

# 자율주행차량의 윤리적 문제 점검을 위한 시뮬레이션 연구

## Analyzing Traffic Impacts of the Utilitarian Robotic Autonomous Vehicle

임 이 정\* · 김 관 용\*\* · 이 자 영\*\*\* · 황 기 연\*\*\*\*

\* 주저자 : 홍익대학교 도시계획과 박사수로  
 \*\* 공저자 : 한국교통연구원 교통빅데이터연구소 국가교통DB센터 연구원  
 \*\*\* 공저자 : 홍익대학교 도시계획과 석사과정  
 \*\*\*\* 교신저자 : 홍익대학교 도시공학과 교수

I-Jeong Im\* · Kwan-Yong Kim\*\* · Ja-Young Lee\*\*\* · Kee-Yeon Hwang\*\*\*\*

\* Dept. of Urban Planning, Univ. of Hongik  
 \*\* The Korea Transport Institute  
 \*\*\* Dept. of Urban Planning, Univ. of Hongik  
 \*\*\*\* Dept. of Urban Planning, Univ. of Hongik

† Corresponding author : Kee Yeon Hwang, keith@hongik.ac.kr

Vol.16 No.2(2017)

April, 2017  
 pp.55~72

ISSN 1738-0774(Print)  
 ISSN 2384-1729(On-line)  
<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.2.55>

Received 30 November 2016  
 Revised 29 December 2016  
 Accepted 16 March 2017

© 2017. The Korea Institute of  
 Intelligent Transport Systems. All  
 rights reserved.

### 요 약

자율주행차량은 다양한 사회 문제를 해결하기 위한 대안으로 각광받고 있다. 자율주행차량의 도입 및 관련 기술 개발 연구가 활발히 진행되고 있으나 자율주행차량에 탑재된 운행 알고리즘에 따른 실제 운행의 영향력에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 한정된 물리적 환경에서功利주의와 사회적 합의를 고려하여 차량 운행 중 발생 가능한 상황인 중앙선 침범 상황에 대한 시나리오를 설정하고 시뮬레이션을 통해 윤리적 판단이 필요한 상황에서의 자율주행차량의 운행에 따른 영향을 분석하였다. 분석 결과, 자율주행차량이 안전도를 판단하여 옆 차선으로 차선을 변경한 시나리오에서 사고에 따른 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 또한 자율주행차량의 판단에 따라 전방 충돌한 경우, 자율주행차량의 기능에 의해 교통류 개선 효과가 있음을 확인하였다.

핵심어 : 자율주행차량, 윤리적 판단,功利주의, 행위자 기반 모형, 넷로고

### ABSTRACT

Autonomous Vehicles(AV) are considered as an alternative to solve various social problems. Many researches which are related to developing technologies and AV operations have been conducted vastly and on-going. However, there seem to be little studies on various influences of AI algorithm on driving installed in AV. This study aims to examine the impacts of the ethical decisions made by Utilitarianism-based AI in AV when the oncoming car crossed over the central line. It establishes scenarios about situation of encroaching a central line and analyzes traffic impacts of ethical decision made by AV. According to the results of the analyses, as th accident occurs, overall speed of traffic decrease. There is a negative impact on the traffic flow when AV made an Utilitarian-based ethical decision by changing the lane. However, when AV choose to collide head-on, there is a positive effect to relieve traffic flow with an assistance of CACC, equipped.

Key words : Autonomous Vehicle, Ethical Problem, Utilitarianism, Agent-based Model, NetLogo

## I. 서론

### 1. 개요

현재 발생하고 있는 교통사고의 약 90%이상은 운전자의 부주의로 발생하고 있으며, 이에 따라 발생하는 사회비용과 다양한 사회문제를 해결하기 위한 궁극적인 대안으로써 신개념 이동수단인 자율주행차량이 대두되고 있다(Lee, 2016). 전 세계적으로 자율주행차량과 관련된 기술 개발 및 영향 분석 등 다양한 연구와 시험운행 및 상용화에 대한 논의가 지속되고 있다. 자율주행차량에 대한 관심이 높아지면서 차량의 운행에 따라 발생할 수 있는 윤리적 판단이 필요한 상황에 대한 우려가 커지고 있다. 또한 자율주행차량의 윤리적 판단 문제에 대한 논의가 제기되고 있으나 자율주행차량에 탑재된 운행 알고리즘에 따른 운행 영향력에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

자율주행차량은 일반적으로 운전자가 직접 운전하여 주행하였을 때 보다 발생하는 교통사고율이 낮을 것으로 예측되고 있으나 자율주행차량의 기술 개발은 기계가 아닌 인간에 의해 구현되기 때문에 안전에 대해 100%의 신뢰성을 보장하는 것은 어렵다. 자율주행차량의 운행에 따른 문제는 첫째로 자율주행차량의 주행 중 명확한 과실 여부를 판단할 수 없는 사고가 발생할 경우의 법적 책임의 문제, 둘째로 다양하고 복잡한 윤리적 판단을 통해 사고 대응방식의 우선순위를 결정해야하는 경우의 자율주행차량 운행 판단 능력의 합리성을 들 수 있다. 인간의 목숨과 개인의 물질적 피해와 직접적으로 연결되어 있는 차량사고의 경우, 어떠한 선택을 하더라도 선택이 옳다고 판단할 수 있는 윤리적 기준이 없으며 이는 자율주행차량의 차량사고에도 동일하게 해당된다. 따라서 본 연구에서는 주어진 조건하에서 차량 운행 중 윤리적 판단이 필요한 돌발 상황에 대한 시나리오를 설정하여, 시뮬레이션 결과를 토대로 자율주행차량의 판단에 따른 사고 및 교통 상황별 운행 영향을 분석하고자 한다.

### 2. 연구의 방법

본 연구에서는 한정된 물리적 환경에서 공리주의 윤리론과 사회적 합의를 고려하여, 발생 가능한 돌발 상황인 중앙선 침범에 대한 시나리오를 설정하여 시뮬레이션을 통해 자율주행차량의 윤리적 상황에서의 판단에 따른 영향을 도출하고자 하였다. 첫 번째로 자율주행차량의 정의와 함께 자율주행차량의 도입과 관련된 선행연구를 고찰하였다. 또한 본 연구의 이론인 행위자 기반모형(Agent-based Model)과 로봇윤리와 관련된 선행연구를 검토하였다. 두 번째로 본 연구에 적용될 자율주행차량의 특성을 결정하였으며, 윤리적 상황에 대한 시나리오를 설정하였다. 이를 토대로 행위자 기반모형을 적용한 시뮬레이션 환경을 구축하였으며, 시뮬레이션 환경은 NetLogo 5.3.1.을 이용하여 구축하였다. 마지막으로 시나리오별 시뮬레이션을 통해 중앙선 침범 상황에서의 자율주행자동차의 판단과 운행에 따른 영향을 도출하였다.

## II. 이론적 고찰

### 1. 자율주행차량(Autonomous Vehicle, AV)

#### 1) 자율주행차량(AV) 정의

지난 2015년 8월 개정된 「자동차관리법」에 따르면 자율주행 자동차는 운전자 또는 승객의 조작 없이 자동

차 스스로 운행이 가능한 자동차를 의미한다고 정의할 수 있다. 즉, 운전자가 운전에 직접적으로 개입하지 않고도 탑승자의 목적지까지 차량 스스로 운행하는 차량을 의미한다(Im et al., 2016). 자율주행자동차의 도입은 교통체증의 해소, 교통사고 절감, 산업융합 촉진 등 사회적으로 다양한 부분에서의 긍정적인 효과가 있을 것으로 예상되고 있다(Lee, 2014). 2013년 미국의 도로교통안전청(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)에서는 자율주행자동차 개발 흐름에 맞춰 자율주행차량의 시험운행을 위한 가이드라인을 발표하였으며, 자동화 기술 수준에 따라 0~4단계로 차량을 정의하였다(Cho and Moon, 2014).

## 2) 선행연구 고찰

Childress et al.(2015)의 연구에서는 자율주행차량 도입에 따른 교통 네트워크와 통행선택에 미치는 영향에 대해 분석하였다. Activity-based model을 토대로 용량증대, 통행 시간 고려, 주차비 절감 등을 고려한 4개의 시나리오를 구축하여 Seattle 지역을 대상으로 자율주행차량 운행에 따른 영향을 도출하고자 하였다. 자율주행차량이 도입되었을 때, 지역의 도로 용량과 통행의 질이 향상되고 온실가스 감소 효과가 있는 것으로 나타났다. Lee et al.(2015)의 연구에서는 자율주행차량의 도입이 혼잡 상황을 개선할 것이라 가정하였으며, 이를 분석하기 위하여 단일차선 연속류 도로의 혼잡 상황을 가정하여 운행에 따른 효과를 분석하였다. 분석 결과, 자율주행차량이 혼재되어 운행될 때 전체 교통류의 평균속도가 증가하고 혼잡 개선의 효과가 있음을 도출하였다. Park et al.(2015)의 연구에서는 자율주행차량 도입에 따른 고속도로 기본 구간의 교통류 변화를 분석하기 위하여, 시험운행 예정 구간인 경부고속도로 상행선(서울TG-신갈JC) 기본 구간을 대상으로 운행 영향을 분석하였다. 연구 결과, 서비스수준이 낮고 교통량이 많을수록 자율주행차량 도입에 따른 긍정적인 효과가 도출되는 것으로 나타났으며 자율주행차량 도입에 따른 긍정적인 효과가 있음을 확인하였다.

## 2. 행위자 기반 모형(Agent-based Model)

### 1) 행위자 기반 모형 이론(ABM)

행위자 기반 모형은 각각의 행위자의 움직임과 행위자 주변 변수를 행위자로 구분하여 개개인의 특성을 반영하여, 각 행위자들의 행태에 대한 미시적인 복잡계 시뮬레이션을 통해 상향적으로 거시적인 현상을 설명하는 모형이다( 개별 행위자와 상호작용하는 환경을 기본적인 구성요소로 구분하여 시스템을 구체화하고, 행위자 및 환경 변수 간의 상호작용에 따른 시스템을 변화를 시뮬레이션을 통하여 구현한다(Yang and Kim, 2012). 행위자의 움직임에 대한 구조적인 접근이 가능하고, 환경 내에서 행위자가 행위에 대한 의사결정을 내릴 수 있어 각각의 행태에 대한 미시적 현상 구현이 가능하여 다양한 분야의 연구에서 활용되고 있다(Gilbert, 2008).

NetLogo는 Multi-Agent 시뮬레이션 프로그램으로써 복잡한 자연 및 사회 현상의 구현이 가능하며, 각각의 행위자와 행위자 간 발생하는 상호작용에 대해 분석할 수 있다. 구현 환경은 확장된 Logo 언어를 사용하며, 연구자가 원하는 환경에 따라 모델을 구현할 수 있다. 또한 각각의 행위자에 대한 속성 및 특성을 개별적으로 적용할 수 있어, 원하는 연구의 방향성을 적용할 수 있다는 장점이 있다(Tisue and Wilensky, 2004).

### 2) 선행연구 고찰

Arnaout et al.(2010)는 행위자 기반 모형과 NetLogo를 활용하여 고속도로 환경에서 Intelligent car가 운행될 때의 혼잡 완화 효과를 분석하고자 하였다. IntelliDrive 기술이 적용된 차량과 적용되지 않는 차량의 운행에 따른 효과를 분석한 결과, IntelliDrive 기술이 적용된 차량이 운행될 경우의 평균 속도가 증가하며 혼잡 완화

의 효과가 있음을 확인하였다. Ma et al.(2012)의 연구에서는 CACC(Cooperative Adaptive Cruise Control) 기술 도입에 따른 이동성 및 효과 분석을 위해 행위자 기반모형을 활용한 연구를 진행하였다. 연구 결과, 교통량이 작거나 큰 상황, 신호가 없는 상태에서 CACC 기술 적용이 교통 체증으로 인한 정차 횡수를 감소시켜 운전의 비효율성을 개선한다는 긍정적인 효과가 있음을 도출하였다. Im et al.(2015)의 연구에서는 행위자 기반모형과 NetLogo를 활용하여 Personal Mobility(PM)의 도입에 따른 효과를 분석하였다. 연구 결과에 따르면 2차선 연속류 환경에서 일반차량 대비 PM의 혼입률이 높아짐에 따라 교통 혼잡 완화의 효과가 있음을 도출하였다.

### 3. 로봇윤리

#### 1) 로봇윤리 및 관련 윤리론

로봇윤리란 로봇공학의 실행과 광범위하게 연관된 윤리적 물음들을 다루는 분석과 평가의 토론의 체계를 뜻하며 다양한 맥락에서 로봇윤리는 논의되고 있다(Ko, 2014). 로봇윤리는 크게 세 가지 의미로 나누어 설명할 수 있는데 첫째, 응용윤리학의 한 영역으로 로봇의 도입에 따라 발생하는 윤리적 쟁점에 대한 연구라는 의미로 사용된다. 둘째로 로봇 자체에 장착되어야 할 윤리적 규범 또는 일종의 도덕률이라는 의미로도 사용되며 프로그래머의 프로그래밍 코드가 로봇의 윤리적 규범이 된다. 셋째로 로봇 자체의 윤리라는 의미로 사용되는데 이는 로봇이 윤리적 행위자가 될 수 있음을 전제로 하여, 로봇이 인간과 같이 자유의지를 가지고 스스로 윤리적·도덕적 행위를 할 수 있다고 보는 관점으로 설명할 수 있다(Lin et al., 2011).

로봇윤리에 대한 접근법은 로봇은 윤리적 행위자 또는 주체인 인공지능도덕행위자로 만들 것인가의 문제가 로봇윤리의 접근법으로 다뤄질 수 있다. 접근법은 상향식 접근법, 하향식 접근법, 혼합형 접근법 등 3가지로 제시되고 있다. 상향식 접근법은 로봇이 경험을 토대로 윤리적 판단 능력을 학습하는 것을 의미하며 기계학습(Machine Learning)과 같이 로봇 스스로 윤리적 지식을 습득하도록 하는 것을 예로 들 수 있다. 하향식 접근법은 사전에 논의된 일정 규칙에 따라 로봇윤리를 구성하는 방법이다. 하향식 접근법에서는 접근법을 구현할 알고리즘을 찾는 것이 중요하며, 대표적으로 의무 체계를 따르는 의무론과 사회적 효용 등 특정한 효용의 극대화를 목표로 하는 공리주의, 행위자 중심의 플라톤과 아리스토텔레스의 윤리론을 들 수 있다(Lee and Oh, 2016; Byeon and Song, 2015).

윤리적 행위를 중요시하는 행위론적 윤리설로는 의무론적 윤리설과 공리주의 윤리설을 들 수 있다. 의무론적 윤리설은 윤리적 정당성의 판단기준으로써 행위의 결과를 배제하고 행위의 동기를 의무기준으로써 판단하는 윤리설이다. 의무론적 윤리설은 상충되는 두 가지의 윤리 의무가 발생될 경우 명확한 판단기준이 없고 어떠한 의무론을 선택해야 하는지에 대한 해답을 제시하지 않는다는 한계가 있다. 의무론적 윤리설과 반대로 공리주의 윤리설은 윤리적 정당성의 판단 기준으로 행위의 동기를 배제하고 행위의 결과와 효용의 의무기준으로 판단하는 윤리설이다. 이 경우, 최대다수의 최대행복이라는 가설 아래, 다수의 행복을 위해 개인의 행복이 무시될 수 있는 위험이 있다. 윤리적 행위의 주체인 행위자 중심의 윤리설로는 플라톤과 아리스토텔레스의 윤리설을 들 수 있다. 플라톤의 윤리설에 따르면 정당한 행위 공식 및 윤리법칙을 적용할 수 없어 행위자의 판단이 중요하게 작용하게 된다고 하였다. 일반적인 윤리공식에 따른 행위기준을 설정할 수 있으나 구체적인 행동기준을 설정할 수 없다는 한계가 있다. 아리스토텔레스의 윤리설은 행위의 목적은 행복이라는 가설아래, 윤리적 행위 기준 대신 행위자의 특성을 기준하기 때문에 개발자의 주관적 성향이 반영되어 객관적인 구현이 어렵다는 한계가 있다(Lee, 2016).

본 연구에서는 행위론적 윤리설인 공리주의 윤리설을 기반으로 연구를 진행하였다. 의무론적 윤리설의 경

우, 명확한 판단기준을 제시하고 있지 않기 때문에 윤리적 문제에 적용하는 것에는 한계가 있다고 판단하였다. 공리주의는 다수의 행복에 따라 희생하는 것이 옳다는 명제가 있고, 현실적 사고 대처방안을 제시할 수 있을 것이라 판단하였다.

## 2) 선행연구 고찰

Goodall(2014)은 자율주행차량의 운행에 따라 발생할 수 있는 차량 충돌 상황을 분석하기 위하여 특정 상황에서의 윤리적 행동의 필요성을 논의하였다. 결과에 따르면, 자율주행차량은 차량 충돌 상황에 다치면 충돌할 수밖에 없으며, 충돌 전 자율주행차량의 판단은 도덕적 요소를 담고 있으며 인간의 윤리를 소프트웨어로 담는 것에는 한계가 있다고 하였다. 충돌 알고리즘을 개발하기 위한 합리적 접근법, 인공지능 접근법, 자연 언어 처리 방법의 3단계 접근 방식을 제시하였으며 단계적으로 기술에 따라 구현되어야 한다고 하였다. Kumfer et al.(2015)의 연구에서는 자율주행차량에 서로 다른 윤리론이 적용되어 운행될 경우의 사고의 영향을 분석하였다. Matlab을 활용하여 사고 실험을 수행하였으며, 실험별 사망자수와 사고의 수를 측정하였다. 연구 결과에 따르면 공리주의를 적용하였을 때, 가장 적은 사망자수가 발생하는 것으로 나타났으며 이는 자율주행차량의 V2V 기능이 구현된 것이며 사회적 편익을 고려한다면 공리주의가 최선의 답이 될 것이라고 하였다. Bonnefon et al.(2016)의 연구에서는 자율주행차량의 윤리적 딜레마에 대한 연구를 위하여 설문조사를 통해 자율주행차량의 자기희생에 대한 사람들의 반응을 조사하였다. 분석 결과에 따르면 자율주행차량이 자기 희생하는 경우에 대해 큰 반감을 가지는 것으로 나타났으며, 자신보다는 타인이 공리주의적인 자율주행차량을 구입하고 운행하기를 희망한다는 결과를 도출하였으며 사회적인 딜레마가 존재한다고 하였다.

## 3) 기존 연구와의 차별성

선행연구를 검토한 결과, 자율주행차량의 도입에 따른 영향을 분석한 다양한 연구와 교통 분야의 행위자 기반 모형을 활용한 다양한 시뮬레이션 연구가 있음을 확인하였다. 자율주행차량의 윤리적 문제와 관련된 연구들 또한 진행되고 있음을 확인하였다. 그러나 윤리적 문제 발생 시의 자율주행차량의 윤리적 판단에 따른 운행 영향을 분석한 효과는 부족한 것으로 판단하였다.

따라서 본 연구에서는 자율주행차량의 운행 시 발생 가능한 돌발 상황이 발생하였을 때를 가정하여, 시뮬레이션 환경을 구축하고 자율주행차량의 윤리적 판단에 따른 운행 영향을 분석하고자 하였다. 자율주행차량의 판단에 따른 시나리오를 설정하였으며 시나리오별 교통류 흐름을 분석하였다.

# Ⅲ. 연구방법론

## 1. 분석의 틀

본 연구의 행위자 기반모형에 따라 전체 차량을 행위자로 설정하였으며 크게 자율주행차량과 일반차량으로 구분할 수 있다. 또한 사고 상황에 따라 행위자를 자율주행차량, 대항차량(사고 유발 차량), 차선 변경 시 접촉 사고 발생 가능 차량(옆 차선 주행 차량)으로 세분하였다. 분석 구간은 가상의 왕복 4차로의 고속도로 1km구간으로 설정하였으며, 교통류 상황별 자율주행차량 판단에 따른 영향을 측정하기 위하여 고속도 서비스 수준 LOS A / C / E 상황별로 시뮬레이션을 실행하였다. 중앙선 침범 사고 상황은 시뮬레이션 실행 5분 후에 발생하도록 설정하였으며 침범 10분 이후의 교통류 흐름을 분석하였다. 이는 선행연구를 고찰하여 전

체 사고의 50% 이상이 10분 초과, 30분 이내에 도로 상황이 복구된다는 점을 고려하여 사고 후 15분후까지 고려하였다(Lee et al., 2012). 이때 초기 5분은 분석에서 제외하였으며 시뮬레이션 분석 횟수는 LOS 수준 별로 발생 가능한 모든 상황이 도출될 수 있도록 30회 이상 반복 수행하여 결과를 도출하였으며 정리한 내용은 <Table 1>이며 LOS 기준은 <Table 2>와 같다.

<Table 1> Modeling Summary

Classification	Description
Environment	Virtual Two-way Highway section (1km, 4-lane)
Agents	Autonomous Vehicle, Car(Non AV)
Analysis time	10 minutes After accident
Frequency	Min. 30 times by LOS

<Table 2> Level of Service(25)

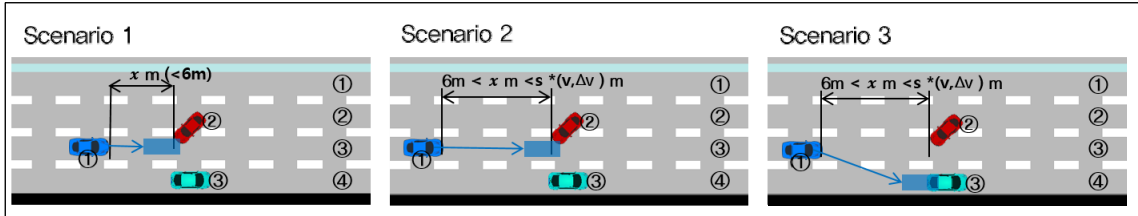
LOS	Density (pc/kmpl)	Desired Speed(120kmph)	
		Traffic Volume (pc/hpl)	v/c
A	≤ 6	≤ 700	≤ 0.30
B	≤ 10	≤ 1,150	≤ 0.50
C	≤ 14	≤ 1,500	≤ 0.65
D	≤ 18	≤ 1,900	≤ 0.83
E	≤ 28	≤ 2,300	≤ 1.00
F	> 28	-	-

## 2. 시나리오 설정

본 연구의 시나리오는 대항 차량이 운행 중 중앙선을 침범할 경우를 가정하여 자율주행차량의 상황 판단에 따른 교통류 흐름을 분석하고자 하였다. 공리주의적 입장에서 사회비용이 적고 최대 다수가 행복을 실현할 수 있는 상황을 구현하기 위하여 안전성을 판단 요소로 설정하였다. 이에 따라 중앙선 침범 상황 발생 시 자율주행차량이 대항차량의 안전성을 판단하여 충돌하거나 회피할 수 있도록 설정하였다. NetLogo 상에서 특정 지점에서 중앙선 침범 사고가 발생할 수 있도록 코딩하였으며, 다음에 따라 시나리오를 설정하였다.

중앙선 침범 상황에서 자율주행차량이 내릴 수 있는 판단을 가정하여 시나리오를 3가지로 설정하였다. 전체 시나리오는 안전성을 기준으로 사고가 발생할 수 있도록 하였다. 우선 일반차량의 안전성은 0로 설정하였으며, 자율주행차량의 안전성은 1과 2로 구분하였다. 이는 차량의 안전성에 대한 가중치를 구분하였으며 숫자가 높을수록 안전성이 높다. 또한 자율주행차량의 안전성은 일반차량에 대비하여 높게 설정하였다. 또한 사고 유형을 중상·경상·부상으로 구분하였다. 자율주행차량은 대항 차량의 위치가 최소정지시거보다 작고 6m 이내일 경우에 상황을 판단할 수 있도록 설정하였으며, 대항 차량과 옆 차선에서 주행하고 있는 차량은 일반차량 또는 자율주행차량이 될 수 있도록 설정하였다. 시나리오 1의 경우, 운행 중인 자율주행차량이 상황 판단을 못하여 사고가 발생한 상황을 가정하였으며, 시나리오 2와 3의 경우, 운행 중인 자율주행차량이 대항 차량과 옆 차선 주행 차량을 비교하여 안전도에 따라서 충돌할 차량을 선정하여 사고가 발생하도록 하

였다. 안전거리가 충분히 확보된 상황에서는 사고가 나지 않도록 하였으며 이에 대한 내용은 <Fig. 1>과 <Table 3>과 같다.



<Fig. 1> Description of Scenario(Virtual Driving Environment)

<Table 3> Scenario Summary

Situation	Scenario	Description
Crash	Scenario 1	AV and non-AV(or AV) collide head-on. (If AV can not judge the situation)
	Scenario 2	AV and non-AV(or AV) collide head-on. (If AV judges ② is safer than ③)
	Scenario 3	AV and non-AV(or AV) collide head-on. (If AV judges ③ is safer than ②)

### 3. 평가지표

교통사고는 사고의 정도에 따라 사고 비용을 계산할 수 있다. 본 연구에서는 사고 난 차량의 안전도에 따라 교통사고 등급별 사고 비용을 산출하였다. 등급별 사고 비용은 의료비용과 차량손실비용의 추정 값을 적용하였으며 산출 식은 다음의 식(1)과 같다.

$$CAC = MC + CVL + OIE \tag{1}$$

- 여기서, CAC(Car Accident Costs): 교통사고 비용,
- MC(Medical Costs): 의료비용,
- CVL(Cost of Vehicle Loss): 차량손실비용
- OIE(Others Incidental Expense): 기타비용

으로 식을 도출하였으며, 비용은 교통사고 등급별로 <Table 4>와 같이 산출하였다(Lee and Shim, 1998).

교통사고로 인해 교통체증이 없었던 상황에서 줄일 수 있는 불필요한 차량 운행비와 시간 손실을 환산하기 위하여 중앙선 침범 사고에 따른 교통혼잡비용을 산출하였다. 교통혼잡비용을 산출하기 위하여 기존 문헌을 토대로 차종 별 평균 시간 가치 비용을 적용하였으며 산출 식은 다음의 식(2)과 같다(Jo and Hwang, 2010; Lee et al., 2012; Byeon et al., 2009).

$$TGC = (TTAT - BT) \times (TVCV) \times (TTV) \times (DA) \tag{2}$$

- 여기서, TGC(Traffic Congestion Costs) : 구간교통혼잡비용,
- TTA(Travel Time after Traffic Accident) : 교통사고 발생 후 구간 통과 시간,

BTT(Basic Travel Time) : 기준 구간 통과 시간,

TVCV(Time Value Costs by Vehicle type) : 차종별 평균 시간 가치 비용,

TTV(Through Traffic Volume) : 통과교통량,

DA(Delay time) : 교통사고 지연시간

으로 식을 도출하였으며, 차종별 평균시간 가치 비용은 기존의 선행연구를 고찰하여 다음의 <Table 5>와 같이 정리하였다(MOLIT, 2009).

<Table 4> Accident Costs by Accident-class

Class	MC	CVL	OIE	CAC
Serious Injury(jerk=0)	1,399.6	419.0	1135.8	2,954.4
Minor Injury(jerk=1)	379.2	232.8	177.7	789.7
Slight Injury(jerk=2)	214.9	163.0	75.5	453.4

Note: a number in the ten thousands(won)

<Table 5> Time value Costs by Vehicle type

Class	Car	Bus	Truck
Time Value Costs	14,587	65,493	12,492

Note: Won by hour

#### 4. 자율주행차량 특성

본 연구의 자율주행차량은 완전자율주행차량으로 설정하였다. 첫째로 자율주행차량이 다른 운행 차량 및 인프라와 통신이 가능하여 정보를 공유하여 운행의 효율성을 높일 수 있는 CACC(Cooperative Adaptive Cruise Control) 기술을 적용하였다. 두 번째로 일정 거리를 유지하여 차량 간 안전거리를 확보하여 운행할 수 있는 기능인 군집주행(Platooning) 기술을 적용하였다.

본 연구에서는 일반 차량과 자율주행차량에 적용될 수 있는 차종추종모형인 IDM(Intelligent Driver Mode)을 활용하였다. IDM은 차량의 운행에 따라 차량이 앞차와 최소 안전거리를 유지하며 최고 속도에 도달할 수 있도록 고안된 모형이며 차량의 가속도에 따른 계산식은 다음의 식(3)과 같다(Treiber et al., 2000).

$$\dot{v}(s, v, \Delta v) = a \left[ 1 - \left( \frac{v}{v_0} \right)^4 - \left( \frac{s^*(v, \Delta v)}{s} \right)^2 \right] \quad (3)$$

여기서,  $\dot{v}$ : 가·감속도(m/s<sup>2</sup>)

$v_0$ : 최고속도(km/h)

$a$ : 최대 가속도(m/s<sup>2</sup>)

$v$ : 주행속도(km/h)

$s^*(v, \Delta v)$ : 선행차량과 최소 안전거리(m)

$s$ : 선행차량과의 차간거리(m)



본 연구에서는 최고속도를 120kph로 설정하고 최소 안전거리에 정지시거를 적용하여 시뮬레이션을 구축하였다. 정지시거는 기준차량의 주행속도와 선행차량의 주행속도, 반응시간에 따라 결정되며 식(4)와 같다.

$$D = d_1 + d_2 = \frac{v}{3.6} \cdot t + \frac{v^2}{2g \cdot f(3.6)^2} \quad (4)$$

- 여기서,  $D$ : 정지시거(m)
- $t$ : 반응시간(sec)
- $v$ : 기준차량 주행속도(km/h)
- $v_0$ : 선행차량 주행속도(km/h)
- $g$ : 중력가속도(9.8m/s<sup>2</sup>)
- $f$ : 마찰계수

본 연구에서는 차종추종모형인 IDM과 함께 적용될 수 있도록 고안된 차선변경모형인 MOBIL(Minimizing Overall Braking Induces by Lane changing)을 적용하여 안전기준을 만족할 경우에만 차선을 변경할 수 있도록 설정하였다. 안전기준은 차선을 변경할 경우, 추종차량이 급격히 감속할 필요가 없는 경우이며 차선 변경 이후 새로운 추종차량의 감속도가 임계차량의 감속도를 넘지 않도록 설정되어있으며 식(5)와 같다(Kesting et al., 2007).

$$\tilde{a}_n \geq -b_{safe} \quad (5)$$

- 여기서,  $\tilde{a}_n$ : 차선변경 이후 새로운 추종차량의 감속도(m/s<sup>2</sup>)
- $-b_{safe}$ : 임계감속도(sec)

차선변경모형인 MOBIL의 경우, 효율 기준과 차선변경에 따른 영향을 고려하여 차선변경 여부를 결정한다. 기준 차량과 차선 변경 목표 차선의 후행차량과 기준 차량의 후행차량의 가속도 변화를 계산하여 속도의 가감속 정도를 비교하여 차선을 변경하며 식(6)과 같다.

$$\tilde{a}_c - a_c + p(\tilde{a}_n - a_n + \tilde{a}_o - a_o) > \Delta a_{th} \quad (6)$$

- 여기서,  $a_c$ : 기준차량 가속도(m/s<sup>2</sup>)
- $a_n$ : 목표 차선 후행차량 가속도(m/s<sup>2</sup>)
- $a_o$ : 기준차량의 후행차량 가속도(m/s<sup>2</sup>)
- $\tilde{a}_c$ : 차선변경 이후 기준차량의 가속도(m/s<sup>2</sup>)
- $\tilde{a}_n$ : 차선변경 이후 새로운 추종차량의 감속도(m/s<sup>2</sup>)
- $\tilde{a}_o$ : 차선변경 이후 기존 차선의 추종차량의 감속도(m/s<sup>2</sup>)
- $p$ : 주변차량 고려 지수(0~1)
- $\Delta a_{th}$ : 효율 임계값(0~1m/s<sup>2</sup>)

주변차량 고려 지수의 값이 클수록 차선 변경 시 주변 차량을 고려하며, 효율 임계값은 차선 변경에 대한

효용 값으로 값이 작을수록 작은 효용에도 차선을 변경하는 것을 의미한다.

시뮬레이션의 차량 속성변수에 대한 내용은 <Table 7>과 같다. 설계속도(최고속도,  $v_0$ )는 현행 경부 고속도로의 제한속도를 기준으로 하였으며, 일반 차량의 경우 가속이 가능하나 자율주행차량은 제한속도를 지키도록 설정하였다. 최대 가속도( $a$ )의 경우, 기존 선행연구에서 도출된 평균 추월가속성능 실험값을 참고하였다(Kim and Lee, 2006). 현재 적용되는 운전자 인지반응시간 2.5초는 과대 추정되었다고 판단하여, 선행연구를 고찰하여 일반 차량의 인지반응시간( $t$ )은 1.4초를 기준으로 설정하였으며, 자율주행자동차의 인지반응시간은 CACC 기술의 센싱 딜레이를 고려하여 0.5초로 설정하였다(Ju et al., 2010; Jang et al., 2011; Lee et al., 2001). 미끄럼 마찰계수( $f$ )는 일반적인 맑은 날을 기준으로 하여 0.8로 적용하였다(KFSA, 2014). 이 외의 변수는 차선변경모형(MOBIL)의 변수 값을 적용하였으며, 안전도( $\Delta j_{th}$ )의 값은 시나리오에 따라 구분하여 적용하였다.

<Table 6> Variable values of Vehicles

Variable	Description	Variable values of Vehicle type	
		Car	Autonomous Vehicle
$v_0$	Desired speed(km/h)	110 ±10	110
$a$	Maximum acceleration(m/s <sup>2</sup> )	2.2 ±0.1	2.2 ±0.1
$t$	Response time(sec)	1.4 ±0.15	0.5
$f$	Road-tire coefficient of sliding friction	0.8	
$-b_{safe}$	Safe deceleration threshold value(m/s <sup>2</sup> )	- 1.5	
$Platoon$	Platoon Spacing(m)	-	6
$p$	Politeness index	0.5	1
$\Delta a_{th}$	Lane change utility threshold value(m/s <sup>2</sup> )	0.5	1
$\Delta j_{th}$	Jerk threshold value(m/s <sup>3</sup> )	0.0	1.0/ 2.0

## IV. 분석 결과

### 1. 밀도별 분석

#### 1) LOS A 수준

도로의 주행하는 차량들이 자유통행이 가능한 상태인 LOS A 수준에서의 중앙선 침범에 따른 자율주행차량의 운행에 따른 영향을 확인한 결과는 <Table 7>, <Fig. 2>와 같다. 자율주행차량이 판단을 하지 못하여 충돌사고가 발생한 시나리오 1 상황의 교통류 흐름을 보면 전반적인 통행속도가 감소하였다가 일부 개선되는 것으로 나타났다. 사고 발생 10분 후, 자율주행차량의 주행 방향 차선의 평균통행속도가 초기 속도에 비해 9% 정도 감소하는 것으로 확인되었다.

자율주행차량이 차량의 안전성을 판단하여 대항차량과 충돌사고가 발생한 시나리오 2 상황의 교통류 흐름을 보면 전반적인 통행속도가 감소하였으나 사고 발생 5분 후에는 앞선 시나리오 1 상황에 비해 소폭으로 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 자율주행차량이 순간적으로 안전성을 판단하고 사고가 발생했기 때문에 예측 없이 발생한 시나리오 1에 비해 속도가 소폭으로 감소한 것으로 판단된다.

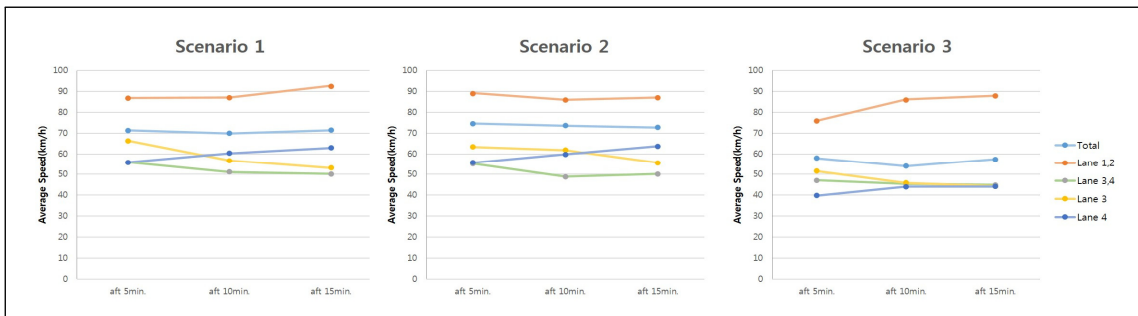
자율주행차량이 안전성을 판단하고 옆 차선의 주행차량과 충돌사고가 발생한 시나리오 3 상황의 교통류

흐름을 보면 앞선 두 시나리오 상황에 비해 큰 폭으로 통행속도가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 시나리오 1과 2의 경우, 사고로 인해 사고가 발생하지 않은 한 차선만을 이용하여 통행이 가능했던 반면에 시나리오 3의 경우에는 2차로 전체가 사고로 인하여 통행이 불가하기 때문에 앞선 시나리오들에 비해 통행속도가 큰 폭으로 감소한 것으로 나타났다.

<Table 7> Simulation Results of LOS A

Situation		Lane	aft. 5min	aft. 10min	aft. 15min
LOS C	Scenario 1	1, 2	86.86	87.11	92.72
		<b>3, 4</b>	<b>55.79</b>	<b>51.10</b>	<b>50.12</b>
		3	66.31	56.72	53.06
		4	55.78	60.36	62.95
		<b>Total</b>	<b>71.33</b>	<b>69.86</b>	<b>71.42</b>
	Scenario 2	1, 2	89.16	86.03	87.17
		<b>3, 4</b>	<b>55.21</b>	<b>48.83</b>	<b>50.13</b>
		3	63.29	61.87	55.63
		4	55.71	59.72	63.67
		<b>Total</b>	<b>74.59</b>	<b>73.60</b>	<b>72.72</b>
	Scenario 3	1, 2	75.88	86.13	88.02
		<b>3, 4</b>	<b>47.06</b>	<b>45.43</b>	<b>44.94</b>
		3	51.53	45.93	44.28
		4	39.78	44.07	44.17
		<b>Total</b>	<b>57.93</b>	<b>53.99</b>	<b>57.39</b>

Note: Average speed of lane(s), Time mean speed(km/h)



<Fig. 2> Analysis Results of Each Scenario of LOS A

## 2) LOS C 수준

전반적인 도로의 서비스 질이 떨어지기 시작하는 상태인 LOS C 수준에서의 중앙선 침범 상황에서의 자율주행차량의 판단에 따른 운행 영향을 확인한 결과는 <Table 8>, <Fig. 3>과 같고 LOS A 수준에 비해 교통량이 늘어나 속도의 감소폭이 더 큰 것으로 나타났다.

시나리오 1 상황의 교통류 흐름을 보면 전반적인 통행속도가 감소하는 것으로 나타났다. 차선 통제로 인하여 차량들이 차선을 4차로로 변경하면서 사고 발생 5분 후에는 초기 속도에 비해 약 12% 정도 속도가 감

소하는 것으로 나타났다. 그러나 사고 발생 10분 후에는 초기 속도의 수준으로 교통류 흐름이 개선되는 것으로 나타났다.

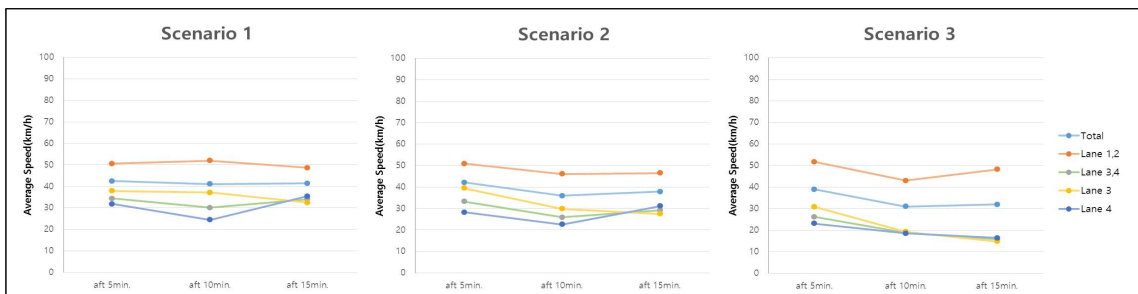
시나리오 2 상황의 교통류 흐름을 보면 전반적인 통행속도가 감소하였고 앞선 시나리오 1 상황보다 큰 폭으로 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 시나리오 1과 같이 사고 발생 5분후에는 약 21% 정도 속도가 감소였으며, 발생 10분후에는 약 15% 정도 속도가 증가하여 교통류 흐름이 소폭 개선된 것으로 나타났다.

시나리오 3 상황의 교통류 흐름을 보면 앞선 두 시나리오 상황에 비해 큰 폭으로 통행속도가 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 앞선 두 시나리오의 경우 사고 발생 10분 후에 사고 초기 속도와 근접한 수준으로 속도가 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 시나리오의 3의 경우, 두 차선이 통제되었기 때문에 속도의 개선 효과가 발생하지 않고 오히려 교통류의 흐름이 악화되는 것으로 나타났으며 초기 속도에 비해 약 43% 정도 속도가 감소하는 것으로 나타났다.

〈Table 8〉 Simulation Results of LOS C

Situation		Lane	aft. 5min	aft. 10min	aft. 15min
LOS C	Scenario 1	1, 2	50.60	51.99	48.68
		<b>3, 4</b>	<b>34.35</b>	<b>30.09</b>	<b>34.02</b>
		3	37.84	37.09	32.38
		4	31.79	24.41	35.40
		<b>Total</b>	<b>42.47</b>	<b>41.04</b>	<b>41.35</b>
	Scenario 2	1, 2	50.93	46.10	46.54
		<b>3, 4</b>	<b>33.31</b>	<b>25.91</b>	<b>29.26</b>
		3	39.50	29.82	27.46
		4	28.27	22.55	31.10
		<b>Total</b>	<b>42.12</b>	<b>36.01</b>	<b>37.90</b>
	Scenario 3	1, 2	51.72	43.01	48.23
		<b>3, 4</b>	<b>26.18</b>	<b>18.91</b>	<b>15.77</b>
3		30.92	19.27	14.85	
4		23.11	18.60	16.47	
<b>Total</b>		<b>38.95</b>	<b>30.96</b>	<b>32.00</b>	

Note: Average speed of lane(s), Time mean speed(km/h)



〈Fig. 3〉 Analysis Results of Each Scenario of LOS C

### 3) LOS E 수준

고속도로의 용량이 포화 상태인 LOS E 수준에서의 중앙선 침범 상황에서의 자율주행차량의 판단에 따른

운행 영향을 확인한 결과는 <Table 9>, <Fig. 4>와 같다.

시나리오 1 상황 분석 결과, 전반적인 통행속도가 감소하는 것으로 나타났다. 사고의 여파로 인하여 전반적인 속도가 감소하는 것으로 나타났으며, 앞선 LOS C 수준과 달리 사고 발생 10분 후에 사고 초기 속도로 개선되지 않는 것으로 나타났다.

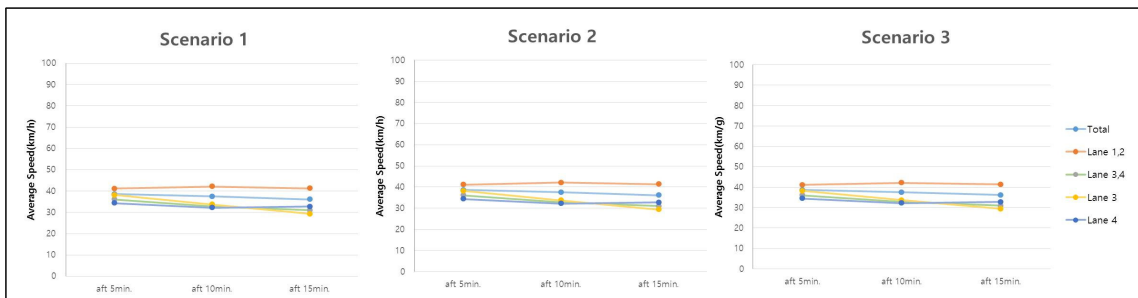
시나리오 2 상황 분석 결과, 전반적인 통행속도가 감소하였고 앞선 시나리오 1 상황보다 큰 폭으로 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 사고 발생 이후, 사고가 발생한 차선의 차량들이 차선을 변경하면서 사고 5분 이후 지체가 발생하여 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 사고 발생 10분 이후에 속도가 개선되는 것으로 나타났으나 초기 사고 직전의 수준으로는 개선되지 않는 것으로 나타났다. 특이점으로는, 사고 발생 도로에서 사고가 발생했음에도 불구하고 속도가 일부 개선되었다가 다시 낮아지는 현상을 확인할 수 있었는데, 이는 초기 사고 이후 시나리오 1과 같이 지속적으로 속도가 감소할 것이라고 예측한 것과 달리 NetLogo의 토러스 환경으로 인해 차량의 사고에 따른 영향이 뒤늦게 발현되어 관찰된 것이라 사료된다.

시나리오 3 상황 분석 결과, 앞선 시나리오 1과 2에 비해 큰 폭으로 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 3, 4차로가 사고로 인해 폐쇄되면서 초기 속도에 비해 약 34% 정도 속도가 감소하는 것으로 나타났다.

<Table 9> Simulation Results of LOS E

Situation		Lane	aft. 5min	aft. 10min	aft. 15min
LOS E	Scenario 1	1, 2	41.14	42.14	41.31
		<b>3, 4</b>	<b>36.08</b>	<b>32.85</b>	<b>30.96</b>
		3	38.14	33.70	29.32
		4	34.40	32.16	32.74
		<b>Total</b>	<b>38.61</b>	<b>37.49</b>	<b>36.13</b>
	Scenario 2	1, 2	39.11	37.76	39.64
		<b>3, 4</b>	<b>28.31</b>	<b>24.64</b>	<b>26.88</b>
		3	33.17	34.88	32.06
		4	24.82	18.03	22.22
		<b>Total</b>	<b>33.71</b>	<b>31.20</b>	<b>33.26</b>
	Scenario 3	1, 2	39.24	38.67	38.30
		<b>3, 4</b>	<b>22.62</b>	<b>21.18</b>	<b>15.83</b>
		3	27.98	20.78	15.90
		4	18.92	21.47	15.72
		<b>Total</b>	<b>30.93</b>	<b>29.93</b>	<b>27.07</b>

Note: Average speed of lane(s), Time mean speed(km/h)



<Fig. 4> Analysis Results of Each Scenario of LOS E

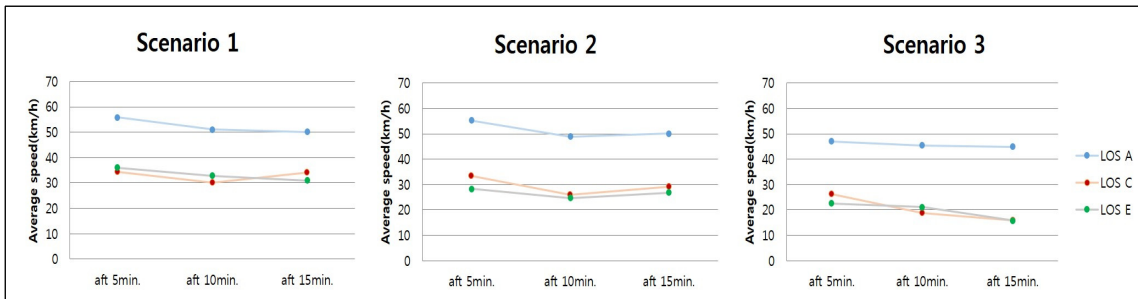
## 2. 종합 분석

### 1) 시나리오-밀도별 비교 분석

시나리오에 따른 LOS 수준별 시뮬레이션 결과를 비교 분석한 결과는 <Fig. 5>와 같다. 자율주행차량이 판단을 하지 못하고 중앙선 침범한 차량과 충돌 사고가 발생한 시나리오 1의 경우, LOS A 수준에서의 속도 감소폭은 큰 것으로 나타났고 LOS C, E 수준에서는 시나리오 2와 비슷한 정도로 평균통행속도가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 다른 시나리오에 비해 LOS C, E 수준에서의 평균통행속도 감소폭은 작을 것으로 나타났다.

자율주행차량이 안전성을 판단하고 중앙선 침범한 차량과 충돌 사고가 발생한 시나리오 2의 경우, LOS A 수준에서는 평균통행속도가 사고 발생 시점의 평균통행속도와 비슷한 수준을 유지하나, 사고 발생 10분 후에는 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 LOS C, E 수준에서의 평균통행속도는 앞선 시나리오 1에 비해 큰 폭으로 평균통행속도가 감소하는 것으로 나타났다. 특이점으로는 시나리오 2의 경우, 사고 발생 10분 이후에 평균통행속도가 증가하여 사고 이후 교통류 흐름이 일부 개선되는 것으로 나타났다. 이는 자율주행차량의 판단으로 인하여 사고 대상 차량을 선정하였고, 차량 간 통신으로 사고 판단의 정보전달이 이루어져 후행 차량들의 차선 변경과 안전거리 확보로 인해 교통류가 개선된 것으로 판단된다.

자율주행차량이 안전성을 판단하고 차선변경을 하여 옆 차선의 선행 차량과 충돌사고가 발생한 시나리오 3의 경우, 앞선 시나리오 1, 2에 비해 큰 폭으로 평균통행속도가 감소하는 것으로 나타났으며 교통류 개선의 효과가 없는 것으로 나타났다. 이는 자율주행차량이 안전성을 판단하여 옆 차로의 선행 차량과 충돌했음에도 불구하고, 사고로 인하여 두 차선이 폐쇄되었기 때문에 이러한 결과가 도출된 것으로 판단된다.



<Fig. 5> Overall Analysis

### 2) 교통 혼잡 비용 및 사고비용 산정

중앙선 침범 사고 시뮬레이션 분석 결과에 따라 교통혼잡비용을 산출한 결과는 <Table 10>과 같다. 산출 결과에 따르면 전체 LOS 수준에서 시나리오 3 상황 발생 시에 교통혼잡 비용이 가장 큰 것으로 나타났다. LOS A와 E 수준에서는 시나리오 2 상황 발생 시에 교통혼잡비용이 가장 작은 것으로 나타났으며, LOS C 수준에서는 시나리오 1 상황에서의 교통혼잡비용이 가장 작은 것으로 나타났다. 자율주행차량의 판단 여부의 차이가 있는 시나리오 1과 2의 경우, 사고의 양상이 비슷하여 교통혼잡비용이 비슷한 수치로 산출되었다. 시나리오 3 상황의 경우, 두 차선이 폐쇄되어 교통혼잡비용이 크게 산출되었다.

안전도 별로 교통사고 등급을 설정하고, 각 등급 별 사고 비용 추정 값을 적용하여 시뮬레이션 분석 결과

에 따라 사고 비용을 산출한 결과는 <Table 11>과 같다. 산출 결과에 따르면 안전도가 같은 차량들 간의 사고 보다 안전도가 다른 차량들 간의 충돌 사고에 따라 사고 비용의 차이가 있는 것으로 나타났다. 부딪히는 차량의 안전도가 낮으면 낮을수록 사고 비용은 증가하는 것으로 나타났으며 안전도의 차이가 있는 차량 간 충돌이 안전도가 같은 차량 간 충돌보다 사고 비용을 절감시키는 것으로 나타났다.

<Table 10> Traffic Congestion Costs

Class	LOS A	LOS C	LOS E
Scenario 1	56,414	164,729	209,040
Scenario 2	50,743	187,037	208,003
Scenario 3	66,219	475,858	568,983

Note: a number in the thousands(won)

<Table 11> Accident Costs by Accident-Class

Class	Serious Injury	Minor Injury	Slight Injury
Serious Injury(jerk=0)	58,908	37,351	29,908
Minor Injury(jerk=1)	37,351	15,794	12,432
Slight Injury(jerk=2)	29,908	12,432	9,069

Note: a number in the thousands(won)

## V. 결 론

### 1. 연구의 요약 및 시사점

자율주행차량은 다양한 교통 문제 및 사회 문제를 해결할 대안으로써 각광받고 있으며, 전 세계적으로 자율주행차량 기술 개발 및 관련 연구가 진행되고 있다. 자율주행차량의 도입 및 상용화와 관련하여 다양한 논의가 지속되고 있으나 자율주행차량 운행 시 발생 가능한 윤리적 판단이 필요한 상황에서의 자율주행차량의 윤리적 대응에 문제의 중요성이 제기되고 있는 실정이다.

이에 본 연구는 미시적으로 도로 위의 자율주행차량의 개별적인 윤리적 판단이 거시적으로 교통류에 미치는 영향과 교통류 흐름을 분석하고자 하였다. 윤리적 판단이 필요한 특정한 상황인 중앙선 침범이라는 돌발 상황을 가정하여, 자율주행차량의 윤리적 판단에 따른 영향을 도출하고자 하였다. 자율주행차량의 윤리적 판단에 따른 운행 영향 및 교통류 흐름을 분석하기 위하여 공리주의를 토대로 차량의 안전성에 따라 자율주행차량이 상황을 판단하여 중앙선 침범 차량과 충돌하거나 차로를 변경하여 충돌 혹은 피하여 운행하는 시나리오를 구성하였다. 자율주행차량의 윤리적 판단 기준으로는 차량별 안전도를 설정하였으며, 이는 공리주의적 측면에서 혼잡비용과 사고비용을 최소화시키는 요인으로 활용하였다. 시뮬레이션 환경은 행위자 기반 모형의 시뮬레이터인 NetLogo 5.3.1.을 활용하였으며, 코딩을 통해 특정 지점에서 중앙선 침범이 발생하도록 하였으며 자율주행자동차의 안전성 판단 이후 사고에 의한 영향을 분석하고자 하였으며, LOS A / C / E 수준에서의 시나리오별 시뮬레이션 분석을 실행하였다.

시뮬레이션 분석 결과에 따르면, 중앙선 침범 상황에서 자율주행차량의 판단 없이 발생한 충돌 사고와 안

전도 판단 하에 발생한 전방 충돌 사고 간의 운행 영향은 비슷한 것으로 나타났다. 자율주행차량이 안전성을 판단하여 중앙선 침범한 차량과 충돌한 시나리오의 경우, 판단 없이 발생한 충돌 사고에 비해 교통류 흐름의 개선 효과가 더 높은 것으로 나타났다. 이는 자율주행차량과 후행 차량 간의 정보 전달에 따라 발생한 사고에 대해 인지하여 사고 발생 이후 후행 차량들의 대처로 인하여 교통류 흐름의 개선 효과가 더 높게 나온 것이라 판단된다. 시뮬레이션 분석 결과에 따라 산출한 교통혼잡비용과 사고 비용을 계산한 결과에 따르면 LOS 수준이 높을수록 시나리오 3 상황의 교통혼잡비용이 높게 산출되는 것으로 나타났다. 그러나 LOS A 수준에서는 시나리오 1 상황의 교통혼잡비용이 높게 산출되는 것으로 나타났다.

본 연구는 자율주행차량의 주행 중 윤리적 판단이 필요한 돌발 상황인 중앙선 침범 상황에 대해 정량적인 분석을 실행한 연구로써, 공리주의에 따라 자율주행차량이 안전성을 판단하여 충돌하거나 차선을 변경하여 충돌 또는 운행되는 알고리즘을 적용한 연구이다. 자율주행차량의 운행 시 발생할 수 있는 윤리 문제를 시뮬레이션 분석한 연구로써 의의가 있다. 도출된 결과를 바탕으로 향후 자율주행차량 도입 이전 논의되어야 할 자율주행차량의 윤리 문제에 대한 기초 연구 자료로써 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 향후 연구 과제

본 연구는 공리주의에 따라 안전성을 자율주행차량의 판단의 척도로 한정하였다. 이에 안전성을 공리주의적 판단의 척도로 사용한 것에 있어 심화적으로 적용할 척도를 고려해야 할 필요가 있다. 또한 자율주행차량의 윤리적 기준을 공리주의에 한정하여 분석하였다는 한계가 있으며, 이를 개선하기 위하여 의무론, 행위자 중심의 윤리론 등을 활용한 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다. 재차인원을 1인으로 설정하여 운행자 또는 탑승자의 특성에 대한 고려가 부족하기 때문에 다양한 연령층, 다수의 재차인원을 고려한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 사상자의 종류, 사고 구간 내 차량 수, 사고 처리시간 등을 고려한 심화적인 분석이 필요하다. 마지막으로 본 연구는 자율주행차량과 일반차량을 행위자로 설정하였기 때문에 다양한 차량군이 혼재된 상황에 대한 분석연구를 통해 현실적인 교통류 상황을 반영해야 할 것으로 사료된다.

또한 현실적으로 특정한 윤리론을 적용한 자율주행차량이 운행되는 것은 어려움이 있으며, 위에서 언급한 바와 같이 다양한 윤리론을 적용하여 윤리론별 영향을 도출하는 연구가 뒷받침되어야 할 것으로 사료된다. 이는 차량을 운전하는 사람들의 윤리적 잣대의 차이가 있고 자율주행차량의 상용화에 앞서 사회적인 합의가 우선적으로 도출되어야 하는 중요한 문제이기 때문에, 다양한 환경과 상황에서의 적용된 윤리론에 따른 자율주행차량의 운행 영향을 연구할 필요가 있다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 2016학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의해 지원되었습니다. 또한 본 논문은 한국ITS학회의 2016년 추계학술대회에 발표된 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

## REFERENCES

Arnaut G. M., Khasawneh M. T., Zhang J. and Bowling S. R.(2010), “An IntelliDrive application for



- reducing traffic congestions using agent-based approach,” *In Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS), 2010 IEEE*, pp.221-224.
- Bonnefon J. F., Shariff A. and Rahwan I.(2016), “Autonomous Vehicles Need Experimental Ethics: Are We Ready for Utilitarian Cars?,” *Science*, vol. 352, no. 6293, pp.1573-1576.
- Byeon E. A., Kim Y. C., An S. Y., Go G. D. and Yun S. Y.(2009), “A Study on the Development of an Economic Efficiency Model Considering Vehicle Operating Cost Properties of Signalized Intersections,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 27, no. 2, pp.199-206.
- Byeon S. Y. and Song S. Y.(2015), *Ethics and Robotics*, AMHBook(Seoul, Korea), pp.18-28.
- Childress S., Nichols B., Charlton B. and Coe S.(2015), “Using an activity-based model to explore possible impacts of automated vehicles,” *In TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers*, pp.1-17.
- Cho K. O. and Moon J. D.(2014), “Direction for Support of MOTIE RandD in Autonomous Driving Vehicle,” *Journal of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 36, no. 7, pp.20-21.
- Fire Safety Authority of Gwangju, Safety Education Textbook for Vehicle Operators, 2014.
- Gilbert N.(2008), *Agent-based Models*, Sage, no. 153, pp.1-3.
- Goodall N.(2014), “Ethical Decision Making During Automated Vehicle Crashes,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2424, pp.58-65.
- Im I. J., Hwang K. Y. and Lee S. Y.(2015), “Analyzing Macro-Traffic Impacts of Incremental Diffusion of Personal Mobility on Two-Lane Freeway,” *Journal of Transportation Research*, vol. 22, no. 3, pp.55-71.
- Im I. J., Lee C. K. and Hwang K. Y.(2016), “Legal Issues Related with Autonomous Vehicle Operation,” *Journal of Transportation Research*, vol. 23, no. 3, p.77.
- Jang M. S., Lee S. K., Kim J. S., Hong S. M. and Lee K. J.(2011), “The chronological evolution of drivers’s perception reaction time,” *Transportation Technology and Policy*, vol. 18, no. 6, pp.55-61.
- Jo J. H. and Hwang K. Y.(2010), “Improving the Estimation Method of Traffic Congestion Costs,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 28, no. 1, pp.63-74.
- Ju J. H., Ha S.W., Jung Y. H. and Lee C. S.(2010), “A study of person response time on various scenario driver simulation,” *Journal of Korea Transportation Research Society*, vol. 63, pp.452-457, Busan, Korea.
- Kesting A., Treiber M. and Helbing D.(2007), “General Lane-changing Model MOBIL for car-following Models,” *Transportation Research Record, Transportation Research Board*, vol. 1999, no. 1, pp.86-94.
- Kim D. H.(2012), “A study on the Strength and Limitation of Agent Based Urban Models,” *The Korea Spatial Planning Review*, vol. 75, pp.73-75.
- Ko I. S.(2014), “Basic Principles of Robot Ethics: From Robot Ontology,” *Journal of pan-Korean Philosophical Society*, vol. 75, pp.402-403.
- Kumfer W. and Burgess R. (2015), “Investigation into the Role of Rational Ethics in Crashes of Automated Vehicles,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2489, pp.130-136.
- Lee B. Y.(2016), “Trends and Prospects of Automated Vehicle Technology Development in Domestic

- and Overseas,” *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 33, no. 4, pp.10-11.
- Lee C. K. and Oh B. D.(2016), “The Robot Ethics of the Autonomous Vehicle and its Legal Implications,” *Hongik Law Review*, vol. 17, no. 2, pp.5-8.
- Lee C. K.(2016), “Autonomous Vehicle: Ethics as a Robot and Legal Issues,” *Planning and Policy*, vol. 418, pp.38-41.
- Lee J. D., Park I. S. and Hwang K. Y.(2015), “Comparative Traffic Analysis between Electric Personal Mobility and Partial Autonomous Vehicle Using Agent-based Model,” *Journal of Transportation Research*, vol. 22, no. 1, pp.27-44.
- Lee J. K.(2014), “Development Status and Implication of Autonomous Vehicle,” *The Magazine of the IEEK*, vol. 41, no. 1, p.22.
- Lee K. Y., Seo I. K., Park M. S. and Chang M. S.(2012), “A Study on the Influencing Factors for Incident Duration Time by Expressway Accident,” *International Journal of Highway Engineering*, vol. 14, no. 1, pp.85-94.
- Lee S. B. and Shim J. I.(1998), “Estimation of Accident Costs for Each Accident Severity,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 16, no. 1, p.73.
- Lee S. B., Chang M. S., Do C. U. and Kim W. C.(2001), “A study for human factors in road design,” *The Korea Transportation Institute, Research Series*, vol. 2001-01.
- Lin P., Abney K. and Bekey G. A.(2011), *Robot Ethics: The Ethical and Social Implications of Robotics*, The MIT Press(Cambridge, Massachusetts), pp.347-348.
- Ma J., Zhou F. and Demetsky M. J.(2012), “Evaluating mobility and sustainability benefits of cooperative adaptive cruise control using agent-based modeling approach,” *In Systems and Information Design Symposium (SIIDS), 2012 IEEE*, pp.74-78.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2009), *A Study on the Revision of Investment Guidelines for Public Transportation Facilities Development*, p.112.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2013), *Korea Highway Capacity Manual(KHCM)*, p.20.
- National Highway Traffic Safety Administration(2013), *Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles*, pp.3-5.
- Park I. S., Lee J. D., Lee J. Y. and Hwnag K. Y.(2015), “Impacts of Automated Vehicles on Freeway Traffic-flow - Focused on Seoul-Singal Basic Sections of GyeongBu Freeway-,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 14, no. 6, pp.21-36.
- Tisue S. and Wilensky U.(2004), “Netlogo: A simple Environment for Modeling Complexity,” *International Conference on Complex Systems*, vol. 21, pp.1-8.
- Treiber M., Hennecke A. and Helbing D.(2000), “Congested Traffic States in Empirical Observations and Microscopic Simulations,” *Physical Review E*, vol. 62, no. 2, pp.1805-1823.
- Yang J. H. and Kim H. K.(2012), *Understanding and Application of Agent-based Model: Urban Planning and Transportation*, Dong-A Press, pp.19-29.