

## 적응 순항 제어 시스템에서의 모드 혼동에 관한 연구<sup>§</sup>

안대룡\* · 양지현\* · 이상헌\*<sup>†</sup>

\* 국민대학교 자동차공학전문대학원

### A Study on Mode Confusions in Adaptive Cruise Control Systems

Dae Ryong Ahn\*, Ji Hyun Yang\* and Sang Hun Lee\*<sup>†</sup>

\* Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin Univ.

(Received July 2, 2014; Revised January 12, 2015; Accepted March 10, 2015)

**Key Words:** Adaptive Cruise Control(적응순항제어), Formal Analysis(정형 분석), Intelligent Vehicle(지능형 차량), Mode Confusion(모드 혼동), User Interface(사용자 인터페이스)

**초록:** 최근 과학 기술의 발전으로 첨단 자율 기능을 탑재된 차량의 출현이 가능하게 되었으며, 기존 차량에 추가된 첨단 운전자 지원 시스템(Advanced Driver Assistance Systems: ADAS)은 기존 차량에 추가된 이러한 자율 시스템들의 좋은 예라 할 수 있다. 이러한 시스템은 다수의 작동 모드를 가지는데 운전자들이 현재 수행중인 작동 모드를 잘못 인지하게 되면 교통사고가 일어날 수 있음이 관찰되고 있다. 본 연구에서는 적응 순항제어(Adaptive Cruise Control: ACC) 시스템을 장착한 자동화된 자동차의 운전자 인터페이스를 설계하고 이를 정형 기법을 통한 분석과 피실험자를 이용한 실험을 통해 모드 혼동 발생 여부를 검증하고 이를 개선하는 연구를 수행하였다. 이를 통해 모드 혼동을 방지하기 위해서는 시스템에 대한 심성 모델의 정확성과 간결성뿐만 아니라 인터페이스 구현시 디스플레이의 명확성이 또한 매우 중요하다는 것을 확인하였다.

**Abstract:** Recent development in science and technology has enabled vehicles to be equipped with advanced autonomous functions. ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) are examples of such advanced autonomous systems added. Advanced systems have several operational modes and it has been observed that drivers could be unaware of the mode they are in during vehicle operation, which can be a contributing factor of traffic accidents. In this study, possible mode confusions in a simulated environment when vehicles are equipped with an adaptive cruise control system were investigated. The mental model of the system was designed and verified using the formal analysis method. Then, the user interface was designed on the basis of those of the current cruise control systems. A set of human-in-loop experiments was conducted to observe possible mode confusions and redesign the user interface to reduce them. In conclusion, the clarity and transparency of the user interface was proved to be as important as the correctness and compactness of the mental model when reducing mode confusions.

### 1. 서 론

#### 1.1 연구 배경

항공기와 같이 고도로 자동화된 시스템을 갖춘 기계는 다양한 모드에서 작동될 수 있는데 이러

한 모드는 사용자의 직접 조작에 의해서뿐만 아니라 시스템에 의해서 자동으로 전환될 수 있다. 만일 조종사가 시스템의 작동 모드를 잘못 인식하여 부적절한 조작을 실행할 경우 바로 사고로 이어질 수 있다.<sup>(1,2)</sup> Butler 등<sup>(2)</sup>에 의하면 184개의 항공 사고와 사건들을 분석한 결과 대부분의 사고 원인은 조종사의 자동화 시스템에 대한 모드 혼동 및 그에 따른 잘못된 조작인 것으로 보고하

§ 이 논문은 2014년도 대한기계학회 IT융합부문 춘계 학술대회(2014. 4. 24.-25., 서울대) 발표논문임

† Corresponding Author, shlee@kookmin.ac.kr

© 2015 The Korean Society of Mechanical Engineers

고 있다.

최근 운전자의 안전과 편의를 위하여 전방충돌 경고(forward collision warning: FCW), 차선이탈경고(lane departure warning: LDW), 사각지대경고(blind spot warning: BLSW)와 같은 각종 경고 기능 뿐만 아니라 적응순항제어(adaptive cruise control: ACC),<sup>(3)</sup> 차선유지지원(lane keeping assistance: LKA), 주차지원(parking assistance)과 같은 각종 자동화된 운전자 지원 기능들이 차량에 탑재되고 있다. 따라서 지능형 자동차도 항공기와 유사한 모드 혼동으로 인한 사고의 발생 가능성을 배제할 수 없게 되었다.

본 연구에서는 여러 가지 자동화된 운전자 지원 기능들 가운데 적응 순항 제어 시스템에 대한 운전자 인터페이스를 분석하고 그 문제점을 파악한 후, 새로운 설계안을 제시하여 문제점을 해결하고자 한다.

## 1.2 관련 연구

인간과 자동화 시스템과의 인터랙션을 평가하거나 자동화 시스템의 모드 혼동을 검증하기 위해 정형 분석(formal analysis) 기법이 널리 사용된다.<sup>(4)</sup> 정형 분석 기법은 컴퓨터 과학, 특히 소프트웨어 공학에서 소프트웨어와 하드웨어 시스템의 설명서, 개발, 형식 검증을 위한 특정한 종류의 수학적 기반 기술이다. 정형 분석 기법을 사용한 모드 혼동의 검증 연구들 가운데 Heymann 등<sup>(5,6)</sup>의 연구에서는 모드 혼동을 억제할 수 있는 간결하고 정확한 사용자 모델을 생성시키는 알고리즘을 제시하였다. 이들은 시스템의 동작과 사용자에게 제공되는 정보 간의 대응을 4가지 요소, 즉, 기계(machine), 사용자의 임무(user's tasks), 사용자 인터페이스(user interface), 기계의 사용자 모델(user's model of the machine)를 고려하여 모드 혼동을 없애는 정확하고 간결한 사용자 모델이 어떻게 설계되어야 하는지 연구하였다. 임의의 2개의 상태(state)가 있을 때 여기에 동일한 사용자의 조작에 대하여 동일한 모드로 변환되는 경우 이들을 서로 호환된다고 하고, 서로 호환되는 쌍들의 집합을 하나로 묶어 같은 모드에 속하도록 하고, 호환되지 않는 것은 다른 모드로 분리함으로써 사용자가 모드 혼동을 일으키지 않도록 하였다. 이 연구에서는 모드 혼동의 주요한 원인 가운데 부정확한 심성 모델과 관련된 것을 주로 다

루었고 실제 사용자 인터페이스 구현 시 발생할 수 있는 자동화 상태에 대한 빈약하거나 부적절한 디스플레이로 인한 모드 혼동은 다루지 않았다. 이러한 부분은 정형기법을 통해서 검증할 수 있는 것이 아니므로 디자인 시 디자이너가 가이드 라인에 준수해서 디자인하도록 하거나 실험을 통하여 모드 혼동의 가능성을 검증하는 방법을 취해야 한다.

자동차 분야에서 ACC의 모드 혼동에 관한 기존 연구로는 Horiguchi 등<sup>(7,8)</sup>의 연구와 Furukawa 등<sup>(9)</sup>의 연구가 있다. Horiguchi 등<sup>(7,8)</sup>의 연구에서는 자동화된 시스템에서 다른 모드임에도 불구하고 같은 반응 행동을 사용자에게 하면 사용자는 모드를 구분하기 어렵다는 점을 착안하여 모드간의 유사도를 표현하는 새로운 방법을 제안하였다. 여기에서는 각 모드에 대해 시스템의 입출력 관계를 조사하여 이들을 벡터 형태로 표현한 후, 모드 벡터들 간의 거리를 계산하여 이를 이용하여 모드들간의 유사도를 나타냈다. 이 방법을 ACC 시스템에 적용하여 모드들간의 유사도를 구한 후 이를 모드 혼동 실험 결과와 비교하여 이 방법이 모드 혼동을 적절히 예측할 수 있음을 보여주었다. 또한 모드 혼동을 막기 위하여 모드들간에 서로 다른 벡터가 되도록 추가적인 출력이 사용자에게 전해지도록 하는 방법을 사용할 것을 제안하였다. 그러나 Heymann 등<sup>(5,6)</sup>에서 밝힌 것처럼 모드들간에 사용자의 조작에 따른 모드 변환이 동일하다면 서로 구분할 필요가 없는데 이 방법에서는 이에 대해서는 고려하지 않았다.

Furukawa 등<sup>(9)</sup>의 연구에서는 듀얼 모드, 즉, 고속 모드와 저속 모드로 작동하는 ACC 시스템에서 시스템 정보의 표출을 억제시킨 상태에서 모드 혼동에 관한 실험을 실시하고 이를 줄일 수 있는 설계 대안을 검토하고 비교하였다. 이 연구에서는 두 번의 실험을 통해 모드 혼동을 경감시키는 방안을 찾았는데, 첫 번째 실험에서는 시스템의 상태 정보를 시각적으로 보여주는 것은 매우 중요하다는 결과를 도출하였고, 두 번째 실험에서는 저속과 고속 모드의 범위를 일부 중복되게 사용할 경우 두 모드 간의 전환의 편의성이 좋아진다는 결과를 도출하였다. 또한, 모드 인식과 편의 사이는 서로 상쇄(trade off) 관계라는 결론을 제시하였으나 실제로 많은 경우 정확한 인식이 결국 사용자에게 편의를 제공하는 경우가

많아 이러한 결론을 일반화시키기에는 무리가 있다.

1.3 연구 목표

모드 혼동의 근본적인 원인으로 손꼽히는 것은 애매함(opacity), 복잡함(complexity), 그리고 부정확한 심성 모델(incorrect mental model)로 이들은 각각 자동화 상태의 빈약한 디스플레이, 불필요하게 복잡한 자동화, 그리고 자동화의 거동에 대한 사용자의 잘못된 이해로 말미암아 발생한다.<sup>(2)</sup> 따라서 운전자의 모드 혼동을 감소시키기 위해서는 운전 모드에 대한 디스플레이가 명확하고 이해하기 쉬워야 하며, 자동화를 간단하게 해야 하며, 시스템에 대한 심성 모델이 정확하고 간결해야 한다.

정형기법을 기반으로 한 자동화 시스템의 인터페이스에 대한 기존 연구<sup>(5,6)</sup>에서는 모드 혼동의 주요한 원인 가운데 부정확한 심성 모델과 관련된 것을 주로 다루었고 실제 사용자 인터페이스 구현 시 발생할 수 있는 자동화 상태에 대한 빈약하거나 부적절한 디스플레이로 인한 모드 혼동은 다루지 않았다. 또한, 기존 ACC에 관한 연구<sup>(7,8)</sup>에서는 모드들간에 사용자의 조작에 따른 모드 변환이 동일하다면 사용자 관점에서 서로 구분할 필요가 없기 때문에 이를 동일한 모드로 처리하면 되는데 그렇게 하지 않았다.

이러한 기존 연구의 한계를 극복하기 위하여 본 논문에서는 ACC 시스템의 운전자 인터페이스를 설계하는데 있어 정형 기법을 바탕으로 한 분석과 피실험자를 이용한 실험을 함께 사용하여 심성 모델뿐만 아니라 디자인 측면에서의 모드 혼동 발생 가능성을 검증하고 이를 개선하는 연구를 수행하고자 한다.

2. 적응 순항 제어 시스템에 대한 기계의 상태 변환 모델 및 사용자의 모드 변환 모델

2.1 적응 순항 제어 시스템에 대한 기계의 상태 변환 모델(Machine State-Transition Model)

적응순항제어(ACC) 시스템은 가속과 감속을 자동으로 조절하여 전방의 일정 거리 내에 차량이 없을 시에는 설정된 속도를 유지하며, 차량이 있을 시에는 선행차량과 거리를 유지한 채로 선행차량을 추종하는 시스템이다. 이 ACC 안에는 여러 가지 모드가 있으며 본 연구에서 사용한

ACC의 작동 방식은 ISO 15622의 표준서<sup>(10)</sup>에 의해 표준화된 방식을 사용하였다.

본 연구에서 사용한 ACC 시스템에 대한 기계의 상태 변환 모델(machine state-transition model)이 Fig. 1에 나타나 있다. 여기서 기계 모델은 시스템내의 상태의 전환이 어떻게 이루어지는지를 표시한 것으로, 상태의 전환은 사용자의 직접 조작에 의해서(실선 화살표로 표시) 또는 시스템의 자동 조작에 의해서(점선 화살표로 표시) 이루어진다. 사용자의 직접 시스템 조작은 브레이크 페달 밟기 및 떼기, 가속페달 밟기 및 떼기, 각종 버튼 (ACC, Res/+, Cancel/-, 거리조절 버튼) 누르기로 이루어지며 이들 각각에 대한 적용이 Fig. 1에 나타나 있다.

본 논문의 기계 상태 변환 모델은 시스템이 5개의 상태로 구성되어 있다. 여기서 car-following 상태는 설정된 거리 이내에 선행 차량이 있을 때 차량이 이를 따라가는 상태이며, constant-speed 상태는 선행 차량이 없을 때 설정된 속도에 맞추

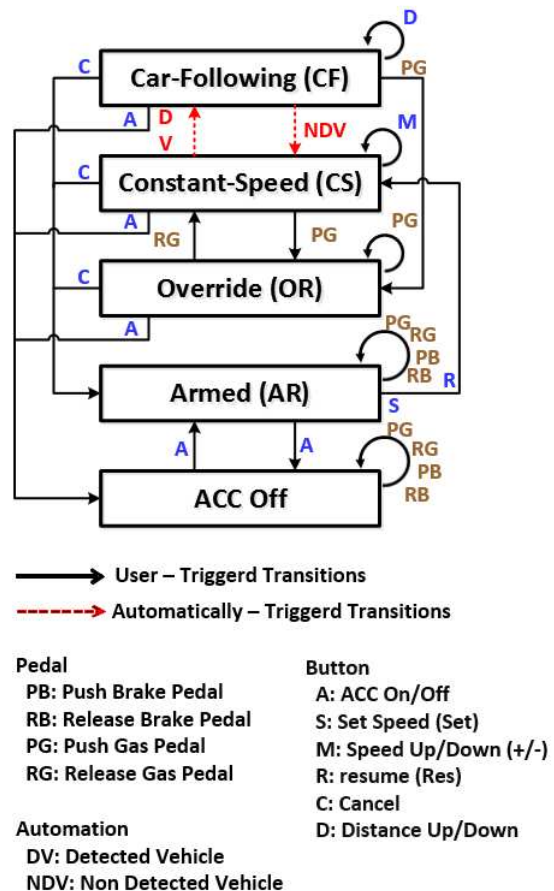


Fig. 1 The machine state-transition model of the ACC system

어 주행하는 상태이다. 이 두 상태 간의 변환은 시스템에 의하여 자동으로 변환된다. Override 상태는 car-following이나 constant-speed 상태에서 가속페달을 밟았을 때 일시적으로 가속이 되는 상태로 가속 페달을 떼면 constant-speed 상태로 돌아가게 된다. Armed 상태는 ACC를 준비하고 있는 상태로 set 버튼을 누르면 현재의 속도로 정속 주행하며, resume 버튼을 누르면 이전에 설정된 속도로 정속 주행하게 된다.

2.2 적응 순항 제어 시스템에 대한 사용자의 모드 변환 모델(User's Mode-Transition Model)

사용자 모델은 인터페이스 표시와 그 표시를 유발시키는 전환과 이벤트를 묘사한 것이다. 앞의 기계 상태 변환 모델에 대한 사용자 모드 변환 모델(user's mode-transition model) 또는 간략히 사용자 모델(user's model)로 Fig. 2에 나타난 것과 같이 active, standby, off의 세 모드를 설정하고 사용자의 직접 조작에 의해 이 모드들이 서로 전환되는 것으로 설계하였다. Off 모드에서 ACC 버튼을 누르게 되면 standby 모드가 되고 원하는 속도에서 set 버튼을 누르면 active 모드로 바뀌게 된다. Active 모드에서는 cancel 버튼을 누르거나 브레이크 페달을 밟게 되면 standby 모드로 바뀌며, 이 모드에서 다시 active 모드로 복귀하려면 Res 버튼을 누르면 된다. Off 모드를 제외한 모든 모드에서 ACC 버튼을 누르면 ACC가 꺼지도록 되어있고, standby 상태에서는 가속 페달과 브레이크 페달을 밟아도 같은 상태에 머무르게 된다.

5개의 상태로 이루어진 기계 모델을 3개의 모드로 이루어진 사용자 모델로 대응시키기 위하여 car-following과 constant-speed 상태를 active 모드로 설정하고, override와 armed 상태를 standby

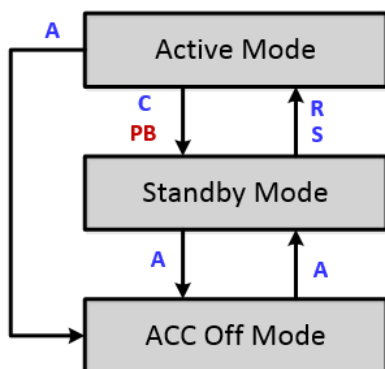


Fig. 2 The user's metal model of the ACC system

모드로 설정하였다. 이는 car-following과 constant-speed 상태는 시스템에 의하여 자동으로 변환되므로 사용자 입장에서는 같은 모드로 놓이는 것이 편리하고 또한 자동 기능이 수행되는 상황이므로 active 모드로 설정하였고, override와 armed 상태는 자동화가 작동되는 상태가 아니므로 standby 모드로 설정하였다.

본 연구에서 사용된 ACC는 5개의 상태가 존재한다. 그렇기 때문에 5(5-1)/2개, 즉, 10개 조합의 쌍을 갖는다. 10개의 조합의 쌍에 대해 Table 1에 나타난 것과 같이 merger table에 작성하여 호환 상태 쌍의 탐색을 시작한다.<sup>(5)</sup> ACC off, standby, active 모드는 서로 각각 다른 모드이므로 이들 사이에는 각각 비호환쌍을 이루게 된다. 그리고 car-following(CF)과 constant-speed(CS)는 가속 페달을 밟을 경우(PG)에 모두 override상태로 변환되고 브레이크 페달을 밟을 경우(PB) 모두 armed 상태로 변환된다. 또한 cancel 버튼과 ACC 버튼을 눌렀을 경우에도 같은 상태로 변환되기 때문에 이 두 상태는 동일한 모드, 즉, active mode로 그룹화 시킬 수 있다. 그러나 armed와 override(OR)를 보면 가속페달을 떼었을 때(RG) armed 상태에서는 계속 자신의 상태에 머물고 있지만 override(OR) 상태에서는 가속 페달을 떼었을 때 constant-speed(CS) 상태로 바뀌는 것을 알 수 있다. Armed 상태와 override 상태에서 같은 사용자 입력에 다른 상태로 전환되고 있으므로 비호환쌍으로 분류된다.

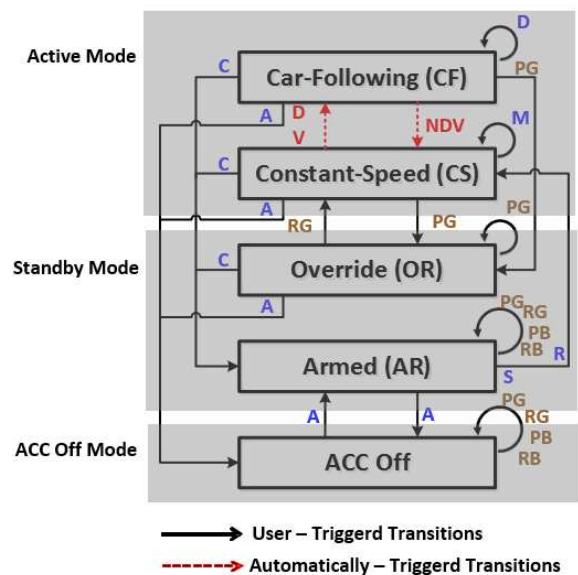


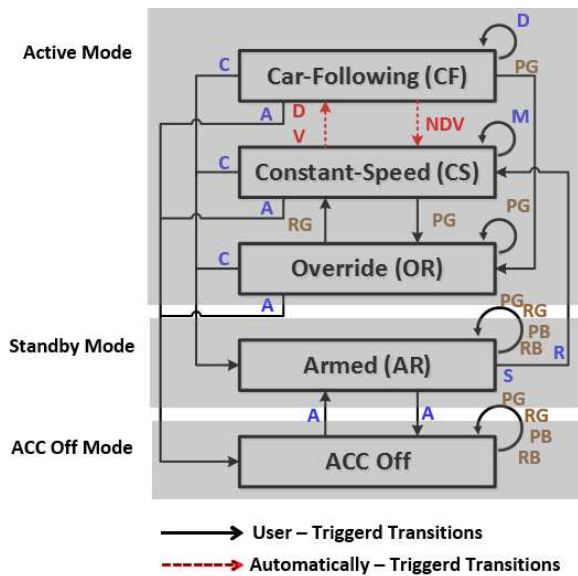
Fig. 3 Composite of the machine state-transition model and the user's mode-transition model

**Table 1** The first iteration in the merger table for the initial user model

AR	Incomptable			
CF	Incomptable	Compatible		
CS	Incomptable	Compatible	Compatible	
OR	Incomptable	RG:(OR,SB)	Compatible	Compatible
	Off	AR	CF	CS

**Table 2** The first iteration in the merger table for the redesigned user model

AR	Incomptable			
CF	Incomptable	Incomptable		
CS	Incomptable	Incomptable	Compatible	
OR	Incomptable	Incomptable	Compatible	Compatible
	Off	AR	CF	CS



**Fig. 4** Redesign of the modes of the user mode-transition model for the ACC system.

2.3 개선된 기계 및 사용자 모델

초기 설계안에서 발견된 문제점을 해결하기 위하여 Fig. 4에 나타난 것처럼 car-following, constant-speed, override 상태들을 active 모드에 속하도록 하고, standby 모드에는 armed 상태만 속하도록 수정하였다.

재설계안을 바탕으로 merger table을 다시 작성해 보았다. Table 2를 보면 초기 설계안에서 문제되었던 armed와 override는 이제 서로 다른 모드이므로 비호환 상태(incompatible state)가 되고 {override, car-following, constant-speed}는 최대 호환 상태(maximal compatible)를 이루고 이들이 같은 모드에 속해있으므로 사용자 모델의 모드 변환과 기계의 상태변화가 서로 일치하여 사용자 입력에 따른 예상치 않은 모드 변화는 없는 상태라고 할 수 있다.

2.4 사용자 인터페이스 설계

사용자 모델에 대한 설계 결과를 바탕으로 사용자 인터페이스를 설계하는 작업이 마지막으로

**Table 3** The user interface for each mode of the ACC system

ACC Mode	User Interface	
Off	<input type="checkbox"/>	
Standby	ACC	
Active	ACC	Set 60Km/h



**Fig. 5** The user interface of the ACC system proposed in this paper

남아있다. 본 연구에서는 현대 에쿠스(Equus)<sup>(11)</sup>의 ACC 기능에 대한 인터페이스를 참고하여 Fig. 5에 나타난 것과 같은 사용자 인터페이스를 구현하였다. 여기서 ACC라는 글자와 Set 50 Km/h라는 글자 부분이 모드를 표현하기 위하여 사용된 부분이다. Table 3에 나타난 것처럼 SET\_km/h 라는 표시로 active와 standby 모드를 구분을 해주고 있다. SET\_km/h 표시가 꺼지면 standby 모드이고 SET\_km/h 표시가 켜져 있으면 active 모드임을 나타낸다.

3. 운전자 모드 혼동 실험

모드 혼동 실험을 실시하기 위해 운전을 위한 입출력 장치를 갖춘 운전 시뮬레이터에 ACC 기능을 갖춘 가상의 지능형 차량을 구현하여 실험에 사용하였다.

3.1 입출력 장치

입력 장치로 로지텍사의 G27 레이싱 휠을 채택하

여 이 제품의 페달을 그대로 사용하고 각종 버튼들에 대해서는 ACC와 관련된 각종 조작을 정의하여 실험에 사용하였다. 또한, 출력 장치로는 Fig. 6처럼 10인치 LCD 모니터 상에 차량 계기판이 나타나도록 하였다.

3.2 PreScan을 이용한 ACC 기능의 구현

운전 시뮬레이터 상에 ACC 시스템을 갖춘 지능형 차량을 PreScan<sup>(12)</sup>과 Matlab 및 Simulink를 사용하여 구현하였다. PreScan은 TNO에서 개발한 소프트웨어로 각종 센서 에뮬레이션 기능을 제공하며 이를 이용하여 각종 능동 안전 시스템 및 첨단 운전자 지원 시스템(Advanced Driver Assistance Systems: ADAS)을 개발할 수 있는 물리 기반의 시뮬레이션 플랫폼이다.

ACC 모듈은 근거리와 원거리 차량을 각각 탐색할 수 있는 2개의 Technology Independence Sensor (TIS)를 사용하여 전방 차량들에 대한 정보를 받아 종방향 차량 제어를 실시한다. 여기서 TIS는 PreScan에서 제공하는 가상의 능동 스캔 센서로 레이더 또는 레이저 스캐너와 같은 특정 스캐너를 대신한 기술 독립적인 센서이다. 첫 번째 TIS는 센서 빔의 각도는 9°이고 감지 범위는 전방 150m이다. 빔의 각도가 좁고 감지 범위가 길어서 멀리 있는 차량의 정보를 받아오며, 자기 차량(host vehicle)이 위치한 차선에서 달리는 선행 차량을 감지하는데 사용된다. 두 번째 TIS는 센서의 빔의 각도는 80°이고 감지 범위는 전방 30m이다. 빔의 각도가 넓고 감지 범위가 짧아서 주로 코너 구간에서 다른 차선의 차량을 감지하거나 ACC의 Stop 단계(phase)일 때 사용된다. ACC 모듈은 두 개의 센서를 바탕으로 스로틀(throttle)과 브레이크의 압력을 출력되며 운전자의 스로틀과 브레이크의 출력 값을 대신하여 차량 동역학 모듈로 전달된다.



Fig. 6 A 10 inch LCD monitor to simulate a car instrument cluster

3.3 실험시 주변 차량

실험 시나리오를 충족시키기 위하여 Fig. 7에 나타난 것과 같이 V<sub>1</sub>으로 표시된 자기 차량(host vehicle) 주변에 3대의 차량을 배치하도록 하였다. 같은 차선의 전방에서 주행중인 V<sub>2</sub>로 표시된 목표 차량(target vehicle), V<sub>3</sub>으로 표시된 옆 차선의 전방에 주행하고 있는 선행 차량(forward vehicle), 그리고 옆 차선의 바로 옆에서 주행하고 있는 측방 차량(side vehicle)이 자기 차량의 속도를 고려하여 에워싸듯이 각각 주행하고 있다. 주변 차량의 운전자는 Path Follower 운전자 모델로 구성되어 있으며 미리 설정된 경로를 따라가다가 자기 차량이 일정 지점에 도달하게 되면 갑자기 끼어들기, 급제동, 다시 빠져나가기 등의 정해진 기동을 실시한다.

3.4 가상 도로 환경 및 이벤트

시뮬레이터 상의 주행 실험을 위하여 PreScan을 이용하여 도로를 모델링하였다. 도로는 Fig. 10에 나타난 것과 같이 운동장 트랙 형태로 직선과 곡선 주로의 조합으로 이루어진 왕복 4차선(편도 2차선)도로이다. 총 길이는 약 1.7km이며 트랙의 좌측 상단의 곡선 주로에서 직선 주로로 바뀌는 지점에서 출발하도록 하였다. 도로에서의 주변 차량의 기동 또는 도로 상황에 따른 이벤트는 총 10개로서 각 이벤트가 발생하는 구간이 Fig. 8에 나타나 있으며, 각

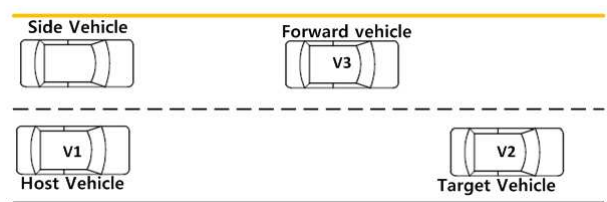


Fig. 7 Host and surrounding vehicles for subject experiments

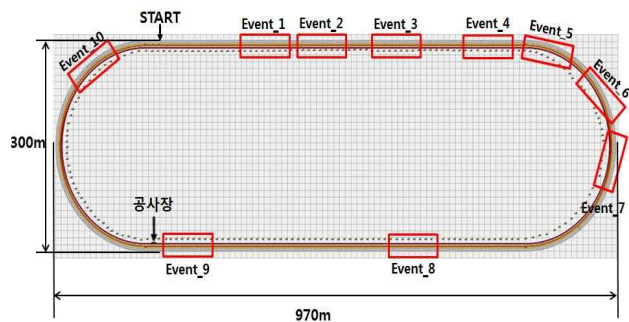
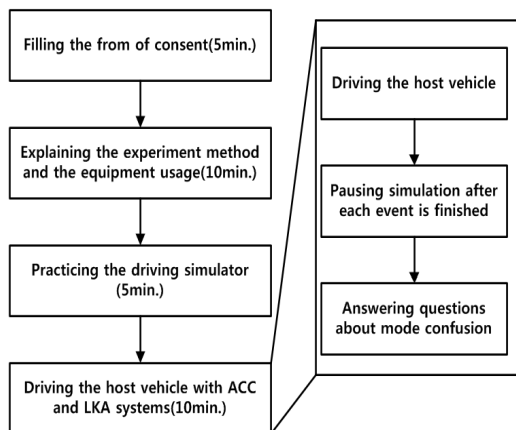


Fig. 8 The experimental road and the areas where the events happen

**Table 4** The events and their expected state transitions

No	Event	Expected State Transitions	
		Before	After
1	V <sub>3</sub> : sudden cutting in front of V <sub>1</sub>	CS	CF/AR
2	V <sub>3</sub> : returning to 1 <sup>st</sup> lane	CF	CF
3	V <sub>2</sub> : sudden braking	CF	AR
4	V <sub>2</sub> : sudden lane change to 1 <sup>st</sup> lane	CF	CS
5	V <sub>2</sub> : returning in front of V <sub>1</sub>	CS	CF
6	V <sub>2</sub> : sudden braking	CF	AR
7	V <sub>2</sub> : lane change to 1 <sup>st</sup> lane	CF	CS
8	V <sub>2</sub> : returning to 2 <sup>nd</sup> lane	CS	CF
9	V <sub>2</sub> : lane change to 1 <sup>st</sup> lane	CF	CS
10	V <sub>2</sub> : stopping and going	CS	AR



**Fig. 9** The experimental procedure

이벤트의 내용 및 그 상황에서 예상되는 ACC 시스템의 상태 변화가 Table 4에 나타나 있다. 예상 상태 변화는 경우에 따라 달라질 수 있으며 이는 실험 진행자가 그 순간의 실제 상태를 판단하여 피실험자의 인식 상태와 비교하도록 하였다.

3.5 실험 절차

실험은 Fig. 9에 나타난 것과 같이 피실험자가 동의서를 작성한 후, 실험의 기본 내용과 시뮬레이터 운전 방법에 대한 설명을 듣고, 약간의 연습을 한 후 실험을 실시하도록 하였다. 실험 시작 전에 실험 내용 및 장비 사용 방법을 설명 할 때 ACC 기능의 개략적인 설명과 모드에 대한 설명을 하였고, ACC 기능을 최대한 많이 사용하도록 권유하였다.



**Fig. 10** A subject driving on a simulator for the experiment

본 실험에서는 운전 시작점에서 일정 거리에 이르게 되면 주변 차량의 돌발적인 기동 또는 도로 상황에 따른 각 이벤트가 시작되고 그에 따라 운전자는 ACC 기능을 사용하면서 제어한다. 실험자는 각 이벤트에 대해서 운전자의 행동과 차량 모드 변화를 관찰한 후, 잠시 시뮬레이션을 중단시키고 피실험자가 생각하는 현재 모드를 구두로 질문을 하고 현재 차량의 상태와 그렇게 생각한 이유를 받는다. 차량 시뮬레이터 상에서 실험을 실시하고 있는 모습이 Fig. 10에 나타나 있다.

3.6 실험 결과

피실험자로 대학생 및 대학원생 10명을 모집하여 실험에 참여시켰다. 남자 8명, 여자 2명이며, 연령은 24 ~ 28세 범위를 가지며, 평균 연령은 25.2 ± 1.23세이다. 모두 운전 면허증을 소지하였고 운전경험이 있는 사람으로 선발하였다.

실험에서는 인터뷰 노트를 작성하여 모드와 상태 혼동을 일으킨 것을 표시하였고 혼동을 느낀 이유도 함께 작성하였다. Table 5는 상태의 변화에 대하여 사용자가 인지한 상태가 실제 상태와 어떻게 다른 지를 표로 정리한 것이다. 가장 많은 상태 혼동을 느낀 것은 실제로는 armed 상태인데 car-following 상태로 잘못 인식한 경우이다. 이 경우는 두 상태가 서로 다른 모드에 속해 있기 때문에 전형적인 모드 혼동의 예라 할 수 있다. 전체적으로 active와 standby 모드 간의 혼동을 일으킨 것이 19%이다. 이 표에서 대각선에 놓인 항들은 모드를 정확히 인식한 경우를 나타내며, 이 가운데 armed 상태의 인식률이 가장 낮은 것을 알 수 있다.

**Table 5** Comparison of the ACC system’s actual states and the user’s recognizing states

Mode		User’s Recognizing States			Total	
		Standby	Active			
Actual States	States	Armed	Constant-Speed	Car-Following		
	Standby	Armed 20 (64.5%)	1 (3.2%)	10 (32.3%)	31	
	Active	Constant-Speed	4 (10.3%)	34 (87.2%)	1 (2.6%)	39
		Car-Following	4 (13.3%)	8 (26.6%)	28 (93.3%)	30
Total		28	43	39	100 (82%)	

3.7 토의

본 논문의 2.3절에서 제안한 모델은 현대 에쿠스의 ACC 시스템에 구현된 사용자 모델과 일치하며,<sup>(11)</sup> 이를 정형 기법 분석 결과 간결하고 정확하여 모드 혼동이 없다고 판정되었음에도 불구하고, 실험에서는 여전히 피실험자의 모드 혼동이 일어났다. 실험 종료 후, 모드 혼동을 겪은 피실험자에 대하여 추가 인터뷰를 통해 active 모드와 standby 모드 사이에 왜 모드 혼동이 일어났는지 이유를 질문하였다. 이에 대하여 피실험자들은 공통적으로 “Active에서 armed 모드로 전환될 때 화면상에 Set\_km/h 표시가 사라지지만 ACC 표시등은 계속 켜져 있기 때문에 ACC 기능이 계속 작동할 것 같은 느낌이 온다. Set\_km/h라는 글자는 큰 의미가 있는 것으로 느껴지지 않는다.”라고 응답하였다. 즉, 모드를 나타내는 것은 ‘ACC’라는 글자 부분이라고 사용자가 인식하기 때문에 모드가 바뀔 때 그에 대한 정보가 이 영역에 명확히 나타나도록 디자인을 변경할 필요가 있다.

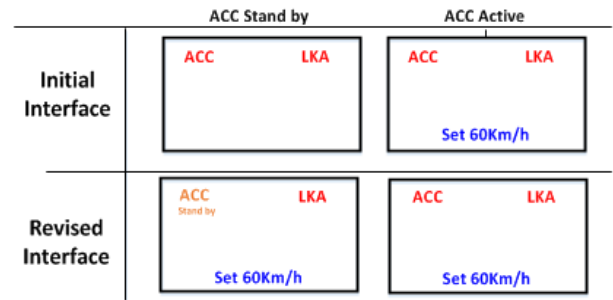
4. 사용자 인터페이스 재설계 및 실험

4.1 운전자 인터페이스 재설계

새로운 인터페이스를 Fig. 11에 나타난 것과 같이 변경하였다. 즉, 브레이크 페달을 밟거나 cancel 버튼을 누르면 active 모드에서 standby 모드로 바뀌는 경우 기존의 인터페이스는 Set\_km/h의 표시가 사라지지만 새로운 안에서는 ACC 글자 자체를 ACC Standby라는 글자로 바꾸어 active 모드와 standby 모드 사이의 혼동을 없애도록 하였다.

4.2 재실험 결과 및 토의

개선된 ACC 인터페이스를 바탕으로 재실험을 실시하였다. 실험 장치, 시나리오 및 피실험자는



**Fig. 11** Redesign of the user interface for the ACC system

1차 실험과 모두 동일하다. 재실험에서도 역시 피실험자들은 주변 차량이 급제동을 실시하는 이벤트에서 브레이크 페달을 밟는 경우가 많았다. 그러나 그로 인해 ACC기능의 active 모드가 standby로 바뀌었을 때 인터페이스의 모드 표시 부분에 글자가 달라짐으로써 피실험자의 모드 혼동이 크게 감소하였다.

재실험에서 데이터를 ACC 시스템의 상태의 변화에 대하여 사용자가 인지한 상태가 실제 상태와 어떻게 다른지 조사하여 보았다. 10명의 피실험자의 상태 변화에 대한 혼동의 비율은 Table 6와 같다. 이를 초기 인터페이스에 대해서 실험한 결과인 Table 5와 비교해 보면 armed 상태에 대한 인식률이 66.7%에서 100%로, 그리고 constant-speed 상태에 대한 인식률이 67.2%에서 100%, 그리고 전체 상태 인식률이 82%에서 99%로 향상된 것을 볼 수 있다. 다만, 이 수치는 초기 운전자 인터페이스의 평가에 참여한 피실험자가 개선된 인터페이스의 평가에 참여하여 얻은 값이므로 이전 실험을 통한 학습 효과를 감안하여 평가할 필요가 있다.

기존의 인터페이스와 새로운 인터페이스의 상태 변화 및 모드 변화에 대한 혼동율이 Fig. 12의 박스 플롯(box plot)에 나타나 있다. 이들 값들은 정규 분포를 따르고 있지 않고, 샘플 사이즈가 10에 불과하기 때문에 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed-rank test)을 수행하여 분석하였다. 기존 인터페이스에 대한 상태 혼동률의 평균값은 36% (SD=25.47%) 중앙값은 40%인데 반하여 새로운 인터페이스에 대한 평균값은 3% (SD=6.75%) 중앙값은 0%를 보여주고 있다. 또한, 기존 인터페이스에 대한 모드 혼동률의 평균값은 19% (SD=20.79%) 중앙값은 15%인데 반하여 새로운 인터페이스에 대한 평균값은 0% (SD=0%) 중앙값은 0%를 보여주고 있다. 윌콕슨 부호 순위



검정 결과 두 서로 다른 인터페이스의 상태 혼동률의 차이에 대하여  $p = 0.014 (<0.05)$ , 모드 혼동률의 차이에 대하여  $p = 0.036 (<0.005)$ 를 보여주고 있다. 따라서 기존과 새로운 두 인터페이스 간에는 통계적으로 유의한 차이가 존재한다고 결론내릴 수 있다.

**Table 6** Comparison of the ACC system's actual states and user's recognized states

Mode		User Recognized States			Total
		Standby	Active		
Actual States	States	Armed	Constant-Speed	Car-Following	
	Standby	Armed	32 (100%)	0	0
Active	Constant-Speed	0	30 (100%)	1 (2.6%)	30
	Car-Following	0	1 (2.6%)	28 (93.3%)	38
Total		32	31	37	100 (99%)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 정형 기법과 실험을 통하여 ACC 시스템에 대한 사용자 모델과 인터페이스의 모드 혼동 분석 및 검증을 실시하고 초기 설계안에 대하여 개선된 설계안을 제안하였다. 그럼으로써 초기 설계안의 모드 혼동률이 19%인데 반하여 개선된 설계안은 0%를 보여주게 되었다. 이러한 결과는 사용자 모델의 각 모드의 변환이 일관되게 일어날 수 있는 정확하고 간결한 사용자 모델을 설계하는 것 이외에 인터페이스의 디스플레이가 명확하고 시스템 내부에 대한 정보를 투명하게 보여주는 것이 모드 혼동 억제에 크게 기여한다는 것을 보여주고 있다.

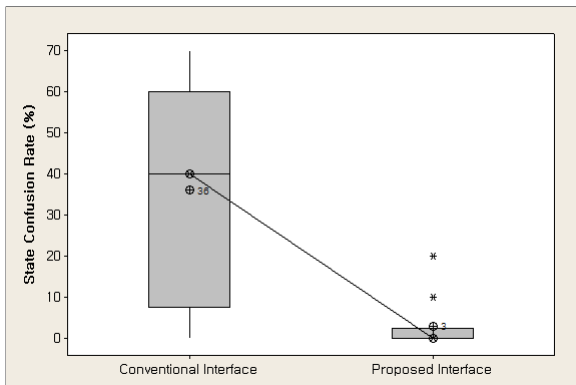
향후 연구 과제로는 ACC뿐만 아니라 LKA 시스템을 포함한 다양한 수준의 자동화 시스템을 갖춘 지능형 자율 주행 차량의 인터페이스 설계 및 검증에 대하여 본 연구를 확장시킬 필요가 있다.

#### 후 기

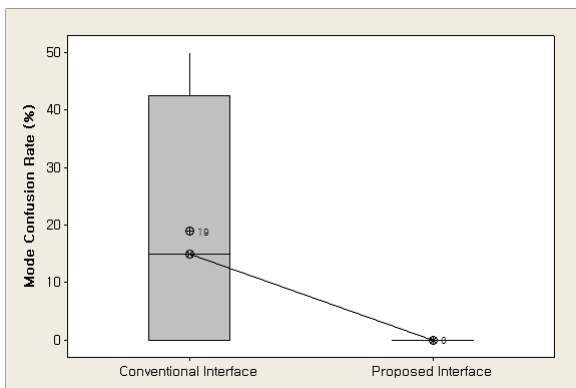
본 논문은 2014년도 미래 창조 과학부의 재원으로 한국연구재단 핵심연구 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. NRF - 2013R1A2A2A01068766). 그리고 본 논문의 그림과 표를 작성하는데 도움을 준 엄휘수 양에게 감사드립니다.

#### 참고문헌 (References)

- (1) Sarter, N. B., Woods, D. D. and Billings, C. E., 1997, "Automation Surprises," *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, 2nd ed., G. Salvendy, Ed., Wiley, New York, pp. 1926~1943.
- (2) Butler, R. W., Miller, S. P., Potts, J. N. and Carreno, V. A., 1998, "A Formal Methods Approach to the Analysis of Mode Confusion," *Proceedings of AIAA/IEEE 17th Digital Avionics Systems Conference*, Oct 31 ~ Nov 7, Bellevue, WA, pp. C41-1~8.
- (3) Moon, I. and Yi, K., 2005, "Multi-Vehicle Tracking Adaptive Cruise Control," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 29, No. 1, pp. 139~144.
- (4) Bolton, M. L., Bass, E. J. and Siminiceanu, R. I., 2013, "Using Formal Verification to Evaluate Human-Automation Interaction: A Review," *IEEE*



(a)



(b)

**Fig. 12** Box plot for state and mode confusion rates for the conventional and proposed ACC interfaces: (a) a box plot for state confusion rates, (b) a box plot for mode confusion rates

- Transactions on Systems, Man and Cybernetics: Systems*, Vol. 43, No. 3, pp. 488~503.
- (5) Degani, A. and Heymann, M., 2002, "Formal Verification of Human-Automation Interaction," *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 44, No. 1, pp. 28~43.
- (6) Heymann, M. and Degani, A., 2007, "Formal Analysis and Automatic Generation of User Interfaces: Approach, Methodology, and an Algorithm," *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 49, No. 2, pp. 311~330.
- (7) Horiguchi, Y., Fukuju, R. and Sawaragi, T., 2006, "An Estimation Method of Possible Mode Confusion in Human Work with Automated Control Systems," *Proceedings of SICE-ICASE International Joint Conference*, Oct 18~21, Busan, South Korea, pp. 943~948.
- (8) Horiguchi, Y., Fukuju, R. and Sawaragi, T., 2007, "Differentiation of Input-Output Relations to Facilitate User's Correct Awareness of Operating Mode of Automated Control System," *Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 2570~2575.
- (9) Furukawa, H., Inagaki, T., Shiraishi, Y. and Watanabe, T., 2003, "Mode Awareness of a Dual-mode Adaptive Cruise Control System," *Proceedings of 2003 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 1, pp. 832~837.
- (10) ISO, 1997, *ISO 15662 Document*, [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=44322](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=44322).
- (11) Hyundai Motor Co., 2013, *EQUUS Manual*, <http://www.hyundai.com/kr/blu/selectDIExpdList.do#none>.
- (12) TASS International, 2013, *PreScan Manual*, <http://www.tassininternational.com>.