

chapter 1

자율주행자동차(레벨 2, 3) 기반 운전자 인적요인 융합기술 동향



김우진 ▮ 한국전자통신연구원 선임연구원

윤대섭 ▮ 한국전자통신연구원 실장

이인환 ▮ 한국전자통신연구원 단장

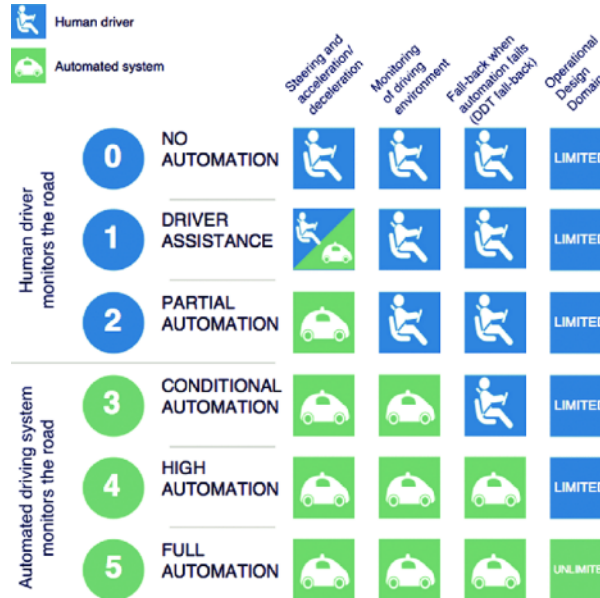
최근 상용화를 눈앞에 둔 SAE(Society of Automotive Engineers) 레벨 3 자율주행자동차의 가장 뜨거운 이슈는 차량과 운전자 간의 제어권 배분 및 전환이다. 이와 관련하여 우리나라를 비롯한 미국, 유럽, 일본 등 다양한 국가에서는 자율주행 시대가 도래하였을 경우 운전자의 주요 인적 요인에 대한 연구를 진행하여 왔다. 특히, 테슬라 자율주행자동차 사고 분석 결과 NTSB(National Transportation Safety Board)에서 “자율주행에 대한 지나친 의존”, “운전자 주의 분산”, “효과적이지 못한 운전자 모니터링” 등에 대한 권고를 발표하여, 본 분야의 중요성이 대두되고 있는 실정이다. 본 고에서는 레벨 3 자율주행자동차의 제어권 전환 안전성을 확보하기 위해서 반드시 필요한 인적 요인 기술 중, 특히 운전자 모니터링 기술, 운전자 인적 요인 분석기술, 차량 HMI(Human-machine Interaction) 기술에 대한 최신 연구 및 기술개발 동향을 소개한다.

I. 서론

최근 자율주행 기능을 갖고 있는 차량의 출시가 가속되고 있다. 자율주행자동차는 운전자의 조작 없이 자동차 스스로 운행이 가능한 자동차로 정의되어 있으나, 미국 자동차

* 본 내용은 김우진 선임연구원(☎ 042-860-6022, wjinkim@etri.re.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.



〈자료〉 SAE J3016

[그림 1] 자율주행 레벨별 정의

공학회(Society of Automotive Engineers: SAE)에서는 SAE J3016 문서[1]를 통해 자동차의 자율성 정도에 따라 0~5의 6개 레벨로 자율주행자동차를 [그림 1]과 같이 정의하고 있다.

자율주행 레벨별 특성을 살펴보면, 자율주행 상황에서 운전자의 역할은 자율주행 단계에 따라 달라진다. SAE J3016 문서[1]에 따르면 레벨 3까지는 운전자의 역할이 명시되어 있으며, 레벨 4 이상에서는 운전자의 개입이 없어진다. 레벨 0은 자율주행 기능이 없는 완전 수동주행을 의미하며 주행과 관련된 모든 책임이 운전자에게 있다. 레벨 1 자율주행은 감·가속을 담당하는 종방향(스마트 크루즈 컨트롤 등) 혹은 조향을 담당하는 횡방향(차로 유지 보조 등) 주행 중 하나를 시스템이 수행하는 경우에 해당되고, 레벨 2는 종방향 및 횡방향 주행을 시스템이 모두 수행(고속도로 주행 보조)하는 경우를 의미한다.

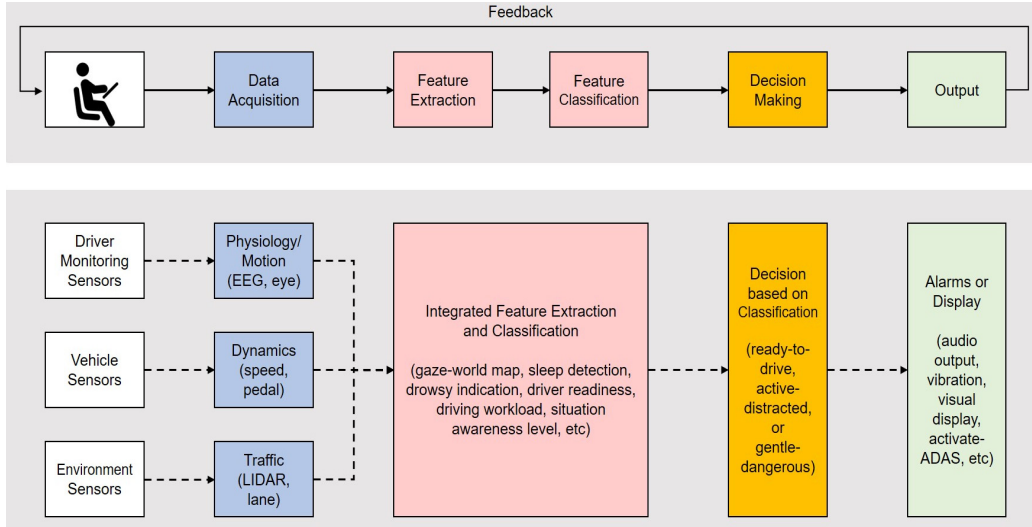
레벨 2까지는 시스템이 주행을 돕지만, 레벨 3에서는 특정 모드에서 시스템이 주행을 완전히 수행한다. 자율주행을 지속하는 동안 운전자는 운전 상황을 관찰할 의무가 없어지지만, 자율주행이 가능한 구간이 끝나는 등 자율주행 모드 해제가 예상될 경우 운전자에게 운전 제어권 이양을 요청하게 된다. 따라서 레벨 3에서 운전자는 시스템이 요청하는 경우

수동운전을 시작할 수 있도록 “대체가 준비된 사용자(Fallback-Ready User)가 되어야 한다. 레벨 4부터는 사용자는 운전 의무에서 완전히 해방된다.

레벨 3에서 나타나는 “제어권 이양”이라는 특수한 상황은 자율주행자동차를 이용하는 운전자의 안전성에 결정적인 요인이 될 것으로 예상된다. 특히, 자율주행시스템에 의해 운행되던 차량이 특정 시점부터 수동운전으로 전환되기 때문에, 이에 대처하는 운전자의 인적 요인에 대한 연구가 전 세계적으로 활발하게 수행되어 왔다. 자율주행자동차 레벨 3을 이용하는데 있어 인적 오류를 방지하고, 성공적인 시장도입을 위해 유럽에서는 Adaptive Project를 필두로 인적 요인 연구가 진행되고 있으며, 미국은 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)를 필두로 연구를 지원하고 있다. 미국에서는 특히 2018년 캘리포니아에서 발생하였던 테슬라 자율주행자동차 사망사고를 분석하여 2020년 2월 자율주행자동차의 안전한 이용을 위한 권고사항을 발표하였으며, “자율주행에 대한 지나친 의존”, “운전자 주의 분산”, “효과적이지 못한 운전자 모니터링” 등 인적 요인과 관련된 권고사항이 1/3 가량 차지하며 중요성이 강조되었다. 일본은 전략혁신 창조프로그램(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program: SIP)을 통해 기초 연구부터 실용에 이르는 인적 요인 연구를 수행하고 있으며, 국내에서도 한국전자통신연구원에서 2017년부터 자율주행자동차 레벨 2, 3을 대상으로 하는 인적 요인 심층연구를 수행 중에 있다.

자율주행자동차에서의 운전자 인적 요인과 관련된 연구에서는 컴퓨터공학, 제어공학, 바이오공학, 심리학, 인지공학 등 다학제 간의 융합이 필수적이다. 본 고에서는 운전자 인적 요인과 관련된 기술을 [그림 2]와 같이 나열하고, 운전자를 측정하여 특징을 추출하는 “운전자 모니터링 기술”, 운전자의 특징으로부터 자율주행자동차 안정성과 연관된 요인을 정량화하는 “운전자 인적 요인 분석 기술”, 분석된 인적 요인을 바탕으로 운전자에게 정보를 제공하는 “차량 HMI 기술”로 분류하여 관련 기술 동향을 기술하고자 한다.

본 고의 나머지 부분은 다음과 같이 구성된다. 먼저 II장에서는 운전자 모니터링 기술의 필요성 및 기술 동향에 대해서 살펴보고, III장에서는 운전자 인적 요인 분석 기술에 대해 소개한다. IV장에서는 차량 HMI 기술 동향에 대해 정리하고, V장에서 본 고의 결론을 제시한다.



〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

[그림 2] 운전자 인적 요인 연관 기술 흐름

II. 운전자 모니터링 기술

레벨 3 자율주행에서 자율주행 모드 중 운전자는 운전 상황을 관찰할 의무가 없어지지만 자율주행 가능 구간이 끝나는 등 특정 조건에 의해 제어권이 시스템에서 운전자로 이양되는 경우 주행 안전성은 여전히 운전자의 상태에 의존적이 된다. 따라서 자율주행 중에도 지속적으로 운전자를 측정하고 제어권 전환 안전성에 대한 예측을 수행하는 운전자 모니터링 기술은 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

자율주행자동차를 고려하지 않더라도 자동차 사고 원인의 90% 이상을 차지하는 인적 오류를 검출하고 예측하기 위해 운전자 모니터링 기술은 기존 수동으로 제어되는 자동차에서부터 그 적용 가능성이 고려되어 왔다. 기존 운전자 모니터링 기술은 운전자의 졸음과 나른함을 검출하는 것이 주목적이 있으며[2], 직접적으로 운전자를 관찰하기보다는 운전자가 차량을 조작하는 제어입력 신호를 통해 간접적으로 운전자의 졸음과 나른함을 추정해 왔다. 하지만 자율주행자동차의 경우, 자율주행 모드인 동안은 운전자가 직접 운전을 수행하지 않기 때문에 간접적 측정만으로 운전자의 상태를 추정하는 것에는 한계가 있다.

또한, 자율주행 모드에서 예상되는 운전자의 행동의 종류 또한 매우 다양하기 때문에 운전자를 직접적으로 측정하여 분석하는 높은 수준의 기술이 요구된다.

운전자의 상태를 추정하기 위한 측정은 크게 직접 측정과 간접 측정으로 분류할 수 있고, 직접 측정치에는 주로 심박, 호흡, 눈깜빡임, 시선, 행동 등의 운전자 생리·행동 정보가 있으며, 간접 측정치에는 차량 정보와 도로 및 주변 차량 위치 등 환경정보가 있다. 측정 정보의 구체적인 예시는 [표 1]과 같다.

[표 1] 운전자 모니터링 시스템 측정 정보 예시

카테고리	정보 종류	내용	예시
운전자 (직접)	ECG	심전도(샘플링 주기: 5msec 이내)	2350
	머리 움직임	정면 카메라 기준 상대 위치 (X-Y-Z 좌표 체계)	(0.4, 1.1, 0.3)
	손 움직임	정면 카메라 기준 상대 위치 (X-Y-Z 좌표 체계)	왼손(0.6, 0.9, 0.1) 오른손(0.6, 0.9, 0.1)
	시선	사전 지정된 관심 영역(ROI)	'전방', '사이드미러', '센터페시아' 등
차량 (간접)	자율주행 모드	자율주행자동차가 현재 운행되고 있는 주행 모드	'자율', '수동'
	속도	현재 차량이 주행되고 있는 속도	50km/h
	가속페달	현재 차량에 가해지는 가속페달 값 (페달 위치: 0~1, 0은 누르지 않은 상태)	0.1223
	브레이크 답력	현재 차량에 가해지는 브레이크 답력을 나타내는 숫자	-2.5N
	조향각	차량 핸들로 조향한 정도를 나타내는 각도	0.84 rad
	차선 간격	차선의 중심축으로부터 자동차 중심축까지 간의 거리	0.12m
환경 (간접)	앞차와의 거리	현재 차량의 앞쪽 끝과 선행 차량의 뒤쪽 끝 사이의 거리	2.5m
	도로 곡률	도로가 굽은 정도(직선의 경우 0)	0.1
	주위 차량 위치	사전 정의된 반경 내에 있는 차량의 상대 위치	(2m, 0m)

〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

최근 딥러닝 등을 활용한 영상 기술의 지속적인 발달로 전방 및 측방 카메라를 이용하여 운전자를 관측하는 기술[2]의 개발이 증가하고 있다. 카메라로 관측되는 영상정보는 운전자의 움직임뿐만 아니라 운전자의 시선 정보를 추출할 수 있어 범용적인 사용이 가능하다.

또한, 운전자의 외형적 움직임뿐만 아니라 내면적 상태를 측정하기 위해서 운전자의 심전도, 뇌파, 호흡, 피부 전도도 등 실시간 생리 신호의 수집이 요구된다. 하지만, 현재

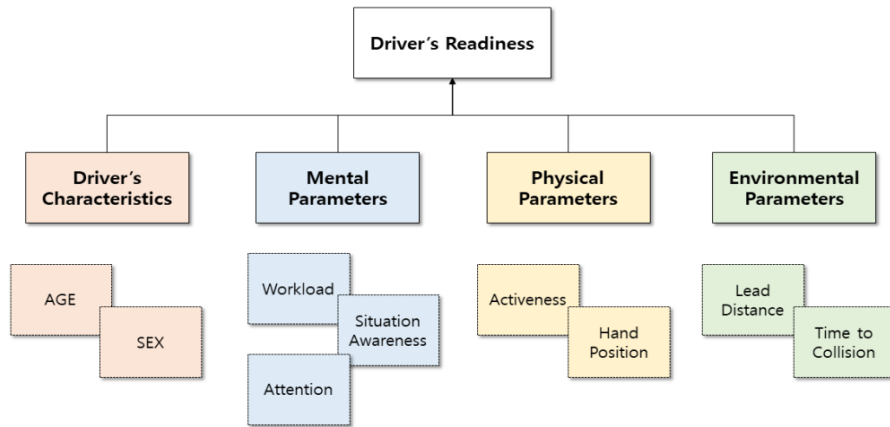
측정에 이용되고 있는 대부분의 생리 신호 수집 센서는 운전자와 직접적으로 접촉하는 방식으로 상용화에 한계점이 존재하며, 따라서 비접촉 방식으로 운전자의 생리신호를 측정하기 위한 기술 개발[3],[4]이 진행되고 있다. 스위스 제네바 대학의 Wang은 영상정보를 이용한 심박 측정에 관한 연구를 통해 운전자에 대한 고속 프레임 촬영을 수행하여 RGB 중 G채널의 데이터를 추출하여 운전자 심박수를 추정한다[3]. 한양대학교 연구팀은 소형 레이더 센서를 사용하여 운전자의 들숨, 날숨 및 심장 움직임을 측정하여 호흡수 및 심박수를 추정한다[4]. 영상정보를 통해 사람의 감성 정보를 추출하는 연구도 진행되고 있으나, 아직 정확도와 신뢰도 측면에서 상용화를 위해서는 기술의 성숙이 필요하다.

III. 운전자 인적 요인 분석기술

서론에서 전술한 바와 같이, 레벨 3 자율주행에서 발생하는 제어권 전환은 인적 오류를 발생시켜 자율주행 이용에 있어 안전성을 저해할 잠재적 위험이 존재한다. 따라서 운전이라는 작업의 루프에서 빠져 있던 운전자가 갑자기 수동운전을 시작하는 경우 발생할 수 있는 위험의 정도를 예측하고 이를 보상하여 안전한 제어권 전환이 가능하도록 하기 위한 운전자 인적 요인 분석기술은 반드시 필요하다.

전통적으로 주행 안전성과 관련된 운전자의 대표적인 인적 요인 지표로는 운전 부하(Driving Workload), 상황 인지(Situational Awareness), 주의 분산(Distraction) 등을 고려할 수 있다. 하지만 레벨 3의 제어권 전환이라는 독특한 상황에 맞추어 운전 준비도(Driver Readiness)라는 새로운 지표의 도입이 시도되고 있다. 운전 준비도는 SAE 레벨 2 및 레벨 3의 자율주행자동차에서 발생하는 제어권 전환 중, 자율주행에서 수동운전으로 전환 시 운전자가 운전 작업을 수행할 준비가 얼마나 되었는지를 나타내는 지표이다.

운전 준비도는 운전자의 기본적인 정보와 실시간으로 관측되는 운전자의 행동 정보를 바탕으로 시간에 따른 운전자의 수동운전에 대한 안전한 운전 가능성을 나타낸다. 운전 준비도를 정의하고 분석하는 최종적인 목표는 제어권 전환 순간 운전 준비도가 적정수준 이상이 되도록 운전자에게 적절한 알람 및 정보를 제공하는 것이다. 하지만 제어권 전환은 계획되어지지 않은 시기에 급작스럽게 발생할 수도 있기 때문에, 운전자의 운전 준비도를 항상 보통 이상으로 유지시키는 것이 레벨 2 및 레벨 3 자율주행자동차의 운행에 반드시

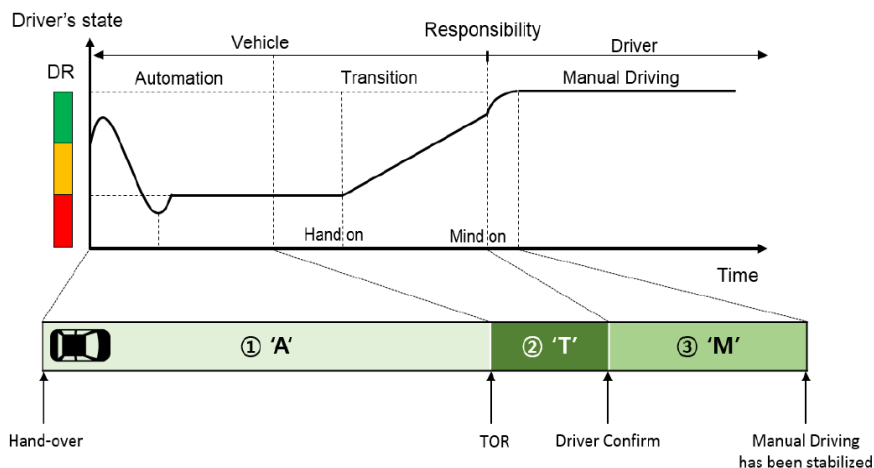


〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

〔그림 3〕 운전 준비도 연관 파라미터 예시

필요하다. 운전 준비도는 이러한 일련의 프로세스를 가능하게 되는 기본 척도로서 중요한 역할을 한다.

〔그림 3〕은 운전 준비도를 결정하는 파라미터를 4개의 카테고리로 분류하고 예시를 나열한 것이다. 운전자 특성은 운전 준비도의 통계적인 기준을 제시할 수 있는 요인으로, 대부분 운전자로부터 사전에 얻을 수 있는 객관적 혹은 주관적 정보를 의미하며, 대표적인

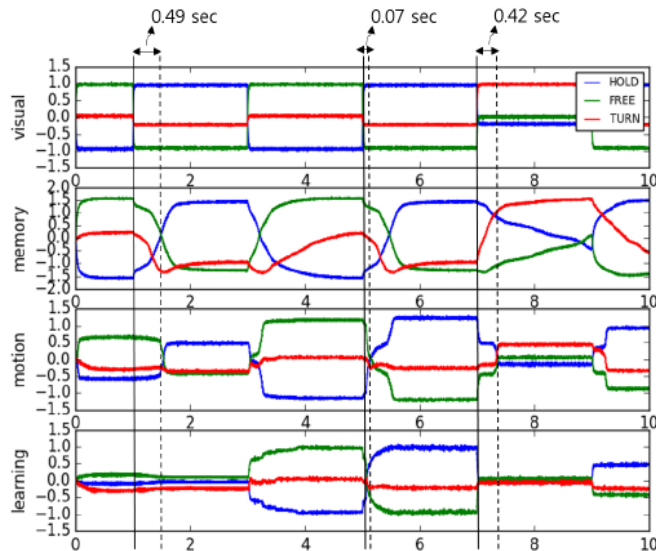


〈자료〉 Kim, "Transitions from autopilot to manual control in highly automated driving: cognitive simulations." 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference, 2018., 재작성

〔그림 4〕 제어권 전환 상황에 대한 인지 프레임워크 예시

인적 요인으로 ‘나이’와 ‘성별’ 등을 고려할 수 있다. 운전자 특성에 대한 정보는 설문을 통해서 측정이 가능하다.

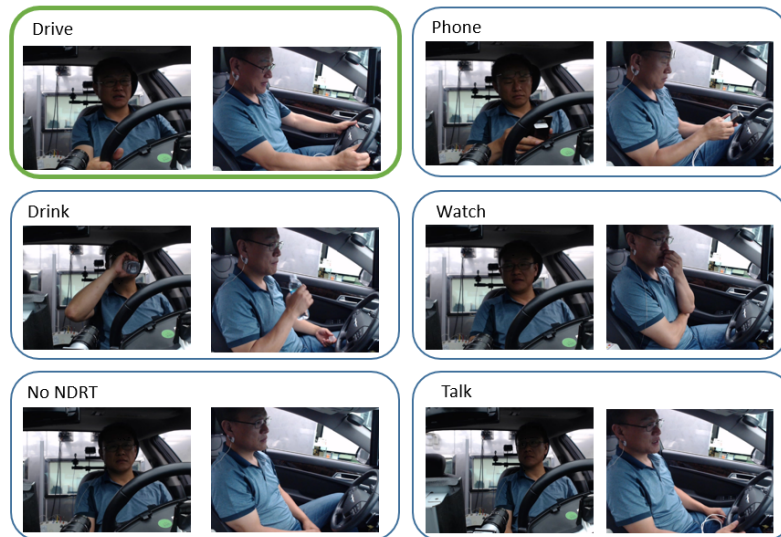
정신적 파라미터는 지각 및 의사결정에 매우 영향을 미치는 요인으로, 운전자가 갑자기 운전을 하게 되었을 때 안정적으로 제어권을 전환 받을 수 있는 상태를 유추하는데 매우 중요한 의미를 가지며, 대표적인 인적 요인으로 ‘작업부하(Workload)’, ‘상황 인지(Situational Awareness)’, ‘주의(Attention)’ 등을 고려할 수 있다. 정신적 파라미터는 객관적인 측정이 매우 어렵기 때문에, [그림 4]와 같이 인지 프레임워크를 도출하고 인적 요인 실험을 통해 수집한 운전자 생리 신호와 주관적 설문 정보를 토대로 인지 모델을 도출하여 [그림 5]와 같이 운전자 상태를 추정한다.



〈자료〉 Kim, "Transitions from autopilot to manual control in highly automated driving: cognitive simulations." 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference, 2018., 재작성

[그림 5] 제어권 전환 상황에 대한 인지 모델 시뮬레이션 예시

신체적 파라미터는 운전자가 지각 및 의사결정 이후 실제로 결정된 작업을 수행하는데 있어 매우 영향을 많이 미치는 요인으로, 운전자가 제어권 전환 및 수동운전을 위해서 필요한 행위를 안정적으로 수행할 수 있는지 여부를 유추하는데 매우 중요한 의미를 가지며, 대표적인 인적 요인으로 ‘활동성(Activeness)’ 등을 고려할 수 있다. 운전자의 신체적 활동은 카메라 등을 활용한 모니터링을 통해서 객관적 측정이 가능하며 특정 행동을 반복



〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

[그림 6] 운전자 실시간 활동 유추 기술 예시

하는 과몰입 혹은 일정시간 동안 신체를 움직이지 않아 발생하는 순발력 저하 등을 통해서 활동성을 추정할 수 있다. [그림 6]은 영상정보를 이용하여 운전자 활동을 유추하는 기술의 예시이다.

마지막으로 환경적 파라미터의 경우, 운전자가 제어권 전환을 요청받은 그 시점에서의 주변 상황이 운전자가 수행해야 할 운전 작업의 난이도를 결정하는데 매우 중요한 요인이 되며, 대표적으로 ‘예상추돌시간(Time-to-Collision: TTC)’ 등을 고려할 수 있다. 예상추돌시간은 전방 차량과의 거리, 전방 차량의 상대 속도 등을 통해서 추정이 가능하며, 차량 외부 센서를 통해서 객관적 측정이 가능하다.

전술한 카테고리별 측정 및 추정치를 바탕으로 운전 준비도를 결정하기 위해서 인적 요인 실험을 설계하고 운전 시뮬레이터 등 실험환경을 구축한 후, 피험자를 모집하여 주관적, 객관적 데이터를 수집한다. 수집된 데이터는 통계분석을 통해 운전 준비도 알고리즘을 설계하고 검증한다. 이러한 인적 요인 분석은 일반적으로 주제별로 3개월 이상의 연구개발 기간이 필요하며 많은 인력을 요구한다.

운전 준비도가 결정이 되면, 운전자 상태에 따른 알람 및 정보제공 방법을 설계할 수 있게 된다. 알람 및 정보제공 방법에 대한 자세한 내용은 다음 장에서 다룬다.

IV. 차량 HMI 기술

차량 HMI는 운전자와 차량 간의 인터페이스에 관한 것으로, 주로 효과적으로 정보를 전달하는 방법에 대한 설계가 중요하다. 일반적으로 운전자에게 시각, 청각, 촉각 등의 모달리티 채널을 통해 정보가 전달되는데, 그 중에서도 대부분의 정보는 시각과 청각을 통해 전달된다. 시각 및 청각 모달리티 채널의 특징은 다음 [표 2]에 정리하였다.

[표 2] 운전자 시각 및 청각 인터페이스

카테고리	항목	청각	시각
모달리티 채널별 특성	방향성	방향성 없음	정보 제공방향으로 주의 및 선택
	수신 속도	빠름	느림
	시급성	빠른 정보 파악이 쉬움	빠른 정보 파악이 힘들
	정보의 순서	정보를 유지하기 힘들	정보를 유지하기 쉬움
	노이즈	시각 노이즈에 영향 없음	청각 노이즈에 영향 있음
	정보의 형태	멜로디, 언어	그림, 언어
	적합성	적시성 정보에 적합	공간적 정보에 적합
모달리티 채널별 용도	메세지 복잡도	단순한 메세지	복잡한 메세지
	메세지 길이	짧은 메세지	긴 메세지
	정보의 특성	시간에 따른 이벤트	공간에 따른 장소
	요구 반응	즉각적인 행동	즉각적인 반응을 요구하지 않음

〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

레벨 3 자율주행자동차에서 제어권 전환 안전성을 높이기 위해 차량 HMI는 ① 자율주행자동차로부터 운전자로의 제어권 전환 요청 제공 기능, ② 운전자의 상황 인지를 높이기 위한 주행상황 정보 제공 기능, 그리고 ③ 운전 준비도 낮음 경고 기능 등을 포함해야 한다.

제어권 전환 요청(Take-Over Request: TOR) 정보는 레벨 3 자율주행자동차에서 가장 중요하게 다루어져야 할 정보이다. 자율주행시스템이 더 이상 자율주행이 어렵다고 판단하는 경우에 제공하게 되는 정보로, 운전자가 반드시 지각하고 반응해야 한다. 제어권 전환 요청 정보가 빠르고 정확하게 운전자에게 전달되도록 하기 위해서 사전 주의 정보(pre-cue)를 제공하거나, 제어권 전환 요청을 복수의 모달리티 채널로 제공하는 방법이

있으며, 자율주행 중에도 예상되는 제어권 전환 요청 잔여 시간 및 거리 정보를 제공하여 운전자가 미리 대비하게 할 수 있다.

주행상황 정보 제공은 운전자가 주행상황을 빠르게 판단하기 위해 제공하는 부수적인 정보로, 현재 차량의 주행 모드 정보, 차량 속도, 주변 차량의 위치 정보 등을 제공하여 제어권 전환 시 운전자가 빠르고 안정적으로 수동 운전으로 복귀할 수 있도록 한다.

운전 준비도 낮음 경고 기능은 앞장에서 소개한 운전자의 준비도를 추정하여 준비도가 낮은 경우, 자율주행 중이더라도 경고를 주어 일정한 운전 준비도를 유지하게 한다. 예를 들어, 레벨 3 자율주행자동차에서 운전자가 졸음에 빠지게 되면 비록 자율주행 중이라 하더라도 제어권 전환을 위해서는 상당한 시간이 필요하게 되며, 이는 사고 위험과 직결된다. 따라서 운전자가 졸음에 빠지는 등 운전 준비도가 기준 이하로 내려가는 경우에는 수시로 경고를 제공하여 안전성을 확보한다.

하지만, 운전 작업은 운전자의 복합적인 지각, 인지 및 신체 능력을 요구하는 복잡한 작업이기 때문에, 위와 같이 제공되어야 할 정보의 모달리티 채널이 적절하게 설계되었다고 하더라도, 시스템의 정보 제공은 운전자의 주의 분산으로 이어질 가능성이 크다. 따라서 운전자의 주의 분산(Distracton)을 최소화하는 인터랙션 기술의 개발이 필요하다. 가장 대표적인 방법은 음성 인식과 텍스트 음성(Text to Speech: TTS) 기술이며, 베이징 대학의 Yu는 초음파를 이용하여 운전자 제스처를 인식하여 시스템에 정보를 전달하는 기술도 개발 중이다[6].

V. 결론

본 고에서는 레벨 3 자율주행자동차의 인적 요인과 관련된 기술 동향을 다루었다. 레벨 3 자율주행자동차는 제어권 전환이라는 특수한 상황이 필수적으로 존재하기 때문에, 자율주행자동차 안전성을 확보하기 위해서는 반드시 인적 요인 기술이 필요하다. 본 고에서는 특히 운전자 모니터링 기술, 운전자 인적 요인 분석기술, 차량 HMI 기술로 나누어 최신 연구 및 기술개발 동향을 소개하였다.

운전자 모니터링 기술은 운전자, 차량 및 주변 환경으로부터 데이터를 수집하고 특징점을 추출하는 연구이고, 운전자 인적 요인 분석기술은 추출된 특징들을 바탕으로 운전자의

운전 부하, 상황 인지, 운전 준비도 등 인적 요인을 추정한다. 차량 HMI 기술은 시스템에서 운전자로, 운전자에서 시스템으로 정보를 전달하기 위한 인터페이스 기술로, 시각, 청각, 촉각 등 다양한 모달리티 채널을 활용한다.

향후 비접촉식 측정에 대한 기술과 운전자, 차량 및 환경 통합 특징점 추출 기술, 운전자에게 주의 분산을 일으키지 않고 정보를 효율적으로 전달할 수 있는 인터랙션 기술 등 다양한 자율주행자동차 관련 인적 요인 기술 개발이 필요할 것으로 예상된다.

[참고문헌]

- [1] "Taxonomy and definition for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles," SAE International, J3016, 2018.
- [2] Schmidt, "Driver drowsiness and behavior detection in prolonged conditionally automated drives," 2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2016.
- [3] Wang, Chen, "A comparative survey of methods for remote heart rate detection from frontal face videos," Frontiers in bioengineering and biotechnology, 6, 2018.
- [4] Kim, "Non-contact respiration monitoring using impulse radio ultrawideband radar in neonates," Royal Society open science, 6(6), 2019.
- [5] Kim, "Transitions from autopilot to manual control in highly automated driving: cognitive simulations," 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference, 2018.
- [6] Yu, "Micro hand gesture recognition system using ultrasonic active sensing," IEEE Access, 6, 2018.