

IPA 및 FGI 분석을 통한 자율주행차량 핸디캡과 발생원인 분석

Analysis on Handicaps of Automated Vehicle and Their Causes using IPA and FGI

전 현 명* · 김 지 수**

* 주저자 : 한국건설기술연구원 건설시험인증본부 ITS 성능평가센터 박사후연구원

** 교신저자 : 한국건설기술연구원 미래융합연구본부 스마트모빌리티연구센터 전임연구원

Hyeonmyeong Jeon* · Jisoo Kim**

* ITS Performance Evaluation Center, Construction Test & Certification Department, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

** Smart Mobility Research Center, Dep. of Future Technology and Convergence Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

† Corresponding author : Jisoo Kim, js.kim0331@kict.re.kr

Vol.20 No.3(2021)

June, 2021

pp.34~46

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.3.34>

2021.20.3.34

Received 30 April 2021

Revised 11 May 2021

Accepted 18 May 2021

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

요 약

자율주행차량의 상용화를 앞당기기 위해서는 현재 자율주행자동차의 주행안전성을 저하시키는 원인을 정확히 파악하고 이를 개선하는 노력이 필요하다. 본 연구는 우리나라에서 자율주행을 연구하는 전문가를 대상으로 중요도-만족도(IPA)와 포커스그룹 인터뷰(FGI)를 수행하여 자율주행차량의 주행안전성에 문제가 발생하는 원인과 국내의 자율주행 기술 수준 등을 파악하였다. 설문 결과 현재 자율주행 핸디캡 중에 공사 구간, 폭우/폭설 상황, 미세먼지 상황, 포트홀 존재 상황이 중요도보다 현재 기술 수준에 대한 만족도가 낮아 우선적인 연구개발이 요구되는 것으로 나타났다. 이 중 공사 구간과 포트홀은 도로/도로 시설물의 불량과 센서 자체의 성능이, 날씨와 연결된 상황은 센서의 성능과 알고리즘 부재 등이 가장 큰 원인으로 분석되었다. 안전한 자율주행의 조속한 실현을 위해서는 자율주행차량의 주행안전성을 저해하는 원인에 대한 명확한 파악과 해결이 지속해서 수행되어야 할 것이다.

핵심어 : 자율주행, 자율주행 핸디캡, 중요도-만족도 분석, 포커스 그룹인터뷰

ABSTRACT

In order to accelerate the commercialization of self-driving cars, it is necessary to accurately identify the causes of deteriorating the driving safety of the current self-driving cars and try to improve them. This study conducted a questionnaire survey of experts studying autonomous driving in Korea to identify the causes of problems in the driving safety of autonomous vehicles and the level of autonomous driving technology in Korea. As a result of the survey, the construction section, heavy rain/heavy snow conditions, fine dust conditions, and the presence of potholes were less satisfied with the current technology level than their importance, and thus priority research and development was required. Among them, the failure of road/road facilities and the performance of the sensor itself in the construction section and the pothole, and the performance of the sensor and the absence of an algorithm were the most responsible for the situation connected to the weather. In order to realize safe autonomous driving as soon as possible, it is necessary to continuously identify and resolve the causes that hinder the driving safety of autonomous vehicles.

Key words : Automated driving, Handicaps of Automated Driving, IPA, FGI

I. 서론

대한민국 정부는 2019년 ‘2030 미래차 산업 발전전략’을 통해 2027년 세계 최초로 Level 4 완전자율주행을 상용화하겠다는 계획을 발표하였다(Kim, 2020). 발표를 현실화하기 위해서 해당 부처들은 범부처 협의체를 구성하였으며, 이러한 노력의 결실로 2020년 4월에 자율주행기술개발 혁신사업이 예비타당성조사를 최종 통과하여 2021년 4월, 현재 계획대로 연구개발 사업을 착수하였다. 각국의 상용화 노력들은 비단 대한민국 뿐만 아니라 거의 모든 선진국에서 비슷하다. 자율주행차량이 가져올 경제적 효과를 2018년 현재, 7조 달러로 예상하는 SA(Strategy analytics)의 조사 결과에서 알 수 있듯이 자율주행기술 연구는 현재 세계적으로 가장 많은 관심과 투자가 이루어지고 있는 분야이다. KPMG International에서 발표한 ‘2019 자율주행차 도입준비 지수(2019 Autonomous Vehicle Readiness Index, 이후 AVRI)’에 따르면, 네덜란드, 싱가포르, 노르웨이, 미국, 스웨덴 순으로 자율주행에 대한 전반적인 준비가 앞서고 있으며, 한국은 13위에 있었다. 2020년 7월 갱신된 ‘2020 AVRI’에서는 이 순위가 싱가포르, 네덜란드, 노르웨이, 미국, 핀란드 순으로 변경되었으며, 한국은 6계단 상승한 7위에 위치하였다(KPMG International, 2020). 2019년은 한국은 투자가 본격적으로 개시되기 전의 발표이기 때문에 순위가 다소 낮았으나 정부의 ‘2030 미래차 산업 발전전략’ 이후 적극적인 투자가 시작됨에 따라 순위가 급상승하는 것으로 분석된다.

현재 자율주행기술의 상용화에 가장 근접한 나라는 미국으로 알려져 있다. 가장 대표적인 IT 업체인 구글은 2020년 현재까지 누적 주행실적이 2,000만 마일 이상이며, 피닉스에서 이미 WAYMO One이라는 이름으로 택시 서비스 상용화를 위한 시범운영 중에 있다(Waymo One, 2021). Waymo One 이외의 기존 미국 자동차 업체들에서도 앞다퉀 자율주행자동차의 상용화 계획을 발표하고 있다.

하지만, 기대와는 다르게 시험운영 중에 안전사고도 빈번히 발생하고 있는 것도 현실이다. 대표적으로 2018년 3월 발생한 우버(Uber)의 보행자 사망사고가 있다. 이 사고는 Level 3 이상의 자율주행 중 발생한 최초의 사망사고로 알려져 있다. 차량에 설치된 센서는 보행자를 인식하였으나, 자율주행차량 스스로 대응하지 못하여 운전석에 있는 운영자에게 제어권 이양(Disengagement)을 하는 상황에서, 운영자의 대응 시간이 충분히 확보되지 않아 발생한 것으로 알려져 있다(KICT, 2020). 상용화를 앞당기기 위해서는 아직은 완전하지 않은 자율주행차량의 주행 안전성에 문제가 발생하는 원인을 파악하는 등의 현황을 파악하는 노력은 매우 중요하다. 이러한 현황 파악을 지속해서 시행하기 위하여 미국 캘리포니아 DMV(Department of Motor Vehicle)는 모든 자율주행차량의 시험운영 중에 발생하는 ‘자율주행 제어권 이양 보고서(Disengagement Report)’를 작성하도록 규정하고 있다(Yun et al., 2018). 우리나라에서는 자동차관리법에 의거한 자율주행차 임시운행 허가 제도가 시행중에 있으며, 임시운행 허가를 받은 기관은 운행정보 보고서, 교통사고 보고서를 작성하여 제출하도록 규정하고 있으나(AVDS, 2021), 캘리포니아의 경우와 같이 외부에 공개하지 않고 있어 단순히 관리를 위한 규정이라고 판단된다. 하지만, 국내에서도 점차 자율주행 분야에 대한 적극적인 투자가 이루어지고 있으며, 이에 따라 자율주행 시험운행 차량이 크게 증가할 것으로 예상되는 2021년부터는 해외의 사례에 의존하지 말고 국내에서 현재까지 작성된 운행정보 보고서와 교통사고 보고서를 토대로 하여 국내 자율주행 환경에서 어느 경우에 자율주행차량이 주행안전성을 유지하는데에 어려움이 발생하는가를 분석하는 등의 현황을 조사하여야 하는 것은 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다.

이에 본 연구에서는 한국에서 시험운영 중인 자율주행차량의 제어권 이양 등이 주행안전성에 문제가 발생하는 것을 자율주행 핸디캡으로 정의하고, 실제 자율주행기술을 연구하는 전문가 설문문을 통하여 자율주행 핸디캡과 핸디캡 발생원인, 중점 기술개발 항목 등의 현황을 파악하고자 한다.

II. 관련 문헌 고찰

자율주행차량의 주행안전성 유지가 어려운 현황을 조사한 Schoettle(2017)는 자율주행차량에 장착된 센서의 성능이 저하되는 현황을 제시하였다. 악천후 상황(폭우, 폭설, 안개 등), 센서 표면의 물리적 장애물, 어둠 또는 눈부심 현상, 물리적 장애물(건물, 지형 등), 혼잡한 교통상황 등을 센서의 성능이 저하되는 현황이라고 하였다. Yun et al.(2018)은 자율주행차량의 현황을 파악하기 위하여 캘리포니아 DMV의 Disengagement Report를 직접 분석하였다. 총 94대의 자율주행차량이 1,790,000km를 운행하면서 발생한 제어권 이양 결과를 분석하였다. 분석결과 총 3,271건의 제어권 이양이 발생하였으며, 총 건수는 차량 요인 53.4%, 운전자 요인 21.7%, 환경 요인 24.8%라고 밝혔으며, 이들 중 차량 요인은 주변 환경 인식센서 결함의 원인이 가장 크다고 제시하였다. Dixit et al.(2016)도 Disengagement Report를 분석하여 현황을 파악하였다. 또한, 안전한 제어권 이양을 위해서 필요한 시간이 0.83초이며, 충분한 시험운영으로 주행경험이 많아야 자율주행차량이 주행안전성을 확보할 수 있다고 주장했다. Lv et al.(2018)도 Disengagement Report를 활용하여 자율주행 현황을 분석하였다. 시험주행 중 발생한 자율주행시스템의 제어권 이양의 영향요인들은 H/W와 S/W 같은 시스템적 요인과 외부 영향요인으로 구분하였으며, 외부 영향요인에 대해서는 위치, 날씨, 도로 표면 요인(Road Surface Condition)으로 구분하였다. Favarò et al.(2018)도 자율주행차량 현황을 파악하기 위하여 Disengagement Report를 활용하였으며, 자율주행차량의 제어권 이양이 발생하는 요인을 자율주행차량의 결함 요인, 외부 요인, 기타 요인, 인적 요인으로 구분하였다. 제어권 이양은 자율주행차량의 결함 요인에서 가장 많이 발생하며, 그 다음으로 공사구간, 도로 상태 등이 포함된 외부 요인에서도 많이 발생함을 밝혔다. 또한, 눈이나 젖은 노면 상태 등과 같은 날씨에 의하여 발생하는 요인들이 보고서에 해제 요인으로 구분되어 있지 않기 때문에 날씨 등의 외부 사안에 대한 고려가 필요함을 언급하였다. Wang and Li(2019)도 Disengagement Report로 통계 분석을 수행하여 주행안전성에 영향을 미치는 현황을 분석하였으며, 차량에 설치된 Radar와 LiDAR 등의 센서로 인한 제어권 이양이 다수 작용한다고 분석하였다. 자율주행차량의 주행안전성을 위해서는 5개 이상의 Radar와 3개 이상의 LiDAR를 설치할 필요가 있다고 주장하였으며, 제어권 이양이 될 때는 0.5초 이내에 전환이 이뤄져야 함을 강조하였다.

대부분의 선행연구가 위와 같이 Disengagement Report에 기반하여 이루어지고 있는 반면에, Roh and Im(2020)은 자율주행 전문가를 대상으로 설문조사를 수행하여 한국의 자율주행 현황을 파악하였다. 전문가 23인을 대상으로 AHP(Analytic Hierarchy Process, 이하 AHP) 분석을 수행하였으며, 한국의 자율주행 전문가들이 제어권 이양이 빈번하게 발생한다고 판단한 8개의 특정 주행 구간(Section)과 8개의 특정 상황(Situation)을 자율주행 핸디캡으로 규정하고 <Table 1>과 같이 제시하였다. 또한, 자율주행차량의 주행 안전성 확보를 위한 자율주행 핸디캡의 극복 우선순위를 선정하였다. 자율주행 Level 4의 자율주행차량 상용화를 위하여 기술 현황파악이 중요하며, 한국에서도 미국 캘리포니아처럼 시험주행 현황 보고서의 필요도 언급하였다.

문헌 고찰의 시사점을 정리하면 다음과 같다. 현재의 자율주행차량은 주행안전성을 담보하기 어려우며 자율주행차량의 제어권 이양이 시험주행 차량에 다수 발생하는 것으로 파악된다. Disengagement Report를 통하여 제어권 이양의 원인을 분석하는 현황을 파악하는 문헌이 다수 발표되었으며, 대부분 문헌에서는 제어권 이양의 원인이 자율주행을 구성하는 센서, 통신 등의 시스템에서 발생하는 직접 원인이 많다고 밝혔다. 외부 요인으로는 눈비 등의 날씨, 훼손된 도로 상태 등의 원인이 많이 언급되었다. 또한, 자율주행차량의 현황을 파악하는 문헌 대부분은 미국 캘리포니아의 Disengagement Report를 분석한 결과가 다수이다. 한국은 아직 자율주행차량의 시범운영 사례가 많지 않고, 이를 강제로 규정하지 않으며, 또한 자율주행차량이 아직 상용화되지 않았기 때문에 현황을 공개하는 것은 이를 연구하는 업체의 기술 수준이 공개되는 것으로 인식하기

때문으로 판단된다.

<Table 1> The Factor Definition of Handicap Section and Situation

| Variable | | Description |
|--------------------|--|---|
| Handicap Section | Areas with Skyscrapers (High-rise buildings) | Lower sections of the structure, such as overpasses, where high-rise buildings are concentrated, such as urban areas or some commercial areas |
| | Children and Senior Protect Zone | Lane Paint, Linear, Speed Limit Change Section for children and senior citizen |
| | Section with Poor Lane Condition | Lane loss due to wear, brightness difference due to lane repainting, existing lane changed due to lane increase and decrease |
| | Construction Section | Points and sections where construction signs and labacons are installed |
| | Merge section | Areas with frequent intersections or lane changes |
| | Yellow Light Dilemma Section | An area on the high-speed intersection approach, where vehicles neither safely stop before the stop line nor proceed through the intersection during amber interval |
| | Off-road section | Off-road segment with no lanes and no road maintenance |
| | Tunnel Section | Tunnel sections within city and highway paths |
| Handicap Situation | Direct Sun light | Light bleeding and recognition error due to light reflection |
| | Heavy Rain and Snow | Road flooding due to heavy rain, road freezing due to heavy snowfall and unrecognized lanes |
| | Fine dust and Fog | The situation where recognition sensor and recognition distance cannot be secured due to fine dust and fog |
| | Stopping of Large Vehicle | Occurrence of sign and traffic light obstruction due to stopping of heavy vehicles |
| | Driving of Emergency Vehicle | An emergency vehicle is driving or approaching to Automated vehicle |
| | Falling Objects on Road | Objects dropped on the road due to poor loading or other causes |
| | Abrupt Action Around Road | Sudden behavior, such as unauthorized crossings of pedestrians around a road, or abrupt behavior of dogs or wild animals |
| | Pothole | Pothole occurred on the road |

Ⅲ. 분석방법 정립

1. 분석 개요

본 논문에서는 문헌 고찰에서 언급한 논문들과 같이 한국의 자율주행차량 자율주행핸디캡과 발생원인 등의 현황을 파악하고 하는 것이 목적이다. 하지만, 한국은 캘리포니아처럼 Disengagement Report를 강제하지 않으며, 아직은 자율주행차량의 시험운행도 활발하지 않은 관계로 설문조사를 통하여 연구를 진행하였다. 설문대상은 자율주행 연구를 3년 이상 진행한 연구자로 교통 전문가와 차량 전문가로 구분하였다. 또한, 여러 문헌에서와 같이 제어권 이양이 발생하는 경우를 자율주행차량의 주행안전성이 결여되는 것으로 가정하여 설문을 조사하였다.

설문을 위한 설문지의 기본이 되는 상하위 요소는 Roh and Im(2020)이 <Table 1>을 통하여 제시한 자율주행핸디캡으로 구성하였다. <Fig. 1>과 같이 A. 핸디캡 구간(Handicap Section), B. 핸디캡 상황(Handicap Situations)으로 상위요소를 설정하였다. 여기서, 핸디캡 구간(Handicap Section)은 주행 중에 제어권 이양이 빈

번히 발생하는 도로 구간을 구분한 것이며, 핸디캡 상황(Handicap Situations)은 주행 중에 직면하게 되는 날씨 등의 외부 상황을 구분한 것이다.

핸디캡 구간과 상황의 하위요소는 각각 8개 항목(A(a) ~ A(h), B(a) ~ B(h))으로 구성하였다. 하위요소의 설명은 <Table 1>에 상세히 제시하였다. 최종 <Fig. 1>의 계층구조를 완성하였으며, 도출된 계층구조를 이용하여 전문가의 설문 조사를 시행하여 간접적으로 한국의 자율주행차량 현황을 분석하였다.

| Hierarchical Structure | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| A. Handicap road Sections | B. Handicap Situations |
| A(a) Area with Skyscrapers | B(a) Direct Sun light |
| A(b) Children/Senior Protect Zone | B(b) Heavy Rain and Snow |
| A(c) Section with Poor Lane Condition | B(c) Fine dust and Fog |
| A(d) Construction Section | B(d) Stopping of Large Vehicle |
| A(e) Merge section | B(e) Driving of Emergency Vehicle |
| A(f) Yellow Light Dilemma Section | B(f) Falling Objects on Road |
| A(g) Off-road section | B(g) Abrupt Action Around Road |
| A(h) Tunnel Section | B(h) Pothole |

<Fig. 1> Hierarchical Structure

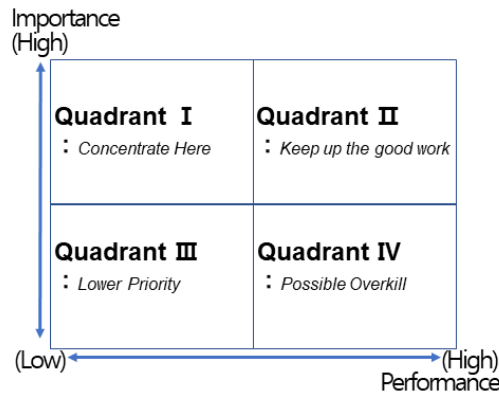
2. 조사방법 설명

특정 기술 수준 등의 현황을 분석하기 위하여 공학에서는 사용되는 설문조사 방법은 계층분석법(AHP)과 중요도 - 만족도 분석(Importance - Performance Analysis, 이하 IPA)이 있다. 이들 중 본 논문은 현황을 복합적으로 진단하고 분석하는 데 많이 활용되는 IPA 분석방법과 전문가 집단을 활용한 포커스 집단 인터뷰(Focus Group Interview, 이하 FGI)를 수행하였다.

IPA 분석은 경영 분야의 마케팅 관점에서 소비자의 만족도를 파악하기 위하여 활용이 된 방법이며, 상품이나 기술 등의 속성에 대한 상대적인 중요도와 만족도를 동시에 비교·분석 함으로써 한정된 자원 및 기술 발전속도 등의 조건 내에서 우선적으로 해결해야 할 것과 지양해야 할 것을 결정하는데 유용하다(Martilla and James, 1977). 최근에는 교통 분야에서도 활용이 많이 되어 Park et al.(2015)은 터널관리시스템의 운영을 위하여 현재 시스템의 현황을 파악하고, 터널시스템의 기술개발 우선순위를 조사하기 위하여 IPA 분석을 수행하였으며, Choi, et al.(2006)는 현재의 교통정보 서비스 평가와 정보제공 개선전략 수립에 IPA 분석을 활용하였다. 이렇듯, IPA 분석기법은 본 연구에서 선정한 바와 같이 시스템의 진단, 기술 수준 분석, 개선 분야 선정 등의 현황파악에 적절한 것으로 판단된다. 현황을 분석하여 현 자율주행 기술의 평가와 개선에 활용하기 위해서는 현재의 기술 진단이 최우선으로 시행되어야 한다고 판단하였고, 연구자들을 대상으로 이를 복합적으로 진단할 수 있는 IPA 방법이 가장 적합할 것으로 판단하였다. IPA 분석결과는 <Fig. 2>와 같이 총 4개 사분면으로 구성되며, 각 영역별 의미와 활용 방향은 다음과 같다. 각 사분면의 의미는 ‘Quadrant I은 중점개선향목’, ‘Quadrant II는 유지강화항목’, ‘Quadrant III은 점진개선향목’ 및 ‘Quadrant IV는 지속유지항목’을 나타낸다.

여기서, 중점개선향목(Quadrant I)은 자율주행 안전성을 위하여 중요도는 높으나 만족도가 낮은 요소로, 최우선적인 개선이 필요한 요소에 해당한다. 유지강화항목(Quadrant II)은 중요도와 만족도가 모두 높은 요

소로 현재 기술 수준을 지속해서 유지가 필요한 요소이다. 점진개선헤항목(Quadrant III)은 만족도와 중요도가 모두 낮아 개선의 필요성이 적은 요소가 해당 사분면에 도출된다. 마지막으로 지속유지항목(Quadrant IV)은 만족도는 높으나 중요도가 낮아 추가적인 시설투자 및 개선이 불필요한 항목이 해당한다. 이를 위해 각 요소 별로 만족도 및 중요도에 대해 5점 척도를 기준으로 평가하도록 설문지를 구성하여 조사를 시행하였다.



<Fig. 2> IPA Portfolio Chart

IPA 분석을 통하여 향후 Level 4의 자율주행을 위하여 핸디캡의 극복이 얼마나 중요한지를 물어보았고, 더불어 향후 Level 4의 자율주행을 위하여 현재의 자율주행차량을 주행을 위해 필요한 기술들을 얼마나 만족하는가를 물어보았다. IPA 분석 결과는 자율주행 핸디캡의 발생 원인과 직접적으로 연결이 되지 않기 때문에 이러한 IPA 분석의 한계를 보완하기 위하여 FGI 방식을 이용하여 얻은 자율주행 핸디캡의 주요 원인을 상세하게 제시할 계획이다.

3. 조사대상 선정 및 조사 개요

현 자율주행 기술 수준을 진단하고, 우선 개선순위 도출 등의 자율주행차량의 현황을 위한 조사를 시행하는 본 연구의 목적에 따라 현재 자율주행차량연구를 진행하는 연구자들을 대상으로 FGI를 시행하였다. 연구자들은 최소 3년 이상 자율주행차량 연구를 수행하고 있으며, 이들 연구자들은 교통 전문가와 차량 전문가들로 구분하여 조사를 수행하였다. 교통 전문가는 교통공학(7명)과 교통계획(3명)전문가들로 구성하여 총 10명을 설문하였으며, 차량 전문가는 차량제어(8명)와 센서(7명), 알고리즘(7명) 전문가들로 구성하여 총 22명을 조사하였다. IPA 설문조사는 21년 2월부터 3월까지 1개월간 총 32부를 시행하였고, IPA 설문조사 후에는 전문가 집단을 대상으로 FGI를 진행하여 각 핸디캡별 발생원인을 세부적으로 알아보았다.

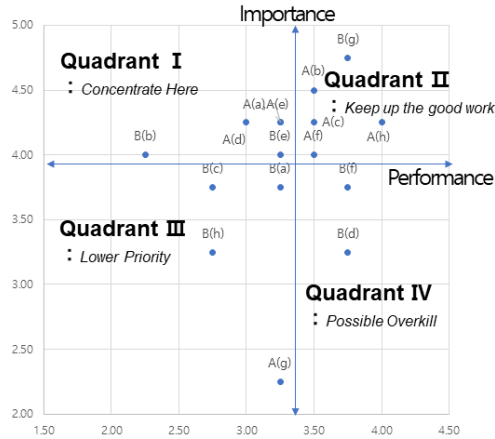
IV. 분석 결과

1. IPA 분석 결과

1) 교통 전문가 평가 결과

교통 전문가의 평가 결과는 다음과 같다. 상위요소 중 ‘A. 핸디캡 구간’의 하위 8개 요소와 ‘B. 핸디캡 상

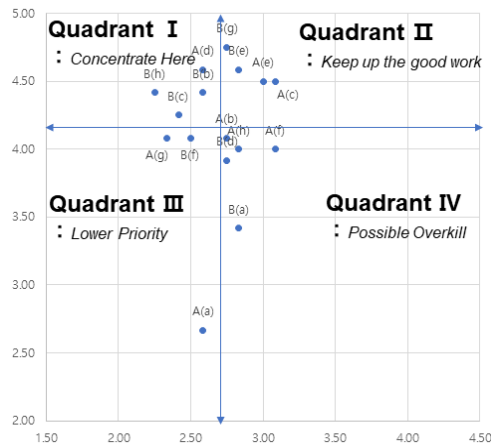
항'의 하위 8개 요소를 평가한 결과, 만족도는 평균 3.30, 중요도는 평균 3.91이다. 교통 전문가들은 자율주행 차량 중요도와 비교하면 만족도는 낮아 아직은 많은 부분에 연구개발이 필요한 것으로 판단한 결과이다. <Fig. 3>과 같이 Quadrant I에 위치한 A(a)고층건물구간, A(d)공사구간, A(e)합류구간, B(b)폭우/폭설상황, B(e) 긴급차량주행 상황은 현재 기술 수준이 중요한 것에 비하여 만족스럽지는 못하는 것으로 조사되었으며, 이 들에 대하여 상대적으로 집중하여 연구를 진행해야 할 것으로 판단하였다.



<Fig. 3> Transportation Engineers IPA Chart

2) 자동차 전문가 평가 결과

자동차 전문가의 평가 결과는 다음과 같다. 상위요소 중 ‘A. 핸디캡 구간’의 하위 8개 요소와 ‘B. 핸디캡 상황’의 하위 8개 요소를 평가한 결과, 만족도는 평균 2.70, 중요도는 평균 4.14이다. 교통 전문가보다 중요도는 높고 만족도가 낮게 조사되었다. 즉 교통 전문가보다 더 많은 기술발전이 필요하다고 판단하는 것으로 보인다. <Fig. 4>와 같이 Quadrant I에 위치한 A(a)고층 구조물 구간, A(d)공사구간, B(b)폭우/폭설상황, B(c)미세 먼지/안개상황, B(h)포트홀 존재 상황에 대하여 집중적으로 연구를 진행해야 하는 것으로 조사되었다.



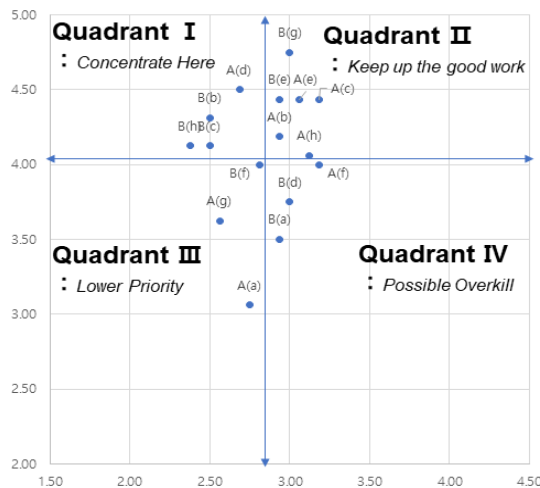
<Fig. 4> Automotive Engineers IPA Chart

3) IPA 분석 종합결과 및 시사점

교통 전문가와 차량 전문가 양쪽 모두에서 Quadrant I에 위치한 항목은 A(d)공사구간, B(b)폭우/폭설상황 2가지 항목이다. 교통 전문가에서는 Quadrant I에 위치하였으나, 차량 전문가에서 다른 사분면에 위치한 항목은 A(a)고층 구조물 구간(Q III), A(e)합류구간/B(e)긴급차량주행(Q II)이다. 이는 교통 전문가들은 상대적으로 중요하게 생각하는 요인이나 차량 전문가로서는 해당 요인이 크게 중요하지 않다고 판단하고(A(a)), 또한 이미 기술이 충분한 수준에 도달해 있다고 판단(A(e)/B(e))하는 것으로 조사되었다. 반대로 차량 전문가에서 Quadrant I에 위치하였으나 교통 전문가에서 다른 사분면에 위치한 항목은 B(c)미세먼지/안개상황, B(h)포트홀 존재 상황으로 모두 Quadrant III에 위치하여 차 입장에서는 매우 중요한 요인이며 기술 수준도 타 기술에 비해 많이 떨어진다고 판단하고 있으나, 오히려 교통 전문가들은 중요도가 낮아 크게 관심이 없는 것으로 나타났다.

총괄 IPA 분석 결과는 <Table 2>이며, 이것을 활용하여 그린 포트폴리오는 <Fig. 5>와 같다. 상위요소 중 ‘A. 핸디캡 구간’의 하위 8개 요소와 ‘B. 핸디캡 상황’의 하위 8개 요소를 평가한 결과, 만족도는 평균 2.85, 중요도는 평균 4.08이다. 전체적으로 Level 4 수준의 완전한 자율주행 상용화를 위해서 기술적으로 극복해야 하는 핸디캡 중에 A(d)공사 구간, B(b)폭우/폭설 상황, B(c)미세먼지/안개 상황, B(h)포트홀 존재 상황이 최우선적으로 고려해야 하는 것으로 조사되었다. 또한, 핸디캡 구간보다는 핸디캡 상황이 현재 기술 수준의 만족도가 낮다.

IPA 분석결과는 Roh and Im (2020)이 제시한 AHP 결과(<Table 3>)에서는 전체적으로 핸디캡 구간보다는 핸디캡 상황의 극복이 우선시 되어야 한다는 점과 AHP에서 우선순위가 높게 매겨진 핸디캡은 IPA 분석 결과에서도 중요도는 높게 조사되었다. 다만 IPA 분석 결과에서 중요도보다 만족도가 낮은 핸디캡은 A(d)공사 구간, B(b)폭우/폭설 상황, B(c)미세먼지/안개 상황, B(h)포트홀 존재 상황인 반면에 AHP의 상위 랭크된 핸디캡은 B(g)돌발 상황, B(b)폭우/폭설 상황, B(f)도로상의 낙하물 존재 상황, B(e)긴급차량 주행 상황으로 다소 상이한 결과가 도출되었다. 이는 AHP 조사는 현재의 만족도보다는 중요도를 중심으로 핸디캡 극복 기술 우선순위만을 조사한 결과로 판단된다.



<Fig. 5> Total IPA Chart

<Table 2> Result of IPA

| | | | Importance | | Performance | | Importance - Performance | |
|--------------------|------|----------------------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------------------|---------|
| | | | Value | Average | Value | Average | Value | Average |
| Handicap Section | A(a) | Areas with Skyscrapers | 3.06 | 4.04 | 2.75 | 2.94 | 0.31 | 1.10 |
| | A(b) | Children and Senior Protect Zone | 4.19 | | 2.94 | | 1.25 | |
| | A(c) | Section with Poor Lane Condition | 4.44 | | 3.19 | | 1.25 | |
| | A(d) | Construction Section | 4.50 | | 2.69 | | 1.81 | |
| | A(e) | Merge section | 4.44 | | 3.06 | | 1.38 | |
| | A(f) | Yellow Light Dilemma Section | 4.00 | | 3.19 | | 0.81 | |
| | A(g) | Off-road section | 3.63 | | 2.56 | | 1.06 | |
| | A(h) | Tunnel Section | 4.06 | | 3.13 | | 0.94 | |
| Handicap Situation | B(a) | Direct Sun light | 3.50 | 4.13 | 2.94 | 2.76 | 0.56 | 1.37 |
| | B(b) | Heavy Rain and Snow | 4.31 | | 2.50 | | 1.81 | |
| | B(c) | Fine dust and Fog | 4.13 | | 2.50 | | 1.63 | |
| | B(d) | Stopping of Large Vehicle | 3.75 | | 3.00 | | 0.75 | |
| | B(e) | Driving of Emergency Vehicle | 4.44 | | 2.94 | | 1.50 | |
| | B(f) | Falling Objects on Road | 4.00 | | 2.81 | | 1.19 | |
| | B(g) | Abrupt Action Around Road | 4.75 | | 3.00 | | 1.75 | |
| | B(h) | Pothole | 4.13 | | 2.38 | | 1.75 | |
| Average | | | 4.08 | | 2.85 | | 1.23 | |

<Table 3> Result of Weight Analysis (4) All Factors

| | Weight(a) | Class 2(Sub Class) | | Weight(b) | Definitive Weight(a×b) | Rank in Sub Class | Final Rank |
|--------------------|-----------|--------------------|--|-----------|------------------------|-------------------|------------|
| Handicap Section | 0.354 | A(a) | Areas with Skyscrapers (High-rise buildings) | 0.0771 | 0.0273 | 8 | 16 |
| | | A(b) | Children and Senior Protect Zone | 0.1101 | 0.0390 | 6 | 14 |
| | | A(c) | Section with Poor Lane Condition | 0.1482 | 0.0524 | 2 | 8 |
| | | A(d) | Construction Section | 0.1433 | 0.0507 | 3 | 10 |
| | | A(e) | Merge section | 0.1567 | 0.0554 | 1 | 7 |
| | | A(f) | Yellow Light Dilemma Section | 0.1413 | 0.0500 | 4 | 11 |
| | | A(g) | Off-road section | 0.1094 | 0.0387 | 7 | 15 |
| | | A(h) | Tunnel Section | 0.1139 | 0.0403 | 5 | 13 |
| Handicap Situation | 0.646 | B(a) | Direct Sun light | 0.0790 | 0.0510 | 7 | 9 |
| | | B(b) | Heavy Rain and Snow | 0.1576 | 0.1018 | 2 | 2 |
| | | B(c) | Fine dust and Fog | 0.1029 | 0.0665 | 6 | 6 |
| | | B(d) | Stopping of Large Vehicle | 0.0764 | 0.0494 | 8 | 12 |
| | | B(e) | Driving of Emergency Vehicle | 0.1105 | 0.0714 | 4 | 4 |
| | | B(f) | Falling Objects on Road | 0.1494 | 0.0965 | 3 | 3 |
| | | B(g) | Abrupt Action Around Road | 0.2191 | 0.1416 | 1 | 1 |
| | | B(h) | Pothole | 0.1051 | 0.0679 | 5 | 5 |

2. FGI를 통한 핸디캡 원인분석

전문가들이 언급하는 자율주행 핸디캡 구간과 상황의 원인은 다양하다. 차선 불량, GNSS의 불량, Multi Path의 불량, 복잡하고 노후화된 도로 시설물, 통신 불량, 예측 불가능한 기상, 알고리즘 불량, 조향대응 시간 분석 등 많은 원인을 언급하였다.

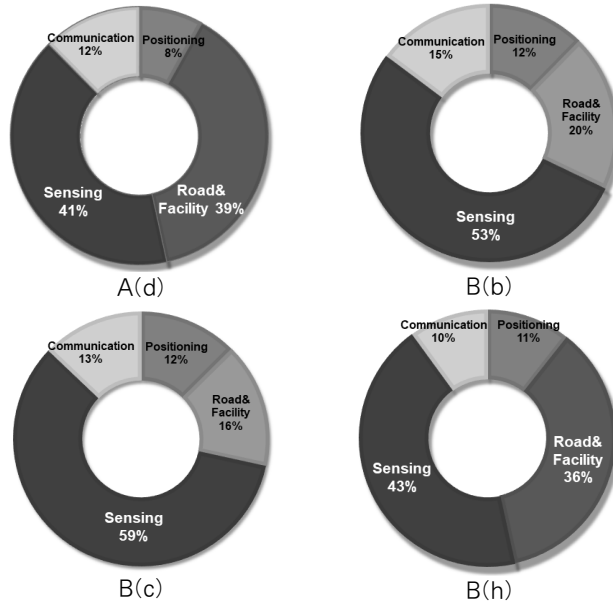
이에 본 논문에서는 핸디캡 원인을 체계적으로 정리하기 위하여 핸디캡별로 제어권 이양의 원인을 <Table 4>와 같이 측위 요소(Positioning), 도로 시설물 요소(Road & Road Facility), 센서인식성능 요소(Sensing), 통신 요소(wireless communication) 등 4가지로 구분하였다. 여기서, 측위 요소(Positioning)에는 GNSS 불량, Multi Path 불량, GPS 불량 등이 원인이 속하여 있으며, 도로 시설물 요소(Road & Road Facility)는 복잡한 보호구역 표시, 차선 노화, 도색 불량, 다양한 도로 시설물 배치, 규칙성 없는 도로 시설물, 자율주행 지원시설물 부재 등의 원인이 속하여 있으며, 센서 인식성능 요소(Sensing)에는 예측 불가 상황 발생, 센서 인식시간 및 거리 부족, 날씨의 급격한 변환, 조향대응시간 부족, 알고리즘 부재 및 성능 저하, 터널·교량 등의 주행환경의 급격한 변화 등의 원인이 속해있으며, 통신요소(wireless communication)는 통신 지연, 자율자동차 전용 통신 부재, 빈번한 통신 단락 등의 원인이 조사되었다. 16개 핸디캡 발생의 원인을 4가지 요소별로 구분한 원형 그림이다. 자율주행차량의 핸디캡 발생의 원인은 센서 인식성능과 도로 시설물 요소에 집중된 것으로 조사되었다.

<Table 4> Causes of Handicaps

| Handicap | Positioning | Road&Facility | Sensing | Communication | total(%) |
|---------------------------------------|-------------|---------------|---------|---------------|----------|
| A(a) Areas with Skyscrapers | 42% | 17% | 20% | 21% | 100% |
| A(b) Children and Senior Protect Zone | 13% | 31% | 38% | 18% | 100% |
| A(c) Section with Poor Lane Condition | 12% | 45% | 32% | 10% | 100% |
| A(d) Construction Section | 8% | 39% | 41% | 12% | 100% |
| A(e) Merge section | 11% | 32% | 42% | 15% | 100% |
| A(f) Yellow Light Dilemma Section | 12% | 27% | 42% | 19% | 100% |
| A(g) Off-road section | 6% | 40% | 42% | 11% | 100% |
| A(h) Tunnel Section | 43% | 14% | 27% | 15% | 100% |
| B(a) Direct Sun light | 13% | 19% | 57% | 11% | 100% |
| B(b) Heavy Rain and Snow | 12% | 20% | 53% | 15% | 100% |
| B(c) Fine dust and Fog | 12% | 16% | 58% | 13% | 100% |
| B(d) Stopping of Large Vehicle | 16% | 18% | 47% | 18% | 100% |
| B(e) Driving of Emergency Vehicle | 14% | 14% | 53% | 19% | 100% |
| B(f) Falling Objects on Road | 9% | 22% | 51% | 17% | 100% |
| B(g) Abrupt Action Around Road | 11% | 14% | 53% | 22% | 100% |
| B(h) Pothole | 11% | 36% | 43% | 10% | 100% |
| Average | 15% | 25% | 45% | 15% | 100% |

IPA 분석결과에서 최우선으로 고려해야 하는 4개의 핸디캡(A(d)공사 구간, B(b)폭우/폭설 상황, B(c)미세먼지 상황, B(h)포트홀)의 발생 원인을 구분해본 결과 <Fig. 6>과 같이 센서 인식성능 요소와 도로 시설물 요소에 집중된 것을 확인할 수 있다. 현재 Level 4 자율주행 상용화를 위해서는 현재 자율주행차량의 핸디캡 중

A(d)공사 구간, B(b)폭우/폭설 상황, B(c)미세먼지/안개 상황, B(h)포트홀 상황 등을 조속히 해결해야 하며, 이들 핸디캡은 복잡한 표지판의 규칙성 부여, 차선 노화의 정기적인 점검을 통한 도색 불량, 다양한 도로 시설물 배치, 규칙성 없는 도로 시설물 등의 원인과 예측 불가 상황 발생, 날씨의 급격한 변환, 조향대응시간 부족, 알고리즘 부재 및 성능 저하 등의 원인을 해결하는 것에 집중할 필요가 있는 것으로 보인다.



<Fig. 6> Causes of Primary 4 Handicaps

V. 결 론

본 논문은 각국이 치열한 자율주행 상용화를 위하여 노력하는 현재 시점에 한국의 자율주행차량의 제어권 이양이 발생하는 상황과 그 원인의 현황 자료를 파악하고자 하였다. 자율주행기술이 가장 발전한 국가로 알려진 미국은 캘리포니아 DMV를 중심으로 Disengagement Report를 작성하도록 규정하고 있으나 한국의 상황은 그렇지 못하다. 이런 이유로 본 논문은 전문가들을 대상으로 IPA 설문조사를 통하여 한국의 자율주행 현황을 제어권 이양이 자주 발생하는 상황과 구간을 중심으로 최우선으로 해결해야 하는 자율주행 핸디캡 구간 및 상황을 중심으로 이들의 원인을 조사하였다. 원인은 FGI를 통해 도출하였다. IPA 조사결과, 공사 구간, 폭우/폭설 상황, 미세먼지 상황, 포트홀 존재 상황이 중요도보다 현재의 기술의 만족도가 낮아 최우선으로 연구·개발해야 하는 핸디캡으로 조사되었다. 또한, 공사구간과 포트홀 존재 상황에서는 자율주행차량이 제어권 이양이 자주 발생하는 원인은 도로와 도로 시설물의 불량과 센서 자체의 성능이 가장 큰 것으로 조사되었고, 폭우/폭설 상황과 미세먼지/안개와 같은 날씨와 연결된 상황에서는 센서의 성능, 알고리즘 부재, 조향대응시간 부족 등을 원인으로 FGI를 통하여 알아보았다.

본 논문은 아직까지 한국의 자율주행기술 현황과 문제점 등에 관한 문헌이 거의 존재하지 않은 상황에서 대한민국 정부에서 계획 중이 2027년 Level 4 수준의 자율주행차량 상용화를 위해서 선결되어야 할 여러 분

야 가운데 자율주행차량의 주행안전성 측면에서의 원인을 정성적으로 규명해 본 점에 큰 의의가 있다. 향후에는 이러한 자율주행 핸디캡에 대하여 실제 자율주행의 과정인 ‘인지 - 판단 - 제어’의 단계와 연계한 분석을 통해 실제 핸디캡을 극복하기 위한 기술적/제도적 등의 접근과 향후 시험 운영하는 자율주행차량의 사고 및 제어권 이양 등의 현황과 원인의 파악을 지속해서 수행하여야 할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 한국건설기술연구원 임무형 주요사업(21주요-대2-임무/자율주행차량의 주행안전성 확보를 위한 도로 시설물 기술 개발)의 지원을 받아 수행하였습니다.

REFERENCES

- ADVS(2021), <https://avds.kotsa.or.kr/main/Main.do>, 2021.05.12.
- Choi K. C., Choi Y. H. and Oh S. H.(2006), “Using Importance-Performance Analysis to Improve Traffic Information Disseminating Strategies on VMS,” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 26, no. 5, pp.747-754.
- Dixit V. V., Chand S. and Nair D. J.(2016), “Autonomous vehicles: disengagements, accidents and reaction times,” *PLoS One*, vol. 11, no. 12, e0168054.
- Favarò F., Eurich S. and Nader N.(2018), “Autonomous vehicles’ disengagements: Trends, triggers, and regulatory limitations,” *Accident Analysis & Prevention*, vol. 110, pp.136-148.
- KICT(2020), *Improvement Road Infrastructures to Strengthen Driving Safety of Automated Driving Car*, The Second report, South Korea.
- Kim W. K.(2020), “Main Contents and Future Plans of the Automated Driving Technology Development Innovation Project,” *Monthly KOTI Magazine on Transportation*, vol. 272, pp.27-35.
- KPMG International(2020), *2020 Autonomous Vehicle Readiness Index*, p.1.
- Lv C., Cao D., Zhao Y., Auger D. J., Sullman M., Wang H. et al.(2018), “Analysis of Autopilot Disengagements Occurring during Autonomous Vehicle Testing,” *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 5, no. 1, pp.58-68.
- Martilla J. A. and James J. C.(1977), “Importance-Performance Analysis,” *Journal of Marketing*, vol. 41, no. 1, pp.77-79.
- Park B., Roh C. and Moon B.(2015), “Adequacy Analysis of Tunnel Management System in terms of Operational Safety,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 14, no. 5, pp.1-12.
- Roh C. G. and Im I. J.(2020), “A review on Handicap Sections and Situations to Improve Driving Safety of Automated Vehicles,” *Sustainability MDPI*, vol. 12, 5509;doi:10.3390/su12145509.
- Schoettle B.(2017), *Sensor Fusion: A Comparison of Sensing Capabilities of Human Drivers and Highly Automated Vehicles*, SWT-2017-12, University of Michigan, Transportation Research

Institute, Ann Arbor, USA.

Wang S. and Li Z.(2019), “Exploring causes and effects of automated vehicle disengagement using statistical modeling and classification tree based on field test data,” *Accident Analysis & Prevention*, vol. 129, pp.44-54.

Waymo One(2021), <https://waymo.com/waymo-one/>, 2021.04.10.

Yun H. N., Kim S. L., Lee J. W. and Yang J. H.(2018), “Analysis of Cause Disengagement Based on U.S. California DMV Autonomous Driving Disengagement Report,” *Transaction of KSAE*, vol. 26, no. 4, pp.464-475.