

# 5-레이어 포맷을 이용한 자율주행자동차 실험 시나리오 개발(커뮤니티부 도로를 중심으로)

## Development of Safety Evaluation Scenarios for Autonomous Vehicle Tests Using 5-Layer Format(Case of the Community Road)

박 상 민\* · 소 재 현\*\* · 고 한 겼\*\*\* · 정 하 림\*\*\*\* · 윤 일 수\*\*\*\*\*

\* 주저자 : 아주대학교 건설교통공학과 박사과정  
 \*\* 공저자 : 한국교통연구원 스마트시티 교통연구팀 부연구위원  
 \*\*\* 공저자 : 자동차안전연구원 자율주행실 K-City운영팀 과장  
 \*\*\*\* 공저자 : 아주대학교 교통공학과 박사과정  
 \*\*\*\*\* 교신저자 : 아주대학교 교통시스템 공학과 부교수

Sangmin Park\* · Jaehyun(Jason) So\*\* · Hangeom Ko\*\*\* ·  
 Harim Jeong\*\*\*\* · Ilsoo Yun\*\*\*\*\*

\* Dept. of Transportation Eng., Ajou University  
 \*\* Division for Smart City and Transport, The Korea Transport Institute  
 \*\*\* K-City Management Team, Korea Automobile Testing & Research Institute  
 \*\*\*\* Dept. of Transportation Eng., Ajou University  
 \*\*\*\*\* Dept. of Transportation Eng., Ajou University  
 † Corresponding author : Ilsoo Yun, illsooyun@ajou.ac.kr

Vol.18 No.2(2019)

April, 2019

pp.114~128

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

[https://doi.org/10.12815/kits.](https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.2.114)

2019.18.2.114

Received 7 February 2019

Revised 5 March 2019

Accepted 19 March 2019

© 2019. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

### 요 약

최근 전 세계적으로 자율주행자동차의 관심이 높아지고 있으며, 이에 따라 자율주행자동차의 안전성도 중요한 화두로 대두되고 있다. 국내에서도 자율주행자동차 실험도시인 K-City 구축 등 자율주행자동차 개발이 활발해짐에 따라, 자율주행자동차의 안전성을 평가할 수 있는 시나리오 개발이 필요한 시점이다. 본 연구에서는 경찰청 교통사고 데이터와 텍스트 마이닝 기법을 이용하여 K-City 커뮤니티부 도로 자율주행자동차 실험 시나리오를 개발하였다. 개발 결과, K-City 커뮤니티부 도로에서 자율주행자동차 실험을 위한 총 24개의 시나리오가 개발되었다. 또한, 페가수스 5-레이어 모형을 적용한 Logical 및 Concrete 혼합 시나리오 양식을 최종적으로 도출하였다.

핵심어 : 자율주행자동차, K-City, 커뮤니티부 도로, 실험 시나리오, 5-레이어 포맷

### ABSTRACT

Recently, the interest in the safety of autonomous vehicles has globally been increasing. Also, there is controversy over the reliability and safety about autonomous vehicle. In Korea, the K-City which is a test-bed for testing autonomous vehicles has been constructing. There is a need for test scenarios for autonomous vehicle test in terms of safety. The purpose of this study is to develop the evaluation scenario for autonomous vehicle at community roads in K-City by using crash data collected by the Korea National Police Agency and a text-mining technique. As a result, 24 scenarios were developed in order to test autonomous vehicle in community roads. Finally, the logical and concrete scenario forms were derived based on the Pegasus 5-layer format.

Key words : Autonomous vehicle, K-City, Community road, Test scenario, Text mining technique

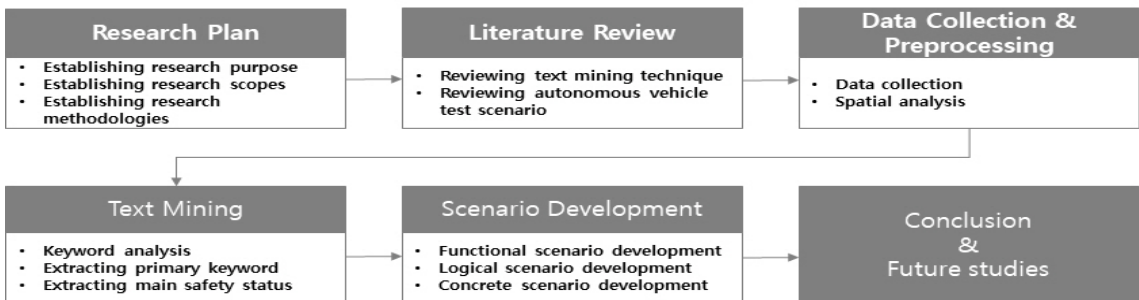
## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

최근 전 세계적으로 자율주행자동차의 관심이 높아지고 있다. 볼보, BMW, 벤츠, GM, 도요타 등 완성차 제조업체뿐만 아니라 Google, Waymo 등 다양한 기관에서 자율주행자동차를 개발 중에 있으며, 우리나라 정부 및 기업도 2020년에 미국 자동차공학회(Society of Automotive Engineers, SAE) 기준 레벨 3 자율주행자동차 상용화를 목표로 다양한 자율주행자동차를 개발 중에 있다. 하지만, 2016년 Google 자율주행자동차의 사고 발생과 2016년 테슬라 오토 파일럿의 인지 실패 및 2018년 우버의 교통사고로 인한 사망사건 등으로 인하여 자율주행자동차에 대한 안전성이 중요한 화두로 대두되고 있다(Park, 2018). 또한 자율주행자동차 안전성 평가를 위해 국외에서는 M-City, ACM(이상 미국), AstaZero(스웨덴), Mira City Circuit(영국), CETRAN(싱가포르), Nice City(중국), J-town(일본) 등 자율주행자동차 테스트베드가 운영되고 있으며, 국내에서도 자동차안전연구원 주행시험장 내 자율주행 실험 도시인 K-City를 구축(‘18.12월)하였다. 참고로, K-City는 크게 자동차전용도로, 도시부 도로, 교외부 도로, 커뮤니티부 도로 및 자율 주차시설의 5가지로 구성되어 있다. 각 평가시설들을 이용하여 자율주행자동차의 안전성을 평가하기 위해서는 적절한 평가 시나리오 개발이 필요하다고 판단된다. 이에 본 연구에서는 어린이보호구역, 자전거도로 등으로 구성된 저속의 도로교통환경을 구현한 커뮤니티부 도로에서 자율주행자동차 안전성 평가를 위한 시나리오를 교통사고 데이터와 텍스트 마이닝 기법을 이용하여 개발하였다. 또한 실차 실험에 적용하기 위해 독일 페가수스(Pegasus) 프로젝트에서 사용한 5-레이어 포맷을 적용하여 시나리오를 발전시키고자 한다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 전국 커뮤니티부 도로이며, 커뮤니티부 도로에 대한 정의는 3장에서 설명하고자 한다. 또한 시간적 범위는 2007~2014년까지 8년간 발생한 교통사고 데이터를 이용하였다. 본 연구에서는 K-City 커뮤니티부 도로에서 사용할 수 있는 실험 시나리오 개발을 목표로 하였으며, 특히 조건부 자율주행인 3단계 자율주행자동차 중 협력주행이 아닌 Stand alone 차량을 대상으로 실험 시나리오를 개발하였다. 이를 위해 커뮤니티부 도로에서 발생할 수 있는 교통 안전상황을 도출하기 위해 전국 커뮤니티부 도로의 교통사고 자료를 수집하고, 텍스트 마이닝 기법을 이용하여 주요 교통안전상황을 도출하였다. 또한, 텍스트 마이닝 기법을 이용하여 도출된 교통안전상황을 자율주행자동차 시나리오로 발전시키기 위해 시나리오의 구성 변수를 선정하였고 이를 이용하여 최종적인 시나리오들을 도출하였다. 마지막으로 결론 및 향후 연구 과제를 도출하였다. 전체적인 연구과정은 <Fig. 1>과 같다.



<Fig. 1> Research process

## II. 관련 문헌 고찰

### 1. 텍스트 마이닝

#### 1) 텍스트 마이닝

텍스트 마이닝(text mining)이란 기존 통계기법이나 데이터 마이닝 기법을 적용하기 어려운 텍스트 데이터로부터 의미 있는 정보를 추출하기 위한 기법이다. 특히, 텍스트 마이닝 기법을 이용하면, 기존에 데이터베이스를 이용하여 잘 정돈된 정형데이터(structured data)로부터 파악이 힘든 정보를 추출할 수 있다. 예를 들어, 트위터(Twitter)의 트윗(tweet)과 같은 비정형데이터(unstructured data)를 이용하여 특정 제품 또는 서비스에 대한 개인적인 의견 등 정형데이터를 이용하여 추출하기 힘들었던 의미 있는 정보를 추출하는 것이 가능하다(Bae, 2013). Bae et al.(2013)의 연구에서는 한국 대선 관련 트윗을 분석하였다. 이 연구에서는 2012년 10월 1일부터 31일 까지 약 3주간 생성된 1,737,969개의 트윗을 대상으로 텍스트 마이닝을 수행하였다. 그 결과 이용자의 트위터 이용행태가 사회적 이슈의 변화를 적절히 반영하였고 특정 이슈의 전체 맥락에서 관심있는 주제의 변화를 관찰하는데 유용하다는 것을 확인하였다. Gao et al.(2013)은 교통사고 데이터를 이용하여 동사(verb) 기반의 텍스트 마이닝 기법을 개발하였다. 교통사고 데이터는 2012년 5월 19일부터 6월 27일까지 미주리주의 고속도로 순찰대가 수집한 자료를 이용하였다. 분석 결과, 교통사고를 이해하는데 중요한 정보를 추출할 수 있음을 보였다. International Telecommunication Union(ITU)(2014)의 보고서에서는 다양하게 존재하는 약 120개의 스마트시티(smart city)의 정의를 텍스트 마이닝 기법을 이용하여 새롭게 정의하였다. 문서를 분석하기 위해 키워드 분석을 수행 후 키워드를 그룹핑하였다. 그 결과, 이해하기 쉽고, 명확한 스마트 시티의 정의를 도출할 수 있음을 보였다. Jeong et al.(2016)의 연구에서는 경찰청 교통사고 경위 데이터 중 안전 운전불이행에 해당하는 자료를 텍스트 마이닝 기법을 이용하여 분석할 경우 음주운전, 위험운전, 졸음운전, 운전미숙, 보행자의 법규위반 등 세부적인 항목으로 분류가 가능함으로 보였다.

#### 2) TF-IDF 키워드 분석

키워드 분석(keyword analysis)은 텍스트 마이닝 기법 중 많이 사용되는 기법으로서, 문서의 주요 내용을 추출하기 위해 명사 위주의 키워드를 하나의 특성으로 간주하여 추출하는 방법이다. 통계기반 접근법, 언어학적 접근법, 기계학습 접근법 등이 있으며, 계산 복잡도가 낮고 성능이 우수한 통계기반 접근법이 가장 활발히 사용되고 있는 방식이다(Han, 2010). 통계기반 접근법 중 Term Frequency - Inverse Document Frequency(TF-IDF) 모델은 가장 널리 사용되고 있는 키워드 분석 모델이다. TF-IDF 모델의 장점은 개별 문서에서 각 단어의 상대적 중요도를 표현할 수 있다는 점이다. 따라서 개별 문서에 존재하는 키워드를 추출하는데 활용하고 있으며 주요 키워드 추출을 위해 TF-IDF 모델을 사용할 수 있다. 특히 TF-IDF 모델은 단순 빈도가 아닌 문서 전반에 많이 나오는 단어에 가중치를 주는 방법이다(Kim, 2014). 이 과정을 통해 주요 키워드를 도출할 수 있다. 다음 식(1)은 TF-IDF를 계산하는 모델식이다(Kim, 2014).

$$TF-IDF_{(w,d)} = TF_{(w,d)} \times \log\left(\frac{n}{DF_{(w)}}\right) \quad (1)$$

여기서,  $TF_{(w,d)}$  = 문서  $d$  에 단어  $w$  가 들어간 횟수

$n$  = 전체 문서의 총 개수

$DF_{(w)}$  = 단어  $w$  가 들어가는 문서의 총 개수

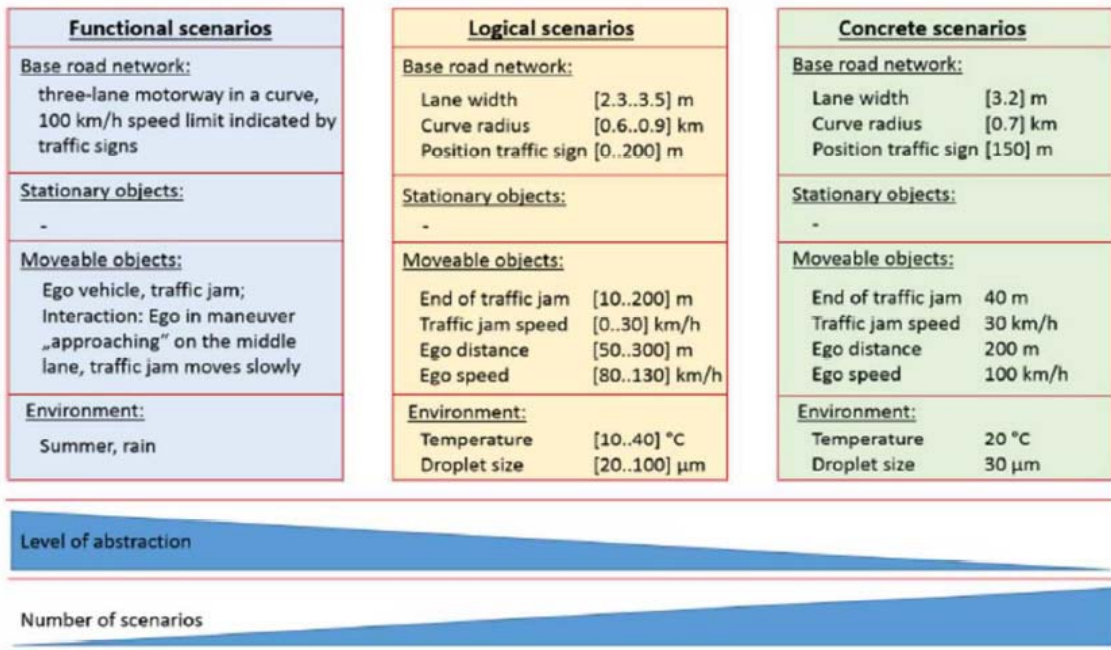
## 2. 자율주행자동차 실험 시나리오

### 1) 관련 연구

Park et al.(2017)은 K-City의 커뮤니티부 도로에서 자율주행자동차 안전성 평가를 위한 시나리오를 텍스트 마이닝 기법과 경찰청 교통사고 경위데이터를 이용하여 개발하였다. 이 연구는 자율주행자동차의 안전성 평가를 위한 시나리오 개발에 실제 교통사고 데이터를 바탕으로 개발하였고, 해당 도로구간에서 발생할 수 있는 위험상황을 텍스트 마이닝 기법을 이용하여 대표상황을 정의했다는데 의의가 있다. Till et al.(2018)은 자율주행자동차 실험 시나리오의 용어 및 실험 과정에 대해 제시하였다. 시나리오 내용의 추상 정도에 따라 functional, logical, concrete 시나리오의 개념 및 실험 단계에 대해 정의하였다. Waymo(2017)는 미국연방교통안전국(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)이 권고한 자율주행자동차가 수행 가능해야 하는 28가지 행동기능에 19가지 행동기능을 추가한 총 47가지의 기능을 테스트하기 위한 시나리오를 도출하였고, Waymo에서 개발한 자율주행차량을 통해 테스트하였다. 또한 충돌회피 능력을 테스트하기 위해 NHTSA의 사전 충돌 시나리오들을 기반으로 4가지 범주의 28개 시나리오를 도출하여 테스트를 완료하였고, 향후 실험 결과를 바탕으로 시나리오를 확장할 예정이다.

### 2) 페가수스 프로젝트 시나리오 정의

페가수스(Pegasus) 프로젝트는 독일연방 주도하에 BMW, AUDI, OPEL 등의 기업들과 함께 진행하고 있는 자율주행자동차 관련 프로젝트이다. 연구기간은 2016년 1월부터 2019년 6월까지이며 자율주행과 관련된 품질 기준, 평가 및 측정 방법 등의 수립을 목표로 이를 위한 시나리오를 개발하였다(PEGASUS, 2019). 독일 페가수스 프로젝트에 따르면 시나리오라는 용어는 개발 과정에서 서로 다른 단계의 내용과 표현을 가지고 있



<Fig. 2> Abstraction levels of scenarios based on Pegasus project terminology(MIRA, 2018)

으며, 추상 수준 및 시나리오의 경우의 수에 따라 functional, logical, concrete 시나리오의 3가지 형태로 구분한다. 우선 functional 시나리오는 도로망, 고정 및 동적요소, 환경 조건, 상황 등을 자연어로 설명한 시나리오이다. 두 번째로, logical 시나리오는 기술 개발 및 테스트 사례 생성 시 사용하는 시나리오로서 사용되는 모든 변수의 허용 범위를 제공하는 시나리오이다. 마지막으로 concrete 시나리오는 실제 실험을 위한 시나리오로 실험에 사용될 모든 변수의 값을 지정하여 사용하게 된다. 추상의 정도를 살펴보면 functional 시나리오에서 concrete 시나리오로 진행될수록 구체적인 시나리오가 생성되며, 무수히 많은 시나리오가 생성되게 된다. <Fig. 2>는 각 시나리오들의 관계를 나타내는 그림이다(MIRA, 2018).

### 3) 페가수스 프로젝트 5-레이어 포맷

페가수스 프로젝트에서는 자율주행자동차 실험 시나리오를 구현하기 위해 다섯 가지 레이어로 구성된 시나리오 표현 포맷을 정의하였다. 5-레이어 포맷은 도로의 배치, 도로 형상과 같은 기하구조부터 시나리오에 참여하는 객체, 날씨, 통신 조건 등을 5단계로 구분하여 실험 수행을 돕는 시나리오 개발 포맷이다(MIRA, 2018). 5-레이어 포맷은 시나리오를 구성하는 요소들을 5단계로 분리하여 시나리오 구성시 용이한 장점이 있어 자율주행자동차의 특정상황에 대한 평가시 유용할 것으로 판단된다. 하지만, 5-레이어 포맷은 복잡한 교통 환경을 구현하여 실험하는 것은 어려운 단점이 있다. <Table 1>은 5-레이어 포맷의 각 레이어별 속성을 나타낸 표이다.

<Table 1> 5-Layer format components

Layer	Components
Layer 1	Description of the street layout, road geometry and condition of the road surface.
Layer 2	All the permanent physical barriers, traffic guidance infrastructure, road furniture and lane markings.
Layer 3	Any temporary physical barriers as well as any temporal modifications that would alter the geometry and topology of layers 1 and 2.
Layer 4	Description of the actors participating in the scenario including information about interactions between actors based on manoeuvres.
Layer 5	Information about weather and lighting conditions in which the scenario will take place, as well as information about communications coverage.

## Ⅲ. 텍스트 마이닝 기법을 이용한 시나리오 개발 방법론

### 1. 자료 수집

실제 교통사고 상황기반 교통안전상황을 도출하기 위해 경찰청에서 관리하는 교통사고 데이터를 수집하였다. 경찰청 교통사고 데이터에는 전국에서 발생한 교통사고에 대한 정보를 포함하고 있으며, 사고 시간, 사고 위치, 사고 상황 등 87개의 다양한 항목으로 구성되어 있다. 특히, 사고 유형코드, 법규 위반 코드 등 사고 발생원인 등을 제공하고 있지만, 안전운전 불이행이 전체 데이터의 53.3%를 차지하여 추가적인 원인 및 상황 정보가 필요하다. 경찰청 교통사고 데이터에는 ‘사고\_상황’이라는 항목으로 사고가 발생한 경위에 대해 자세히 기술한 항목이 있으며, 텍스트로 교통사고 발생 시 상황을 상세히 기술하였다. 본 연구에서는 ‘사고\_상황’ 데이터를 텍스트 마이닝 기법을 이용하여 분석하기 위해 2007년부터 2014년까지 수집하였다.

## 2. 텍스트 마이닝 기법을 이용한 시나리오 개발 방법

### 1) 공간연산을 통한 데이터 전처리

수집된 경찰청 교통사고 데이터와 K-City의 도로 유형이 <Table 2>와 같이 상이하기 때문에 커뮤니티부 도로의 교통사고 데이터를 바로 추출하기가 어렵다. 하지만, 경찰청 교통사고 데이터에는 GPS 좌표를 포함하고 있기 때문에 커뮤니티부 도로에 대한 정의 후 공간연산을 통해 커뮤니티부 도로 교통사고 데이터를 추출하였다. 우선 K-City의 커뮤니티부 도로는 보행자 중심의 도로로서 어린이보호구역(스쿨존), 보행자 및 자전거 도로, 전방향 횡단보도, 고원식 횡단보도 등으로 구성되어 있다. 차로의 경우 편도 1차로, 차로폭 3.5m로 설계되었다. K-City의 커뮤니티부 도로는 <Fig. 3>에서 빗금친 부분이다.



<Fig. 3> Community road in K-City

<Table 2> Comparison road type between accidents data and K-City

Road type in accident data	Road type in K-City
Expressway	Motorway
Metropolitan Cities and Provinces	Rural road
City road	Urban-center road
National highway	
Provincial road	
Rural road	Community road
etc	

K-City의 커뮤니티부 도로와 유사한 도로를 추출하기 위하여 본 연구에서는 교통주제도의 왕복 2차로 이하 또는 일방통행, 제한속도 40km/h이하의 도로를 커뮤니티부 도로로 정의하였으며, 교통사고 데이터를 공간연산하여 커뮤니티부 도로에 해당되는 교통사고를 추출하였다. 본 연구에서는 대표적인 GIS툴인 ArcGIS 10.3을 이용하여 공간연산을 수행하였다. 공간연산 수행결과 커뮤니티부 도로에 해당하는 교통사고는 약 47만 건이 추출되었다.

### 2) 범주별 키워드 도출

범주별 키워드를 도출하기 위해 파이썬 3.6 프로그램과 ‘꼬꼬마 한국어 형태소 분석기’를 이용하여 커뮤니티부 도로 교통사고의 ‘사고\_상황’에서 유의미한 키워드를 추출할 수 있다. 특히 모든 품사에 형태소를 태깅

하고 형태소에서 명사를 추출하였으며, 빈도분석을 TF-IDF 모델을 이용하여 수행하였다. 또한 추출된 단어들을 범주별로 구분하여 우선순위를 정할 필요가 있다. 본 연구에서는 범주로 ‘사고 위치’, ‘대항 객체’, ‘상황’으로 범주를 설정하고, 도출된 키워드를 범주화하여 우선순위를 도출하였다.

### 3) 교통안전상황 도출

범주별 키워드를 이용하는 경우 사고가 발생할 수 있는 교통안전상황을 완전히 이해하기 어렵기 때문에, 교통사고데이터의 ‘사고 상황’을 정밀 분석하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 ‘사고 상황’ 데이터를 읽고 커뮤니티부 도로에서 발생 가능한 교통안전상황을 교차로구간과 차로구간으로 분리하였다.

### 4) Functional 시나리오 도출

자율주행자동차의 시나리오를 도출하기 위해 페가수스 프로젝트의 시나리오 정의에 따라 추상 수준이 높으며, 시나리오 수가 적은 functional 시나리오 도출하였다. functional 시나리오는 도로 구간, 고정 및 동적요소, 상황 등을 자연어로 기술한 시나리오이다. 본 연구에서는 도출된 교통안전상황과 범주별 키워드를 이용하여 functional 시나리오를 도출하였다.

### 5) 시나리오 구성 변수 도출

자율주행자동차의 실험을 위해서는 자연어로 기술된 functional 시나리오를 통해 실험하는 것이 어려우며, 실험을 위한 시나리오 구성 변수 도출이 필요하다. 특히 발전된 시나리오인 logical 및 concrete 시나리오를 도출하기 위해서 반드시 필요한 과정이며, 변수와 더불어 실험을 위한 변수의 범위 선정이 필요하다. 본 연구에서는 페가수스 프로젝트의 5-레이어 포맷을 이용하여 각 단계에 대한 변수들을 설정하였다.

### 6) Logical 및 Concrete 시나리오 도출

시나리오 구성 변수가 도출되면, 자율주행자동차의 실험을 위한 logical 시나리오와 concrete 시나리오가 도출이 가능하다. logical 시나리오는 기술 개발 및 테스트 케이스 사례 생성에 사용되는 시나리오로 시나리오를 구성하는 모든 변수의 허용 범위가 제공되는 단계이다. Concrete 시나리오는 실제 실험을 위한 시나리오로 실험에 사용될 모든 변수의 값을 지정하는 단계이다. 시나리오 구성 변수의 범위 선정을 위해서 K-City 설계도면 및 제공되는 환경에 맞춰 선정하였다.

## IV. 시나리오 개발 결과

### 1. 주요 키워드 도출 결과

작성된 파이썬 프로그램을 이용하여 주요 키워드를 도출하였다. 주요 키워드를 도출하기 위해 TF-IDF 방법을 적용하였다. TF-IDF 모델은 단순 빈도가 아닌 문서 전반에 많이 나오는 단어에 가중치를 주는 방법으로 키워드 분석의 통계적 모형 중 가장 많이 사용되는 모형이다(Kim, 2014). 도출된 주요 키워드를 사고 위치, 객체, 상황으로 구분하여 우선순위를 정하였다. 분석 결과 객체의 경우 보행자, 오토바이, 자전거 등이 주로 나타났으며, 사고 위치의 경우 횡단보도가 주요 키워드로 도출되었다. <Table 3>과 <Table 4>는 교차로와 차로구간에서 나타난 주요 키워드이며, 괄호는 TF-IDF 도출 결과를 나타낸다.

<Table 3> Results for main key word by categories in intersection

Section	Rank	Location	Object	Situation
Intersection	1	Crosswalk (1,922)	Pedestrian (1,672)	Proceeding (1,353)
	2	4-leg intersection (1,837)	Motorcycle (1,373)	Stopping (1,295)
	3	3-leg intersection (1,085)	Bicycle (1,157)	Entering (1,041)
	4	Inside road (234)	Vehicle (487)	Changing (1,030)
	5	Left turn lane (209)	Child (172)	Rapid stopping (990)

<Table 4> Results for main key word by categories in lane

Section	Rank	Location	Object	Situation
Lane	1	First lane (551)	Pedestrian (514)	Proceeding straight (509)
	2	Second lane (527)	Motorcycle (386)	Read-end collision (493)
	3	4-leg intersection (459)	Bus (234)	Stopping (464)
	4	3-leg intersection (244)	Taxi (220)	Jaywalking (110)
	5	Inside road (177)	Bicycle (219)	Lane changing (47)

## 2. 교통안전상황 도출 결과

커뮤니티부 도로의 교차로와 차로구간에서 발생할 수 있는 교통안전상황을 도출하였다. 우선 교차로에서 발생할 수 있는 교통안전상황은 선행 객체에 의한 상충과, 직진, 좌회전, 우회전 시 횡단 객체에 의한 상충이 발생할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한, 차로구간에서는 선행 객체에 의한 상충 및 대향 객체의 횡단에 의한 상충, cut-in에 의한 상충이 발생할 수 있는 것으로 분석되었다. <Table 5>는 교차로 구간과 차로 구간에서 발생한 대표 교통안전상황을 도출한 결과이다.

<Table 5> Traffic safety situation in community road

Location	Turn	Traffic safety situation
Intersection	Going straight	Situation of rapid deceleration depending on the sudden situation when V0(preceding vehicle) is in an intersection or in an approach road
		Situation of rapid deceleration depending on the discovery of a crossing vehicle in front when the vehicle is going proceeding on intersection
	Left Turn	Situation of rapid deceleration depending on the discovery of a crossing vehicle in front when the vehicle is turning left
	Right Turn	Situation of rapid deceleration depending on the discovery of a crossing vehicle in front when the vehicle is turning right
Lane	Going straight	Situation of rapid deceleration depending on the sudden situation when V0(preceding vehicle) is in a lane
		Situation of rapid deceleration depending on the sudden situation such as crossing pedestrian, motorcycle, bicycle in front of the vehicle
		Situation of a rapid deceleration depending on the Cut-in by vehicle, and motorcycle while vehicle is driving

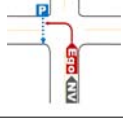
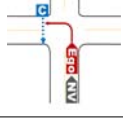

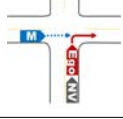
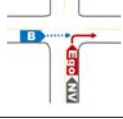

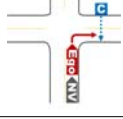
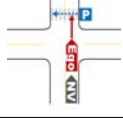
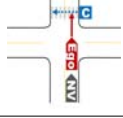
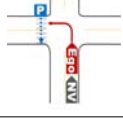
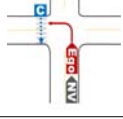
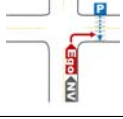


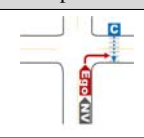

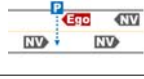

### 3. Functional 시나리오 도출 결과

도출된 교통안전상황과 범주별 키워드를 조합하여 functional 시나리오를 도출하였다. 도출된 안전상황에 객체를 추가하여 자연어로 기술된 24개 시나리오를 도출하였다. 시나리오는 각각 코드를 부여하여 ‘장소-회전-객체-감속’에 대해 나타냈다. 장소는 CI는 커뮤니티부 도로 교차로, CR은 커뮤니티부 도로 구간으로 코드화 하였으며, 회전의 경우 직진은 GS, 좌회전의 경우 LT, 우회전의 경우 RT로 구분하였다. 객체는 V는 일반 승용차, P는 보행자, B는 버스, M은 오토바이, C는 자전거로 구분하였다. 각각 시나리오는 코드, 개념도, 장소, 회전, 객체, 상황으로 구분하였는데, 이는 앞서 선정된 7가지 대표 교통안전상황에 도출된 객체를 적용한 후, 발생하지 않을것으로 판단되는 상황을 제거하여 24개의 시나리오로 확장하였다. 다음 <Table 6>은 각 시나리오를 코드, 개념도, 장소, 회전, 객체, 상황설명으로 구분하여 나타냈다.

<Table 6> Result of 24 functional scenarios

Code	Depiction	Location	Turn	Object	Situation description
CI-GS-V-AD		Intersection	Going straight	Vehicle	Ego-vehicle is going straight at intersection. Actor(vehicle) is crossing ahead.
CI-GS-M-AD		Intersection	Going straight	Motorcycle	Ego-vehicle is going straight at intersection. Actor(motorcycle) is crossing ahead.
CI-GS-B-AD		Intersection	Going straight	Bus	Ego-vehicle is going straight at intersection. Actor(bus) is crossing ahead.
CI-GS-P-AD		Intersection	Going straight	Pedestrian	Ego-vehicle is going straight at intersection. Actor(pedestrian) is crossing ahead unauthorised.
CI-GS-C-AD		Intersection	Going straight	Cycle	Ego-vehicle is going straight at intersection. Actor(cycle) is crossing ahead unauthorised.
CI-LT-V-AD		Intersection	Left turn	Vehicle	Ego-vehicle is turning left at intersection. Actor(vehicle) is crossing ahead.
CI-LT-M-AD		Intersection	Left turn	Motorcycle	Ego-vehicle is turning left at intersection. Actor(motorcycle) is crossing ahead.
CI-LT-B-AD		Intersection	Left turn	Bus	Ego-vehicle is turning left at intersection. Actor(bus) is crossing ahead.

Code	Depiction	Location	Turn	Object	Situation description
CI-LT-P-AD		Intersection	Left turn	Pedestrian	Ego-vehicle is turning left at intersection. Actor(pedestrian) is crossing ahead unauthorised.
CI-LT-C-AD		Intersection	Left turn	Cycle	Ego-vehicle is turning left at intersection. Actor(cycle) is crossing ahead unauthorised.
CI-RT-V-AD		Intersection	Right turn	Vehicle	Ego-vehicle is turning right at intersection. Actor(vehicle) is crossing ahead.
CI-RT-M-AD		Intersection	Right turn	Motorcycle	Ego-vehicle is turning right at intersection. Actor(motorcycle) is crossing ahead.
CI-RT-B-AD		Intersection	Right turn	Bus	Ego-vehicle is turning right at intersection. Actor(bus) is crossing ahead.
CI-RT-P-AD		Intersection	Right turn	Pedestrian	Ego-vehicle is turning right at intersection. Actor(pedestrian) is crossing ahead unauthorised.
CI-RT-C-AD		Intersection	Right turn	Cycle	Ego-vehicle is turning right at intersection. Actor(cycle) is crossing ahead unauthorised.
CC-GS-P-AD		Intersection (crosswalk)	Going straight	Pedestrian	Ego-vehicle is going straight at intersection. Actor(pedestrian) is crossing crosswalk.
CC-GS-C-AD		Intersection (crosswalk)	Going straight	Cycle	Ego-vehicle is going straight at intersection. Actor(cycle) is crossing crosswalk.
CC-LT-P-AD		Intersection (crosswalk)	Left turn	Pedestrian	Ego-vehicle is turning left at intersection. Actor(pedestrian) is crossing crosswalk.
CC-LT-C-AD		Intersection (crosswalk)	Left turn	Cycle	Ego-vehicle is turning left at intersection. Actor(cycle) is crossing crosswalk.
CC-RT-P-AD		Intersection (crosswalk)	Right turn	Pedestrian	Ego-vehicle is turning right at intersection. Actor(pedestrian) is crossing crosswalk.

Code	Depiction	Location	Turn	Object	Situation description
CC-RT-C-AD		Intersection (crosswalk)	Right turn	Cycle	Ego-vehicle is turning right at intersection. Actor(cycle) is crossing crosswalk.
CR-GS-M-AD		Lane	Going straight	Motorcycle	Ego-vehicle is going straight at road section. Actor(motorcycle) is cutting in ahead unauthorised from sidewalk.
CR-GS-P-AD		Lane	Going straight	Pedestrian	Ego-vehicle is going straight at road section. Actor(pedestrian) is crossing ahead unauthorised.
CR-GS-C-AD		Lane	Going straight	Cycle	Ego-vehicle is going straight at road section. Actor(cycle) is crossing ahead unauthorised.

#### 4. 시나리오 구성 변수 및 범위 도출 결과

K-City 커뮤니티부 도로의 자율주행자동차 실험 시나리오를 구성하기 위해서는 실차 실험에 필요한 변수를 선정하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 페가수스 프로젝트의 5-레이어 포맷을 적용하여 각 레이어별로 필요한 변수를 산출하였다. 레이어 1은 도로 배치, 도로 형상 및 도로의 표면 상태에 대한 설명이므로, K-City 도면을 바탕으로 곡률, 차로폭, 최대제동계수 등을 변수로 선정하고 범위를 산출하였다. 레이어 2는 교통 인프라에 관한 내용으로 교통신호, 노면표시를 변수로 선정하였으며, K-City에서 제공하는 시설에 맞게 범위를 산출하였다. <Table 7>는 레이어 1과 2의 구성 변수 및 범위 도출 결과이다.

<Table 7> Result of derived parameter and range in layer 1 and 2

Components	Item	Parameter	Range
Layer 1	Road geometry	Curvature	(K-City min R) ~ ∞
		Lane width	• Vehicle's width + 0.5 m( LDM Standard) • 3.5 m (K-City standard)
		Peak braking coefficient	0.3 ~ 1
	Others	Other factors	-
Layer 2	Traffic signal	Signal OP : Actor(pedestrian)	[Red, Yellow, Green]
		Signal OP : Eco-veh.	[Red, Yellow, Green]
		Signal OP : Neighboring-veh	[Red, Yellow, Green]
	Lane marking	Lane type	[White, Orange]   [Solid, Dashed]
	Others	Other facilities	-

레이어 3은 일시적인 임시시설로 K-City 시나리오에서는 고려하지 않았다. 레이어 4는 시나리오에 참여하는 모든 객체에 대한 변수 선정이 필요하다. 본 연구에서는 실험의 대상이 되는 자율주행자동차를 ego-vehicle로 정의하였으며, 자율주행자동차에 영향을 주는 차량 및 객체를 target-object, 자율주행자동차에 영향을 주지 않지만 주변에 있는 차량을 normal vehicle로 정의하였다. ego-vehicle의 경우 초기속도의 범위는 K-City 커뮤니티부 도로 제한속도를 이용하여 범위를 설정하였고 보행자와의 목표거리 및 목표 TTC(Time to Collision)는 실험자가 선정해야하는 항목이다.

<Table 8> Result of derived parameter and range in layer 4 for pedestrian

Layer	Item	Parameter	Range
Layer 4	Basic settings	Required number of vehicles	• Actor : 1, Ego : 1 • NV : 0 ~ n
		Initial gap spacing	[95m, 50m, 30m, 20m]]
	Actor (Pedestrian)	Type	[The disabled, Senior citizen, Child, Adult, Jaywalking]
		Steady state speed	2 ~ 6 km/h
		Distance from intersection	4.5 ~ 8.5m
		Offset from zebra crossing head	-5 ~ +5°
	Ego-veh.	Initial speed	5 ~ 30 kph
		Adjusted speed	5 ~ 30 kph
		Targeted distance to Actor	-
		Targeted TTC to Actor	-
	Neighboring -veh.	Initial speed	5 ~ 30 kph
		Distance from TL line/Ego	-

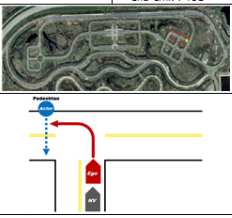
레이어 5는 환경 조건에 관한 변수인 날씨에서는 종류, 최대 주위 온도, 최소 주위 온도, 최대풍속, 최소 주위 조도를 설정하였으며, 센서 성능은 통신 지연, 측위 오류를 변수로 선정하였다.

<Table 9> Result of derived parameter and range in layer 5

Layer	Item	Parameter	Range
Layer 5	Weather	Type	[Dry, Rain, Snow]
		Max. ambient temperature	• Dry, Rain : 5 ~ 40 • Snow : -10 ~ 5
		Min. ambient temperature	• Dry, Rain : 5 ~ 40 • Snow : -10 ~ 5
		Max. Wind speed	0 ~ 5
		Min. ambient illumination	• Day : 2,000 ~ 5,000 • Night : 5,00 ~ 2,000
	Sensor performance	Communication delay	[Yes, No]
		Positioning error	[Yes, No]

### 5. Logical 및 Concrete 시나리오 도출 결과

커뮤니티부 도로에서 자율주행자동차 실험을 위해서 logical 시나리오와 concrete 시나리오를 혼합한 형태의 시나리오를 도출하였다. Logical 시나리오와 concrete 시나리오를 혼합한 형태의 시나리오가 필요한 이유는 자율주행자동차를 실험하고자 하는 실험자에게 실험이 가능한 범위를 제공하기 위해서이며, <Fig. 4>는 개발된 커뮤니티부 도로 자율주행자동차 실험 시나리오 중 하나이며, 본 연구에서 제안한 시나리오 양식이다.

Scenario type	Zone	Community		
	Location	School Zone T-Junction(CI-LT-P-AD)		
Available Test Location	Maneuver	Sudden deceleration (vertical movement)		
	- Initial Link : TBD	- End Link : TBD		
Scenario depiction				
Scenario description	Ego-vehicle is turning left at T-Junction in School zone. Actor(pedestrian) is crossing ahead unauthorised.			
Components	Item	Parameter	Range	Value
Layer 1: Street level	Road geometry	Curvature	(K-City min R) ~ ∞	Straight
		Lane width	· Vehicles width = 0.5 m (LDM standard) · 3.5 m (K-City standard)	3.5 meter (K-city standard)
		Peak braking coefficient	0.3 ~ 1	0.9
Others	Other factors	-	((n texts))	
Layer 2: Traffic infrastructure	Traffic signal	Signal OP : Actor(pedestrian)	[Red, Yellow, Green]	-
		Signal OP : Eco-veh.	[Red, Yellow, Green]	-
		Signal OP : Neighboring-veh	[Red, Yellow, Green]	-
	Lane marking	Lane type	· White · Orange	· Solid · Dashed
Others	Other facilities	-	((n texts))	
Layer 3: Temporal modification	-	-	-	-

Components	Item	Parameter	Range	Value	
Layer 4: Movable objects	Basic settings	Required number of vehicles	· Actor : 1 · Ego : 1 · NV : 0 ~ n	· 1 Actor · 1 Ego · 1 NV	
		Initial gap spacing	[95m, 50m, 30m, 20m]	-	
	Actor (Pedestrian)	Type	- The disabled - Senior citizen - Child - Adult - Jaywalking		Child
		Steady state speed	2 ~ 6 km/h		5km/h
		Distance from intersection	4.5 ~ 8.5m		6.5m
	Ego-veh.	Offset from zebra crossing head	-5 ~ +5°		0°
		Initial speed	5 ~ 30 kph		20 kph
		Adjusted speed	5 ~ 30 kph		Response to the Actor
		Targeted distance to Actor	-		-
	Neighboring -veh.	Targeted TTC to Actor	-		-
Initial speed		5 ~ 30 kph		20 kph	
Layer 5: Environmental conditions	Weather	Type	[Dry, Rain, Snow]	Dry	
		Max. ambient temperature	· Dry : 5 ~ 40 · Rain : 5 ~ 40 · Snow : -10 ~ 5	40°C (Actual measurement)	
	Min. ambient temperature	· Dry : 5 ~ 40 · Rain : 5 ~ 40 · Snow : -10 ~ 5	5°C (Actual measurement)		
	Max. Wind speed	0 ~ 5	5 m/s (Actual measurement)		
	Min. ambient illumination	Day : 2,000 ~ 5,000 Night : 5,000 ~ 2,000	2,000 Lux		
	Sensor performance	Communication delay	[Yes, No]		No
		Positioning error	[Yes, No]		No

<Fig. 4> Final Scenario example

## VI. 결론 및 향후 연구과제

### 1. 결론

최근 자율주행자동차의 관심과 더불어 자율주행자동차의 안전성 평가에 관한 관심이 증대되고 있다. 이에 본 연구에서는 경찰청 교통사고 데이터와 텍스트 마이닝 기법을 이용하여 실차기 기반 자율주행자동차 실험 시나리오를 K-City 커뮤니티부 도로를 중심으로 개발하였다. 우선 수집된 경찰청 교통사고 데이터를 전처리 를 통해 커뮤니티부 도로 교통사고를 추출하였으며, 추출된 데이터의 ‘사고 상황’을 키워드 분석하여 의미 있는 주요 키워드를 범주별로 도출하고 이를 정밀 분석하여 교통안전상황을 도출하고 객체를 반영하여 총 24개의 functional 시나리오를 개발하였다. 개발된 functional 시나리오를 구성하기 위한 레이어별 변수 및 범위를 페가수스 5-레이어 모델기반으로 도출하였다. 도출된 레이어별 변수와 범위를 선정하는데 있어서 K-City의 도면 및 관련 자료를 이용하여 선정하였다. 선정된 변수와 범위를 이용하여 자율주행자동차 실차 실험 시나리오인 logical 및 concrete 시나리오를 개발하였다. 개발된 시나리오는 K-City 커뮤니티부 도로에서 자율주행자동차 실차 실험에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 2. 향후 연구과제

하지만 본 연구는 교통사고 데이터와 텍스트 마이닝 기법을 이용하여 시나리오를 개발하였으나, 몇 가지 한계가 존재한다. 우선, 개발된 시나리오를 자율주행자동차 실차 실험 또는 시뮬레이션 실험으로 평가 및 검증하지 않았다는 한계가 존재한다. 이를 해결하기 위해서는 개발된 시나리오에 대한 평가 및 검증 방법론을 개발하여 실차 실험 또는 시뮬레이션 실험을 통해 시나리오의 적정성을 평가 및 검증할 필요가 있다고 판단된다. 두 번째로는 시나리오에 자율주행자동차 비전 센서 및 인공지능(artificial intelligence, AI)의 인지 및 판단 실패에 대한 실험내용이 반영되지 않았다는 점이다. 자율주행자동차 비전 센서 및 AI의 인지 및 판단을 평가할 수 있는 항목이 새로운 레이어에 추가될 필요가 있다고 판단된다. 세 번째로는 본 연구를 통해 개발된 시나리오는 실험평가 기준에 대한 정보가 포함되지 않았다는 점이다. 이를 위해서는 실차 검증 및 평가 기준 개발 연구가 수행될 필요가 있다고 판단된다. 네 번째로, 자율주행자동차가 실험 시나리오 평가를 통과하여도 실제 도로 운행이 가능한지 판단하기 어려운 한계가 존재한다. 이와 관련해서는 실도로 주행을 위한 자율주행자동차 운전능력평가에 관한 연구가 타기관에서 연구를 진행하고 있는 것으로 확인되었다. 마지막으로 경찰청 교통사고 데이터를 이용하여 분석하였으나 단순 접촉사고 등 경찰에 신고 되지 않은 교통사고 데이터인 보험사 교통사고 데이터 또는 블랙박스 데이터를 이용하여 시나리오의 근거로 삼는다면 발전된 시나리오를 개발할 수 있을 것으로 판단된다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(18TLRP-B117133-03)에 의해 수행되었습니다.

본 논문은 2017년 한국ITS학회 추계학술대회 및 2018년 한국ITS학회 추계학술대회에 게재되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

## REFERENCES

- Bae J. W., Son J. E. and Song M.(2013), “Analysis of Twitter for 2012 South Korea Presidential Election by Text Mining Techniques,” *The Journal of Intelligence and Information Systems*, vol. 19, no. 3, pp.141-156.
- Gao L. and Wu H.(2013), “Verb-Based Text Mining of Road Crash Report,” *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*.
- Han S. H.(2010), “A Study on Keyword Extraction From a Single Document Using Term Clustering,” *Journal of the Korean Library and Information Science Society*, vol. 44, no. 3, pp.155-173.
- ITU(2014), *Smart sustainable cities: an analysis of definitions*.
- Jeong H. R., Park S. M., Jun Y. J., Choi J. W., Park K. H. and Yun I. S.(2016), “Reclassification of Traffic Crashes Using Traffic Crash Report Data and Keyword Analysis,” *13th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management*.
- Kim H. S., Kim K. R. and Ha J. Y.(2014), “Real-Time Chatting System for Department Information

- using Retrieval Technique,” *Journal of Telecommunications and Information*, vol. 18, pp.37-40.
- Lee D. J., Yeon J. H., Hwang I. B. and Lee S. G.(2010), “KKMA : A Tool for Utilizing Sejong Corpus based on Relational Database,” *Journal of KIISE: Computing Practices and Letters*, vol. 16, no. 11, pp.1046-1050.
- Menzel T., Bagschik G. and Maurer M.(2018), “Scenarios for Development, Test and Validation of Automated Vehicles,” *IEEE Intelligent Vehicles Symposium(IV)*.
- Mira(2018), *K-City Scenario Definition Consultancy*.
- Park S. M., Han E., Hong Y. S., So J. H. and Yun I. S.(2017), “Development of Safety Evaluation Scenarios for Autonomous Vehicles in Community Roads Using a Text Mining Technique,” *Proceedings of KITS Fall Conference 2017*, pp.189-192.
- Park S. M., Ko H. G., So J. H., Wui J. R. and Yun I. S.(2018), “Study of Test Scenario for Safety Evaluation of Automated Vehicle (Case of the Community Road in K-City),” *Proceedings of KITS Fall Conference 2018*, pp.331-334.
- PEGASUS Project, <https://www.pegasusprojekt.de/en/home>, 2018. 11. 01.
- Waymo(2018), Waymo Safety Report On the Road to Fully Self-Driving.