

인프라 기반 센서 데이터 공유 서비스 성능 분석

김연아*, 정창규**, 문철***

Performance Analysis of Infrastructure-based Sensor Data Sharing Services

Yeona Kim*, Chang-Kyoo Jung**, and Choel Mun***

본 연구는 정보통신기획평가원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-II221053)

요 약

본 논문에서는 자율주행 차량의 온보드 센서가 가지는 인지 범위 한계를 극복하기 위해 인프라와 차량간 통신을 기반으로 인프라가 센싱한 정보를 자율주행 차량과 공유하는 센서 데이터 공유 서비스(SDSS) 기술의 성능을 분석한다. 돌발 상황을 인지하고 센서 데이터 공유 메시지(SDSM)를 생성하여 차량통신(V2X)을 통해 자율주행차량(CAV)에 전송하는 노변 장치(RSU) 시스템을 모델링하고, 교통 혼잡도와 CAV의 비율에 따른 센서 데이터 공유 서비스의 성능을 시뮬레이션을 통해 정량적으로 평가하였다. 임계 값 이상으로 CAV 비율이 증가하거나 CAV의 통신 가능 거리가 증가함에 따라 전체 혼합류의 통행 효율성이 증가함을 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다.

Abstract

This paper analyzes the performance of a sensor data sharing service(SDSS) that enables infrastructure to share sensed information with autonomous vehicles via Vehicular-to-Everything(V2X) communication, overcoming the perception range limitations of onboard sensors in autonomous vehicles. The study models a Roadside Unit(RSU) system that detects unexpected situations and transmits the information to Connected Automated Vehicles(CAVs) via V2X communication using Sensor Data Sharing Messages(SDSM). Through simulations, the study quantitatively evaluates the performance of the sensor data sharing service based on traffic congestion levels and the proportion of CAVs. The simulation results confirm that as the CAV proportion increases beyond a certain threshold or as the communication range of CAVs extends, the overall traffic flow efficiency of the mixed traffic improves.

Keywords

connected automated vehicle, vehicular to everything, sensor data sensing service, sensor data sharing message

* 한국교통대학교 교통에너지융합학과 연구생
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6051-7206>
** 한국교통대학교 전자공학과 교수(공동1저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1752-0331>
*** 한국교통대학교 전자공학과 교수(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2358-8375>

• Received: Jan. 09, 2025, Revised: Feb. 05, 2025, Accepted: Feb. 08, 2025
• Corresponding Author: Choel Mun
Dept. of Electronocs Engineering Korea National University of
Transportation
Tel.: +82-43-841-5361, Email: chmun@ut.ac.kr

1. 서 론

자율주행은 차량에 장착된 레이더, 라이다, 카메라 등의 센서를 이용하여 주변 상황을 인지하고 최적 경로를 결정하여 차량 제어를 수행한다. 현재 개발 중인 레벨 4 자율주행은 도심에서 발생하는 다양한 교통 환경 및 상황에 대처하여 자율주행 시스템이 단독으로 인지, 판단, 그리고 제어를 수행하도록 개발되고 있다[1]. 자율주행 레벨 4 개발의 난제 중 하나는 도시의 교차로와 도로 합류부 등에서 자율주행 차량의 온보드 센서(On-board sensors)로 인지할 수 없는 센싱 음영지역이 발생한다는 것이다. 이로 인해 자율주행 차량의 부분적이고 제한적인 인지 성능은 안전하고 효율적인 운행을 제한한다[2].

자율주행 차량의 부분적이고 제한적인 인지 한계를 극복하기 위해 협력자율주행기술이 개발되고 있으며, 인프라-차량(I2V, Infra to Vehicle) 및 차량-차량(V2V, Vehicle to Vehicle)간 통신을 포함하는 차량-객체(V2X, Vehicular to Everything)통신을 통해 연결된 자율주행 차량(CAV, Connected Automated Vehicle)의 인지 범위를 확장시킬 수 있는 센서 데이터 공유 서비스(SDSS, Sensor Data Sharing Service)기술이 정의되고 이를 위한 메시지 표준이 개발되었다[3]. 주변 CAV 또는 인프라의 센서에서 인지된 다수 동적 객체들의 이동 상태 정보나 돌발 상황을 센서 데이터 공유 메시지(SDSM, Sensor Data Sharing Message)를 통해 송수신함으로써 CAV는 주변 상황을 완전히 인지하고 이를 기반으로 경로 생성 및 제어 성능을 개선할 수 있다. 특히, 교차로 및 돌발 상황이 발생한 지역에서 인프라 센서를 포함하는 노변 장치(RSU, Road Side Unit)가 인프라 카메라 및 라이다의 센싱 정보를 융합하여 인지한 동적 객체들의 이동 상태와 돌발 상황 정보를 SDSM을 통해 CAV들에게 송신하는 서비스와 시스템이 개발되고 있다[4]. 특히, CAV와 수동차량(HDV, Human-Driving Vehicle)들이 혼재된 교통상황에서, 차량 자체의 센서와 인지 기능만을 사용하는 기본 자율주행 시스템과 센서 공유를 이용한 CAV에 대한 성능을 시뮬레이션을 통해 비교 분석하여, CAV가 회전 교차로 진입 시 입구에서 대기하는 시

간이 감소됨을 보여주는 연구가 수행되었다[5].

수동운전에서 자율주행으로의 전환에는 상당한 시간이 걸릴 것으로 예상되므로, 기존 수동차량과 자율주행 차량이 혼재하는 교통 상황은 불가피 할 것으로 예상된다. 따라서, 자율주행 차량의 효율성과 안전성을 향상시키기 위한 최적의 SDSS기술을 개발하기 위해서는, SDSS의 성능에 영향을 주는 다양한 요인들, 특히 교통 혼잡도와 CAV 보급률이 SDSS의 성능에 미치는 영향이 분석되어야 하지만, 이에 대한 연구 결과는 발표되지 않았다. 본 논문은 HDV와 CAV가 혼재된 교통 환경에서 교통 혼잡도와 전체 차량 중 CAV의 비율을 변수로 설정하여, SDSS의 효과와 한계를 정량적으로 평가하였다. 이는 고정된 낮은 교통 혼잡도 상황에서 다수의 HDV들과 하나의 CAV만을 고려하여 CAV의 성능을 분석한 기존 연구[5]와 차별화된다. 또한, 본 논문은 RSU가 센싱한 주변 동적 객체들의 이동 상태 및 돌발 상황 정보를 SDSM을 통해 CAV들에게 전송하는 인프라 기반 SDSS 시스템을 VISSIM과 Matlab 기반 통합 시뮬레이션 환경에서 모델링하고 성능을 분석하였다. 특히, CAV가 전방 돌발 상황 정보를 수신하고 주행 차선을 변경하는 횡방향 제어와 속도를 조절하는 종방향 제어를 수행하는 협력자율주행 알고리즘을 구현하였다. 여기에서 기존 연구[5]에서 수행한 SUMO와 CARLA의 통합 시뮬레이션 환경에서 단일 차선 회전교차로에서 CAV 속도만을 조절하는 종방향 제어에 국한된 자율주행 알고리즘을 구현한 것과 차별화된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 SDSS를 소개하고, 3장에서는 성능평가를 위한 통합 시뮬레이션 환경을 제시한다. 4장에서는 SDSS의 성능을 분석하고 5장에서는 결론으로 마무리한다.

II. SDSS

V2X 통신을 기반으로 하는 협력자율주행 서비스 중 SDSS는 주변 CAV 또는 인프라의 센서에서 인지된 동적 객체들의 이동 상태 및 돌발 상황 정보를 V2X 통신을 통해 공유함으로써 CAV의 인지 성능을 개선할 수 있도록 지원한다.

동적 객체의 이동 상태 정보는 객체의 종류, 크기, 위치, 및 움직임 상태와 같은 중요한 세부 정보를 포함한다. 이 정보는 SAE J3224에서 정의된 SDSM에 포함되어 전송된다.

SDSS의 주요 유스 케이스(Use case)는 그림 1과 같이 다음 여섯 가지로 제시될 수 있다[3]. 첫째, 호스트 차량(HV, Host Vehicle)이 V2X 통신 장비가 없는 비장착 차량(UV, Unequipped Vehicle)의 존재를 감지하고 이를 공유하는 시나리오이다. 둘째, 호스트 도로변 장치(HRSU, Host RSU)가 UV의 존재를 감지하고 공유하는 경우를 보여준다. 셋째, HV가 V2X 통신 장비가 없는 비장착 취약 도로 이용자(UVRU, Unequipped Vulnerable Road User)를 인지하고 이를 공유하며, 넷째, HRSU가 UVRU의 존재를 센싱하고 이를 공유한다. 다섯째, HV가 도로 상의 장애물을 감지하고 이를 CAV와 공유하며, 마지막으로 HRSU가 장애물을 감지하고 CAV들과 공유하는 시나리오가 포함된다.

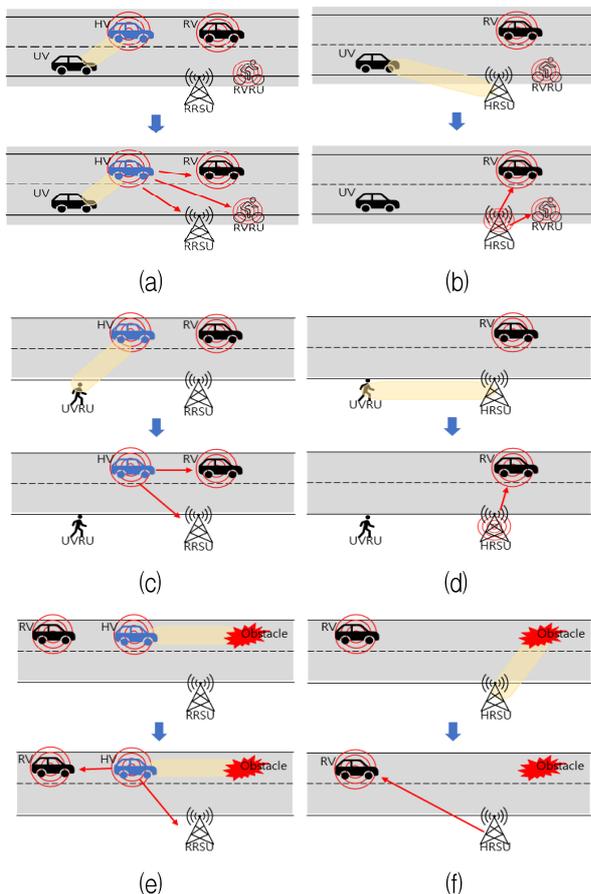


그림 1. SDSM의 유스케이스
Fig. 1. Use cases of SDSM

본 논문에서는 그림 1(f)시나리오인 HRSU가 도로상의 장애물의 존재를 인지하고 이를 공유하는 시나리오를 고려한다. 인프라 센서를 포함하는 도로상의 돌발 상황을 실시간으로 센싱 및 인지하고, 돌발 상황의 유형(사고, 공사, 불법 주정차, 노면 장애물 등) 과 발생 위치 또는 발생 차선에 대한 정보를 SDSM에 포함하여 주변 CAV와 공유하는 SDSS를 모델링하고 이의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석한다.

III. 통합 시뮬레이션 방법론

본 장에서는 SDSS를 모델링하고 이의 성능을 분석하기 위한 시뮬레이션 방법론을 제안한다.

3.1 시뮬레이션 시나리오

그림 2는 SDSS를 모델링하기 위해 고려하는 편도 2차선 고속도로 교통 환경에서 다수의 CAV와 다수 HDV가 혼재하여 주행하는 상황을 보여준다.

HRSU는 2차로에 발생한 사고 상황을 센싱 및 인지하고, 돌발 상황 중 사고에 대한 인덱스 및 발생 차선 등의 속성을 SDSM에 저장하여 접근하는 CAV들에게 전송한다. HRSU에서 전송된 SDSM을 수신할 수 있는 거리는 전파환경에 의해 결정되며, 전송 가능 거리를 D 로 가정하여 성능을 비교 분석한다. CAV는 HRSU에서 전송한 SDSM을 수신할 수 있는 거리에 도달하면, SDSM 디코딩을 통해 전방에 발생한 돌발 상황 유형과 발생한 차선을 인지하고, 협력자율주행 알고리즘을 수행한다.

CAV의 협력자율주행 알고리즘은 현재 주행 차선이 사고가 발생한 차선인 2차로와 동일할 경우, 즉시 인접 차선인 1차로로 차선 변경을 시도한다. 1차로에 차선 변경을 위한 충분한 공간이 있을 경우, 차선 변경을 수행하게 된다. 이를 통해, CAV는 사고 위치에 도달하기 전에 미리 차선을 변경함으로써 사고 위치근방에서 발생하는 1차로로 차선 변경을 위한 2차로의 대기열에 합류하지 않게 된다. 특히, SDSM 전송 거리가 길수록 CAV는 미리 차선 변경을 할 수 있게 되고 이로 인해 1차로로의 차선 변경을 용이하게 할 수 있다.

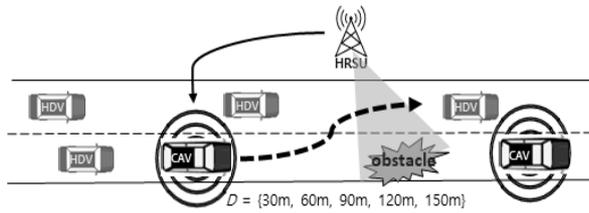


그림 2. 센서 데이터 공유 서비스 성능 평가 시나리오
Fig. 2. Scenarios for evaluating the performance of SDSS

반면에 HDV는 주행 차선이 사고 차선인 2차로와 동일할 경우, 사고 위치에 도달해서야 1차로로 차선 변경을 시도하게 되고, 1차로에 차선변경을 위한 충분한 공간이 없을 경우 2차로에 대기열을 형성하게 된다. 이러한 대기열은 전체적인 교통 효율을 크게 저하시키게 된다.

표 1은 시뮬레이션 시나리오에서 고려하고 있는 편도 2차선 도로 교통 환경을 제시하고 있다. 1km 길이의 도로와 90km/h의 차량 평균 속도를 가정하였고, 시뮬레이션 실행 시간은 720초(10분)로 설정하였다. HRSU에서 돌발 상황을 센싱하면서부터 CAV가 SDSM을 수신하기까지 걸리는 시간 지연은 100ms 이하로 요구된다[6]. 따라서, 시뮬레이션에서 이에 대한 지연은 고려하지 않는다.

표 1. 시뮬레이션 교통 환경
Table 1. Simulated traffic environments

Simulation parameter	Value
Link distance(m)	1,000
Number of lanes	2
Simulation time(s)	720
Vehicle speed(km/h)	90

교통 혼잡도, 전체 차량 중 CAV의 비율(MPR, Market Penetration Rate), CAV의 SDSM 전송거리에 따른 SDSS의 성능을 평가하기 위해, 다음 표 2와 같이 교통량, SDSM 전송 가능 거리, CAV MPR의 조합을 기반으로 총 90가지의 실험 조합을 설정하였다. 교통량은 도로를 1시간 동안 통과하는 차량의 총 수로 정의되며 2000대/h, 3000대/h, 4000대/h의 3가지 경우를 고려하였다. HRSU와 CAV와의 통신 가능 범위는 30m, 60m, 90m, 120m, 150m의 5가지 경우를 고려한다. CAV MPR은 0%, 20%, 40%, 60%,

80%, 100%를 고려한다. MPR 0%는 모든 차량이 HDV인 경우이며, MPR 100%는 모든 차량이 CAV인 경우이다.

표 2. 시뮬레이션 시나리오
Table 2. Simulation Scenario

Category	Contents
Vehicle volume	2,000대/h, 3,000대/h, 4000대/h
Communication range	30m, 60m, 90m, 120m, 150m
CAV MPR	0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%

3.2 통합 시뮬레이션

교통 분석 및 모델링 도구로 PTV VISSIM[7], SUMO[8], CORSIM[9] 등이 널리 사용되고 있다. 본 연구에서 사용하는 VISSIM은 마이크로 교통 시뮬레이터로서 자동차, 자전거, 보행자, 대중교통, 교통 타이밍 등 다양한 모듈을 제공하며, 교통 시뮬레이션 매개변수를 다차원적으로 조절하여 효과적인 시뮬레이션을 지원한다. 특히, 스크립트 기반 모델링을 제공하여 사용자가 시뮬레이션 중에 VISSIM에서 생성된 차량 객체에 COM(Component Object Model) 인터페이스를 통해 동적으로 접근하고 제어할 수 있다. COM 인터페이스를 통해 다양한 프로그래밍 언어(C++, Python, Visual Basic, Java, Matlab 등)를 사용하는 소프트웨어 간의 프로세스 간 통신이 가능하다.

제안하는 시뮬레이터 구조와 수행 과정은 그림 3과 같다.

- ① VISSIM에서 시뮬레이션 시나리오에 따른 교통 환경을 생성하고, 설정된 교통량 및 MPR에 따라 HDV와 CAV를 생성한다. 여기서 HDV와 CAV의 주행 알고리즘은 Wiedemann99 자동차 추종 모델을 기반으로 하며, 각각 HDV[10]와 AV[11]의 운전 행태를 반영하도록 파라미터를 조정하여 적용하였다.
- ② COM Interface를 통해 시뮬레이션 시간과 도로를 주행 중인 HDV와 CAV의 이동 상태 정보(차량 인덱스, 속도, 주행 차선, 차량 종류, 돌발 상황 위치까지의 거리)를 Matlab으로 전달한다.

- ③ Matlab에서 CAV는 SDSM을 디코딩하고, 협력자율주행 알고리즘에 의해 최적 주행 경로를 다음과 같이 결정한다. CAV 위치가 SDSM 수신 가능 영역에 포함되고, CAV의 현재 주행 차선이 돌발 상황이 발생한 차선과 동일할 경우, CAV가 차선 변경을 시도할 수 있도록 해당 CAV의 주행의도를 차선 변경으로 설정한다.
- ④ Matlab에서 생성된 CAV의 주행의도를 COM Interface를 통해 VISSIM에 전달하고 해당 CAV의 주행의도에 반영한다. 해당 CAV는 변경하고자 하는 차로에서 주행하고 있는 타 차량들을 고려하여 공간 확보가 되는 대로 차선 변경을 수행한다.
- ⑤ ②의 과정으로 돌아가 ④의 과정까지 수행한다. 이를 시뮬레이션 시간동안 반복한다.

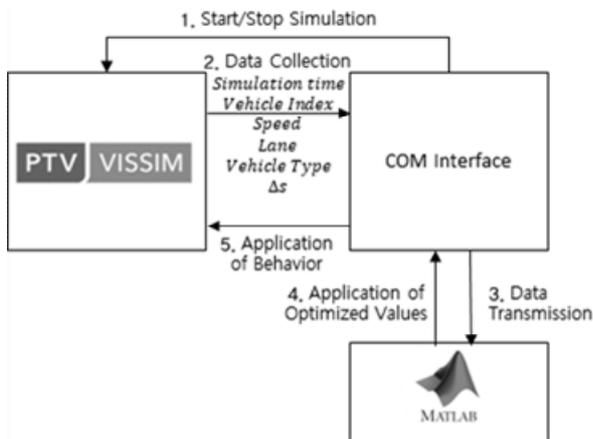


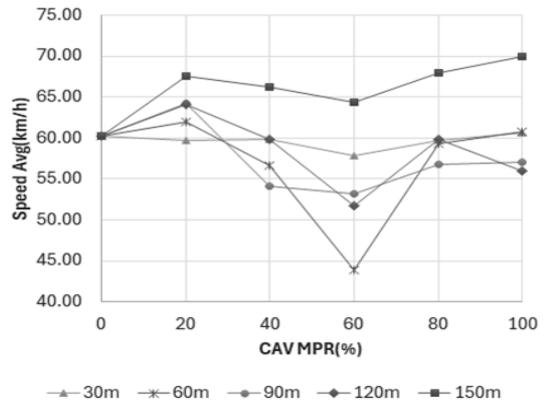
그림 3. 시뮬레이터 구조
Fig. 3. Simulator architecture

IV. 시뮬레이션 결과

교통 혼잡도와 전체 차량 중 CAV의 비율인 MPR, 그리고 HRSU의 통신 가능 거리에 따른 SDSM의 성능을 평가하기 위해, 총 90가지 조합에 대해 시뮬레이션을 수행하였다.

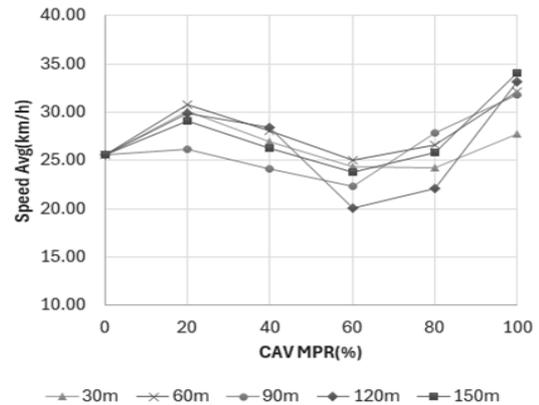
그림 4는 교통량별로 CAV의 MPR에 따른 전체 차량의 평균 속도(Average Speed) 결과를 보여준다. CAV의 통신 가능 거리가 30m에서 150m로 증가할 때, 모든 교통량 조건에서 HDV와 CAV가 혼합된 교통류의 평균 속도가 꾸준히 증가하는 경향을 보였다. 예를 들어, 교통량이 2,000대/h일 때, 통신 가

능 거리가 30m에서 150m로 증가함에 따라 평균 속도는 약 12% 증가하였다(60.5 km/h → 67.8 km/h). 그리고 교통량이 3,000대/h일 때, 평균 속도는 10% 증가(45.6 km/h → 50.2 km/h), 4,000대/h일 때는 8% 증가(30.2 km/h → 32.6 km/h)하였다.



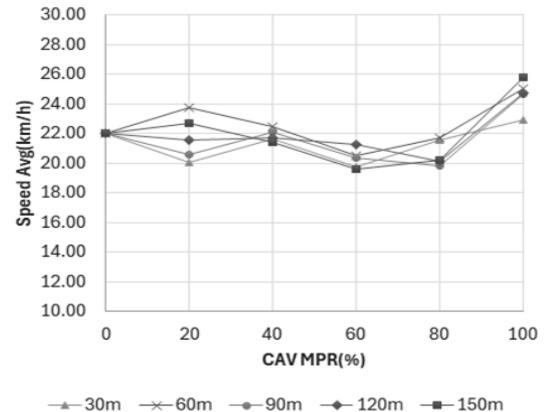
(a) 2,000대/h

(a) 2,000 vehicles per hour



(b) 3,000대/h

(b) 3,000 vehicles per hour



(c) 4,000대/h

(c) 4,000 vehicles per hour

그림 4. 교통량별 MPR에 따른 평균 속도

Fig. 4. Average speed based on MPR by traffic volume

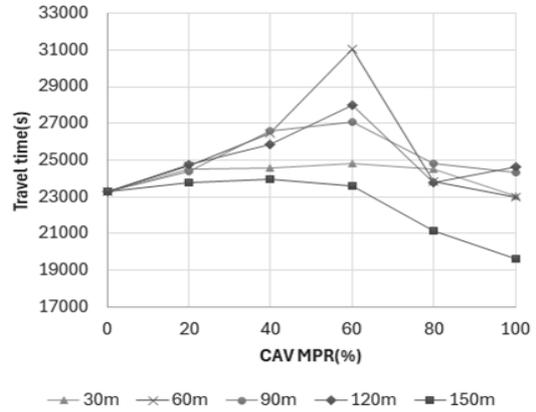
이와 같이 통신 가능 거리가 증가하면, CAV가 돌발 상황을 미리 인지하고 사전 차선 변경을 수행함으로써 대기열에서 발생하는 정지 후 차선 변경 발생 빈도가 감소하고, 전체적인 교통 흐름이 개선된다. 그러나 교통량이 많아질수록 목표 차선에 차량이 많아 실제 차선 변경이 어려운 경우가 증가하여, 통신 가능 거리 증가에 따른 평균 속도 개선 효과는 교통량이 클수록 다소 감소하는 경향을 보였다.

한편, CAV MPR이 20%에서 60%로 증가할 때 평균 속도가 다소 감소하는 현상이 관찰되는데, 이는 HDV와 CAV가 혼재된 환경에서 서로 다른 주행 알고리즘의 차이로 인해 정지 후 차선 변경 상황이 빈번히 발생하기 때문이다. 그러나 MPR이 60% 이상일 경우, CAV의 협력자율주행 알고리즘에 의한 주행이 더 원활해져 평균 속도가 다시 증가하였다. 예를 들어, CAV MPR이 100%일 때, 모든 교통량 조건에서 가장 높은 평균 속도를 기록하였다. 3,000대/h 조건에서는 평균 속도가 약 20% 증가(50.2 km/h → 60.4 km/h)하였다.

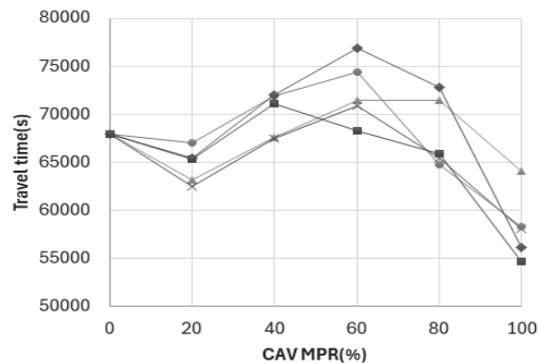
그림 5는 교통량별로 CAV의 MPR에 따른 총 주행 시간(Total Travel Time) 결과를 나타낸다. 총 주행 시간은 특정 구간에서 모든 차량이 이동하는 데 소요된 전체 시간을 나타내며, 이는 교통 흐름의 효율성을 정량적으로 평가하는 데 유용하다. CAV의 통신 가능 거리가 30m에서 150m로 증가하면 모든 교통량 조건에서 총 주행 시간이 크게 감소하였다. 예를 들어, 교통량이 2,000대/h일 때, 총 주행 시간은 약 15% 감소(10,000초 → 8,500초)하였다. 교통량이 4,000대/h일 경우에도 총 주행 시간은 약 12% 감소(20,000초 → 17,600초)하였다.

또한, CAV MPR이 증가할수록 총 주행 시간이 지속적으로 감소하였다. 특히 CAV MPR이 100%일 때, 총 주행 시간이 가장 크게 감소하였으며, 3,000대/h 조건에서 약 25% 감소(15,000초 → 11,200초)를 기록하였다.

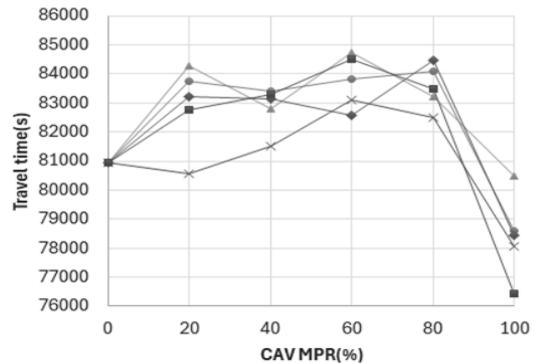
결과적으로, 센싱 데이터 공유 서비스는 자율주행 차량의 인지 능력을 확장하여 돌발 상황에 선제적으로 대응할 수 있도록 하며, 이를 통해 평균 속도를 높이고 총 주행 시간을 줄이는 데 기여하였다.



(a) 2,000대/h
(a) 2,000 vehicles per hour



(b) 3,000대/h
(b) 3,000 vehicles per hour



(c) 4,000대/h
(c) 4,000 vehicles per hour

그림 5. 교통량별 MPR에 따른 총 주행 시간
Fig. 5. Total travel time based on MPR by traffic volume

V. 결 론

본 논문에서는 센싱 데이터 공유 서비스 모델링과 성능 분석을 위한 시나리오를 도출하고 시뮬레

이선 수행을 통해, 교통 혼잡도와 CAV의 MPR, 그리고 V2X 통신 가능 거리에 따른 SDSS의 성능을 평균속도와 총 주행 시간이라는 평가 지표를 중심으로 정량적으로 평가하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 SDSS가 평균 속도를 최대 약 20% 증가시키고 총 주행 시간을 최대 약 25% 감소시킬 수 있음을 입증하였다. 이는 SDSS가 미래의 혼합 교통 환경에서 효율적이고 안전한 교통 시스템 구축에 핵심적인 역할을 할 수 있음을 보여준다.

이번 연구를 통해 SDSS 성능 분석을 위해 시뮬레이션 기반 접근 방식을 사용하였으며, 실제 교통 환경에서의 적용 가능성은 추가 연구를 통해 검증이 필요하다. 특히, 다양한 도시 및 도로 환경, CAV의 다양한 센서 및 통신 시스템 성능 등을 고려한 실증 연구가 요구된다. 또한, 센서 공유 서비스의 통신 지연(latency)과 보안 문제, HDV의 비협력적인 운전 행동 등이 시스템 성능에 미치는 영향을 분석하는 것도 향후 연구 과제로 남아 있다.

References

- [1] J. Sayer, "Adaptive Cruise Control (ACC) Operating Characteristics and User Interface", Standard J2399, Society of Automotive Engineers, Dec. 2003.
- [2] E. Arnold, M. Dianati, R. Temple, and S. Fallah, "Cooperative perception for 3D object detection in driving scenarios using infrastructure sensors", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 23, No. 3, pp. 1852-1864, Mar. 2022. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3028424>.
- [3] SAE International, "V2X Sensor-Sharing for Cooperative and Automated Driving", SAE J3224, Society of Automotive Engineers, Aug. 2022.
- [4] S.-H. Ji and C. Mun, "Design and Performance Analysis of 5G NR V2X-based Sensor Data Sharing System", *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 21, No. 12, pp. 129-135, Dec. 2023. <http://doi.org/10.14801/jkiit.2023.21.12.129>.
- [5] H. Zainudin., K. Koufos, G. Lee., L. Jiang, and M. Dianati., "Impact analysis of cooperative perception on the performance of automated driving in unsignalized roundabouts", *Frontiers in Robotics and AI*, Vol. 10, Aug. 2023. <https://doi.org/10.3389/frobt.2023.1164950>.
- [6] 5GAA, "C-V2X Use Cases, Methodology, Examples and Service Level Requirements", 5GAA, Munich, Germany, 2021.
- [7] M. Fellendorf, "VISSIM: A microscopic simulation tool to evaluate actuated signal control including bus priority", In *Proceedings of the 64th Institute of Transportation Engineers Annual Meeting*, Dallas, TX, USA, pp. 1-9, Oct. 1994.
- [8] M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann, and D. Krajzewicz, "SUMO—Simulation of urban mobility: An overview", In *Proceedings of SIMUL 2011, the Third International Conference on Advances in System Simulation*, ThinkMind, Barcelona, Spain, pp. 23-29, Oct. 2011.
- [9] A. Halati, H. Lieu, and S. Walker, "CORSIM-corridor traffic simulation model", In *Proceedings of the Traffic Congestion and Traffic Safety in the 21st Century: Challenges, Innovations, and Opportunities*, ASCE & USDOT, Chicago, IL, USA, pp. 8-11, Jun. 1997.
- [10] PTV Group, "Manual PTV Vissim 2023", PTV Planung Transport Verkehr GmbH, Karlsruhe, Germany, Sep. 2022. <https://www.scribd.com/document/681631334/> [accessed: Jan. 03, 2025]
- [11] Atkins, "Research on the impacts of connected and autonomous vehicles (CAVs) on traffic flow", Department for Transport UK, 2016. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7f6967ed915d74e622a4bc/> [accessed: Jan. 03, 2025]

저자소개

김 연 아 (Yeona Kim)



2014년 2월 : 한국교통대학교
정보통신공학과(공학사)
2016년 2월 : 한국교통대학교
정보기술융합학과(공학석사)
2020년 3월 ~ 현재 :
한국교통대학교
교통에너지융합학과 박사수료 후

연구생

관심분야 : 차량통신, 협력자율주행, V2X통신

정 창 규 (Chang-Kyoo Jung)



1988년 2월 : 연세대학교
전자공학과(공학사)
1990년 2월 : 연세대학교
전자공학과(공학석사)
1995년 8월 : 연세대학교
전자공학과(공학박사)
1995년 ~ 현재 : 한국교통대학교

전자공학과 교수

관심분야 : 차량통신, MIMO, 이동통신시스템

문 철 (Cheol Mun)



1995년 2월 : 연세대학교
전자공학과(공학사)
1997년 2월 : 연세대학교
전자공학과(공학석사)
2021년 2월 : 연세대학교
전자공학과(공학박사)
2003년 8월 ~ 현재 :

한국교통대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 협력자율주행, V2X통신, 무선통신시스템