

Determination of Basic Take-over Scenarios for Designing Human Factors Experiment in Conditional Automated Driving

Sungryul Park, Myoungouk Park, Joonwoo Son*

HumanLAB, DGIST(Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology), Daegu, 42988, Rep. of Korea

ABSTRACT

Objective: This paper aims to propose basic take-over scenarios for evaluating human factors experimental design in take-over situation to assess take-over performance on conditional automated driving. **Background:** In the autonomous driving environment of SAE level 3, some studies have been conducted to ensure the safety of take-over situations. However, it is necessary to develop a basic scenario that can represent the transition situation for integrating and analyzing the results of individual studies. **Method:** The literature review was conducted focusing on the element, traffic complexity before the transition referring to our previous classification results. **Results:** The inclusion criteria for developing the scenarios were road type and event. Four types of basic take-over scenarios have been proposed in this study; straight road-missing lane marking, curved road-missing lane marking, straight road-unexpected external obstacle, and straight road-system failure. **Application:** The results of this study can contribute to designing an experiment to evaluate safety before control in the event of a conditional automatic (Level 3) in the future.

Keywords: Automated Driving, Basic Take-over Scenario, Human Factors, Transitions

1. Introduction

자율주행차량의 안전성을 확보하기 위한 Human factor 관점에서의 연구가 필요하다. 최근 자율주행차량 기술의 발전으로 conditionally automated 단계인 L3(SAE) 자율주행차량의 임시 운행이 국내외에서 진행되고 있다. 그러나 Uber와 테슬라 등 제조사의 자율주행차량 시험 주행 중 발생한 인명사고들은 아직 그 원인이 시스템에 의한 것인지 운전자에 의한 것인지 명확하게 보고되지 않고 있다. 따라서, 자율주행 차량의 안전성을 확보하기 위해서는 시스템 성능뿐만 아니라 Human factors 측면에서 운전자의 운전 성능을 평가하는 연구가 함께 수행되어야 할 것이다.

자율주행 제어권 전환 시점의 안전과 관련한 차량-운전자 사이의 Interaction performance의 기준을 위해서 다양한 연구결과들을 통합하여 제어권 전환 상황을 대표할 수 있는 통합 시나리오의 개발이 필요하다. 최근 제어권 전환 시점을 대상으로 전환 시간, 품질, 성능 평가를 수행한 선행

연구들은 연구의 목적에 따라 다양한 시나리오를 설계하여 변수들을 측정했다.

최근 제어권 전환 상황을 대상으로 기본적인 테스트 시나리오가 제안되었다(Chae et al., 2016; Gold et al., 2018). 그러나, Chae et al. (2016)의 연구는 차량의 ADAS 기술의 성능 평가를 위한 시나리오로 구성되어 제어권 전환을 위한 시스템과 운전자의 interaction을 평가하기에는 적합하지 않은 측면이 있다. Gold et al. (2018)는 긴급성, 예측가능성, 위험도, 운전자 반응이라는 4종류의 분류기준을 바탕으로 'Maximum driver performance', 'Mode awareness', 'Driver comfort'를 측정하기 위해 11개의 테스트 시나리오를 제안했다. 이는 자율주행차량의 제어권 전환에 따른 운전자의 특성이 고려된 결과라는 점에서 의의가 있지만 각 시나리오 상황의 세부 구성요소에 대한 부족한 언급으로 한계가 있었다.

본 연구는 선행연구를 통해 제안된 운전자와 자율주행차량간의 제어권 전환 상황의 주요 프레임워크를 기반으로 자율주행차량 제어권 전환의 통합 시나리오를 제안하고자 한다.

Table 1. Three classification methods by which articles were assigned

| Elements of a scenario to assess take-over Concepts | | | References |
|---|--------------|-----------------------------------|--|
| Traffic Complexity Before transition | Roadway type | Geometry | Straight or curved (Dogan et al., 2017; Eriksson&Stanton, 2017; Naujoks et al., 2016; Naujoks et al., 2017; Nilsson et al., 2017; Zeeb et al., 2016; Zeeb et al., 2017) |
| | | Flow | Interrupted or uninterrupted (Naujoks et al., 2016; Zeeb et al., 2016) |
| | Event | Missing lane marking (limitation) | Lane marking suddenly disappears while driving. (Naujoks et al., 2016; Zeeb et al., 2016; Zeeb et al., 2017) |
| | | Changing Lane | Changing lane for exiting highway or lane closure (Biondi et al., 2017; Blommer et al., 2017; Gold et al., 2016; Naujoks et al., 2016; Nilsson et al., 2017; Petermeijer, Bazilinsky, et al., 2017; Petermeijer, Cieler, et al., 2017; Zeeb et al., 2016) |
| | | System Failure | Sudden system failure or vehicle failure (Blommer et al., 2017; Dogan et al., 2017; Payre et al., 2017) |
| | | External Object | Road construction, car accident, debris, pedestrian (Clark&Feng, 2017; Gold et al., 2016; Körber et al., 2016; Louw et al., 2017; Petermeijer, Bazilinsky, et al., 2017; Petermeijer, Cieler, et al., 2017; Zeeb et al., 2016) |
| | Traffic | Cut-in/cut-off | Sudden lane change (Clark&Feng, 2017; Lu et al., 2017) |
| | | Density | Number of vehicles/km (Blommer et al., 2017; Gold et al., 2016; Körber et al., 2016; Lu et al., 2017) |
| | | Lead vehicle | Vehicles ahead of a participant's car while driving (Louw et al., 2017; Naujoks et al., 2016; Zeeb et al., 2016; Zeeb et al., 2017) |
| | | Surrounding cars | Vehicles surrounding participant's car while driving (Clark&Feng, 2017; Dogan et al., 2017; Eriksson&Stanton, 2017; Gold et al., 2016; Körber et al., 2016; Louw et al., 2017; Naujoks et al., 2016; Petermeijer, Bazilinsky, et al., 2017; Petermeijer, Cieler, et al., 2017; Zeeb et al., 2017) |

2. Method

자율주행 제어권 전환의 통합 시나리오를 개발하기 위한 연구방법은 다음과 같다. 먼저 시나리오 구성의 범위를 규정하기 위해, 선행 연구에서 제시되었던 상황인지를 고려한 제어권 전환 분석 프레임워크(Son & Park, 2017)를 정의했다. 시나리오의 범위는 운전 환경과 상황에 대한 정보를 의미하는 traffic complexity before transition으로 한정했다. 다음으로 최근 3년 (2016년 ~ 2018년)간의 주요 SCI저널에 게재되었던 문헌을 수집하여 고찰한 결과를 추가했다(Table1). 검색 keyword는 Automated driving, L3(Level 3), Take-over, Scenarios를 사용했다.

3. Suggested Basic Take-over Scenarios

L3 자율주행 제어권 전환 상황의 선행연구 분석결과, 기존 연구들의 시나리오에서 Take-over Request(TOR)는 자율주행 상황에서 운전자들이 Non-Driving Related Tasks(NDRT)를 수행하는 중 제어권 전환을 요청 받는 것이 대다수였다. Roadway type의 측면에서 대부분 직선 또는 곡선도로에서 수행되었으며, 제어권 전환을 유도하는 event의 경우 missing lane marking, unexpected external objects, system failure가 주요하게 평가되었다. 교통 밀도의 경우 moderate 교통상황으로 주로 적용되었다.

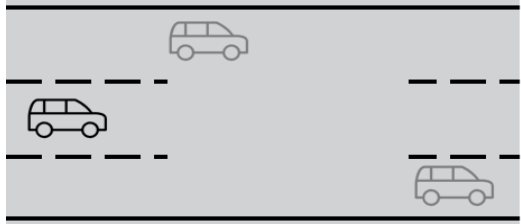
본 연구의 결과, 최종적으로 4개의 Basic Take-Over(BTO)

scenarios가 제안되었다(Table 2). 4개 시나리오에 공통적으로 적용된 주변상황 조건은 다음과 같다. 주행 차종은 세단으로 맑은 날씨의 낮 시간대인 국내 고속도로에서 교통 밀도는 moderate 상황을 가정하였다. 주행 중 운전자는 자율주행모드에서 NDRT를 수행하도록 했다. 본 연구에서 범위가 가정된 변수들은 추후 연구목적에 맞게 조절되어야 한다.

3.1 Scenario 1 (S1)

운전자가 NDRT를 수행하며 자율주행모드로 직선주로를 운행하는 중 전방의 차선이 사라지는 상황을 시스템이 감지하여 TOR이 발생한다. TOR 발생 후 차량은 운전자 또는 시스템에 의해 수동 운전 모드로 전환된다. 일부분의 차선 사라짐 구간을 통과한 후 주행 차선이 다시 나타나게 된다.

Table 2. Suggested basic take-over scenario 1 (S1)

| Road type | Take-over event | Traffic density |
|--|----------------------|-----------------|
| Straight | Missing Lane marking | 10 |
|  | | |

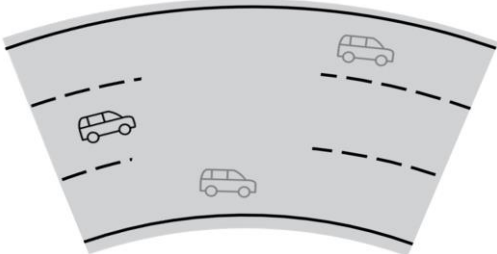
3.2 Scenario 2 (S2)

운전자가 NDRT를 수행하며 자율주행모드로 곡선주로를

주행하는 중 전방의 Lane marking이 사라진다. TOR발생 후 차량은 수동운전모드로 운전자 또는 시스템에 의해 전환된다. 운전자가 제어권 전환을 완료하면 차량의 우측에서 바람이 불게 되며, 운전자는 Lateral control을 통해 주행 차량의 경로를 유지하게 한다. 차선 사라짐 구간을 통과한 후 차선이 다시 나타나게 된다.

Table 3. Suggested basic take-over scenario 2 (S2)

| Road type | Take-over event | Traffic density |
|-----------|----------------------|-----------------|
| Curved | Missing Lane marking | 10 |

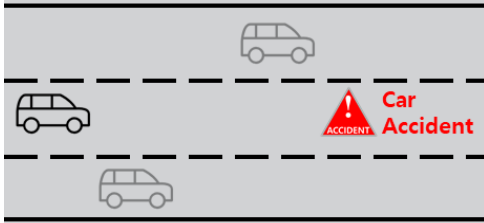


3.3 Scenario 3 (S3)

운전자가 자율주행모드로 직선주로에서 NDRT를 수행하며 주행하는 중 전방에 Unexpected external obstacle(고장 차량 등)이 나타난다. 운전자는 수동운전모드로 전환하여 주변 차량의 상황을 고려한 감속과 차선변경을 통해 장애물을 피한 후 다시 중앙차선으로 이동하여 주행한다.

Table 4. Suggested basic take-over scenario 3 (S3)

| Road type | Take-over event | Traffic density |
|-----------|-------------------|-----------------|
| Straight | External obstacle | 10 |

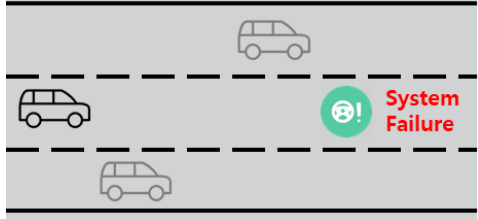


3.4 Scenario 4 (S4)

운전자가 직선도로에서의 자율주행모드로 NDRT를 수행하며 주행 중 차량 시스템의 오류로 인해 운전자에게 제어권 전환을 요청한다. TOR발생 후, 차량은 운전자에게 의해 수동운전모드로 제어권 전환이 완료되지 않을 경우 시스템에 의해 전환이 완료된다.

Table 5. Suggested basic take-over scenario 4 (S4)

| Road type | Take-over event | Traffic density |
|-----------|-----------------|-----------------|
| Straight | System Failure | 10 |



4.5 The suggested scenarios vs. Gold et al. (2018)

본 연구에서 제안된 4개의 시나리오와 Gold et al. (2018)가 Maximum driver performance 측정을 위해 제안된 3개의 시나리오를 비교한 결과는 Table 6와 같다. 본 연구에서 제안한 S1과 S2는 Gold et al.의 시나리오 10 (Loss of reference signals)에 대응된다. S2의 경우, 곡선주로에서 차선이 사라짐에 의한 제어권 전환 이후 횡방향 제어의 위험성(criticality)이 S1의 경우보다 더 높은 상황인 것으로 판단된다. 본 연구에서 제안한 S3는 Gold et al.의 시나리오 9(Danger zone/obstacle ahead)에 대응되며, S4는 Gold et al.의 시나리오 2 (Sensor failure)에 대응된다. 자율주행차량 제어권 전환의 안전성을 평가하기 위해서는 제어권 전환의 시간과 제어권 전환 직후의 운전 성능 평가가 중요한 지표로 사용될 수 있다. 이러한 관점에서 본 연구에서 제안한 4개 시나리오가 Maximum driving performance의 측정을 위해 제안되었던 Gold et al.의 3개 시나리오와 동일한 결과를 통해 본 연구에서 제시한 시나리오에 대한 유효성을 검증 할 수 있었다.

Table 6. Comparison of 4-basic takeover scenarios with Gold's three-scenarios on maximum driving performance

| DGIST scenarios | | S1 | S2 | S3 | S4 |
|---|---------------|----------------------|----------------------|--------------|--------------|
| Traffic Complexity | Road way type | Straight | Curved | Straight | Straight |
| | Event | Missing lane marking | Missing lane marking | Car accident | System error |
| Levels base on four Gold's scenario factors | U | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | P | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | C | 2 | 3 | 1-3 | 2-3 |
| | D | 1 | 2 | 1-3 | 1-2 |
| Gold et al.'s scenarios | | (10) | (10) | (9) | (2) |

(U: Urgency, P: Predictability, C: Criticality, D: Driver response)

4. Conclusion

Conditionally automated driving(SAE L3)의 제어권 전환 상황을 대상으로 4종류의 basic take-over 시나리오가 제안되었다. 제안된 시나리오는 driving context의 요소를 대상으로 구성되었으며, 추후 연구의 목적에 따라 HMI 디자인, NDRT 종류, 운전자 특성 등 요소의 고려한 시나리오의 수정이 필요할 것이다. 제안된 시나리오는 향후 제어권 전환 상황의 안전성을 평가하려는 Human Factors 실험의 설계 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다.

Acknowledgements

This work was supported in part by a grant (code 18TLRP-B131486-02) from Transportation and Logistics R&D Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government, and by DGIST R&D Program (18-BT-01) of the Ministry of Science and ICT of Korean government.

References

- Biondi, F., Strayer, D. L., Rossi, R., Gastaldi, M., & Mulatti, C. (2017). Advanced driver assistance systems: Using multimodal redundant warnings to enhance road safety. *Appl Ergon*, 58, 238-244. doi:10.1016/j.apergo.2016.06.016
- Blommer, M., Curry, R., Swaminathan, R., Tijerina, L., Talamonti, W., & Kochhar, D. (2017). Driver brake vs. steer response to sudden forward collision scenario in manual and automated driving modes. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 45, 93-101. doi:10.1016/j.trf.2016.11.006
- Chae, H., Jeong, Y., Yi, K., Choi, I., & Min, K. (2016). Safety Performance Evaluation Scenarios for Extraordinary Service Permission of Autonomous Vehicle. *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, 24(5), 495-503. doi:10.7467/ksae.2016.24.5.495
- Clark, H., & Feng, J. (2017). Age differences in the takeover of vehicle control and engagement in non-driving-related activities in simulated driving with conditional automation. *Accid Anal Prev*, 106, 468-479. doi:10.1016/j.aap.2016.08.027
- Dogan, E., Rahal, M.-C., Deborne, R., Delhomme, P., Kemeny, A., & Perrin, J. (2017). Transition of control in a partially automated vehicle: Effects of anticipation and non-driving-related task involvement. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 205-215. doi:10.1016/j.trf.2017.01.012
- Eriksson, A., & Stanton, N. A. (2017). Takeover Time in Highly Automated Vehicles: Noncritical Transitions to and From Manual Control. *Hum Factors*, 59(4), 689-705. doi:10.1177/0018720816685832
- Gold, C., Korber, M., Lechner, D., & Bengler, K. (2016). Taking Over Control From Highly Automated Vehicles in Complex Traffic Situations: The Role of Traffic Density. *Hum Factors*, 58(4), 642-652. doi:10.1177/0018720816634226
- Gold, C., Naujoks, F., Radlmayr, J., Bellem, H., & Jarosch, O. (2018). Testing Scenarios for Human Factors Research in Level 3 Automated Vehicles. In *Advances in Human Aspects of Transportation* (pp. 551-559).
- Körber, M., Gold, C., Lechner, D., & Bengler, K. (2016). The influence of age on the take-over of vehicle control in highly automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 39, 19-32. doi:10.1016/j.trf.2016.03.002
- Louw, T., Markkula, G., Boer, E., Madigan, R., Carsten, O., & Merat, N. (2017). Coming back into the loop: Drivers' perceptual-motor performance in critical events after automated driving. *Accid Anal Prev*, 108, 9-18. doi:10.1016/j.aap.2017.08.011
- Lu, Z., Coster, X., & de Winter, J. (2017). How much time do drivers need to obtain situation awareness? A laboratory-based study of automated driving. *Appl Ergon*, 60, 293-304. doi:10.1016/j.apergo.2016.12.003
- Naujoks, F., Purucker, C., & Neukum, A. (2016). Secondary task engagement and vehicle automation – Comparing the effects of different automation levels in an on-road experiment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 38, 67-82. doi:10.1016/j.trf.2016.01.011
- Naujoks, F., Purucker, C., Wiedemann, K., Neukum, A., Wolter, S., & Steiger, R. (2017). Driving performance at lateral system limits during partially automated driving. *Accid Anal Prev*, 108, 147-162. doi:10.1016/j.aap.2017.08.027
- Nilsson, P., Laine, L., & Jacobson, B. (2017). A Simulator Study Comparing Characteristics of Manual and Automated Driving During Lane Changes of Long Combination Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(9), 2514-2524. doi:10.1109/tits.2017.2664890
- Payre, W., Cestac, J., Dang, N.-T., Vienne, F., & Delhomme, P. (2017). Impact of training and in-vehicle task performance on manual control recovery in an automated car. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 216-227. doi:10.1016/j.trf.2017.02.001
- Petermeijer, S., Bazilinskyy, P., Bengler, K., & de Winter, J. (2017). Take-over again: Investigating multimodal and directional TORs to get the driver back into the loop. *Appl Ergon*, 62, 204-215. doi:10.1016/j.apergo.2017.02.023
- Petermeijer, S., Cieler, S., & de Winter, J. (2017). Comparing spatially static and dynamic vibrotactile take-over requests in the driver seat. *Accid Anal Prev*, 99(Pt A), 218-227. doi:10.1016/j.aap.2016.12.001
- Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2016). Is take-over time all that matters? The impact of visual-cognitive load on driver take-

over quality after conditionally automated driving. *Accid Anal Prev*, 92, 230-239. doi:10.1016/j.aap.2016.04.002

Zeeb, K., Härtel, M., Buchner, A., & Schrauf, M. (2017). Why is steering not the same as braking? The impact of non-driving related tasks on lateral and longitudinal driver interventions during conditionally automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 50, 65-79. doi:10.1016/j.trf.2017.07.008

Author listings

Sungryul Park: psr926@dgist.ac.kr

Highest degree: Ph.D, Dept of Human Factors Engineering, UNIST

Position title: Postdoctoral Researcher, HumanLab, DGIST

Areas of interest: Human Factors in Autonomous Vehicle, Visual Ergonomics, Usability

Myoungouk Park: violet1211@dgist.ac.kr

Highest degree: MA, Dept. of Psychology, Kyungpook Nat'l Univ.

Position title: Researcher, HumanLab, DGIST

Areas of interest: Older drivers, Cognitive workload

Joonwoo Son: json@dgist.ac.kr

Highest degree: Ph. D, Dept of Mechanical Eng'g, Pusan Nat'l Univ.

Position title: Principal Investigator / Adjunct Professor, DGIST

Areas of interest: Human Factors in Autonomous Vehicle, Design for Older drivers, Autonomous vehicles