



자율주행 모빌리티: 파일럿을 넘어 상용화로

자율주행 모빌리티가 지속 가능한 상용화 단계로 전환되기 위한
네 가지 핵심 요소와 이해관계자의 역할을 살펴봅니다.

December 2025



Table of contents

들어가며	02
자율주행의 핵심 요소 ① 사업화	05
자율주행의 핵심 요소 ② 사용자 수용	13
자율주행의 핵심 요소 ③ 기술	15
자율주행의 핵심 요소 ④ 표준 및 규제	20
나가며	23

* 본 보고서는 PwC의 'A global shift from pilots to implementation: Autonomous mobility'를 기반으로 작성되었습니다.

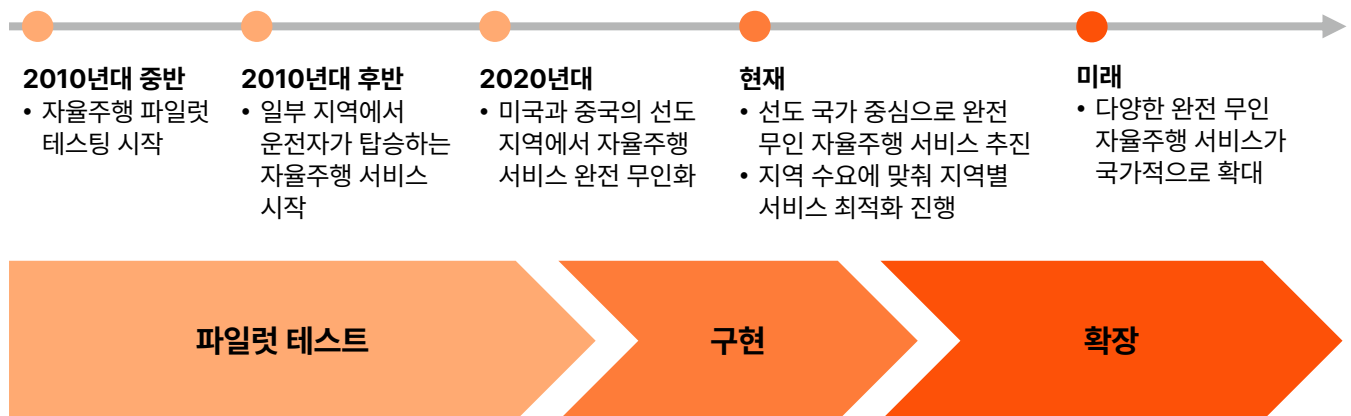
들어가며

최근 몇 년간 전세계적으로 자율주행 모빌리티의 전환 속도가 빨라져 전 세계 도로에서 빠르게 현실이 되고 있습니다. 선도 국가들은 여객과 화물 운송을 위한 레벨 4 자율주행 서비스를 파일럿에서 상용화 단계로 전환 중입니다. 2018년부터 미국과 중국의 여러 도시에서 자율주행 기술과 상용화가 모두 지속적으로 발전하여 현재 이 국가들의 기업들이 업계 선두에 서 있습니다.

미국은 자율주행 택시가 확산을 주도하고 있으며, 중국은 자율주행 택시, 버스 및 셔틀이 동시에 확대되고 있습니다. 일본과 유럽은 버스 및 셔틀 중심으로 도입이 진행 중입니다.

자율주행은 기술 검증에 중점을 둔 파일럿 단계에서 본격적인 상용화를 목표로 하는 구현 단계로의 전환이 이미 시작되었습니다. 소형 차량(승용차, 6톤 미만 서비스 차량)의 신차 판매 중 자율주행 차량(레벨 3 이상)의 비중이 주요 시장(유럽, 미국, 중국, 일본) 모두에서 증가할 것으로 예상됩니다.

파일럿부터 구현까지의 전환 과정



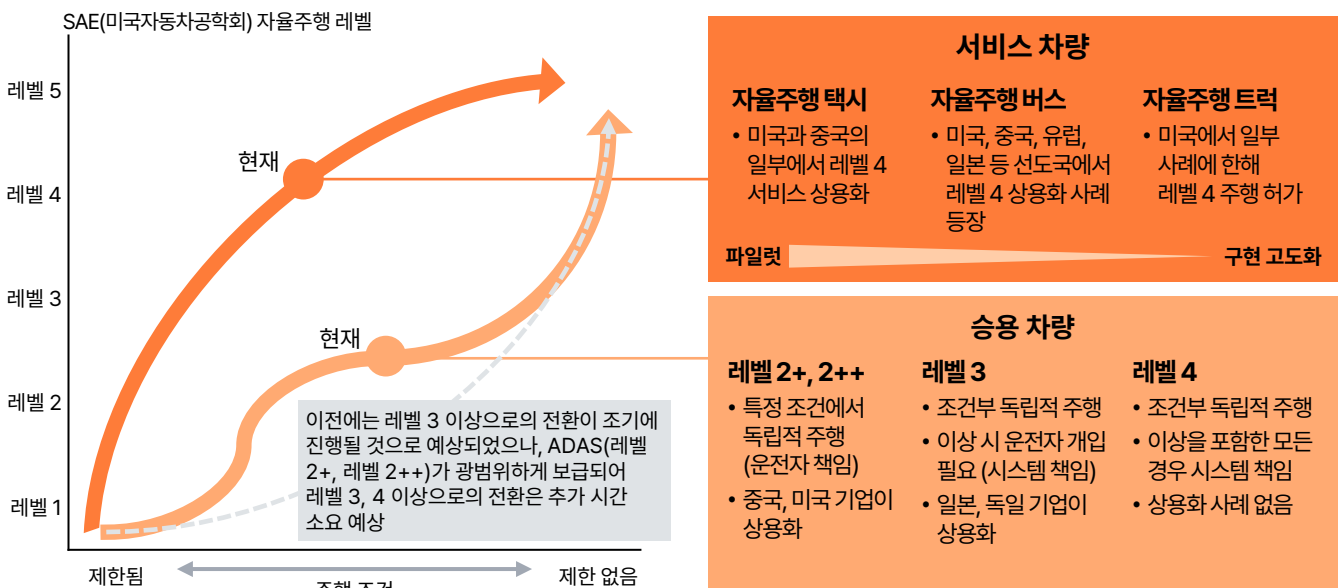
출처: PwC

서비스 차량은 레벨 4 자율주행으로 빠르게 발전하는 반면, 승용 차량은 보다 점진적으로 발전하면서 서로 다른 발전 양상을 보이고 있습니다.

서비스 차량의 경우, 레벨 4 자율주행 기술 발전과 사회적 도입이 가속화되고 있습니다. 다만, 서비스 유형에 따라 도입 속도는 상이합니다. 택시 및 버스는 많은 사례가 이미 구현된 반면, 미국과 중국에서 레벨 4 적용이 승인된 트럭의 서비스 범위는 제한적입니다. 이에 따라 기존 서비스를 완전히 대체하기까지는 시간이 걸릴 것으로 예상됩니다.

한편 승용 차량의 경우, 완성차 제조사들이 레벨 3 차량을 출시했으나, 모델 수가 적고 고가이며 자율주행 기능 사용 조건이 제한되어 있어 보급이 미흡한 상황입니다. 반면, ADAS(레벨 2+, 레벨 2++)의 보급은 점차 확산되고 있습니다. 강화된 레벨 2는 소비자의 높은 자동화 요구를 일시적으로 충족시키는 것으로 보이며, 레벨 3 이상으로의 전환에는 추가 시간이 필요해 보입니다.

상용 및 승용 차량의 자율주행 전환

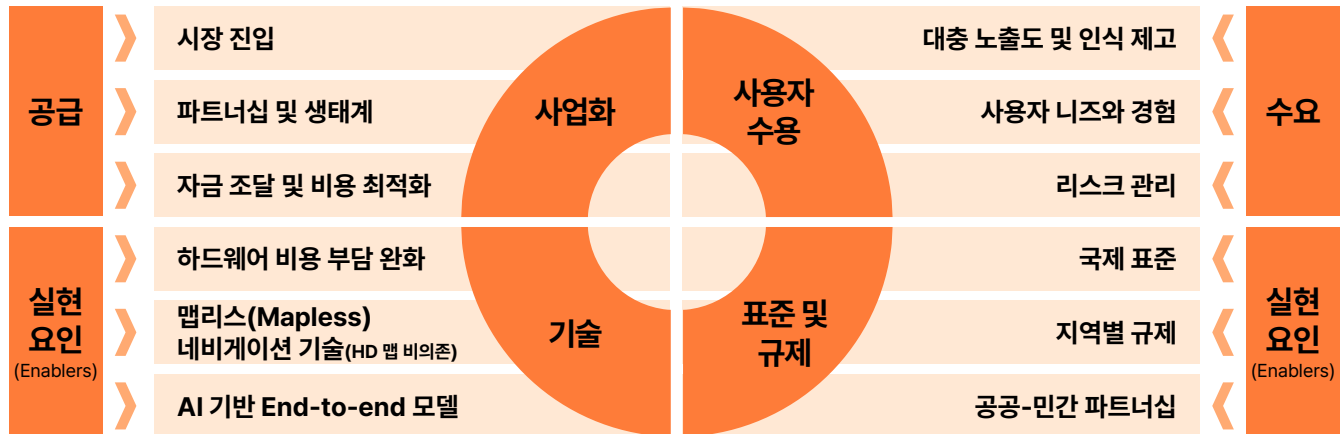


* 레벨 2+(고속도로 중심의 자율주행), 2++(고속도로 및 일반도로에서의 자율주행)는 중국 OEM이 사용되는 정의로, SAE의 정의와는 다르며 운전자가 주행에 대한 책임을 짐

출처: PwC Research

자율주행은 파일럿에서 일상의 일부로 진화했으며, 더 이상 먼 미래가 아닙니다. 자율주행 모빌리티의 발전 수준을 평가하기 위해 본 보고서는 사업화, 사용자 수용, 기술, 표준 및 규제라는 네 가지 핵심 요소를 살펴봅니다. 이들은 서로 맞물려 자율주행 모빌리티의 진화와 도입을 좌우합니다.

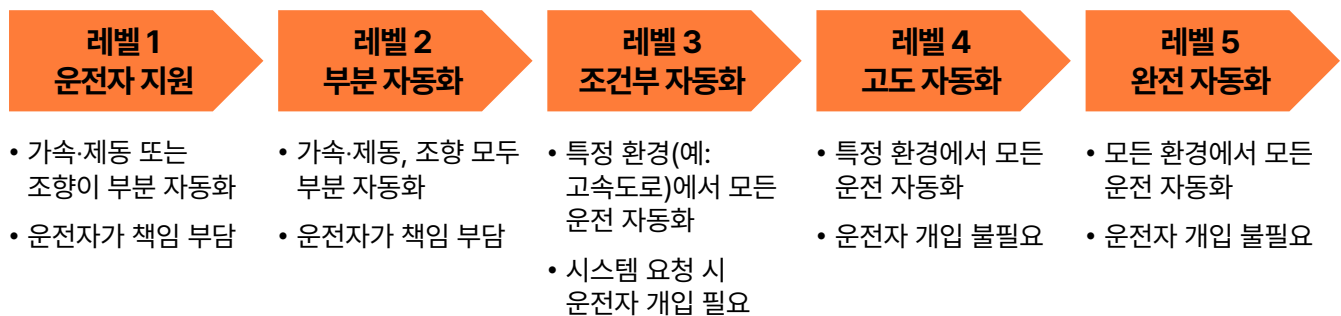
자율주행 모빌리티의 핵심 요소



출처: PwC

자율주행의 레벨을 파악하기 위해서는 SAE(Society of Automotive Engineers, 미국 자동차공학회)가 정의한 바를 이해하는 것이 출발점입니다. 이는 자동화의 정도와 운전 업무 책임자를 기준으로 구분합니다.

SAE의 자율주행 수준



출처: SAE

자율주행의 핵심 요소 ① 사업화

자율주행 사업화 동향

주요 국가의 상용화 수준은 버스 및 셔틀, 택시, 트럭별로 다릅니다. 예를 들어, 택시와 트럭은 미국과 중국이 상용화 단계에 도달한 반면, 일본과 유럽은 아직 파일럿 단계에 있습니다. 미국과 중국에서는 국내 자율주행 기술 기업이 자국 내 상용화를 주도하는 것이 일반적인 반면, 일본과 유럽은 파일럿 테스트 및 상용화에 국내외 공급사를 혼합하여 활용하는 경우가 많습니다.

글로벌 자율주행 상용화 동향

	버스 및 셔틀	택시	트럭	비고
일본 	상용화	파일럿	파일럿	<ul style="list-style-type: none"> 버스 운전자 부족 이슈로, 정부는 버스 상용화를 우선 추진 중 주로 국내 업체가 참여, 일부 글로벌 업체는 시장 진입 계획
미국 	파일럿	상용화	상용화	<ul style="list-style-type: none"> 주별로 상이하나, NHTSA¹⁾ 참여로 프레임워크 형성 중 샌프란시스코 등에서 로보택시 상용화 셔틀과 장거리 트럭은 수용도 높은 편
중국 	상용화	상용화	상용화	<ul style="list-style-type: none"> 일부 기업 로보택시 상용 운행 시작 무인 트럭은 특정 노선과 시나리오에 한정, 대규모 상용화 미흡
독일 	파일럿	파일럿	파일럿	<ul style="list-style-type: none"> 로보버스, 로보셔틀 도입 추진 로보택시 사업은 파일럿 도로 테스트 중 자율 트럭도 허브 간 운송 파일럿 단계
스위스 	파일럿	파일럿	파일럿	<ul style="list-style-type: none"> 2025년 봄부터 적용되는 AFV(사전 승인된 노선에서 모니터링 하에 무인 차량 운행을 허용하는 조례)로, 일부 정규 운행 전환 허가
노르웨이 	파일럿 / 상용화	N/A	파일럿	<ul style="list-style-type: none"> 당국의 선도 하에 기술 테스트 중 루터(Ruter)의 자율주행 서비스는 상용화를 목표로 공공 테스트 활발
UAE 	파일럿	파일럿	N/A	<ul style="list-style-type: none"> 아부다비에서는 SAVI 클러스터²⁾, 아부다비 모빌리티³⁾가 자율주행 도입 핵심 기관 우버, 크루즈 등과 기술 파일럿 중
사우디아라비아 	파일럿	파일럿	N/A	<ul style="list-style-type: none"> 교통총국(Transport General Authority)의 규제 샌드박스에서 관리 2023년 이후 여러 파일럿 프로그램 수행

* 파일럿: 특정 기간에만 공용 도로 운행 및 서비스 제공 / 상용화: 공용 도로 운행, 공공 및 사업용 대상, 연중 유료 서비스 제공

1) National Highway Traffic Safety Administration, 고속도로교통안전국

2) Smart and Autonomous Vehicle Industries, 스마트 자율주행 차량 산업

3) Abu Dhabi Mobility. 아부다비 교통부 산하 기관

출처: PwC

자율주행 서비스의 비즈니스 모델

자율주행 서비스가 상용화 단계로 접어들면서, 하나의 기업이 모든 기능을 처음부터 끝까지 담당하는 수직 통합 모델과, 여러 기업이 기능 영역별로 역할을 분담하는 수평 분업 모델이라는 두 가지 비즈니스 모델이 나타나고 있습니다. 수평 분업 모델의 경우, 기능을 어떻게 나누는지에 따라 다양한 유형이 있습니다.

최적의 비즈니스 모델은 지역별 법규, 교통 환경, 지원 서비스 제공업체의 존재 여부 등 지역적 특성을 고려하여 선택해야 합니다.

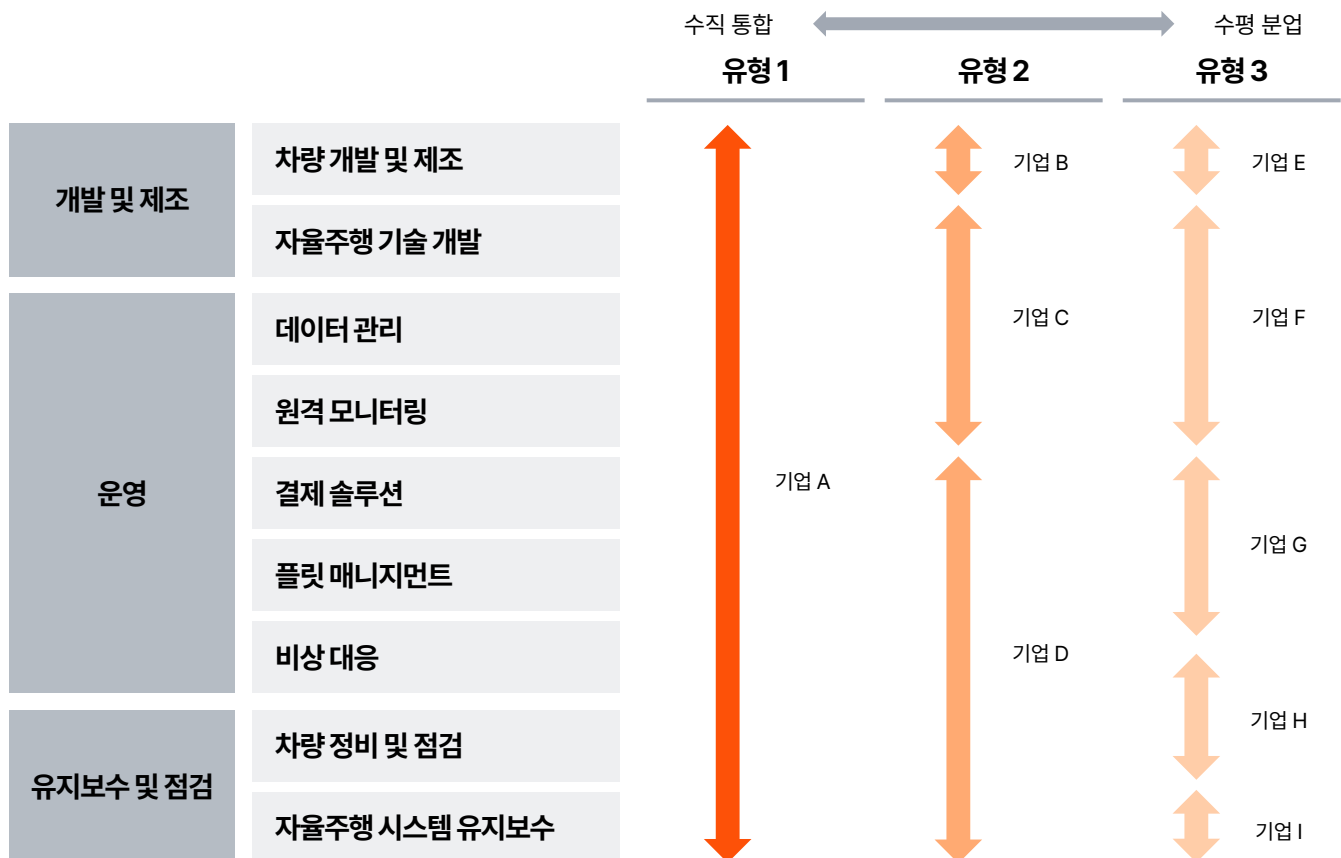
• 수직 통합이 적합한 경우

- 서비스가 특정 지역에 한정되어 인력과 인프라를 중앙 집중식으로 관리할 수 있는 경우
- 정부 개입이 제한적이거나 기존 사업자가 부재하여 진입 장벽이 낮은 경우

• 수평 분업이 적합한 경우

- 서비스가 여러 지역에 걸쳐 있어 인력과 인프라를 중앙 집중식으로 관리하기 어려운 경우
- 정부 개입이 강력하거나 선도 사업자의 존재로 진입 장벽이 높은 경우

자율주행 서비스의 비즈니스 모델



출처: PwC

자율주행 서비스의 비용 구조

자율주행 서비스를 도입하는 과정에서의 주요 고려사항 중 하나는 비용입니다. 도입과 관련된 비용 장벽을 해결하기 위해서는 자율주행 서비스와 관련된 주요 비용 요소를 정의하고, 각 서비스 유형별 수익 및 비용 구조를 검토하는 것이 중요합니다. 서비스 모델에 따라 자동화로 인해 일부 비용이 증가할 수 있으나, 이는 자율주행이 제공하는 이점을 고려하여 평가해야 합니다.

비용은 차량 수, 운전자 및 운영 인력의 유무에 따라 크게 달라집니다. 또한 상용화 단계에 따라 비용 구조가 변화합니다. 초기 단계는 차량 수가 적고 차량 내 인력이 탑승하는 레벨 4 자율주행을 의미하고, 성숙 단계는 다수의 완전 무인 차량을 운행하는 단계를 의미합니다. 자율주행 서비스의 주요 비용 항목은 다음과 같습니다.

자율주행 서비스의 주요 비용

초기 비용	차량	• 자율주행 시스템 개발 비용을 포함한 차량 구매 비용
	인프라	• 원격 모니터링 시스템 및 관련 인프라 설치 비용
	기타 비용	• 리스크 평가, 지도 구축 등 사전 준비 비용
운영 비용	시스템 운영	• 자율주행 시스템 라이선스 비용, 클라우드 사용료, 시뮬레이션 서버 비용 등
	인건비	• 운전자, 안전 요원, 원격 오퍼레이터 등
	정비 및 점검	• 정기 점검, 유지보수, 수리 비용 등
	보험 및 연료	• 보험료, 연료비, 관련 세금 등
	기타 비용	• 배차 관리 시스템 비용, 고속도로 통행료 및 기타 잡비

출처: PwC

버스 및 셔틀

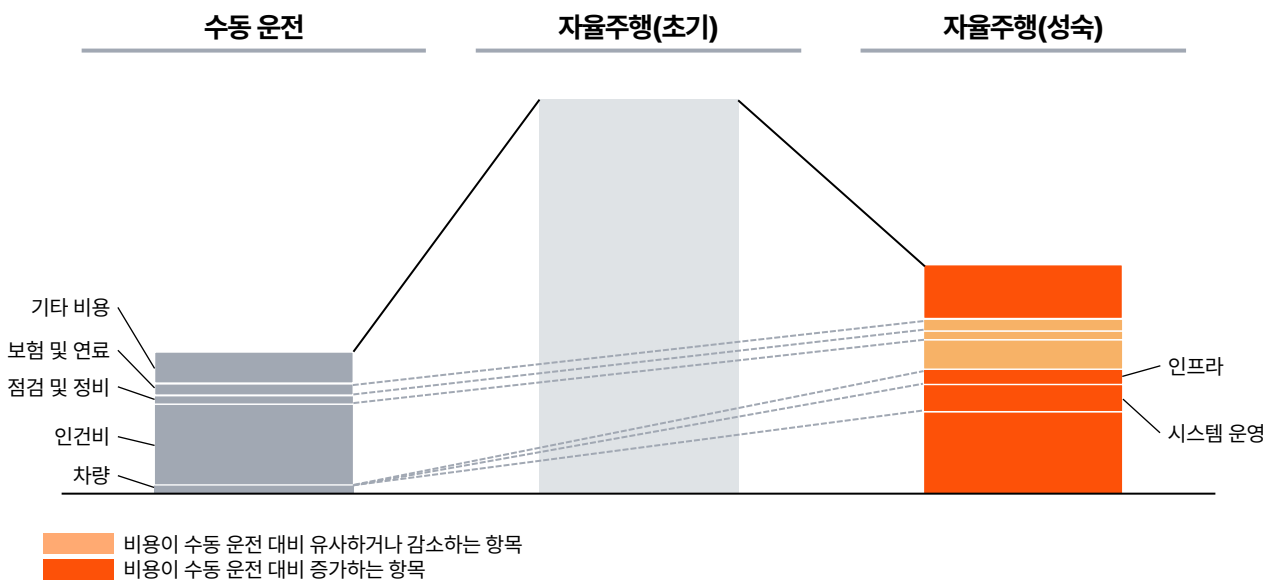
• 자율주행 도입에 따른 수익 구조 변화

- 초기 단계에는 자율주행 전환으로 인해 '정비 및 점검'과 '보험 및 연료'를 제외한 모든 항목에서 비용이 증가합니다. 성숙 단계에서는 무인 운행으로 전환되면서 인건비가 감소할 것입니다. 다만 자율주행 차량은 고가이고 생산량이 적어 차량 비용의 큰 감소는 기대하기 어렵습니다. 결과적으로 전체 비용은 수동 운행 대비 더 높을 것으로 예상됩니다.

• 자율주행 도입의 이점

- 버스와 셔틀은 대중교통의 핵심 요소입니다. 특히 인력이 부족한 지역에서는 자율주행이 실질적인 해결책입니다. 그러나 자율주행 도입에 따른 추가 비용은 현행 운송 사업자 단독이나 지방 정부 보조금 등 공적 지원만으로 감당하기 어렵습니다. 따라서 민간 기업과 지역 사회가 협력하여 해결하는 것이 중요합니다.

수동 vs. 자율주행 비용 비교



초기 비용			운영 비용				
차량	인프라	기타 비용	시스템 운영	인건비	정비 및 점검	보험 및 연료	기타 비용
센서 수 최적화를 통한 비용 절감	장비 활용도 증가에 따른 단위당 비용 절감	차량 활용도 증가에 따른 단위당 비용 절감	운영 차량 증가에 따른 할인	운영 차량 증가 및 원격 모니터링 기술 고도화로 인력 배치 최적화	운영 차량 증가에 따른 할인	사고율 감소에 따른 보험료 인하	운영 차량 증가에 따른 할인
○ : 비용 절감 가능성이 높음			△ : 비용 절감 가능성이 있음		✕ : 비용 절감 가능성이 낮음		

출처: PwC

택시

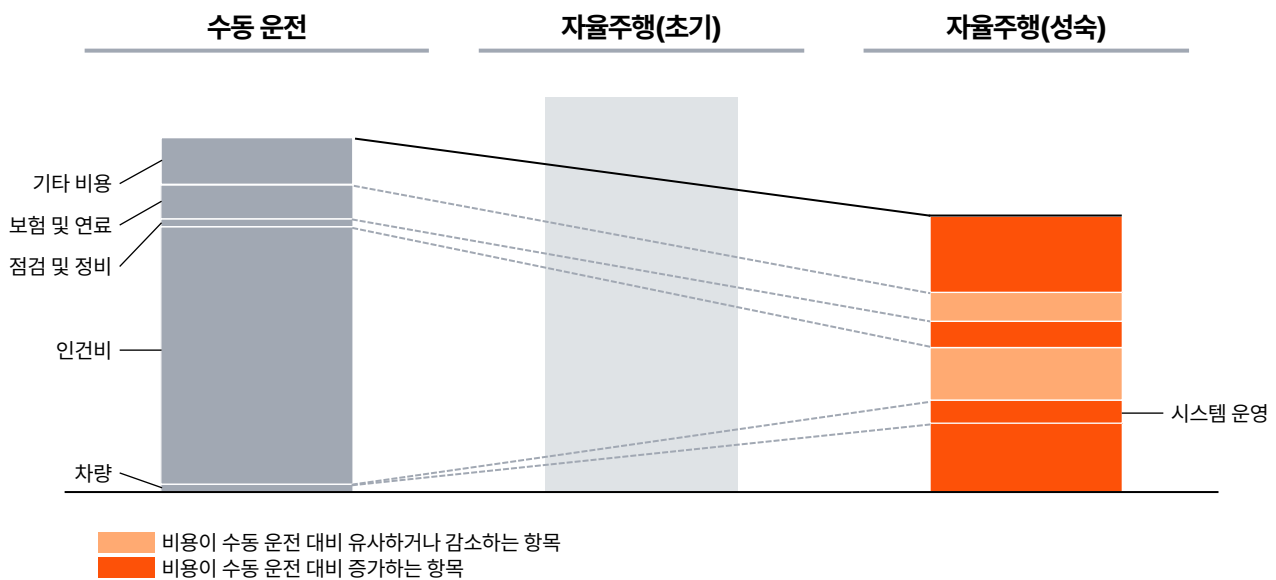
• 자율주행 도입에 따른 수익 구조 변화

- 초기 단계에는 자율주행 전환으로 차량 가격이 높아 비용이 증가합니다. 성숙 단계에서는 기술 발전과 생산량 증대에 따라 차량 비용이 감소할 것으로 예상됩니다. 또한 자동화로 인해 수동 운전 시 큰 비중을 차지하는 인건비도 줄어듭니다. 따라서 운영 비용이 감소하여 수익성이 향상될 것입니다.

• 자율주행 도입의 이점

- 일부 선진국에서 예상되는 인력 부족 문제를 고려할 때, 자율주행은 운행 차량 수를 유지하거나 오히려 확대하는 데 기여할 수 있습니다.

수동 vs. 자율주행 비용 비교



초기 비용			운영 비용				
차량	인프라	기타 비용	시스템 운영	인건비	정비 및 점검	보험 및 연료	기타 비용
생산량 증가와 센서 수 최적화를 통한 비용 절감	장비 활용도 증가에 따른 단위당 비용 절감	차량 활용도 증가에 따른 단위당 비용 절감	운영 차량 증가에 따른 할인	운영 차량 증가 및 원격 모니터링 기술 고도화로 인력 배치 최적화	운영 차량 증가에 따른 할인	사고율 감소에 따른 보험료 인하	운영 차량 증가에 따른 할인

○ : 비용 절감 가능성이 높음 △ : 비용 절감 가능성이 있음 ✕ : 비용 절감 가능성이 낮음

출처: PwC

트럭

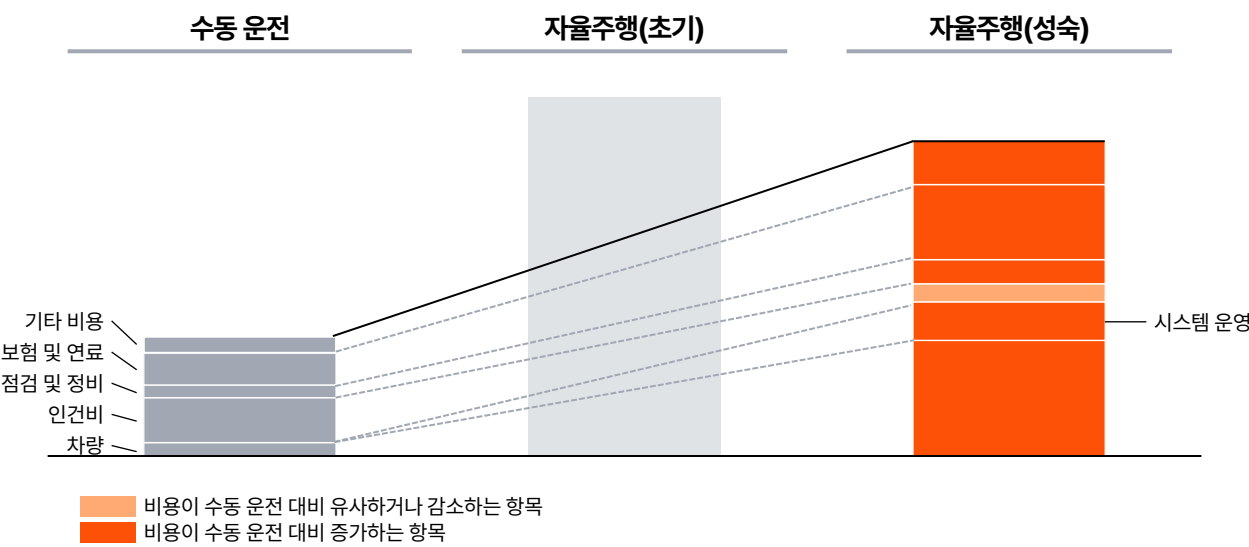
자율주행 도입에 따른 수익 구조 변화

- 초기 단계에는 자율주행 차량의 높은 가격으로 인해 비용이 증가합니다. 성숙 단계에는 기술 발전과 생산량 증대에 따라 차량 비용이 다소 감소할 수 있습니다. 그러나 완전 자동화로 인한 운행 시간 연장으로 총 주행 거리가 증가하여 보험 및 연료, 통행료 등의 기타 비용은 수동 운전 대비 상승할 것으로 예상됩니다.
- 반면, 24시간 운행이 가능해짐에 따라 운송량이 증가하여 자율주행의 수익성이 향상될 것으로 기대됩니다.

자율주행 도입의 이점

- 운전자 부족 지역에서는 운행 차량 수를 유지하거나 확대할 수 있습니다. 또한, 운전자 근무 시간 규제나 의무 휴식 기간 제약 없이 연속 운행이 가능합니다.

수동 vs. 자율주행 비용 비교



초기 비용			운영 비용				
차량	인프라	기타 비용	시스템 운영	인건비	정비 및 점검	보험 및 연료	기타 비용
생산량 증가와 센서 수 최적화를 통한 비용 절감	장비 활용도 증가에 따른 단위당 비용 절감	차량 활용도 증가에 따른 단위당 비용 절감	운영 차량 증가에 따른 할인	운영 차량 증가 및 원격 모니터링 기술 고도화로 인력 배치 최적화	주행 거리 증가에 따른 부품의 빠른 마모로 비용 증가	주행 거리 증가에 따른 연료 소비 증가	주행 거리 증가에 따른 유료도로 이용 증가
○ : 비용 절감 가능성이 높음			△ : 비용 절감 가능성이 있음		✕ : 비용 절감 가능성이 낮음		

출처: PwC

향후 대량 생산이 가능해지면 자율주행 차량 가격과 관련 서비스 비용이 하락해, 초기 비용이 감소할 것으로 예상됩니다. 그러나 지속 가능한 서비스 제공을 위해서는 운영 비용 관리가 필수입니다.

앞서 언급했듯이, 자율주행 도입은 전체적인 서비스의 운영 비용을 증가시키므로 광범위한 도입을 위해서는 비용 절감이 핵심입니다. 초기 비용은 생산량 증가와 기술 발전으로 감소할 것으로 예상됩니다. 예를 들어 중국에서는 시스템 통합을 고려한 비교적 저렴한 자율주행 차량 생산, 알고리즘 개선, 탑재 센서 수 감소를 통해 비용을 절감하였습니다.

운영 비용 중 자동화로 인한 비용 감소폭은 인건비가 가장 큼니다. 더 나아가 차량당 탑승 인원 축소, 차량 수 확대에 따른 운영자당 차량 수 증가, 인력 배치 최적화를 통해 인건비를 더욱 낮출 수 있습니다. 중국에서는 통신 기술과 시스템 설계 개선으로 운영자 한 명이 최대 20대의 차량을 모니터링 할 수 있어 인건비를 줄였습니다. 기타 비용도 기술 발전과 운행 차량 수 증가에 따라 많은 부분에서 감소가 예상됩니다. 자율주행의 대규모 상용화 과정에서 발생하는 적자 구간(일명 '죽음의 계곡')을 극복하기 위해서는 국가 및 지방 정부 보조금 확보, 민간 투자 유치, 공공 협력 강화가 중요합니다.

선도 기업의 전략 - 경쟁 우위 확보와 진입 장벽 구축

자율주행 시장에서 경쟁 우위를 확보하기 위해서는 우수한 기술력, 조기 고객 확보, 그리고 운영 전문성이 핵심 요소입니다. 특히 업계 전반에서 기본 주행 능력(이동, 회전, 정지)은 유사한 수준을 보이지만, 엣지 케이스(교통사고, 시스템 고장 등 돌발 상황) 대응 능력에서 선도 기업과 후발 기업 간의 격차가 뚜렷합니다. 현재 미국과 중국의 선도 기업들은 이미 상용화 단계에 진입해 여러 지역에서 서비스 모델을 구축하고 있으며, 이를 통해 사용자 경험을 개선하고 서비스 품질을 높이고 있습니다.

반면, 후발 기업들은 파일럿 단계에 머무르는 경우가 많아 격차가 더욱 벌어지고 있습니다. 따라서 자율주행 시장에 진입하려는 기업은 조기 진입을 통해 운영 전문성을 축적하고, 향후 광범위한 서비스 배포를 대비해 서비스 네트워크 확장에 집중해야 합니다. 현재 선도 기업 간 경쟁의 초점은 상용화 속도와 서비스 품질에 있으며, 이는 시장에서의 주도권을 결정짓는 핵심 요인이 되고 있습니다. 자율주행 서비스에서는 다음과 같은 메커니즘을 통해 경쟁 우위와 진입 장벽이 형성될 것으로 예상됩니다.

경쟁 우위 확보 및 진입 장벽 구축

경쟁 우위 확보	자율주행 기술 및 서비스 확보	<ul style="list-style-type: none"> • 우수한 자율주행 기술은 광범위한 운영 설계 영역(Operational Design Domain, 이하 ODD)¹⁾을 커버할 수 있어 안전성, 신뢰성, 전반적인 서비스 품질 향상에 기여 • 서비스 제공자로서 진입을 고려하는 경우, 강력한 기술 개발 역량을 보유한 기업과의 협력이 필수
	고객 기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 조기 고객 확보를 통해 미래 성장을 위한 견고한 기반을 마련할 수 있으며, 이는 매출 확대뿐만 아니라 신뢰 구축과 고객 요구에 대한 깊은 이해 가능 • 잠재적 최종 사용자와 직접적인 접촉이 어려운 경우, 다수의 고객 접점을 가진 파트너사와의 협력이 중요
	운영 전문성 확보	<ul style="list-style-type: none"> • 기술 및 서비스 확보, 고객 기반 구축을 진행함으로써 자율주행에 대한 실무 경험을 축적하고 운영 및 서비스 제공 관련 전문성을 확보
진입 장벽 구축	가격 및 서비스 주도권 확보	<ul style="list-style-type: none"> • 사업 규모가 확대될수록 자율주행 차량 및 부품의 단위당 운영비 부담과 조달비 감소 • 재투자를 통한 운영 역량 강화와 첨단 네트워크 인프라 개발
	재투자를 통한 기술 및 서비스 개선	<ul style="list-style-type: none"> • 서비스 규모 확대와 운영 경험 축적으로 발생한 수익을 재투자함으로써 운영 역량을 더욱 고도화 • 제휴 서비스 제공자에 대해 강력한 협상력을 확보함으로써 최적의 서비스를 지속적으로 제공

1) 자율주행 시스템이 안전하게 작동하도록 설계된 특정 조건(도로 유형, 기후, 속도 등)

출처: PwC

나아가 자율주행 서비스의 광범위한 도입과 확산을 위해서는 공공 및 민간 간의 협력이 필수적입니다. 기술 개발과 상용화 등 민간 주도의 이니셔티브 외에도 정부, 지방자치단체 및 국제기구가 자율주행 관련 법적 체계와 표준을 마련하는 데 기여해야 합니다. 동시에 사용자 수용 측면에서 공공의 신뢰를 구축하고 서비스가 이용자 요구에 부합하도록 조정하는 노력 역시 중요합니다.

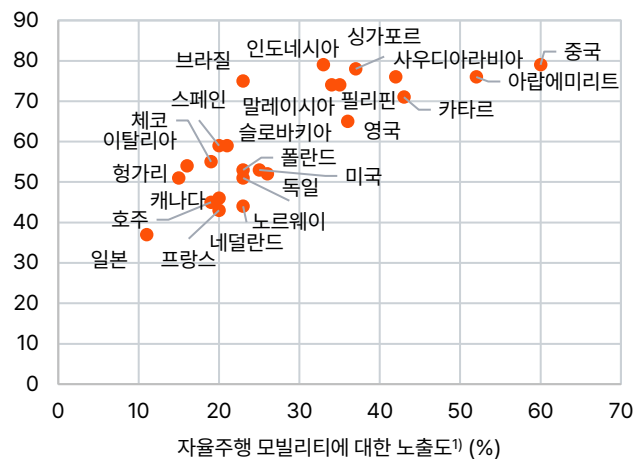
자율주행의 핵심 요소 ② 사용자 수용

자율주행 모빌리티 노출도와 비례하는 수용도

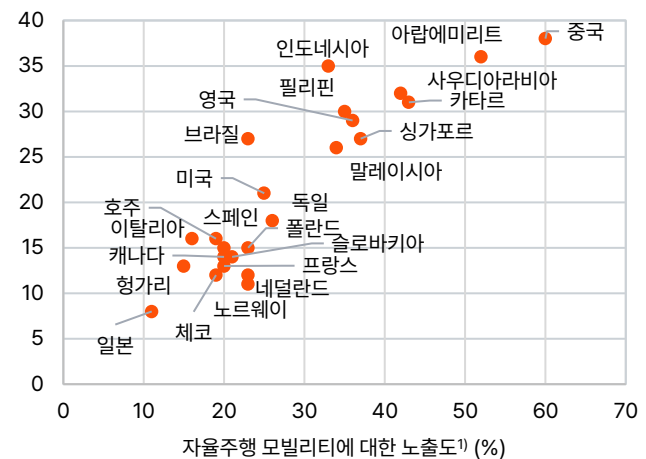
자율주행 차량 노출 정도와 자율주행 대중교통 이용 의향 및 프리미엄 지불 의사 사이에는 상관관계가 있습니다. 중국처럼 실제 운행 경험이 많은 국가는 더 개방적이며, 심지어 사람이 보조하는 자율주행 서비스보다 완전 무인 자율주행 서비스에 추가 비용을 지불할 의향이 더 높습니다. 이는 직접적인 체험이 긍정적 태도 형성과 소비자 신뢰 증진에 기여할 수 있음을 시사합니다.

자율주행 모빌리티 노출이 높은 국가들의 트렌드

자율주행 대중교통을 이용할 의향이 있는 비율(%)



자율주행 대중교통에 더 많은 비용을 지불할 의향이 있는 비율(%)²⁾



1) 자율주행 대중교통을 이용해본 경험이 있는 사람들의 비율

2) 사람이 보조하는 자율주행 대중교통 대비

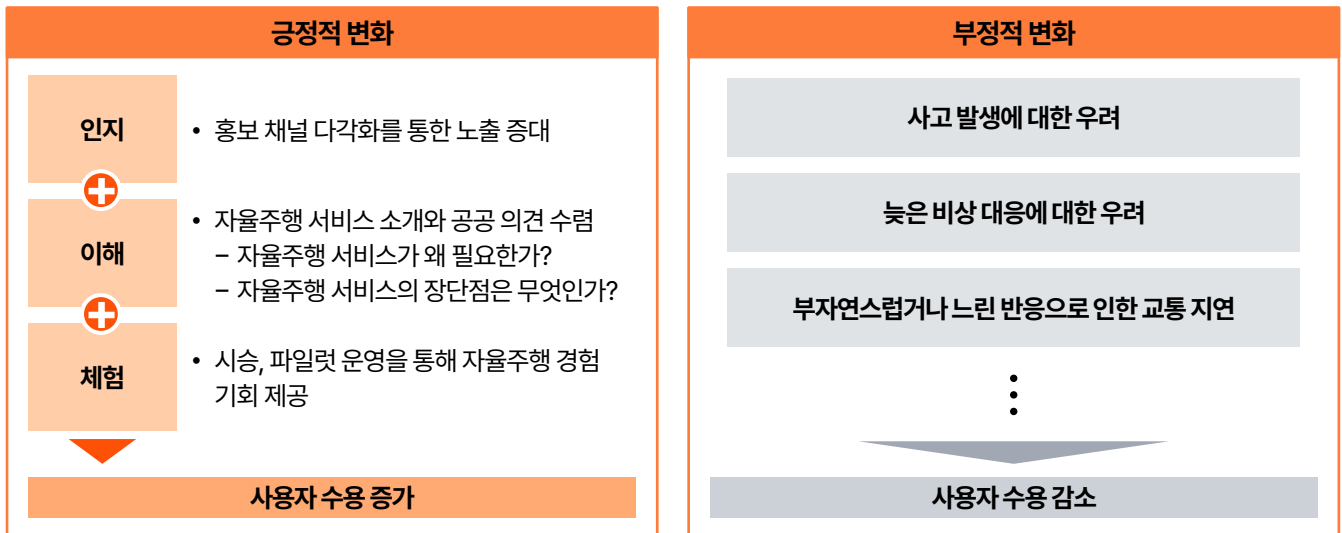
출처: PwC

자율주행의 도입과 사용자 수용 간의 균형 있는 발전

사용자 수용이 낮은 상태에서 자율주행 기술을 도입하면, 대중들의 불만으로 인한 기물 파손, 심각한 사고로 인한 서비스 중단 및 철수 등 큰 위험이 발생할 수 있습니다. 따라서 사용자 수용 확보는 도입 확대의 필수 조건입니다.

사용자 수용을 높이기 위해서는 자율주행이 널리 인식되고, 미래 사용자가 서비스를 이해하며 직접 체험하는 것이 중요합니다. 이를 통해 사용자는 자율주행이 제공하는 혜택에 공감할 수 있습니다. 사용자 수용도가 변화하는 동기는 다음과 같습니다.

사용자 수용의 변화 동기



출처: PwC

자율주행의 안전성

교통사고 원인의 약 90%가 인간의 오류라는 점은 널리 알려져 있으며, 자율주행은 이러한 사고 감소에 기여할 것으로 기대됩니다. 최근 AI 센서 등의 발전으로 다양한 환경에서 안전한 운전이 가능해졌습니다. 자율주행 차량과 ADAS를 장착한 인간 운전자 차량 간 보험 청구 데이터를 비교한 연구에 따르면, 자율주행 차량은 인간 운전자 차량 대비 재산 피해 청구는 88%, 인명 피해 청구는 92%가 감소하였습니다. 이는 기술 수준이 진전되고 있음을 시사합니다.

자율주행을 통한 사고의 감소

자율주행 차량의 안전성에 대한 여러 기관의 의견

“자율주행 차량은 새벽이나 일몰 등 특정 상황에서 사고율이 더 높게 나타나는 경우도 있으나, 많은 경우 인간의 운전 보다 안전”
- 미국 센트럴 플로리다 대학교

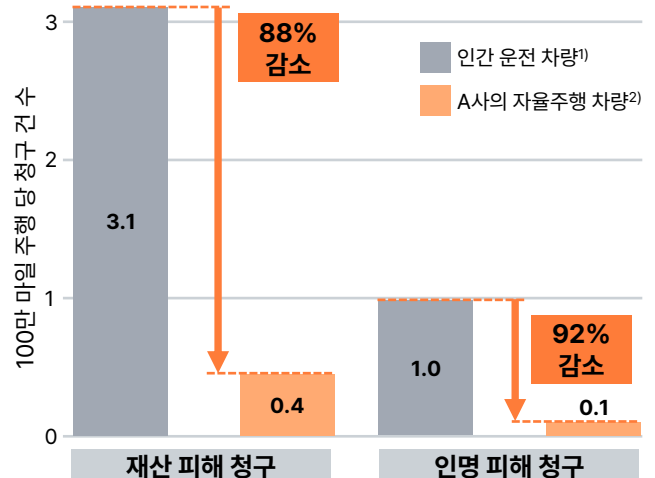
“2018년에 발생한 사망 및 부상 사고의 89.5%는 자율주행 기능을 100% 갖춘 차량이었으면 예방했을 것으로 추정”
- 일본 국토교통성

“미국에서 2005년 7월부터 2007년 12월까지 발생한 도로 교통사고 데이터 분석 결과, 사고 원인의 94%는 인간의 오류”
- 미국 NHTSA

“수백만 건 이상의 자율주행 택시 운행을 분석한 결과, 실제 사고율은 인간 운전자 대비 1/14 수준”
- 자율주행 시스템 개발 기업 CEO

출처: Waymo

인간 운전자와 자율주행 차량의 보상 청구율 비교



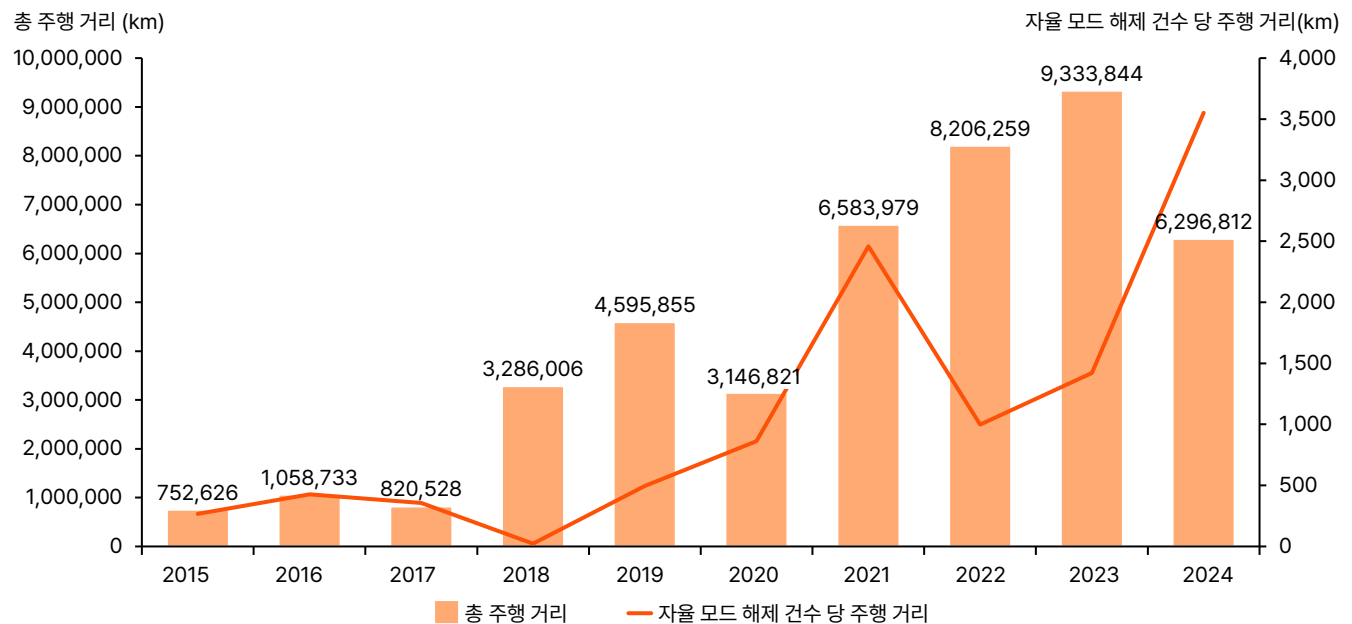
- 1) 스위스 재보험사 B사에 대한 피해 청구 데이터 기반 산출
- 2) 미국 자율주행 기술 개발사 A사가 운영하는 차량의 실제 피해 청구 데이터 기반 산출

자율주행의 핵심 요소 ③ 기술

자율주행 기술, 특히 센서, AI 등의 급속한 발전으로 자율주행 상용화는 가속화되고 있으며, 실제 운행 능력도 확대되고 있습니다. 미국 정부 기관에서 공개한 주행 기록 데이터에 따르면, 자율주행 차량의 총 주행 거리가 증가하고 있어 자율주행 기술이 매년 발전하고 있음을 알 수 있습니다.

한편, 전체적인 기술 진행 상황을 평가하는 지표로는 주로 '총 주행 거리'와 '자율 모드 해제 건수 당 주행 거리'가 사용됩니다. 미국 캘리포니아에서는 두 지표 모두 점진적인 상승 추세를 보이고 있습니다. 이는 여러 기업의 기술이 성숙하고 광범위한 사회적 도입을 향해 나아가고 있음을 시사합니다.

자율주행 차량 운행 현황



* 캘리포니아내 일부 운영자의 보고를 기반으로 작성
출처: DMV(캘리포니아 차량 관리국), PwC

주요 기술의 발전

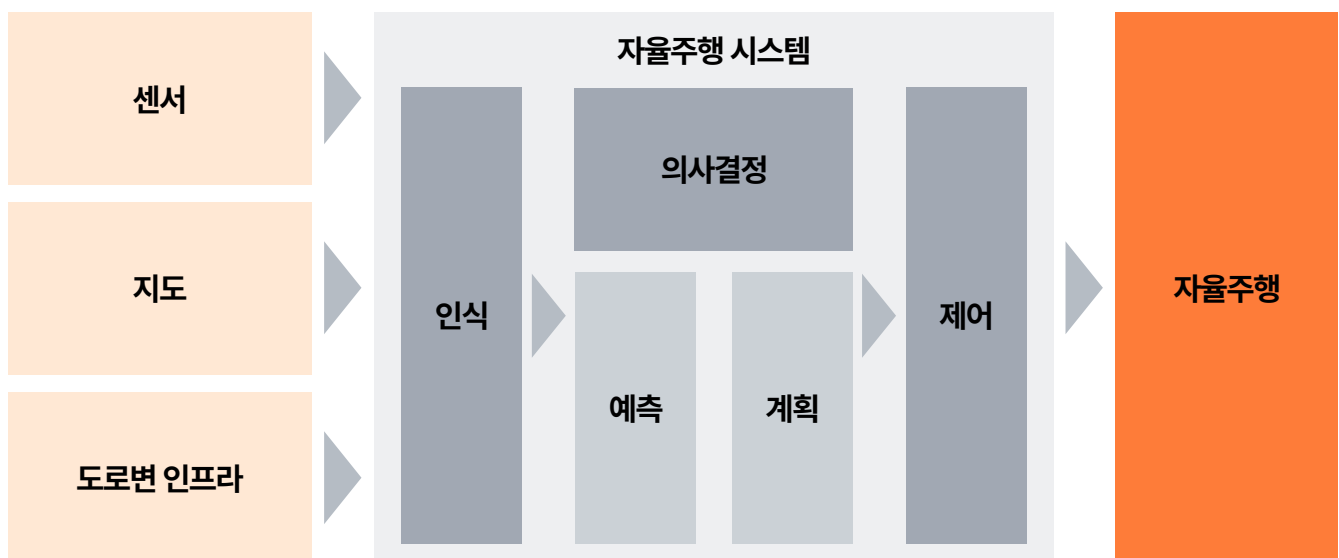
차량 내 센서가 더욱 저렴해짐에 따라, 엔드 투 엔드(End-to-end, 이하 E2E) 모델과 같은 새로운 AI 기반 자율주행 시스템이 등장하고 있습니다. 이러한 저렴하면서 고성능의 센서와 E2E 시스템은 자율주행의 진화를 가속화하고 있습니다. E2E 시스템이 상용화되면 ODD의 확장, 개발 시간 단축, 서비스 수준 향상, 비용 절감에 기여할 것입니다.

자율주행 기술은 인식, 의사결정, 제어와 같은 핵심 작업을 대체하여 인간의 운전 과정을 모방합니다. 인식은 차량 내 센서(예: 카메라, 라이다(LiDAR), 레이더), 도로변 인프라(예: 신호등, 감시 카메라), 고해상도 3D 지도에서 데이터를 수집하는 것을 포함합니다. 의사결정 단계에서는 인식한 데이터를 활용해 환경 변화를 예측하고 주행 계획을 생성합니다. 제어는 차량의 주행 및 조향 시스템에 명령을 내려 이 계획을 실행하는 작업입니다. 자율주행 시스템에서는 이러한 작업들을 설계하여 전체적인 안전성을 강화합니다.

센서는 최근 몇 년간 탐지 능력이 크게 향상되었으며, 동시에 비용은 꾸준히 감소하고 있습니다. 이러한 추세는 지속될 것으로 예상되어 성능 향상과 차량 가격 인하에 기여할 것입니다.

지도는 레벨 2 자율주행에서는 고해상도 3D 지도를 사용하지 않는 내비게이트 온 오토파일럿(Navigate on Autopilot, 이하 NOA)의 구현이 진행 중입니다. NOA는 차량 내 내비게이션 시스템에 목적지를 설정하면 자율주행 기능을 활성화합니다. 이 기술은 센서와 표준 내비게이션 지도 정보를 활용하여 자율주행을 수행하므로 다양한 환경에서 자율주행 범위를 넓힐 수 있습니다. 중국은 현재 NOA 도입을 선도하고 있으며, 여러 완성차 제조사가 레벨 2+, 2++ 등급으로 NOA 장착 차량을 출시하고 있습니다.

자율주행 시스템의 기술 구성 요소



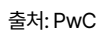
출처: PwC

센서별 기술 개발 특징과 활용 사례

	라이다	카메라	레이더
	빛을 반사하여 물체의 형상 파악	주변의 빛을 활용해 환경을 이미지 형태로 인식	전파를 반사해 물체까지의 거리 측정
기술적 특징	<ul style="list-style-type: none"> 고해상도, 고정밀 3D 센싱 모델과 성능, 가격 균형을 맞춘 저가 대량 생산 모델로 시장 양극화 	<ul style="list-style-type: none"> 인식 거리 및 야간 감지 성능이 강화되어 ODD 확장, 자율주행 서비스 고도화 SDV(소프트웨어 중심 차량) 및 중앙집중식 아키텍처를 지원하기 위해, 이미지 처리를 카메라에서 중앙 ECU(전자 제어 장치)로 이전하는 제품 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 더 긴 탐지거리, 넓은 시야각, 더 높은 각 해상도 등 물체 인식 정확도 향상을 중심으로 개발 진행 중 레벨 3 이상을 중심으로 동적, 3차원 물체 인식이 가능한 고해상도 4D 이미징 레이더 개발이 활발
활용 사례	<ul style="list-style-type: none"> 레벨 2+, 2++ 확산에 따라 승용 차량에서 라이다 채택이 증가하며, 내구성, 신뢰성, 비용 효율을 고려해 솔리드 스테이트 라이다를 주로 선택 과거 레벨 3+ 차량에서는 로테이팅 라이다가 일반적이었으나, 최근에는 높은 신뢰성과 단순한 구조로 솔리드 스테이트 라이다 선호 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 현재 레벨 2+, 2++ 차량도 최소 10개 이상의 카메라를 탑재하는 것이 일반적 반면 레벨 3+ 차량은 대량 생산과 사회적 도입을 맞아 여러 카메라를 단일 모듈로 통합하는 설계 확산 	<ul style="list-style-type: none"> 4D 이미징 레이더는 고급 차량을 중심으로 도입 확산 중

출처: PwC

규칙 기반 시스템과 E2E 방식 시스템의 구성 비교

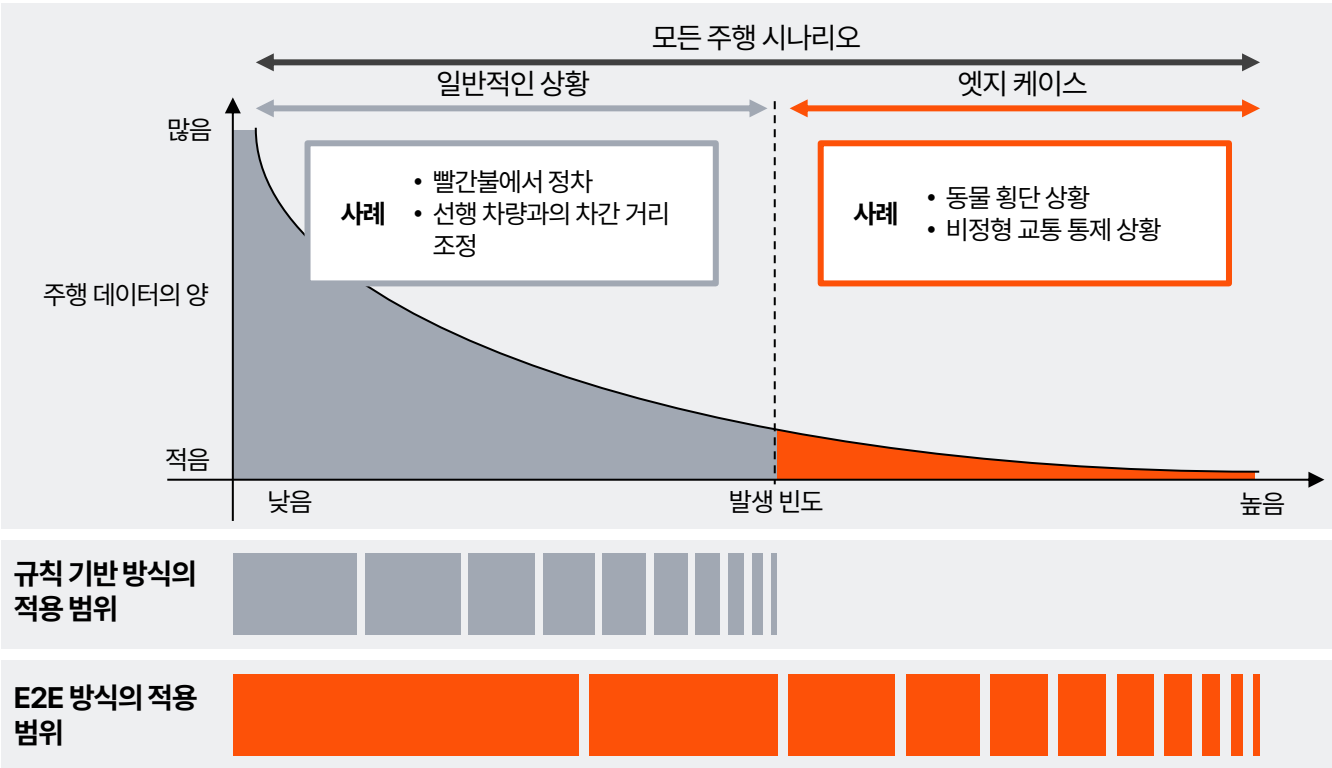


기술의 결합을 통한 안전성 향상

자율주행 시스템은 빠르게 진화하여 차량은 매년 더 많은 거리를 주행하고 인간 개입은 더욱 줄고 있습니다. 이러한 발전은 고성능 센서, 규칙 기반 알고리즘, AI 기반 E2E 모델 등 다양한 기술로 가능합니다. 이러한 기술은 복잡한 환경에서 인지, 판단, 행동하는 시스템을 지원합니다. 센서 데이터와 규칙 기반 논리 및 AI 학습을 결합하는 등 여러 접근법을 통합함으로써 개발자는 다층적 안전장치를 갖춘 시스템을 구축할 수 있습니다. 이를 통해 한 방법이 실패하거나 엣지 케이스에 직면했을 때 다른 방법이 보완하여 전체적인 안전성과 신뢰성을 높입니다.

생성형 AI 기반 E2E 시스템은 예측 불가능한 상황에서 유연한 대응 능력과 적응성을 제공하지만, 안전성 검증과 에너지 효율성 측면에서 여전히 과제를 안고 있습니다. 반면, 규칙 기반 시스템은 예측 가능한 운전 작업에 안정적인 기반을 제공하며 AI 모델 학습의 기준점 역할을 할 수 있습니다. 두 접근법을 동시에 활용함으로써 자율주행 플랫폼의 학습 속도를 높이고 개발 시간을 단축하며, 다양한 조건에 대응할 수 있습니다. 이러한 하이브리드 방식은 장애 허용(Fault Tolerance, 일부 결함이나 고장이 발생해도 안전하게 작동하게 하는 능력) 체계를 강화하는 동시에, 서비스의 신뢰도를 높여 사용자 수용도를 제고합니다.

주행 시나리오별 비교



출처: PwC

자율주행의 핵심 요소 ④ 표준 및 규제

2015년부터 유엔 유럽경제위원회(UNECE) 산하의 WP29(자동차 국제 안전기준과 규격 및 성능을 통일화하기 위한 국제회의)는 자율주행에 관한 전문가 회의를 개최하며 국제 표준 수립을 논의해왔습니다. 레벨 2에 대한 국제 표준은 2017년에, 레벨 3은 2020년에 제정되었습니다. 2025년 4월, WP29는 레벨 4에 적용되는 '자율주행 시스템 안전 지침'에 합의했으며, 2026년 6월까지 레벨 3 이상에 대한 국제 표준을 공식화할 계획입니다. 향후 각 지역에서 이러한 국제 표준을 반영한 법률과 규제가 제정될 가능성이 매우 높습니다. 이러한 법적 틀과 표준이 개발 및 서비스 도입 기반을 제공함에 따라, 관련 규제가 먼저 마련된 시장에서 실행이 더욱 신속히 진행될 것입니다.

국제 표준의 발전 과정

레벨 2	2015년	• WP29 내 자율주행 전문가 그룹 결성
	2017년	• 차선 유지 보조 기능(레벨 2)에 대한 국제 표준 승인
	2019년	• 차선 변경 보조 기능(레벨 2)에 대한 국제 표준 승인
레벨 3	2020년	• 차선 유지 보조 시스템(레벨 3)에 대한 국제 표준 UN-R157 제정
	2021년	• UN-R157 개정(적용 범위를 중·대형 서비스 차량으로 확대)
	2022년	• UN-R157 개정(최대 속도 한도 상향 및 차선 변경 기능 추가)
	2024년	• 자율주행 시스템의 안전 성능 요구사항 및 평가 방법에 대한 안전 가이드라인을 WP29에서 합의
	2026년 6월	• 레벨 3 이상 자율주행을 위한 국제 표준 제정 예정

출처: PwC

선도 국가에서는 레벨 4 자율주행 인증과 관련된 규제가 마련되고 있습니다. 자율주행과 관련된 비정상적 사례에 대해 선도 기업들은 문제점을 적극적으로 파악하고 관련 당국과 긴밀히 협력하고 있습니다. 보다 안전한 자율주행 서비스를 실현하기 위해 기업과 당국이 함께 준비를 진행하는 것이 중요합니다. 국제 표준이 계속 형성되는 가운데 법적 및 규제적 틀은 국가별로 상이합니다.

- **안전성 평가**

- 미국: 제조사가 FMVSS(미국 연방 자동차 안전 표준) 준수를 자체 인증
- 중국: CATRAC(중국자동차기술연구센터), CQC(중국품질인증) 등 국가 지정 제3자 기관이 관련 표준 및 기술 요구 사항의 충족 여부 검사
- 독일: KBA(독일연방자동차청)가 기술 요구 사항을 검토하고 승인 발급
- 일본: 국토교통성이 차량의 규제 준수 여부를 검사하고 승인 발급

- **공용 도로 운행 허가**

- 미국: 주 정부 차량 관리국에서 허가 발급(예: 캘리포니아는 사전 도로 테스트와 안전 보증 방법 제출 요구)
- 중국: 각 도시에서 허가 발급(예: 베이징은 지정 구역 내에서 240 시간 이상 또는 1,000km 이상의 파일럿 테스트 요구)
- 독일: 지방자치단체에서 허가 발급. 차량이 형식 승인을 받은 경우, 운행 지역 관할 자치단체가 허가 발급
- 일본: 도로교통법 준수 여부를 검사하고 승인하는 공공안전위원회가 허가 발급

- **허가 후 모니터링 및 허가 취소**

- 미국: 주 법률에 의해 관리됨. 캘리포니아에서는 제조사가 정기적으로 운전 기록과 사고 데이터를 보고해야 하며, 법 위반이나 안전 위험 시 허가 정지 또는 취소
- 중국: 제조사는 실시간 운행 데이터를 시 규제 당국과 공유해야 하며, 위험이 발견되면 시정 조치 요구
- 독일: KBA가 승인 차량을 정기적으로 모니터링
- 일본: 법률 또는 규제 위반 사례가 있는 경우 공공안전위원회가 면허 정지 또는 취소

국가별 규제 동향

	미국 	중국 	독일 	일본 
차량의 안전성 평가	• 제조사의 자체 인증	• 국가 표준에 따라 기술 요구사항 및 안전 인증	• 정부의 승인	• 정부의 승인
공용 도로 운행 허가	• 주 정부 차량 관리국	• 공안부	• 지방자치단체	• 공공안전위원회
허가 후 모니터링	• 주행 성능, 사고 정보 등 정기 보고 (캘리포니아)	• 규제 당국에 정기 보고 제출 의무	• KBA가 정기 모니터링	• 보고 의무 없음
허가 정지 및 취소	• 주 차량 관리국이 법률 위반 및 위험 판단 시 허가 정지, 취소 가능	• 교통 위반, 안전상 위험 및 사회적 영향이 큰 경우 공안부가 허가 정지, 취소 가능	• 법률 위반 또는 인명 피해 위험성 판단 시, 허가 취소 가능	• 법률 위반 등 발생시, 공공안전위원회가 허가 정지, 취소 가능

	스위스 	노르웨이 	UAE 	사우디 아라비아 
차량의 안전성 평가	• 국제 표준에 기반한 승인 (UNECE, EU)	• NPRA(공공도로청)의 승인	• RTA(도로교통청)의 기술 시험 통과	• SASO(사우디 아라비아표준청) 인증
공용 도로 운행 허가	• 주(칸톤) 단위 노선별 허가	• NPRA	• RTA의 별도 특수 허가	• TGA 감독 하의 규제샌드박스
허가 후 모니터링	• AFV 규정에 따라 스위스 기반의 운영자가 감독, 보고	• 테스트 기록, 안전성 평가 정기 보고 의무	• RTA가 정기 성능 평가, 보고 및 점검 요구 가능	• 규제 기관과 파일럿 데이터 공유, 상용화 전환 절차는 미정의
허가 정지 및 취소	• 안전 및 규제 문제 발생시 주 정부가 허가 정지, 취소 가능	• 법률 위반 및 안전상 위험 발생시 NPRA가 허가 취소 가능	• 표준 미준수 시 허가 취소 가능	• 샌드박스 요건 미충족시 허가 취소 가능

출처: PwC

나가며

자율주행 모빌리티의 성공은 상호 연결된 네 가지 축, 즉 상용화, 사용자 수용, 기술, 표준 및 규제의 진전에 달려 있습니다. 각 축은 공급과 수요에 의해 뒷받침되며, 비용 절감, 확장된 운영 영역, 공공-민간 협력과 같은 촉진 요인에 의해 가속화됩니다. 이 요소들을 함께 해결할 때만 자율주행 모빌리티는 안전하고 확장 가능하며 지속 가능하게 도입될 수 있습니다.

이해관계자별 Key Actions

완성차 제조사 (OEM)	<ul style="list-style-type: none">• 확장 가능한 ADAS 및 전자식 플랫폼에 투자• 견고한 AI 시스템을 위해 기술 파트너와 협력• 조기 도입을 통해 운영(서비스, 유지보수, 사용 사례) 전문성 확장
기술 파트너	<ul style="list-style-type: none">• 상호 운용 가능하고 안전한 AI 시스템 확보• E2E 자율주행 모델 개발 가속화• 안전성과 효율성을 위한 개방형 표준 및 데이터 공유 지원• OEM과의 협력 체계 강화
교통 서비스 운영사	<ul style="list-style-type: none">• 자율주행 차량과 기존 대중교통을 결합한 통합 모빌리티 서비스 파일럿 실행• 차량 관리 및 원격 모니터링 역량 고도화• 인력 부족 해결 및 지속 가능한 서비스를 위해 지방 정부와 협력
중앙 정부	<ul style="list-style-type: none">• 국제 표준(WP29 레벨 4 가이드라인 등)에 부합하도록 규제 정비• 파일럿 프로그램 및 인프라에 대한 자금과 인센티브 제공• 혁신과 사용자 수용 촉진을 위한 공공-민간 파트너십 장려
지방 정부	<ul style="list-style-type: none">• 파일럿 프로그램 및 대중 참여 이니셔티브 지원• 허가 발급을 신속히 처리하고 국가-지역 규제 간 불일치 축소• 자율주행 모빌리티에 대한 대중 인식, 교육 및 직접 경험 증진

출처: PwC

자율주행 모빌리티의 잠재력을 완전히 실현하려면 생태계 내 모든 참여자의 협력이 필요합니다. 완성차 제조사, 기술 파트너, 교통 서비스 운영사, 정부 당국은 각각 고유한 전문성과 자원을 보유하고 있지만, 비용, 규제, 대중 신뢰와 같은 과제를 극복하기 위해서는 파트너십을 통한 협업이 필수적입니다. 이러한 이해관계자들이 데이터 공유, 표준의 조화, 신규 서비스 파일럿 및 대중 참여를 통해 협력할 때 안전하고 확장 가능하며 지속 가능한 자율주행 모빌리티의 기반이 마련됩니다. 협력을 수용하고 운영 역량에 투자하며 대중 신뢰를 우선시함으로써 이해관계자는 파일럿 단계에서 광범위하고 지속 가능한 도입으로의 전환을 가속화할 수 있습니다. 복잡한 여정이지만, 비전을 공유하고 행동에 나선다면 자율주행 모빌리티는 보다 안전하고 효율적이며 접근 가능한 교통수단이 될 것입니다.

Contacts

문 홍 기 Partner

hong-ki.moon@pwc.com

02-709-0394

백 종 문 Partner

jong-moon.baek@pwc.com

02-3781-3476

김 정 연 Partner

jungyoun.k.kim@pwc.com

02-709-2295



S/N: 2512C-RP-147

© 2025 PwC Consulting. All rights reserved. PwC refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity. Please see www.pwc.com/structure for further details.

Disclaimer: This content is for general purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.