

일반 주행데이터 기반 자동차전용도로에서의 자율주행시스템의 주행차로 및 차간거리 유지 성능평가 기준 도출에 관한 연구

박지혁¹⁾, 허준호²⁾, 김봉섭²⁾, 윤경수^{*2)}

지능형자동차부품진흥원^{1),2)}

jhpark@kiapi.or.kr, heojh@kiapi.or.kr, bskim@kiapi.or.kr, [*kadbonow@kiapi.or.kr](mailto:kadbonow@kiapi.or.kr)

A Study on Derivation of the Performance Criteria of Lane Keeping and Vehicle-to-Vehicle Distance Control on Motorway for Automated Driving System Based on Natural Driving Study

Jihyuk Park¹⁾, Junho Heo²⁾, Bong-Seob Kim²⁾, Kyungsu Yun^{*2)}

Korea Intelligent Automotive Parts Promotion Institute^{1,2)}

요 약

본 논문에서는 일반 주행상황(Natural Driving Study) 데이터를 기반으로 실도로에서 자율주행시스템의 주행차로 및 차간거리 유지 기능 관련 성능평가 기준을 도출하였다. 수개월 간 대구 테크노폴리스로 실증도로에서 취득한 주행데이터에서 주행차로 및 차간거리 유지 기능 관련 데이터를 추출하고 통계적 결과를 바탕으로 데이터별 평가 기준을 도출하였다. 차간거리 유지 기능 평가 기준 도출을 위해 차량 속도, 차간거리, 시간 간격, 종가속도 등을 분석하였고, 주행차로 유지 기능을 위해서는 횡가속도, 횡편차 등을 분석하였다. 누적분포함수(CDF) 분석을 통해 차간거리 유지 기능 관련 데이터(종가속도, 차간거리, 시간 간격 등)와 주행차로 유지 기능 관련 데이터(횡가속도, 횡편차 등)의 성능평가를 위한 기준을 도출하였다. 본 기준은 실도로에서 평가할 수 있도록 일반적인 주행상황(Natural Driving Study)만을 고려하였기 때문에 자율주행시스템 평가의 다각화를 위해서는 차량 데이터뿐만 아니라, 주변 차량 관점(2인칭) 및 인프라(3인칭)를 연계한 자율주행시스템 평가와 사고 데이터베이스 분석을 통한 자율주행시스템의 사고 회피 또는 경감 성능 등 고위험 상황(Critical Driving Situation)에 대한 평가도 이루어져야 할 것이다.

keyword: Automated Driving System, Lane Keeping Assist, Vehicle-to-Vehicle Distance Control, Performance Criteria, Natural Driving Study, Data Analysis

I. 서 론

최근 국토교통부에 의해 세계 최초로 부분 자율주행시스템(SAE 레벨3) 안전기준이 제정하여 고도화된 자율주행시스템의 개발 및 양산에 더욱 박차를 가하고 있다. 이에 따라 고도화된 자율주행시스템을 평가하는 방안이 요구되는데 기존 첨단운전자보조시스템(Advanced Driver-Assistance System, ADAS)이 장착된 자율주행시스템(SAE 레벨 1~2)의 경우, NCAP(New Car Assessment Program)이나 ISO(International Organization for Standardization)에서 제안하는 시험 방법을 통해 안전성을 검증하였다. 하지만 실제 차량이 주행하는 다양한 주행 조건과 도로 환경에서 어느 수준의 안정 성능을 가졌는지에 대해 판단이 어렵다[1]. 게다가, 고도의 자율주행 시스템은 더 복잡한 교통상황을 다룰 수 있어야 하므로 실제 교통상황을 기반으로 평가를 고려하는 것이 더욱 필요하다[2]. 따라서 실제 주행상황이 반영된 데이터를 기반으로 자율주행시스템을 평가하기 위해서는 분석을 통해 평가대상 데이터의 경향성과 분포를 확인하고, 이를 바탕으로 평가 기준을 도출할 필요가 있다.

본 논문에서는 일반 주행상황(Natural Driving Study) 데이터를 기반으로 자동차전용도로에서의 자율주행시스템의 주행차로 및 차간거리 유지 기능 평가 기준을 도출하고자 한다. 주행데이터 분석을 통

해 실도로에서의 주행차로 및 차간거리 유지 기능 관련 데이터의 경향성과 분포를 확인할 수 있으며, 이는 실도로에서 해당 기능에 관한 자율주행시스템의 평가 기준을 정립하는 중요한 근거가 된다.

II. 본론

2.1 주행데이터 계측



그림 1. 주행데이터 취득 차량 - 아반떼AD(좌), 아이오닉EV(우)

주행차로 및 차간거리 유지 기능에 대한 주행데이터 취득을 위해 그림 1과 같이 아반떼AD, 아이오닉EV 차량을 활용하였다. 두 차량은 라이다, 레이다, 카메라(모빌아이), GPS 및 IMU 등을 포함한 계측시스템이 구성되어 있다. 각 차량의 데이터 샘플링 주기는 100Hz(아반떼 AD)와 40Hz(아이오닉EV)다.



그림 2. 대구 테크노폴리스 진입로에 구축된 자율주행 실증도로(연속류, 12.9km)

앞서 언급한 두 차량을 활용하여 그림 1과 같이 자율주행 실증을 위해 구축된 대구 테크노폴리스로 진입로 연속류 구간(12.9km)을 주행하며 총 97회 편도 주행데이터를 취득하였으며, 총 누적거리는 약 1,170km다.

2.2 주행데이터 처리 및 분석

MATLAB 프로그램을 통해 주행차로 및 차간거리 유지 기능에 관한 주행데이터를 처리 및 분석하였다. 구축된 주행데이터베이스에서 주행데이터들을 불러와 주행차로 및 차간거리 유지 기능 평가 관련 데이터를 추출하기 위해 차량 속도(50~80km/h), 차간거리(최대 80m), 시간 간격(최대 4초) 등 항목별로 조건을 적용하여 데이터를 추출하였다. 가속도 데이터의 경우, 15Hz 차단주파수를 갖는 10차 버터워스(Butterworth) 저주파 필터를 적용하였다. 그리고 데이터별로 산출된 통계적 결과(평균, 표준편차, 누적분포함수 등)들을 바탕으로 평가항목별 기준을 도출하였다.

2.3 실도로 및 주행데이터 기반 평가항목 기준 설정

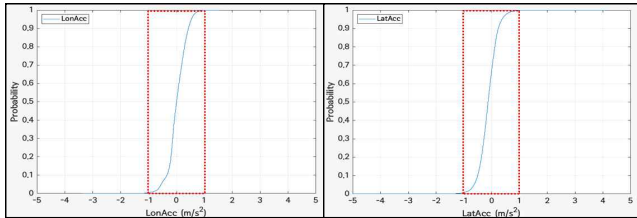


그림 3. 종가속도(좌)와 횡가속도(우)의 누적분포함수 -

그림 3의 종가속도와 횡가속도 누적분포함수를 통해 최대 종가속도(a_{lon_max}) 및 횡가속도(a_{lat_max}) 기준을 아래와 같이 도출하였다.

$$|a_{lon_max}| \leq 1.0m/s^2 \quad (1)$$

$$|a_{lat_max}| \leq 1.0m/s^2 \quad (2)$$

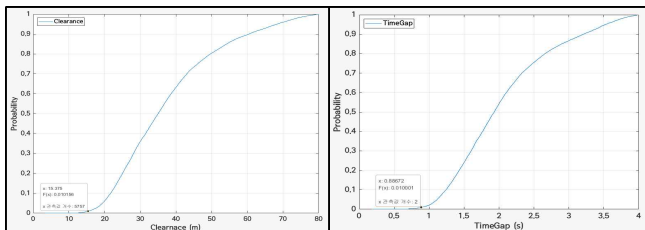


그림 4. 차간거리(좌)와 시간 간격(우)의 누적분포함수

차간거리와 시간 간격 또한 각 누적분포함수를 통해 최소 차간거리(c_{min}) 및 시간 간격(τ_{min}) 기준을 아래와 같이 도출하였다.

$$c_{min} \geq 16m \quad (3)$$

$$\tau_{min} \geq 0.9s \quad (4)$$

그림 5의 횡편차 누적분포함수를 통해 주행데이터 기반 최대 허용 횡편차는 약 0.5m다. 일반적으로 최대 허용 횡편차(e_{max})는 차로 폭과 차량의 전폭으로 아래와 같이 계산되며 그 결과는 0.84~0.85m(아반떼 AD, 아이오닉EV의 경우)다.

$$e_{max} = \frac{(W_{lane} - W_{vehicle})}{2} \quad (5)$$

$$|d_{lat_max}| \leq e_{max} \quad (6)$$

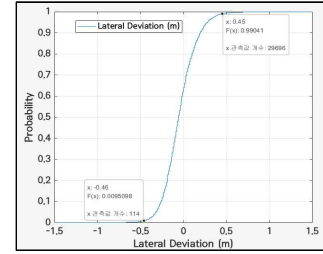


그림 5. 횡편차의 누적분포함수

식 (5) 을 통해 최대 허용 횡편차 기준이 차량의 전폭에 따라 상이하므로 횡편차에 대한 기준은 차량의 사양에 따라 설정되어야 할 것이다.

III. 결론

기능	성능지표	기준
공통	속도	$V_{ego} \leq 80km/h$
차간거리 유지	종가속도	$ a_{lon_max} \leq 1.0m/s^2$
	차간거리	$c_{min} \geq 16m$
	시간간격	$\tau_{min} \geq 0.9s$
주행차로 유지	횡가속도	$ a_{lat_max} \leq 1.0m/s^2$
	횡편차	$ d_{lat_max} \leq e_{max}$

표 1. 실증도로 기반 주행차로 및 차간거리 유지 기능 평가항목 및 기준

주행데이터 분석을 통해 주행차로 및 차간거리 유지 기능에 관한 실도로 자율주행시스템 평가항목 기준을 표 1과 같이 도출하였다. 본 기준은 실도로에서 평가할 수 있도록 일반적인 주행상황(Natural Driving Study)만을 고려하였다. 따라서, 자율주행시스템 평가의 다각화를 위해서는 차량 데이터뿐만 아니라, 주변 차량 관점(2인칭) 및 인프라(3인칭)를 연계한 자율주행시스템 평가도 고려해볼 필요가 있다. 또한, 사고 데이터베이스 분석을 통한 사고 상황에 대한 시뮬레이션 및 평가 시나리오 개발을 통해 자율주행시스템의 사고 회피 또는 경감 성능을 파악하여 고위험 상황(Critical Driving Situation)에 대한 평가도 이루어져야 한다[1].

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 한국산업기술평가관리원 자율주행자동차 핵심기술개발사업(과제 번호: 10079967)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Chung, S. et al. (2018) “실도로 주행 조건 기반의 자율주행자동차 고위험도 평가 시나리오 개발 및 검증에 관한 연구,” 자동화안전학회지. 한국자동차안전학회, 10(4), pp. 40 - 49. doi: 10.22680/KASA 2018.10.4.040.
- [2] J. E. Stellet et al, "Testing of Advanced Driver Assistance Towards Automated Driving: A Survey and Taxonomy on Existing Approaches and Open Questions," 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Las Palmas, 2015, pp. 1455-1462, doi: 10.1109/ITSC.2015.236.