

국내외 자율주행차 테스트베드 분석 기반 K-City 발전 전략 수립에 관한 연구

Study on Establishment of Development Strategy for K-City Based on Analysis of Domestic and Overseas Automated Vehicle Testbeds

김 예 진* · 박 상 민** · 김 인 영*** · 고 한 검**** · 조 성 우***** · 윤 일 수*****

* 주저자 : 아주대학교 교통공학과 석사과정

** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 연구조교수

*** 공저자 : 아주대학교 교통공학과 석사과정

**** 공저자 : 한국교통안전공단 자동차안전연구원 자율주행실 차장

***** 공저자 : 한국교통안전공단 자동차안전연구원 자율주행실 실장

***** 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Yejin Kim* · Sangmin Park* · Inyoung Kim* · Hangeom Ko** ·
Seongwoo Cho** · Ilsoo Yun*

* Dept. of Transportation Eng., Ajou University

** Korea Automobile Testing & Research Institute, Korea Transportation Safety Authority

† Corresponding author : Ilsoo Yun, illsooyun@ajou.ac.kr

Vol.20 No.4(2021)

August, 2021
pp.28~45

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.4.28>

Received 16 July 2021
Revised 28 July 2021
Accepted 5 August 2021

© 2021. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

교통사고의 발생원인 중 85-90%는 인적요인으로서, 인지·판단·제어 속도가 빠른 자율주행차는 인적요인으로 인한 교통사고를 예방하기 위한 대안이 될 수 있다. 그러나 자율주행차 도입을 통한 교통사고 피해 감소를 위해서는 자율주행의 안전성 확보가 선행되어야 한다. 따라서 실도로와 유사한 환경에서 반복·재현 시험주행을 통해 도로·교통 환경 변화에 따라 자율주행차가 적절하게 대응할 수 있는지를 검증할 필요가 있다. 이 연구에서는 기 구축된 국내외 테스트베드의 현황 비교·분석 및 자율주행차 실험도시(K-City)의 경영환경분석(PEST, SWOT 분석)을 통해 K-City의 고도화 및 차별화, 체계적인 발전을 위한 다양한 관점에서의 전략을 수립하였으며, 각 발전 전략을 달성하기 위한 전략 과제를 도출하였다.

핵심어 : 자율주행차, 테스트베드, K-City, 경영환경분석, 발전 전략

ABSTRACT

85-90% of the causes of traffic accidents are human factors, and autonomous vehicles with little free running distance can be an alternative to prevent traffic accidents caused by human factors. However, securing safety of autonomous vehicles should be preceded in order to reduce traffic accident damage through the introduction of autonomous vehicles. Therefore, it is necessary to verify whether the vehicle can respond appropriately to changes in the road and traffic environment through repeated and reproduced test runs in an environment similar to the actual road. In this study, K-City's development strategies for upgrading, differentiating, and systematic development were established by comparing and analyzing the current status of domestic and foreign testbeds and business environment analysis. Furthermore, we derive challenge tasks to achieve each strategy.

Key words : Autonomous vehicle, Testbed, K-City, Business Environment Analysis, Development Strategy

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 필요성

도로교통공단의 교통사고분석시스템(Traffic Accident Analysis System, TAAS)에 따르면, 2019년 기준 우리나라 도로교통사고 총비용은 약 2조 6천억 원에 달한다(TAAS, 2021). 또한, 2015년 기준, 자동차 1만 대당 사망자 수는 1.9명으로, OECD 회원국 평균(0.9명)에 비교하여 약 2.1배 많은 것으로 나타났다. 교통사고 발생 원인 중 인적요인(human error)이 약 85-90%를 차지하는 것을 고려하면 자율주행은 교통사고 발생 위험을 낮추기 위한 훌륭한 대안이 될 수 있다(International Road Transport Union(IRU), 2021). 자율주행차(autonomous vehicle 또는 automated vehicle)는 인지 및 판단에 필요한 시간이 매우 짧아 도로상의 위험요인에 빠르게 대처할 수 있기 때문이다. 따라서, 교통사고로 인한 사회적 비용을 줄이기 위한 자율주행차의 도입은 시의적절한 대안으로 보인다. 이 외에도 자율주행차는 공유경제(sharing economy)와 결합하여 새로운 모빌리티 서비스(mobility service)를 창출하는 데 용이하다. 궁극적으로 자율주행차는 우리가 살고 있는 도시의 구조, 우리들의 통행 행태 및 생활 방식 등에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다(Jang et al., 2018).

그러나 자율주행 기술이 빠른 속도로 개발되면서 자율주행차가 충분한 환경조건에서의 시험주행 및 안전성 검증을 거치지 못한 상태로 실도로에 투입되자, 계속해서 이와 관련된 교통사고가 발생하고 있다. 2016년 5월, 오토파일럿(Autopilot) 모드로 주행하던 테슬라 모델 3이 인지 장애로 인해 전방에서 좌회전하던 트레일러와 충돌하여 운전자가 사망하는 사고가 있었으며, 2020년 6월에는 오토파일럿 모드로 주행하던 테슬라 모델 3이 차로 이탈 후 중앙분리대와 충돌하는 사고가 발생했다(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(MOLIT) and Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA), 2021).

자율주행차를 실도로에 투입하기 전, 안전성을 확보하기 위해서 실도로환경과 유사한 테스트베드에서의 반복 시험주행이 선행되어야 한다. 자율주행차는 카메라, 라이다(light detection and ranging, lidar), 레이더(radio detection and ranging, radar) 등의 센서를 이용하여 도로교통 및 주행 환경을 인지하고, 수집한 주행상황 정보를 기반으로 적절한 판단을 내려 차량을 제어하며 움직이기 때문이다. 자율주행차의 안전성 및 신뢰성 확보를 위해서는 이러한 과정을 실도로와 유사한 환경에서 수없이 반복·재현하면서 차량 내·외부적으로 발생할 수 있는 위험요인을 분석하고 극복하기 위한 대응책을 수립해야 한다. 따라서 자율주행차의 안전성 및 신뢰성과 관련하여, 자율주행 기술개발을 지원하고 운전 능력을 검증할 수 있는 종합적인 자율주행 테스트베드가 필요한 시점이다.

안전성이 검증되지 않은 자율주행차가 일반 자동차와 함께 실도로 환경을 주행하는 것은 도로상의 심각한 위험 요소로 작용할 수 있다. 따라서 자율주행차를 위한 실도로와 유사한 환경의 시험주행 공간을 확보하는 것은 자율주행기술의 개발 및 발전을 위해 필수적이다. 특히 작년 12월 초 세계 자율주행차 기술 부문 1위라고 평가받는 구글 웨이모(Waymo)가 TRC(오하이오주 콜럼버스) 내에 위치한 “SMART Center”에 추가시설 구축을 추진 중에 있다는 점을 유의 깊게 살펴볼 필요가 있다(KDKA CBS Pittsburgh, 2021). 따라서 본 연구에서는 국토교통부와 한국교통안전공단 자동차안전연구원(Korea Automobile Testing and Research Institute, KATRI)이 우리나라 최초의 자율주행차 종합 테스트베드로 구축한 자율주행차 실험도시(이하, K-City)를 중심으로, 국내 자율주행차 안전성 및 신뢰성 평가를 위한 종합 테스트베드의 발전 전략과 전략 과제를 수립하

고자 한다.

이 연구는 기구축된 국내외 테스트베드의 현황 비교·분석 및 경영환경분석을 통해, K-City가 앞으로 발전해 나가야 할 방향성을 설정하고 전략을 제시하는 것을 목적으로 한다. 또한 전략별 특성에 따라 적절한 전략 과제를 매칭하고자 한다.

이 연구의 공간적 범위는 전 세계의 자율주행차 기술개발 및 안전성 평가를 지원하기 위한 테스트베드이며, 시간적 범위는 현재 및 미래에 구축될 테스트베드이다. 국내외 자율주행차 테스트베드 사례조사를 위해 폐쇄형 및 개방형 테스트베드를 포함하여 인프라 구축현황, 테스트베드 운영 방법, 지원 서비스 등에 대한 문헌조사를 실시하였고, 각각의 항목에 대하여 K-City와의 비교분석을 통해 K-City의 특성에 맞는 전략을 도출하였다. 마지막으로 도출한 전략을 기반으로 적절한 전략 과제를 매칭하였다.

2. 관련 이론 및 연구 고찰

1) 관련 이론 고찰

이 연구에서는 경영환경분석(business environment analysis)을 이용하여 K-City의 발전 및 고도화 전략을 도출하고자 한다. 경영환경분석이란, 어느 조직이나 기업의 내부적, 외부적 환경을 비교·분석하여 효과적으로 조직을 관리하거나 전략을 도출하고 환경변화에 대응하기 위해 활용하는 분석 기법으로, 분석의 대상이 되는 조직의 특성, 분석 목적에 따라 적절한 기법을 선택하여 사용한다(Ryu, 2011). 이 연구에서는 여러 경영환경분석 기법 중 거시 환경예측에 사용되는 PEST 분석과 전략 도출에 사용되는 SWOT 분석을 사용하려 한다.

거시적인 접근에서의 경영환경분석 기법의 하나인 PEST 분석은 대상 기업·조직을 정치적(political), 경제적(economic), 사회적(social), 기술적(technological) 관점에서 정성적으로 분석하는 기법이다(Seo, 2019). PEST 분석은 분석대상을 외부환경으로 한정한다는 특징이 있다(Ryu, 2011).

SWOT 분석은 기업의 내·외부적인 환경요인을 분석하여 대응 전략을 수립하는 데 활용되는 경영환경분석 기법으로, 강점(strengths), 약점(weaknesses), 기회(opportunities), 위협(threats) 4개의 관점에서 기업을 정성적으로 분석하여 전략을 도출한다(Seo and Bae, 2016). SWOT 분석은 내·외부환경 모두를 포괄하여 분석한다는 특징이 있다(Ryu, 2011).

2) 관련 연구 고찰

Ko et al.(2017)은 K-City 구축방안 수립을 위한 전문가 및 일반연구자 대상 중요도-성취도 분석(importance-performance analysis, IPA)을 실시하였다. 평가시설 관련 필요성 및 시급성 분석 결과, 도심부 도로와 고속주행도로의 우선순위가 높았으며 평가시스템 관련 분석 결과, 신호정보 제공 시스템, 교차로 지원 시스템, 보행자 충돌 방지 알람 시스템의 우선순위가 높았다. 관계자의 종합적인 의견 및 요구를 반영하여 활용성 높은 평가시설을 구축하기 위해 탈부착식 차선, 가벽형 빌딩 면 등을 구성하여 평가 운영의 탄력성(flexibility)을 확보할 것을 제안하였다.

해외의 경우, Cao et al.(2016)은 저지연·고속 통신을 지원하는 5G 기술을 자율협력주행(connected automated driving)에 적용하기 위한 5G-V2X(vehicle-to-everything) 기반의 테스트베드 설계 방안을 제안하였다. 자율주행차 안전성 향상을 위한 5G 통신기술의 필요성을 강조하였으며, 직접 설계 방안을 제안함으로써 자율주행차를 위한 다양한 기술(e.g. 빠른 피드백이 가능한 무선 인터페이스, 새로운 P-OFDM(polar-orthogonal frequency division multiplexing) 통신 폼(form), 저지연 다중 접근 체계 등)이 실현 가능성을 보였다. 또한, 제안한 설계 방안이 현재 5G 통신기술의 프로토타이핑 역할을 하여 빠른 기술 변화에 대응하는 데 도움을 줄 것으로 예

상하였다.

Doric et al.(2019)에 따르면, 다임러 AG와 MESSRING은 2018년 독일 임펜딩겐(Immendingen) 지역에 자율주행차의 취약 도로 이용자(vulnerable road user) 검지 성능을 시험하기 위한 테스트베드를 구축하였다. 표적(target) 이동 시스템 등을 도입함으로써 기존 테스트베드에 비해 시험환경의 기능성과 안전성, 유연성을 개선하였으며 기술적으로 불완전한 개발 단계의 자율주행차일지라도 안전한 시험이 가능하도록 안전 및 통신 시설을 설계하였다. 특히 테스트베드 내 Bertha 구역에서는 보행자 및 자전거 이용자 등 취약 도로 이용자와 차량 간의 위급상황에서 자율주행차의 충돌 방지 기능 및 기초적인 대응을 검증한다. 6D Target Mover 시스템을 활용하여 표적 몸체(body)의 기울기를 분석함으로써, 보행자 또는 자전거 이용자가 이동하고자 하는 방향으로 몸체를 기울이는 특성을 반영하여 실제로 동작하기 전 이들의 행동을 예측하는 이동패턴을 학습할 수 있으며, 이를 통해 자율주행차의 취약 도로 이용자 검지 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대하였다.

3. 연구의 차별성 도출

관련 연구 검토 결과 우리나라에서 자율주행 기술 검증을 위한 테스트베드가 생겨나고 있지만, 종합적인 통제 또는 관리 등에 관한 연구는 부족한 것으로 판단된다. 이런 상황이다 보니, 자율주행차 테스트베드의 발전 전략 및 전략 과제의 수립 또한 미비한 상황인 것으로 판단된다. 자율주행 테스트베드의 발전 전략과 관련하여 제안된 기존 연구에서는, K-City 구축방안을 수립하기 위한 IPA 조사가 시행되었으며 그에 따른 테스트베드 시설 구축의 필요성 및 시급성이 도출되었다. 본 연구에서는 기구축된 국내외 테스트베드의 현황을 비교·분석하고 K-City의 경영환경분석을 통해 전략 및 전략 과제를 수립한다는 점에서 기존 연구와의 차별성을 갖는다.

II. 국내의 자율주행차 테스트베드 현황분석

1. 국외 자율주행차 테스트베드 현황

국외 자율주행차 테스트베드는 미국의 M-City, ACM, TRC, 일본의 J-town, 중국의 A Nice City, 베이징-허베이 스마트카 및 스마트 교통산업 혁신 시범구, 우시 국가 지능형 교통 종합 시험기지, 스웨덴의 AstaZero, 네덜란드의 DITCM(Dutch Integrated Testsite Cooperative Mobility) 등이 있다. 이 중에서 본 연구에서는 K-City와 기능상 유사한 미국의 M-City, ACM, 일본의 J-town, 중국의 A Nice City, 스웨덴의 AstaZero 총 5개 테스트베드의 현황을 조사하였다. 결과는 <Table 1>과 같다(NetEase, 2021; Traffic Science Research, 2019; MOLIT and KAIA, 2016).

미국 M-City는 미시간 대학교 MTC(Mobility Transformation Center) Pillar 사업의 일환으로, 자율주행차의 성능과 안전성 검증을 위해 세계 최초로 구축된 자율주행 테스트베드이다. 고속도로, 도시부 도로(교차로, 다중차로 등), 주차 공간, 지하도, 빌딩 면 등으로 구성되며, 자동 주차 기술, 자동제어 시스템, 보행자 감지 기술, 첨단정보통신 시스템, 운전자 상태 감지 기술, 차량 공유 기술 등을 시험할 수 있는 환경을 갖추고 있다. V2X 통신음영시스템을 갖추고 있어, 통신 방해에 따른 상충 상황에 대한 자율주행차의 성능을 시험할 수 있는 특징이 있다.

미국 ACM(American Center for Mobility)은 미시간주 디트로이트 서쪽에 위치한 입실런티 타운십(Ypsilanti

Township) 외곽 윌로우 런 공항(Willow Run)에 자율주행 연구 인프라 및 제품 개발 주행 시설 등을 갖춘 대규모 연구 단지를 구축하였다. 미국 미시간 주 정부를 중심으로 미시간 주립대학, 완성차 및 통신 업체 등이 동참해 자율주행 및 커넥티드 카 분야의 기술개발, 성능 개선, 양산성 검토, 표준화 구축 등을 추진하고 있다. ACM은 M-City에서 부족한 기능을 확장하여 구축하고 있으며, 상호 경쟁적 관계라기보다는 협력관계를 유지하고 있다. 즉, M-City에서 모사하기 어려운 환경을 구축하여 폭넓은 평가를 할 수 있다는 장점이 있다.

일본의 J-town은 일본자동차연구소(Japan Automobile Research Institute, JARI)에서 운영 중인 테스트베드로 악의 환경시험, 도시지역 시험, 다목적시험을 제공한다. 악의 환경시험은 악천후(비, 안개, 일조 등) 시나리오를 실내에서 재현하여 환경인지 센서의 성능을 평가하며, 도시지역 시험은 자율주행차와 주변 객체 간의 통신설비가 갖춰진 환경에서 신호 식별, 타인 식별 성능을 평가한다. 다목적시험은 차로 유지 기능, 교차로 주행 성능을 측정하며 차로와 교통표지(공사표식 등)를 임의로 배치하여 자율주행차의 대응 가능 여부를 시험한다.

<Table 1> Current status of overseas testbeds for autonomous vehicle

Testbeds	M-City	ACM	J-town	A Nice City	AstaZero
Nation	Michigan, United States	Michigan, United States	Japan	China	Sweden
Year	2015.07	2017.12 (Level.1) 2019.12 (completion)	2017.04	2016.06	2014
Operating Institution	University of Michigan Mobility Transformation Center	American Center for Mobility (ACM)	Japan Automobile Research Institute (JARI)	Shanghai Automobile Group Co., Ltd (SAIC)	SP Technical Research Institute of Sweden &Chalmers University of Technology
Area(m ²)	0.13 million	2 million	0.16 million	5 million	2 million
Major facilities	<ul style="list-style-type: none"> •Urban road •Expressway •Sensing zone •Underground passage •Movable building models •Dummy test facility •Driver status detection facility •Communication interference experiment facility 	<ul style="list-style-type: none"> •Urban road environment •Expressway •Moving dummy facility •System malfunction test facility •Inclement weather test facility •Double overpass •Railway crossing 	<ul style="list-style-type: none"> •Urban road •Inclement weather & illuminance test facility •Multipurpose test (sign recognition, etc) •Building models •Wireless communication interference equipment 	<ul style="list-style-type: none"> •29 different test environments •Multimodal communication environment •Intelligent traffic signals •Unmanned camera 	<ul style="list-style-type: none"> •Expressway •Accelerated track •Urban road •Country road •Block building models
Features	<ul style="list-style-type: none"> •First autonomous vehicle test bed •The cooperative system with the government, industry, and universities •Differentiated membership •Purpose of research and development and education at levels 1-6 of TRL 	<ul style="list-style-type: none"> •Establish insufficient functions of M-City •Purpose of technology development, performance evaluation, and certification services at level 5-9 of TRL 	<ul style="list-style-type: none"> •Establishment of the testbed in the proving ground 	<ul style="list-style-type: none"> •Verification of autonomous vehicles and V2X connected cars •More than 200 test scenarios •Record more than 5000 hours of cumulative testing time 	<ul style="list-style-type: none"> •Collaborate with EU, Volvo, Swedish transport agency, etc. •Testing safety technologies associated with Level 3 and higher autonomous vehicles

중국의 A Nice City는 상하이 국가 지능형 커넥티드 차량 시범 구역 내에 위치한 테스트베드로, 상해국제기차성유한공사에 의해 운영된다. SAIC(Shanghai Automobile Group Co. Ltd)와 동지대학이 참여하였으며 자율주행 및 V2X 커넥티드 카의 검증을 위한 테스트 환경을 제공한다. GPS 기지국(1개), LTE-V 통신 기지국(2개), DSRC(16세트), 지능형 신호등(6개), 무인 카메라(40개) 구축을 통해 다중모달 통신환경을 구현하였다.

스웨덴의 AstaZero는 SP 국제 기술연구소(SP Technical Research Institute)와 참머 기술대학(Chalmers Univ. of Technology)이 공동 운영하며 볼보, 스웨덴 도로교통청 등의 기관이 참여한 자율주행차 테스트베드이다. 고속도로, 도심부 등 5개 도로 구간을 구현하였으며 2층 높이의 블록 건물 면, 첨단 운전 지원 시스템(advanced driver assistance systems, ADAS) 평가시설을 갖추고 있다. 자동차 제작사, 법제도 입안자, 대학 등 다양한 연구기관에서 활용 가능하며 Lv.3 자율주행차의 안전 기술을 중점적으로 시험하고 있다.

2. 국내 자율주행차 테스트베드 현황

국내 자율주행차 테스트베드는 화성의 K-City, 성남의 판교제로시티, 상암의 5G자율주행 테스트베드, 여주의 한국도로공사 여주시험도로, 연천의 기상환경 재현 도로성능평가 실험시설, 대구의 지능형자동차부품진흥원 대구 주행시험장(Korea Intelligent Automotive Parts Promotion Institute, KIAPI), 충북대학교 자율주행차 성능시험장, 새만금 주행시험장 등이 있다. 이 중, K-City, 판교제로시티, 상암 5G자율주행 테스트베드, 기상환경 재현 도로성능평가 실험시설, 지능형자동차부품진흥원 대구 주행시험장 총 5개 항목을 조사하였으며, 결과는 <Table 2>와 같다(Korea Automobile Journalists Association(KAJA), 2021; KATRI, 2021; Traffic Science Research, 2019).

<Table 2> Current status of domestic testbeds for autonomous vehicle

Testbeds	K-City	Pangyo Zero City	Sangam 5G autonomous-driving Testbed	Experimental Facilities for Road Performance Evaluation of Weather Environment	KIAPI
Region	Hwaseong-si, Gyeonggi-do	Seongnam-si, Gyeonggi-do	Sangam, Seoul	Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do	Daegu
Year	2018	2019	2019.06	2018.06	2014.04
Operating Institution	Korea Automobile Testing&Research Institute (KATRI)	Gyeonggi Housing&Urban Development	Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Seoul Metropolitan Government	Institute of Civil Engineering and Building Technology	Korea Intelligent Automobile Parts Promotion Institute
Area(m ²)	0.36 million (KATRI P.G 2.16 million)	0.43 million	8.5 km section	0.7 million	0.39 million
Major facilities	<ul style="list-style-type: none"> •Five evaluation environments (urban, suburb roads, etc) •Autonomous parking facilities •Various communication environments •Integrated Control Center 	<ul style="list-style-type: none"> •Integrated Control Center •High-precision map •Communication infrastructure and IoT services •Zero Shuttle (’18.09) 	<ul style="list-style-type: none"> •CCTV control platform •High-precision map •Communication infrastructure •Vehicle maintenance space •Equipment and convenience facilities necessary for autonomous driving demonstration 	<ul style="list-style-type: none"> •Experimental facilities for weather conditions •Experimental facilities for night •Experimental facilities for road noise •Experimental facilities for bad impact (poor lighting, potholes, etc) 	<ul style="list-style-type: none"> •High-speed circuit •Vehicle-road linkage test •Crossroads •Slope way •Communication infrastructure •Shock durability test equipment •Man-less moving target
Features	<ul style="list-style-type: none"> •Providing analysis of test results/consulting •Build virtual K-City based on simulation •Securing elasticity of evaluation 	<ul style="list-style-type: none"> •Pilot operation of autonomous buses •Use as a testbed for enterprise 	<ul style="list-style-type: none"> •Implementation of Seoul Connected Car Service (scheduled) •Use as a testbed for enterprise •Testbed that supports autonomous driving with 5G and V2X on actual roads 	<ul style="list-style-type: none"> •Conduct actual scale experiments under various conditions (weather, lighting, noise) •Especially, major verification provisions are the operation and driving safety evaluation of the vehicle safety system in bad weather 	<ul style="list-style-type: none"> •Constructed in consideration of the performance evaluation of advanced safety vehicles •Test facilities to support the development of next-generation automotive technology

경기도 화성시에 위치한 K-City는 2018년에 국토교통부와 한국교통안전공단 자동차안전연구원에 의해 구축되었다. 도심부, 자동차 전용도로, 교외도로, 커뮤니티부, 자율주차시설까지 총 5개의 평가환경을 갖추고 있으며, 실도로 기반의 평가 시나리오를 제공한다. 5G, 4G(LTE), WAVE 등 다양한 통신환경 및 첨단신호제어시스템, 레이더 유고검지기, CCTV 등 C-ITS 시스템을 구축하였다. K-City는 시험자가 생성한 시나리오 기반의 인프라 운영 및 시험 차량의 거동 정보에 기반을 둔 센터 중심의 능동적 테스트환경을 제공한다. 자율주행자동차의 안전성을 평가할 수 있는 평가기술을 개발하고, 세계 최초의 레벨3 자율주행차 안전기준을 제정(2019.12.31)하는 등의 성과를 도출하여, 이를 활용함으로써 자율주행차의 안전성을 향상시키는데 기여하고 있다. 2021년 하반기까지 자율주행의 안전성을 확보할 수 있는 ITS 관련 표준의 동적정보시스템(Local Dynamic Map, LDM)을 K-City의 도심부에 구축하여 동적 정보 기반 ‘자율협력주행’ 시험환경을 조성할 예정이다. 또한, 국토교통부 지원 하에 K-City 고도화 사업 추진을 통해 기상환경 재현시설(강우·안개 등 악천후), 통신음영시스템(GPS 차단 등 통신교란), 로봇시스템(교통상황 재현) 등 레벨4 수준 기술개발 지원을 위한 고도화된 인프라 및 연구지원시설(혁신성장지원센터)을 제공할 예정이다.

판교제로시티는 2019년 경기도시공사를 포함한 5개 기관에 의해 구축되었다. 국내 최초 자율주행 대중교통인 제로 셔틀(자율주행 버스)의 시범 운행 및 참여기관의 기술개발을 위한 실증 테스트베드로 활용되고 있으며 실제 도심부의 실도로 공간에서 연구를 가능하게 한다는 점에서 의의가 있다. 실도로에서 시험주행이 이루어지므로 도로상의 위험요인 파악 및 적절한 제어를 위해 통합관제센터를 운영 중이며, 센터는 판교제로시티와 주변 도로의 교통정보를 수집하여 V2X 통신을 통해 자율주행차량에 제공한다.

상암 5G자율주행 테스트베드는 서울특별시 상암 DMC 인근에 구축되어 2019년부터 운영되고 있다. 일반 도로에서 5G와 V2X 통신을 이용하여 자율주행을 지원하는 테스트베드로 CCTV 관제 플랫폼, 5G 및 V2X 통신 인프라, 고정밀지도, 전기차 충전소 등 자율주행 실증에 필요한 인프라를 갖추고 있다.

기상환경 재현 도로성능평가 실험시설은 한국건설기술연구원이 연천SOC실증연구센터 내에 구축한 시설로, 도로교통 환경에 따른 자동차 안전 시스템에 대한 성능평가에 주력하고 있다. 외부 기상상태와 관계없이 강우, 강설, 안개 등 악천후를 구현할 수 있는 기상환경 실험시설, 도로·터널 조명 및 가로등에 의한 영향을 실험할 수 있는 야간환경 실험시설, 포트홀 및 미끄러운 노면 등에 자율주행차가 적절히 대응할 수 있는지 여부를 평가할 수 있는 악영향 실험시설 등을 갖추고 있다.

지능형자동차부품진흥원 대구 주행시험장(KIAP)은 첨단안전자동차의 성능평가와 지능형 주행시험이 가능하도록 구축되었다. 실험 장비로 자동조향로봇시스템, 무인 moving target 시험용 차량, 능동안전시스템 평가 장비 등을 보유하고 있으며 이 외에도 ITS 고속주회로, 차량-도로연계시험 교차로, 등판로, 통신 인프라(WAVE, Mesh(wireless lan), DSRC) 등의 시설을 갖추고 있다. 인도 AIS(Automotive Industry Standard) 인증을 지원한다는 점에서 타 테스트베드와 차별성을 갖는다.

이 외에, 자동차융합기술원(Jeonbuk Institute of Automotive convergence Technology, JIAT)에서도 2020년 6월 ‘새만금지역 상용차 자율주행 테스트베드 구축사업’에 선정되어, 새만금 방조제를 중심으로 상업용 자율주행차에 대한 종합 테스트베드를 구축·운영중에 있다. 새만금 주행시험장 시험로는 고속 주행을 통한 차량 및 부품의 성능을 평가하기 위한 상용 고속주회로, 직선 주행을 통한 차량 특성을 평가하기 위한 직선로, 등판력 및 재출발 성능을 평가하기 위한 등판로 등의 평가 시설을 갖추고 있으며 그 외에도 종합시험로, 원선회로, 내구시험로, 저마찰로, ISO 소음시험로, 웨트그립(wet grip)로 등 다양한 시험환경이 구축되어있다(JIAT, 2021). 또한 모든 상용 자동차에 대한 평가가 가능하다. 자동차융합기술원은 2021년 5월 한국인터넷진흥원(Korea Internet & Security Agency, KISA), 전라북도와 함께 자율주행차 분야 정보 보호 기반 조성을 위한 업무협약을 체결한 바 있다(KISA, 2021). 이를 통해, 새만금 테스트베드 내에 차량 보안 안전성 평가환경을 구

축할 예정이다.

3. 국내외 테스트베드 주요 시설물 및 시험환경 현황

국내외 테스트베드가 갖추고 있는 주요 시설물 및 시험환경을 분석하였다. 도심부, 커뮤니티부, 교외 지역, 자동차 전용도로 및 고속도로, 도로시설물, 자율 주차 시설, 통신환경, 기상환경 재현시설, 제어/인증/기타서비스 총 9개 항목으로 구분하였으며, 각 시설물 현황은 <Table 3>과 같다(Lee, 2021).

<Table 3> Status of domestic and overseas major testbeds' facilities and test environment

Classification		Domestic			Overseas		
		K-City	KI-API	M-City	AstaZero	J-town	Nice-City
Urban road	Signalized Intersection (3way, 4way)	○	○	○	○	○	○
	Roundabout	○		○	○	○	○
	Underpass/tunnel	○		○		○	○
	Building model	○		○	○	○	○
	Parking facilities	○		○	○		
	Bus/taxi stop	○			○		
	Exclusive bus lane (median/roadside)	○					
Community environment	Un-Signalized Intersection	○		○		○	○
	Block pavement	○	○	○			
	Curb	○		○		○	○
	Cycle track	○		○	○	○	○
	School zone	○				○	
	crosswalk	○	○	○	○	○	○
	Hump type crosswalk	○		○			
	Diagonal crosswalk	○					
	Un-signalized crosswalk	○		○		○	
	Speed bump	○	○				○
Shoulder parking facilities	○		○			△ (Underground)	
Suburb road	Railroad crossing	○		○			○
	Unpaved road	○	○	○			○
	Slope way (12,20,30%)	○	○	○	○	○	
	Curved road	○	○	○	○	○	○
	Tree-lined road	○					
	Road under construction	○				○	○

Classification		Domestic			Overseas		
		K-City	KIAPI	M-City	AstaZero	J-town	Nice-City
	Alley	○			○		
	Stop intersection	○		○	○		
Expressway & Freeway	Expressway mainline	○		○	○	○	○
	Multilane	○	○	○	○		
	JC, IC, merging	○		○	○	○	
	Toll system	○				○	
	Median	○				○	
	Noise barrier	○ (Sound-absorbing type)				○	
	Guardrail	○		○	○		
Road facilities	Signal	○	○	○	○	○	○
	Sign	○		○	○	○	
	Street lamp	○	○	○	○	○	
	Pothole	○		○	○	○	○
Autonomous parking facility	Autonomous parking facility	○		○			
Communication environment	V2X	○	○	○	○	○	○
	5G	○		○			○
	4G, LTE	○					○
	WAVE	○	○				
	Wi-Fi	○					
	Communication shadow area	Scheduled for '21		○ (Underpass, Metal bridge, Buildings, etc)		△ (Wireless Communication Disturbance Equipment)	
Weather environment reproduction facilities	Weather environment reproduction facilities	Scheduled for '21		△ (Snowfall)		○	
Control /Authentication /Other Services	Traffic control facilities	○ (Link with Data Support Center)		○ (University of Michigan Transportation Research Institute)	○		
	Authentication		Automotive Industry Standard(AIS, India)	Planning in Willowrun ACT			
	Results analysis and	○					

Classification		Domestic			Overseas		
		K-City	KI-API	M-City	AstaZero	J-town	Nice-City
	consulting						
	Virtual testbed (simulation)	○		○ (University of Michigan Transportation Research Institute, augmented reality test)			

III. 국내의 자율주행차 테스트베드 현황 및 경영환경분석 기반 전략 도출

국내의 자율주행차 테스트베드의 주요 시설물 및 시험환경 현황과 경영환경분석 결과를 토대로 K-City의 발전 전략 및 시사점을 도출하려 한다. 본 연구에서는 경영환경분석 기법 중, PEST 분석과 SWOT 분석을 적용할 것이다. 두 분석 기법은 외부요인, 내부요인을 포괄적으로 반영할 수 있다는 장점이 있으나, 정량적인 분석이 불가능하다는 한계가 존재한다(Chang et al., 2012). 그럼에도 불구하고 이 연구의 목적은 기구축된 테스트베드의 비교분석을 통해 K-City의 발전 전략을 모색하는 것이므로 정성적 경영환경분석 기법을 적용하는 것이 적절할 것으로 판단하였다. PEST 분석과 SWOT 분석을 위해서 K-City에서 자율주행 실험을 수행한 바 있는 전문가 5명을 대상으로 설문조사를 진행하였으며, 연구는 PEST 분석, SWOT 분석, 전략 및 전략 과제 도출 순으로 진행되었다.

1. K-City의 PEST 분석

PEST 분석은 대상 조직을 정치적(political), 경제적(economic), 사회적(social), 기술적(technological) 관점에서 정성적으로 분석하는 기법이다(Seo, 2019). 본 연구에서는 K-City 분석을 위한 PEST 분석의 하위 항목을 정부 정책, 산업 환경, 경영 여건, 내부역량으로 설정하였다. 정부 정책이 정치적 관점(P), 산업 환경이 사회적 관점(S), 경영 여건이 경제적 관점(E), 내부역량이 기술적 관점(T)을 의미하며, 분석 결과는 <Table 4>와 같다.

<Table 4> PEST Analysis in K-City

Classification		Contents
External factors	Government policy	<ul style="list-style-type: none"> ·Expansion of national R&D (Innovation project for autonomous driving technology development, etc.) and demonstration projects related to autonomous driving ·Selection of a construction of testbed for autonomous driving linked to local governments (Hwasung City) related to the 「New Deal Project Leading Public Institutions」
	Industrial environment	<ul style="list-style-type: none"> ·Increase in demand for technology development and safety verification for commercialization of autonomous vehicles ·A request for establishing an environment for comprehensive driving capacity evaluation of the safety and reliability of autonomous vehicles
Internal factors	Business conditions	<ul style="list-style-type: none"> ·Since it is a testbed created with state support, there is a limit to upgrading through large-scale external investment (closed membership operation, etc.) ·High operating and maintenance expenses expected to occur in the future
	Internal capabilities	<ul style="list-style-type: none"> ·Diversification of the test environment through the K-City upgrade project (~'22.06) ·Demonstration Service for connected automated driving on urban roads in the demonstration zone (Saesol-dong, Hwaseong) linked to R&D (Scheduled for '21.10)

정부 정책의 관점에서, ‘미래차 국가 비전 선편’(2019.10.15), ‘미래자동차 확산 및 시장선점전략 선편’(2020.10.30) 등 자율주행차 산업생태계 조성 및 상용화를 위한 여러 국가 정책이 시행되고 있다. 이에 따라 관련된 국가 R&D(‘자율주행 기술개발 혁신사업’(2021~2027)) 및 시뮬레이션-테스트베드-리빙랩으로 연계되는 실증사업의 확대로 K-City의 이용수요 역시 증가할 것으로 보인다. 산업 환경의 관점에서는, 자율주행차의 상용화를 위해 테스트베드의 이용 수요가 증가할 것으로 보이며, 종합적인 주행 성능 평가 환경에 대한 요구가 지속적으로 높아질 것으로 분석하였다. 그러나 경영 여건의 관점에서, 국가의 지원(‘자율주행차 상용화 지원방안’(2015.05))을 기반으로 하여 “자율주행차 안전성 평가기술 및 테스트베드 개발(2016~2019)” R&D를 통해 조성이 추진된 K-City 특성상, 대규모 민간투자를 통한 시험환경 개선이 어렵다는 한계가 존재(미국 M-City 및 ACM 등의 경우 멤버십 운영을 통한 구축사업비 확보 및 등급에 따른 이용 권한 및 데이터 공유차등)하고, 향후 발생할 것으로 예상되는 높은 운영유지비를 충당하기 위한 계획이 필요하다. 내부역량의 관점에서는, K-City 고도화 사업을 통해 기상환경 재현시설, 통신음영시스템(각각 2021년 하반기 준공 예정), 혁신성장 지원센터(2022년 상반기 준공 예정) 등 고도화된 인프라 및 지원시설을 제공할 예정으로, 더욱 실도로와 유사한 환경을 조성할 수 있을 것으로 보인다. 또한 K-City가 위치한 경기도 화성은 한국교통안전공단 자동차안전연구원, 현대자동차 남양연구소, 기아자동차 공장, 완성차 생산기업의 협력업체, 자동차 및 관련 부품 생산기업 등이 위치하고 있으며, 자동차 및 자율주행차 관련 산·학·연이 주로 위치한 서울, 경기도, 판교 등 과도 인접하고 있어 대한민국 자율주행차 연구개발의 중심부에 위치하고 있다고 할 수 있다. 따라서 K-City를 기반으로 산·학·연이 함께 자율주행차 관련 연구, 제작, 테스트 및 실증, 생산(상용화) 등 전 주기에 이르는 인프라를 확보한 지역으로, 자율주행 특화 거점 도시로 발전할 가능성이 크다(Ministry of the Interior and Safety(MOIS), 2020). 특히 2020년 10월 ‘공공기관 선도형 뉴딜사업’으로 지자체(화성시) 연계 자율주행 테스트베드 조성이 선정되었다는 점에서 차세대 新산업 육성을 위한 자율주행차 ‘기술개발→테스트→실증’이 함께 이루어지는 산업생태계 구축 기반 조성을 위한 노력이 더욱 필요함을 알 수 있다.

2. K-City의 SWOT 분석

SWOT 분석은 전략 도출에 주로 사용되는 정성적인 경영환경분석 기법이다. SWOT 분석을 통해 강점(strengths), 약점(weaknesses), 기회(opportunities), 위협(threats) 4개의 관점을 조합하여 S/O, S/T, W/O, W/T 전략을 도출하고자 한다. K-City의 발전 전략 도출을 위한 강점(S), 약점(W), 기회(O), 위협(T) 요소를 분석한 내용은 <Table 5>에 제시하였다(KATRI, 2018; MOIS, 2020; MOLIT, 2021b).

K-City의 강점이자 차별점으로 실도로환경과의 유사성, 가상 K-City 시뮬레이션, 시험 결과 분석 및 컨설팅 서비스, 개방형 공공시설로 운영, 자율주행 데이터 공유 센터 운영을 제시하였다. 지난 2016년부터 시행된 자율주행 DAY(대학대상 주말 무상사용)를 2019년부터 중소기업 및 스타트업까지 확대하여 자율주행차 기술개발을 위한 문턱을 낮추는 데 기여하고 있다. 특히 2020년 8월 한국판 뉴딜 뒷받침을 위한 공공기관 역할강화 방안의 일환(자율확산 프로젝트)으로 ‘자율주행 테스트베드(K-City) 무상개방’이 선정되었으며, 24시간, 365일 상시운영(야간/주말/공휴일) 및 인프라(로봇시스템 등) 제공을 통한 자율주행차 상용화를 위한 기술개발 지원을 지속하고 있다. 또한 ‘국제 대학생 창작자동차 경진대회(한국교통안전공단, (사)한국자동차안전학회 공동 개최)’의 시험장으로 K-City가 활용되고 있으며, 참가 대학생을 대상으로 기술교육(세미나) 시행 및 플랫폼 등의 인프라를 제공하고 있다.

약점으로는 기구축된 시험로를 활용한 테스트베드 특성상 비교적 작은 규모의 도심부 가로, 아직 진행 중인 악의환경 시험을 위한 시설의 구축, 완전자율주행(Lv. 4/4+) 기술개발 및 자율협력주행 서비스 검증을 위한 평가시설 및 평가시스템의 미구축(2021년 이후 착수), 인증 기능의 부재를 제시하였다.

K-City의 기회 요인으로는 인근 4차 산업 단지 조성, 화성시 ‘지역균형 뉴딜사업’ 선정, 그리고 자율주행을 활용한 유상 승객/화물 운송 서비스 실증을 위한 노력을 제시하였다. 특히 ‘송산그린시티 4차 산업 단지 조성’과 K-City가 위치한 경기도 화성시의 ‘지역균형 뉴딜사업’ 선정으로, 화성시가 자율주행 기술개발-평가-실증-주행이 가능한 자율주행 거점 도시의 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

K-City 위협요인으로는 앞으로 발생이 예상되는 높은 운영유지관리비와 타 기관/기업의 테스트베드 개발을 위한 노력을 제시하였다(Intelligent Transportation Society of Korea, 2017). 타 기관/기업의 테스트베드 개발을 위한 노력이 계속되면서 이용자의 수요를 반영한 K-City만의 차별화 전략이 필요한 시점이다.

3. K-City의 발전 전략 및 전략 과제 도출

이 장에서는 K-City의 PEST 분석 내용과 강점(S), 약점(W), 기회(O), 위협(T) 요소 분석 결과를 바탕으로 전문가 설문을 통하여 발전 전략 및 전략 과제를 제시하려 한다. S/O 전략은 조직의 강점을 극대화하여 직면한 기회에 적용하는 활용 전략, W/O는 약점 극복을 위해 기회를 활용하는 전략, S/T 전략은 위협 회피를 위해 강점을 활용하는 전략, W/T 전략은 약점과 위협으로 인한 피해를 최소화하는 전략을 의미한다(Ryu, 2011).

<Table 5> K-City's S, W, O, T elements and S/O, S/T, W/O, W/T strategies

Classification	Opportunities (O)	Threats (T)
	<ul style="list-style-type: none"> •Increase demand for use of testbeds due to expansion of national R&D projects and demonstration projects related to autonomous driving •Selection of the Korean-New Deal 「Regional Balanced New Deal Project」 - Led by Korea Transportation Safety Authority, created a testbed linked to Hwaseong City •Promoting the establishment of a support zone for the fourth industrial revolution in the southern part of Songsan Green City •Designation of a pilot zone for paid transportation services using automated driving cars under the 「Act on the promotion and support of commercialization of autonomous vehicles」 in 2020 	<ul style="list-style-type: none"> •Establishment and operation of testbeds of other local governments, institutions, etc. •Full-scale competition at domestic and overseas to respond to new concept mobility •Expected to incur high operating and maintenance costs

S t r e n g t h s (S)	<ul style="list-style-type: none"> •By establishing various transportation facilities, scenarios similar to the actual road environment can be implemented •Digital twin virtual K-City simulation for repetitive and reproducible testing •Analyzing test results and providing consulting to support the development of autonomous vehicles •Operated as an open public facility (free opening for small and medium enterprises and universities) •Located in the center of industries related to autonomous vehicles such as existing automobile manufacturers' research facilities, IT and telecommunication companies' research facilities •Securing a data sharing foundation through the operation of the K-City Integrated Control Center 	<p>S/O Strategies</p> <ul style="list-style-type: none"> •Support small and medium-sized startups and universities through free opening of K-City (selection of Korean-New Deal) •Promote the development of autonomous driving technology by linking driving information collected through the integrated control center to the autonomous driving data sharing center •Improved reliability of driving test through on/off-line cross-validation using simulation •Utilizes physical and virtual testbeds as a facility for Lv.4/4+ connected automated driving technology and service validation related to 「innovative projects for autonomous driving technology development」 	<p>S/T Strategies</p> <ul style="list-style-type: none"> •Established strategies for upgrading K-City through user satisfaction surveys, demand surveys, expert advice, etc. and derived differentiation from other testbeds •Provide a test environment using virtual K-City simulation before establishing a Lv.4/4+ autonomous driving testbed and testing facility for bad condition
	<p>W e a k n e s s e s (W)</p> <ul style="list-style-type: none"> •Limits of reaching target speed in the form of a relatively small grid-type intersection (especially in urban road, community environment) •Lack of technology development and test environment for Lv.4/4+ autonomous driving (construction is underway through 「innovative projects for autonomous driving technology development」) •No testing facilities for bad conditions (inclement weather/communications/ road transportation) •No Authentication 	<p>W/O Strategies</p> <ul style="list-style-type: none"> •Provide various test environments and expand the scale by utilizing all sections (approximately 2.1million m²) of proving ground of Korea Automobile Testing&Research Institute •Building differentiated safety evaluation infrastructure using K-City and Korea Automobile Testing&Research Institute's infrastructure •Promoting win-win cooperation between relevant institutions and regions to support the development of autonomous driving technology 	<p>W/T Strategies</p> <ul style="list-style-type: none"> •Improvement of testbeds for evaluation of bad conditions (inclement weather, telecommunications) •Supplementing K-City functions and overcoming limitations by establishing cooperative relationships with domestic and overseas institutions/companies •Establishing standards and operating certification systems related to automated driving cars' ODD(operational design domain)

강점과 기회를 결합한 S/O 전략으로 한국판 뉴딜사업으로 선정된 K-City 무상 개방을 통한 중소·스타트업 및 대학 지원방안을 제시하였다. 개방형 공공시설로 운영 중인 K-City를 활용하여 임시 운행허가 발급, 국가 R&D 참여 및 투자유치 등의 성과를 도출하고 있는 기관들이 다수 생겨나고 있으며, 지속적인 모니터링을 통해 해당 기관들의 성과도출을 향상시킬 수 있는 지원방안을 지속적으로 수립할 필요가 있다(MOLIT, 2021a). 둘째로, K-City 통합관제센터 활용 범위 확대 및 수집정보 공공 데이터베이스화를 제시하였다. K-City는 관제센터를 통해 영상/인프라/차량 위치 및 주행 정보를 수집하여 시험 중인 자율주행차의 위치 및 상태 정보를 모니터링한다. 이때 수집한 정보를 모니터링 용도로 사용하는 것을 넘어, 자율주행 데이터 공유센터와 연계하여 추가로 수집 가능한 주행 정보와 함께 공공 데이터베이스화하여 자율주행차 개발 기관/기업에 제공하면 자율주행 기술개발을 촉진하는 데 도움을 줄 것이다. 세 번째 S/O 전략은 시물레이션을 이용한 on/off-line 교차검증을 통한 주행시험의 신뢰성 증대이다. 실도로에서의 반복·재현시험의 한계를 극복하기 위해 테스트베드와 시물레이션 간 호환을 통해 디지털 트윈(digital twin) 평가환경을 구축하고 활용할 수 있다(MOIS, 2020). 시물레이션을 이용하면 시험 반복 횟수를 획기적으로 늘릴 수 있을 뿐만 아니라, 테스트베드에서 구현하기 어려운 환경도 보다 적은 시간과 비용투자로 반영할 수 있다. 따라서 시물레이션 주행과 테스트베드 시험주행을 결합하면 자율주행차의 신뢰성과 안전성 향상에 큰 도움이 될 것이다. 이러한 전략의 수

행을 위해서는 다음과 같은 전략 과제를 도출할 수 있다.

- 한국판 뉴딜사업과 연계한 중소·스타트업 및 대학이 참여할 수 있는 경진대회 개최 및 K-City 무상 지원 확대
- 자율주행 실험 데이터 공유 플랫폼 구축 및 Open API 개발
- Vehicle-in-the-loop simulation(VILS)를 활용한 실차기반 자율주행 가상 실험 환경 조성 및 제공
- C-ITS, 교통 시스템 등 인프라를 연계한 자율주행 ‘기술개발 → 테스트(K-City) → 실증’이 함께 이루어 지는 자율주행 특화단지 조성 및 절차 개발

약점과 기회를 결합한 W/O 전략으로서 첫째, 주행시험장(proving ground, PG) 전 구간 연계 활용과 화성시와 협업을 통한 도심구간 실도로 실증 테스트 환경 구현을 제안하였다. 위에서 언급한 내용과 같이, K-City는 타 테스트베드 대비 시험장 전체 규모는 큰 편이나, 격자형(田)으로 설계된 도심부 교차로의 규모가 비교적 작아 도심부 환경에서의 목표 속도 도달이 어렵고 커브 구간에서 구현 가능한 회전 각도가 한정적이다(MOLIT and KAIA, 2019). 따라서 구현 환경 및 시나리오의 한계를 극복하기 위해 자동차안전연구원 주행시험장의 모든 구간을 활용할 것을 제안한다. 주행시험장에는 고속주회로, 저마찰로, 조향성능로, 비포장로 등 다양한 환경이 기구축되어 있어 시험환경의 다양화가 가능하다(MOLIT and KAIA, 2021). 또한, ‘지역균형 뉴딜사업’과 연계하여 화성시와의 협업으로 테스트베드와 실증도로에서의 교차 시험주행이 필요할 것으로 보인다. 둘째, 자동차안전연구원의 기능을 활용한 차별화된 안전성 평가 프로세스를 구축할 필요가 있다. 마지막으로, 자율주행 기술개발 지원을 위한 유관기관과의 상생협력이 필요할 것으로 판단된다. W/O 전략 수행을 위한 전략 과제는 다음과 같다.

- K-City의 공간적 범위를 자동차안전연구원 주행시험장 전체와 화성시 내 공로 구간으로 확대
- 자율주행차의 종합 운전 능력 평가 중심의 자율주행차 인증 체계 구축
- ‘자율주행 기술개발 혁신사업’ 내 시뮬레이션-테스트베드-리빙랩 연계 실증 활용, 자율주행 기술 및 서비스 안전성 검증 시나리오, 기준 및 방법 등 사전 검정 제도 제공
- 「자율주행차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률」에 따른 시범운행지구 지정 및 시범운행지구 내 자율주행을 활용한 유상 여객/화물 운송 서비스 제공을 위한 실증 (서비스 데이터 플랫폼 연계 실증, 버스정류장 승하차 지원 서비스 실증, 이용자 편의 지원 서비스 등)

강점과 위협을 결합한 S/T 전략으로는 수요조사 및 자문을 통한 고도화 전략 수립 및 차별성 도출과 자율주행 약의 환경시험 제공이다. K-City가 다른 테스트베드와의 차별성을 갖기 위해서는 이용자의 수요를 반영한 고도화 전략을 수립하는 것이 중요하다(Ko et al., 2017). 현재 K-City 사용자 대상 만족도 조사를 통해 이용자의 만족도 경향을 파악한 후 운영 및 사용에 대한 개선방안을 도출하고, 전문가 및 사용자 대상 추가 수요를 파악한 후 고도화 전략에 적절히 반영하여야 한다. 또한 K-City 고도화 사업(2021년 하반기 완공 예정)을 통해 기상환경 재현시설, 통신음영시스템을 구축할 예정으로(MOLIT and KAIA, 2021), 구축 전뿐만 아니라 구축 이후에도 시뮬레이션을 통한 시험환경을 제공할 것을 제안한다. 시뮬레이션을 활용한 약의 환경에 대한 가상 K-City 시험 서비스를 제공하여 실 시설 및 시스템을 이용한 테스트를 수행하기 전과 테스트 수행 중 피드백에 활용하는 것이다. S/T 전략 달성을 위해 다음과 같은 과제를 도출하였다.

- ‘자율주행 기술개발 혁신사업’내 연구단과 협의체 구성 및 수요조사를 통한 K-City 단계별 고도화
- K-City 내 기상환경 재현시설, 통신유연 등 통신환경 평가시설 제공 및 기술개발 지원

마지막으로 약점과 위협을 회피하기 위한 W/T 전략으로 타 기관/기업과의 협력관계를 발전시킬 것을 제안한다. 국내외 타 기관/기업과의 협력관계 구축이 현재 반복적으로 언급되고 있는 K-City의 부족한 역량을 채우기 위한 좋은 방안이 될 수 있으며 K-City의 부족한 시험환경 및 기능을 보충할 수 있을 뿐만 아니라 불필요한 중복투자를 막을 수 있다. 또, 자율주행차 운행가능영역(operational design domain, ODD)의 정의 및 기준 수립의 필요성을 강조하였다. W/T 전략 수행을 위한 구체적인 전략 과제로서 다음을 제시한다.

- K-City의 자율주행 테스트베드 성능에 대한 검정 및 관련 인증 획득
- I-FACT(자율주행차 테스트베드 운영기관 협의체) 활동 및 IAMTS(모빌리티시험 및 표준화를 위한 국제 연합) 등 자율주행 테스트베드 운영 관련 국제 협의체 참여 및 활동
- 국내 자율주행 테스트베드 협의체 구성 및 정보와 기술 공유 주도
- 자율주행차 ODD와 관련된 기준 수립

앞서 제시한 K-City 발전 전략과 그에 따른 전략 과제를 전문가 설문을 통해 도출함으로써 우리나라 자율주행 관련 대표 테스트베드인 K-City의 발전 방향을 제시하였다. 또한 이러한 발전 방향은 비단 K-City뿐만 아니라 다른 기존 자율주행 테스트베드 및 개발이 예정된 테스트베드들의 차별성과 협력 방안을 수립하는 데도 활용될 수 있을 것으로 판단된다. S/O, W/O, S/T, W/T 각 전략의 이해도 및 활용성을 높이기 위해 S/W 및 데이터, H/W 및 인프라, 서비스 및 제도, 대외협력 4개 유형에 따라 정리한 내용은 <Table 6>과 같다.

<Table 6> Development strategies by type

Types	Development strategy
S/W·data	<ul style="list-style-type: none"> · Promote the development of automated driving technologies by linking driving information collected through integrated control centers to public databases through connection with automated driving data sharing centers · Increase reliability of driving test through on/off-line cross-validation using simulation · Using virtual K-City simulation until fully automated driving (Lv4/4+) testbed and malicious environment test facility is established
H/W·infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> · Regarding “automated driving technology development innovation project”, utilize physical and virtual testbeds as facilities for Lv.4/4+ connected automated driving technology and service verification · Provide various test environments and expand size by utilizing all sections of proving ground (approximately 2,148,000m²) of the Korea Transportation Safety Authority, Korea Automobile Testing & Research Institute · Establish a differentiated safety evaluation infrastructure using K-City and Korea Automobile Testing & Research Institute’s infrastructure · Advancement of testbed for evaluation of malicious environment (weather, communication, etc.)
Services·system	<ul style="list-style-type: none"> · Supporting small and medium-sized start-ups and universities through free opening (Korean version of the New Deal) · Reflect on the K-City advancement strategy through user satisfaction survey, demand survey, expert consultation, etc. and derive differences from other testbeds
Cooperation	<ul style="list-style-type: none"> · Promotion of cooperation between related agencies and regions to support the development of automated driving technologies · Overcoming limitations and supplementation of K-City functions by establishing cooperative relationships with other domestic and foreign institutions/companies

IV. 결 론

자율주행차의 기술개발과 주행 안전성 확보를 위해서는 실제 도로와 유사한 환경이 구축되어 있는 테스트베드에서 수없이 많은 반복·재현시험을 거쳐야 한다. 테스트베드의 환경이 실도로환경과 유사하게 구현될수록, 더욱 다양한 시험주행 시나리오를 재현할 수 있을수록, 자율주행 기술과 주행 능력에 대한 신뢰성은 높아진다.

이러한 측면에서 본 연구는 국내외 테스트베드 구축현황과 경영환경분석을 통해 현재 K-City가 당면하고 있는 내적, 외적 이슈를 분석하여 앞으로의 발전 방향성과 전략을 제시하는 것을 목적으로 하였다. K-City의 장점은 국내 최초이자 최대 규모의 자율주행 전용 테스트베드로서 다양한 자율주행 시스템 실험을 위한 전용 특수시설을 구축 및 운영하고 있다는 점이다. 또한, 국내 타 테스트베드가 제공하는 C-ITS 서비스 시나리오 외에도 난이도 높은 ADAS 주행플랫폼을 실험할 수 있는 시나리오를 지원·제공하고 있다. K-City는 폐쇄형 테스트베드로서 실험 가능한 시나리오가 난이도 별로 다양하고, 교통 환경 및 기술별 시험모드를 특정하여 실험이 가능하며 시나리오 반복·재현 시험이 용이하다. 마지막으로, 도로 인프라 실험을 위한 교통시설물(e.g. CCTV, 객체검지기 등)의 설치·변경 등이 공공도로에 비해 용이하다.

반면에 실도로 교통 환경, 다양한 상황(이벤트)에서 이에 반응하는 수많은/랜덤한 차량 거동 데이터를 취득할 수 있는 공공도로에 반해, 폐쇄형 테스트베드인 K-City는 사전에 정의한 특정 시나리오의 차량 거동 데이터만을 취득할 수 있다는 한계가 있다. 또한 온라인 예약시스템의 최근 구축(2021년 초)으로 인한 사용자 불편, K-City 규모 대비 운영/관리인력 부족 등의 문제에 대한 보완이 필요한 것으로 나타났다. 규모 대비 다양한 시험주행 환경과 시나리오를 제공하지만, 여전히 목표 속도 도달의 어려움 등의 한계점 역시 존재한다.

K-City가 다른 테스트베드와 차별성을 갖기 위해서는 체계적인 고도화 전략이 필요하다. 이 연구에서는 PEST 분석과 SWOT 분석을 통해 현시점에서 K-City의 강점과 부족한 역량을 제시하였고, 현재 자율주행 사업을 둘러싼 환경조건에서 강점은 극대화하고 약점은 최소화하여 대응할 수 있는 전략을 수립하였다. 그 예로 on/off-line 교차검증을 통한 시험 신뢰성 향상(S/O 전략), 이용자 수요조사, 전문가 자문을 통한 고도화 방안 수립(S/T 전략), 자동차안전연구원 주행시험장 전 구간 연계 활용(W/O 전략), 타 기관/기업과의 협업을 통한 한계 극복(W/T) 등을 제시하였다. 또한 각 전략 과제의 달성을 위한 전략 과제를 매칭함으로써 K-City 고도화를 위한 전략의 실현 가능성을 높였다.

본 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째로, 정성적인 분석법을 활용하여 정량적인 분석 결과를 확인할 수 없다는 것이다. K-City의 성공적인 고도화를 위해서는 전략을 수립하는 것뿐만 아니라 수립한 전략과 전략 과제의 중요성, 필요성, 시급성 등을 분석하여 시행 우선순위를 결정하고 적절한 예산을 투자하는 것 역시 중요하다. 이 연구에서는 국내외 테스트베드의 현황 비교와 정성적인 PEST 분석, SWOT 분석을 통해 전략을 수립했으므로, 정량적인 분석 결과를 확인할 수 없다는 한계를 갖는다. 향후 연구에서는 전략별로 정량적인 분석지표를 도출하여 시행 및 투자 우선순위를 가시적으로 나타낼 필요가 있을 것으로 보인다. 둘째로, K-City는 폐쇄형 테스트베드임에도 불구하고, 전략 및 전략 과제 도출을 위한 테스트베드 현황 분석 및 경영환경분석 시 비교 대상으로써 개방형 테스트베드를 포함했다는 한계점이 있다. 개방형 테스트베드의 경우, 자율주행차의 주행 환경에 영향을 주는 교통 통제 설비, 실험용 자율주행차 외 다른 교통류 등이 통제되지 않기 때문에 폐쇄형 테스트베드와는 다른 특성을 나타내에도 불구하고, 국내의 자율주행차 시험환경 특성상 대규모 폐쇄형 테스트베드의 수가 비교적 적어 폐쇄형·개방형 구분 없이 분석을 진행하였다. 따라서 향후 연구에서는 K-City와 유사한 시험 조건을 갖추고 있는 폐쇄형 테스트베드와의 비교분석 사례를 더 조사할 필요가 있을 것으로 보인다.

본 연구를 통해 도출한 향후 연구과제는 다음과 같다. 첫째로, 자율주행 기술의 상용화를 위해 ODD의 정의가 중요한 역할을 하는 만큼 이와 관련된 연구가 활발히 진행될 필요가 있다. 현재 자율주행차의 ODD를 기반으로 하여 K-City 내에서 실험이 가능한 자율주행차의 ODD를 정의하는 연구가 진행되고 있다. 그러나 자율주행 기술의 발전 수준이 비약적이라 해도, 자율주행 ODD의 명확한 기준 및 정의가 세워지지 않는다면 실도로 투입에 제동이 걸릴 수 있다. 따라서 ODD의 구체적 정의와 기준을 수립하는 연구가 신속하게 진행될 필요가 있다. 둘째로, 전략별 전략 과제의 특성에 따른 재정리 및 수행 계획을 수립할 필요가 있다. 현재의 전략 과제는 소요 시간별(단기, 중기, 장기 등), 규모별(예산 등) 위계가 나뉘어 있지 않아, 전략 과제의 활용성이 떨어지고 이해도가 낮아질 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 발전 전략의 심화 및 고도화에 따라 전략 과제를 유형별로 분류하는 것에서 그치지 않고, 시간별 및 규모별 위계에 따른 수행 계획을 수립할 필요가 있을 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(21AMDP-C162184-01)에 의해 수행되었습니다. 본 논문은 2021년 한국ITS학회 춘계학술대회에 발표된 논문을 수정 및 보완하여 작성하였음을 밝힙니다.

REFERENCES

- Cao H., Sandip G., Ali R., Mohamed G. and Josef E.(2016), “A 5G V2X testbed for cooperative automated driving,” *2016 IEEE Vehicular Networking Conference(VNC)*, pp.1-4.
- Chang H., Choi W. and Tho H.(2012), “A Study on Establishment of National Science and Technology Strategy Applying PEST-SWOT-AHP: A Case Study of Fusion R&D,” *Journal of Korea Technology Innovation Society*, vol. 15, no. 4, pp.766-782.
- Doric I., Dierk A., Sebastian W. and Schöner H. P.(2019), “Test System for Safe Automated Driving,” *ATZ Worldwide*, vol. 121, no. 1, pp.58-63.
- Intelligent Transportation Society of Korea(2017), *StandardITS*, vol. 25. pp.4-27.
- International Road Transport Union(IRU), <https://www.iru.org/resources/newsroom/professional-training-safer-roads>, 2021.04.04.
- Jang C., Jang J. and Song J.(2018), “Analysis of Impacts of Autonomous Vehicles and Car-sharing on Spatial Configuration in Urban Areas: Focusing on Parking Demand,” *The Korea Spatial Planning Review*, vol. 99, pp.151-169.
- Jeonbuk Institute of Automotive Convergence Technology(JIAT), <http://www.jiat.re.kr/content/index.sgk?gubun=facility3&dname=facility>, 2021.06.07.
- KDKA CBS Pittsburgh, <https://pittsburgh.cbslocal.com/2020/12/01/waymo-opening-new-autonomous-vehicle-testing-site-in-ohio/>, 2021.04.04.
- Ko H., Hong Y., Jo S., Nam B. and Kim D.(2017), “How to build an experimental city of the autonomous vehicle(K-City) based on User’s Needs Survey,” *Korean Institute of ITS Conference*, pp.196-203.

- Korea Automobile Journalists Association(KAJA), <https://www.kaja.org/63/?idx=1717528&bmode=view>, 2021.04.04.
- Korea Automobile Testing & Research Institute(KATRI)(2018), *Annual report*, Korea Transportation Safety Authority(TS), p.12.
- Korea Automobile Testing & Research Institute(KATRI), <https://www.katri.or.kr/web/contents/katri2030205.do>, Korea Transportation Safety Authority(TS), 2021.04.04.
- Korea Internet&Security Agency(KISA), https://www.kisa.or.kr/notice/press_View.jsp?mode=view&p_No=8&b_No=8&d_No=2025#, 2021.06.07.
- Lee H.(2021), *Traffic safety sign IoT device development and application plan for providing autonomous driving traffic safety facility information*, Department of Civil & Transport Engineering, Ajou University, pp.18-38.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(MOLIT) and Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA)(2019), *Final report on automated vehicle safety assessment technology and testbed development*, pp.10-61.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(MOLIT) and Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA)(2021), *Research and Development plan for establishing a testbed environment for Lv.4 automated vehicle*, pp.9-33.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(MOLIT) and Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA)(2016), *Detailed planning research report on the development of safety evaluation technology for autonomous vehicles and the establishment of road evaluation environment*, pp.60-66.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(MOLIT), <https://www.asiae.co.kr/article/2020061910363432615>, 2021.08.01.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(MOLIT), <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156146209>, 2021.04.30.
- Ministry of the Interior and Safety(MOIS)(2020), *'Regional-balanced New Deal' promotion plan with region*, pp.10-17.
- NetEase, https://www.163.com/dy/article/EB7RIFNH05327EN0.html#post_comment_area, 2021.04.04.
- Ryu J.(2011), "Exploring the SWOT Strategy of the Ulsan Metropolitan Government with SWOT Analysis," *The Korean Journal of Local Government Studies*, vol. 15, no. 1, pp.75-95.
- Seo B.(2019), "A Study on the Establishment of Platform for Smart Campus Ecosystem," *Journal of Industrial Convergence*, vol. 17, no. 3, pp.43-44.
- Seo J. and Bae S.(2016), "Developing Product Liability Response Strategies of SMEs using PEST-SWOT-AHP analysis," *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, vol. 39, no. 2, pp.11-17.
- Traffic Accident Analysis System(TAAS), <http://taas.koroad.or.kr/>, 2021.04.04.
- Traffic Science Research(2019), *A Study on the Evaluation Techniques and Model Development of Automated-driving AI Operation Capability I*, The Road Traffic Authority(KoROAD), pp.30-74.