

고령 운전자 조건부 운전면허 발급을 위한 평가 시나리오 개발 프레임워크

A Framework of Test Scenario Development for Issuance of Conditional Driver's Licenses for Elderly Drivers

김 상 수* · 정 연 식**

* 주저자 : 영남대학교 도시공학과 박사과정

** 교신저자 : 영남대학교 도시공학과 교수

Sangsu Kim* · Younshik Chung**

* Dept. of Urban Planning and Eng., Univ. of Yeungnam

† Corresponding author : Younshik Chung, tpgist@yu.ac.kr

Vol. 23 No.1(2024)
February, 2024
pp.134~145

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2024.23.1.134>

Received 29 December 2023
Revised 3 January 2024
Accepted 8 January 2024

© 2024. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

본 연구의 목적은 조건부 운전면허 발급에 필요한 평가 시나리오 개발 프레임워크를 제안하는 것이다. 이를 위해 프레임워크는 5단계로 구성하였다. 1단계에서는 고령 운전자에 의한 충돌사고의 주요 요인을 사고빈도와 심각도 측면에서 교통사고 특성에 대한 문헌을 검토하였다. 2단계는 도로교통공단 교통사고분석시스템 사고 자료를 활용하여 비고령, 초기 고령, 후기 고령 집단별 교통사고 특성에 대한 분석을 수행하였다. 이를 통해 고령 운전자 등 고위험군 교통사고 유형을 도출하였다. 3단계는 고위험군 교통사고 유형에 해당하는 블랙박스 영상을 분석하여 사고가 발생한 상황에 대해 기술한 교통사고 스토리를 도출하였다. 4단계는 다양한 시나리오 개발을 위해 도출된 사고 스토리의 유형을 분류하여 여러 가지 사고 상황을 구분하였다. 5단계는 최근 다양한 자율주행차량 평가 시나리오 개발에 활용되고 있는 PEGASUS 5-Layer 형식을 적용하여 시나리오를 제시하였다. 본 연구의 결과는 향후 조건부 운전면허 발급을 위한 운전능력 평가시나리오 개발의 기반으로 활용될 것으로 기대된다.

핵심어 : 프레임워크, 조건부 운전면허 발급, 운전능력 평가, 시나리오, 고령 운전자

ABSTRACT

The purpose of this study was to propose a framework for developing test scenarios for issuance of conditional driver's licenses. The framework was composed of five stages. Initially, we reviewed the literature on traffic crash characteristics in terms of accident frequency and severity regarding the main factors of crashes caused by older drivers. In the second stage, the characteristics of crashes attributed to non-elderly, early elderly, and late elderly drivers were analyzed using data obtained from the Traffic Accident Analysis System (TAAS), and crash types for elderly drivers were derived. In the third stage, black box videos of high-risk crash types were analyzed to derive crash stories that described the circumstances in which crashes occurred. In the fourth step, crash situations were classified by rating the types of crash stories derived to develop various scenarios. Step 5 involved creating a scenario by applying the PEGASUS 5-Layer format, which has recently been used to develop test scenarios for autonomous vehicles. The results of this study are expected to be used as a basis for developing driving ability evaluation scenarios for the issuance of conditional driver's licenses.

Key words : Framework, Conditional Driver's license, Driving ability test, Scenario, Elderly drivers

I. 서론

현재 많은 국가에서 조건부 운전면허 제도를 시행하고 있다. 조건부 운전면허란 정규 운전면허와는 달리 특정 조건에서만 운전을 허용하는 면허를 지칭한다. 국내의 경우 「도로교통법」 제80조에 따라 주로 신체장애인을 대상으로 조건부 운전면허를 발급하고 있다. 국외의 경우 미국은 자택 인근에서만 운전을 허용하거나 고속도로 외의 도로에서 운전을 허용하고 있으며, 독일 및 호주의 경우 시간, 공간, 속도, 도로 제한 등 조건 유형을 구분하고 개인별 맞춤형 조건부 면허를 추가적으로 발급하고 있고, 일본의 경우 자동 긴급 제동 장치를 장착한 차량 운전을 허용하는 제도를 도입하고자 하였다(Han et al., 2020). 즉, 국외의 경우 시간, 공간, 도로, 차량 제한 등 다양한 조건을 구분하여 조건부 운전면허를 발급하고 있는 상황이다.

국내의 경우 65세 이상 고령자는 증가하고 있으며, 향후 고령 운전면허 소지자 및 고령 운전자는 증가할 것으로 예상된다(Kim et al., 2023). 국가통계포털에 의하면 65세 이상 고령 운전면허 소지자수의 비율은 2022년 기준 약 12.9%를 차지하며, TAAS(Traffic Accident Analysis System) 자료 기반 고령 운전자의 사고 건수는 2022년 기준 약 17.6%를 차지한다. 이러한 고령 운전자 교통사고 관련 문제를 완화하기 위해 다수의 지자체에서는 고령 운전자의 면허증 반납을 위한 정책을 추진하였다(Kim and Jung, 2022). 조건부 대상 확대 및 조건 유형 다양화 정책을 통해 고령 운전자들이 면허증 반납이 아닌 조건부 면허를 발급받게 된다면 혜택은 더욱 증가할 것으로 예상된다.

현재 경찰청에서는 조건부 면허 발급 대상자 확대 및 VR(Virtual Reality) 기기 기반 운전능력 평가 시스템 도입을 추진하고 있다. 현재까지 조건부 운전면허 발급을 위한 평가는 이루어지지 않았으며, 개인별 운전능력을 평가할 수 있는 과학적 평가 시스템이 필요하다. 고령 운전자가 증가하면서 객관적인 운전능력 평가에 대한 수요 또한 증가하고 있다. 즉, VR 기기 기반 객관적인 운전능력 평가를 위한 시나리오가 필요한 상황이다. 이러한 배경하에, 본 연구의 목적은 고령자 대상 조건부 운전면허 발급을 위한 운전능력 평가 시나리오 개발 프레임워크를 제안하는 것이다.

II. 선행연구 고찰

1. 시나리오 개발 관련 선행연구 고찰

Chrysler et al.(2015)는 보행자 충돌 궤적, 속도, 도로, 환경 그리고 보행자 행동을 분석하여 주행 시뮬레이터 기반 보행자 충돌 시나리오를 제작하였다. Park et al.(2019)은 경찰청 교통사고 데이터와 텍스트 마이닝 기법을 활용하여 PEGASUS 5-Layer 기반 자율주행자동차 실험 시나리오를 개발하였다. Elamrani Abou Elassad et al.(2020)은 SVM(Support Vector Machine) 및 MLP(Multilayer Perceptron) 방법론을 활용하여 주행 시뮬레이터 기반 실시간 교통정보 및 기상정보를 고려한 충돌 발생 예측 시나리오 실험을 진행하였다. Ko et al.(2022)는 고속도로 본선구간을 대상으로 자율주행차 평가 시나리오에 반영되는 구성요소를 도출하기 위해 PEGASUS 5-Layer 기반 구성요소를 계층별로 범주화하였다. Kang et al.(2023)는 데이터 기반 접근법을 토대로 도심부 대상의 자율주행차 안전성 평가를 위해 PEGASUS 5-Layer 기반 시나리오를 제시하였다. Lee et al.(2023)는 자율주행차와 일반 차량 혼재 상황에서 발생하는 사고상황을 대상으로 자율주행차의 도심부 시나리오를 도출하는 방법론을 개발하고, PEGASUS 프로젝트와 CETRAN 프로젝트를 기반으로 도심부 사고 시나리오를 제시하였다. Choi and Kim(2023)는 65세 이상 고령 운전자를 대상으로 FGI(Focus Group Interview)

와 텍스트 마이닝 분석을 통해 스트레스 유발상황 시나리오를 개발하였다.

2. PEGASUS 5-Layer

시나리오 개발을 위해 다양한 방법론이 활용되고 있으며, 최근 자율주행차 연구에서 시나리오 개발을 위해 주로 PEGASUS 5-Layer를 활용되고 있는 추세이다. PEGASUS 프로젝트는 독일연방에서 BMW, AUDI 등 기업들과 진행된 프로젝트이며, 자율주행차 안전성 평가 시나리오에 활용되고 있다. 시나리오의 형태는 functional, logical, concrete 3가지 형태로 구분되며, functional 시나리오는 도로 네트워크, 고정 및 동적 객체, 환경 조건 등을 자연어로 설명한 시나리오이다. logical 시나리오는 활용되는 변수들에 대한 값의 범위를 제공하며, concrete 시나리오는 평가를 위해 변수의 값을 지정하여 구체화하는 시나리오이다. 시나리오 내의 변수들은 Layer를 통해 구분하며 도로의 기하구조, 교통시설, 이동 객체, 환경 조건, 디지털 정보 등 Layer는 6개로 구분된다. 자율주행차 연구에서 활용되는 디지털 정보는 필요하지 않으므로 Layer 6은 활용하지 않았으며, 본 연구에서는 Layer 1의 경우 도로의 종류, 위치 등 도로의 기본적인 변수들로 정의하였다. Layer 2의 경우 교통신호, 교통시설 등을 포함하였고, Layer 3은 공사 등과 같이 돌발상황으로 설정하였다. Layer 4의 경우 고정 및 동적 객체, 객체의 속도를 설명하였으며, Layer 5는 날씨, 도로 상태 등으로 정의하여 연구에 활용하고자 한다.

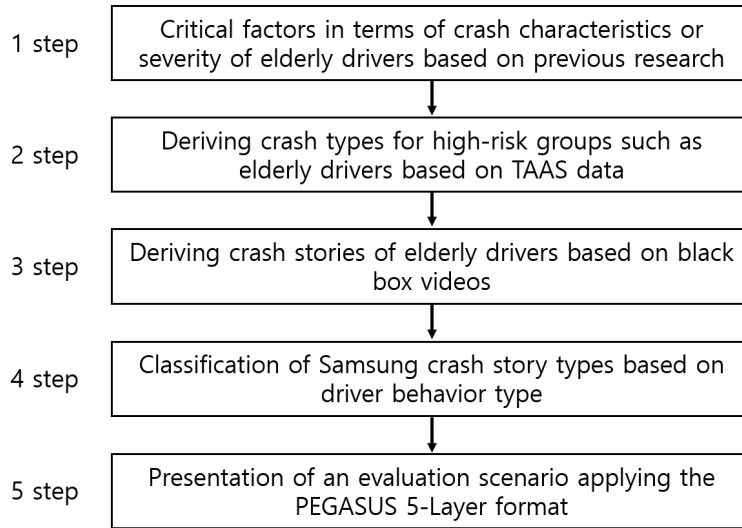
3. 선행연구와의 차별성

현재까지 조건부 운전면허 발급을 위해 별도의 평가를 진행하지 않았으며, 평가를 위한 시스템 및 시나리오가 부재한 상황이다. 즉, 조건부 운전면허 발급을 위한 평가 시스템이 부재하며 개인별 운전능력을 평가할 수 있는 시나리오의 개발이 필요하다. 본 연구의 목적은 조건부 운전면허 발급을 위한 평가 시나리오 개발 프레임워크를 구축하는 것이다. 조건부 운전능력 평가와 관련된 시나리오 개발 선행연구의 사례가 전무하므로, 자율주행차 시나리오 개발과 관련된 선행연구를 위주로 고찰하였다. 자율주행차 선행연구들에서는 시나리오를 제시하기 위해 PEGASUS 5-Layer를 주로 활용하고 있는 추세이며, 본 연구에서도 시나리오 개발을 위해 적용하고자 한다.

Ⅲ. 시나리오 개발을 위한 프레임워크 구축

고령자 대상 조건부 운전면허 발급을 위한 운전능력 평가 시나리오 개발 프레임워크는 5단계로 구축하였다. 1단계는 고령 운전자 교통사고 특성 및 심각도와 관련된 선행연구들에 대한 고찰을 진행하였다. 고령 운전자에게서 주로 발생하는 사고 요인 및 사고 발생시 심각도가 높은 인자에 대해 고찰하였다. 2단계는 도로 교통공단 교통사고분석시스템 사고 자료를 사용하여 비고령, 초기 고령, 후기 고령 집단별 교통사고 특성에 대한 분석을 수행한 후, 교차분석을 활용하여 고위험군 교통사고 유형을 도출하였다. 3단계는 블랙박스를 통해 수집된 교통사고 자료를 사용하여 차대차 및 차대사람 교통사고 유형을 도출한 후 도로교통공단 교통사고 유형과 결합하여 중복되는 유형을 제외한 후, 도출된 교통사고 유형에 해당하는 블랙박스 영상을 분석하여 사고가 발생한 상황을 기술한 교통사고 스토리를 도출하였다. 4단계는 다양한 시나리오 개발을 하기 위해 도출된 사고 스토리의 유형을 분류한 후, 사고 원인과 사고 상황을 구분하였다. 5단계는 최근 자율주행차

시나리오 개발에 활용되고 있는 PEGASUS 5-Layer 형식을 적용하여 평가 시나리오를 제시하는 것이다. 조건부 운전능력 평가 시나리오 개발 프레임워크는 <Fig. 1>과 같다.



<Fig. 1> Framework for scenario development

1. 고령 운전자 교통사고 특성 및 심각도 관련 선행연구 고찰

조건부 운전능력 평가 시나리오를 개발하기 앞서 해당 운전자들이 어떤 상황에서 사고가 자주 발생하는지 혹은 사고 발생시 심각도가 높은 인자에 대한 이해가 필요하다. 현재 조건부에 해당하는 운전자가 확정되지 않은 상황이며, 조건부 운전면허 제도에 추가 도입될 가능성이 가장 높은 대상을 면허를 발급하는 고령 운전자로 판단하였다. 그러므로, 본 연구에서는 고령 운전자를 주요 조건부 면허 대상으로 가정하여 고령 운전자 교통사고 특성 및 사고 심각도와 관련된 선행연구 고찰을 통해 사고가 자주 발생하는 인자 및 사고 심각도가 높은 인자를 도출하였다. 고령 운전자 교통사고 특성 영향 인자는 <Table 1>, 사고 심각도 영향 인자는 <Table 2>에 제시하였다.

선행연구 고찰 결과, 고령 운전자는 교차로(Zhang et al., 1998; Preusser et al., 1998; McGwin and Brown, 1999; Zhang et al., 2000; Langford and Koppel, 2006; Boufous et al., 2008; Clarke et al., 2010; Cicchino and McCartt, 2015; Lee and Gim, 2019)에서 사고가 많이 발생하거나 취약한 것으로 나타났다. 그 다음으로 고령 운전자가 취약한 인자는 회전(Cooper, 1990; Zhang et al., 1998; McGwin and Brown, 1999; Zhang et al., 2000; Chandraratna and Stamatidis, 2003; Langford and Koppel, 2006; Koppel et al., 2011; Cicchino and McCartt, 2015; Amiri et al., 2020), 교통 신호가 없는 구간(Zhang et al., 1998; Preusser et al., 1998; Zhang et al., 2000; Langford and Koppel, 2006; Lee et al., 2012), 통행 우선권 위반(Zhang et al., 1998; McGwin and Brown, 1999; Zhang et al., 2000; Clarke et al., 2010), 낮 시간대(Cooper, 1990; Zhang et al., 1998; McGwin and Brown, 1999; Langford and Koppel, 2006; Jang, 2014) 등으로 나타났으며, 이들 변수를 기반으로 시나리오를 구성하고자 하였다.

<Table 1> Critical factors in terms of crash characteristics of elderly drivers

Author	Methodology	Driver age	Critical factors
Cooper(1990)	Discriminant function	Non-elderly drivers: 36-50 Elderly drivers: 55-64, 65-74, 75+	The off-peak daytime(09:00-15:00), male driver, precollision driver turning movement, right-angle collision, wet or icy road conditions
Hakamies-Blomqvist(1993)	Chi-square test	Non-elderly drivers: 26-40 Elderly drivers: 65+	Legal responsibility of the accident, crossing direction accident, observation error, suddenness of the accident
Zhang et al. (1998)	Logistic regression	Non-elderly drivers: 16-24, 25-64 Elderly drivers: 65+	Inexperience, turning improperly, failing to yield right-of-way, disobeying traffic controls, intersection with no traffic controls, daylight, turning left of right
Preusser et al. (1998)	Relative risk	Non-elderly drivers: 40-49 Elderly drivers: 65+	Multiple-vehicle intersection crash, stop sign and no traffic control, going straight
McGwin and Brown(1999)	Crash rate	Non-elderly drivers: 16-34, 35-54 Elderly drivers: 55+	Time of day(12:00-17:59), intersection-related crash, straight and level roadway, normal weather, multi-vehicle crash, failure to yield, unseen objects, failure to heed stop signals, left turns and left lane changes
Chandraratna and Stamatiadis (2003)	Logistic regression	Non-elderly drivers: 16-64 Elderly drivers: 65+	Left turns against oncoming traffic(older female driver, night time, rural areas), Gap acceptance-related crash(older female, rural areas), Lane changes
Langford and Koppel(2006)	Crash rate	Non-elderly drivers: 40-55 Elderly drivers: 65-74, 75+	Intersection, intersection controlled only by stop or give-way signs, multiple-vehicle collisions, daylight, turn right
Park et al. (2009)	Logit model	Non-elderly drivers: 20-50 Elderly drivers: 60+	Drowsy, curved roads, road surface moisture and icing, cutting sections
Clarke et al. (2010)	Qualitative judgment	Non-elderly drivers: - Elderly drivers: 60+	Intersection, failing to give right of way, unintended acceleration
Koppel et al. (2011)	Chi-square test	Non-elderly drivers: 41-55 Elderly drivers: 65+	Collision with vehicle, collision with fixed object, 50 to 60 km/h zone, going straight ahead, turn right, thorax injury
Cicchino and McCartt(2015)	Rate ratio	Non-elderly drivers: 35-54 Elderly drivers: 70+	Inadequate surveillance, misjudgment of the length of a gap, illegal maneuvers, turning and crossing at an intersection, traveling off the edge of the road
Lee and Gim (2019)	Geographically Weight regression	Non-elderly drivers: - Elderly drivers: 65+	Child protection areas, bus stops, traffic islands, intersection
Kim et al. (2023)	Logistic regression	Non-elderly drivers: 40-64 Elderly drivers: 65+	Male, vehicle alone, run-off-road, overturn, head-on, rear-end, night time, cloudy, rainy, snowy

<Table 2> Critical factors in terms of crash severity of elderly drivers

Author	Methodology	Driver age	Critical factors
Zhang et al. (2000)	Multivariate unconditional logistic regression	Non-elderly drivers: - Elderly drivers: 65+	Male, medical/physical condition, driving fast for conditions, failed to yield/disobeyed traffic signs, crashes at intersection without traffic controls, bridges or under tunnels, snowing, head-on collision, right or left-turn collisions, U-turns, changing lanes
Khattak et al. (2002)	Ordered probit model	Non-elderly drivers: - Elderly drivers: 65+	Male, vehicle overturned, fixed object struck, hit parked vehicle, rural environment, dark or unlit conditions
Boufous et al. (2008)	Linear regression	Non-elderly drivers: - Elderly drivers: 50-64, 65-79, 80+	Rural roads, intersection, curved roads, high speed limit roads, single vehicle crashes, vehicle-to-object crashes

Author	Methodology	Driver age	Critical factors
Park et al. (2010)	Ordered probit model	Non-elderly drivers: - Elderly drivers: 65+	Head-on collision, right-angle collision, rear-end collision, curve point
Lee et al. (2012)	Ordered logit model	Non-elderly drivers: 59- Elderly drivers: 60+	Vehicle-to-vehicle crash, clear day, signal no installed, road width less than 9m
Jang (2014)	Multilevel analysis model	Non-elderly drivers: 64- Elderly drivers: 65+	Increased age, drunk driving, daytime, clear day, wet road conditions
Amiri et al. (2020)	Artificial neural network and Hybrid intelligent genetic algorithm	Non-elderly drivers: - Elderly drivers: 65+	Fixed-object crash(dark, shoulders no existence, improper turn, speeding, falling asleep, 75+ driver group)
Adanu et al. (2021)	Random logit with heterogeneity in means model	Non-elderly drivers: 24- Elderly drivers: 65+	Lane changing crash(interstate highways, overtaking maneuver on two-lane highways, angle collisions, dark and unlit roadways)

2. 고령 운전자 등 고위험군 교통사고 유형 도출

도로교통공단에서는 시나리오를 개발하기 위해 고령 운전자 등 고위험군 운전자들이 취약성을 보이는 주요 교통사고 유형을 도출하고자 하였다. 이를 위해 2017년부터 2022년까지 도로교통공단 교통사고분석시스템(TAAS) 자료 총 301,581건을 사용하였다. 분석에 앞서 제1당사자의 연령 집단을 비고령, 초기 고령, 후기 고령 운전자 집단으로 구분하였으며, 각 집단별 발생빈도 및 심각도를 기준으로 교통사고 유형을 도출하기 위해 교차분석 방법을 활용하였다. 사고 심각도 지수 산출을 위해 대물피해환산법 산식을 활용하여 사망자 1명당 12점, 그 외 부상자 1명당 3점의 가중치를 부여하여 계산하였다.

다빈도 교통사고 유형의 경우 집단별 상위 50개씩을 비교 분석하여 중복되는 상황을 제외하고 총 71개 유형을 도출하였으며, 사고 심각도의 경우 집단별 상위 10개씩을 비교 분석하여 15개 유형을 도출하였다. 도출된 94개 교통사고 유형에 대해 VR 전문가를 대상으로 평가(시나리오 구현 가능성, 이벤트 발생 가능성, 평가 지표의 적정성 등)를 통해, 전문가 5인 중 3명 이상이 적합하다고 판단한 유형을 선정하였다. 최종적으로 선정된 다빈도 24개, 사고 심각도 4개를 합한 총 28개 교통사고 유형을 선정하였으며, <Table 3>에 교통사고 유형에 대한 예시를 제시하였다.

<Table 3> Examples of crash types

Category	No.	Crash type						
		Day and night	Road alignment	Road type	Intersection type	1 Person behavior type	2 Person car type	2 Person behavior type
Frequency	1	Daytime	Straight	In the intersection	4-way intersection	Go straight	Passenger car	Go straight
	2	Daytime / night	Straight	In the intersection	4-way intersection	Left turn	Passenger car	Go straight
	3	Daytime	Straight	In the intersection	4-way intersection	Go straight	Passenger car	Left turn
...								

3. 블랙박스 영상 기반 고위험군 교통사고 스토리 도출

고령 운전자 등 고위험군 교통사고 유형을 도출하기 위해 보험사에서 수집한 블랙박스 영상 자료 46,128건을 활용하였다. 차대차 및 차대사람 교통사고 유형 상위 10개씩 도출하여 도로교통공단 교통사고 유형과 결합한 후, 중복되는 유형을 제외하여 총 35개 교통사고 유형을 도출하였다. 도출된 교통사고 유형에 해당하는 블랙박스 사고 영상을 추출하여 주행환경, 도로환경, 사고상황을 종합한 총 35개의 고위험 교통사고 스토리를 개발하였다. 도출된 고위험 교통사고 스토리에 대해 전문가 10명을 대상으로 평가(VR 구현 난이도, 멀미 유발 가능성, 이벤트 미발생 가능성, 고령 운전자 운전특성 반영도 등)를 진행하여 최종적으로 18개 시나리오를 선정하였으며, <Table 4>에 교통사고 스토리 예시를 제시하였다.

<Table 4> Examples of crash stories

No.	Crash story
1	The offending vehicle passed through a four-way intersection without a signal without stopping to check left and right and collided with a two-wheeled vehicle entering from the left and right directions
2	As the offending vehicle approached the 3-way intersection with no signal, it did not see the bicycle that had started to pass in the left and right bicycle lanes and continued straight ahead, colliding.
3	When the offending vehicle tried to turn right following the green signal ahead, the right-turn crosswalk was operated without a signal, so it entered without stopping and collided with a pedestrian crossing
...	

4. 운전자 행동유형 기반 교통사고 스토리 유형 분류

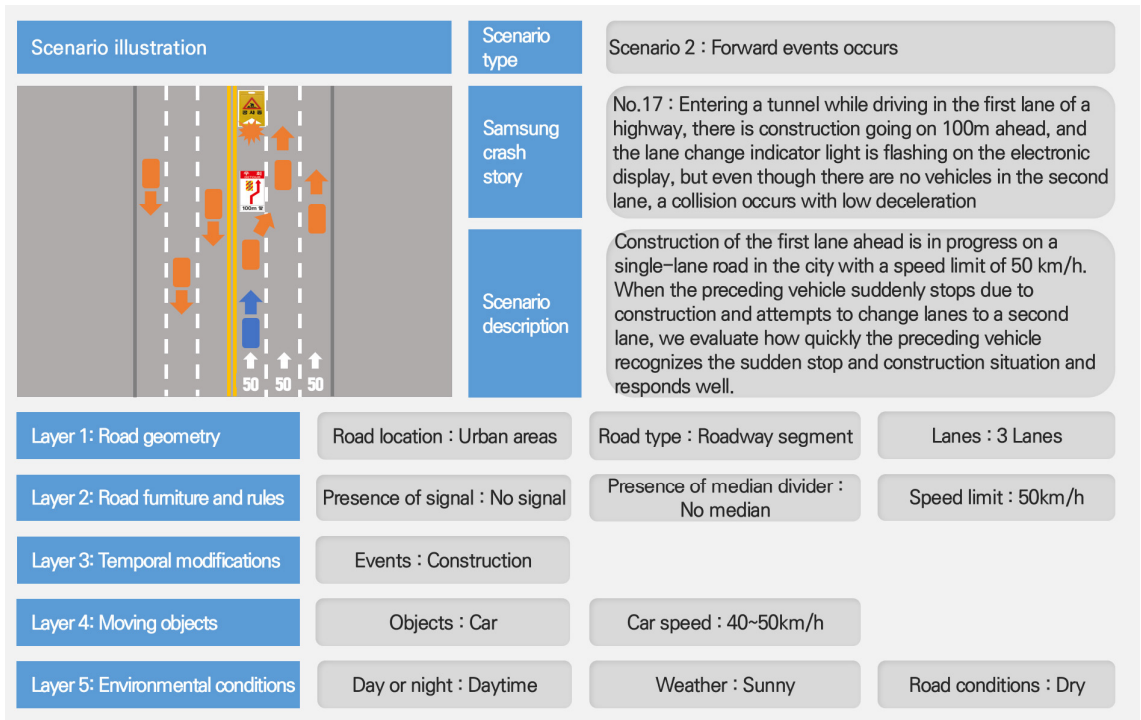
블랙박스 영상 자료에서 도출한 고위험 교통사고 스토리를 활용하여 시나리오를 개발하고자 하였으나, 사고 유형이 중복되는 스토리가 다수 존재하였다. 시나리오의 경우 다양한 유형이 필요하므로 최종 교통사고 스토리 뿐만 아니라 후보 교통사고 스토리도 활용하였으며, 교통사고 유형에서 1당 행동유형을 기반으로 구분한 후, 사고가 발생한 원인 및 상황을 요약하였다. 요약 결과, 최종 교통사고 스토리에서는 대부분 직진 중이 차지하였으며, 후보 교통사고 스토리에서는 좌회전 중 및 차로 변경 중 사고가 주로 발생하였다. 차로 변경은 직진 상황 안에 포함할 수 있으므로 결과적으로 시나리오 유형은 좌회전, 우회전, 직진 중으로 분류하였다.

사고 원인 기반 분류한 결과, 직진 및 회전 중 전방의 객체(차량, 오토바이, 보행자 등) 및 교통신호를 제대로 확인하지 않는 전방주시태만으로 인해 사고가 발생하였으며, 차로 변경 중 선행 및 후행 차량을 확인하지 않고 진입하여 사고가 발생하였다. 또한, 전방의 신호를 제대로 확인하지 않고 선행 차량만을 따라 주행하다가 사고가 발생하거나, 선행 차량이 급정지하는 경우 인지는 하였지만 즉각적인 반응을 하지 못하여 사고가 발생하였다. 즉, 고령 운전자는 전방을 제대로 주시하지 않거나 반응이 늦어 사고가 발생하였으며, 이러한 특징을 시나리오에 반영하고자 한다.

사고 상황 기반 분류한 결과, 좌회전 상황은 신호가 없는 교차로, 비보호 좌회전으로 구분되었고, 우회전은 신호가 있는 또는 신호가 없는 교차로로 구분되었다. 회전 상황의 경우 차로 이탈을 하는 경우 사고가 발생하도록 설계하였다. 직진 상황의 경우 시나리오 구현에 있어서 일반적인 상황보다 특정 이벤트가 발생하는 상황으로 설계하는 것이 더 중요하다고 판단된다. 그러므로 여러 사고 상황 중 전방 돌발상황 발생, 선행 차량 급정지, 딜레마존, 정차차량 본선 합류 상황을 특정 이벤트 상황으로 판단하여 시나리오로 설계하였다.

5. PEGASUS 5-Layer 형식을 적용한 평가 시나리오 제시

앞서 PEGASUS 5-Layer에 대한 설명을 제시하였으며, 주로 자율주행차 시나리오 개발 연구에 활용되고 있지만, 이와 같은 형식을 본 연구에도 적용 시 시나리오에 활용되는 변수를 구성함에 유용할 뿐만 아니라 보기 쉽게 제공할 수 있는 장점으로 인해 본 연구에서도 활용하였다. <Fig. 2>에 PEGASUS 5-Layer를 적용한 전방 돌발상황으로 인해 선행 차량이 급정지하는 시나리오를 제시하였다. Layer 1은 도로 위치, 도로 유형, 차로 수, Layer 2는 신호 유무, 중앙분리대 유무, 도로 제한속도, Layer 3에서는 돌발상황으로 선정하였다. Layer 4는 이동 객체 유형, 객체의 속도, Layer 5에서는 주야, 날씨, 도로 상태를 선정하여 해당 변수들에 대한 값은 functional 수준에서 제시하였다.



<Fig. 2> Scenario 2 applying PEGASUS 5-Layer

IV. 프레임워크 기반 조건부 운전능력 평가 시나리오 개발 결과

운전능력 평가를 진행하는 경우 다양한 시나리오를 활용하여 운전자들에 대한 정확한 평가가 필요하지만, VR 기기 탑승시 운전자들은 멀미를 동반할 수 있으며 이에 대한 고려가 필요하다. 즉, VR 기기 탑승 시간을 최소화하기 위해서는 평가에 활용되는 시나리오의 개수 또한 최소화되어야 한다. 선행 차량 급정지, 정차차량 본선 합류 상황의 경우 선행 차량이 감속 혹은 정지하는 상황으로 평가 차량 또한 이에 따라 감속 및 정지를 하는 유사한 상황으로 판단하여, 두 가지 상황을 전방 돌발상황 내에 포함하여 시나리오를 설계하였으며, 이 외의 시나리오는 비보호 좌회전, 교차로 우회전, 딜레마존을 선정하였다. 또한 기본적인 주행 및 운전

조작을 할 수 있는 연습주행 시나리오를 포함하여 최종적으로 5개 시나리오를 평가 시나리오로 선정하였다.

시나리오 1은 연습주행 시나리오이며 직진, 차로 변경, 좌회전 및 우회전, 정지를 포함한 기본적인 운전 연습을 통해 VR 기기를 적응할 수 있는 시나리오이며, 개인별로 운전 조작성이 다를 수 있으므로 시나리오 제시는 하지 않았다. 시나리오 2는 전방 돌발상황으로 인한 선행 차량 급정지 시나리오로 앞선 내용에서 제시하였다. 시나리오 3은 딜레마존, 시나리오 4는 비보호 좌회전, 시나리오5는 신호가 없는 교차로 우회전으로 시나리오를 구성하였다. 도로별 속도의 경우 도시부 도로는 시속 50km/h 제한, 지방부 도로는 시속 60km/h 제한으로 설정하였다. <Table 5>에 최종적으로 선정한 평가 시나리오에 대해 제시하였다.

<Table 5> Final selected evaluation scenarios

No.	Scenario type	Scenario description
1	Practice driving	A scenario where you can adapt to the VR device and perform basic driving maneuvers(turn, go straight, stop, etc)
2	Foward events occurs	A scenario to evaluate whether the evaluation vehicle can quickly recognize and respond when the preceding vehicle stops suddenly due to construction occurs
3	Dilemma zone	A scenario where, when the signal changes to yellow after the preceding vehicle passes at an intersection, the evaluation vehicle recognizes the signal and evaluates whether to accelerate or stop
4	Unprotected left turn	A scenario where, after all cars going straight in the opposite lane at an intersection have passed, the evaluation vehicle is evaluated to see whether it correctly maintains its lane and makes an unprotected left turn
5	Right turn at the intersection	A scenario in which a pedestrian crosses the crosswalk while attempting to turn right at an intersection without a signal, and the evaluation vehicle recognizes the pedestrian, stops, and evaluates whether or not it makes an appropriate turn

V. 결 론

현재 경찰청에서는 조건부 면허 발급 대상자 확대 및 운전능력 평가 시스템 도입을 추진하고 있다. 이에 본 연구에서는 조건부 운전면허 발급에 필요한 평가 시나리오 개발 프레임워크를 구축하였다. 프레임워크는 총 5단계로 구성하였으며, 1단계에서는 고령 운전자들이 자주 발생하는 사고 요인 및 심각도가 높은 영향 인자를 도출하기 위해 선행연구 고찰을 진행하였다. 2단계에서는 TAAS 사고 자료 기반 고령 운전자 등 고위험군 교통사고 유형을 도출하였다. 1단계 선행연구 고찰에서 도출된 주요 영향 인자는 2단계에서 도출한 교통사고 유형에 대부분 포함되었으며, 이러한 변수들을 시나리오 구성에 활용하는 것은 합리적인 것으로 볼 수 있다. 3단계는 도로교통공단에서 도출한 교통사고 유형에 해당하는 블랙박스 영상을 분석하여 교통사고 스토리를 도출하였으며, 4단계에서는 다양한 시나리오 개발을 위해 운전자 행동유형 기반 교통사고 스토리 유형을 구분하였다. 5단계에서는 PEGASUS 5-Layer 형식을 적용하여 평가 시나리오를 제시하였다. 또한, 최종 평가 시나리오는 연습 주행, 전방 돌발상황 발생, 딜레마존, 비보호 좌회전, 교차로 우회전 시나리오까지 총 5개 시나리오로 선정하였다. 본 연구에서는 선행연구와는 달리 교통사고 자료를 활용하였을 뿐만 아니라 블랙박스 영상을 통해 실제 사고가 난 상황을 구체적으로 기술하여 큰 장점을 가질 것으로 판단된다. 이와 같은 연구 결과는 향후 조건부 운전면허 발급을 위한 평가 시나리오 개발 연구의 기초자료로 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

반면, 현재 시점에서는 조건부 대상 및 유형이 확정되지 않았으며, 신체장애인 교통사고 자료 취득의 한계점으로 인해 고령 운전자를 위주로 시나리오가 개발되었다. 향후, 조건부 대상 및 유형이 확정될 경우 이를 고려한 평가 시나리오 개발이 필요할 것으로 예상된다. 또한, 최종 선정된 평가 시나리오를 활용하여 고령 운전자 뿐만 아니라 여러 연령대 그룹을 대상으로 실험을 진행하여 평가 시나리오가 적합한지에 대한 검증이 필요할 것으로 예상된다. 또한, 실험 결과를 활용하여 면허 발급 여부를 구분할 수 있는 기준치가 설정되어야 한다. 즉, 실제 운전자들을 대상으로 실험하여 평가 시나리오의 검증 및 면허 발급 기준이 설정되어야 하며, 동시에 시나리오의 수정 및 고도화가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 연구는 2023년도 정부(경찰청)의 재원으로 지원받아 수행된 연구결과임 [과제명: 조건부 운전 면허제도 개선을 위한 운전능력 평가 시스템 / 연구개발과제번호: PR09-02-000-23].

REFERENCES

- Adanu, E. K., Lidbe, A., Tedla, E. and Jones, S.(2021), “Factors associated with driver injury severity of lane changing crashes involving younger and older drivers”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 149, 105867.
- Amiri, A. M., Sadri, A., Nadimi, N. and Shams, M.(2020), “A comparison between artificial neural network and hybrid intelligent genetic algorithm in predicting the severity of fixed object crashes among elderly drivers”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 138, 105468.
- Boufous, S., Finch, C., Hayen, A. and Williamson, A.(2008), “The impact of environmental, vehicle and driver characteristics on injury severity in older drivers hospitalized as a result of a traffic crash”, *Journal of Safety Research*, vol. 39, no. 1, pp.65-72.
- Chandraratna, S. and Stamatiadis, N.(2003), “Problem driving maneuvers of elderly drivers”, *Transportation Research Record*, vol. 1843, no. 1, pp.89-95.
- Choi, N. and Kim, J.(2023), “Stress-Inducing Scenarios for Elderly Drivers: A Text Mining Approach Utilizing FGI-Based Analysis”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 41, no. 5, pp.525-537.
- Chrysler, S. T., Ahmad, O. and Schwarz, C. W.(2015), “Creating pedestrian crash scenarios in a driving simulator environment”, *Traffic Injury Prevention*, vol. 16, no. 1, pp.S12-S17.
- Cicchino, J. B. and McCartt, A. T.(2015), “Critical older driver errors in a national sample of serious US crashes”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 80, pp.211-219.
- Clarke, D. D., Ward, P., Bartle, C. and Truman, W.(2010), “Older drivers’ road traffic crashes in the UK”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 42, no. 4, pp.1018-1024.
- Cooper, P. J.(1990), “Differences in accident characteristics among elderly drivers and between elderly and middle-aged drivers”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 22, no. 4, pp.499-508.
- Elamrani Abou El Assad, Z., Mousannif, H. and Al Moatassime, H.(2020), “Class-imbalanced crash

- prediction based on real-time traffic and weather data: A driving simulator study”, *Traffic Injury Prevention*, vol. 21, no. 3, pp.201-208.
- Hakamies-Blomqvist, L. E.(1993), “Fatal accidents of older drivers”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 25, no. 1, pp.19-27.
- Han, S., Chang, H., Cho, J., Oh, J. and Yun, I.(2020), “Improvement direction of conditional driving license system for the elderly drivers”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 19, no. 5, pp.29-39.
- Jang, T.(2014), “Traffic accident damage severity of old age drivers by multilevel analysis model”, *KSCE(Korean Society of Civil Engineers) Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, vol. 34, no. 2, pp.561-571.
- Kang, M., Eom, S. and Hwang, K.(2023), “Development of autonomous vehicle critical situation scenarios in urban areas based on Kinetic 3D-LiDAR PCD with triggered vehicle detection”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 41, no. 3, pp.353-374.
- Khattak, A. J., Pawlovich, M. D., Souleyrette, R. R. and Hallmark, S. L.(2002), “Factors related to more severe older driver traffic crash injuries”, *Journal of Transportation Engineering*, vol. 128, no. 3, pp.243-249.
- Kim, J. and Jung, H.(2022), “Study of the Effect of Incentive Policies on the Intention to Return the Driver’s Licenses of Elderly Drivers”, *KSCE(Korean Society of Civil Engineers) Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, vol. 42, no. 2, pp.219-227.
- Kim, S., Choi, B. and Chung, Y.(2023), “Characteristics of Crashes with Early and Late Elderly Drivers by Injury Severity”, *KSCE(Korean Society of Civil Engineers) Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, vol. 43, no. 4, pp.477-484.
- Ko, W., Yun, I., Park, S., Jeong, H. and Park, S.(2022), “Derivation of Assessment Scenario Elements for Automated Vehicles in the Expressway Mainline Section”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 21, no. 1, pp.221-239.
- Koppel, S., Bohensky, M., Langford, J. and Taranto, D.(2011), “Older drivers, crashes and injuries”, *Traffic Injury Prevention*, vol. 12, no. 5, pp.459-467.
- Langford, J. and Koppel, S.(2006), “Epidemiology of older driver crashes-identifying older driver risk factors and exposure patterns”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 9, no. 5, pp.309-321.
- Lee, H., Kang, M., Song, J. and Hwang, K.(2023), “Development of autonomous vehicle traffic accident scenarios in urban areas based on real-world accident data using association rule mining”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 41, no. 3, pp.375-393.
- Lee, J. and Gim, T. T.(2019), “Examining the Characteristics of Traffic Accidents Involving Elderly Drivers in Seoul, South Korea”, *The Korea Spatial Planning Review*, vol. 102, pp.19-34.
- Lee, S., Jeung, W. and Woo, Y.(2012), “Comparative Analysis of Elderly’s and Non-Elderly’s Human Traffic Accident Severity”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 11, no. 6, pp.133-144.
- McGwin, J. G. and Brown, D. B.(1999), “Characteristics of traffic crashes among young, middle-aged, and older drivers”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 31, no. 3, pp.181-198.
- Park, J., Kim, Y. and Lee, S.(2009), “The analysis of older driver’s traffic accident characteristic at

- express-way using logit model”, *International Journal of Highway Engineering*, vol. 11, no. 4, pp.1-7.
- Park, J., Ko, J. and Lee, S.(2010), “Developing Older Driver’s Accident Injury Severity Model for Accident Type: An Application of Ordered Probit Model”, *Journal of Transport Research*, vol. 17, no. 4, pp.85-94.
- Park, S., So, J. J., Ko, H., Jeong, H. and Yun, I.(2019), “Development of safety evaluation scenarios for autonomous vehicle tests using 5-layer format (Case of the Community Road)”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 18, no. 2, pp.114-128.
- Preusser, D. F., Williams, A. F., Ferguson, S. A., Ulmer, R. G. and Weinstein, H. B.(1998), “Fatal crash risk for older drivers at intersections”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 30, no. 2, pp.151-159.
- Zhang, J., Fraser, S., Lindsay, J., Clarke, K. and Mao, Y.(1998), “Age-specific patterns of factors related to fatal motor vehicle traffic crashes: focus on young and elderly drivers”, *Public Health*, vol. 112, no. 5, pp.289-295.
- Zhang, J., Lindsay, J., Clarke, K., Robbins, G. and Mao, Y.(2000), “Factors affecting the severity of motor vehicle traffic crashes involving elderly drivers in Ontario”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 32, no. 1, pp.117-125.