and Lessons Learned from Automated Driving on Germany's Highways," *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 7, no. 1, pp. 42-57, 2015.
- [34] <http://www.bloomberg.com/news/articles/2014-09-07/gm-to-introduce-hands-free-driving-in-cadillac-model>
- [35] <http://www.carscoops.com/2014/09/unnamed-2017-cadillac-model-to-get.html>
- [36] S. Huang, W. Ren, and S. C. Chan, "Design and performance evaluation of mixed manual and automated control traffic", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, vol. 30, no. 6, pp. 661-673, Nov. 2000.
- [37] J. Pohl, W. Birk, and L. Westervall, "A driver-distraction based lane keeping assistance system", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Systems and Control Engineering*, vol. 221, no. 4, pp. 541-552, June 2007.
- [38] *Volvo Trucks European Accident Research and Safety Report*, Volvo, Gothenburg, Sweden, 2013.
- [39] J. R. Treat, N. S. Tumbas, S. T. McDonald, R. D. Shinar, R. E. Mayer, R. L. Sansifer, and N. J. Castellan, "Tri-level study of the causes of traffic accidents," Executive Summary, Indiana Univ., Tech. Rep. DOT HS 805099, May, 1979.
- [40] E. D. Dickmanns, R. Behringer, D. Dickmanns, T. Hildebrandt, M. Maurer, F. Thomanek, and J. Schiehlen, "The seeing passenger car VaMoRs-P," in *Proc. IEEE Symp. Intelligent Vehicles*, Paris, France, pp. 68-73, Oct. 1994.
- [41] U. Franke, S. Mehring, A. Suissa, and S. Hahn, "The Daimler-Benz steering assistant-A spin-off from autonomous driving," in *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp.*, Paris, France, pp. 120-124, Oct. 1994.
- [42] M. Maurer, R. Behringer, S. Fürst, F. Thomanek, and E. D. Dickmanns, "A compact vision system for road vehicle guidance," in *Proc. 13th Int. Conf. Pattern Recognition*, Wien, Austria, pp. 313-317, 1996.
- [43] D. Pomerleau and T. Jochem, "Rapidly adapting machine vision for automated vehicle steering," *IEEE Expert*, vol. 11, no. 2, pp. 19-27, 1996.
- [44] U. Ozguner, B. Baertlein, C. Cavello, D. Farkas, C. Hatipoglu, S.

- Lytle, J. Martin, F. Paynter, K. Redmill, S. Schneider, E. Walton, and J. Young, "The OSU Demo '97 vehicle," in *Proc. IEEE Intelligent Transportation Systems Conf.*, pp. 502-507, 1997.
- [45] R. Rajamani, H.-S. Tan, B. K. Law, and W.-B. Zhang, "Demonstration of integrated longitudinal and lateral control for the operation of automated vehicles in platoons," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 8, no. 4, pp. 695-708, July 2000.
- [46] DARPA. (2005, Oct.). Grand challenge. [Online]. Available: <http://www.darpa.mil/grandchallenge/overview.html>
- [47] S. Thrun, M. Montemerlo, H. Dahlkamp, D. Stavens, A. Aron, J. Diebel, P. Fong, J. Gale, M. Halpenny, G. Hoffmann, K. Lau, C. Oakley, M. Palatucci, V. Pratt, P. Stang, S. Strohband, C. Dupont, L.-E. Jendrosseck, C. Koelen, C. Markey, C. Rummel, J. Niekirk, E. Jensen, P. Alessandrini, G. Bradski, B. Davies, S. Ettinger, A. Kaehler, A. Nefian, and P. Mahoney, "Stanley: The robot that won the DARPA grand challenge," *J. Field Robot.*, vol. 23, no. 9, pp. 661-692, 2006.
- [48] C. Urmson, J. Anhalt, D. Bagnell, C. Baker, R. Bittner, M. N. Clark, J. Dolan, D. Duggins, M. Gittleman, S. Harbaugh, Z. Wolkowicki, J. Ziglar, H. Bae, T. Brown, D. Demitrish, V. Sadekar, W. Zhang, J. Struble, M. Taylor, M. Darms, and D. Ferguson, "Autonomous driving in urban environments: Boss and the urban challenge," *J. Field Robot.*, vol. 25, no. 8, pp. 425-466, 2008.
- [49] S. Kammel, J. Ziegler, B. Pitzer, M. Werling, T. Gindele, D. Jagzent, J. Schröder, M. Thuy, M. Goebel, F. von Hundelshausen, O. Pink, C. Frese, and C. Stiller, "Team AnnieWAY's autonomous system for the 2007 DARPA Urban Challenge," *J. Field Robot.*, vol. 25, no. 9, pp. 615-639, Sept. 2008.
- [50] A. Geiger, M. Lauer, F. Moosmann, B. Ranft, H. Rapp, C. Stiller, and J. Ziegler, "Team Annieway's entry to the grand cooperative driving challenge 2011," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 13, pp. 1008-1017, Sept. 2012.
- [51] <http://www.google.com/about/careers/lifeatgoogle/self-driving-car-test-steve-mahan.html>
- [52] J. Markoff, "At high speed, on the road to a driverless future," *New York Times*, 2013.
- [53] A. Broggi, P. Cerri, M. Felisa, M. C. Laghi, L. Mazzei, and P. P. Porta, "The VisLab Intercontinental Autonomous Challenge: an Extensive Test for a Platoon of Intelligent Vehicles," *Intl. Journal of Vehicle Autonomous Systems, special issue for 10textsuperscriptth Anniversary*, vol. 10, no. 3, pp. 147-164, 2012.
- [54] A. Broggi, S. Debattisti, P. Grisleri, M. C. Laghi, P. Medici, and P. Versari, "Extensive Tests of Autonomous Driving Technologies," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 14, no. 3, pp. 1403-1415, Sep. 2013.
- [55] M. Bertozzi, A. Broggi, A. Coati, and R. I. Fedriga, "A 13,000km Intercontinental Trip with Driverless Vehicles: The VIAC Experiment," *IEEE Intelligent Transportation System Magazine*, vol. 5, no. 1, pp. 28-41, 2013.
- [56] (2013, Nov.). VisLab PROUD-Car Test. [Online]. Available: www.vislab.it/proud
- [57] M. Aeberhard, S. Rauch, M. Bahram, G. Tanzmeister, J. Thomas, Y. Pilat, F. Himm, W. Huber, and N. Kaempchen, "Experience, Results and Lessons Learned from Automated Driving on Germany's Highways," *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 7, no. 1, pp. 42-57, 2015.
- [58] J. Ziegler, P. Bender, M. Schreiber, H. Lategahn, T. Strauss, C. Stiller, T. Dang, U. Franke, N. Appenrodt, C. G. Keller, E. Kaus, R. G. Herrtwich, C. Rabe, D. Pfeiffer, F. Lindner, F. Stein, F. Erbs, M. Enzweiler, C. Knöppel, J. Hipp, M. Haeus, M. Trepte, C. Brenk, A. Tamke, M. Ghanaat, M. Braun, A. Joos, H. Fritz, H. Mock, M. Hein, and E. Zeeb, "Making Bertha drive-an autonomous journey on a historic route," *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 6, no. 2, pp. 8-20, 2014.
- [59] H. Lategahn, M. Schreiber, J. Ziegler, and C. Stiller, "Urban localization with camera and inertial measurement unit," in *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp.*, Gold Coast QLD, Australia, pp. 719-724, June 2013.
- [60] D. I. F. Ferguson and D. A. Dolgov, "Modifying behavior of autonomous vehicle based on predicted behavior of other vehicles," Pat. no. 20130261872A1, United States, 2013.
- [61] J. Lee, B. Kim, J. Seo, K. Yi, J. Yoon and B. Ko, "Automated driving control in safe driving envelope based on probabilistic prediction of surrounding vehicle behaviors," *SAE Technical Paper*, Paper no. 2015-01-0314
- [62] C. Stiller, F. P. Leon, and M. Kruse, "Information fusion for automotive applications-An overview," *Inform. Fusion*, vol. 12, no. 4, pp. 244-252, Oct. 2011.
- [63] T. Nothdurft, P. Hecker, S. Ohl, F. Saust, M. Maurer, A. Reschka,

- and J. R. Böhmer, "Stadtpilot: First fully autonomous test drives in urban traffic," in *Proc. 14th Int. IEEE Annu. Conf. Intelligent Transportation Systems*, Washington, D.C., pp. 919-924, 2011.
- [64] C. Stiller, G. Färber, and S. Kammel, "Cooperative cognitive automobiles," in *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp.*, Istanbul, Turkey, June 2007, pp. 215-220.
- [65] M. Goldhammer, E. Strigel, D. Meissner, U. Brunsmann, K. Doll, and K. Dietmayer, "Cooperative multi sensor network for traffic safety applications at intersections," in *Proc. 15th Int. IEEE Conf. Intelligent Transportation Systems*, 2012, pp. 1178-1183.
- [66] K. Bengler, K. Dietmayer, B. Farber, M. Maurer, C. Stiller, H. Winner, "Three decades of driver assistance systems: review and future perspectives," *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 6, no. 4, pp. 6-22, winter 2014.

저 자 약 력



이 준 영

- 2008년 서울대학교 기계항공공학부 졸업.
- 2008년~2015년 동 대학원 박사.
- 2015년~현재 현대모비스 책임연구원.
- 관심분야 : 운전자 지원 시스템, 무인 자율 주행 제어 시스템.



이 경 수

- 1985년 서울대학교 기계공학부 졸업.
- 1987년 동 대학원 석사. 1992년 Univ. of California, Berkeley, Mechanical Engineering 박사.
- 1993년~2006년 한양대학교 기계공학과 교수.
- 2006년~현재 서울대학교 기계항공공학부 교수.
- 관심분야 : 차량 샤시 시스템 제어, 운전자 지원 시스템, 무인 자율 주행 제어 시스템.