

< 응용 논문 >

도로이탈방지 시스템의 운전자 간섭에 대한 연구

장 승 봉 · 허 호 영 · 안 상 우 · 탁 태 오*

강원대학교 기계의용공학과

Study on the Driver Interaction to Road Departure Prevention Systems

Shengpeng Zhang · Hyoyeong Heo · Sangwoo Ahn · Taeoh Tak*

Department of Mechanical and Biomedical Engineering, Kangwon National University, Gangwon 24341, Korea
(Received 7 October 2020 / Revised 22 November 2020 / Accepted 17 December 2020)

Abstract : The article deals with the analysis of driver interaction based on the road departure prevention system(RDPS). Firstly, the controller of the RDPS, which uses the linear quadratic regulator(LQR) method, is modeled. The controller is identified by the two-degree-of-freedom vehicle model and the steering model. The various weight coefficients of LQR are investigated through the vehicle driving trajectory. The performances of the RDPS model are validated with various lateral velocities in the straight road and the curved road, respectively. Then, the driver interaction based on RDPS is carried out in the driving simulator. The motion of the driver is analyzed by using motion capture devices. The results show that the vehicle is unstable when the driver intervenes with the RDPS. Also, when the RDPS was intervened by the driver, the right curved road was more unstable than the left curved road.

Key words : Road departure prevention systems(도로이탈방지 시스템), Driver interaction(운전자 간섭), Vehicle dynamics simulation(차량 동적 시뮬레이션), Motion capture devices(모션 캡처 장치), Driving simulator(주행장치)

1. 서론

미국 NHTSA^{1,2)}의 2011~2012 “Traffic Safety Fact” 보고서에 따르면 전체 사고 유형 중 도로이탈로 인한 사고가 55%이며 그중 36%는 직선도로, 12%가 곡선 도로이탈로 인한 사고이다. 독일의 경우 지방도로에서의 사고 중 86%가 도로이탈로 인한 사고일 정도로 도로이탈로 인한 사고가 빈번히 일어나왔다. 이러한 도로이탈로 인한 차량 안전사고를 미연에 방지하기 위하여 개발된 LDWS(Lane Departure Warning Systems), LKAS(Lane Keeping Assistance Systems), RDPS(Road Departure Prevention Systems)와 같은 차량 안전 기술이 많이 개발되고 있다.

이러한 시스템을 개발하기 위해서 시스템에 필요한 센서 기술이나 차량 제어 로직 개발이 주로 연구되고 있는데 Mahajan 등³⁾은 차선감지 기술에 사용되는 알고리즘을 사용하여 실제 차량에 카메라를 탑재하고 도로 주

행을 통해 카메라로 감지된 차선을 검출하여 운전자에게 시각적 경고를 주는 기술 개발 연구를 수행하였다. Hsu 등⁴⁾은 EPS(Electric Power Steering)를 기반으로 하는 LKAS 제어 로직 설계와 차량 시뮬레이션을 통한 로직의 성능 평가를 연구하였다. 비전 센서를 기반으로 하는 차선 이탈 방지 시스템은 실시간 차량과 차선 사이 위치를 감지하기 위해 시스템 입력으로서 사용된다. Nagai 등⁵⁾은 2 자유도 모델에서 제어 입력으로서 조향 각도와 조향 토크 사용하여 차선 추적 제어기의 특징을 검증하여 그들의 차이점을 비교하였고, Linear Quadratic(LQ) 제어기는 2 자유도 차량 모델과 조향 모델을 기반으로 사용되었다. Alirezai 등⁶⁾은 차량 선형 모델을 이용해 RDPS 제어 로직을 설계하고 차량 시뮬레이션을 수행하여 차량 주행 궤적, 조향각, 횡 방향 오프셋, 조향 토크 확인을 통해 로직의 강력함을 확인하였다.

현재 대부분의 RDPS 연구는 RDPS 제어 알고리즘이나 최적화 센서의 개발에 대하여 진행되고 있다. 이처럼

*Corresponding author, E-mail: totak@kangwon.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

RDPS 시스템에 대한 연구는 활발하게 이루어지고 있는 반면, RDPS 작동 중 운전자 간섭에 대한 연구는 비교적 부족하다.

운전자 반응에 대한 연구로 Kozak 등⁷⁾은 졸음 운전자를 대상으로 도로이탈에 대한 4가지(핸들 토크, 요철 통과 소리, 핸들 진동, 전방 표시판) 종류의 LDW(Lane Departure Warning)에 대해 운전자의 반응시간을 연구하였다. 시험을 통해 4가지 방법 중에 핸들 진동과 핸들 토크가 제일 효율적이고, 운전자 반응 시간이 가장 짧은 것을 확인하였다. Mas 등⁸⁾은 도로이탈이 유도된 상황에서 LKAS 작동 유무에 따른 운전자의 조향각을 분석하였다. 운전자는 LKAS의 작동 유무와 장애물을 회피할 수 있지만, LKAS가 작동할 때 회피를 위한 운전자의 조향각 크기에 영향을 주었다.

문헌을 통해서 살펴본 바와 같이 운전자 반응에 대한 연구가 RDPS의 개발에 있어 많은 기여를 하는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 도로이탈방지시스템 작동 시 시스템에 대한 반응으로 나타나는 운전자의 조향 반응이나 거동을 분석한다. RDPS 제어 로직을 구현하기 위해 2 자유도 차량 모델과 조향 모델을 기반으로 한 LQ 제어기를 사용하여 시스템 최적의 성능을 얻기 위한 최적화 시험을 진행하고, 차량 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 17 자유도의 차량 모델을 사용하였다. 또한 국내 도로 규정에 기반한 시험을 구성하여 구현된 RDPS 로직을 바탕으로 가상주행장치와 동작분석기를 이용하여 운전자가 시스템에 간섭 하였을 때의 운전자 거동을 비교한다.

2. RDPS 제어 로직

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 도로이탈방지 시스템 제어 로직을 구현하기 위하여 Nagai 등⁵⁾에 의해 연구된 2 자유도 차량 모델과 조향 모델을 기반으로 한 LQ(Linear Quadratic) 제어기를 사용하였다.

차량 모델의 운동 방정식은 아래 식과 같다. m 는 차량 질량, \dot{y}_c 는 차량 횡 방향 이동 가속도, F_f (F_r)는 앞(뒤)

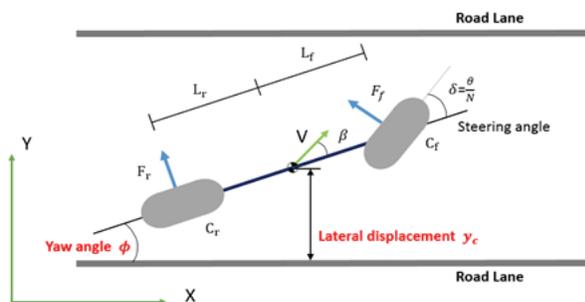


Fig. 1 Simplified 2 degree-of-freedom bicycle model

바퀴 코너링 포스, I 는 수직방향 관성모멘트, $\dot{\Phi}$ 는 요 각 가속도, l_f (l_r)는 앞(뒤) 차축에서 차량 질량 중심까지의 거리, C_f (C_r)는 앞(뒤) 바퀴의 코너링 강성, V 는 차량 주행 속도, δ_f 는 앞바퀴 조향각, N 는 조향 기어비이다.

$$m\ddot{y}_c = F_f + F_r \tag{1}$$

$$I\ddot{\Phi} = l_f F_f - l_r F_r \tag{2}$$

$$F_f = C_f(\delta_f - \beta - l_f \dot{\Phi}/V) \tag{3}$$

$$F_r = C_r(-\beta + l_r \dot{\Phi}/V) \tag{4}$$

$$\dot{y}_c = V(\beta + \dot{\Phi}) \tag{5}$$

$$\dot{X} = AX + B\delta_f \tag{6}$$

위의 식에 따른 차량 상태 방정식은 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} \ddot{\Phi} \\ \dot{\Phi} \\ \dot{y}_c \\ \dot{y}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{31} & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi \\ \dot{\Phi} \\ \dot{y}_c \\ y_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} \\ 0 \\ b_{31} \\ 0 \end{bmatrix} \theta \tag{7}$$

$$a_{11} = -\frac{l_f^2 C_f + l_r^2 C_r}{IV}, \quad a_{12} = \frac{l_f C_f - l_r C_r}{I}$$

$$a_{13} = -\frac{l_f C_f - l_r C_r}{IV}, \quad b_{11} = \frac{l_f C_f}{IN}$$

$$a_{31} = -\frac{l_f C_f - l_r C_r}{mV}, \quad a_{32} = \frac{C_f + C_r}{m}$$

$$a_{33} = -\frac{C_f - C_r}{mV}, \quad b_{31} = \frac{C_f}{mN}$$

상태 방정식에서 상태변수는 요 레이트 $\dot{\Phi}$, 요 각도 Φ , 차량 횡 방향 속도 \dot{y}_c , 횡 방향 거리 y_c 이다.

본 연구에서 조향 시스템 모델이 사용되었고 그 운동 방정식은 아래 식과 같다.

$$I_S \ddot{\theta} = -C_s \dot{\theta} - \frac{\xi C_f}{N} \left(\frac{\theta}{N} - \frac{l_f}{V} \dot{\Phi} + \Phi - \frac{\dot{y}_c}{V} \right) + T_a + T_d \tag{8}$$

I_S 는 핸들 관성모멘트, θ 는 조향각, C_s 는 조향 시스템의 댐핑 계수, ξ 는 차량 앞 축의 트레일, T_a 는 조향 보조 토크, T_d 는 운전자의 조향 토크이다. 조향 보조 토크는 아래 식과 같이 표시된다.

$$T_a = N_a k_t i \quad (9)$$

N_a 는 조향 액추에이터 기어비이다. k_t 는 모터 토크 계수, i 는 전기 전류이다.

위의 2 자유도 모델과 조향 시스템 모델에 의하여, 설계된 상태 피드백 제어를 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\Phi} \\ \ddot{y}_c \\ \dot{y}_c \\ \ddot{\theta} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 & 0 & a_{16} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 & 0 & a_{36} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & 0 & a_{55} & a_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi \\ \Phi \\ \dot{y}_c \\ y_c \\ \dot{\theta} \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ b_{51} \\ 0 \end{bmatrix} i + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1/I_s \\ 0 \end{bmatrix} T_d \quad (10)$$

$$a_{51} = \frac{\eta l_f}{NV}, \quad a_{52} = -\frac{\eta}{N}$$

$$a_{53} = \frac{\eta}{NV}, \quad a_{55} = -\frac{C_5}{I_s}$$

$$a_{56} = -\frac{\eta}{N^2}, \quad \eta = \frac{\xi C_f}{I_s}$$

$$b_{51} = \frac{N_a K_t}{I_s}$$

위의 차량 플랜트 블록 다이어그램에서 시스템 입력은 조향 토크이다. RDPS제어기 설계에서 최적 제어 방법은 운전자에게 조향 보조 토크를 결정하기 위하여 적용된다. 횡 방향 거리와 조향 보조 토크에 의하여 시스템 최적의 하중 계수를 찾는다. 하중 함수는 최적 성능을 결정한다.

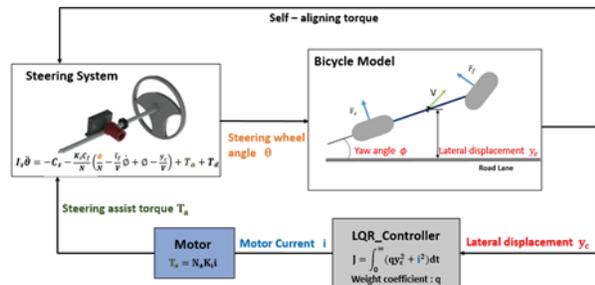


Fig. 2 Block diagram of vehicle plant with steering torque input

$$J = \int_0^{\infty} (qy_c^2 + i^2) dt \quad (11)$$

식에서 사용된 q 는 하중 계수이다. LQR 제어기는 위 함수를 최소화시키기 위해 설계된다. 아래 조향 보조 토크와 같이 나타난다.

$$T_a = -KX = -(k_1 \dot{\Phi} + k_2 \Phi + k_3 \dot{y}_c + k_4 y_c + k_5 \dot{\theta} + k_6 \theta) \quad (12)$$

K 는 상태 피드백 제어기 이득이다.

도로이탈방지에 대한 최적 성능을 얻기 위하여 시험을 진행한다. 위에서 기술한 제어를 기반으로, 시험은 동일한 조향을 주었을 때 각 하중 계수에 따라 진행한다. 주행 속도가 72 km/h인 차량으로 실시한 실험을 통해 아래 Fig. 3과 같은 결과를 확인하였으며, 이러한 차량 궤적을 기준으로 최적의 하중 계수 값을 10^4 로 선정하였다.^{5,10)}

RDPS 제어 로직을 검증하기 위해 차량 도로 이탈 시험 시나리오를 사용하였다. 시험은 직선 도로와 곡선 도로 상황에서 진행하였다. 시험 차량 주행 속도는 72 km/h이다. 도로의 폭이 3.5 m이고 도로 차선의 폭은 0.25 m이다. 직선 도로 시나리오에서 직선 도로의 길이는 800 m이며, 차량의 도로 이탈은 시험 차량이 직선도로에서 직진 주행을 수행하다가 반지름의 1,200 m의 곡선 방향으로 곡선주행을 수행하여 도로 이탈이 수행된다. 곡선 도로 시나리오에서는 도로의 곡률이 1,200 m이며, 도로 길이는 500 m이다. 시험차량 차선 이탈 유도 방법은 곡선 도로에서 주행하다가 일정 시점에서 직선 방향으로 주행하여 도로 이탈을 수행하는 것이다. 시험은 차량 횡 방향 속도가 0.2에서 1.0 m/s까지 0.1 m/s의 간격으로 증가시키며 진행하였다. 두 시험 시나리오는 그림(Fig. 4, Fig. 5)과 같다.

위에서 설명한 직선 도로 시나리오와 곡선 도로 시나리오를 통해 획득한 시험 결과는 Fig. 6, Fig. 7과 같다. 시

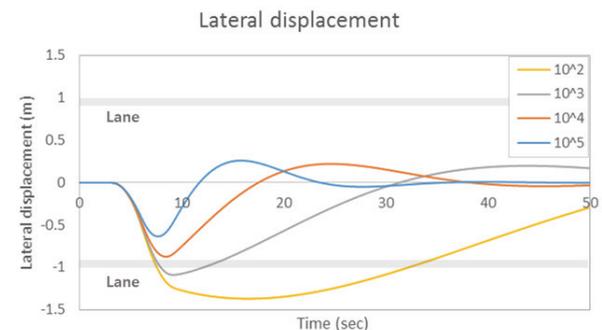


Fig. 3 Road departure prevention performance test result with various weighting coefficient

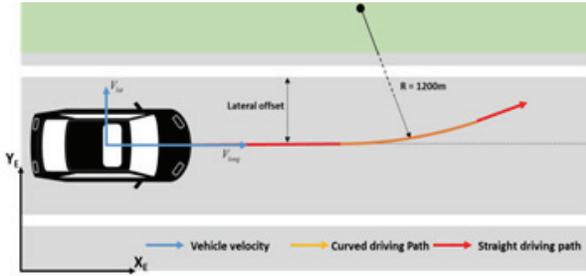


Fig. 4 Validation scenario for straight road

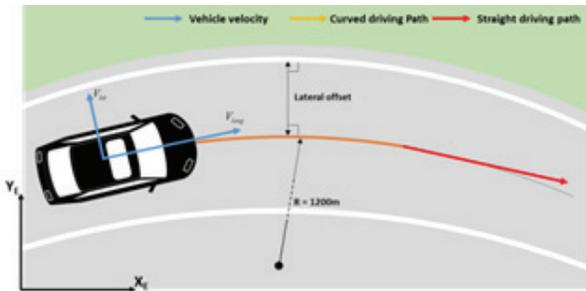


Fig. 5 Validation scenario for curved road

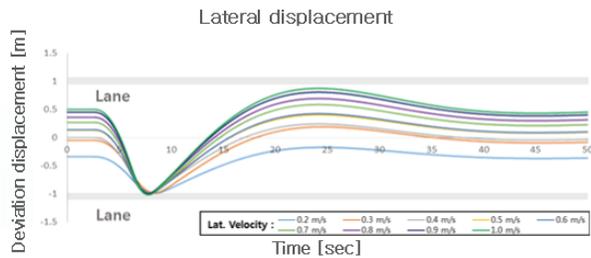


Fig. 6 Results for scenario of straight road on 2 DOF model

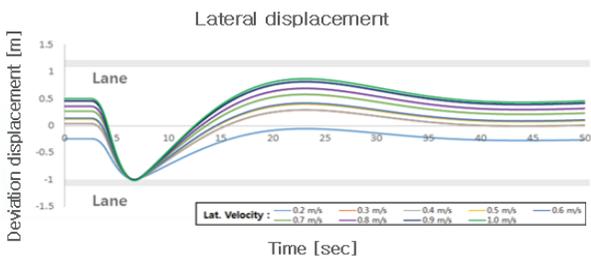


Fig. 7 Results for scenario of curved road on 2 DOF model

험 결과를 보면 모든 횡 방향 속도에서 차량이 올바르게 진행하였다.

설계된 제어 로직이 2 자유도 모델에서 올바르게 작동하는 것을 확인하였기 때문에, 다음 단계로 보다 많은 자유도를 가지는 완전한 차량 모델로서 제어 로직을 검증한다. 차량 모델은 차량 동역학 해석 프로그램 ‘Carmaker’

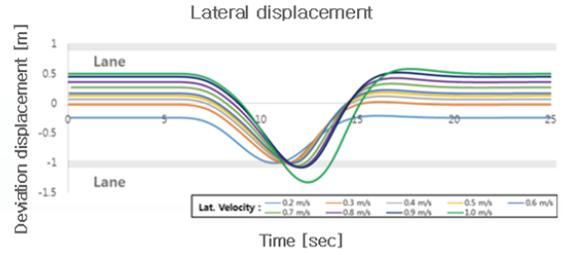


Fig. 8 Results for scenario of straight road on full vehicle model

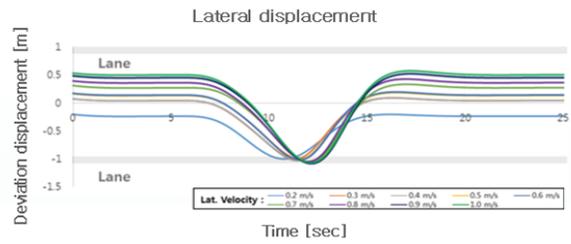


Fig. 9 Results for scenario of curved road on full vehicle model

에서의 17 자유도 차량 모델을 사용하였다. 이때 차선을 인지하기 위해 전방 인지 거리가 100 m인 이미지 센서를 사용하였다. 차량 모델에 대해 적용된 타이어 모델은 Pacejka 타이어 모델이며, 현가장치는 맥퍼슨 스트럿 (Macpherson strut)을 사용하였다.

완전한 차량 모델로 RDPS 제어 로직을 검증하는 방법은 2 자유도 차량 모델의 검증을 위해 사용한 도로 이탈 시험 시나리오와 같다. 직선 도로 시험 시나리오에서 차량 횡 방향 속도가 0.7 m/s보다 커지면 차량이 도로 경계선을 이탈하는 최대 거리는 0.3 m이다. 곡선 도로의 시험 시나리오 경우, 차량 횡 방향 속도가 0.6 m/s보다 커지면 차량이 도로 경계선에 최대 이탈 거리가 0.1 m이다. 아래 결과를 보면 횡 방향 속도 커질수록 차량 도로 이탈 거리가 커지는 것을 볼 수 있으나, 직후 차량의 차선 이탈 발생을 인지한 제어 로직이 작동하여 시험 차량이 도로 중앙으로 복귀하는 것을 확인하였다.

3. 가상주행장치를 이용한 운전자 간섭 시험

Fig. 10은 도로이탈방지시스템 주행 시험을 위해 사용된 가상주행장치, 가상현실장치와 인체동작 분석 장치이다.

가상주행장치는 차량 시뮬레이션 프로그램과 연동되어 시뮬레이션 차량을 운전자가 직접 운전할 수 있고 주행 시험 중 도로이탈이 예측되면 도로이탈방지시스템에 의해 도로이탈을 방지하기 위한 조향각이 가상주행장치의 조향 장치에 입력된다. 이때 조향 장치에서 입력된 조

향각을 생성하기 위해 조향 토크가 발생하고, 조향 장치를 잡고 있는 운전자는 발생한 조향 토크를 차선이탈경고의 의미로 인지하여 도로이탈을 예측할 수 있다. 가상 주행장치의 가속 페달과 브레이크 페달은 독립된 두 대의 서브 모터와 샤프트로 연결되어 실제 차량의 페달 반력을 구현할 수 있다.

실제 차량과 비슷한 주행 환경을 구현한 가상주행장치와 더불어 가상현실장치(Virtual reality device)를 사용하여 운전자에게 시뮬레이션 화면만을 볼 수 있게 하였다. 기존 모니터로 시뮬레이션 화면과 화면 외의 주변 환경을 모두 볼 수 있었던 운전자가 가상 현실 장치를 이용해 오직 시뮬레이션 화면만을 보게 하여, 도로이탈 상황과 시스템 작동으로 인해 발생하는 차량 거동을 시각적으로 확실하게 느낄 수 있게 하여 실제 차량과 비슷한 수준의 운전자의 반응을 구현하였다.

운전자 거동을 분석하기 위해 인체 관절의 동작을 측정하는 동작분석기(Motion capture device)를 사용하였다. Fig. 11과 같이 자이로 센서와 가속도센서로 구성된 동작분석기는 운전자가 직접 착용하여 착용한 센서를 통해 관절 운동을 수치적으로 측정하여 인체 관절 동작 데이터를 수집할 수 있으며 운전자 동작을 화면을 통하여 볼 수 있다.

검증된 로직을 바탕으로 가상주행 장치를 이용하여 운전자 거동 시험을 진행하였다. 도로 이탈 상황을 유도하기 위하여, Fig. 12와 같이 방해 차량이 중앙선을 넘어 시험 차량으로 다가올 때 시험차량은 방해 차량을 피하

기 위해 회피 조향을 수행하며 각각 다른 3번의 차선 유지 제어를 수행한다. 3번의 차선 유지 조작은 운전자 조작, RDPS 조작, 운전자와 RDPS 조작으로 구성하였다.

운전자의 주행 거동은 운전 경력과 연관성을 가진다. Carr 등⁹⁾은 운전자의 경력에 대한 주행 사고 사례를 연구하였다. 그 연구 결과를 보면, 운전 경력이 길어질수록 주행 사고 발생 빈도가 감소하였다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 운전 경력이 다른 시험 운전자를 모집하여 운전자 거동 시험을 수행하였다. 운전자 거동 시험은 모두 15명(1년 경력: 4명, 3년 경력: 4명, 4년 경력: 7명)의 시험자를 대상으로 수행하였다. 시험에 앞서 운전자가 가상 주행장치에 적응할 수 있도록 충분한 연습 주행을 할 시간을 부여 하였다. 운전자는 VR을 통해 나타난 주행 상황을 보면서 주행하고, 도로 이탈 상황에 따라 주행별 3번의 차선 유지 운전 제어를 실시하였다. 1번째 주행에서는 운전자 제어(Driver only maneuver), 두 번째 주행에서는 RDPS 제어(RDPS only maneuver), 마지막 주행에서는 RDPS가 개입된 운전자 제어(Combined maneuver)로 수행하였다.

Fig. 13은 시험에서 사용한 가상 주행 코스로서 코스 길이는 약 4.2 km이다. 해당 도로에서 2회의 직선 주행과 2회의 왼쪽 곡선 주행, 1회의 오른쪽 곡선 주행을 실시한다. 시험 도로와 도로마킹은 한국 도로 규정에 따라 도로 폭 3.5 m, 도로마킹 너비 0.15 m로 설정하였다. Fig. 13에

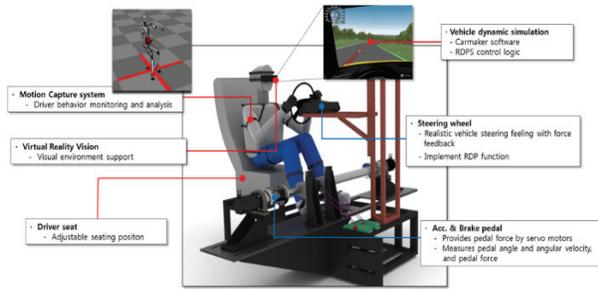


Fig. 10 Driving simulator configuration

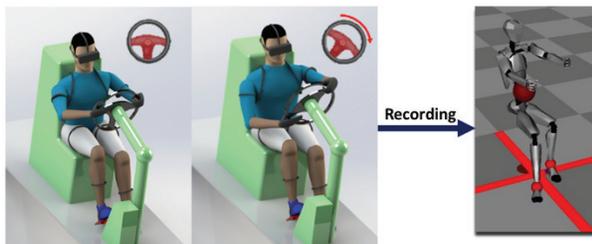


Fig. 11 Motion capture device measurement

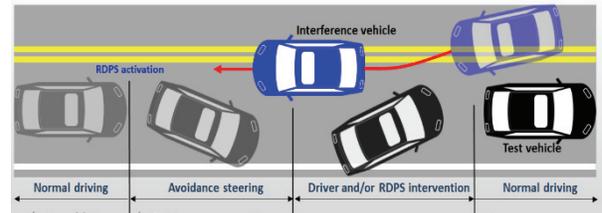


Fig. 12 Road departure inducing scenario

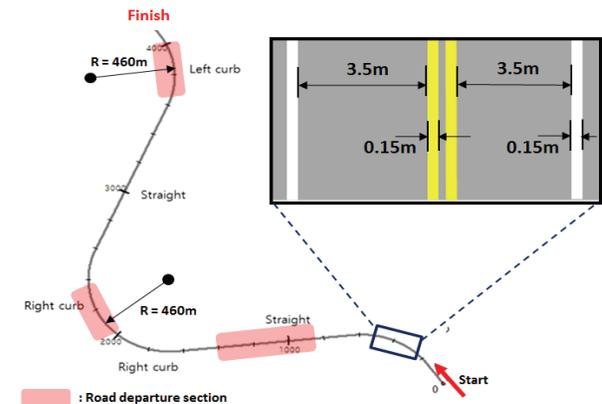


Fig. 13 Test road

서 표시된 장소(직선도로, 오른쪽 곡선도로, 왼쪽 곡선도로)는 도로 이탈 상황구간으로서 이곳에 총 3번의 차선 유지 제어를 수행하였다.

4. 시험 결과 분석

도로 이탈구간에서 총 3회의 차선 유지 제어를 실시하였으며, 차량의 궤적과 조향각 그리고 동작분석장치를 이용한 운전자 움직임 등을 실시간으로 측정하였다.

먼저 운전자 거동을 확인하기 위해 Fig. 14와 같이 운전자 동작과 차량의 움직임을 확인하였다. 그림은 각각 차선 이탈 이전, 차선 이탈 상황, 차선 복귀 완료 시점의 운전 환경 및 운전자 동작을 나타낸다. 각 그림 좌상단의 속도계를 확인하면 각 환경 모두 약 70 km/h의 속도를 유지함을 확인하였다. 이를 통해 충돌 위험 상황에서 운전자는 브레이크의 작동보다 조향 휠의 제어를 통해 차량 충돌을 회피하는 경향이 강함을 확인하였다.

Fig. 15, Fig. 16은 직선도로에서 측정한 차량궤적과 조향각을 3번의 차선유지 제어에 대하여 나타낸 결과를 각각 보여주고 있다.

직선도로에서 RDPS 제어는 안정된 상태로 정확한 차선 유지를 수행함을 보여주고 있다. 운전자 제어에서 운전자는 직선도로에서 효과적으로 도로이탈을 방지한다.

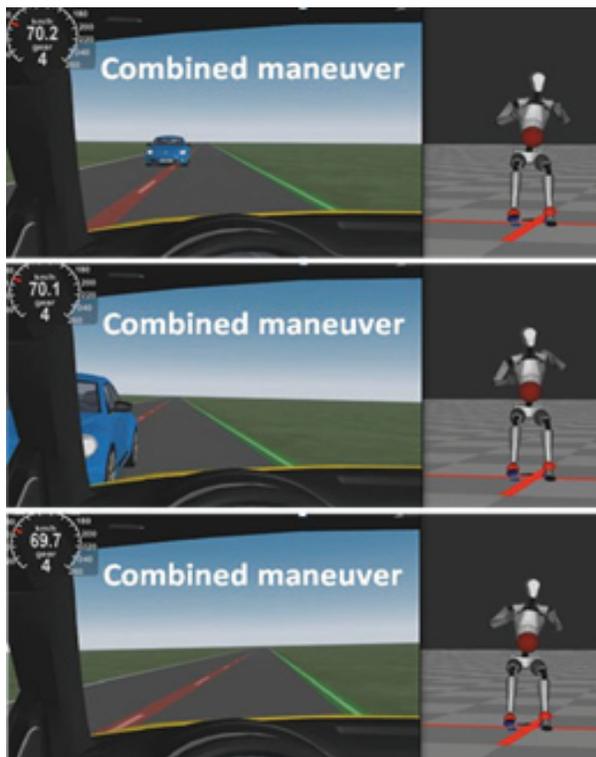


Fig. 14 Driving behavior analysis

RDPS가 제어하는 상태에서 추가적으로 운전자가 개입하게 되면 전체적인 차선유지 수행이 운전자에 따라 상당한 영향을 받게 됨을 볼 수 있다. 조향각에서도 RDPS 제어는 안정적이며 정확한 조향을 보여주고 있고, 운전자 제어 및 복합 제어는 운전자에 따라 넓은 조향 범위를 보여주고 있다. Fig. 16에서 나타난 값을 살펴보면 차량 회피 동작을 수행할 때 RDPS의 작동에 의한 조향 각도는 최대 36.3 deg까지 나타났으나, 운전자가 RDPS에 개입할 경우 조향 각도가 38.6 deg까지 나타남을 확인할 수 있다. 이를 토대로 운전자가 RDPS에 개입하게 되면 제어 시스템의 토크에 운전자 조향 토크가 추가되어 차량 조향 시스템에 작용하게 되며, 그로 인해 과도한 조향 및 급격한 궤적으로 인해 차량 불안정 상태를 일으킬 수 있음을 확인하였다.

Fig. 17, Fig. 18은 오른쪽 곡선도로에서의 결과를 보여주고 있다. 곡선도로에서도 마찬가지로 RDPS 제어는 안정되고 간결한 주행을 제공한다. 하지만 운전 실력이 좋지 않은 운전자가 개입하는 경우, 회피 조향 후 차선 유지 조작을 실시하였을 때 더 많은 조향을 하여 차량이 왼쪽으로 더 움직이는 경향을 보였다. 조향 각에서도

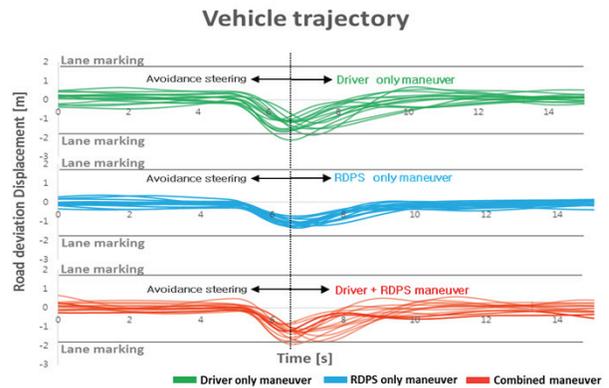


Fig. 15 Test results: straight road - vehicle trajectory

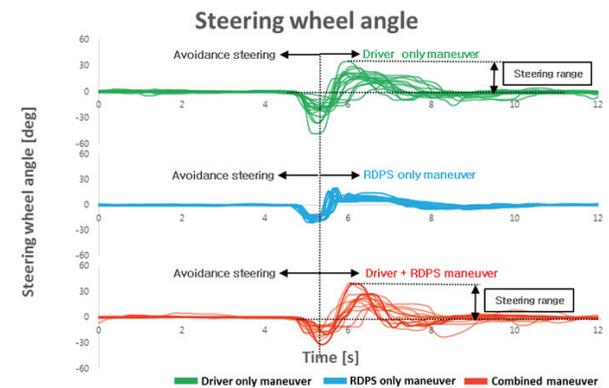


Fig. 16 Test results: straight road - steering wheel angle

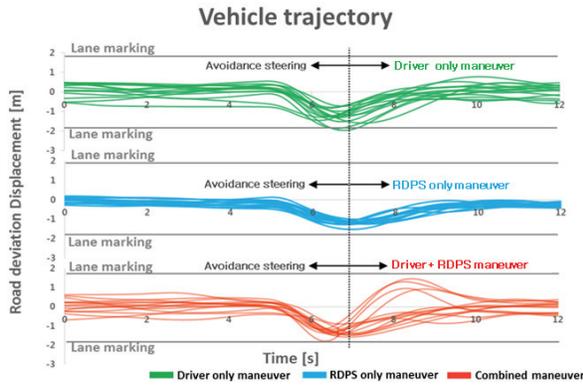


Fig. 17 Test results: right curved road - vehicle trajectory

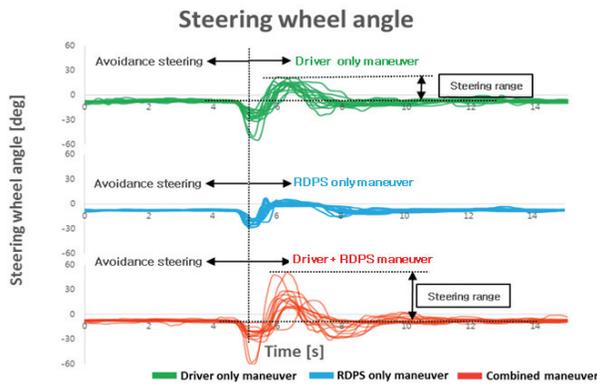


Fig. 18 Test results: right curved road - steering wheel angle

RDPS 제어는 효과적으로 차량을 조향하였으며, RDPS가 개입된 운전자의 제어에서 조향 각은 운전자에 따라 크게 변하는 것을 확인하였다. Fig. 18을 살펴보면 차량 회피 조향을 수행할 때 RDPS의 작동에 의한 조향 각도 범위는 28.2 deg 나타남을 확인하였다. 그러나 RDPS 조향에 운전자가 개입하게 될 경우 나타난 조향 각도 범위 59.8 deg로, 과도한 차량 궤적과 조향이 발생함을 확인하였다. 또한, RDPS의 제어에 운전자의 개입이 포함될 경우 오른쪽 곡선도로에서의 조향 값이 직선도로에서의 값과 21.2 deg만큼의 차이를 보임을 확인하였다.

Fig. 19, Fig. 20은 왼쪽 곡선도로에서의 결과를 보여주고 있다. 차량 궤적은 오른쪽 곡선도로와 같이 더 많은 조향을 수행하여 차량이 더 왼쪽으로 움직이는 경향을 보여주었다. Fig. 20을 보면 왼쪽 곡선도로에서 차량 회피 조향을 수행할 때 RDPS에 의한 조향 각도 범위는 29.4 deg 나타났으며, RDPS에 운전자가 개입할 경우 그 조향 각도 범위는 47 deg 나타남을 확인하였다. 또한, RDPS에 운전자가 개입할 경우 왼쪽 곡선도로의 경우보다 오른쪽 곡선 도로의 경우 조향 각도가 13.1 deg 더 크게 나타남을 확인하였다.

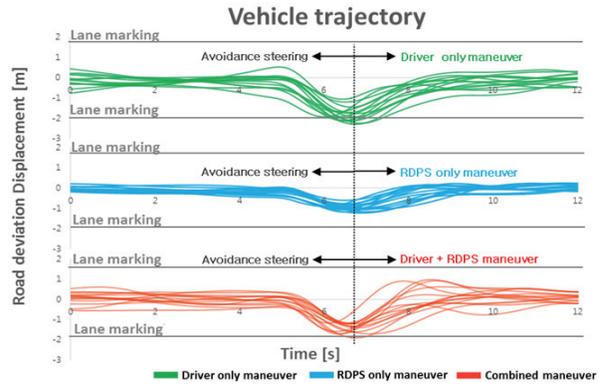


Fig. 19 Test results: left curved road - vehicle trajectory

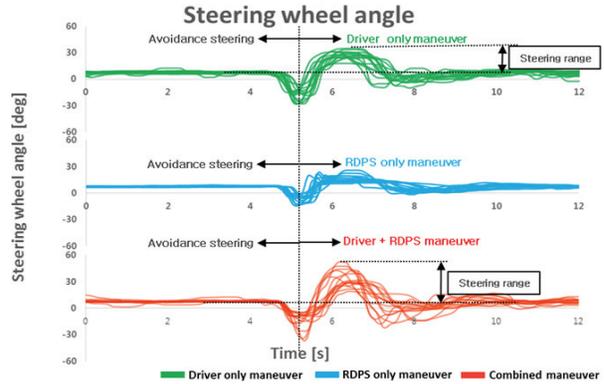


Fig. 20 Test results: left curved road - steering wheel angle

Fig. 18, Fig. 20에서 왼쪽 곡선 도로와 오른쪽 곡선 도로에서 차량의 회피 조향은 모두 오른쪽으로 이루어졌으며, 차량이 오른쪽 곡선 도로에서 주행 시 차선 유지를 위한 조향 각에 더하여 오른쪽으로의 회피 조향 각이 추가로 작용하기 때문에 오른쪽 곡선 도로 주행 회피 시 차량의 거동이 왼쪽 곡선 도로 주행의 경우보다 더 크게 나타남을 확인하였다. 즉, 곡선도로에서 운전자의 개입은 오른쪽 곡선도로에서의 거동이 왼쪽 곡선 도로의 거동보다 큰 변화를 보였음을 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서 도로 이탈 방지 시스템 기반 운전자가 개입하였을 때의 연구를 통한 주요 결론은 다음과 같다.

- 1) 동작 분석 장치를 통해 도로이탈방지 시스템에 운전자가 개입하여 운전을 하는 경우 도로 이탈 상황에서 시험자 모두 브레이크를 밟는 동작을 하지 않았으며, 이를 통해 차량 회피 상황에서 운전자가 브레이크를 밟는 것보다 휠 조향을 통해 회피하는 경우가 더 많음을 확인하였다.
- 2) RDPS 제어에서 차량이 안정적이고 간결하게 도로 중

양으로 복귀하는 것을 확인하였으며, 운전자 개입이 차량의 움직임에 비교적 불안정하게 만들었다.

- 3) 곡선도로에서 운전자의 개입은 오른쪽 곡선도로에서의 거동이 왼쪽 곡선 도로의 거동보다 큰 변화를 보였음을 확인하였다.

본 연구에서는 운전자 집단의 다양성 부족으로 다양한 운전 경력 및 실력에 대한 연구가 부족하므로, 향후 다양한 운전 경력 및 운전자의 연령과 성별 등에 따른 연구를 제안한다. 또한, 본 연구에서는 LQR 제어 로직을 사용하여 연구가 이루어졌으나 이 외의 제어 로직을 사용하여 운전자 개입에 대한 로직의 반응 연구를 제안한다.

References

- 1) National Highway Traffic Safety Administration, Traffic Safety Facts 2011: A Compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System, 2013.
- 2) National Highway Traffic Safety Administration, Traffic Safety Facts 2012: A Compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System, 2014.
- 3) R. N. Mahajan and A. M. Patil, "Lane Departure Warning System," International Journal of Engineering and Technical Research, Vol.3, No.1, pp.120-123, 2015.
- 4) J. Y. Hsu, T. K. Jhang, C. J. Yeh and P. Chang, "Vehicle Lane Following Achieved by Two Degree-of-freedom Steering Control Architecture," 2016 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering(ICITE), Singapore, pp.181-185, 2016.
- 5) M. Nagai, H. Mouri and P. Raksincharoensak, "Vehicle Lane-Tracking Control with Steering Torque Input," Vehicle System Dynamics, Vol.37, pp.267-278, 2002.
- 6) M. Alirezaei, M. Corno, D. Katzourakis, A. Ghaffari and R. Kazemi, "A Robust Steering Assistance System for Road Departure Avoidance," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.61, No.5, pp.1953-1960, 2012.
- 7) K. Kozak, J. Pohl, W. Birk, J. Greenberg, B. Artz, M. Blommer, L. Cathey and R. Curry, "Evaluation of Lane Departure Warnings for Drowsy Drivers," Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, Vol.50, No.22, pp.2400-2404, 2006.
- 8) A. Mas, F. Merienne and A. Kemeny, "Lateral Control Assistance and Driver Behavior in Emergency Situations," International Conference on Road Safety and Simulation, Indianapolis, USA, 2011.
- 9) D. Carr, T. W. Jackson, D. J. Madden and H. J. Cohen, "The Effect of Age on Driving Skills," Journal of the American Geriatrics Society, Vol.40, No.6, pp.567-573, 1992.
- 10) J. Hwang, K. Huh, H. Na, H. Jung, H. Kang and P. Yoon, "Evaluation of Lane Keeping Assistance Controllers in HIL Simulations," IFAC Proceedings Volumes, Vol.41, No.2, pp.9491-9496, 2008.