
Global Report

자율버스 및 택시 도입을 통한 교통시스템의 잠재적 이점

1. 개요
2. 가정
3. 방법론_차량자동화와 택시비용 및
요금, 자가용 승용차 이용비용
4. 결과_차량자동화와 비용 및 운임
5. 결론

1. 개요

자율주행자동차(AVs : Autonomous vehicles)에 대한 급속한 기술개발이 진행되고 있다. 예를 들어, SAE(Society of Automotive Engineers : 자동차엔지니어협회)의 Autonomy Level(자율주행 수준) 1(운전 지원), Autonomy Level 2(부분자동화) 기술이 전 세계 신차시장에서 점점 더 보편화되고 있다. 특히 "교통 체증 파일럿(Traffic Jam Pilot)"이라고 하는 자율주행 수준 3(조건부 자동화)는 독일의 아우디(Audi)에서 본격적으로 대량 생산하기 시작했다[1][2]. 레벨 3 자율주행시스템은 제한된 공간이나 특별한 상황에서 주행환경을 모니터링 할 수 있지만, 시스템이 작업을 실행할 수 없을 때 탑승한 운전자가 차량 제어를 수행해야 하는 단점이 있다. 자율수준 4 또는 5 기술을 보유한 차량이나 완전 자율주행시스템을 보유한 차량은 2025년까지 전 세계 승용차 판매량의 2%, 2030년까지 3.8%에 이를 것으로 예상된다. 상용차량 사업자는 가정이나 개별 소비자보다 초기 단계의 높은 기술비용을 더 잘 감당 할 수 있기 때문에 완전한 자율주행시스템의 초기 사용주체가 될 것으로 예상된다. 이 기간 동안 자율버스 및 택시와 같은 AV 모빌리티 서비스를 도입하면 다음과 같이 두 가지 방법으로 대도시 교통시스템에 혜택을 줄 수 있을 것이다.

■ 첫 번째

- 버스과 택시 산업의 노동 생산성을 향상시킬 수 있을 것이다.
- 이 기술은 노동집약적인 비용구조에 직접적인 영향을 미치기 때문에 이러한 사업운영자는 AV 기술을 도입하여 비용을 절감 할 수 있을 것이다.
- 특히 일본지역 주요 대도시지역(MAs)과 농촌지역의 버스사업자는 평균 운영적자가 13.3%이며, 재정 지속가능성이 매우 미약한 것으로 나타났다.
- 한 가지 주의할 점은 AV가 근로자에 미치는 영향은 국가별로 다를 것이라는 것이다. 일본의 경우 버스과 택시 사업자가 인력감소로 인해 운전자부족으로 어려움을 겪고 있으며, AV는 이러한 부족현상을 보완하는 데 도움이 될 수 있을 것이다.
- 반면, AV가 특정 부문의 일자리를 줄이게 되면, 영향을 받는 근로자에 대한 정책조치를 완화해야 할 것이다.

■ 두 번째

- 이는 수도권 주민들에게도 혜택을 줄 수 있을 것이다.
- 차량자동화로 인한 버스 및 택시 운행비용의 감소는 요금감소로 이어질 수 있을 것이다.
- 택시의 대기시간을 단축할 수 있을 뿐만 아니라 버스 운행간격 단축 및 더 큰 노선 망으로 더 자주 이용 가능하게 될 것이며, 결국 대중교통 접근성을 향상시킬 수 있을 것이다.
- 자율주행버스와 택시의 도입이 수도권 교통시스템에 어떤 영향을 미칠 수 있는지를 먼저 논의하는 것이 필요하다.
- AV를 통한 대중교통 접근성 향상은 증가하는 고령인구, 특히 일본의 도시와 농촌지역에서 운전할 수 없는 사람들에게 대한 해결의 척도가 될 것이다.

2. 가정

이 연구에서는 i)차량 취득비용 증가, ii)버스 및 택시업계의 운전자에 대한 운전 및 안전 모니터링 관련 인건비 감소, iii)자가용 승용차 사용자의 운전스트레스 감소 등을 AV의 주요 기술부문에 대한 영향으로 가정한다. 이를 통해 관련 기술과 가정에 대한 분석결과를 명시하고자 한다. 본 연구에서 적용된 특정한 가정들을 <표 1>에 나타낸다.

<표 1> 기술수준 영향에 대한 가정

기술 수준 영향 및 이익 마진	교통수단 별 가정			노트/소스
	택시	버스	자가용 승용차	-
자동차 취득비용	+40%	±0%	+40%	자율주행시스템 추가 (Wadud, 2017).
운전 및 안전 모니터링에 대한 인건비	$-(1-1/x) \times 100\%$ 예, -40% ($x=1.66$) 및 -100%($x=\infty$).	-	-	- x는 원격작업자 당 차량 수 - 원격모니터링/제어 시스템 및 통신비용은 km당 3.4JPY으로 가정(Keeney, 2018)
이윤폭	3%			- 운행수익에 대한 운임비율 버스:94~95%, 택시:100%로 가정 (Steck 외, 2018)
운전피로도(VTTS)	-	-30%	-	-

* 자료 : Ryosuke Abe, "Introducing autonomous buses and taxis: Quantifying the potential benefits in Japanese transportation systems", Transportation Research Part A 126 (2019) 94-113, P.96.

■ 자동차 취득 비용 증가

- 자율수준 4 또는 5 기술을 보유한 자율주행 시스템이 장착된 차량 구입비용은 기존 차량에 비해 40% 인상될 것으로 추정된다.
- 이는 2017년 Wadud가 제시한 보수적인 추정치와 이 연구에서 고려된 일반적인 자동차의 가격을 따른 것이다.
- 차량자동화를 장착한 차량의 보험비용은 AV 차량의 높은 가치로 인한 상승분과 안전성 증가에 따른 잠재적 감소분이 서로 상쇄되어 보험비용은 기존 일반차량과 동일하게 유지될 것으로 가정한다.

■ 운전 및 안전 모니터링을 위한 인건비절감

- 이러한 가정은 현재 수준에 따라 추정할 때 자율버스 및 택시 운영비용의 추정결과에 상당한 영향을 미칠 수 있으며, 이를 위해서는 추가적인 상세검토가 필요하다.
- 일본의 운전자급여는 현재 택시 서비스 운영비용의 70%와 버스서비스의 53%를 구성하고 있다.

이 연구에서는 자율 버스 및 택시 모니터링 방법을 두 가지 개념유형으로 분류한다.

- 첫째, "원격 운전자 기반 모니터링"에는 각 차량에 승객만 탑승하며, 원격운전자가 다른 위치에서 차량의 작동을 시각적으로 모니터링 한다. 비상상황 발생 시 원격운전자는 차량을 직접 정지시킬 수 있다.
- 둘째, "원격시스템 기반 모니터링"에는 각 차량에 승객만 탑승하지만, 컴퓨터 시스템이 차량의 작동을 모니터링 한다. 시스템이 비상사태를 감지하게 되면 원격작업자가 차량을 통제하여 정지시킨다.

3. 방법론_차량자동화와 택시비용 및 요금, 자가용 승용차 이용비용

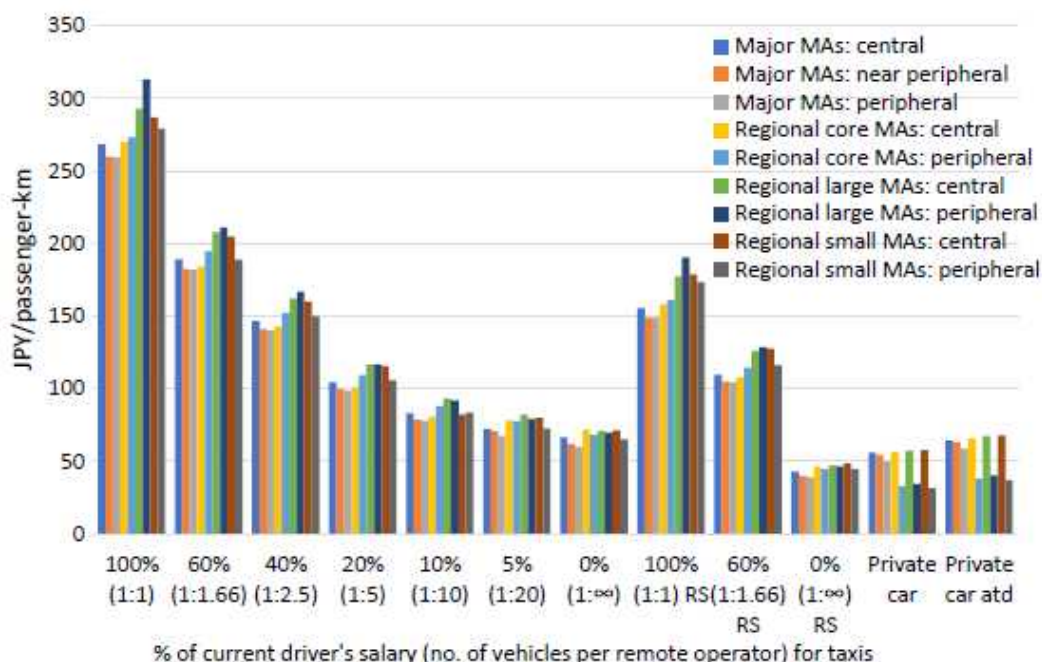
택시 운영비용은 2018년 Bosch 등이 제시한 방법으로 계산되며, 선택한 승용차에 대해 다른 운영패턴을 설정하여 승차공유와 관계없이 택시의 운영비용을 동시에 계산할 수 있다. 이 방법의 택시 운영비용은 다음과 같이 계산된다.

- 자동차 취득, 연간 소유 및 운영비용을 포함한 차량 비용
- 작동 패턴
- 운전자의 급여, 차량 수명 및 이자율 등

이를 계산하기 위해서는 i) 차량비용(이 연구에서는 Toyota의 Prius 차량) 및 모든 도시에서 택시와 자가용 승용차 사용비용, ii) 도시 카테고리(주차비용, 택시보험료, 운전기사 급여 등)에 따른 요구사항, iii) 각 도시 카테고리의 운영패턴 등에 대한 데이터가 필요하다. 이 연구에서는 일본에서의 승차 공유 택시에 대한 운영비용을 설명하는데, 이러한 승차공유 택시는 승차공유를 금지하는 택시보다 점유율이 높으며, 이는 일본에서의 승차공유 택시의 가용한 정보부족으로 기인하는 결과로 볼 수 있다. 일본은 특정 시골지역을 제외한 대부분의 지역에서 관련 없는 승객들의 택시에 대한 승차공유를 금지하고 있다.

4. 결과_차량자동화에 따른 비용 및 운임

[그림 1]은 일본 도시에서 차량자동화에 따른 택시 및 자가용 승용차 이용비용에 대한 계산결과를 나타낸 것이다. 이는 현재 택시 운영비용이 대도시 지역에서 상대적으로 저렴하다는 것을 보여 주고 있는데, 이는 택시차량의 운행시간이 더 많기 때문인 것을 알 수 있다. 이로서 택시보험 비용, 주차비용 및 운전자의 급여 등이 상대적으로 저렴한 이유가 설명된다.



※ atd=autonomous; RS=ride-sharing. USD 1=JPY 110(March 2019).

* 자료 : Ryosuke Abe, "Introducing autonomous buses and taxis: Quantifying the potential benefits in Japanese transportation systems", Transportation Research Part A 126 (2019) 94-113, P.100.

[그림 1] 차량자동화와 무관한 택시 및 자가용 승용차의 차량 이용비용

<표 2>는 차량 공유에 따른 택시 운영비용이 차량자동화의 과도기(1:1.66)에서는 29~33%, 최종시점에서는 71~78% 감소할 수 있음을 알 수 있다. 또한 자율주행 택시 운영비용(승차공유가 없는 운전자의 경우)에서 운전자의 급여가 감소한다는 가정에 대한 변동성 영향을 테스트하기 위해 민감도검사를 실시하였다. 그 결과, 원격작업자가 관리할 수 있는 차량 수를 두 배로 늘리면 이러한 비용을 줄일 수 있음을 확인하였다. 그러나 이러한 영향은 차량 수가 증가할수록 작아지는데, 예를 들어 1:20(원격 운전자가

관리하는 차량이 20대)의 경우 최종 케이스로 전환하는 동안 차량 수가 증가함으로 인한 비용 절감 영향은 상대적으로 작게 나타나고 있음을 확인하였다.

<표 2> 차량자동화로 인한 택시 및 자가용 승용차 이용비용의 변화율

도시구분	택시 운전기사의 급여(현재 급여 대비 퍼센트)								승용차 이용율
	빈 택시						승객승차 시		-
	60% (1:1.66)	40% (1.2.5)	20% (1.5)	10% (1:10)	5% (1:20)	0% (1:∞)	60% (1:1.66)	0% (1:∞)	
Major MAs: 중앙	-30%	-45%	-61%	-69%	-73%	-75%	-30%	-72%	+15%
Major MAs: 주변 부근	-30%	-46%	-62%	-70%	-73%	-76%	-30%	-73%	+16%
Major MAs: peripheral	-30%	-46%	-62%	-70%	-74%	-77%	-30%	-74%	+17%
Regional core MAs: 중앙	-32%	-47%	-63%	-70%	-71%	-73%	-32%	-71%	+16%
Regional core MAs: 주변	-29%	-44%	-60%	-68%	-72%	-75%	-29%	-72%	+17%

* 자료 : Ryosuke Abe, “Introducing autonomous buses and taxis: Quantifying the potential benefits in Japanese transportation systems”, Transportation Research Part A 126 (2019) 94-113, P.100.

5. 결론

이 연구에서는 자율주행버스와 택시도입이 대도시에 미치는 영향에 대한 개요를 제시하였다. 이를 위해 일본에서의 운송비용을 정량화하여 운송시스템과 자율주행 기술에 대한 가정을 설정하였다. 아울러 AV 모빌리티 서비스의 확산이 예상됨에 따라 이러한 서비스가 대도시 교통시스템에 어떤 영향을 미칠 수 있는지, 특히 일본에서의 운송비용을 정량화하여 이에 대한 개요를 제시하였다. 분석에는 동일한 방법과 동종 데이터 집합을 사용하여 다양한 도시 설정, 유형, 모드 및 운송유형뿐만 아니라 수요자 측 관점을 포함하였다. 이 서비스는 아직 도입 초기단계에 있기 때문에 각 구성요소가 운송 수요에 미치는 영향을 이해하는 데 중점을 두는 첫 번째 단계이다. 그 결과, 현재 전체 운송비용에 대한 시간비용의 비중이 적은 대중교통 비용을 차량 자동화를 통해서 상당히 감소할 수 있다는 점을 강조하였다. 예를 들어, 10~20km를 주행하는 경우, 택시이용 비용은 44~61%, 철도와 버스 복합이용의 경우 13~37%, 버스의 경우 6~11%, 버스이용이 필요한 철도의 경우 1~11% 감소할 수 있음을 확인하였다. 이는 자가용 승용차의 운송비용을 11~16 %까지 감소시킬 수 있음을 입증하는 것이다. 택시접근이 용이한 철도와 버스 복합 여행비용 절감은 이동거리가 작거나 역에서 멀리 떨어진 주거장소일 경우 상당히 큰 폭으로 발생할 수 있다. 인구밀도가 낮은 도심지역에서는 버스를 이용하여 환승하는 철도운행 비용이 큰 폭으로 감소할 수 있다. 정확한 정량화된 값은 국가별로 다를 수 있겠지만, 전반적인 추세와 메커니즘은 모든 국가가 공유할 수 있을 것이다. 잠재적인 이점으로, 정해진 노선을 운행하는 대중교통에 대한 차량자동화는 주로 노동생산성 향상 및 보조금감소와 같은 효과로서 대중교통 산업과 정부에 혜택을 줄 수 있을 것으로 예상된다. 또한 비정형 노선을 운행하는 교통 분야에 대한 차량자동화는 대도시 거주자뿐만 아니라 대중교통 산업에도 도움이 될 수 있을 것이다. 결론적으로 자율주행 버스와 택시의 도입은 비용측면에서 커다란 이점을 창출할 것으로 기대된다. 특히 많은 적자를 기록하고 있는 지역버스 운영의 경우 운송비용 절감을 통해 대중교통 접근성을 향상시킬 수 있을 것이다. 이 연구결과는 국내 대도시의 도심에서의 자율주행 자동차 운영을 위한 정책에 벤치마킹 자료로 활용할 수 있을 것이다.

[참고문헌]

[1] Perslow, H., Carlson, J., 2015. ADAS – Current & Future Perspectives. HIS Automotive, Frankfurt.

[2] Paukert, C., 2018. Why the 2019 Audi A8 Won't Get Level 3 Partial Automation in the US. Roadshow, May 14, 2018.

<<https://www.cnet.com/roadshow/news/2019-audi-a8-level-3-traffic-jam-pilot-self-driving-automation-not-for-us>>

<원문제목> Introducing autonomous buses and taxis: Quantifying the potential benefits in Japanese transportation systems

<원문출처> Transportation Research Part A 126 (2019) 94–113