
Global Report

자율주행자동차의 효과를 고려한 미국의 장기 교통정책

1. 개요
2. 방법론
3. kaya 모델링 결과
4. 결론

1. 개요

운송 산업은 이제 경제의 다른 많은 부문과 함께 혼란에 직면하고 있다. Uber와 Zipcar와 같은 플랫폼 및 차량공유(car sharing) 회사는 한 세기 동안 서 있던 차량소유 모델을 위협하고 있다. 전기자동차는 업계에서 가장 빠르게 성장하고 있으며, 현재 미국에서 50개 이상의 모델이 판매되고 있다. 이에 따라 운송 산업은 인간의 조종에서 무인 또는 AVs(Autonomous Vehicles : 자율주행차량)로 빠르게 전환되고 있다. 다양한 의견들이 있지만, 대부분의 전문가들은 AV 기술이 2020년대 중반까지 상용화되고 2030년대에는 일반화될 것이라는 데 동의하고 있다. (Lavasani et al., 2016; Niewenhuijsen, 2015; Arbib and Seba, 2017; U.S. Energy Information Administration, 2017) 이 기술은 개인차량의 이용방식에 획기적인 변화를 일으키고 있다. 많은 연구자들은 EV정착에 대한 예측과, 운송에너지 사용에 대한 광범위한 질문과 함께 경량 전기자동차에 대한 전기사용을 조사했다. 이러한 추정치는 본질적으로 단기적이거나 특정 대도시 지역에서 수행된다. 수도권의 EV 사용예측은 2014년 Gucwa에 의해 제시되었다. 특히 장기 예측 중 섹터를 둘러싼 엄청난 변화는 운송에너지 사용이 정책 또는 계획지침(World Energy)의 방법으로 많은 것을 추출하기 어려운 변화하는 시나리오 접근방식을 야기하기도 한다. (World Energy Council, 2011).

예를 들어, 2014년 Brown, MacKenzie 등은 미국에서 장기적인 에너지사용을 추정하였지만 시나리오에 의해서만 추정한 것이다. BGR의 세 가지 시나리오는 -95%에서 현재 에너지 사용의 +173%까지 장기적인 결과를 제공하고 있다. 맥켄지, 와두드, 레이비의 네 가지 시나리오(MacKenzie, Wadud, and Leiby's four scenarios)는 현재 에너지의 -40%에서 약 +140%까지 약간 작은 범위를 다루고 있다. 2016년 Stevens 등은 가장 넓은 추정치를 도출하면서 부분적으로 상한과 하한을 검색할 수 있게 하였다. 가솔린을 갤런 단위로 표현하는 그들의 시나리오는 연간 휘발유 사용량을 37~3030억 갤런으로 추정하였다. 이러한 연구 중 하나는 전기운송의 전력연구소/천연자원 방위위원회(Electric Power Research Institute/Natural Resources Defense Council)의 환경평가 결과이다. 이 3권의 작업은 2050년 미국에서 450TWh의 LDV(경량자동차)의 전기수요를 예측하기 위한 사례로 활용되고 있다. 또 다른 추정치는 Brattle Group의 최근 전기화보고서에서 나온 것으로, 모든 미국 차량 운송이 전기화될 경우 대략 2100TWh의 전기사용량이 증가할 것으로 추정하였다. 이는 2015년 판매량보다 56% 증가한 수치이다(Weiss 등 2016). 그러나 이러한 연구는 AV 및 차량공유(vehicle sharing)로 인한 중단을 고려하지 않은 것이다. 문헌검토 결과, 우리는 기존의 작업이 많은 정책결정을 안내하기에 너무 넓은 범위를 커버하거나 운송 부문에서 내우 중요한 일부를 무시하는 것을 발견하였으며, 이 연구에서 이러한 격차를 메우고자 한다.

2. 방법론

2.1. kaya ID 프레임워크

운송에너지와 배기가스는 수십 년 동안 자동차 주행모드가 변경되면서 벤치마킹된 잘 확립된 모델을 사용하여 VMT(Vehicle Mounted Terminal : 차량 장착 터미널)를 이용하여 차량의 주행 마일리지를 예측할 수 있었다. 현재의 효율성, 연비규정, 차량구성 및 기술적 변화 등을 분석하여 예측할 수 있는 차량 마일 당 에너지사용량의 VMT를 곱한 것이다. VMT는 감소된 형태의 계량경제학을 이용하여 집계하거나 예측할 수 있다. Kaya ID로 알려진 이러한 관계는 식(1)과 같이 집계형식으로 구할 수 있다:

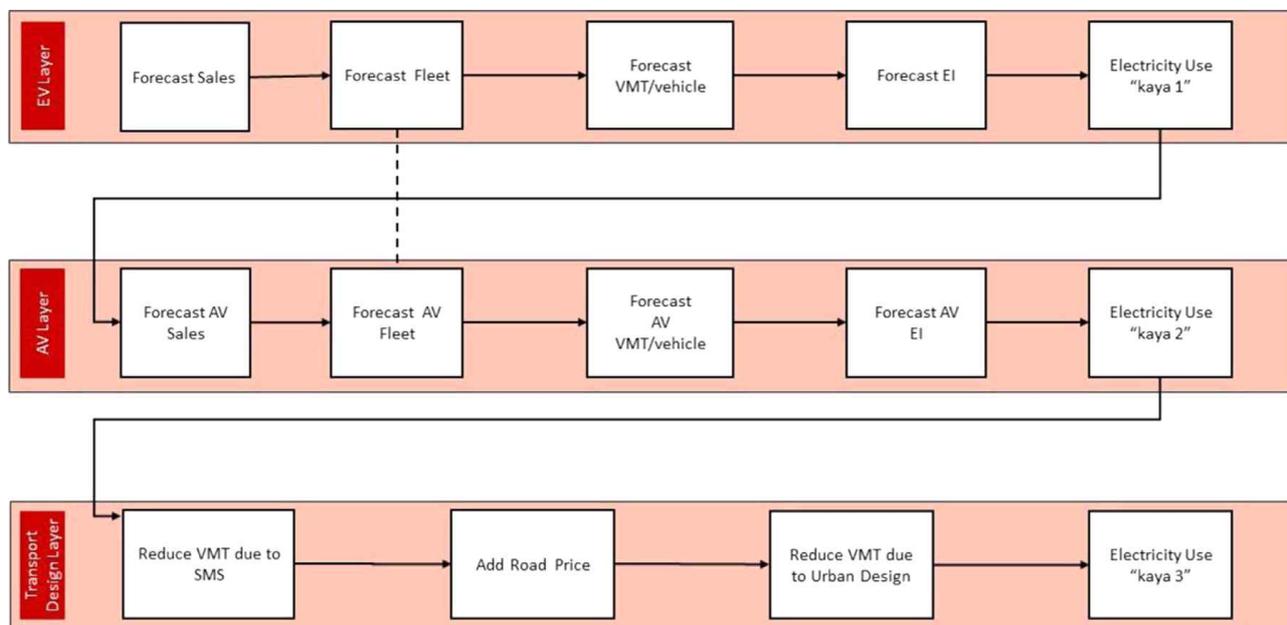
$$v * e = \Phi_1 \dots\dots\dots (1)$$

총 VMT가 v로 표시되는 경우 마일 당 kWh의 평균에너지 강도는 e로 표시되며, Φ_1 는 LDV 전송을 위한 총 에너지사용량이다(Kaya, 1990). 이 접근방식은 총 이동거리를 예측하는 모델링에 충분히 안정적이

며, 차량 전체의 평균에너지 강도 역시 효과적으로 예측할 수 있다.

2.2. 계층별 중단 모델링

전기화로 인한 중단, AV 채택, 풀링 및 공유, 추가 요인 등은 "계층"에서 암시적 기준에 반영된다. 첫 번째 계층은 전기화이며, 주요변화는 Vs의 대안으로 전기를 사용할 수 있다는 중간 시나리오이다. 이 연구에서는 교통동향의 변화량을 반영하지 않는 EV 보급을 상대적으로 예측하고자 한다. 이 첫 번째 계층에서 EV의 기술적 개선으로 인해 EV차량 구성과 EV 에너지강도의 변화를 kWh/마일로 계산한다. 계산의 다음계층은 자율주행차량의 확산을 반영하여 사례를 수정한다. 중요한 것은 이 연구의 AV를 완전히 상용화된 레벨 4 또는 5 차량으로만 정의한다는 것이다. 이 계층에서는 이러한 차량이 2050년까지 모든 주요 도시지역의 스마트 교통관리시스템에 연결되어 있다고 가정하고, 먼저 AV 침투예측을 조사하고 기본 AV 침투추정치를 제시한다. 또한 AV기술이 주행 및 도로안전을 크게 축소하고 있어 차량의 무게를 줄이면 전기를 덜 사용할 수 있도록 하는 등 AEV가 비AEV와 크게 다른 티를 가질 가능성이 있는지 여부도 고려한다. 최종 계층에서는 마일 당 풀링 및 공유모드, 유료도로의 통행료 책정 및 도시설계의 잠재적 영향을 추가한다. 세 번째 계층에서는 계산 프레임워크의 주요부분을 완성한다. 이 계층에서 시나리오는 2050년까지 미국 LDV 전력사용에 대한 모든 영향을 반영하기 위한 것이다. 이러한 연구 접근법에 대한 개념도를 [그림 1]에 나타낸다.



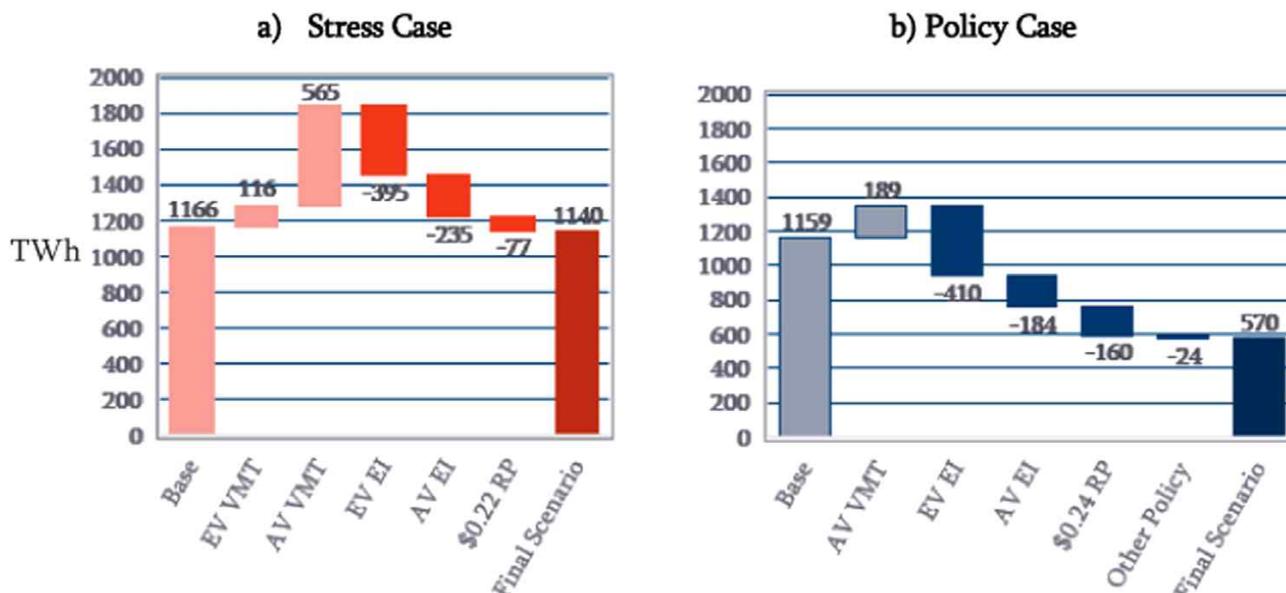
* 자료 : Peter Fox-Penner, Will Gorman, Jennifer Hatch, "Long-term U.S transportation electricity use considering the effect of autonomous-vehicles: Estimates & policy observations", Energy Policy 122 (2018) 203-213, p.205.

[그림 1] 연구 접근법

3. kaya 모델링 결과

미국의 정책사례에서는 현재와 2050년 LDV 전력사용량은 각각 약 1140TWh 및 570TWh로 추정하고 있다. 이는 상한 및 하한 경계에 근접하기 위한 것으로, 결과는 놀라울 정도로 근접하였다. 이전 문헌의 설문조사에서는 10의 요인만큼 다른 상하 한계를 발견한 반면, 이 연구에서의 계산은 가능성과 비가능성 간 경계 차이는 약 700TWh로 오늘날 전기사용량의 17%에 불과하다는 것을 확인하였다. 이러한 전력수요 관점을 기반으로 미국은 2016년에 4085TWh의 전기에너지를 생산했다. 전기자동차 운송 산업의 증가와 탄소연료에서 전기로의 열과 같은 용도의 전환이 없다면, 미국의 전기판매 증가의 대략적인 수준은 약 0.6%(EIA의 최신 예측에서는 0.8%/년 제시)이다. 향후 32년 동안 미국전체에 1000TWh의 전

기공급량을 추가하면 연간 전기 판매량은 0.6% 증가하게 된다. 이를 토대로 2050년 LDV를 이용한 미국의 총 전기사용량 추정부품(TWh)을 [그림 1]에 나타낸다. 그림 6a의 첫 번째 막대는 2050 EV 차량이 오늘부터 연간 평균주행에서 변경되지 않고 오늘날의 평균 전기를 사용하는 경우 예상되는 2050 EV 차량이 사용할 에너지를 보여주는 출발점을 나타낸다. 두 번째 막대인 EV VMT는 낮은 EV 운영비용으로 인해 발생한 예상 이동 증가로 인한 추가적인 전기사용량을 보여준다. 이러한 증가된 운송은 각 EV에만 적용된다. 세 번째 막대는 이 시나리오에서 실질적으로 추가된 AV로부터 증가된 에너지를 보여 준다.



* 자료 : Peter Fox-Penner, Will Gorman, Jennifer Hatch, "Long-term U.S transportation electricity use considering the effect of autonomous-vehicles: Estimates & policy observations", Energy Policy 122 (2018) 203-213, p.210.

[그림 1] 2050년 LDV를 이용한 미국의 총 전기사용량 추정부품(TWh)

4. 결론

이 연구에서는 프레임워크에서 범주A는 보다 효율적인 모드로 이동하며, 일반적으로 VMT를 줄이는 반면 범주B와 C는 티를 줄일 수 있음을 확인하였다. 범주A의 영역에는 수천 개의 변형이 있는 잘 알려진 정책이 소수에 불과하므로 큰 차이를 만들 수 있다. 광범위한 연방 유료도로의 통행료 변경은 자체 가격효과를 통해 LDV 여행에 큰 영향을 줄 수 있으며, 보다 효율적인 모드로 이동할 수 있게 할 수 있을 것이다. 이는 미국 연방정부의 유료도로 이용료 지출의 절반이 일반 수입으로 만들어졌다는 사실은 오늘날 자동차 여행 및 탄소배출에 대한 인식이 미약하다는 것을 알 수 있게 한다. (Helveston, 2017) 두 번째 정책인 효율성 개선은 미국 운송정책에서 매우 익숙한 것이다. CAFE 표준은 자동차의 기술적 효율성이 정책에 의해 획기적으로 향상될 수 있음을 보여주었다. EV와 CA의 전체 그리드 탈탄소화를 통해 수조 달러의 전력시스템 비용과 상당한 탄소를 절약할 수 있다. 미국의 운송산업으로 인한 전력수요 증가와 온실가스 배출량 증가에 대한 분석에 초점을 맞추고 있지만, 분석에서는 다른 국가에 대한 통찰력을 제공하는 데에도 사용하고 있다. 이 연구결과는 전기자동차 및 자율주행차량의 채택과 운전문화에 크게 기여할 수 있을 것이다. 국민 한 사람 당 많은 VMT를 보유한 선진국으로 캐나다나 호주를 들 수 있다. 많은 유럽 국가와 마찬가지로 기후변화와 도시화 정책이 강화된 국가는 자율성에서 VMT가 낮아지고 경우에 따라서는 전기자동차로의 전환이 더욱 빨라질 것으로 보인다. 신흥국가의 경제는 서서히 자동차 중심 경제로 전환되고 있다(Ecola, Wachs, 2012). 한편 전기자동차 및 자율주행차 도입의 경우 초기 기술투자 비용이 많이 들기 때문에 산업확산이 지연될 수 있다. 다른 한편으로는 중국에서와 같이 EV 채택비율과 VMT 변경(Cui, 2018)에 더 큰 영향을 미칠 수도 있다. 잠재적인 운송산업 영역은 여전히 매우 불확실하다고 볼 수 있다. 연구원들은 자동화와 운송이 운송에너지 수요에 대한 서비스로서

실제로 미치는 영향을 추정하기 시작했다. 따라서 전기자동차 및 자율주행차량이 온실가스배출, 인프라 개발 및 사회시스템에 미치는 중대한 영향을 고려할 때 추가 작업이 필요하다. 향후에는 이러한 새로운 운송모드의 영향에 대한 증거를 도출하는 것을 목표로 하고 있다. 이후 이러한 작업결과를 모델링 프레임워크에 통합할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

미국정부는 운송 산업에서의 전력수요 절감 및 온실가스 배출 저감을 위한 프로젝트의 일환으로 2050년까지 확장된 kaya identity framework를 통해 차량의 에너지 이용을 모델링할 계획이다. 특히 전기 부문에서의 탈탄소화 속도에 따라 이러한 전기수요 증가는 온실가스 배출량 저감에 크게 기여하고 있다. 이 연구결과는 국내 자동차의 에너지 수용성 제고를 정책에 벤치마킹 자료로 활용할 수 있을 것이다.

<원문제목> Long-term U.S transportation electricity use considering the effect of autonomous-vehicles: Estimates & policy observations

<원문출처> Energy Policy 122 (2018) 203-213