Korea Trade Review (Korea Trade Rev. ; 무역학회지)
Vol. 47, No. 1, February 2022 (pp. 1-12)
https://data.doi.or.kr/10.22659/KTRA.2022.47.1.1

貿易學會誌
ISSN 1226-2765 (Print)

수소연료전지차의 도입이 무역에 미치는 효과 분석에 관한 연구*

오수영
인천대학교 동북아물류대학원 박사과정

이향숙
인천대학교 동북아물류대학원 부교수

A Study on the Effects of Supply of Fuel Cell Electric Vehicles(FCEV) on Trade

Soo-Young Oh[a], Hyang-Sook Lee[b]
[a]Graudate School of Logistics, Incheon National University, South Korea
[b]Graudate School of Logistics, Incheon National University, South Korea

Received 24 November 2021, Revised 14 January 2022, Accepted 26 February 2022

Abstract

This study analyzes FCEV among measures to respond to climate change policies. In particular, it proposes alternatives to solve this problem in the trade industry, which relies on transportation sectors with high greenhouse gas emissions such as exports and imports of goods. Therefore, when FCEV is introduced in the transportation sector, changes in CO2 emissions, a greenhouse gas, and changes in logistics costs for changes in CO2 emissions are set through scenarios to evaluate the impact on product trade, such as imports and exports. As a result, the increase in logistics costs due to carbon dioxide emissions affected the import and export volume of goods, and when FCEV was introduced, the export volume would increase by up to 5.6%, and the import volume by up to 30%. In addition, CO2 emissions decreased to about 60% in 2050. Therefore, the introduction of FCEV in the transportation sector will greatly contribute to increasing sales in the trading industry and will be able to solve environmental problems such as greenhouse gas reduction.

Keywords: Carbon Dioxide, Fuel Cell Electric Vehicle, Logistics Cost, System Dynamics
JEL Classifications: F2, F6

* This research was supported by the 4th Educational Training Program for the Shipping, Port and Logistics from the Ministry of Oceans and Fisheries.
[a] First Author, E-mail: dttm@naver.com
[b] Corresponding Author, E-mail: hslee14@inu.ac.kr
ⓒ 2022 The Korea Trade Research Institute. All rights reserved.

Ⅰ. 서론

무분별한 화석연료의 사용으로 인하여 온실가스 배출량이 급격히 증가하면서 발생한 기후변화에 대응하기 위하여 교토의정서, 파리협정 등이 발효되고 세계 경제는 환경 문제를 제외하고서는 논의할 수 없는 상황에 놓여 있다. 국내에서도 주요 선진국과 발맞추어 2050 탄소중립을 선언하고 최근 2050 탄소중립 시나리오를 발표하였다. 또한, 이러한 기후변화 정책에 대응하기 위해 국내 각 산업 분야는 다양한 방안들을 모색 중이다. 그러므로 상품의 수출입 등 온실가스 배출량이 높은 수송 부문에 의존하여 사업을 영위하는 무역업계도 기후변화 정책에 대한 영향이 클 것이라 예상되므로 이에 대응하기 위한 대안의 마련이 필요하다고 할 수 있다.

이에 본 연구는 수송 부문 중 무역과 관련된 화물 운송부문에 수소연료전지차(FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle)가 도입되었을 경우 대표적인 온실가스인 이산화탄소(CO2: Carbon Dioxide)의 배출량 변화에 따른 물류비용 변동이 고려된 시나리오를 구성하고, 이 시나리오에 따라 상품의 수출입 물량 등 제품 무역에 미치는 영향을 시스템 다이내믹스 방법론을 통하여 분석하고자 한다.

본 연구는 다음과 같은 순서를 가진다. 먼저 연구배경 및 선행연구를 살펴보고, 본 연구의 방법론인 시스템 다이내믹스 방법론에 대하여 설명한다. 그리고 시스템 다이내믹스를 활용하여 FCEV의 도입 효과를 평가할 수 있는 시뮬레이션 모형을 구축한 후 모형의 검증을 시행하고, 시나리오를 적용하여 FCEV의 도입에 따른 상품 수출입 물량, CO2 배출량 등의 변화를 예측하고 분석한다.

Ⅱ. 수소연료전지차 도입현황과 과제

1. 수송 부문 CO_2 배출 현황

〈Fig. 1〉은 Ministry of Environment(2019)에서 집계한 수송 부문의 CO2 배출량 추이와 전체 배출량 중 수송 부문의 배출 비중을 나타낸다. 그림과 같이 수송 부문은 1990년부터 2017년까지 연평균 4.2%의 배출량 증가율을 보이며, 1990년 대비 약 2.7배의 증가량을 보였다. 또한, 전체 CO2 배출량 중 평균 약 16.5%를 수송 부문이 차지하고 있다.

수송 부문의 온실가스 배출량은 자동차 보급 확산, 도로 시스템의 확충, 화물 운송의 확대 등으로 꾸준히 증가할 것으로 보이며 이에 대한 대응방안이 필요한 실정이다.

2. 기후변화 정책의 국내외 동향

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change: 기후변화에 관한 정부 간 패널, 2018)는 산업화 이전 대비 지구의 평균 온도를 1.5℃ 이하로 상승을 억제했을 때에 비해 2℃ 상승하였을 때에는 기후변화로 인한 위험이 매우 증가한다는 결과를 발표하였다. 따라서 온도 상승을 1.5℃로 억제할 것을 제안하면서 그 목표를 달성하기 위해 2050년까지 전 지구적인 탄소중립이 이루어져야 한다고 하였다. 그로 인해 세계 주요 선진국들은 앞다투어 2050년 탄소중립을 선언하였다. 한국은 1750년부터 2020년까지의 CO2 누적 배출량 기준으로 전 세계의 1%의 비중을 차지하고 있으며, 이는 세계에서 18번째에 해당하므로 한국 또한 탄소중립에 대한 대응이 시급하였고 EU, 중국, 일본에 이어 2050 탄소중립을 선언하였다.

국내 수송 부문의 주요 정책은 다음과 같다.

2050 탄소중립위원회(2021)는 2050 탄소중립 시나리오에서 수송 부문 2개의 시나리오를 제안하였다. 시나리오 A안은 차량 대부분이 BEV(Battery Electric Vehicle)나 FCEV 등 온실가스를 배출하지 않는 무공해차로 전환되고, 차량 수명이 남은 최소한의 내연기관차만 운행되는 상황을 가정하였으며, 시나리오 B안은 무공해차량의 비중이 높아지나 현재와 같이 여전히 내연기관차도 일부 남아 있는 상황을 가정하고 2050년까지 정책을 시행하려 하고 있다.

또한 산업통상자원부(2019)는 수소경제 활성화 로드맵에서 수소를 중요한 에너지원으로 사용함으로써 수소경제가 경제 성장과 친환경 에너지의 원천이 되는 새로운 성장동력으로 미

Fig. 1. CO2 Emissions and Proportion of Transportation Sector

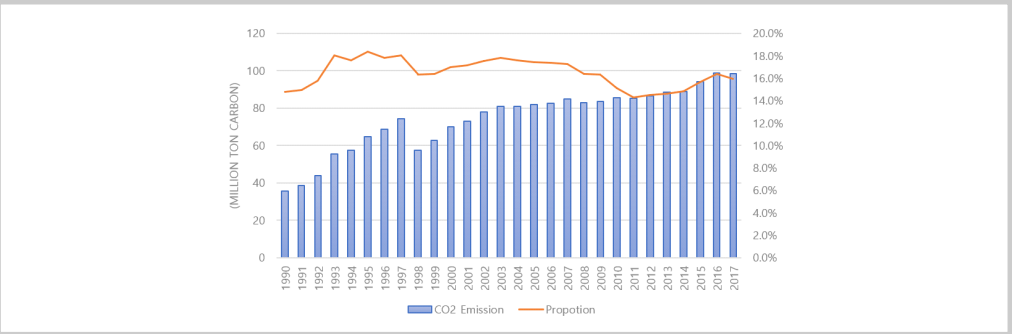
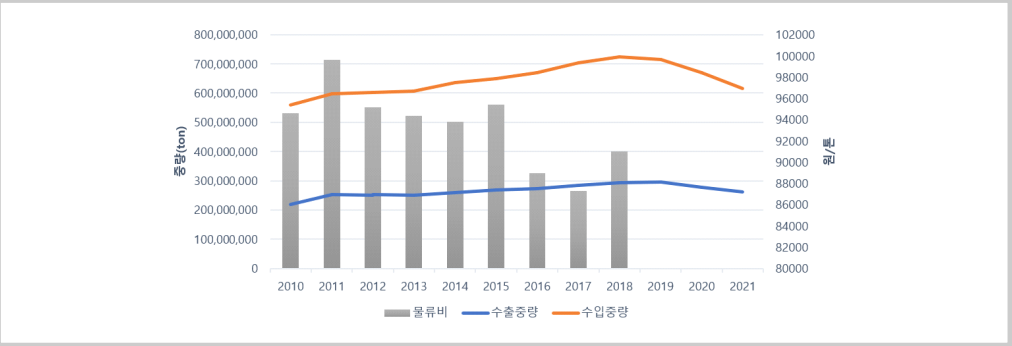


Fig. 2. Import, Export Amount, and Logistics Cost



1) 물류비 : 2020 교통정책 평가지표 조사사업, 한국교통연구원.
2) 수출입중량 : 수출입총괄 통계, 관세청.

래경제의 핵심을 담당할 것이라 하였다. 이에 수송 부문에 대한 정책으로 FCEV 양산을 조속히 이룰 수 있도록 지원하고 2040년까지 FCEV의 등록대수를 620만대 이상 보급하려 하고 있다.

3. FCEV의 보급 현황 및 전망

FCEV는 2020년 12월 기준으로 약 1,000대가 누적으로 보급되었으나 대부분이 승용차이며 매우 적은 대수의 승합차가 보급된 것으로 나타나고 있다. 아직 화물차와 특수차 중에서는 국내 보급된 FCEV는 없는 것으로 나타난다. 또한 2020년 12월 기준 국내 자동차 등록대수는 약 2,400만대이며 하이브리드 자동차를 제외한 BEV는 13.4만대인 것을 감안하면 FCEV의 보급량은 아직 매우 적은 수준임을 알 수 있다. 또한 대부분의 보급차종이 승용차에 집중되어 있어 국내 완성차 업계에서 1톤 트럭까지 출시된 전기자동차에 비하면 차종의 다양함도 아직 충분하지 못한 것이 사실이다. 하지만 국내 완성차 업체에서 최근 대형 수소전기트럭을 상용화시키는 등 꾸준한 연구를 통해 다양한 제품을 출시하고 있다.

FCEV는 현재 제품(산업)수명주기로 보자면 초기 단계이기 때문에 과거 실적을 기초로 향후 보급에 대한 전망하는 것은 어려우며 또한 그 정확성도 확보하기 어려운 것이 사실이다. 따라서 향후 보급 전망보다는 보급목표를 살펴보는 것이 미래에 전개될 FCEV 산업의 추세를 예상하는 것에 더 도움이 될 것이다. FCEV 보급에 관한 정부 정책은 수소경제 활성화 로드맵에서부터 구체적인 수치를 제시하였으며 여

러 후속 정책을 거쳐 최근 제4차 친환경 자동차 기본계획, 2050 탄소중립 시나리오까지 이르고 있다.

4. 수출입물량 및 물류비 동향

〈Fig. 2〉는 수출입물량과 물류비를 나타낸다. 수출 화물 중량은 2019년까지 연평균 약 3.4%씩 증가하였으며, 수입 화물 중량 또한 약 2.8%의 연평균 증가율을 보였다. 2020년과 2021년에는 수출입 중량이 감소하는 양상을 보였다. 그리고 물류비는 2010년까지 연평균 0.4%의 감소세를 보였으며, 물류비와 수출입물량은 그림에서 볼 수 있듯이 반비례하는 양상을 나타내었다. Park Kwang-So(2010)는 물류비 절감과 친환경 물류를 함께 고려하여야 하기 때문에 리드타임의 증가로 인한 서비스의 질적 저하와 저탄소배출 차량, 온실가스배출 저감장치 부착 등으로 기업물류비가 증가할 것이라고 하였다. 또한 무역량은 GDP, 환율, 소득, 물류비용 등에 영향을 받는다(Hong, Sung-Wook, 2017). 상품의 무역은 대부분 수송 수단을 이용하여 이루어지므로 물류비의 증가는 무역량의 위축을 초래할 수 있다. 수송 부문에 CO2 배출에 대한 정책이나 규제가 적용될 경우 물류비 등의 증가로 인하여 무역업계에도 상당한 영향을 미칠 것이므로 이에 대한 대응 방안을 모색하여야 할 것이다. 이에 본 연구는 수송 부문 온실가스 배출 감소를 위한 대안으로 FCEV 도입이 전개될 경우 FCEV 도입을 통한 CO2 배출량의 변동에 따라 물류비의 증감이 발생하게 되고 그에 따라 변동하는 수출입물량의 변화를 예측하고자 한다.

Ⅲ. 선행연구와 시사점

FCEV 도입에 대한 선행연구는 다음과 같다.

Granovskii, M., Dincer, I., & Rosen, M. A. (2006)는 기존 차량, 하이브리드, 전기, 수소연료전지의 4가지 유형의 차량에 대한 경제적 지표(차량 수명 및 주행 거리 중 차량 및 연료 가격)와 환경 지표(온실가스 및 대기 오염 배출량)의 정상화 및 유형 간의 최적 관계 평가를 포함하는 환경적 비교를 수행하였다.

Kim, Im-Jung 외 2인 (2020)은 전기자동차(BEV: Battery Electric Vehicle)와 FCEV는 환경 문제에 대한 해결책으로서 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 미래의 자동차 수요로서도 기대되나 차량의 친환경성은 단순히 운행 중 유해한 배기가스 배출만으로는 판단할 수 없으며, 효율적인 인프라 투자와 친환경차의 안정적인 확산을 위해서는 수소차와 전기차의 세분화를 명확히 하여야 한다고 주장하였다.

Li, Y., & Kimura, S. (2021)는 수소 기반 도로 운송이 ASEAN 회원국에 경제적으로 어떠한 영향을 끼치는지 알아보고 FCEV의 운영에 필요한 인프라와 기존 파워트레인과의 비교를 Well-to-Wheel 관점에서 살펴보고 ASEAN의 국가 정책이 수소 및 연료 전지의 개발을 촉진하는데 가장 관련이 있는지 알아보았다.

Oldenbroek, V.외 2인 (2021)은 미래의 100% 재생에너지 시스템에서는 예비 발전소와 대규모 에너지 저장용량이 필요하며 FCEV가 100% 재생 가능한 전기, 난방, 냉각 및 운송시스템의 균형을 확보할 수 있는지 연구하였다. 승용차의 50%를 FCEV로 가정하고 50%를 전기자동차라고 가정하였을 때 연료시스템의 균형을 연구하였다.

Li, Y., & Taghizadeh-Hesary, F. (2022)은 중국 정부의 수소 관련 정책 부분과 관련하여 연구를 수행하였다. 중국 정부는 재생에너지로 수소를 생산하여 운영하는 정책을 추진 중인데 이것에 관해서 수소공급망과 FCEV의 탄소 배출량을 추정하기 위해 Well-to-Wheel 모델을 개발하였으며 이것을 화석연료 기반의 차량과 비교하여 재생가능 에너지에서 생산된 수소로 연료를 공급받는 FCEV의 비용을 평가하였다.

본 연구와 선행연구의 차이점은 다음과 같다. 선행연구는 단순히 FCEV의 도입에 따라 감소하는 온실가스에 관한 연구에 그치고 있으나 본 연구는 CO2 배출량의 감소뿐만 아니라 경제적 측면, 특히 무역량과 관련된 상품의 수출입물량의 변화에 대하여 분석하고자 한다.

Fig. 3. The Casual Loop Diagram of this Research

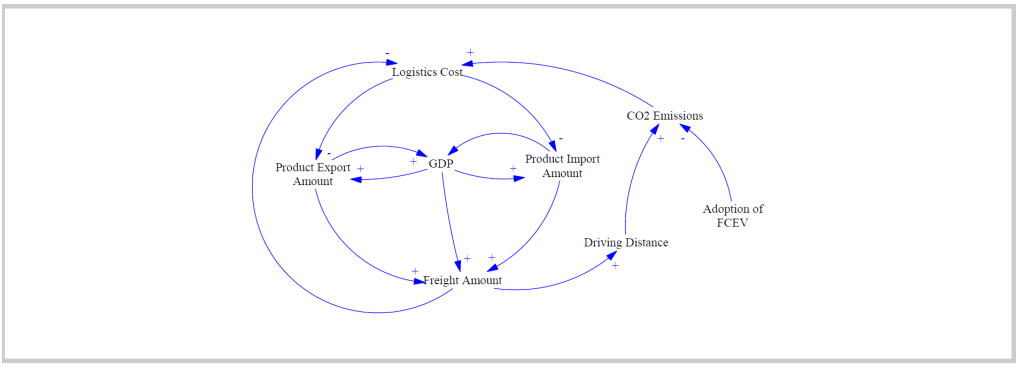
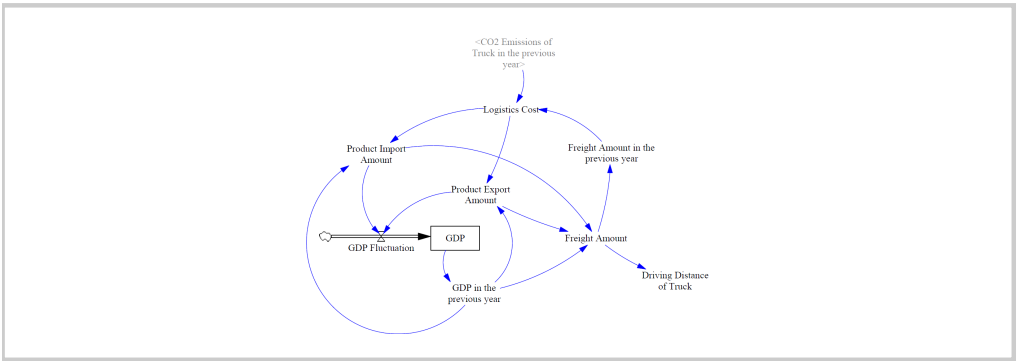


Fig. 4. Economy Module



Ⅳ. 시뮬레이션 모형

본 연구는 연구 방법론으로 시뮬레이션 방법론인 시스템 다이내믹스를 사용하였다. 시스템 다이내믹스는 구성요소 간의 인과관계와 피드백을 강조하며, 설정된 변수들이 시간의 흐름에 따라 어떤 변화를 보이는지 알 수 있으며 앞으로 변수들이 어떻게 변화해 나가는지 확인할 수 있다.

1. 시뮬레이션 모형의 인과지도

〈Fig. 3〉는 본 연구의 인과지도를 나타낸다. 상품의 수출입 물량은 물류비용과 GDP에 의해 결정되며, 다시 GDP에 영향을 준다. GDP와 상품 수출입 물량은 화물 운송량에 영향을 주고, 화물 운송량은 물류비용과 화물차 주행거리에 영향을 준다. 또한 화물차 주행거리로 CO2 배출량이 결정되며, 이는 FCEV의 도입에 따라 배출량이 변동하게 된다. 그리고 물류비용은 시나리오가 적용되어 CO2 배출량에 따라 비용의 증감이 이루어진다. 이 인과지도를 바탕으로 세부 모듈을 작성하고자 한다. 본 연구의 세부 모듈은 경제 모듈, 화물차 등록대수 모듈, 환경 모듈, 화물차 수요 모듈로 구성된다.

2. 세부 모듈

1) 경제 모듈

〈Fig. 4〉는 경제 모듈을 나타낸다. GDP와 상품 수출입물량의 관계는 한국은행에서 발간한 Hwang, Sang-Guk(2005)의 BOK05를 바탕으로 구축된다. 그리고 경제 모듈의 관계식은

Fig. 5. Truck Registration Module

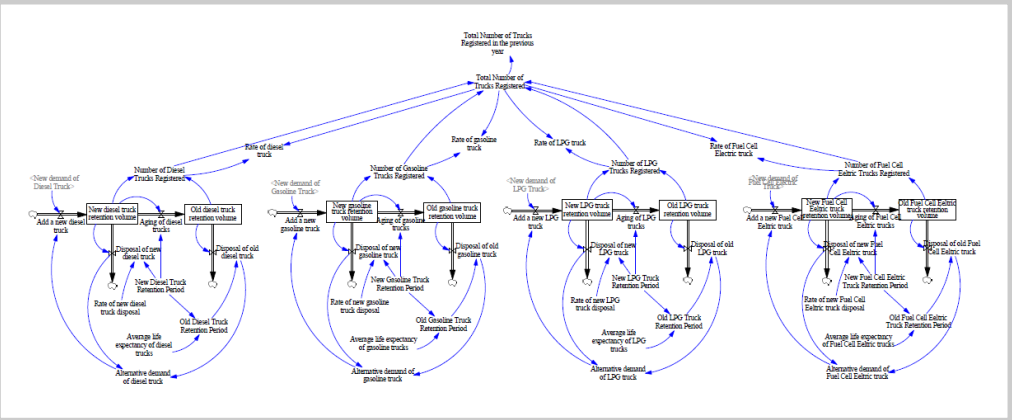
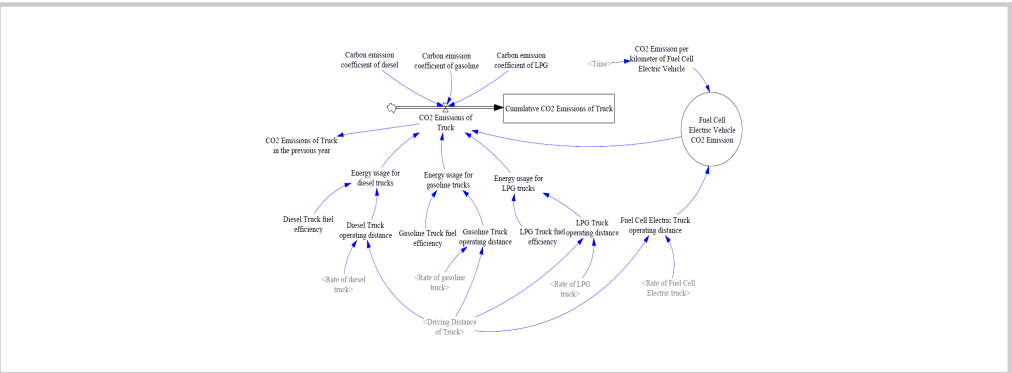


Fig. 6. Environment Module



수요예측 모델에서 빈번히 사용되는 로그선형(Log-Linear)함수를 주로 사용한다(Lee, Sung-Won, 2000). 로그선형함수는 각 변수의 영향을 미치는 요인을 파악한 후 변수와 요인의 관계식을 아래의 식과 같이 표현한다.

$$Y(\text{변수}) = A(\text{요인})_t^{\alpha}(\text{요인})_t^{\beta}(\text{요인})_t^{\gamma}\cdots$$

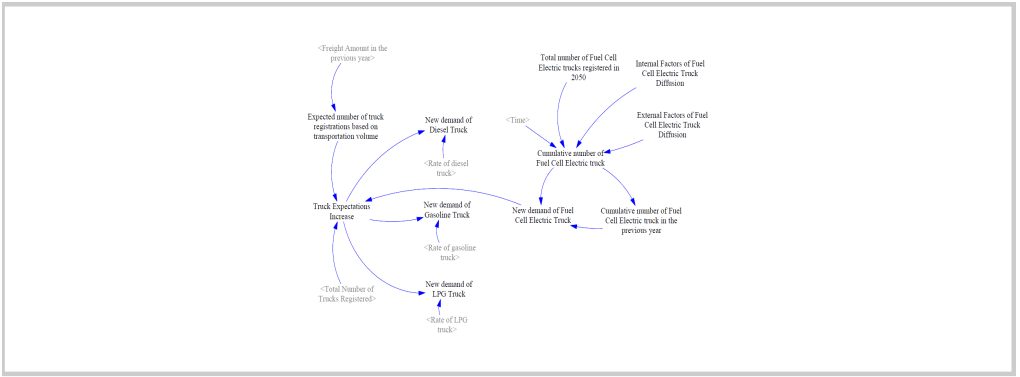
인과지도에서 살펴본 바와 같이 GDP를 산출하기 위해 상품의 수출입 물량이 사용되며, 산출된 GDP는 상품 수출입물량과 함께 화물 운송량을 결정한다. 또한 화물 운송량을 통해 화물차 주행거리, 물류비용이 계산된다.

2) 화물차 등록대수 모듈

〈Fig. 5〉는 화물차 등록대수 모듈은 나타낸다.

화물차의 종류는 연료별로 경유 화물차, 휘발유 화물차, LPG 화물차, FCEV로 구분되며, 차량의 연령별로 4년 이하의 신형 화물차와 5년 이상의 구형 화물차로 구분된다. 각 화물차 수요는 신규수요, 대체수요로 구분된다. 대체수요는 기존에 소유하고 있던 화물차를 폐차, 사고 등의 이유로 처분하고 신차를 구매하는 경우이며, 신규수요는 화물차를 처음 구매하는 행위를 의미한다. 신차와 노후차는 각각의 폐기비율을 통해 총 수명 이전에 비율에 따라 일부 폐기되며, 평균수명이 지난 후에는 폐차되어 연료별 등록대수에서 차감된다. 화물차 등

Fig. 7. Truck Demand Module



록대수는 연료별 화물차의 신차와 노후차의 합을 의미하며, 총 등록대수와 연료별 등록대수가 나뉘어 연료별 화물차의 등록대수 비율이 결정된다.

3) 환경 모듈

〈Fig. 6〉는 본 연구의 환경 모듈이다. 환경 모듈의 화물차 CO2 배출량은 연료별 탄소배출계수와 연비, 그리고 운행거리에 의해 결정된다. 탄소배출계수는 IPCC에서 정한 IPCC 2006의 연료별 계수를 사용하며, 연료별 연비는 Choi, Do-Young(2010)에서 제시한 값을 사용한다. 연료별 주행거리는 연간 총 주행거리에 등록대수 비율을 곱으로 산정되며 총 주행거리는 화물 운송량에 의해 결정된다. 또한 FCEV의 경우 수소경제 활성화 로드맵의 수소 생산방식의 믹스와 함께 Salkuyeh et al.(2017)과 McKinsey(2018) 등이 적용한 CO2 배출계수 등을 사용하여 FCEV 1km 주행 시 배출되는 CO2 배출량을 산정한 Kim Jae-Kyung(2018)의 연구를 사용한다. FCEV로 1km를 주행할 때, 2020년에는 CO2 배출이 73g/km, 2030년에는 53.6g/km으로 2040년에는 24g/km을 배출하며, 이를 기간별로 시뮬레이션 모형에 반영한다.

4) 화물차 수요 모듈

〈Fig. 7〉은 화물차 수요 모듈이다.

화물 운송량에 의해 화물차의 기대 등록대수가 산출되어 신규로 화물차가 증가할 양이 결정되며 연료별 비율에 따라 연료별 차량의 신규수요가 결정된다. 이는 화물운송량의 증가를 처리하기 위한 화물차의 추가적인 수요가 발생하는 것을 반영하기 위함이다.

FCEV의 수요는 확산모형에 의해 결정한다. 본 연구의 확산모형은 혼합영향모형(Mixed-influence model)을 사용한다. 혼합영향모형은 외부요인과 내부요인을 모두 고려한 것으로 본 연구에 적합하다고 할 수 있다(Vijay Mahajan et al., 1985). FCEV의 도입은 이미 시장에 도입된 전기 승용차의 확산과 같은 비슷한 양상을 보일 것으로 판단되므로 전기 승용차의 수요에 대해 분석하고 이를 FCEV에 적용하려 한다. 전기 승용차 등록대수를 적용하여 회귀분석을 통해 a(확산의 외부요인), b(확산의 내부요인)의 값을 추정하면 a=0.000037, b=0.00000051로 도출된다. 이를 시뮬레이션 모형의 변수에 대입하여 FCEV의 신규수요를 산출한다.

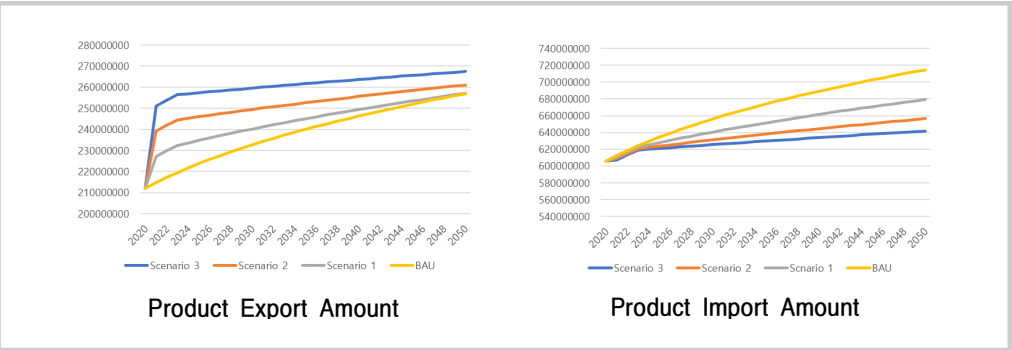
3. 시뮬레이션 모형 검증

시뮬레이션 모형의 검증은 평균절대백분율오차(MAPEs, Mean Absolute Percentage Errors)를 사용한다. MAPEs가 3% 이하이면 예측력이 뛰어나고, 5% 이하이면 우수하며, 8% 이상이면 그 모델의 예측력은 받아들일 수 없

Table 1. MAPEs of Key Variables

변수명	MAPEs	변수명	MAPEs
GDP	3.12 %	화물차 등록대수	2.54 %
상품 수출물량	2.86 %	화물차 주행거리	1.80 %
상품 수입물량	1.71 %	CO2 배출량	2.78 %

Fig. 8. Product Export & Import Amount without FCEV(unit: ton)



Product Export Amount　　Product Import Amount

는 것으로 보는 것이 일반적인 MAPEs에 대한 해석이다.

〈Table 1〉처럼 주요 변수에 대한 MAPEs의 값이 모두 5% 이하를 나타내므로 본 시뮬레이션 모형의 예측력은 우수하다고 할 수 있다.

Ⅳ. 시나리오 구성 및 실험 결과

1. 시나리오 구성

본 연구의 시나리오는 수송 부문의 CO2 배출량 감축을 위하여 정부의 정책이 물류 업체에 적용될 것이라고 가정한다. 따라서 물류 업체는 CO2 배출량을 감소시키기 위해 투자 및 비용을 지불해야 할 것이며, 이는 물류비의 인상에 기여할 것이다. 또한 물류 업체가 CO2 배출량의 감소를 가져오면 정부의 혜택이나 배출권 거래제 등을 통해 물류 업체의 이익이 발생하여 물류비의 인하가 이루어질 것이라 가정하고 CO2 배출량 기준을 초과할 경우와 미만일 경우 물류비용의 변동이 발생하도록 시나리오를 구성한다. CO2 배출량의 변화는 물류비용 증감을 가져올 것이라 예상되지만 그 수치가 아직 정의하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 CO2 배출량의 기준을 시뮬레이션 기간의 시작인 2020년으로 설정하고 2020년의 배출량보다 증가하면 물류비용이 시나리오 1은 1.1배, 시나리오 2는 1.2배, 시나리오 3은 1.3배 증가하도록 시나리오를 설정하며, 2020년보다 적은 경우 시나리오 1은 0.9배의 물류비용, 시나리오 2는 0.8배, 시나리오 3은 0.7배를 적용할 수 있도록 설계한다. 본 연구의 시나리오를 통하여 CO2 배출량 변동과 물류비의 증감에 따라 상품 수출입물량의 변화 추이를 예측할 수 있을 것이라 기대된다.

2. 시나리오 적용 결과

시나리오의 적용은 FCEV 도입과 미도입으로 나뉜다. 이는 FCEV 도입에 대한 효과를 판단하기 위해 미도입에 대한 실험도 함께 시행한다.

Fig. 9. CO2 Emissions without FCEV(unit: ktCO2)

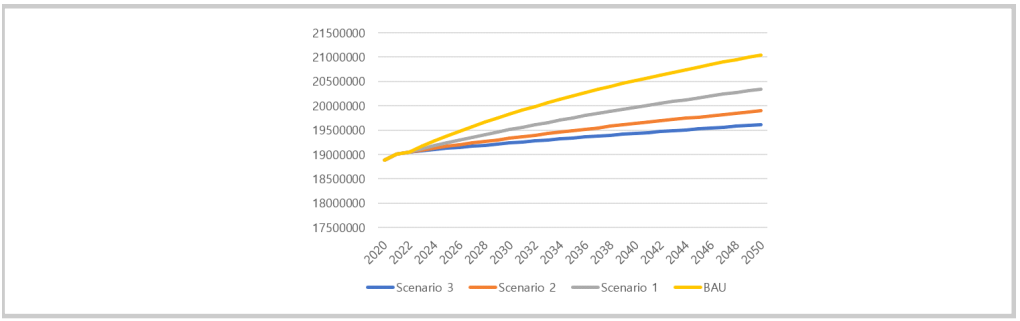
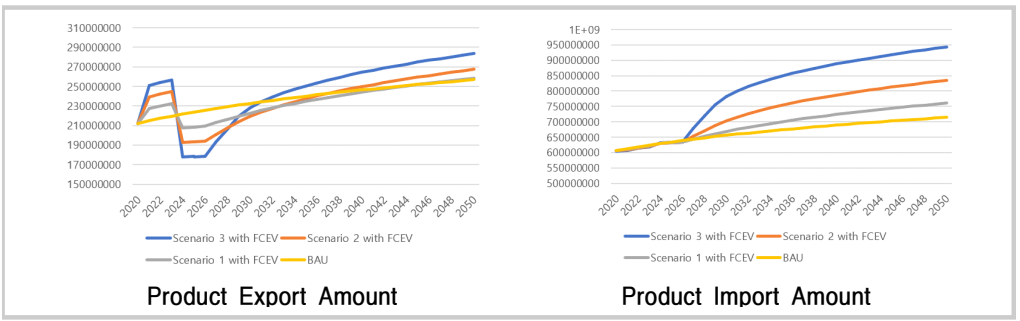


Fig. 10. Product Export & Import Amount with FCEV(unit: ton)



1) FCEV 미도입

(1) 상품 수출입물량

〈Fig. 8〉은 FCEV가 도입되지 않았을 경우의 시나리오별 상품 수출입물량을 나타낸다. 상품 수출물량은 시나리오 3이 시뮬레이션 기간의 초기에 다른 시나리오보다 매우 증가하는 양상을 보이며, 상품 수입물량은 CO2 배출로 인한 물류비용의 증가로 비용이 커질수록 그 물량이 감소하는 것을 볼 수 있다. 상품 수출의 증가율은 2020년 대비 BAU 시나리오 21%에서 시나리오 3에서 26%의 증가를 시뮬레이션 종료 기간에 보인다. 또한 상품 수입의 증가율은 시나리오 3에서 최소 6%, BAU 시나리오에서 최대 18%를 나타낸다.

(2) CO2 배출량

〈Fig. 9〉은 FCEV가 도입되지 않은 경우 CO2 배출량의 추이를 나타낸다. BAU 시나리오와 비교하면 물류비용이 증가하여 화물 운송량이 감소하고 그로 인하여 연간 화물차 주행거리가 짧아지므로 배출량이 감소하는 모습을 보인다. BAU 시나리오 대비 시뮬레이션 종료 기간인 2050년 감소량은 시나리오 1은 697,100 tCarbon, 시나리오 2는 1,145,700 tCarbon, 시나리오 3은 1,427,500 tCarbon으로 나타난다.

2) FCEV 도입

(1) 상품 수출입물량

〈Fig. 10〉은 FCEV가 도입되었을 경우 상품의 수출입물량을 나타낸다. CO2 배출량의 감소로 시나리오별로 물류비용이 낮아지고 그로 인하여 수출입물량이 크게 증가하는 양상을 보인다. 수출물량은 BAU 시나리오에서 최소 21% 증가하며, 시나리오 3에서 최대 31% 증가한다. 또한 수입물량도 BAU 시나리오에서 최소 18% 증가하며, 시나리오 3에서 최대 56%까

Fig. 11. CO2 Emissions with FCEV(unit: ktCO2)

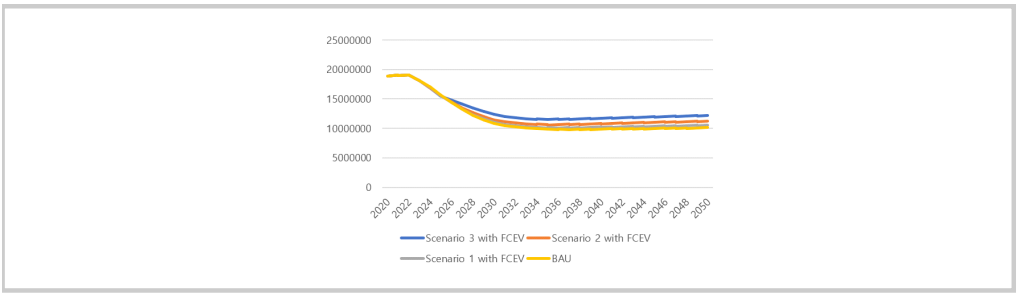
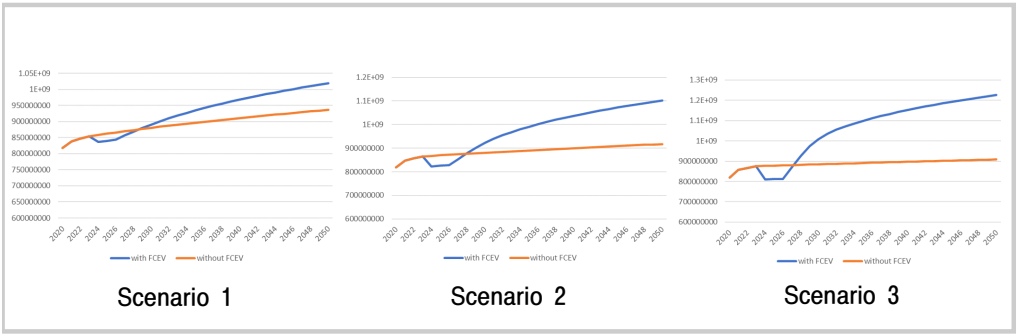


Fig. 12. Trade Volume between FCEV Introduction and Non-introduction(unit: ton)



지 증가하는 모습을 보인다. FCEV 도입이 이루어지지 않았을 경우보다 수출물량은 최소 1,428천톤에서 최대 16,019천톤까지 늘어나며, 수입물량은 최소 81,609천톤에서 최대 301,795천톤까지 증가한다. 이는 수출물량의 경우 전체 물량의 약 평균 5%, 수입물량은 평균 20%가량 증가하는 수치이다. 따라서 FCEV의 도입이 무역업의 매출 증가에 영향을 줄 것이라 사료된다.

(2) CO2 배출량

〈Fig. 11〉은 FCEV가 도입된 경우 CO2 배출량의 추이를 나타낸다. BAU 시나리오보다 배출량이 증가하는 추세를 보이는데 이는 수출입 물량과 마찬가지로 화물 운송량의 증가로 인하여 화물차 주행거리가 크게 증가하기 때문이다. 그 증가율은 BAU 시나리오 대비 시나리오 1이 4%, 시나리오 2가 11%, 시나리오 3에서 최대 20%의 크기를 보인다. FCEV 미도입 시나리오 대비 FCEV 도입 시나리오의 이산화탄소 배출량은 BAU 시나리오가 48%, 시나리오 1은 52%, 시나리오 2가 56%, 시나리오 3에서 최대 62%의 감소세를 보였다. FCEV를 도입함으로써 이산화탄소 배출량이 매우 감소하는 것을 알 수 있다.

3) FCEV 도입 시나리오와 미도입 시나리오의 무역량 비교

〈Fig. 12〉는 시나리오별 FCEV의 도입과 미도입에 대한 무역량의 비교를 나타낸다. 무역량은 수출물량과 수입물량의 합으로 계산된다. 시나리오 1의 경우 2050년에 그 차이가 83,037천톤으로 나타났으며 이 수치는 FCEV 도입 시 전체 무역량 중 8.1%, 미도입 시 8.9%에 달하는 수치이다. 시나리오 2의 경우 184,514천톤으로 나타났고, 시나리오 3의 경우 317,814천톤으로 2050년 기준 FCEV 도입 시 25.9%, 미도입 시 35.0%에 달하는 무역량 증가세를 보였

다. 그러므로 FCEV의 도입은 무역량의 증가에 도 기여하므로 FCEV를 도입하는 것이 무역업에 큰 이익을 가져올 것이라 생각된다.

Ⅴ. 결론

1. 요약 및 결론

본 연구는 기후변화에 대응하기 위한 정책으로 화물차에 FCEV를 도입할 경우 CO2 배출량과 상품의 수출입 물량 변화에 대하여 분석하였다. 이를 위해 CO2 배출량에 따른 물류비용의 증가를 시나리오로 구성하고 그 결과를 산출하였다. 본 연구는 시뮬레이션 모형을 시스템 다이내믹스로 구축하였으며, FCEV의 수요를 확산모형을 통하여 도출하였다. 그 결과 이산화탄소 배출량에 따른 물류비용의 증가는 상품의 수출입물량에 영향을 주었으며 FCEV가 도입되었을 경우 수출 물량은 시나리오별로 BAU 시나리오 대비 최대 5.6%, 수입물량은 최대 30%까지 증가할 것으로 분석되었다. 또한 FCEV의 도입과 미도입의 경우를 비교했을 때 시나리오 1은 도입 시 8.9%의 무역량 증가를 가져왔으며, 시나리오 2는 20.1%, 시나리오 3의 경우 35.0% 증가하는 것으로 분석되었다. 그리고 CO2 배출량도 FCEV를 도입할 경우 2050년에 2010년의 약 60% 수준으로 감소하는 것으로 분석되었다. 이와 같은 실험 결과로 FCEV의 도입은 무역량의 증가에 크게 기여한다는 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구를 통해 온실가스의 감축과 경제 성장 모두를 위해 FCEV의 도입이 필수적이라고 할 수 있으며, BEV의 기술 수준이 아직 대형 화물차량에 적용하기에 한계를 보이므로 그보다 쉽게 개발이 가능한 FCEV의 도입을 위해 수요 장려뿐만 아니라 제조사의 FCEV에 대한 기술개발과 생산능력을 독려할 수 있는 정책 및 지원이 필요할 것으로 보인다. 본 연구를 통해 분석된 FCEV 도입 효과가 FCEV 도입 및 확산을 위한 정책의 수립에 도움이 될 수 있으리라 생각한다.

2. 연구의 한계점 및 향후 연구 방향

본 연구의 한계점은 먼저 FCEV의 개발 시기와 상용화 시기의 불확실성을 고려하지 않은 것이다. 화물차의 경우 적재능력에 따라 소형차와 대형차로 분류되고 이들의 상용화 시기가 상이할 것이지만 이러한 분류 없이 같은 그룹으로 연구를 수행하였다. 따라서 보다 정밀한 분류를 통한 연구가 향후 필요할 것이라 생각된다. 또한 본 연구는 정부의 정책으로 수요가 강제적으로 발생할 것이라 가정하고 확산모형을 통하여 FCEV의 수요가 발생하도록 하였으나 주행거리, 충전 인프라, 판매가격 등을 고려한 소비자 관점에서 분석된 무공해차의 수요가 고려되어야 할 것이다.

향후 연구 방향으로는 본 연구는 무공해차의 도입을 FCEV로 국한하여 실험하였으나 BEV의 개발도 고려하여 2050 탄소중립 시나리오에서 제시한 FCEV와 BEV를 함께 적용한 연구가 필요하다. 그리고 본 연구에서 가정사항으로 설정하고 수행한 CO2 배출량에 따른 물류비의 변동에 관한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

References

2050 Carbon Neutral Committee(2021), 2050 Carbon Neutral Scenario.

Choi, Do-Young (2010), A Study on the Regulation of Automobile Fuel economy and Greenhouse Gas, Korea Energy Ecomomics Institute, 10(35).

Granovskii, M., Dincer, I., & Rosen, M. A. (2006). Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles. Journal of Power Sources, 159(2), 1186-1193.

Guo, Z., Li, T., Peng, S., & Zhang, H. (2021). Environmental and economic consequences of the incentive policy on electric vehicle industry: A CGE based study in China. Resources, Conservation and Recycling, 169, 105542.

Hong, Sung-Wook(2017), A study on the establishment of an export outlook model through the analysis of export determinants by country and economic zone, Korea Institute for Industrial Economics & Trade.

Hwang, Sang-Guk(2005), The Bank of Korea Quarterly Reconstruction of the Macroeconometric Model, Bank of Korea.

IPCC(2018), Special Report Global Warming of 1.5 ºC.

Kim, I., Kim, J., & Lee, J. (2020). Dynamic analysis of well-to-wheel electric and hydrogen vehicles greenhouse gas emissions: Focusing on consumer preferences and power mix changes in South Korea. Applied Energy, 260, 114281.

Kim, Jae-Kyung (2019), A Policy Study to Promote Eco-friendly CO2-free Hydrogen Production, Korea Energy Ecomomics Institute, 18(6).

Lee, Sung-Won(2000), Estimation of price elasticity of domestic air demand based on the State Preference methodology, Korean Society of Transportation, 18(1), 27-34.

Li, Y., & Kimura, S. (2021). Economic competitiveness and environmental implications of hydrogen energy and fuel cell electric vehicles in ASEAN countries: The current and future scenarios. Energy Policy, 148, 111980.

Li, Y., & Taghizadeh-Hesary, F. (2022). The economic feasibility of green hydrogen and fuel cell electric vehicles for road transport in China. Energy Policy, 160, 112703.

McKinsey(2018), Korea's Hydrogen Country Roadmap: Korea's future hydrogen economy vision and roadmaps and suggestions to achieve it.

Ministry of Environment(2019), National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea.

Oldenbroek, V., Wijtzes, S., Blok, K., & van Wijk, A. J. (2021). Fuel cell electric vehicles and hydrogen balancing 100 percent renewable and integrated national transportation and energy systems. Energy Conversion and Management: X, 9, 100077.

Park Kwang-So(2010), A Study on the Improvement of Korean Logistics Policies, The International Commerce & Law Review, 45, 139-163.

Salkuyeh, Y. K., B. A. Saville and H. L. MacLean(2017), Techno-economic analysis and life cycle assessment of hydrogen production from natural gas using current and emerging technologies, International Journal of hydrogen energy Vol. 42, pp. 18894-18909.

Shin, J., Hwang, W. S., & Choi, H. (2019). Can hydrogen fuel vehicles be a sustainable alternative on vehicle market?: Comparison of electric and hydrogen fuel cell vehicles. Technological Forecasting and Social Change, 143, 239-248.

Song, Z., Pan, Y., Chen, H., & Zhang, T. (2021). Effects of temperature on the performance of fuel cell hybrid electric vehicles: A review. Applied Energy, 302, 117572.

Vijay Mahajan et al.(1985), Models for Innovation Diffusion, SAGE Publications.