

부분 자율주행자동차의 운전자 모니터링 시스템 안전기준 검증을 위한 운전 행동 분석 -2부-

손준우* · 박명옥**

Driving behavior Analysis to Verify the Criteria of a Driver Monitoring System in a Conditional Autonomous Vehicle – Part II –

Joonwoo Son*, Myoungouk Park**

Key Words: *Driver monitoring system*(운전자 모니터링 시스템), *Autonomous driving*(자율주행), *Motor vehicle safety regulations*(자동차 안전 기준), *Drowsy driving*(졸음운전), *Eye Closed Duration*(눈 감기 시간)

ABSTRACT

This study aimed to verify the criteria of the driver monitoring systems proposed by UNECE ACSF informal working group and the ministry of land, infrastructure, and transport of South Korea using driving behavior data. In order to verify the criteria, we investigated the safety regulations of driver monitoring systems in a conditional autonomous vehicle and found that the driver monitoring measures were related to eye blinks times, head movements, and eye closed duration. Thus, we took two different experimental data including real-world driving and simulator-based drowsy driving behaviors in previous studies. The real-world driving data were used for analyzing blink times and head movement intervals, and the drowsiness data were used for eye closed duration. In the drowsy driving study, 10 drivers drove approximately 37 km of a monotonous highway (about 22 min) twice. The results suggested that the appropriate duration of eyes continuously closed was 4 seconds. The results from real-world driving data were presented in the other paper – part 1.

1. 서론

SAE(Society of Automotive Engineers) Level 4⁽¹⁾이상의 자율주행자동차가 보급되기 전까지, 운전자는 자율주행 시스템으로부터 제어권 전환 요청을 받아 비상 상황에 대처(Fallback)하여야 하는 경우가 발생할 수 있다.^(2,3)

따라서, Level 3 이하의 자율주행자동차는 운전자의 상태를 적절히 모니터링 하여 안전한 제어권 전환이 가능하도록 유지하여야 하며, 이러한 운전자 가용성 인지

시스템에 대한 안전 기준이 논의 및 제정되고 있다.^(4,5) 즉, UNECE(United Nations Economic Commission for Europe) ACSF(Automatically Commanded Steering Function) 국제회의에서는 운전자 가용성 판단을 위한 운전자 모니터링 항목은 도출하였으나 적절한 기준치 설정에 대한 논의가 진행되고 있으며,⁽⁴⁾ 우리나라 국토교통부에서는 “자동차 규칙”에 운전자 모니터링 시스템의 성능기준을 신설하였다.⁽⁵⁾ 현재, 운전자 모니터링 관련 기준에서는 운전자의 행동(차량조작, 눈 깜박임 횟수, 머리/몸 움직임, 눈감기 시간 등)을 이용하여 가용성을 판단하고 있다.^(4,5)

이에 본 연구에서는 실도로 운전행동 데이터와 졸음운

* 대구경북과학기술원, 책임연구원

** 대구경북과학기술원, 전임연구원

E-mail: json@dgist.ac.kr

전 시뮬레이터 실험 데이터를 분석하여, UNECE ACSF와 국토교통부에서 제시한 운전자 모니터링 시스템 성능 기준의 적절성을 검증하고자 한다.

본 연구는 상호연관성이 없는 2가지 실험 데이터를 이용하여 각기 다른 항목에 대한 검증을 실시하였기 때문에, 2편의 논문으로 구분하여 제시하고자 한다. 즉, 1부 논문에서는 실도로 운전행동 데이터를 이용하여 눈 깜빡임과 머리 움직임에 대한 분석 결과를 제시하고,⁽⁶⁾ 2부 논문에서는 졸음운전 시뮬레이터 데이터를 이용하여 연속 눈감기에 대한 분석 결과를 제시하고자 한다. 본 2부 논문에서는 졸음운전 시뮬레이터 실험 데이터를 분석하여, UNECE ACSF 워킹그룹과 국토교통부에서 제시한 운전자 모니터링 시스템 성능기준 중 연속 눈감기의 적절성을 검증하고자 하며, 졸음운전 시뮬레이터 실험 및 분석에 관한 연구 방법, 결과, 토의, 결론으로 구성하였다.

2. 연구 방법

본 장에서는 1부 논문에서 제시하였던 운전자 모니터링 관련 국내외 안전 기준을 요약하고, 선행 연구에서 수집한 졸음운전 시뮬레이터 데이터를 이용하여 안전 기준에서 제시한 연속 눈감기 시간의 적절성을 검증하고자 한다.

2.1. 운전자 모니터링 관련 안전 기준 분석

2.1.1. UNECE ACSF IWG 제안 기준

본 논문에서는 UNECE ACSF IWG(Informal Working Group)의 4가지 조건 중 4번에 관한 분석을 실시하고자 한다.

- 1) 이전 180초 동안 운전자 전용 차량제어장치 입력이 있는 경우(Input to any driver-exclusive vehicle controls during the last [180]s)
- 2) 이전 60초 동안 운전자 눈 깜박임 최소 3회 또는 4회 이상인 경우(Driver has blinked at least [3/4] times during the last [60]s)
- 3) 이전 30초 또는 35초 동안 운전자의 의도적인 머리 또는 몸 움직임이 있는 경우(Driver shows conscious head or body movements during the last [30/35]s)
- 4) 이전 30초 또는 4초 동안 연속적인 눈감기 없는 경우

(The driver did not have his eyes continuously closed for the last [30/4]s)

2.1.2. 부분 자율주행시스템의 안전 기준

본 논문에서는 아래 3가지 항목 중 3번에 관한 분석을 실시하고자 한다.

- 1) 이전 30초 동안 운전자가 운전자전용 자동차제어장치를 조작한 경우
- 2) 이전 35초 동안 운전자가 의도적으로 머리 또는 몸을 움직인 경우
- 3) 이전 4초 동안 운전자가 연속적으로 눈을 감지 않은 경우

2.1.3. 운전자 모니터링 시스템 안전 기준 검증 대상

본 논문에서는 “이전 30초 또는 4초 동안 연속적인 눈감기 없는 경우”에 해당하는 졸음운전에 관한 내용을 검증하고자 한다.

2.2. 기준 검증을 위한 데이터 수집

본 논문은 선행연구에서 취득한 졸음운전 시뮬레이터 주행 데이터를 사용하여 분석을 하였으며, 아래와 같은 방법으로 데이터를 수집하였다.

2.2.1. 피험자

졸음운전 시뮬레이터 실험을 위하여 20~40대 사이의 피험자 10명(남성: 9명, 여성: 1명)을 모집하였다. 피험자는 2년 이상의 운전 경력을 보유하고 있으며, 주 2회 이상 운전을 하는 건강한 사람으로 선정하였다.

2.2.2. 실험 설계

졸음운전 실험은 Figure 1과 같이 피험자가 2회 방문하도록 설계하였으며, 본 실험을 실시하기 하루 전에 자격조건 확인, 실험 동의서 작성 및 수면박탈 방법 등 주의 사항을 주지시킨 후 귀가하도록 하였다. 수면 박탈 방법(sleep deprivation)은 실험 전날에 피험자 스스로 4시간 미만의 수면을 취하도록 하였다. 또한, 실험 전날부터 카페인 함유된 음료(커피, 탄산음료 등), 담배, 알코올 등

을 섭취하지 않도록 하였다.

본 실험을 위한 2차 방문 시, 전날 수면시간이 4시간 미만인지, 카페인 음료를 섭취 하지는 않았는지 등의 여부를 확인한 후 본 실험에 참여하도록 하였다. 본 실험에서는 약 37km로 구성된 고속도로를 2회 반복 주행하면서 졸음운전 상태를 관찰하였다.

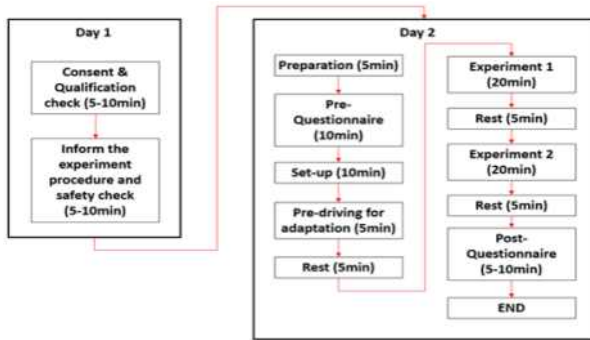


Fig. 1 Experimental procedure

2.2.3. 운전자 모니터링 장치

운전자의 시선과 머리 움직임을 모니터링하기 위하여 상용 시선 측정 장치인 FaceLAB 4.6⁽⁷⁾를 사용하였다. 시뮬레이터 차량 대쉬보드 위에 설치된 스테레오 카메라를 이용하여 운전자의 시선정보를 60Hz의 속도로 측정하여 저장하였다. 또한, 카메라 주변에 적외선 조명을 탑재하여 외부 빛이나 그림자의 영향을 최소화하였다.

2.2.4. 모의 주행 장치

모의 주행 장치는 Figure 2와 같이 DLP(Digital Light Processing) 프로젝터, 스크린, 제어용 PC와 현대 제네



Fig. 2 Driving simulator

시스 차량 내부를 재현한 시뮬레이터 차량으로 구성되었다. 드라이빙 시뮬레이션 소프트웨어는 미국 System Technology, Inc.의 STISIM Drive를 사용하였다. 시뮬레이터에서 표출되는 도로와 차량 영상은 2.5m × 2.5m 크기의 스크린에 30Hz 주기, 1024 × 768 해상도로 표시되도록 설정하였다.

2.2.5. 주행 시나리오

주행도로는 졸음을 유발할 수 있도록 가능한 단조롭게 설계하였다. Figure 3과 같이 중앙분리대로 나누어진 편도 2차선 고속도로의 직선 구간 약 37km를 약 22분간 주행하는 시나리오를 사용하였다. 이때, 차선 폭은 각각 3.6m, 노면폭은 3.6m로 설정하고, 차선 이탈시 노면 마찰 소음이 발생하도록 하였다.

또한, 모든 도로는 주변 차량이 전혀 없이 비어 있도록 설정하였으며, 주행도로의 근처 가로수는 최대 45그루로 제한하여 단조로운 주행환경을 유도하였다.

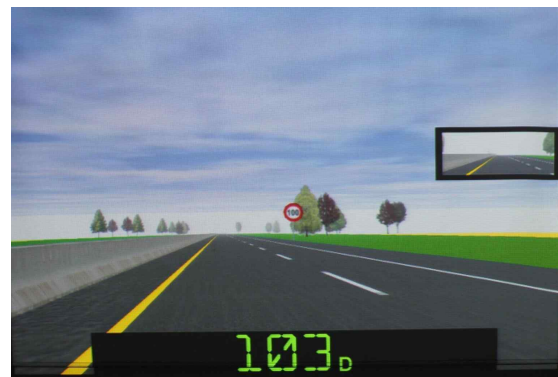


Fig. 3 Driving roadway scene

2.3. 기준 검증을 위한 데이터 분석 방법

부분 자율주행자동차에서 연속 눈감기로 인하여 사고 위험이 증가하는 상황은 두 가지 측면에서 생각해 볼 수 있다. 즉, 눈을 감은 채 자율주행 함으로써 상황인지 (Situation awareness) 능력이 저하되어 긴급한 제어권 전환시 사고 위험이 증가할 수 있는 경우⁽⁸⁾와 졸음으로 인하여 운전 능력이 현저히 저하되는 경우를 고려할 수 있다. 본 연구에서는 상대적으로 더 큰 위험성을 갖는 졸음운전을 기준으로 분석을 진행하고자 한다.

2.3.1. 졸음운전의 정의

일반적인 졸음 연구에서는 캐롤린스카 졸음 척도(Karolinska Sleepiness Scale)⁽⁹⁾ 또는 스탠포드 졸음 척도(Stanford Sleepiness Scale)⁽¹⁰⁾와 같은 주관적 설문 방법을 주로 이용하지만, 운전 중에 설문 방식의 졸음 척도를 사용하는 경우 각성효과를 유발할 수 있기 때문에 사후 영상 판독 방식을 이용하였다. 즉, 시뮬레이터 실험 완료 후, 운전자의 얼굴 영상으로 눈꺼풀 움직임 및 졸음 운전 행동(머리 무게 중심이탈, 사고발생 등)을 육안으로 판독하여 아래와 같은 정의에 따라 졸음 상태 및 구간을 분류하였다.

- 1) 각성 상태(0)
 - 눈 깜박임이 비교적 일정하며 운행이 안정된 상태
- 2) 초기 졸음 상태(1)
 - 눈 깜박임이 각성상태보다 느려지고 눈꺼풀이 닫히고 일정시간(2초간) 열리지 않는 경우
- 3) 졸음 상태(2)
 - 졸음으로 인한 사고가 발생하는 경우
 - 눈꺼풀이 닫히고 일정시간(3초간 이상) 열리지 않은 경우
 - 운전자가 머리의 무게 중심을 잃는 경우

2.3.2. 연속 눈감기 시간 분석 방법

수면박탈에도 불구하고, 총 10명의 피험자 중 6명의 피험자는 졸음운전을 하였으나, 4명은 졸음운전을 하지 않았다. 졸음운전 구간이 있는 6명의 피험자에게서 나타난 모든 졸음 구간을 분류한 결과, 총 30회 졸음운전 구간을 추출하였으며, 각 졸음 구간에서 연속 눈감기 시간(끝나는 시점-시작시점)을 관찰하였다. 총 30회의 연속 눈감기 시간에 대하여 각 피험자별로 평균, 최대, 최소값을 계산하여 가장 적합한 연속 눈감기 시간 기준을 선정하고자 한다.

3. 결 과

3.1. 연속 눈감기 시간 분석 결과

30회의 졸음운전 구간을 각 피험자별로 정리한 결과, Table 1과 같이 개인별로 최소 1회부터 최대 14회까지 졸음운전을 경험하였다. 14회의 졸음 패턴을 보인 1번

피험자는 실험 전부터 누적된 피로와 시뮬레이터 멀미 현상이 복합되어 지나친 졸음 패턴이 발생된 것으로 추정되며, 1회 11.2초간 졸음 패턴을 보인 5번 피험자는 차선과 평행한 상태가 장시간 유지되어 비정상적으로 긴 졸음이 가능하였다. 대다수의 경우 졸음운전이 시작되고 수 초 후에 차선 이탈에 따른 사고 또는 노면 마찰 소음으로 인하여 졸음이 중단되었다.

각 피험자별로 졸음 구간에서 발생한 연속 눈감기 시간은 평균 4.3초이며, 최대와 최소값은 각각 11.2초와 1.0초로 관찰되었다. Table 1에서 제시한 전체 평균은 30회의 모든 졸음 구간에 대하여 평균을 취한 것으로, 졸음 횟수가 많거나 지나치게 긴 시간을 보인 피험자로 인한 편향된 결과임을 알 수 있다.

따라서, 편향된 결과치를 최소화하기 위하여, 각 피험자별 평균에 대한 중위값을 취하여, 평균 4.4초, 최소 2.25초, 최대 6.15초를 구할 수 있었다.

Table 1 Drowsy driving times and durations

Subjects	No. of drowsy driving	Avg.	Min	Max
1	14	4.2	1.0	7.7
2	1	4.6	4.6	4.6
3	3	3.3	2.4	3.9
4	4	2.4	2.1	2.9
5	1	11.2	11.2	11.2
6	7	5.0	1.6	7.7
Total	30	4.3	1.0	11.2

[seconds]

4. 토 의

4.1. 연속 눈감기가 운전 미치는 영향

2.3장에서 언급한 바와 같이 연속 눈감기 시간은 상황인지 저하와 졸음운전 가능성 증가라는 측면에서 논의 할 필요가 있다.

4.1.1. 상황인지 저하에 따른 위험도

수동 운전에서는 전방을 주시하지 않는 시간이 2초 이상 이 될 경우 사고 가능성이 현저히 증가하는 것으로 알려져 있기 때문에, 연속 눈감기 시간이 2초를 초과해서는 안

된다.⁽¹¹⁾ 하지만, SAE Level 3 자율주행자동차에서는 전방을 주시하지 않아도 무방하지만, 제어권 전환 요청(Take-Over Request)이 있을 경우 즉시 수동 전환할 수 있는 수준의 상황인지를 유지할 필요가 있다. 즉, Figure 4와 같이 현재의 주변 상황을 인식 및 이해하고, 미래를 예측하여 적절한 판단을 내리는 데까지 걸리는 시간을 단축할 수 있도록 현재의 상황을 적절히 이해하고 있을 필요가 있다.⁽⁹⁾

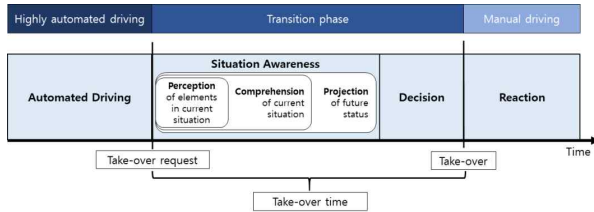


Fig. 4 Take-over process from automated to manual driving⁽⁸⁾

선행연구에 따르면, 잠재적 위험이 발생하기 4초 전에 제어권 전환 요청이 주어진 경우 해당 위험 상황을 응시한 비율이 29%에 불과하였지만, 6초 전에 주어진 경우는 47%가 응시하였다고 한다.⁽¹²⁾ 또한, 6초 이상의 시간이 주어지더라도 위험 인지가 더 향상되지는 않았다고 한다.⁽¹³⁾

따라서, 제어권 전환 요청에 발생하기 전에 전방을 주시하는 시간이 약 2초 이상 추가된다면 상황인지 능력을 보다 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 측면에서 연속 눈감기 시간은 짧을수록 더 안전해 진다고 판단할 수 있다.

4.1.2. 졸음운전에 따른 위험도

졸음상태는 음주나 약물복용과 같이 운전자의 판단력과 반응시간 저하를 가져오며, 20시간 이상 수면을 취하지 못할 경우, 혈중알콜농도 0.08과 유사한 수준의 운전 능력 저하를 초래할 수 있다고 한다.⁽¹⁴⁾ 이는 우리나라 면허취소에 해당하는 수치이다.

따라서, 제어권 전환 요청시 수동 운전을 수행하여야 하는 운전자는 절대 졸음 상태가 되어서는 안되며, 운전자 모니터링 시스템은 졸음 상태 유무를 판단 할 수 있어야 한다. UNECE와 국토교통부의 운전자 모니터링 안전 기준 중 연속 눈감기 시간이 졸음운전 판단에 해당하므로, 연속 눈감기 시간 기준은 졸음운전을 고려하여 선정할 필요가 있다.

4.2. 연속 눈감기 시간 기준

3.1장에서 살펴본 바와 같이, 각 피험자별 눈감기 시간의 중위값은 평균 4.4초, 최소 2.25초, 최대 6.15초이다. 즉, 평균 4.4초 이상 눈을 감고 있을 경우, 졸음에 따른 명확한 행동 변화를 감지할 수 있었다.

1부 논문에서도 언급한 바와 같이, 자동차 안전 경고가 지나치게 자주 발생할 경우, 사용자의 수용성(User Acceptance)이 낮아지게 되어, 경고를 무시하거나 시스템을 사용하지 않는 문제가 발생할 수 있으므로, 적절한 수준의 경고 기준을 설정할 필요가 있다.^(15,16)

따라서, 평균에 해당하는 4.4초를 기준으로 안전율을 반영하여 4초로 설정하는 것이 적절한 것으로 판단할 수 있다. 이것으로 우리나라 안전 기준에서 정의한 “이전 4초 동안 운전자가 연속적으로 눈을 감지 않은 경우”가 적합한 지표임을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 졸음운전 데이터를 이용하여 UNECE ACSF와 국토교통부에서 제시한 운전자 모니터링 시스템 성능기준의 적절성을 검증하였다. 본 연구의 결과를 요약하면, 다음과 같다.

- 1) UNECE ACSF에서 논의되고 있는 기준인 “이전 30초 또는 4초 동안 연속적인 눈감기 없는 경우”와 우리나라 자동차 규칙에서 정의한 “이전 4초 동안 운전자가 연속적으로 눈을 감지 않은 경우”에서 연속 눈감기 시간은 우리나라 기준인 4초로 정의하는 것이 적절함을 확인하였다.

다만, 본 연구에서는 사용한 졸음운전 데이터는 시뮬레이터 수동운전 상황에서 10명의 운전자를 대상으로 수집한 결과이므로, 향후 다양한 연령과 성별을 반영한 운전자 집단을 대상으로 자율 주행 상황을 고려하여 추가 실험을 진행할 필요가 있다. 그러나, 국내에서 수집된 졸음운전 및 자율주행 데이터가 아직 부족한 상황임을 감안할 때, 기존의 졸음운전 데이터를 이용하여 운전자 모니터링 시스템에 대한 객관적인 기준을 제시한 것은 의미있는 연구 결과라 할 수 있다.

후 기

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비 지원(과제번호 20TLRP-B131486-04)에 의해 수행되었다.

참고문헌

- (1) SAE International, 2018, "Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-road Motor Vehicles", Standard No. J3016.
- (2) 박명옥, 손준우, 2019, "조건부 자율주행자동차 (Level 3)의 제어권 전환 안전성 평가를 위한 기준 시나리오 개발", 한국자동차공학회논문집, Vol. 27, No. 4, pp. 309~317.
- (3) Lu, Z., Happee, R., Cabral, C. D., Kyriakidis, M., de Winter, J. C., 2016, "Human factors of transitions in automated driving: A general framework and literature survey". *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Vol. 43, pp. 183~198.
- (4) UNECE, Transport-Vehicle Regulations, Automatically Commanded Steering Function (ACSF) Retrieved from <https://wiki.unece.org/display/trans/ACSF+23rd+session>.
- (5) 국토교통부, 자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙-별표27 부분 자율주행시스템의 안전 기준, Retrieved from <https://www.law.go.kr/법령/자동차및자동차부품의성능과기준에관한규칙>.
- (6) 손준우, 박명옥, "부분 자율주행자동차의 운전자 모니터링 시스템 안전기준 검증을 위한 실도로 운전 행동 분석 -1부-", *자동차안전학회지*, 2021, in press.
- (7) Seeing Machines, 2008, FaceLAB4 User Manual, Canberra, Australia.
- (8) Son, J., Park, M., 2017, "Situation awareness and transitions in highly automated driving a framework and mini-review". *J Ergonomics* Vol. 7, No. 212.
- (9) Årstedt, T., Gillberg, M., 1990, "Subjective and objective sleepiness in the active individual", *International Journal of Neuroscience*, Vol. 52, pp. 29~37. doi:10.3109/00207459008994241
- (10) Shahid, A., Wilkinson, K., Marcu, S., Shapiro, C. M., 2011, "Stanford sleepiness scale (SSS)", In *STOP, THAT and one hundred other sleep scales*, Springer, New York, NY, pp. 369~370.
- (11) Dingus, T. A., Klauer, S. G., Neale, V. L., Petersen, A., Lee, S. E., Sudweeks, J., et al., 2006, The 100-car naturalistic driving study, Phase II-Results of the 100-car field experiment (Report No. HS-810 593). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- (12) Vlakveld, W., van Nes, N., de Bruin, J., Vissers, L., van der Kroft, M., 2018, "Situation awareness increases when drivers have more time to take over the wheel in a Level 3 automated car: A simulator study", *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Vol. 58, pp. 917~929.
- (13) Samuel, S., Borowsky, A., Zilberstein, S., Fisher, D. L., 2016, "Minimum time to situation awareness in scenarios involving transfer of control from the automation", In *Transportation research board (TRB) annual meeting*, Vol. 16-7788, Washington DC.
- (14) National Sleep Foundation, Facts About Drowsy Driving, Retrieved from <https://drowsydriving.org/about/facts-and-stats/>.
- (15) Son, J., Park, M., Park, B. B., 2015, "The effect of age, gender and roadway environment on the acceptance and effectiveness of Advanced Driver Assistance Systems", *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 31, pp. 12~24.
- (16) Son, J., Lee, Y., Kim, M. H., 2011, "Impact of traffic environment and cognitive workload on older drivers' behavior in simulated driving", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 12, No. 1, pp. 135~141.