

교통 시뮬레이션을 활용한 자율협력주행 차로변경 가이드نس 생성 방법 연구

김지윤¹ · 양인철^{2*}¹한국건설기술연구원 도로교통연구본부 박사후연구원^{2*}한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원

A Study on a Method for Generating a Lane-Changing Guidance Message for Cooperative Automated Driving via Traffic Simulation

Jiyeon Kim¹ · Inchul Yang^{2*}¹Post-doctoral Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si 10223, Korea^{2*}Research Fellow, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si 10223, Korea

[요약]

센서 기능의 한계, 혼재 상황에서의 안전한 주행, Fallback 수행 등 자율주행 시스템이 직면하고 있는 문제점을 해결하기 위해 인프라 가이드نس에 대한 연구가 진행되고 있다. 이는 자율차의 주행 지원을 위해 인프라가 가이드نس를 제공하는 것으로, 차량의 종/횡방향 제어를 위한 정보를 포함한다. 횡방향 제어는 주로 차로변경을 위한 작업으로, 어떻게 차로변경을 하는 것이 효율적인지를 인프라가 자율차에게 알려주어야 한다. 이에 본 연구에서는 자율차의 차로변경을 지원하는 가이드نس 정보를 생성하는 방법에 대해 연구하였다. 차로변경 가이드نس 정보의 형식으로 임무점이라는 새로운 개념을 제안하였고, 임무점의 적절한 스케일을 설정하기 위해 교통시뮬레이터 SUMO를 활용하여 미시 교통데이터 분석을 수행하였다. 분석 결과, 차로변경 가이드نس는 목표차로의 차량 유무에 따라 각기 다른 크기의 임무점 시공영역을 제공해야 함을 확인할 수 있었다. 85th percentile 통계량을 이용하여 시공영역의 크기를 비교한 결과 목표차로에 차량이 있는 경우 약 2.8배의 시공영역이 필요한 것으로 나타났다.

[Abstract]

INFRA-guidance is being considered as a solution to the problems faced by automated driving systems — problems such as those caused by the limitations of the sensors, the ability to drive safely in a mixed traffic condition, and the fallback system. INFRA-guidance provides information for a vehicle's longitudinal and lateral control. The lateral control is mainly engaged when the vehicle changes lanes. The guidance must include information regarding how to change lanes efficiently and safely. This study suggests a novel method to generate a lane-change guidance message for cooperative automated driving systems. The new concept of "mission point" was proposed as a format for lane-change guidance, and an analysis based on micro-traffic simulation data was performed to find appropriate scale parameters for a mission point. The results show that the lane-change guidance needs to provide different mission point scales based on the presence of a vehicle in the target lane. The results also indicate that the scale of the mission point, regarding a vehicle in the target lane, should be three times bigger than cases without a vehicle present.

색인어 : 자율협력주행, 인프라 가이드نس, 차로변경, 임무점, 미시 교통 시뮬레이션**Keyword** : Cooperative Automated Driving, INFRA Guidance, Lane Change, Mission Point, Micro-Traffic Simulation<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2023.24.8.1891>

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.

Received 30 June 2023; Revised 08 August 2023

Accepted 10 August 2023

***Corresponding Author; Inchul Yang**

Tel: +82-31-910-0489

E-mail: ywinter75@kict.re.kr

1. 서론

미국 자동차공학회(SAE International)는 2014년 자율주행 수준에 따른 레벨을 분류하고 관련된 용어를 정의한 표준인 SAE J3016[1]을 발표하였다. 이를 통해 자율주행에는 여러 단계의 레벨이 존재하고, 각 레벨별로 수행할 수 있는 기능과 범위가 다르다는 개념이 최초로 소개되었다. 이 표준에 따르면, 자율주행은 6개의 레벨(0~5)로 분류가 가능하고, 3레벨 이상의 자율주행 기능을 갖는 차를 자율주행차라고 한다. 최근 글로벌 자동차업체에서 3레벨 자율주행을 갖는 신차가 발표되고, 국내에서도 곧 출시될 예정이라고 한다. 2레벨 자율주행에 해당하는 ADAS (Advanced Driving Assistant System)의 경우 이미 많은 차에 탑재가 되어 운전자 보조 역할을 수행하고 있으며, 연속류 도로에서의 활용성과 편의성이 상당 수준이라고 알려져 있다. ADAS의 이러한 장점을 고려할 때 3레벨 자율주행은 더 나은 운전환경과 안전성을 보장할 것이라 기대된다. 하지만 그럼에도 불구하고 여전히 자율주행 기술은 가야할 길이 멀다. 3레벨 자율주행이 대부분의 연속류 도로 환경을 ODD (Operation Design Domain)에 포함한다고 하지만, 일반차와의 상호작용, 분합류부, 갓길침구간과 같은 복잡한 기하구조, 고속주행 등은 여전히 풀어나가야 할 숙제이다. 다양한 형태의 교차로(신호교차로, 비신호교차로, 회전교차로 등)가 존재하고, 일반차와 보행자, 오토바이, 자전거, 개인형 이동수단 등 다양한 교통참여자가 존재하는 도심 도로에서의 자율주행은 아직도 갈 길이 멀다. 이는 본질적으로 자율차의 눈과 귀 역할을 담당하는 센서 기능의 한계, 그리고 인지가 어렵고 주행 패턴을 예측하기 어려운 교통약자와의 혼재 상황 등이 주원인이라 할 수 있다. 또한 4레벨 자율주행의 핵심인 DDT fallback (Dynamic Driving Task fallback, DDT 관련 시스템 장애 발생 시 또는 ODD 종료 시 사람이 DDT를 수행하거나, 자율주행시스템이 위험최소화 운행을 하는 것) 기능의 안전한 수행 또한 반드시 해결해야 할 문제라 할 수 있다.

차량 단독 자율주행(Stand-alone)의 이러한 문제를 해결하기 위해 협력형 자율주행(Cooperative Automated Driving) 개념이 다양한 형태로 제안되고 있다. 미국 자동차공학회에서는 SAE J3216 표준[2]을 통해 다양한 교통참여자 간 협력 등급 네 단계를 제안하였다. 유럽연합은 INFRAMIX[3] 과제를 통해 ISAD (Infrastructure Support level for Automated Driving)라고 칭하는 자율주행을 위한 인프라 지원 수준을 제안하였는데, 가장 스마트한 단계인 A부터 물리적 환경만을 갖춘 E까지 총 다섯 단계의 인프라 수준을 제안하였다. 미국 NCHRP (National Cooperative Highway Research Program)에서는 CRCS (Connected Roadway Classification System) 프레임워크를 제안하였는데[4], 인프라의 접근 방식을 소통(talking), 인지(seeing), 추상화(simplifying)으로 구분하고 각 방식에 따른 인프라 수준을 네 단계로 구분하였다. 하지만 최종 단계를 향후 10년

내 도달해야 하는 수준으로 정의함에 따라 ISAD와 같은 상위 수준의 협력주행에 대한 논의가 부족하다. 2021년에는 [3]과 [4]에서 제안한 인프라 수준을 통합하여 SRC (Smart Road Classification) 프레임워크를 제안하고 이를 기반으로 5단계의 인프라 수준을 제안한 연구결과도 있다[5].

국내에서는 인프라 기반의 자율협력주행 서비스인 인프라 가이던스 서비스의 개념이 소개되었으며, 기존 연구사례 분석을 토대로 서비스 유스케이스 도출 방법론이 이미 논의되고 있다[6],[7]. 인프라 가이던스는 인프라(RSU)의 컴퓨팅 및 센싱 능력과 통신 기술을 이용하여 자율차의 효율적인 주행 지원을 위한 가이던스를 제공하는 것으로, 가이던스는 차량의 종/횡방향 제어를 위한 정보를 포함한다. 횡방향 제어는 주로 차로변경을 위한 작업으로, 어떻게 차로변경을 하는 것이 효율적인지를 인프라가 자율차에게 알려주어야 하는데 이에 대한 적절한 방법에 대한 연구가 부족하다. 이에 본 연구에서는 자율차의 차로변경을 지원하는 가이던스 정보를 생성하는 방법에 대한 연구하고자 한다.

II. 차로변경 가이던스 제공 방법 개발

차로변경은 추월, 회전, 분류, 합류, 회피 등의 목적을 위해 현재의 차로에서 다른 차로로 이동하는 행위를 의미한다. 차로변경은 일반적으로 네 단계로 구성되는데, 첫 번째 단계는 인지(perception), 두 번째는 반응(reaction), 세 번째는 동작(manoeuvre), 마지막 단계는 차로유지(lane keeping)이다[8]. 인지 단계에서 운전자는 차로변경의 필요성을 판단하게 된다. 차로변경은 희망속도 보다 현재의 주행속도가 낮을 경우, 전방 동일 차로에 도로공사, 사고 등과 같은 이벤트가 발생할 경우, 교차로에서 회전을 위해 다른 차로로 이동해야 할 경우 등이 차로변경의 필요 요인으로 작용한다. 차로변경을 결정하면 목표 차로에 주행 중인 차량 간 거리를 모니터링하여 차로변경에 필요한 충분한 거리(수락 간격, gap acceptance)를 탐색하는 반응 단계를 수행하고, 조건이 만족될 경우 신속하게 차로를 변경하는 동작 단계를 수행한다. 차로변경이 완료되면 해당 차로를 유지함으로써 차로변경은 종료된다.

자율차는 센서와 통신을 이용해서 전방 상황인지를 수행하고 이를 이용하여 차로변경 여부를 판단한다. 그리고 필요 시 목표차로의 상태를 확인한 후 수락 간격 조건을 만족할 경우 종/횡방향 제어를 통해 차로변경 동작을 수행한다. 이후 차로유지 기능을 통해 차로변경을 완료한다.

인프라 가이던스는 노변에 설치된 엣지 RSU (Road Side Unit)에서 동적상황을 실시간으로 인지하고, 상황의 분석 및 판단을 수행하여 필요 시 자율차의 차로변경 가이던스를 제공한다[7]. 이때 자율차의 차로변경을 위한 네 단계 중 인지 단계는 엣지 RSU가 수행하고, 반응 단계는 엣지 RSU와 자율차가 협력으로 수행하며, 동작과 차로유지는 자율차 스스로의

기능을 활용하여 수행한다고 가정한다. 실제로 인지 단계의 경우 자율차가 스스로 센서를 이용해서 수행이 가능하지만 인프라 가이드선 서비스의 경우 인프라 센서와 인프라-차량 간 협력인지[7]를 통해 보다 확장되고 정확한 상황정보 수집이 가능하기 때문에 엣지 RSU에서 인지 단계를 수행하는 것이 유리하다. 반응 단계에서 자율차는 목표차로의 수락 간격 조건이 만족되기를 수동적으로 기다리거나 적극적으로 만들 수 있다. 엣지 RSU는 수락 간격 조건 만족을 위해 주변 자율차에게 가이드선을 제공할 수 있고, 자율차는 수신한 차로변경 가이드선에 따라 목표차로의 전/후방 자율차와의 협력주행[7]을 통해 수락 간격 조건을 만족시킬 수 있다. 수락 간격 조건이 만족될 경우 자율차는 스스로의 제어 기능을 이용하여 차로변경 동작을 수행한 후 차로유지를 수행함으로써 차로변경 행위를 종료한다.

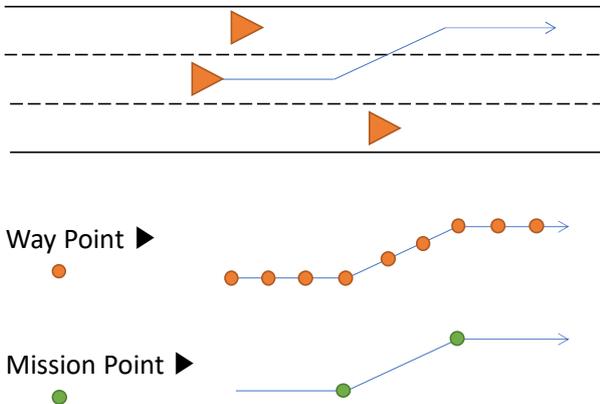


그림 1. 경유점과 임무점 방식의 개념적 차이
 Fig. 1. Conceptual difference between way points and mission points

인프라 가이드선 서비스에서 엣지 RSU는 자율차의 차로변경이 필요한 경우 어떻게 이를 수행해야 하는지 자율차에게 정보(가이드선)를 제공해야 한다. 차로변경 정보는 크게 두 가지 유형으로 구분할 수 있는데, 첫 번째는 자율차의 자유도를 배제하는 방식이고, 두 번째는 자율차의 자유도를 보장하는 방식이다. 첫 번째 방식은 경유점(Way Point) 방식이라고 할 수 있는데, 엣지 RSU가 자율차의 정확한 주행 경로를 계산하여 알려주는 것이다. 주행 경로는 자율차가 앞으로 주행해야 하는 궤적을 의미하며, 이는 동일 거리 또는 동일 시간 간격으로 노드, 즉 경유점을 위치시켜 표현한다. 두 번째 방식은 임무점(Mission Point) 방식으로, 엣지 RSU가 자율차의 주행 임무를 계산하여 알려주는 것이다. 주행 경로는 주요 속성이 변경되는 지점 또는 구간에 노드, 즉 임무점을 위치시켜 표현한다(그림 1).

경유점 방식은 직관적이고 명확하게 주행 경로를 표현하고, 경유점의 표현 밀도를 높게 할 경우 보다 정밀하게 주행 경로를 표현할 수 있기 때문에 정보의 전달 측면에서 효과적이라고 할 수 있다. 하지만 자율차의 제어 관점에서, 경유점 방식의 주행 경로를 추종하기 위한 제어가 쉽지 않다는 문제가 있다. 그리고 자율차 측면의 자유도가 낮기 때문에 예상치 못한 이벤트가 발생할 경우 자율차의 신속한 대응이 어렵다. 반면, 임무점 방식은 정보 자체만으로 (사람 운전자 입장에서는) 직관적이고 명확한 주행 경로라고 할 수 없지만, 이 정보를 이용하여 주행을 수행하는 자율차 입장에서는 명확한 임무가 주어지기 때문에 정보의 전달력 측면에서의 문제는 없다. 그리고 임무점 이외에는 자율차 스스로의 판단에 따라 제어가 가능하므로 돌발 상황에 대한 신속한 대응이 가능한 장점을 갖는다. 이에, 본 연구에서는 차로변경 가이드선의 표현 방식으로 임무점 방식을 선택하고, 이를 좀 더 확장한 방식을

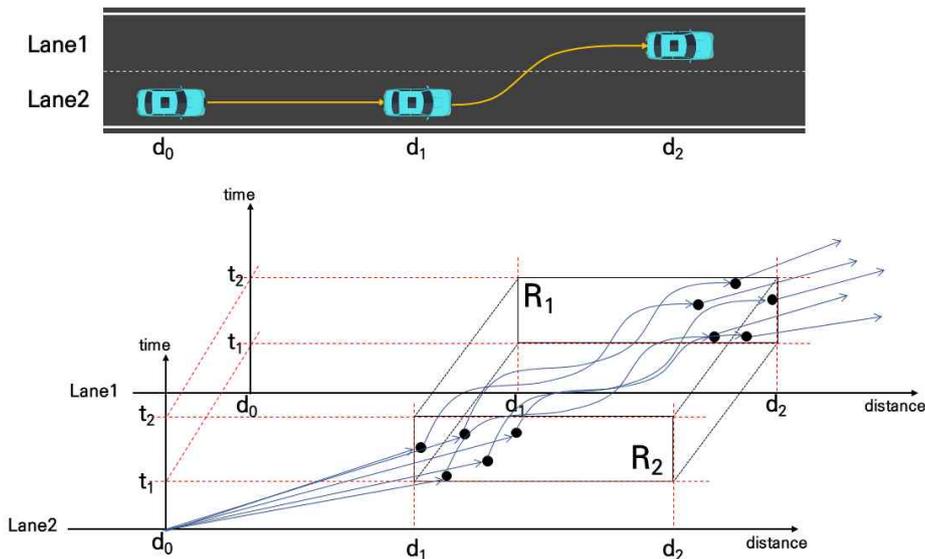


그림 2. 임무점 방식의 개념
 Fig. 2. Concept of mission points

제안하고자 한다.

앞서 설명한 바와 같이 임무점은 차로, 속도, 헤딩, 감가속도 등 주요 속성이 변경되는 구간을 의미한다. 임무점은 변경되는 속성에 따라 종방향 임무점, 횡방향 임무점, 차로변경(종+ 횡방향) 임무점 등으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 종방향과 횡방향으로 동시에 속성이 변경되는 차로변경 임무점에 대해 구체적으로 다루도록 한다.

차로변경 임무점은 공간과 시간을 동시에 고려하는 육면체 형태로 표현이 가능하다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 종방향 거리(distance)와 횡방향 차로번호(lane)로 구성된 2차원 평면 사각형이 시간축(time)으로 확장된 육면체 형태로 임무점은 표현된다. 그림 2 상단의 그림에서와 같이 단방향 2차로 도로에서 d_0 에 위치한 차량(이하 임무차량)이 d_1 까지 이동하는 동안 엣지 RSU가 임무차량의 차로변경 필요성을 인지 및 판단한 결과, 공간적으로 d_1 에서 d_2 까지 반응 및 동작, 차로 유지 단계의 임무를 수행해야 하고 이러한 임무는 시간적으로는 t_1 과 t_2 사이에 완료되어야 한다고 가정하자. 이 경우 엣지 RSU가 임무차량에게 제공하는 차로변경 임무점 정보를 그림 형태로 표현하면 그림 2 하단의 그림과 같다. 차로변경이 공간적으로는 d_1 과 d_2 사이에서, 시간적으로는 t_1 과 t_2 사이에서 이루어져야 하기 때문에 차로2(lane2)의 시공도에 위치한 2차원 평면 사각형(R_2)이 차로1의 시공도에 투영(projection)된 형태로 차로변경 임무점이 표현될 수 있다. 여기서 두 개의 각기 다른 차로에 표현되는 차로변경 임무점 시공영역인 R_1 과 R_2 는 서로 상이한 공간적 차원(차로1과 차로2라는 다른 차원)에 존재하는 동일한 크기의 사각형이고, 서로 보이지 않는 선분으로 대응 꼭지점이 각각 연결된 상태이다. 이러한 임무점 정보를 수신한 임무차량은 R_2 영역 내에서 차로변경 임무 수행을 시작하고, R_1 영역 내에서 임무를 완료해야 한다.

임무점은 경유점과는 다르게 정확한 위치와 시각을 제공하지 않기 때문에 시작과 종료 위치를 차량이 자유롭게 선택할 수 있다. 이러한 선택은 임무를 수행하는 동적 환경에 따라 결정된다. 예를 들어 목표 차로에 다른 차량이 없는 경우 임무차량은 임무영역 내에서 자유롭게 차로변경을 수행할 수 있다. 탑승자의 안전성과 쾌적성을 고려하여 미리 세팅된 파라미터에 따라 일찍 시작해서 일찍 종료하거나 늦게 시작해서 늦게 종료할 수 있다. 또는 일찍 시작해서 늦게 종료할 수도 있다. 하지만 만약 목표 차로에 다른 차량이 주행 중이라면, 반응(수락 간격 조건 확인) 단계 수행을 위해 일찍 시작할 필요가 있다.

차로변경 임무점 정보는 차로, 거리, 시간 등의 요소 정보의 조합으로 데이터 형식을 명시적으로 규정할 수 있으나, 이는 본 연구의 범위를 벗어나므로 언급하지 않기로 한다. 다만, 차로변경 임무점 시공영역인 R_1 과 R_2 의 경우 적절한 크기에 대한 분석이 요구된다. 시공영역을 짧게 할 경우 임무차량이

임무를 완수하지 못 할 확률이 높아지고, 지나치게 길게 할 경우 임무의 효율성이 현저히 떨어지는 문제점이 발생한다. 따라서 적절한 크기의 시공영역을 결정할 필요가 있다. 이를 위해 다음 절에서는 미시 교통 시뮬레이션 데이터를 이용하여 차로변경 임무점 시공영역의 적절한 크기에 대한 분석을 수행하고자 한다.

III. 적정 임무점 시공영역 크기 산정

본 절에서는 앞서 제안된 차로변경 임무점 시공영역의 적절한 크기를 데이터 기반으로 산정하고자 한다. 이를 위해 미시 교통 시뮬레이션 툴인 SUMO (Simulation of Urban Mobility)[9]를 이용하여 차로변경 상황을 구현 및 재현하여 필요한 데이터를 수집하였다.

분석의 단순화를 위해 차로변경 네 단계 중 동작과 차로유지 단계만을 대상으로 한다. 인프라 가이던스 서비스에서 차로변경을 위한 인지 단계는 엣지 RSU에 의해 수행되므로 이미 완료된 것으로 가정한다. 또한 수락 간격 조건을 확인하는 반응 단계는 목표 차로에 차량이 있는 경우에만 해당하는 것으로, 전후방 차량의 위치에 따라 경우의 수가 매우 크기 때문에 본 연구에서는 이를 다루지 않는다. 따라서 수락 간격 조건이 만족되어 차로변경 동작을 시작한 때부터 목표 차로에 진입 후 차로 유지가 완료되는 시점까지의 데이터를 이용하여 적정 시공영역의 크기를 산정하기로 한다.

3-1 차로변경 상황 구현 및 재현

그림 3은 시뮬레이션 환경 구성도이다. 차로변경 상황 구현을 위해 주도로 구간은 단방향 2차로 형태의 1km 연속류 구간으로 설정하였고, 주도로 교통류의 차간 거리를 현실적으로 구현하기 위해 보조도로를 설치하여 보조도로에서 통행이 발생하도록 구현하였다. 설계속도는 50km/h, 교통량은 200대/시로 설정하였고, 주도로 구간의 1차로를 차단하여 1차로 주행 중 차량을 2차로로 차로변경 하도록 하였다.

시뮬레이션은 총 600초(10분) 간 교통상황을 재현하였다. Simulation time step은 0.1초로 하였으며, Warm-up period는 180초로 설정하였다. Warm-up 이후 주도로 시작 지점에서 650m 전방의 1차로를 차단하여 차로변경을 시작하도록 하였다. 본 연구에서는 SUMO에서 제공하는 기본 승용차 차량(passenger) 타입을 활용하였으며, 차량 추종 모델은 Krauss 모델을, 차로변경 모델은 LS2015를 활용하였다. LS2015 차로변경 모델은 정밀한 횡방향 이동을 구현할 수 있는 모델로 본 연구의 임무점 크기 산정에 적합한 모델로 판단하였다. SUMO 시뮬레이션에서 설정한 주요 파라미터는 표 1과 같다.

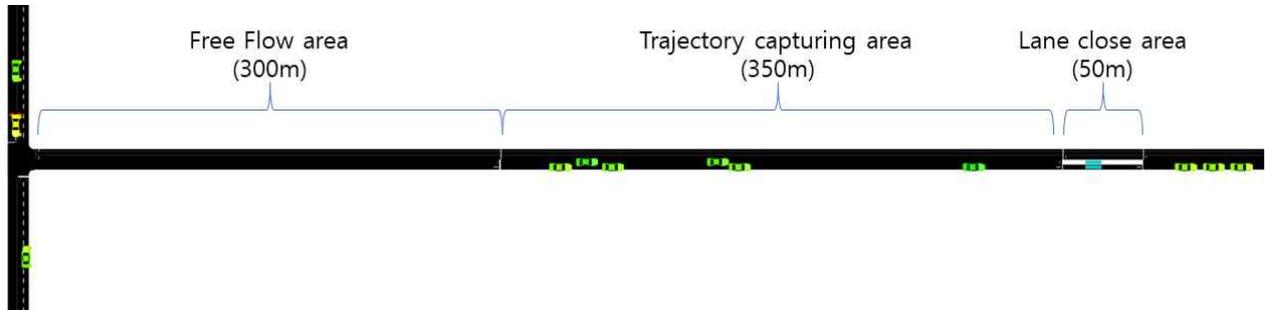


그림 3. 시뮬레이션 도로망
Fig. 3. Simulation road network

표 1. SUMO 시뮬레이션의 운전자 파라미터
Table 1. Parameters of driver model in SUMO simulation

Parmeter	value
Mingap (m)	1.5
Accel(m/s ²)	3.5
Decel(m/s ²)	4.5
Emergency decel (m/s ²)	8
sigma	0.5
Time headway(s)	0.9

표 2. 시뮬레이션을 통해 수집한 차량 데이터 항목
Table 2. Description of vehicle data from simulation

Field	Description	Example
simstep	simulation step (size: 0.1s)	36.8
vehid	vehicle's id	f_1.0-0
coord_x	latitude location of vehicle	300.1
coord_y	longitudinal location of vehicle	-2.55
std	current speed of vehicle (m/s)	55.6
edge	current edge id of vehicle	E3
lane	current lane id of vehicle	E3-1
turnangle	current heading of vehicle (°)	93.4

데이터는 각 시뮬레이션 스텝의 차량 데이터를 수집하였으며, 분석의 목적에 맞게, 차단지점에서 350m까지의 도로에서 발생된 차로변경 차량의 데이터만을 분석하였다. 수집된 차량 데이터 항목은 표 2와 같다.

3-2 데이터 분석 및 적정 시공영역 산정

총 309대의 차로변경 데이터를 취득하였으며, 그림 4에는 전체 중 12대의 샘플 차량의 차로변경 궤적이 나타나있다. 적색 점은 차로 변경시작(동작 단계)을 의미하며, 녹색 점은 차로 변경종료 중(차로유지 단계)을 의미하며, 청색 점은 직선 주행 중을 의미한다.

차량의 차로변경 궤적은 두 가지 유형으로 분류된다. 첫 번째 유형은 한 번에 차로를 변경하는 차량으로, 차로변경 시도와 종료 구간이 한 번씩만 나타난다. 두 번째 유형은 여러 번 차로변경을 시도하는 차량으로, 다수 회의 차로변경 시도와 종료 구간이 나타난다. 일부는 차로변경을 실패하여 차로 차단지점인 650m 지점까지 가서 변경을 하기도 한다.

차로변경 시공영역의 크기는 적색점의 최초 등장 지점부터, 마지막 녹색점까지의 시간과 공간 크기로 정의하였다. 마지막 녹색점이 나오기 전에도 이미 차량이 2차로에 진입하지만, 일정 시간과 거리를 주행하며 헤딩 변화량이 0이 될 때까지를 차로유지 단계로 가정하였다.

그림 5는 309대 차량의 차로변경 시공도를 나타내고 있다.

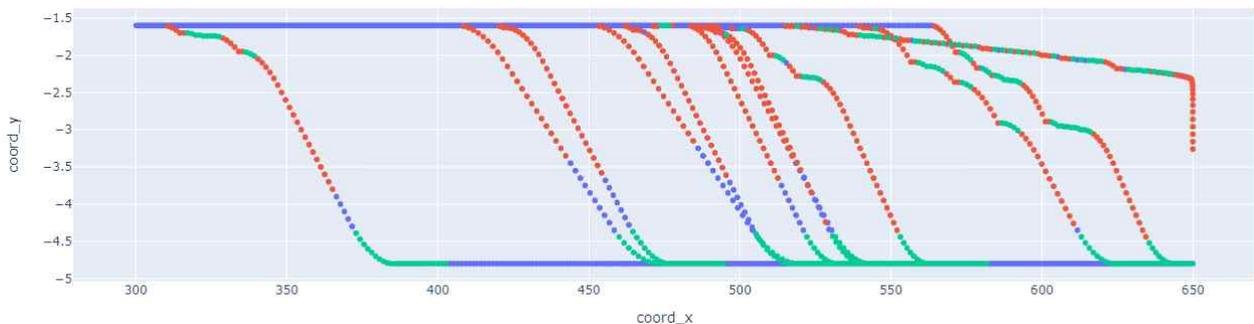


그림 4. 차로변경 궤적 (x, y축 단위 : 미터)
Fig. 4. Trajectories of lane change (Unit of x and y axis : meter)

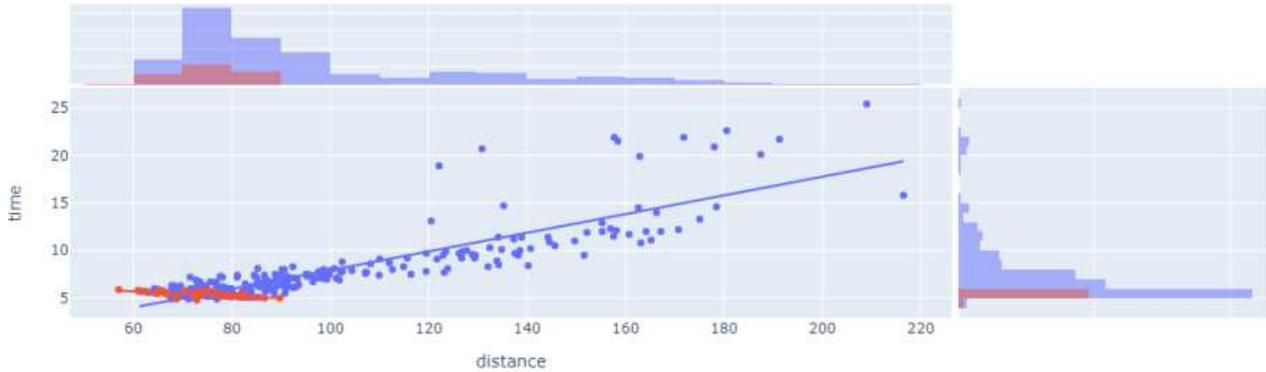


그림 5. 우측차로 변경의 시공영역도 (x축 단위 : 미터, y축 단위 : 초)
 Fig. 5. Time-space plot of right lane change (unit of x-axis : meter, unit of y-axis : sec)

표 3. 차로변경 시간 및 공간의 통계량
 Table 3. Statistics of time and space for lane change

Lane-change type	Time (s)				Distance (m)			
	mean	std	median	85 th	mean	std	median	85 th
Multiple	7.63	3.53	6.30	9.90	96.78	31.13	84.98	133.86
Single	5.35	0.27	5.30	5.70	75.12	7.42	76.96	82.18

적색점은 한 번의 시도로 차로를 변경한 차량들을(이하 Single차량), 파란색 점은 여러 번의 시도로 차로를 변경한 차량들을(이하 Multiple차량) 의미한다. 표 3은 차량의 유형별 차로변경에 소요되는 시간과 거리에 대한 통계량을 보여준다. Single차량은 차로변경 소요시간이 평균 5.35초이고, 차로변경에 필요한 거리는 75.12미터로 나타났다. 이는 차로변경 시 목표차로에 차량이 없을 경우 일반적으로 소요되는 시간과 거리, 즉 임무점의 적정 시공영역의 크기를 의미한다. 반면, Multiple차량은 평균 7.63초와 96.78미터가 필요한 것으로 나타나, 목표차로에 차량이 있을 경우 임무점의 시공영역이 증가해야 함을 보여준다.

차로변경 임무점 시공영역의 크기를 평균값으로 할 경우 나머지 50%에 해당하는 차량은 임무를 실패할 확률이 높다. 따라서 교통 분야에서 일반적으로 사용하는 85th percentile 통계량을[10],[11] 이용하여 적절한 크기를 제안하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 차로변경 유형별로 85th percentile 시간과 거리를 산출한 결과(표 3), Single차량은 시간과 거리가 각각 5.7초, 82.2m로 나타나 평균과 큰 차이를 보이지 않은 반면, Multiple차량은 9.9초, 133.9m로, 평균과는 큰 차이를 보였다. 시공영역(사각형)의 크기를 계산해보면 Single차량이 약 468.4m·s, Multiple차량이 약 1325.2m·s로 산정되어, 목표차로에 차량이 존재하는 경우 그렇지 않은 경우에 비해 약 2.8배의 시공영역이 필요하다는 점을 보여주고 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 인프라 기반의 자율주행 지원 서비스(인프라 가이드스)를 통해 자율차의 차로변경 가이드스를 제공하는 방법을 개발하고, 미시 교통 시뮬레이션 데이터를 활용하여 차로변경 임무점 시공영역의 적절한 크기에 대한 분석을 수행하였다. 데이터 분석 결과, 차로변경 가이드스는 목표차로의 차량 유무에 따라 각기 다른 크기의 임무점 시공영역을 제공해야 함을 확인할 수 있었다. 85th percentile 통계량을 이용하여 시공영역의 크기를 비교한 결과 목표차로에 차량이 있는 경우 약 2.8배의 시공영역이 필요한 것으로 나타났다.

다만, 임무점 시공영역의 적절한 크기를 분석하기 위해 이용한 데이터가 실제 현실에서 취득한 데이터가 아닌, 시뮬레이션 기반의 가공 데이터이기 때문에 현실을 적절하게 반영한다고 주장하기에는 한계가 있다. 따라서 추후 실제 데이터를 활용하여 제안된 분석방법론에 따라 적절한 시공영역의 크기를 분석할 필요가 있다. 또한 설계속도가 다른 도로, 교차로에 근접한 도로구간, 차로 수가 많은 도로 등과 같이 좀 더 다양한 차로변경 상황을 고려한 분석이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00142565).

참고문헌

[1] SAE International, Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, Author, Warrendale: PA, J3016_201401, January 2014.

[2] SAE International, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Cooperative Driving Automation for On-Road Motor Vehicles, Author, Warrendale: PA, J3216_202107, July 2021.

[3] INFRAMIX. Inframix EU Project [Internet]. Available: <https://www.inframix.eu>.

[4] C. M. Poe, E. J. Seymour, S. Kuciemba, and S. Row, Connected Roadway Classification System Development, Transportation Research Board, Washington, DC, NCHRP 20-24(112), December 2019.

[5] PIARC, Smart Roads Classification: A PIARC Special Report, Author, Paris, France, 2021SP01EN, 2021.

[6] H. Jeon, I. Yang, H. Kim, J. Lee, S.-K. Kim, J. Jang, and J. Kim, “Some Lessons Learned from Previous Studies in Cooperative Driving Automation,” *The Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 21, No. 4, pp. 62-77, August 2022. <https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.4.62>

[7] H. Jeon, I. Yang, H. Kim, J. Lee, S.-K. Kim, and J. Jang, “A Study on Methodology to Develop Use Cases of Infra-Guidance Service for Connected and Automated Driving,” *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 23, No. 7, pp. 1331-1340, July 2022. <https://doi.org/10.9728/dcs.2022.23.7.1331>

[8] I. Yang, H. J. Kim, W. H. Jeon, and H. Kim, “Development of Realistic Shortest Path Algorithm Considering Lane Changes,” *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 50, No. 4, pp. 541-551, June 2016. <https://doi.org/10.1002/atr.1359>

[9] D. Krajzewicz, G. Hertkorn, C. Rössel, and P. Wagner, “SUMO (Simulation of Urban MObility): An Open-Source Traffic Simulation,” in *Proceedings of the 4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling (MESM 2002)*, Sharjah, UAE, pp. 183-187, October 2002.

[10] C. Oh, W. K. Kim, S. B. Lee, C. W. Lee, and J. W. Kim, “Development of Legibility Distance Model for VMS Messages Using In-Vehicle DGPS Data,” *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 25, No. 5, pp. 23-32, October 2007.

[11] Y. S. Kim and W. B. Jo, “A Study on the Relationship Between Road Design, Operating and Posted Speeds,” *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 23, No. 7, pp. 35-42, December 2005.



김지윤(Jiyoan Kim)

2013년 : 홍익대학교 도시공학 학사
 2015년 : 홍익대학교 도시계획 석사
 2021년 : 홍익대학교 도시계획 박사

2021년~현재 : 한국건설기술연구원 박사후연구원
 ※관심분야 : 첨단교통, 자율주행, C-ITS, 빅데이터, 대중교통



양인철(Inchul Yang)

1998년 : 연세대학교 도시공학 학사
 2000년 : 연세대학교 도시공학석사
 2011년 : Ph.D. in Civil Engineering at Univ. of California, Irvine

2000년~2006년 : 현대엠엔소프트(現현대오토에버)
 2006년~2011년 : Institute of Transport Studies, UCI
 2011년~현재 : 한국건설기술연구원 연구위원
 ※관심분야 : 첨단교통, 자율주행, C-ITS, 도로안전, 도로시설