

성과감사



# 감사보고서

- 4차 산업혁명 대응점검 II -  
(자율주행 인프라 구축 실태)

2024. 11.

감사원

# 목 차

제1장 감사실시 개요 .....	1
제1절 감사 배경 및 목적 / 1	
제2절 감사 중점 / 2	
제3절 감사실시 과정 및 접근방법 / 3	
제4절 감사결과 처리 / 4	
제2장 자율주행산업 관련 주요 실태 .....	5
제1절 차량 자율주행 기술의 의미와 영향 / 5	
제2절 자율주행산업 현황 및 전망 / 7	
제3절 우리나라의 자율주행 기술력 현황 / 8	
제4절 자율주행산업 육성정책 등 추진 현황 / 10	
제3장 감사결과 .....	12
제1절 감사결과 총괄 / 12	
제2절 자율주행 인프라(C-ITS) 구축 분야 실태분석 / 13	
제4장 종합 결론 .....	42
제1절 감사 총평 및 기관별 조치사항 / 42	
제2절 감사의 효과 및 한계 / 44	

## 표 목차

[표 1] 자율주행차 미래시장 선점을 위한 정책과제 수립 현황 .....	2
[표 2] 차량 자율주행 기술 단계별 특징 비교 .....	6
[표 3] 자율주행차 분야 국내시장 규모 전망 .....	8
[표 4] 자율주행차 분야의 국가별 시장 규모 및 전망 .....	10
[표 5] 분야별·기관별 감사결과 현황 .....	12
[표 6] 자율협력주행시스템의 직접 통신기술 방식 비교 .....	16
[표 7] 자율협력주행시스템 시범·실증사업 추진 현황 .....	17
[표 8] 자율협력주행시스템 구축 관련 정부계획 수립 현황 .....	18
[표 9] 통신방식 성능 비교시험 항목 및 방법 .....	24
[표 10] 자율협력주행시스템 통신방식 성능 비교시험 주요 결과 .....	25
[표 11] 한국지능형교통체계협회 표준의 통신 성능시험 기준 및 방법 등 .....	34
[표 12] 와이파이 방식과 LTE 방식의 혼잡통신 성능시험 결과 .....	37
[표 13] 비가시 상황 통신 성능검증 시험결과 패킷 에러율 10% 초과 시점 .....	39

## 그림 목차

[그림 1] 자율주행 기술도입 시 차량 내부 모습 .....	7
[그림 2] 자율주행이 일상화된 미래 모습 .....	7
[그림 3] 자율협력주행시스템 개념도 .....	14
[그림 4] 고속도로 갈림목(JC: Junction) 구간의 통신 가능 영역 예시 .....	26
[그림 5] 자율협력주행시스템 통신방식 결정 등과 관련한 정부 정책의 로드맵 비교 ...	30
[그림 6] 에뮬레이션 장비를 활용한 혼잡 상황 조성 방법 .....	36
[그림 7] 혼잡 상황 성능검증 진행 현장도 .....	37
[그림 8] 비가시 상황 성능검증 진행 현장도 .....	38

## 도표 목차

[도표] 국가별 자율주행 차량 기술 수준 .....	9
------------------------------	---

# 제1장 감사실시 개요

---

## 제1절 감사 배경 및 목적

‘4차 산업혁명’은 오늘날 많이 사용되고 있는 용어 중 하나이나 세계경제포럼(WEF : World Economic Forum)에서 2016. 1. 20. 개념이 소개된 후 현재까지도 일치된 정의는 없으며, 각 국가가 조금씩 다른 의미로 사용하고 있다.

우리나라의 경우 4차산업혁명위원회<sup>1)</sup>가 “데이터, 네트워크, AI 등의 기술을 기반으로 정보통신(ICT) 산업구조 등을 재편하고 초연결 기반의 지능화 혁명으로 산업뿐만 아니라 사회 전반에 혁신적 변화가 유발”되는 것이 4차 산업혁명이라고 정의한 바 있으며, 사회는 4차 산업혁명에 따라 ‘초고속, 초연결, 초지능화’할 것으로 예상된다.

세계 각 국가는 4차 산업혁명이 경제 성장과 각종 사회문제를 동시에 해결해 줄 수 있을 것으로 기대하고 신기술 선점을 위해 치열하게 경쟁 중이며, 우리나라도 2017년에 21개 정부 부처가 4차산업혁명위원회와 협업하여 「혁신 성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획」을 수립하는 등 범국가적인 대책을 수립·추진하고 있다.

국가별로 중점 육성 중인 4차 산업혁명 신기술은 개별 국가의 여건에 따라 차이가 있으나 인공지능(AI: Artificial Intelligence), 5G 통신 등과 함께 자율주행 기술은 우리나라를 비롯한 미국과 중국 등 세계 주요 국가들이 기술개발을 위해 국가 차원의 지원 정책을 추진 중이며, 4차 산업혁명에 대한 대응 방식은 국가의

---

1) 2017년 10월 「4차 산업혁명위원회의 설치 및 운영에 관한 규정」(대통령령) 제2조에 따라 설치된 대통령 직속 위원회로 4차 산업혁명 도래에 따른 국가전략과 정부 정책에 관한 사항을 심의하고 부처 간 정책을 조정하였으며 5년(2017. 8. 22~2022. 8. 21.)의 존속기한으로 활동 종료

미래를 결정할 수 있는 문제이므로 정부는 4차 산업혁명 관련 미래 위험요인을 정확히 진단하고 효과성 있는 대책을 마련하여 추진할 필요가 있다.

이에 따라 감사원은 2022년 우리나라 정부의 4차 산업혁명 대응실태를 순차적으로 감사하기 위한 감사 로드맵을 수립한 후 기업과 국가경쟁력의 핵심 원천인 데이터의 개방 및 활용실태 점검을 위한 감사를 실시하였고, 2023년에는 4차 산업혁명 관련 기술 중 인프라 구축이 지연되고 있는 자율주행 분야와 관련하여 지연 사유와 미래 위험요인 등을 분석하여 개선 대안을 제시할 목적으로 이번 감사를 2023년 연간업무계획에 반영하여 실시하였다.

## 제2절 감사 중점

정부(관계부처 합동)가 2019년 10월 수립한 「미래 자동차 산업 발전전략」에 따르면 2027년까지 전국 주요 도로의 완전 자율주행을 세계 최초로 상용화한다는 목표 아래 [표 1]과 같이 2019년부터 2027년까지 인프라 구축, 제도 개선, 기술개발 등 3대 분야에 걸쳐 12개 과제를 추진하는 것으로 되어 있다.

[표 1] 자율주행차 미래시장 선점을 위한 정책과제 수립 현황

구분	추진과제 주요 내용
인프라 구축 분야	① 차량 통신망 구축, ② 도로 정밀지도 제작, ③ 교통관제 시스템 전국 확대, ④ 차량 센서 인식률 개선을 위한 신호등, 안전표지, 도로 등 정비
제도 개선 분야	① 자율주행차 제작에 필요한 안전기준 및 KS표준 수립, ② 연구·개발용 자율주행차의 도로주행을 위한 임시운행허가 등 개선, ③ 자율주행차의 법적 지위 및 사고 책임 등 관련 규정 마련, ④ 자율주행차 성능검증체계 마련, ⑤ 보험제도 개편 및 사고조사위원회 운영, ⑥ 교통인프라 해킹 방지 등 보안체계 수립, ⑦ 자율주행 서비스 사업화를 허용하는 관련 법 시행
기술개발 분야	① 센서·반도체 등의 핵심부품, 자율주행 시스템 개발 등에 집중 투자

자료: 국토교통부 제출자료 재구성

자율주행 기술의 발전을 위해서는 관련 제도 개선과 기술개발도 중요한 과제이나 안전한 자율주행이 가능하도록 보장하는 인프라 구축 없이는 관련 제도가

개선되고 기술이 개발되더라도 실제 자율주행 차량 운행은 불가능하다는 점에서 인프라 구축이 선행되어야 할 필요가 있다.

그리고 자율주행 인프라 중에서도 정밀지도를 활용한 도로와 주변 지형정보, 교통관제 시스템을 활용한 차량운행 전방의 교통신호 정보 등이 생산되더라도 이를 차량에 전달할 수 있는 통신망이 구축되지 않는다면 자율주행 차량 운행의 안전성을 담보할 수 없으므로 차량 통신망 구축은 필수적인 과제로 볼 수 있다.

그런데 위 발전전략에서는 2021년까지 자율주행을 위한 차량 통신방식을 결정하는 것으로 계획되었으나 국토교통부(이하 “국토부”라 한다)와 과학기술정보통신부(이하 “과기정통부”라 한다) 사이의 의견 차이로 2022년 말까지도 통신방식이 결정되지 않았고, 이에 따라 2027년에 전국 주요 도로의 완전 자율주행을 세계 최초로 상용화한다는 당초 계획과 달리 자율주행 인프라 구축이 지연되고 있었다.

이에 따라 이번 감사에서는 자율주행 관련 정부 추진과제 중 차량 통신망 구축 분야를 감사 중점으로 정하여 차량 통신방식 결정 지연 사유를 규명하고 개선 대안을 제시하고자 하였다. 아울러 현재 정부가 추진 중인 차량 자율주행 방식이 안전성을 확보할 수 있는지에 대한 기술적 점검을 병행하였다.

### 제3절 감사실시 과정 및 접근방법

이번 감사는 계획 수립 과정에서 자율주행산업 전반에 대한 광범위한 분석이 필요하여 각종 정책 자료와 통계, 국내외 연구보고서, 언론 보도내용 등을 검토하는 한편, 2023. 1. 11.부터 같은 해 5. 12.까지 학계, 정부연구기관 등의 전문가들을 만나 다양한 의견을 듣는 등 관련 자료를 수집하여 감사 중점을 구체화하였다.

이후 감사원은 2023. 5. 22.부터 같은 해 9. 22.까지 44일간 감사 인원 7명을

투입하여 국토부와 과기정통부, 한국도로공사 등을 대상으로 실지감사를 실시하여 정부가 자율주행 관련 미래 위험요인을 어떻게 인식하여 대응하고 있는지 그 실태를 점검하였다.

그리고 국토부와 과기정통부가 자율주행 차량 통신 용도로 검토 중이던 기술방식의 성능 비교·분석을 위해 공동작업반을 구성하여 새만금 일대 도로에서 실제 시험용 차량을 운행하는 방식과 도로교통의 실제 환경을 모방·복사하는 에뮬레이션(Emulation) 방식을 혼합해 시험을 시행하였다.

#### 자율주행 차량통신 기술의 성능검증 개요

- (공동작업반 구성) 국토부, 과기정통부, **카이연구원**, 한국지능형교통체계협회(ITSK), **카타협회**, 한국도로공사 등 참여
- (일시 및 장소) 1차: 2023. 7. 10.~7. 28., 2차: 2023. 8. 28.~9. 15., 새만금 지역 내 도로
- (검증 항목) 최대 유효통신영역, 통신에러율, 지연시간, 최대 전송용량, 혼잡상황 및 비가시거리 통신 성능

아울러 위 성능검증에서는 현재 정부가 개발 중인 차량 자율주행 시스템이 도로 혼잡상황과 차량 통신 경로에 장애물이 있는 비가시 상황에서도 안정적인 자율주행 성능을 보장할 수 있는지에 대한 시험을 병행하였다.

## 제4절 감사결과 처리

분야별 감사결과와 관련하여 국토부 제2차관, 과기정통부 제2차관 등이 참석한 가운데 감사마감회의(다수 대상기관 일정 조율의 어려움 등을 고려하여 서면으로 대체)를 하고, 향후 처리대책 등에 대한 답변서를 받는 등 주요 지적사항에 대한 의견을 교환하였다.

이후 감사원은 대상기관의 답변서에 제시된 의견 등을 포함하여 지적사항에 대한 내부 검토를 거쳐 2024. 11. 28. 감사위원회회의 의결로 감사결과를 최종 확정하였다.

## 제2장 자율주행산업 관련 주요 실태<sup>2)</sup>

### 제1절 차량 자율주행 기술의 의미와 영향

#### 1. 자율주행 기술의 개념과 유형

자율주행이란 차량, 선박과 같은 교통수단이 운전자의 조작 없이 스스로 판단하고 운행할 수 있는 기술을 의미한다. 자율주행 차량의 3대 핵심 기능은 인지, 판단, 제어로 구성되는데, 차량에 장착된 카메라와 레이더, 라이다(lidar)<sup>3)</sup> 등의 장치를 통해 주변 교통상황과 차량 데이터(속도 등)를 인지하고, 수집된 데이터와 정밀지도, 교통량 등을 종합해 최적의 차량운행 경로를 판단하며, 반도체 등의 장치가 자동차의 속도와 방향 등을 제어한다.

세계 각국이 개발 중인 차량 자율주행 기술은 차량 내부에 탑재된 컴퓨터 시스템이 스스로 판단하여 주행하는 ‘독립형’ 방식과 차량이 외부 서버와 통신하는 방식을 통해 주행하는 ‘커넥티드’ 방식으로 구분할 수 있다. <sup>2)</sup> 그러나 <sup>3)</sup> 등 개별 민간기업이 개발 중인 자율주행 기술은 독립형 방식을 채택하는 경우가 많은 데 비해 우리나라의 경우 커넥티드 방식의 기술개발을 추진 중이다.

완전한 자율주행은 운전자의 개입 없이 차량이 스스로 운행하는 기술을 의미하나, 세계 각국은 기술개발 단계를 구분하기 위해 차량운행에 필요한 운전자의 개입 정도에 따라 자율주행 기술을 구분하고 있다. 우리나라의 경우 산업통상자원부 국가기술표준원이 2023. 1. 25. 자율주행 기술의 분류기준을 정의하는 국가

2) 이 부분은 감사결과 지적된 문제점의 종합적 이해를 돕기 위해 감사대상 업무의 현황을 기술한 것으로 각종 연구보고서와 감사대상 기관이 제출한 자료 등을 바탕으로 작성되었으며 현장조사를 통해 검증한 내용이 아님

3) 차량 주변의 물체에 발사되었다가 반사되는 레이저 빛을 통해 해당 물체까지의 거리 등을 측정하고 주변 모습을 정밀하게 그려내는 장치를 의미

표준(KS)<sup>4)</sup>을 제정·고시하였는데, 이에 따르면 자율주행 기술은 [표 2]와 같이 0 단계부터 5단계까지로 구분된다.

[표 2] 차량 자율주행 기술 단계별 특징 비교

구분	레벨 0	레벨 1	레벨 2	레벨 3	레벨 4	레벨 5
자동화 정도	비자동화	운전자 보조	부분 자동화	조건부 자동화	고도 자동화	완전 자동화
운전자 개입	항시 필수			시스템 요청 시	개입 불필요	전 구간 불필요
자동화 구간	-	특정 구간	특정 구간	특정 구간	특정 구간	전 구간

자료: C-ITS 구축 사전타당성 조사(미국 자동차 공학학회 자료 인용), 산업통상자원부 보도자료 등 재구성

자율주행 차량이 차선을 변경하는 경우를 기준으로 자율주행 기술을 비교해 보면, ‘레벨 2’ 기술은 손발을 떼더라도 눈은 운전환경을 주시하고 있어야 한다. 이에 비해 ‘레벨 3’ 기술은 운전자가 운전환경을 주시할 필요는 없으나 시스템이 개입을 요청하면 운전자가 즉시 개입해야 하고, ‘레벨 4’ 기술은 비상시 대처 등을 운전자 개입 없이 시스템이 스스로 해결할 수 있으나 이와 같은 기능이 일부 도로구간에서만 적용되며, ‘레벨 5’ 기술은 모든 도로조건과 환경에서 완전한 자율주행이 가능하다.

## 2. 자율주행으로 인해 변화되는 미래의 모습

완전 자율주행 차량이 대중화되는 경우 [그림 1]과 같이 ‘레벨4’ 이상의 기술에서는 운전자가 차량 내에서 휴식과 업무처리는 물론 문화생활(entertainment)을 즐길 수 있는 등 차량 내부 모습이 완전히 달라질 것으로 전망되고 있으며, 각 차량들이 최적화된 경로로 이동하게 되므로 교통사고를 예방하고 혼잡을 해소하는 등 교통과 관련한 각종 사회·경제 문제를 해결하는 데도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

4) KS R ISO/SAE PAS 22736(도로 차량 운전 자동화 시스템의 분류와 정의)

[그림 1] 자율주행 기술도입 시 차량 내부 모습



운전자 개입 없는 조건부 자율주행



운전자가 필요 없는 완전 자율주행

자료: 국토부 「모빌리티 혁신 로드맵」(2022년 9월) 참고

또한, 자율주행 기술이 승용 차량 외에 화물차량과 로봇, 비행물체에도 확대 적용되는 경우 [그림 2]와 같이 무인 배송 서비스를 통해 전국 어디서나 원하는 물품을 원하는 시간에 받아볼 수 있게 되고, 플라잉카나 에어택시를 이용하여 이동 경로가 하늘로 확장될 것으로 예상된다.

[그림 2] 자율주행이 일상화된 미래 모습



스타십(Starship) 배송 로봇(미국)



에어택시(미국): 댈러스에서 시범프로젝트 진행

자료: 국토부 「모빌리티 혁신 로드맵」(2022년 9월), ASTI MARKET INSIGHT(한국과학기술정보연구원) 참고

## 제2절 자율주행산업 현황 및 전망

전통적인 자동차 산업은 엔진과 변속기 등 하드웨어 위주의 시장인 데 비해 자율주행산업에서는 인공지능(AI: Artificial Intelligence) 기반의 소프트웨어, 라이더와 레이더 등의 센서 장치를 포함해 다양한 분야의 기술이 요구됨에 따라 자

동차 산업체계의 변화와 함께 관련 산업 및 시장이 확대될 것으로 예상된다.

시장조사 기업 **캐타**는 글로벌 자율주행 차량 시장 규모를 예측하면서 디지털 인프라 등에 대한 투자가 자율주행 차량에 대한 수요를 촉진해 2022년부터 2032년까지 자율주행차 시장의 규모가 1,217억 달러에서 2조 3,539억 달러로 증가할 것으로 분석하였다.

국내의 경우에도 [표 3]과 같이 자율주행 차량 시장 규모가 2025년 3조 6,193억 원에서 2035년 약 26조 1,794억 원으로 연평균 41%씩 성장할 것으로 전망되나, 이는 '레벨3' 수준의 조건부 자율주행과 '레벨4' 수준의 고도 자율주행 차량이 보급된다는 가정에 따른 것으로 기술개발이 지연되는 경우 실제 성장 규모가 예측보다 감소할 수 있다.

[표 3] 자율주행차 분야 국내시장 규모 전망

(단위: 억 원, %)

구분	2025년	2030년	2035년	연평균 성장률
조건부 자율주행(3단계)	28,852	80,753	114,610.34	33.6
고도 자율주행(4단계)	7,341	72,651	147,183.40	84.2
합계	36,193	153,404	261,794	41

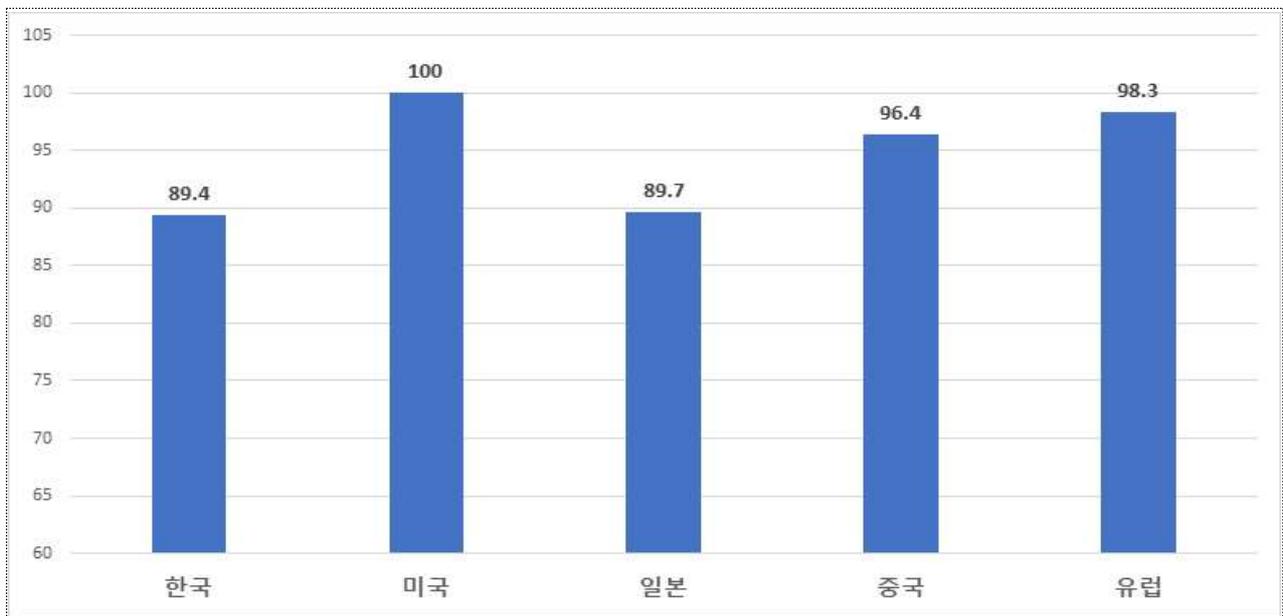
자료: **캐타**협의회 「2023 자율협력주행 기술백서」 재구성

### 제3절 우리나라의 자율주행 기술력 현황

정보통신기획평가원의 「2022년도 ICT 기술수준조사 및 기술경쟁력 분석 보고서」(2024년 1월)에 따르면 2022년 우리나라의 상대적인 정보통신기술 수준은 선도국인 미국(100 기준) 대비 평균 90 수준이고, 기술격차는 평균 1년인 것으로 나타났다.

다만, 조사대상 18개 정보통신기술<sup>5)</sup>의 세부 내역을 보면 이동통신과 사물인터넷 등 6개 기술은 선도국 대비 상대적인 기술 수준이 90 이상이나, [도표]와 같이 자율주행 자동차가 중국이나 유럽, 일본보다 낮은 89.4로 평가되는 등 12개 기술은 선도국과 대비하여 상대적으로 기술 수준이 90 미만으로 나타나 선도국 수준의 기술력을 갖추기 위해서는 보다 많은 노력이 필요하다.

[도표] 국가별 자율주행 차량 기술 수준



자료: 정보통신기획평가원 「2022년도 ICT 기술수준조사 및 기술경쟁력 분석 보고서」 재구성

한편, 글로벌 시장조사기관 **카이엔**은 2024년 자율주행 및 센서 기술 시장 규모를 기준으로 선진국을 선정하였는데, [표 4]와 같이 미국은 시장 규모가 약 97억 달러로 1위, 중국은 33억 3,000만 달러로 2위를 차지하였으며, 우리나라는 전통적인 자동차 시장에서 높은 판매 대수<sup>6)</sup>를 기록하고 있음에도 불구하고 자율주행 시장 규모에서는 세계 10위로 평가되었다.

5) 1. 이동통신, 2. 네트워크, 3. 전파위성, 4. 사물인터넷, 5. SW, 6. 클라우드, 7. 컴퓨팅시스템, 8. 자율주행 자동차, 9. 인공지능, 10. 빅데이터, 11. 방송 미디어, 12. 디지털 콘텐츠, 13. 스마트 디바이스, 14. 지능형 반도체, 15. 양자정보통신, 16. 차세대보안, 17. 블록체인, 18. ICT 융합

6) 2024년 2월 기준 **카이엔(주)**는 **카이엔**, **카이엔**에 이어 글로벌 완성차 그룹 판매 대수 3위를 차지

[표 4] 자율주행차 분야의 국가별 시장 규모 및 전망

(단위: 억 달러)

순위	국가	2023년	2024년	2025년	2026년
1	미국	81.6	97	112.4	127.8
2	중국	25.3	33.3	41.3	49.3
3	독일	9.5	11.5	13.5	15.4
4	영국	9.3	10.9	12.6	14.3
5	일본	8.6	10.9	13.1	15.3
6	프랑스	6.1	7.4	8.7	10
7	캐나다	5.7	6.7	7.8	8.8
8	호주	4.5	5.6	6.6	7.6
9	이탈리아	4.2	5.3	6.3	7.4
10	한국	4.1	5.2	6.3	7.4

자료: [개사] 보고서 재구성

따라서 자율주행 기술개발을 통해 시장을 확대하고 교통사고 감소와 같은 사회문제 해결 효과를 거두기 위해서는 정부의 보다 적극적인 지원 정책이 필요한 시점이다.

#### 제4절 자율주행산업 육성정책 등 추진 현황

자율주행 자동차의 도입·확산과 안전한 운행을 위한 기반 조성 및 지원 등에 필요한 사항을 규정하여 자율주행 자동차의 상용화를 촉진·지원할 목적으로 2020. 5. 1. 「자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률」이 시행되는 등 자율주행 기술발전 촉진을 위한 법적 기반이 마련되었다.

그리고 앞서 관계부처 합동으로 2019년 10월 수립한 「미래 자동차 산업 발전전략」을 통해 미래 자동차 산업을 전망하고 전기·수소차 등 친환경차 보급 확대와 함께 자율주행산업을 집중 육성한다는 계획을 수립하였다.

위 발전전략의 자율주행 관련 내용을 살펴보면 2027년까지 전국 주요 도로의 완전 자율주행(레벨4 수준)을 세계 최초로 상용화한다는 목표 아래 ① 차량 통신망 구축, 도로 정밀지도 제작 등의 인프라를 구축하고, ② 자율주행 차량 제작을

위한 안전기준 마련, 자율주행 차량 사고책임 등 관련 규정 정비, 보험제도 개편 등의 법·제도를 개선하며, ③ 자율주행 시스템 및 센서·반도체 등의 핵심부품 개발을 지원하는 등의 세부 추진과제를 마련하였다.

아울러 국토부가 2014년부터 2017년까지 고속도로와 주요 도심 도로 일부 구간에서 자율주행 시범사업을 실시한 데 이어 한국도로공사(이하 “도로공사”라 한다)와 서울특별시, 제주특별자치도, 울산광역시, 광주광역시 등이 2018년부터 2021년까지 자율주행 실증사업을 실시하는 등 자율주행 기술의 실제 적용 가능성을 검증하기 위한 다양한 사업이 추진되었다.

그런데 정부는 위 발전전략을 통해 자율주행차 운행에 반드시 필요한 차량 통신망 등 핵심인프라를 세계에서 가장 먼저 구축한다는 도전적인 목표를 정하고도 정부 부처 간 의견 차이로 차량 통신망 결정이 장기간 지연됨에 따라 인프라 구축도 2024년까지 전국 주요 도로에 설치를 완료한다는 당초 계획과 다르게 최대 6년 이상 지연될 것으로 예상된다.

# 제3장 감사결과

## 제1절 감사결과 총괄

국토부는 자율주행 기술개발 지원을 위해 다양한 정책과 제도를 추진해 오고 있으나, 이번 감사 당시 자율주행 차량 통신방식이 장기간 결정되지 않아 인프라 구축도 지연되고 있었다. 이에 따라 감사원은 검토 중이던 기술들의 성능 비교 시험을 실시하도록 유관기관들에 요청하였고, 시험결과가 기초 자료로 활용되어 통신방식이 확정되었다. 아울러 혼잡 또는 비가시 상황에서는 자율주행 성능을 보장할 수 없는 문제가 확인되는 등 [표 5]와 같이 자율주행 인프라 구축과 관련된 총 2건의 문제점을 확인하여 개선방안을 마련토록 통보하였다.

[표 5] 분야별·기관별 감사결과 현황

(단위: 건)

구분	계	국토교통부
합계	2	2
자율주행 인프라 구축 분야	2	2

주요 감사결과를 요약하면 다음과 같다.

분야	분석 대상	주요 감사결과
자율주행 인프라 구축	통신 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>미국 등 주요 외국은 자율주행 관련 신기술 개발 시 도입 여부를 신속히 결정하고 있으나, 국내는 부처 간 이견으로 도입 여부 결정이 장기간 지연</li> </ul> ⇨ 신기술 개발 시 성능 비교시험을 통해 객관적 자료를 확보하여 도입 여부를 결정하는 등 신기술 도입절차를 개선하도록 통보
	통신 성능	<ul style="list-style-type: none"> <li>현재 추진 중인 자율주행 지원 시스템의 성능을 검증한 결과 혼잡 또는 비가시 상황에서는 자율주행 성능 확보가 어려움</li> </ul> ⇨ 국토부에 혼잡 및 비가시 상황 등 다양한 교통상황을 반영할 수 있는 통신 성능 검증기준을 마련하도록 통보

## 제2절 자율주행 인프라(C-ITS) 구축 분야 실태분석

### 1. 자율주행 인프라와 자율협력주행시스템의 개념

자율주행 인프라는 자율주행 자동차의 안전한 주행을 지원하기 위한 시설과 설비를 의미하는 것으로 정밀도로지도와 교통관제시설, ‘자율협력주행시스템’ 등을 포함한다. 이 중 자율협력주행시스템<sup>7)</sup>(C-ITS: Cooperative-Intelligent Transport System)은 신호기와 안전표지, 교통시설 등을 활용해 자율주행 기능을 지원·보완하여 효율성과 안전성을 향상시키는 지능형 교통체계를 의미한다.〔자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률〕 제2조 제1항 제3호)

자율주행 기술 중 차량 내부에 탑재된 컴퓨터 시스템(센서, GPS 등)이 자율주행 기능을 담당하는 ‘독립형’ 방식의 경우 자율협력주행시스템의 역할이 상대적으로 적으나, 우리나라와 같이 차량이 외부 서버와 통신하는 방식으로 자율주행하는 ‘커넥티드’ 방식을 채택하는 경우 자율협력주행시스템은 자율주행 성능을 결정하는 핵심적인 역할을 수행한다.

이에 따라 이번 감사에서는 자율주행 인프라 중 자율협력주행시스템을 중심으로 당초 정부계획대로 시스템이 구축되고 있는지, 안전한 자율주행 성능을 보장할 수 있도록 기술표준 등이 제정되어 있는지 등을 점검하였다.

### 2. 자율협력주행시스템의 작동 방식

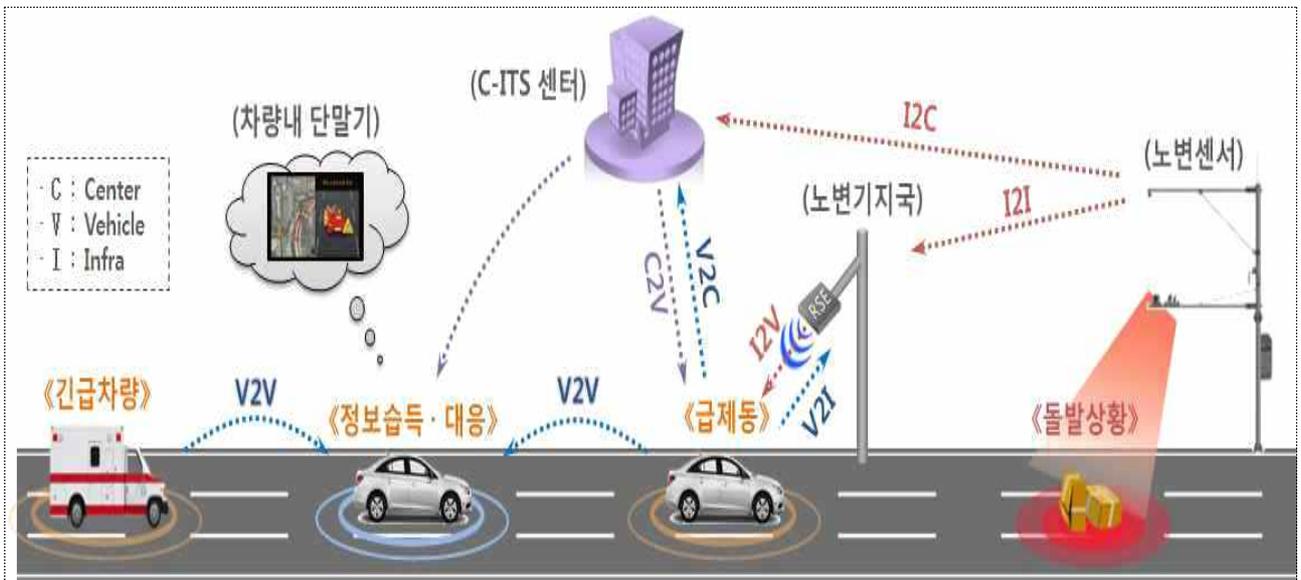
자율협력주행시스템은 차량통신(V2X: Vehicle to Everything) 기술을 이용해 다른 차량이 수집한 정보, 노변 기지국이 수집한 정보, 센터가 제공하는 교통관제 및 정밀도로지도 정보 등 각 차량이 자체 센서로 탐지할 수 없는 주변 교통

7) C-ITS, 지능형 교통시스템 등 다양한 용어로 지칭되고 있으나, 본 보고서에는 「자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률」에서 사용 중인 ‘자율협력주행시스템’이라는 용어를 사용

환경과 교통위험(추돌사고, 악천후 등) 관련 정보 등을 제공하는 기능을 수행한다.

자율협력주행시스템은 [그림 3]과 같이 차량(vehicle), 도로변에 설치되는 노변 기지국(infra), 모든 정보가 집중되는 센터(center)로 구성되며, 차량과 차량(V2V: Vehicle to Vehicle), 차량과 인프라(V2I 또는 I2V: Vehicle to Infra, Infra to Vehicle), 차량과 센터(V2C 또는 C2V: Vehicle to Center, Center to Vehicle)가 상호 정보를 주고받는 방식으로 운영된다.

[그림 3] 자율협력주행시스템 개념도



자료: 「한국판 뉴딜 종합계획」(2020년 7월) 자료 인용

차량과 센터 간 통신의 경우 노변기지국 설치 유무에 따라 차이가 있는데, 노변 기지국이 있는 경우 차량은 노변기지국을 거쳐 센터와 통신한다. 그 과정에서 차량과 노변기지국은 별도로 설치되는 무선통신망을 통해 통신하고, 노변기지국과 센터는 광케이블을 활용한 유선 방식으로 통신하며, 각 구성 요소들이 별도 통신망을 통해 직접 통신한다는 점에서 직접통신 방식으로 불리고 있다.

이에 비해 노변 기지국이 없는 경우에는 자율협력주행시스템을 위한 별도의

통신망 구축 없이 이동통신사업자(☐☐ 등)가 제공하는 이동통신망을 이용해 차량과 센터가 상호 통신하게 되는데, 자율협력주행시스템 구성 요소들이 별도 통신망으로 직접 연결되어 있지 않다는 점에서 ‘간접통신’으로 불리거나, 기존 이동통신 네트워크를 사용한다는 의미에서 ‘네트워크 통신’으로 불리고 있다.

### 3. 자율협력주행시스템의 차량 통신기술 현황

자율협력주행시스템에서 각 차량은 차량통신 기술을 통해 다른 차량 및 노면 기지국, 센터 등과 통신하면서 교통상황과 사고정보 등을 제공받게 된다.

차량과 차량, 차량과 노면 기지국 상호 간 직접통신을 위한 기술로는 ‘DSRC - V2X’<sup>8)</sup> 방식(이하 “와이파이 방식”이라 한다)이 먼저 사용되었으며, 이는 교통 분야를 중심으로 발전해 온 와이파이 기반의 무선통신 기술로서 2010년에 ☐☐<sup>9)</sup>협회가 기술표준을 제정하였다.

우리나라의 경우에도 국토부가 2014년부터 자율협력주행시스템 개발을 위한 시범사업 등을 추진하면서 와이파이 방식 위주로 차량 통신기술을 적용하였다.

이에 비해 ‘C-V2X’(Cellular-Vehicle to Everything) 방식은 이동통신 분야를 중심으로 발전해 온 무선통신 기술로서 통신속도에 따라 이를 세분화하여 ‘LTE-V2X’ 방식(이하 “LTE 방식”이라 한다)과 ‘5G-V2X’ 방식(이하 “5G 방식”이라 한다)으로 구분하고 있다.

LTE 방식의 경우 3세대 파트너십 프로젝트<sup>10)</sup>(3GPP : 3rd Generation Partnership Project)가 2017년 통신 표준을 제정하였고 5G 방식의 기술표준은

8) Dedicated Short Range Communication-Vehicle to Everything

9) 세계 전기·전자공학 전문가들이 설립한 조직으로서, 전기·전자통신 분야 표준을 개발하는 표준화 전문기구

10) 이동통신 표준화를 논의하는 표준화 기구로 ☐☐협회, ☐☐협회, ☐☐협회, ☐☐회, ☐☐협회 등이 참여함

2020년에야 제정되었으며, 와이파이 방식과 LTE 방식, 5G 방식의 전송속도와 통신 반경 등의 기술적 특징은 [표 6]과 같다.

[표 6] 자율협력주행시스템의 직접통신기술 방식 비교

구분	와이파이 방식(DSRC-V2X)	C-V2X 계열	
		LTE 방식(LTE-V2X)	5G 방식(5G-V2X)
표준제정 시기	2010년 5월	2017년 3월	2020년 7월
전송속도	27Mbps	100Mbps	10Gbps
통신 지연시간	100ms 이하	100ms 이하	10ms 이하
통신 거리(Coverage)	평균 250~300m	수 km	수 km

자료: C-ITS 인프라 구축 실시계획 용역 종합보고서(한국도로공사), 자율협력주행 기술백서 재구성

우리나라의 경우 2018년부터 2020년까지 서울특별시가 수행한 자율주행 실증 사업에서 차량과 차량, 차량과 노변 기지국 사이의 직접통신에 와이파이 방식과 함께 LTE 방식이 사용된 바 있으며 5G 방식은 아직까지 차량의 직접통신에 사용된 바 없다.

#### 4. 자율협력주행시스템 구축사업 추진 경과

국토부는 자율협력주행시스템 구축을 위해 2013년 12월 「차세대 ITS<sup>11)</sup> 기본계획(2014~2030)」을 수립하여 기술표준 개발 및 품질인증 기준 마련 등을 위한 연구개발을 추진하였고, [표 7]과 같이 실제 도로환경에서의 성능검증과 실용화를 위해 2014년부터 2022년까지 도로공사, 서울특별시 등 4개 지방자치단체와 함께 시범·실증사업을 실시하였다.

11) ITS(Intelligent Transport System, 지능형 교통체계)란 교통수단 및 교통시설에 대해 전자·제어 및 통신 등 첨단 교통기술과 교통정보를 개발·활용함으로써 교통체계의 운영 및 관리를 과학화·자동화하고, 교통의 효율성과 안전성을 향상시키는 교통체계를 의미(「국가통합교통체계효율화법」 제2조 제16호)

[표 7] 자율협력주행시스템 시범·실증사업 추진 현황

구분	국토부	도로공사		지방자치단체 실증사업				합계
	시범사업	실증사업	시범사업	서울	제주	울산	광주	
사업 기간(년)	'14~'17	'18~'19	'21~'22	'18~'20	'18~'20	'19~'21	'19~'21	-
사업비(억 원)	180	91	130	248	246	250	250	1,395
사업 구간 연장(km)	87	85	730	151	323	143	183	1,702
사용된 노변장비(개)	79	90	526	100	133	123	110	1,161
사용된 차량단말기(개)	3,000	700	96	1,700	3,120	2,700	2,072	13,388

자료: 국토부 제출자료 재구성

이와 함께 국토부는 자율협력주행시스템 구성 요소 간 통신에 활용될 주파수 확보를 위해 2013년 6월 과기정통부에 주파수 할당을 요청하였다.

과기정통부와 국립전파연구원은 2016. 9. 30. 「전파법」 제9조 등에 따라 자율협력주행시스템 통신용 주파수로 5.9GHz 대역(5.855~ 5.925GHz, 70MHz 폭)을 신규 분배하고, 「간이무선국·우주국·지구국의 무선설비 및 전파탐지용 무선설비 등 그 밖의 업무용 무선설비의 기술기준」(국립전파연구원 고시 제2016-21호) 제19조를 신설하여 자율협력주행시스템용 무선설비에 대한 기술기준을 마련하였다.

이후 [표 8]과 같이 각종 정부계획을 수립하면서 전국도로를 대상으로 자율협력주행시스템 등 자율주행 인프라 구축 목표를 정하였다.

주요 내용을 보면 2019년 10월 수립된 「미래 자동차 산업 발전전략」에서는 2024년까지 주요 도로에 자율협력주행시스템 설치를 완료하는 것으로 계획하였다가 2022년 9월 수립된 「모빌리티 혁신 로드맵」에서는 2027년까지 도심 및 전국 주요 도로 30,000km 구간에 설치하는 것으로 변경되었다.

[표 8] 자율협력주행시스템 구축 관련 정부계획 수립 현황

계획명 (수립시기)	부처 (주관부처)	자율협력주행시스템 구축 관련 주요 내용
차세대 ITS 기본계획(2013년 12월)	국토교통부	▪ 2030년 차세대 ITS(C-ITS) 기반 교통안전 선진국 진입을 목표로, 2030년까지 단계별 서비스 제공을 위한 인프라 구축
미래 자동차 산업 발전 전략(2019년 10월)	관계부처 합동 (산업통상자원부)	▪ 자율주행을 지원하기 위해 2024년까지 주요 도로에 자율협력주행 시스템 등의 주요시설을 완비
한국판 뉴딜 종합계획 (2020년 7월)	관계부처 합동 (기획재정부)	▪ 자율협력주행시스템을 2022년까지 2,085km 구간에 설치하고, 2024년 말에는 설치 구간을 4,075km로 확대
미래 자동차 확산 및 시장선점 전략(2020년 10월)	관계부처 합동 (산업통상자원부)	▪ 2021년부터 2025년까지 전국 모든 고속도로(4,075km)와 주요 간선 도로에 자율협력주행시스템 구축
모빌리티 혁신 로드맵 (2022년 9월)	관계부처 합동 (국토교통부)	▪ 2024년까지 주요 고속도로 2,400km에 자율협력주행시스템을 설치하고, 2027년에는 도심 및 전국 주요도로 30,000km로 확대

자료: 국토교통부·과학기술정보통신부·산업통상자원부 제출자료 재구성

이와 같은 자율주행 인프라 설치 목표의 잦은 변경은 과거 수립된 정부계획에 포함된 자율협력주행시스템 구축계획이 제대로 이행되지 않은 데 따른 것이고, 자율협력주행시스템 구축 지연은 자율협력주행시스템 구성 요소 중 차량과 차량, 차량과 노변 기지국 사이의 직접통신 방식을 어떤 것으로 정할지와 관련된 국토부와 과기정통부 사이의 의견 차이로 통신방식 결정이 장기간 지연된 데 그 원인이 있다.

## 1. 자율협력주행시스템 통신방식 관련 논의 경과 등

### 가. 국토부와 과기정통부의 협의 과정

국토부는 「차세대 ITS 기본계획」(2013년 12월)을 수립한 후 2014년부터 시범사업 등을 통해 자율협력주행시스템을 설치하면서 차량과 차량, 차량과 노면 기지국 사이의 직접통신 방식으로 당시 유일하게 국제표준이 제정되어 있던 와이파이 방식(DSRC-V2X)을 적용하였다.

그런데 이동통신 분야 국제표준 기구인 3GPP가 2017년 6월에는 LTE 방식(LTE-V2X)의 국제표준을 제정하였고, 5G 방식(5G-V2X)의 기술도 개발(국제표준은 2020년 7월 제정)되는 등 자율협력주행시스템에서 사용할 수 있는 직접통신 기술이 확대되었다.

이에 따라 국토부와 과기정통부는 2019년 6월 「5G+ 추진전략」, 같은 해 9월에는 「5G+ 전략 실행계획」과 「미래 자동차 산업 발전전략」을 수립하면서 ‘V2X 공동작업반’<sup>12)</sup>을 구성해 자율협력주행시스템에 적용할 직접통신 기술을 논의하기로 하였고, 2019. 10. 25.부터 2020. 12. 30.까지 7차례<sup>13)</sup>에 걸쳐 회의를 진행하던 중 과기정통부는 2020. 10. 27. 위 공동작업반의 회의(4차)를 통해 와이파이 방식보다 주파수를 보다 효율적으로 사용할 수 있는 이동통신 기반 기술을 자율협력주행시스템에 적용하자고 국토부에 제안하였다.

회의 당시 국토부는 와이파이 방식을 우선 적용하여 자율협력주행시스템을

12) ‘5G-V2X 산업분과’와 ‘C-ITS 통신기술분과’로 구성되었고, 자율협력주행시스템에 적용할 통신방식은 통신기술분과에서 논의하였음

13) 1~3차는 과장급, 4~6차는 국장급, 7차는 차관급 회의로 진행

구축한 후 5G 방식이 상용화되면 2개의 방식을 병행 추진하자고 주장<sup>14)</sup>하였고, 과기정통부는 LTE 방식을 먼저 채택한 후 추후 차세대 기술인 5G 방식을 채택하자고 주장하는 등 양 부처 간 의견이 첨예하게 대립하면서 통신방식에 대한 합의 없이 공동작업반 활동이 종료되었다.

그런데 국토부는 위와 같이 과기정통부와 자율협력주행시스템에 적용할 통신방식에 대한 협의를 완료되지 않은 상태에서, 자율협력주행시스템의 구성 요소인 노변 기지국 구축사업을 2021년부터 추진하는 것으로 「한국판 뉴딜 종합계획」(2020년 7월)과 「디지털 뉴딜 실행계획」(2021년 1월)에 반영하였고, 2021. 3. 22. 「2021년 C-ITS 구축 추진계획」을 수립하면서 와이파이 방식으로 2021년 노변 기지국 구축사업을 추진하는 것으로 내부방침을 정하였다.

이에 대해 과기정통부는 국토부가 통신방식이 확정되지 않은 상태에서 와이파이 방식을 일방적으로 적용해 노변 기지국을 설치하려고 한다며 이의를 제기하였고, 기획재정부는 2021. 6. 23. 개최된 「제5회 재정 운용전략위원회」에서 2개의 통신기술 방식(와이파이와 LTE)을 비교·실증한 후 그 결과에 따라 노변 기지국 등 자율협력주행시스템 인프라 구축사업을 추진하는 것으로 조정하였다.

이후 국토부는 2021. 8. 18. 「C-ITS 추진 수정계획 보고」를 통해 와이파이 방식을 적용한 자율협력주행시스템 구축계획은 그대로 이행(즉시 착수)하되, 2022년 10월까지 와이파이 방식과 LTE 방식의 비교·분석을 추진하는 것으로 내부방침을 변경하였다.

#### 나. 해외 주요 국가의 직접통신 방식 적용 사례

미국은 1999년부터 와이파이 방식을 채택하여 자율협력주행시스템을 구축해

---

14) 국토부는 LTE 방식은 와이파이와 성능이 비슷하다는 사유 등으로 기술 채택 대상에서 제외하자는 입장이었음

왔으나, 2020. 11. 18. **나타**위원회는 한정된 주파수의 효율적인 사용이 필요하고 국내·외에서 이동통신(C-V2X) 생태계로의 전환이 진행되고 있다는 등의 사유로 기존 정책을 폐기하고 LTE 방식을 단일표준으로 채택하였다. 이후 미국은 2022년 7월부터 와이파이 방식의 노변 기지국과 차량단말기(OBU: On Board Unit)를 승인하지 않고 있다.

유럽연합(EU)의 경우 자율협력주행시스템의 직접통신 기술로 와이파이 방식을 채택하다가 2019년 7월 유럽연합 행정부가 자율협력주행시스템 직접통신 기술을 와이파이 방식으로 단일화하는 법률안을 제출하였으나 유럽이사회(European Council)에서 부결되었다. 이후 **가파**협회는 2020년부터 자율협력주행시스템에서 사용 가능한 통신기술로 와이파이 방식 외에 LTE 방식을 추가하였고, 2024년 8월에는 LTE 방식에 대한 정식 표준을 승인<sup>15)</sup>하였다.

한편, 중국은 2018년부터 자율협력주행시스템 통신기술을 LTE 방식으로 단일화하였고, 텐진, 충칭 등 4개 실증지역, 상하이, 베이징 등 18개 시범지역, 16개 실증도시에서 LTE 방식으로 인프라를 구축하였다. 중국은 2025년까지 신차의 50%에 LTE 방식의 차량단말기를 장착할 계획이며, 2022년 6월 기준 5,000km 이상의 도로구간에 약 6,200대의 노변 기지국 구축을 완료하였다.

이와 같이 자율주행 선진국 중 미국과 중국은 와이파이 방식 대신 LTE 방식을 단일표준으로 채택하여 자율협력주행시스템을 구축하고 있고, 유럽연합의 경우 와이파이 방식을 단일표준으로 채택하려고 하였으나 LTE 방식이 병행되고 있는 등 LTE 방식을 자율협력주행시스템 통신기술로 채택하는 경향이 있다.

---

15) 유럽은 와이파이 방식과 LTE 방식의 공존 및 운영방식 등에 대한 기술검토를 2022년까지 진행하였음

## 2. 분석의 필요성

“1-나” 항에서 전술한 바와 같이 미국과 중국 등 자율주행 분야 선진국들은 와이파이 방식을 채택해 자율협력주행시스템을 구축하다가 LTE 방식이 등장하자 이를 채택하는 등 신기술을 적극적으로 도입하고 있다.

그런데 우리나라의 경우 2019년 10월부터 국토부와 과기정통부가 공동작업반을 구성해 자율협력주행시스템에 적용할 통신방식을 논의하였으나, 이번 감사가 시작된 2023년 5월까지도 통신방식이 결정되지 않고 있었고, 이에 따라 노변기지국 등 자율협력주행시스템 구성 요소들의 구축 작업도 지연되고 있었다.

그리고 위와 같이 장기간 통신방식이 결정되지 못한 사유를 확인한 결과 기획재정부는 2021. 6. 23. 개최된 「제5회 재정 운용전략위원회」를 통해 국토부와 과기정통부가 와이파이 및 LTE 통신방식을 비교·실증한 후 그 결과에 따라 기술을 채택하라는 조정 의견을 제시하였으나 실제로는 실효성 있는 시험이 실시되지 않아 통신방식 결정을 위한 객관적인 판단자료가 없는 상황이었다.

그 내용을 구체적으로 살펴보면, 국토부와 과기정통부는 자율협력주행시스템 통신기술로 검토 중이던 와이파이와 LTE 방식의 성능검증 등을 위해 2021. 9. 30. 2개 기관 외에 도로공사, 한국지능형교통체계협회(ITSK), 협회, 연구원 등이 참여하는 공동작업반을 구성하고, 2021. 10. 1.부터 2023. 4. 25.까지<sup>16)</sup> 실증사업을 추진하였다. 그런데 와이파이와 LTE 방식의 비교를 위해 성능시험을 실시한다는 당초 공동작업반 구성 목적과는 다르게 2개 기술에 대한 비교·분석 없이 LTE 방식의 성능만 검증하였다.

이에 따라 감사원은 와이파이 방식과 LTE 방식의 성능을 비교하기 위해

16) 실증사업 기간은 당초 2021. 10. 1.~10. 31.였으나 종료 기간이 2022. 12. 31.과 2023. 4. 25.로 두 차례 연장

국토부, 과기정통부 등이 참여하는 공동작업반을 구성하도록 한 후 2023년 7월 부터 9월까지 1차 및 2차<sup>17)</sup> 성능 비교시험을 실시하도록 하였다.

### 3. 분석방법 및 한계

#### 가. 분석대상 및 방법

이번 감사원 감사 시 실시한 성능 비교시험의 대상은 정부가 자율협력주행 시스템에 적용을 검토 중이던 와이파이 방식과 LTE 방식 2개 기술로, 성능 비교시험을 수행하는 공동작업반에는 국토부와 과기정통부, **KK**연구원, 한국지능형교통체계협회(ITSK), **KN**협회, 도로공사 등이 참여하였다. 아울러 자율협력주행시스템 관련 업체인 주식회사 **NR**와 주식회사 **NR**, 반도체 칩 제조사인 **NR** 주식회사와 주식회사 **NR**의 경우 공동작업반 구성원은 아니나 비교시험에 참여하도록 하여 시험결과의 객관성과 공정성을 높이고자 하였다.

이번 성능 비교시험의 방식은 와이파이 방식과 LTE 방식의 기술적 특성을 평가하기 위해 각 방식의 ① 최대유효 통신영역(m), ② 통신 지연시간(ms), ③ 메시지 최대전송용량(bytes) ④ 혼잡 상황 통신 성능(대), ⑤ 비가시 상황 통신 성능(m) 등을 시험하였고, 2023. 7. 10.부터 같은 해 9. 15.까지 새만금 일대 도로<sup>18)</sup>에서 실제 차량이 주행하는 방식 위주로 시험을 실시하였다.

위와 같은 시험 항목과 구체적인 시험 방법은 공동작업반의 논의를 거쳐 한국지능형교통체계협회(ITSK)의 자율협력주행시스템 기술표준, 도로공사의 자율협력주행시스템 관련 성능 요구사항 및 시범사업의 시방서, **KK**연구원의 성능

17) 1차 성능 비교시험 당시 와이파이 방식에 대한 성능 시험과정에서 필수통신영역 미충족 등의 문제가 발생해 이를 보완한 후 2차 성능시험을 실시하였음

18) 공동작업반은 당초 사고다발 지역인 터널 내 통신 성능을 시험하기 위해 영동페터널도 시험장소로 검토하였으나, 가시거리가 확보되지 않아 시험결과의 객관성을 보장하기 어려워 시험장소에서 제외하였음

시험 절차서 등에 규정된 측정항목 등을 참고하여 결정되었다. 아울러 미국 자동차업체들이 설립한 나아<sup>19)</sup>와 5G 자동차 협회인 나재 등의 성능검증 시험 방법도 준용하여 시험 항목과 시험 방법이 최종 확정되었는데 구체적인 내용은 [표 9]와 같다.

[표 9] 통신방식 성능 비교시험 항목 및 방법

시험 항목	시험 방법	측정항목	관련 근거
최대유효 통신영역	수신 패킷 에러율 10% 이하를 유지하는 최대 통신거리 측정	PER(패킷 에러율)	KETI 시험절차서, ITSK 표준, 도로공사 고속도로 시험사업 인프라 구축 시방서(2021년 10월) 등
통신 지연시간	데이터 송신 후 수신 측의 응답 데이터 수신까지 걸린 시간 측정	지연시간(ms)	
최대 전송용량	송수신 기기 간 주고받은 초당 데이터 크기 용량을 측정	초당 데이터 처리량(Mbps)	ITSK-00137 표준
혼잡 상황 통신 성능	혼잡·밀집 환경을 모사, 혼잡도를 증가시키며 통신 성능을 측정	PER(패킷 에러율)	국내기준 없음( <u>나재</u> 등 시험 방법 참고)
비가시 상황 통신 성능	측정 대상 전·후방에 버스 등의 방해물을 배치하여 통신 성능을 측정	PER(패킷 에러율)	국내기준 없음( <u>나재</u> 등 시험 방법 참고)

자료: 통신방식 성능 비교시험 공동작업반 자료 재구성

## 나. 분석의 한계

이번 시험은 정부가 자율협력주행시스템의 통신기술로 도입을 검토 중이던 와이파이 방식과 LTE 방식을 대상으로 통신 성능을 종합적으로 비교해 보는 최초의 시험이라는 점에서 의미가 있으나, 다음과 같은 한계가 있다.

첫째, 교통사고 우려와 장마 등의 기후 문제로 일반의 통행에 제공되는 공용도로 대신 비공용도로에서 시험이 실시되는 등 제한된 환경에서 성능 검증이 실시되었다. 둘째, 혼잡상황 통신 성능시험의 경우 실제 시험 차량을 운행하는 방식이 아니라 교통상황을 모방·복사한 에뮬레이션 방식으로 시험하였고, 차량을 20대씩 증가하는 방식으로 혼잡상황을 조성함에 따라 특정 도로구간에 차량이 20대 또는 40대일 경우 통신 성능은 알 수 있으나, 중간값(예: 21~39대)에 대한

19) 나아와 나재 등 미국 자동차 제조업체들이 교통사고 예방 방법을 고안해 공공기관에 제안할 목적으로 만든 조직

성능은 확인할 수 없었다. 셋째, 비가시 상황의 경우 시험 차량을 주행하면서 비교와 분석이 이루어져야 하나 주행 환경에서 상시적으로 비가시 상황을 구축할 수 없었고 교통사고 우려도 있어 차량이 정지된 상태 위주로 성능시험을 실시<sup>20)</sup>하였다.

#### 4. 분석결과 및 정부의 후속 조치

##### 가. 주요 분석결과

이번 자율협력주행시스템 통신방식 성능 비교시험의 주요 결과를 보면 [표 10]과 같이 와이파이 방식은 통신 지연시간과 최대전송용량 항목에서 성능이 약간 우수한 것으로 나타났으나, 최대유효 통신영역의 경우 LTE 방식에 비해 성능이 떨어지는 것으로 나타났다.<sup>21)</sup>

[표 10] 자율협력주행시스템 통신방식 성능 비교시험의 주요 결과

시험 항목	구분	차량↔노변기지국 간 통신		차량↔차량 간 통신	
		전방	후방	전방	후방
최대유효 통신영역(m)	통신 방향	전방	후방	전방	후방
	와이파이 방식	360	390	270	450
	LTE 방식	2,250	2,416	927	962
통신 지연시간(ms)	와이파이 방식	9		11	
	LTE 방식	27		26	
최대전송용량(Mbps)	와이파이 방식	8.534			
	LTE 방식	8.061			

자료 : 공동작업반의 통신방식 성능 비교시험 테스트 결과 재구성

최대유효 통신영역 시험결과를 구체적으로 살펴보면 LTE 방식의 최대유효통신 거리가 차량과 노변 기지국 간 통신은 전방<sup>22)</sup> 2,250m와 후방 2,416m이고 차량과 차량 간 통신은 전방 927m와 후방 962m인 데 비해 와이파이 방식은 차량과

20) 비가시 상황에서 차량을 주행 및 정지하면서 시험을 하였으나 주행 환경에서는 사고의 우려가 있고 비가시환경을 상시적으로 발생하게 할 수 없어 주행 환경 시험결과 데이터는 이번 감사에서 제외

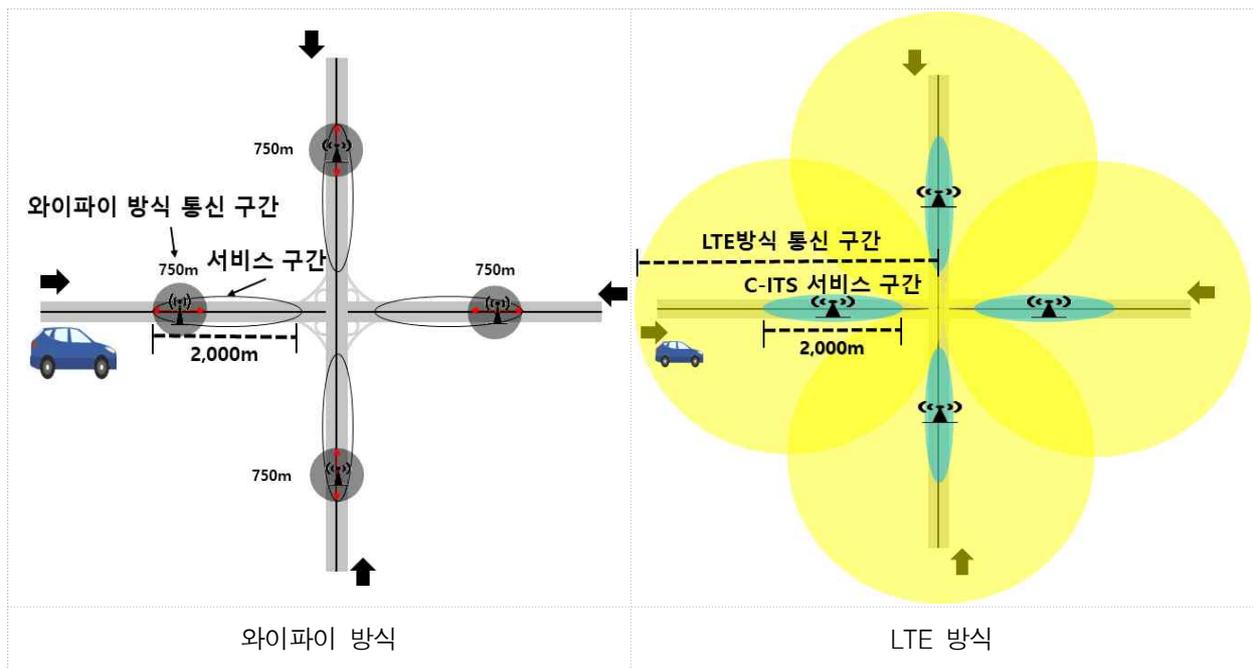
21) 혼잡 또는 비가시 상황에서의 통신 성능도 와이파이 방식보다 LTE 방식이 우수한 것으로 나타났으며, 자세한 내용은 “2. 혼잡 및 비가시 환경 등을 고려한 차량 통신 표준 등 개선 필요” 항목의 분석결과에 기재되어 있음

22) 차량이 노변기지국을 향해 주행할 때에는 전방 통신, 차량이 노변 기지국을 지나서 주행하면 후방 통신으로 정의

노변 기지국 간 통신이 전방 360m와 후방 390m이고 차량과 차량 간 통신은 전방 270m와 후방 450m로 LTE 방식 최대유효 통신 거리의 절반도 되지 않았다.

이에 따라 당시 도로공사의 자율협력주행시스템 노변 기지국 설치 가이드대로 노변 기지국을 설치하는 경우 곡선 구간이 많아 사고가 자주 발생하는 고속도로 나들목(IC), 갈림목(JC: Junction) 지역의 경우 진·출입로 전방 2km부터 사고 위험구간 알림 서비스 등이 제공되어야 하는데, [그림 4]와 같이 LTE 방식은 갈림목의 경우 차량과 노변 기지국 간 전·후방 최대유효 통신 거리가 2km 이상이므로 진·출입로에서 2km 떨어진 지점에 노변 기지국을 설치하는 것으로 가정하면 1개만 설치하더라도 반경 2km 이내의 구역 내에서 서비스 제공이 가능하다.

[그림 4] 고속도로 갈림목(JC: Junction) 구간의 통신 가능 영역 예시



자료: 도로공사 C-ITS 설치 가이드 자료 재구성

이에 비해 와이파이 방식의 경우 차량과 노변 기지국 간 전·후방 최대유효 통신 거리가 400m 미만에 불과해 진·출입로 전방 2km 지점에 노변 기지국을 설치할 경우 반경 2km 이내 구역의 상당 부분에서 서비스가 제공되지 않는 음영지

역이 발생하고, 이를 해소하기 위해서는 추가적인 노변 기지국을 설치<sup>23)</sup>해야 하는 등 자율협력주행시스템 구축비용이 증가할 수 있다.

#### 나. 정부의 후속 조치

이번 감사를 통해 2023. 7. 10.부터 같은 해 9. 15.까지 자율협력주행시스템 통신기술 중 와이파이 방식과 LTE 방식의 성능 비교를 위한 시험이 최초로 실시된 후 2023. 11. 20. 개최된 'C-ITS 단일 통신방식 결정 전문가위원회'는 LTE 방식을 자율협력주행시스템의 단일 통신방식으로 선정할 것을 제안하였고, 과기정통부와 국토부는 같은 해 12. 12. LTE 방식을 단일 통신방식으로 발표하였다.

이후 국토부는 LTE 방식을 적용한 C-ITS 실증사업을 2025년까지 실시한 후 2026년부터 C-ITS가 우선적으로 필요한 구간에 LTE 방식을 적용하여 노변 기지국 등을 설치한 후 2030년에는 전국적인 서비스를 제공하는 것으로 기존 계획을 수정하는 등 4년 이상 지속된 통신기술 관련 논란이 해소되고 자율협력주행시스템 인프라 구축을 위한 기술적 기반이 마련되었다.

### 5. 원인분석

국토부는 2014년부터 자율협력주행시스템 개발을 위한 시범사업 등을 추진하면서 당시 유일하게 국제표준이 제정되어 있던 와이파이 방식을 적용하였으나, 2017년부터 주파수 이용 효율이 우수한 이동통신 기반의 LTE 방식과 같은 새로운 차량 통신기술이 등장하였다.

국토부와 과기정통부는 2019년 10월부터 신기술 채택 여부를 결정하기 위해

---

23) 도로공사의 「C-ITS 기지국 설치 가이드」(2021년 2월)와 「고속도로 C-ITS 시범구축 실시계획」(2021년 9월)을 보면 C-ITS 서비스의 제공영역은 IC와 JC의 진·출입로 전방 2km부터인 데 비해 이번 통신기술 성능 비교검증으로 와이파이 방식의 최대유효통신거리는 직경 750m(전방 360m, 후방 390m)이므로 IC와 JC의 진·출입로와 같은 교통사고 다발 구간 전체에서 음영 구간이 발생해 C-ITS의 서비스를 받기 위해서는 노변기지국을 추가로 설치할 필요가 있음

공동작업반을 구성해 논의를 진행하였으나 이번 감사가 시작된 2023년 5월까지 신기술 채택 여부조차 결정되지 않았고, 2024년까지 자율주행을 위한 차량 통신망을 전국 도로에 설치한다는 도전적인 목표를 정한 「미래 자동차 산업 발전전략」(2019년 10월)과 다르게 자율주행을 위한 노변 기지국 등이 제대로 설치되지 않아 4차 산업혁명의 주요기술 중 하나인 자율주행 분야의 국가경쟁력을 확보하기 어려운 실정이었다.

이와 같이 자율주행을 지원하기 위한 인프라 구축이 늦어지게 된 원인은 국토부가 과기정통부와 자율주행을 위한 차량 통신기술 채택과 관련한 이견이 있는 상태에서 2021. 6. 23. 기획재정부로부터 2개 기술의 성능 비교를 위한 시험을 실시한 후 그 결과에 따라 적용 기술을 채택하라는 조정 의견을 제시받고도 이를 실시하지 않아 의사결정을 위한 객관적인 판단자료를 확보하지 않은 데 따른 것으로 볼 수 있다.

따라서 앞으로 유사한 사례의 재발을 예방하기 위해서는 자율주행과 관련한 신기술 개발 시 시험을 통해 실제 성능을 확인하는 등 신기술 도입절차를 개선할 필요가 있다.

## 6. 관계기관 의견

국토부는 통신방식 결정이 지연된 것은 통신방식의 기술적 성숙도와 실제 현장 적용 가능성 등에 대한 논의에 따른 것으로, LTE 방식은 통신 성능이 기존의 와이파이 방식과 비슷하면서 상용화된 제품이 없었다고 답변하였다. 이에 따라 LTE 방식으로는 2021년부터 자율협력주행시스템 구축 본사업을 시작한다는 정책목표를 달성할 수 없었고 편성된 예산도 집행하지 못할 우려가 있어

LTE 방식을 채택하지 않았다는 취지로 주장하였다.

그런데 이번 감사과정에서 실시된 와이파이 방식과 LTE 방식의 성능 비교 시험 결과 LTE 방식은 최대유효 통신영역이 넓어 와이파이 방식과 비교하여 자율협력주행시스템의 구성 요소인 노변기지국을 적게 설치할 수 있어 사업비 절감이 가능할 뿐 아니라 혼잡 또는 비가시 상황에서의 통신 성능도 우수한 것으로 나타나 위 2개 기술의 성능이 비슷하다고 보기는 어렵다.

또한, 자율협력주행시스템의 통신방식은 자율주행 성능에 커다란 영향을 미칠 뿐 아니라 사업비의 효율적인 집행과도 관련된 것으로 신속한 사업추진 외에 우수한 기술의 선택도 중요하다고 볼 수 있는데, 국토부는 2021년 6월 기획재정부로부터 위 2개 기술에 대한 비교·실증 후 사업을 추진하라는 조정 의견을 제시받고도 이번 감사가 시작된 2023년 5월까지 객관적인 비교시험을 실시하지 않았다.

따라서 향후 5G 방식이 상용화되어 자율협력주행시스템에 적용 여부 등 신기술 도래에 따른 새로운 통신방식의 도입이 필요한 때에는 객관적인 성능시험을 거쳐 채택 여부를 결정해야 이 건과 같은 시행착오를 줄일 수 있으므로 자율주행과 관련한 신기술 수용 여부에 대한 국토부의 검토 방식과 절차가 개선될 필요가 있다.

## 7. 소결

차량의 자율주행을 지원하기 위한 인프라인 자율협력주행시스템에서 사용하는 통신기술과 관련하여 과거 우리나라를 비롯한 미국, 유럽(EU), 일본 등이 와이파이 방식을 채택하였으나, 2017년에 LTE 방식에 대한 국제표준이 제정된 이후 각 국가들이 신기술 채택 여부를 검토하였다.

미국과 중국의 경우 와이파이 방식에서 신기술인 LTE 방식으로 전면 전환

하였고, EU의 경우 와이파이 방식과 LTE 방식을 병행하는 것으로 정부 정책을 결정한 데 비해 우리나라의 경우 2019년부터 위 2개 방식 중 어느 방식을 채택할 것인지에 대한 논의를 시작하고도 이번 감사가 시작된 2023년 5월까지 결론을 내리지 못하고 있었다. 이에 따라 정부는 2019년 10월 「미래자동차 산업발전 전략」을 수립하여 2024년까지 주요 도로에 인프라를 완비한 후 레벨 4 수준의 자율주행차를 출시한다는 도전적인 목표를 제시하였으나 [그림 5]와 같이 자율협력주행시스템의 통신방식이 확정되지 않아 인프라 구축 등이 지연되고 있었다.

[그림 5] 자율협력주행시스템의 통신방식 결정 등과 관련한 정부 정책 로드맵 비교



주: 1. **개(주)**는 2023년 하반기 레벨 3 출시를 계획하였으나 취소 및 연기  
 2. 레벨 4 대중화는 자율주행 신차 보급률 50% 이상을 말함  
 3. 2024년 6월 국토부가 수립한 차세대 지능형 교통체계(C-ITS) 시범사업 추진계획 내부방침  
 자료: 한국교통연구원 「모빌리티 전환시대 중·장기 교통 수요 변화 및 전망」 및 정부 정책자료 등 재구성

그리고 이와 같은 통신방식 결정 지연은 경쟁 기술들의 성능에 대한 비교 시험을 거쳐 의사결정을 위한 객관적인 판단자료를 확보하지 않은 데 근본적인 원인이 있으므로 이를 개선할 필요가 있다.

## 1. 자율주행 성능 관련 국·내외 표준제정 등 현황

### 가. 국내 자율주행 성능표준 현황

자율협력주행시스템 성과와 관련한 국내 민간표준으로는 2017. 5. 26. 한국 지능형교통체계협회<sup>24)</sup>(ITSK: ITS KOREA)가 제정한 자율협력주행시스템 성과 관련 표준이 있다. 위 협회는 “2018년 대전-세종 C-ITS 시범사업”에 참여한 후 자율협력주행시스템의 시범·실증사업 성과, 미국 교통부(Department of Transportation) 및 24국의 시험규격 등을 참고해 자율협력주행시스템의 서비스 구현을 위한 시스템 및 장비의 필수기능, 서비스의 성능 요구사항, 시험 방법 등을 규정하는 표준을 개발하였다. 이후 2017. 5. 26. ITS<sup>25)</sup>(Intelligent Transportation Systems, 지능형 교통체계) 관련 64개 기업과 기관이 참여한 ITS 표준총회를 개최해 자율협력주행시스템 관련 국내 최초의 표준을 확정하였다.

한편, 국토부는 지능형 교통체계의 성능 및 신뢰도 등을 확보하기 위해 관련 장비, 시스템, 서비스의 성능 및 신뢰도 등을 평가하는 기준을 정하여 고시할 수 있다는 「국가통합교통체계효율화법」 제86조에 따라 2015. 10. 7. 「자동차·도로교통 분야 ITS 성능평가 기준」을 고시 형태로 제정하였으나, 주요 내용이 노변 지지국(RSE: Road Side Equipment) 관련 사항에 한정되어 있어 자율협력주행시스템 전반에 대한 성능 검증기준으로 보기는 어렵다.

24) 「국가통합교통체계효율화법」 제91조에 근거해 교통체계 지능화 사업을 경영하거나 이와 관련된 기업·단체 등이 지능형 교통체계를 효율적으로 구축운영하고, 지능형 교통체계의 발전기반을 조성하기 위해 설립한 법인

25) 교통수단 및 교통시설에 대해 전자제어 및 통신 등 첨단 통신기술과 교통정보를 개발·활용함으로써 교통체계의 운영 및 관리를 과학화·자동화하고, 교통의 효율성과 안전성을 향상시키는 교통체계(「국가통합교통체계효율화법」 제2조 제16호)

## 나. 해외 자율주행 성능표준 제정 등 동향

유럽은 [가]협회가 제정한 TS(Technical Specification) 등에 자율협력주행시스템의 성능과 관련된 표준이 규정되어 있고, 미국의 경우 [나]협회가 자율협력주행시스템의 성능 관련 표준을 정하고 있다.

주요 내용을 보면 [가]협회와 미국 [나]협회가 제정한 표준에는 자율협력주행시스템의 일반적인 성능 요구조건과 함께 차량이 많은 혼잡 상황에서 차량의 통신 성능을 평가할 수 있는 방법과 절차가 마련되어 있다.

그리고 미국 교통부는 2021년 하반기부터 2022년 상반기에 혼잡 상황에서 자율협력주행시스템의 차량 통신 성능을 시험하였는데, 그 결과를 보면 300m 구간에서 250대의 차량단말기가 LTE 방식을 통해 ‘차량과 차량’ 간에 통신을 하더라도 패킷 에러율<sup>26)</sup>이 1% 미만인 것으로 확인되었다.

한편, 자율협력주행시스템의 차량 통신과 관련하여 송신기와 수신기 사이의 통신 경로에 장애물(대형버스나 트럭, 건축물 등)이 있어 가시거리가 확보되지 않는 비가시(NLos: None Line of sight) 상황 통신 성능의 경우 미국 [나]협회가 제정한 표준에 시험방법 및 절차 등에 관한 규정이 있다. 2018년에 국제단체인 [나]가<sup>27)</sup> 비가시 상황에서 와이파이 방식과 LTE 방식의 통신 성능을 비교하는 시험을 실시한 결과 와이파이 방식은 유효통신 거리가 125m(가시 상황은 675m), LTE 방식은 425m(가시 상황은 1,175m)로 2개 기술 모두 비가시 환경에서 유효 통신 거리가 짧아진다는 사실을 확인한 바 있다.

또한, 미국 자동차회사 모임인 [나]아<sup>28)</sup>도 2019년에 LTE 방식의 성능시험을

26) “패킷”은 데이터 통신망을 이용하여 하나의 장비에서 다른 장비로 송신되는 정보의 블록 단위를 의미하며, “패킷 에러율”(PER: Packet Error Rate)은 전체 송신 패킷 중 통신에 실패한 패킷의 비율을 의미

27) 자율주행차 등 미래 자동차의 연구와 실용화를 위해 설립된 국제단체

실시하면서 비가시 상황에서의 유효통신 거리가 ‘차량↔노변기지국’ 간 통신은 약 1,160m, ‘차량↔차량’ 간 통신은 약 220m인 사실을 확인하는 등 주요 선진국은 자율협력주행시스템이 다양한 상황에서 안정적인 서비스를 제공할 수 있도록 비가시 상황에서의 통신 성능을 측정·평가하고 있다.

## 2. 혼잡 또는 비가시 상황의 통신방식 성능 비교검증의 필요성

자율협력주행시스템이 안정적인 자율주행 기능을 제공하기 위해서는 모든 구성 요소(차량, 노변기지국 등) 사이의 통신이 원활하여야 하는데, 교통량이 많은 차량 ‘혼잡상황’(도심부, 고속도로 나들목, 병목 발생 지역 등)에서는 차량과 차량 간 및 차량과 노변기지국 간 빈번한 통신으로 네트워크에 부하가 발생할 수 있고, 정보전송에 지연이나 실패가 발생할 경우 자율주행의 안전성이 떨어질 수 있다.

그리고 자율협력주행시스템 구성 요소 사이의 통신 구간에 대형 차량 등의 장애물이 있는 비가시 상황에서도 자율주행에 필요한 정보를 안정적으로 수집·제공할 수 있어야 하므로 비가시 상황에서의 통신 성능을 평가할 수 있는 절차와 방법 등을 관련 표준에 마련할 필요가 있다.

그런데 한국지능형교통체계협회가 2020. 12. 14. 개정한 자율협력주행시스템 관련 표준<sup>29)</sup>은 도로공사가 자율협력주행시스템 구축사업을 추진할 때 과업지시서 작성에 활용되는 등 국내 표준의 역할을 수행하고 있으나, [표 11]과 같이 데이터 전송 주기와 패킷 송신 성공률, 통신 거리, 데이터양(Throughput) 등 기본적인 항목에 대한 평가기준과 평가방법을 규정하고 있을 뿐 혼잡 또는 비가시 상황에서의 통신 성능을 측정·평가할 수 있는 항목이 없었다.

28) 와  등의 자동차 제조업체들이 교통사고 예방 방법을 고안해 공공기관에 제안할 목적 등으로 만든 모임  
29) ① 서비스 기능 요구사항, ② V2X 정보연계 요구사항, ③ C2X 정보연계 요구사항, ④ Open API 정보연계 요구사항, ⑤ 시험 방법 등 5개 항목으로 구성되어 있음

[표 11] 한국지능형교통체계협회 표준의 통신 성능시험 기준 및 방법 등

평가항목	내용	평가방법	평가 등급기준
전송 주기	송수신 메시지는 100ms의 전송 주기로 연계함	-	-
평균 패킷송신 성공률	패킷 송신 성공률(%)="100(%)–패킷 에러율(%)"	385회 이상 패킷 송신	패킷 송신 성공률이 90% 이상이면 상급
통신 거리	LOS일 때 반경 300m 이상	수신되는 패킷 오류율을 계산	300m 이상, 패킷 에러율 10% 이내
데이터양 (Throughput)	전송속도별 송수신 메시지의 최대 전송량	구간(반경 100m) 당 데이터양(Mbps) 측정	통신방식 및 전송속도별 평가등급 기준 제시

자료: 「ITSK C-ITS 표준」 자료 재구성

이에 따라 이번 감사에서는 국토부와 도로공사 등이 구축 중인 자율협력주행시스템이 혼잡 또는 비가시 상황에서 충분한 통신 성능을 보장할 수 있는지 여부에 대한 시험을 실시하였다.

### 3. 분석방법 및 한계

#### 가. 분석대상 및 방법

이번 감사원 감사 시 실시한 성능 비교시험은 “신·구 통신기술 검증 미실시로 자율주행 인프라 구축 장기 지연” 부분에 기재된 바와 같이 감사원의 요청에 따라 와이파이 방식과 LTE 방식 등 2개 통신방식의 성능을 비교시험하는 과정에 혼잡 상황과 비가시 상황에서의 통신 성능시험을 추가하는 방식으로 실시하였다.

위 성능 비교시험은 국토부와 과기정통부, [KRISS](#)연구원, 한국지능형교통체계협회, [KTTA](#)협회 및 도로공사 등으로 구성된 공동작업반이 실무작업을 담당하였고, 자율협력주행시스템 관련 업체인 주식회사 [나래](#)와 주식회사 [나만](#), 반도체 칩 제조업체인 [나만](#)과 주식회사 [나사](#) 등이 시험과정에 참여하였다.

시험은 2023. 7. 10.부터 9. 15.까지 일반 차량이 운행하지 않는 비공용 도로인 새만금 일대 도로에서 혼잡 상황과 비가시 상황을 조성해 통신 성능을 측정

하는 방식으로 수행되었고, 한국지능형교통체계협회가 제정한 자율협력주행시스템 성능 측정 항목 및 방식에 혼잡상황이나 비가시 상황 관련 부분이 없어 평가 항목은 패킷 에러율(PER)을 측정하되 평가방식은 미국 [나자] 등의 성능검증 시험 방법을 준용하였다.

#### 나. 시험 방법의 한계

이번 시험은 정부가 자율협력주행시스템의 통신기술로 도입을 검토 중이던 와이파이 방식과 LTE 방식을 대상으로 혼잡 및 비가시 상황에서의 통신 성능을 비교해 보는 최초의 시험이라는 점에서 의미가 있으나, 다음과 같은 한계가 있다.

첫째, 교통사고의 우려 등으로 비공용 도로에 한정해 성능검증이 실시되었다. 둘째, 혼잡상황 통신 성능시험의 경우 실제 시험 차량을 운행하는 방식이 아니라 교통상황을 모방·복사한 에뮬레이션(Emulation)<sup>30)</sup> 방식으로 시험하였고, 차량을 20대씩 증가하는 방식으로 혼잡상황을 조성함에 따라 특정 도로구간에 차량이 20대 또는 40대일 경우의 통신 성능은 알 수 있으나, 중간값(예: 21~39대)에 대한 성능은 확인할 수 없었다. 셋째, 비가시 상황은 시험 차량을 주행하는 경우 비가시 상황이 지속적으로 확보되지 않았고 이에 따라 비교 및 분석은 정지 상태의 테스트 결과를 사용하였다.

### 4. 분석결과

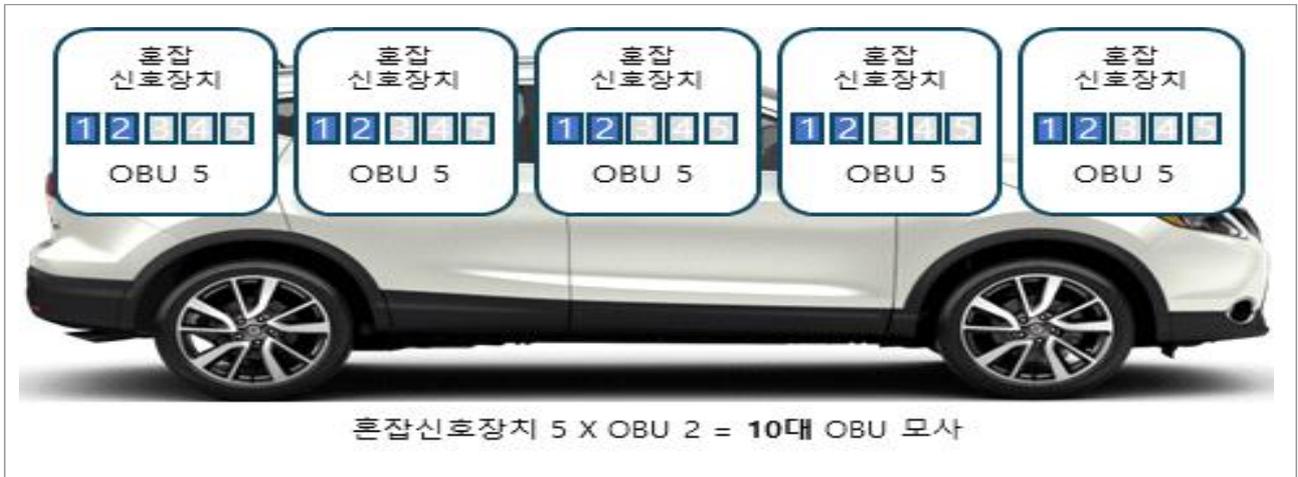
#### 가. 혼잡 상황에서의 통신방식 성능 비교시험 결과

이번 감사 중 혼잡 상황에서 자율협력주행시스템의 통신방식별 패킷 에러율(메시지 전송 실패율)을 확인하기 위해 [그림 6]과 같이 차량 20대에 각각 5대의 에뮬레이션 장비를 탑재하여 시험을 실시하였는데, 각 에뮬레이션 장비는 5대의

30) 특정 시스템 또는 소프트웨어가 완전히 똑같은 방법으로 다른 시스템을 복제 또는 흉내 내도록 하는 시험 방법

차량 단말기(OBU)를 모사할 수 있어 시험 차량 1대당 최대 25대의 혼잡 상황을 조성할 수 있었다. 다만 이번 시험에서는 차량 1대당 최대 10대의 혼잡 상황을 모사하여 통신방식별로 최대 차량 200대의 혼잡 상황을 조성하였다.

[그림 6] 에뮬레이션 장비를 활용한 혼잡 상황 조성 방법 예시



시험 방법은 [그림 7]과 같이 각 차량이 시속 60km 이하로 실제 운행하는 상태에서 에뮬레이션 장비를 통해 차량 대수를 20대씩 최대 200대까지 증가<sup>31)</sup>시키면서 한국지능형교통체계협회(ITSK)의 표준<sup>32)</sup> 및 도로공사의 「C-ITS 기지국 설치 가이드」(2021. 2. 1.) 등에 설정되어 있고 [KTT](#)연구원과 공동작업반이 수립한 「비공용도로 시험절차서」에서 정한 필수통신 영역(‘차량↔노변기지국’ 간 통신은 500m, ‘차량↔차량’ 간 통신은 300m) 전체구간에서 패킷 에러율이 기준치(10% 이하)를 초과하는지 여부를 확인하였다.

31) 시험 차량 10대를 10m 간격으로 배치하였고, 차량 길이를 고려한 혼잡 환경 조성구간은 125m임

32) 차세대 ITS 서비스 규격 표준 Part 1. 기능 및 성능요구사항 규격(ITSK-00105-1, 2017년 5월 제정)은 서비스별 기능 및 성능요구사항을 정의한 표준으로 2020년 12월 폐지된 후 C-ITS 규격 제1부: 서비스 기능 요구사항(ITSK-00100-1, 2020년 12월 제정)으로 개정됨

[그림 7] 혼잡 상황 성능검증 진행 현장



시험결과 ‘차량↔노변기지국’ 간 통신의 경우 [표 12]와 같이 필수통신 영역 (500m) 전체구간의 패킷 에러율이 와이파이와 LTE 방식 모두에서 혼잡도 최대치인 200대까지 10% 이하로 나타났다.

[표 12] 와이파이 방식과 LTE 방식의 혼잡 상황 통신성능시험 결과

구분	차량↔노변기지국 간 통신	차량↔차량 간 통신
와이파이 방식	200대에서 에러율 10% 이하	20대에서 에러율 10% 이하
LTE 방식	200대에서 에러율 10% 이하	100대에서 에러율 10% 이하

자료: 통신방식 성능 비교시험 결과보고서 재구성

그러나 ‘차량↔차량’ 간 통신의 경우 LTE 방식은 혼잡도 100대까지는 패킷 에러율이 10%를 초과하지 않다가 120~200대에서 10%를 초과하였고, 와이파이 방식은 혼잡도 20대까지는 패킷 에러율이 10%를 초과하지 않다가 40대~200대에서 10%를 초과하여 낮은 밀도의 차량 혼잡도에서도 통신 성능을 보장하기 어려운 것으로 확인되었다.

그 원인을 살펴보면 LTE 방식은 20MHz 대역폭의 1개 채널을 용도 지정 없이 사용하면서 혼잡지역(교차로, 고속도로 사고 지점 등)에서 ‘차량↔차량’ 간 통

신 수요가 많은 경우 많은 주파수 자원을 차량 간 통신에 사용할 수 있어 주파수 이용 효율이 우수한 데 비해, 와이파이 방식의 경우 ‘차량↔노변기지국’과 ‘차량↔차량’ 간 통신에 각각 10MHz 대역폭의 별도 채널을 사용함에 따라 차량 간 통신 수요가 늘어나더라도 이용 가능한 주파수 자원을 10MHz 대역 이상으로 확대할 수 없는 등 주파수 이용 효율이 낮기 때문인 것으로 추정<sup>33)</sup>된다.

#### 나. 비가시 상황에서의 통신방식 성능 비교시험 결과

비가시 상황에서 자율협력주행시스템의 통신방식 성능 비교시험은 [그림 8]과 같이 통신 경로에 대형버스를 배치해 비가시 상황을 설정한 후 송신 장비(노변기지국 또는 차량)와 수신 장비(시험 차량) 사이의 거리를 넓혀 가면서 통신 성능 보장의 최소 기준인 패킷 에러율 10%를 초과하는지 여부를 확인하는 방식으로 진행되었다. 그리고 혼잡상황 통신 성능검증의 경우 시험 차량이 주행하면서 진행되었으나, 비가시 상황은 사고 예방 등을 위해 정지된 상태에서 실시되었다.

[그림 8] 비가시 상황의 통신방식 성능 비교시험 진행 현장



시험결과 [표 13]과 같이 ‘차량↔노변 기지국’ 간 통신의 경우 LTE 방식은

33) 2020 연구원은 와이파이 방식이 LTE방식과 비교해 주파수 사용에 효율이 상대적으로 떨어진다는 의견 제시

전방 통신이 유효통신 영역 상한인 500m까지 패킷 에러율이 10% 이하였으나 후방 통신은 290m까지만 평균 패킷 에러율이 10% 이하로 통신 성능을 보장하기 어려웠고, 와이파이 방식은 전방과 후방 모두 유효통신이 보장되어야 하는 500m보다 짧은 230m와 170m까지만 패킷 에러율이 10% 이하로 LTE 방식보다 비가시 상황에서의 유효통신 거리가 짧은 것으로 나타났다.

[표 13] 비가시 상황의 통신방식 성능 비교시험 결과 패킷 에러율이 10% 이하인 시점

구분	차량↔노변 기지국 간 통신		차량↔차량 간 통신	
	전방	후방	전방	후방
와이파이 방식	230m	170m	80m	60m
LTE 방식	500m	290m	230m	120m

자료: 통신방식 성능 비교시험 결과보고서 재구성

그리고 비가시 상황의 ‘차량↔차량’ 간 통신의 경우 LTE 방식의 유효통신 거리(전방 230m, 후방 120m)가 와이파이 방식(전방 80m, 후방 60m)보다 긴 것으로 나타났으나, 두 방식 모두 유효통신이 보장되어야 하는 최대거리인 직경600m(반경 300m)<sup>34)</sup>보다 짧은 거리에서 패킷 에러율이 10%를 초과해 필수통신영역에서 통신 성능을 보장하기 어려운 것으로 확인되었다.

## 5. 원인분석

지금까지 살펴본 바와 같이 과거 국토부가 채택하였던 자율협력주행시스템의 통신기술인 와이파이 방식은 혼잡 상황의 경우 125m 구간에 차량 40대만 밀집 되더라도 ‘차량↔차량’ 간 통신의 패킷 에러율이 10%를 초과해 통신 성능이 보장 되지 않았고, 비가시 상황의 경우 ‘차량-차량’ 간 통신은 물론 ‘차량↔노변 기지

34) ‘차량-차량’ 간 통신의 경우 가시거리(LOS)일 때 반경 300m이며 현 시점에서 비가시거리 상황에서는 유효통신영역의 기준이 없으므로 가시거리의 상황과 비교

국' 간 통신도 최대 유효통신 거리가 기준치(300m 또는 500m)보다 짧아 통신 성능을 보장하기 어렵다.

그리고 2023. 12. 12. 정부가 자율협력주행시스템의 단일 기술로 채택한 LTE 방식의 경우에도 125m 구간에 차량이 120대 이상 밀집되는 혼잡상황에서는 '차량↔차량' 간 통신의 평균 패킷 에러율이 10%를 초과해 통신 성능이 보장되지 않았고, 비가시 상황의 경우 '차량-차량' 간 통신은 전·후방 모두 최대 유효통신 범위(300m)보다 짧은 거리에서 통신 성능이 확보되지 않았으며, '차량↔노변 기지국' 간 통신도 후방 최대 유효통신 거리가 290m에 불과해 성능 기준(500m)을 충족하지 않는 것으로 나타났다.

이와 같이 혼잡 또는 비가시 상황에서 통신 성능이 제대로 확보되지 않은 상태에서 자율협력주행시스템 구축사업이 추진되고 있는 것은 정부의 통신방식 결정이 장기간 지연되어 성능시험 대상 기술이 확정되지 않은 데 그 원인이 있다고 볼 수도 있으나, 다양한 자율운전 환경에서 자율협력주행시스템 성능을 분석·시험하는 노력도 부족하였다고 판단된다.

## 6. 관계기관 의견

국토부는 혼잡 및 비가시 상황에 따른 통신 두절, 통신 지연 등으로 자율협력주행시스템의 서비스 제공이 원활하지 않을 경우 교통안전 확보에 지장이 있을 수 있으므로 서비스의 안정적인 구현을 위해 혼잡 및 비가시 상황에서의 통신에 대한 최소한의 성능 기준이 필요하다고 판단되며, 향후 산·학·연 전문가가 참여하는 연구용역을 실시하여 관련 표준을 검토·마련할 계획이라고 답변하였다.

## 7. 소결

유럽과 미국 등 자율주행 기술의 선진국들은 표준을 제정하여 혼잡 상황이나 비가시 상황과 같이 안전한 자율주행이 어려운 환경에서도 자율협력주행시스템의 통신 성능이 제대로 발휘될 수 있는지를 평가할 수 있는 방법과 절차를 마련하고 있으나, 우리나라의 경우 아직까지 이와 관련된 표준이 마련되지 않고 있다.

따라서 국내에서도 차량 밀집 지역과 비가시 환경에서도 자율협력주행시스템의 통신서비스가 원활하게 이루어질 수 있도록 성능 요구사항, 성능시험을 위한 방법과 절차를 규정하는 표준이 제정될 필요가 있고, 자율협력주행시스템 구축사업도 새롭게 제정되는 표준을 반영하여 수행되어야 할 것이다.

## 제4장 종합 결론

---

### 제1절 감사 총평 및 조치사항

기술의 발전 수준이 높지 않던 시대에는 대량생산과 저임금·저비용을 통해 가격 경쟁력을 확보하는 것이 중요하였으나, 4차 산업혁명을 맞이하고 있는 오늘날에는 산업의 무게 중심이 노동집약적 산업에서 기술·자본 집약적인 산업으로 이동하면서 첨단기술 개발·육성을 위한 정부 정책의 중요성이 커지고 있다.

이에 따라 세계 각 국가는 4차 산업혁명 시대에서 우위를 차지하기 위해 국가 주도로 첨단기술을 육성하고 있고, 인공지능이나 5G 통신기술 등과 함께 자율주행 기술을 선점하기 위해 치열하게 경쟁하고 있다.

그런데 이번 감사를 통해 확인한 결과 국내의 경우 자율주행 인프라 구축과 관련하여 새로운 통신기술이 개발되었음에도 '신·구(新·舊) 기술'에 대한 객관적인 성능 비교시험도 없이 부처 간 이견으로 신기술 도입 여부에 대한 정부의 의사결정이 장기간 지연되면서 선진국과의 기술격차가 확대될 우려가 있었다.

또한, 미국이나 유럽 등 자율주행 기술 선진국들의 경우 혼잡상황이나 비가시 상황 등 다양한 교통환경에서 자율협력주행시스템의 성능을 검증하기 위한 절차와 방법을 개발하고 실제 성능시험을 수행하고 있는 데 비해 국내의 경우 혼잡·비가시 상황에서의 성능 검증을 수행할 수 있는 절차와 방법이 개발되어 있지 않아 자율주행 성능의 안전성을 담보하기 어려운 실정이었다.

이에 따라 감사원은 감사결과 확인된 문제점을 개선하고자 관련 부처에 다음과 같이 조치한다.

## 1. 자율협력주행시스템의 통신기술 도입과 관련하여

국토교통부장관은 앞으로 자율주행 관련 기술의 성능 비교시험을 장기간 실시하지 않아 인프라 구축이 지연되는 일이 없도록 사업관리를 철저히 하고, 신기술 도입 여부 결정 시 관계기관과의 협의를 통해 객관적인 성능 자료를 신속히 확보하는 등 업무절차를 개선하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

## 2. 자율협력주행시스템의 통신 성능과 관련하여

국토교통부장관은 혼잡상황과 비가시 상황에서 자율협력주행시스템의 통신 성능을 검증할 수 있도록 한국지능형교통체계협회에 관련 표준 마련을 요청하는 등 자율협력주행시스템 표준을 개선하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

## 제2절 감사의 효과 및 한계

### 1. 감사의 효과

정부는 4차 산업혁명 시대의 핵심기술 중 하나인 자율주행과 관련하여 2014년부터 시범·실증사업을 수행하는 등 기술 상용화를 촉진하기 위해 다양한 노력을 기울여 왔으나, 정부의 정책·제도·사업 등이 비효율적으로 운영되어 미래 위험요인으로 작용하는 사례가 발생하고 있다.

대표적인 사례가 부처 간 이견으로 인한 자율협력주행시스템의 통신기술 결정 지연으로, 2019년부터 국토부와 과기정통부가 와이파이 방식 및 LTE 방식 중 어느 것을 채택할 것인지를 관련하여 논의를 시작하였으나 약 4년간 정부 정책이 결정되지 못하여 자율주행을 위한 인프라 구축도 지연됨에 따라 자율주행 분야에서 국가경쟁력 강화를 기대하기 어려운 상황이었다.

이번 감사에서는 국토부와 과기정통부를 비롯하여 다양한 전문기관과 이해관계자가 참여하는 공동작업반을 구성해 와이파이 방식과 LTE 방식의 성능을 객관적으로 비교·시험하였고, 시험결과가 기초 자료로 활용되어 2023. 12. 12. LTE가 단일 방식으로 결정됨으로써 자율협력주행시스템 인프라 구축을 위한 기술적 기반이 마련되었다.

아울러 혼잡 또는 비가시 상황과 같이 자율주행 여건이 좋지 않은 환경에서도 자율협력주행시스템이 제대로 기능을 수행할 수 있는지를 분석·평가하였고, 이와 관련된 국내 기술표준의 개선을 요구함으로써 자율주행 차량의 안전성을 높이는 데도 일조할 것으로 기대한다.

## 2. 감사의 한계

자율주행과 관련한 정부 정책은 인프라 구축 외에도 법·제도 정비와 기술개발 지원 등 다양한 과제를 포함하고 있고, 인프라 구축의 경우에도 자율협력주행시스템 외에 정밀도로지도 제작이나 교통관제시스템 확대 등 다양한 세부 과제가 포함되어 있다.

그런데 이번 감사는 감사인력 규모 등을 고려해 자율주행 관련 정부 정책 전반에 대한 점검은 수행하지 못하였고, 자율협력주행시스템 구축에 한정하여 정부 정책의 미래 위험을 분석한 후 개선 대안을 제시하는 데 중점을 두고 실시되었다.

아울러 자율협력주행시스템의 통신기술 성능검증을 위한 시험도 안전문제 등을 고려해 비공용 도로에서 실시되었고, 일부 시험 항목의 경우 에뮬레이션 기법을 활용하거나 참여업체 장비의 문제 등으로 일부 시험결과를 활용하지 못하는 등 시험 방법 및 분석과 관련된 한계도 있다.