Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society(2015. 2), Vol. 26, No. 1, pp. 35~44
DOI: http://dx.doi.org/10.7316/KHNES.2015.26.1.035
ISSN 1738-7264
eISSN 2288-7407

보조금과 수소가격을 고려한 국내 연료전지차의 경제성 분석

김봉진[1†]
[1]단국대학교 산업공학과

An Economic Analysis of Domestic Fuel Cell Vehicles Considering Subsidy and Hydrogen Price

BONGJIN GIM[1†]
[1]Dankook University, 119 Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam-do 330-714

Abstract >> This paper deals with the economic analysis of domestic fuel cell vehicles considering subsidy and hydrogen price in 2015 and 2025. We selected TFCV (Tucson fuel cell vehicle) and TDV (Tucson diesel vehicle) to identify the economic feasibility of fuel cell vehicles compared with conventional internal combustion engine vehicles. We made some sensitivity analysis by changing input factors such as the size of the subsidy, the hydrogen price and the discount rate. Also, we made a break-even point analysis on hydrogen prices that equalize the economic feasibility of TFCV and TDV in 2025. As a result, TFCV is not economical in 2015 due to the relatively high prices of hydrogen and vehicles. If the sale prices of TFCV are 30,000,000 won and 35,000,000 won in 2025, then the break-even points of hydrogen prices are equal to 7,483 won/kg and 5,043 won/kg.

Key words : Fuel cell vehicle(연료전지차), Economic analysis(경제성 분석), Break-even point(손익분기점), Subsidy(보조금), Hydrogen price(수소 가격)

Nomenclature

AFC : annual fuel cost
AOC : annual operating cost
CRF : capital recovery factor
DOE : department of energy
EV : electric vehicle
FCV : fuel cell vehicle
NPV : net present value
PHEV : plug-in hybrid electric vehicle
PSA : pressure swing adsorption
SMR : steam methane reforming
TAC : total annualized cost
TDV : Tucson diesel vehicle
TFCV : Tucson fuel cell vehicle

Notation

f : annual inflation rate
i : discount rate for the real price
r : discount rate for the ordinary price
CR : capital recovery of a vehicle
D : annual driving distance of a vehicle
FE : fuel economy of a vehicle
FP : unit fuel price

†Corresponding author : bjgim@dankook.ac.kr
Received : 2014.12.09 in revised form 2015.01.20 Accepted: 2015.02.28
Copyright ⓒ 2015 KHNES

I : initial investment
N : life cycle period
OC : other initial cost
S : salvage value of a vehicle
SD : subsidy for a vehicle
VP : purchasing price of a vehicle

1. 서 론

자동차는 휘발유와 경유를 주요 동력원으로 하는 내연기관 엔진을 사용하여 왔으나, 최근에는 환경 및 에너지 문제가 부각됨에 따라 자동차에 대한 배기 규제 및 환경협약 등에 대응이 가능한 친환경차에 대한 관심이 증대하고 있다. 친환경차는 클린디젤차, 하이브리드차, 전기차(EV: electric vehicle), 플러그인 하이브리드차(PHEV: plug-in hybrid electric vehicle), 연료전지차(FCV: fuel cell vehicle) 등으로 구분할 수 있으며, 이 중에서 FCV는 연료전지를 사용하여 에너지원인 수소와 공기 중의 산소를 반응시켜 얻어지는 전기를 동력원으로 하는 자동차이다. 클린디젤차를 제외한 친환경차는 전기기반차로 분류할 수 있으며, FCV와 EV는 에너지원이 각기 수소와 전기인 점을 제외하면 특성이 비슷하여 구동방법 상의 차이가 거의 없다. 한편 수소는 전기와 마찬가지로 사용 시에 환경오염이 발생하지 않는 청정에너지로서 화석연료, 원자력, 바이오매스, 지열, 풍력, 태양 등의 다양한 에너지원으로부터 얻을 수 있다.

유럽의 완성차업체들은 클린디젤차의 기술개발에 많은 투자를 하였으며, 이 분야의 선두를 유지하고 있기 때문에 클린디젤차를 친환경차의 표준이 되도록 노력하고 있다. 한편 하이브리드차, PHEV, EV 등의 친환경차는 이미 상용화되었으며 점차 시장점유율을 높여가고 있는 실정이다. 국내에서 현대기아차는 선진국의 완성차업체와 비교하여 상대적으로 늦게 FCV의 개발에 착수하였으나 정부의 전폭적인 지원에 따라 FCV 부문에서 두각을 나타내고 있다.

FCV가 도입되기 위해서는 수소충전소를 많이 보급하여 수소 가격을 낮추는 것이 필요하다. 또한 수소충전소를 많이 보급하기 위해서는 FCV를 많이 파는 것이 필요하다. 따라서 FCV와 수소충전소를 보급하기 위해서는 FCV와 수소충전소 등과 같은 새로운 기술 또는 상품이 시장침투 과정에서 겪게 되는 “chicken and egg” 문제를 해결해야 한다.

현재 FCV는 수소충전소의 부족과 수소의 위험성에 대한 대중 인식 등의 문제점 이외에도 높은 차량가격, 높은 수소 가격 등으로 인한 낮은 경제성이 문제가 되고 있다. 따라서 FCV를 보급하기 위해서는 초기 보급단계에서 FCV에 대한 정부의 보조금이 필요한 것으로 인식되고 있다. 국내에서 전기차에 대하여는 정부 및 지방자치단체에서 보조금을 지급하고 있으나 FCV에 대해서는 아직까지 보조금에 대한 명확한 정책이 수립되지 않고 있다.

Granovskii et al.은 사회적인 관점에서 환경과 경제성을 고려한 기존의 내연기관 자동차, PHEV, EV, FCV 등을 비교 분석하였다[1]. 그들은 친환경차에 대한 미래 시점에서의 여러 가지 예측치에 근거하여 PHEV와 EV가 내연기관 자동차와 FCV에 비교하여 사회적인 관점에서 유리한 것으로 판단하였다. Offer et al.은 2030년의 영국의 도로교통 부문을 대상으로 하여 사회적인 관점에서 PHEV, EV, FCV 등에 대한 기술경제 및 행동 분석을 수행하였다[2]. 그들은 FCV와 EV가 적대적인 관계가 아니고 동시에 추구해야 하는 친환경차이며, 미래에는 PHEV가 하이브리드차보다 경제적으로 유리할 것으로 전망하였다.

양문희 외는 수명주기와 순현가(NPV: net present value) 방법을 이용하여 소비자의 관점에서 국내 FCV의 경제성을 분석하였다[3]. 그들은 2015년의 TFCV (Tucson fuel cell vehicle)의 구입가격을 28,503,57원, 수소충전소에서의 수소 판매가격을 5,000원/kg 등으로 예상하여 기존의 투산 자동차와 TFCV와의 증분

분석을 통하여 환경비용을 고려한 TFCV의 경제성을 NPV 방법에 의하여 분석하였다. 하지만 그들은 수소 경제 초기에 FCV의 보급에 필수적인 보조금을 전혀 고려하지 않았으며, 2015년을 기준한 TFCV의 가격과 수소 판매가격 등을 실제 가격보다 아주 낮은 수준으로 예측하였다.

본 논문에서는 소비자인 차량 구매자의 관점에서 기존 내연기관 차량과 비교한 FCV의 경제성을 2015년을 기준한 현재 시점과 2025년을 기준한 미래 시점에서 각기 파악하고자 한다. 현재 시점과 미래 시점에서는 FCV의 차량가격, 수소 가격, FCV에 대한 보조금, 연료전지 수명기간 등의 FCV의 경제성에 영향을 크게 줄 수 있는 주요 변수들의 값이 크게 변화할 수 있으므로 주요 변수들의 변화에 따른 국내 FCV의 경제성의 변화를 분석한다.

본 논문은 다음과 같은 내용으로 구성된다. 제 2장에서는 차량 구매자의 입장에서 기존 내연기관 차량과 비교한 FCV의 경제성을 분석하는 방법을 설명한다. 수명주기 동안의 두 종류의 차량에 대한 총 연간비용을 산출하여 기존 내연기관 차량과 비교한 상대적인 FCV의 경제성을 분석한다. 제 3장에서는 사례연구로서 2015년을 기준한 현재 시점에서 투산 디젤차와 비교한 투산 FCV의 경제성을 분석하고 할인율, 보조금, 수소 가격 등의 변화에 따른 FCV의 경제성의 변화를 파악한다. 또한 2025년을 기준한 미래 시점에서 FCV의 경제성을 파악하기 위하여 다양한 FCV의 판매가격에 대하여 투산 FCV와 투산 디젤차의 경제성이 동일하게 되는 수소 판매가격을 도출한다. 이러한 분석은 연료전지의 수명기간, 연료전지 차량가격, 연료전지차에 대한 보조금 규모, 수소 판매가격 등에 대한 시나리오 분석으로 간주할 수 있다. 마지막으로 제 4장에서는 본 논문의 연구결과를 요약하고 향후 연구방향에 대해서 언급한다.

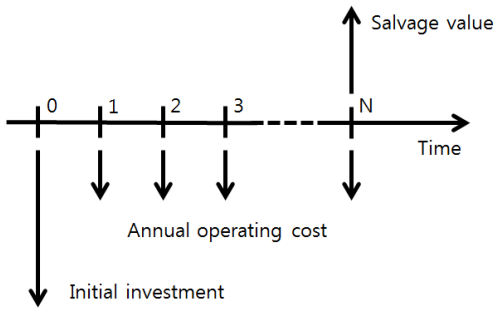

Fig. 1 Cash flow diagram of operating a vehicle

2. FCV의 경제성 분석 방법

본 논문에서는 차량 구매자의 입장에서 차량의 수명 주기에 기초하여 FCV의 경제성을 분석하였다. 차량의 경제성은 초기투자비, 연간 운영비, 잔존 가치 등에 의해 결정된다. 초기투자비 I는 차량 구매자가 차량 구입에 지불하는 비용이며, 잔존가치 S는 수명기간 이후에 차량을 처분하여 얻는 수입이다. I와 S가 1회성 비용인 반면에, 연간 운영비를 나타내는 AOC(annual operating cost)는 차량의 보유기간 동안에 계속하여 발생하는 비용이다. 일반적으로 AOC는 시간의 흐름에 따라 증가하나, 본 논문에서는 평균 비용과 불변 가격(real price)을 기준하여 매년 AOC가 동일하게 발생하는 것으로 가정하였다. Fig. 1에는 차량의 구입에 따른 연도별 현금흐름을 나타내는 현금흐름도(cash flow diagram)를 수록하였다.

Fig. 1에 제시된 바와 같이 FCV의 경제성 분석기간은 차량의 보유기간 또는 수명기간을 나타내는 N년으로 표기하였다. 또한 현금흐름도에서 화살표 아래 방향은 지출, 위 방향은 수입을 나타낸다.

차량의 판매가격 또는 소비자가격 VP(vehicle price)에는 차량의 출고가격과 개별소비세, 교육세, 부가가치세 등이 포함된다. 또한 차량 구매자의 기타 초기비용 OC(other initial cost)에는 등록세, 취득세, 공채 구입비, 탁송 비용 등이 포함된다. 공채 구입비는 차량규모, 용도, 지역 등에 따라 상이하나 서울을 기준

하였고 공채 할인율은 10%를 기준하여 공채 구입에 따른 초기 비용을 산출하였다. 한편 FCV의 구매자에게 보조금 SD가 지급되는 경우에는 초기투자비가 보조금만큼 감소하게 되며 FCV 구매자의 초기투자비 I는 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$I = VP + OC - SD \quad (1)$$

불변가격을 기준하여 돈의 시간적 가치를 고려하는 할인율(discount rate)을 i로 표기하면, 초기투자비인 차량 가격 I를 연간 비용으로 환산하는 계수인 자본회수계수(CRF : capital recovery factor)는 다음 식에 의해 얻을 수 있다:

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (2)$$

식 (2)를 보면 CRF는 i와 N에 의하여 결정되며, 수명기간을 나타내는 N이 무한대로 증가하면 CRF는 i로 수렴한다. 한편 f를 연간 인플레이션율, r을 불변가격을 기준한 할인율로 표기할 때 i와 r은 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$r = i + f + i \times f \quad (3)$$

1회성 비용인 I와 S를 연간비용으로 환산한 자본비용(CR: capital recovery)은 다음 식에 의해 산출할 수 있다[4].

$$CR = (I - S) \times CRF + i \times S \quad (4)$$

일반적으로 차량의 AOC는 연료비, 수리비를 포함한 차량의 보수유지비, 자동차 보험료, 자동차 세금, 기타 운영비 등으로 구분할 수 있으며, 연간 연료비(AFC: annual fuel cost)는 AOC의 가장 큰 비중을 차지한다. 차량의 연간 주행거리를 D, 연료의 단위당 가격을 FP, 차량의 실제 주행연비를 FE로 표기하기로 하자. 그러면 차량의 연간 연료사용량은 D/FE이므로 AFC는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$AFC = \frac{D}{FE} \times FP \quad (5)$$

본 논문에서는 동일한 차종을 대상으로 하여 FCV와 기존의 내연기관을 사용하는 차량의 총 연간 비용(TAC: total annualized cost)을 계산하여 FCV의 경제성을 분석하였다. 차량의 TAC는 다음 식과 같이 연간운영비와 자본비용의 합으로 산출할 수 있다:

$$TAC = CR + AOC \quad (6)$$

FCV의 TAC가 비교 대상이 되는 기존 차량의 TAC보다 크면 기존 차량이 경제적이고, 그렇지 않으면 FCV가 경제적인 것으로 판단한다. 한편 TAC는 NPV와 비례하므로 TAC와 NPV에 의한 경제성 평가의 결과는 항상 일치한다.

본 논문에서는 2025년을 기준한 미래 시점에서의 FCV의 경제성을 분석하기 위하여 손익분기점(break-even point) 분석을 수행하였다. 미래에는 차량 가격, 수소 가격, 보조금, 연료전지의 수명기간 등의 FCV의 경제성에 크게 영향을 줄 수 있는 주요 변수들이 크게 변화할 것으로 예상되므로 다양한 FCV의 차량 가격에 대하여 FCV와 기존 차량의 경제성이 동일하게 되는 수소 가격을 산출하였다. 이러한 수소 가격을 기준한 손익분기점 분석을 통하여 FCV가 경제성을 확보할 수 있는 차량 가격과 수소 가격의 조합들을 산출할 수 있으며, 미래의 목표 FCV 차량 가격 및 수소충전소에서의 수소 가격 등을 도출하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

3. 사례 연구

3.1 TFCV의 경제성 분석

본 논문에서는 2015년에 소비자에게 판매될 예정인 TFCV를 사례 연구의 대상으로 하였으며, 경유를 사용하는 투산 디젤 2.0 smart A/T 차량(TDV: Tucson diesel vehicle)을 비교 대상이 되는 차량으로 선정하였다. TFCV의 경제성을 분석하기 위해서는 적절한 분석기간 N의 산정이 필요하며, 현재 TFCV에 사용되는 연료전지의 수명기간이 비교적 짧은 점을 고려하여 연료전지의 수명기간을 TFCV의 경제성 분석기간으로 설정하였다. Table 1에는 2015년을 기준한 TFCV와 TDV의 주요 변수들에 대한 추정치를 수록하였다.

2015년에 상용화되는 TFCV에 필요한 연료전지의 수명기간은 미국 DOE(department of energy)의 연구결과를 감안하여 1,000cycle 정도로 추정하였으며[5], 이를 차량 주행거리로 환산하면 약 160,000km이다. 한편 에너지경제연구원의 조사연구에 의하면 2012년을 기준하여 경유를 사용하는 승용다목적용 차량의 연간 평균 차량주행거리는 16,517km로 나타났다[6]. 따라서 2015년에 상용화되는 TFCV는 약 10년 정도 사용할 수 있을 것으로 추정하여, N을 10년으로 설정하였다.

Table 1 Estimated values of variables by vehicles (2015)

Classification	TFCV	TDV
N	10 years	10 years
i	5%	5%
VP	150,000,000 won	22,500,000 won
SD	60,000,000 won	0
OC	1,863,000 won	1,863,000 won
I	91,863,000 won	24,363,000 won
S	2,025,000 won	2,025,000 won
D	16,517 km	16,517 km
FE	80 km/kg	11.0 km/liter
FP	18,000 won/kg	1,550 won/liter

불변 가격을 기준한 할인율 i는 최근의 낮은 은행금리를 감안하여 연간 5%로 설정하였다. 한편 f가 2%이고 i가 5%인 경우에 경상 가격을 기준한 할인율 r은 식 (3)에 의하여 7.1%가 된다. 또한 N = 10, i = 0.05인 경우의 CRF는 식 (2)에 의해 약 0.1295이다.

TFCV의 2015년 차량 판매가격 VP는 150,000,000원으로 예상되며, TDV의 소비자가격은 차량 출고 가격 20,250,000원에 7%의 세금을 포함하여 22,500,000원이다. TDV의 10년 후의 잔존가치 S는 관세청에서 해외 차량의 관세에 적용되는 감가상각 잔존율 9%와 차량 보험회사가 적용하고 있는 감가상각 잔존율 10%를 고려하여 차량 출고가격의 10%인 2,025,000원으로 추정하였으며, TFCV의 잔존가치는 연료전지의 수명기간이 만료되는 점을 감안하여 TDV와 동일하게 설정하였다.

국내 EV에 대한 보조금은 국가 보조금과 지방자치단체 보조금 등으로 구분할 수 있다. 서울을 기준한 EV에 대한 보조금은 국가 보조금 15,000,000원과 지방자치단체 보조금 7,500,000원으로 전체 보조금은 22,500,000원이며, EV에 대한 지방자치단체의 보조금은 지방자치단체에 따라 상이하다. 기아자동차의 SOUL EV의 판매가격은 42,500,000원이며, 이 중에서 보조금이 차지하는 비율은 서울을 기준할 때 약 52.9%이다. 현재 TFCV에 대한 정부 및 지방자치단체의 보조금은 아직 정해지지 않았으나 TFCV의 가격이 비교적 고가인 점과 EV에 대한 보조금 규모를 감안하여 SD를 차량 판매가격의 40%인 60,000,000원으로 설정하였다.

차량의 구입 시에 소요되는 기타 초기비용 OC에는 등록세, 취득세, 공채 매입액, 탁송료 등이 포함된다. TDV의 등록세와 취득세는 출고가격의 5%와 2%로서 TDV의 등록세와 취득세는 약 1,417,000원이다. 한편 서울을 기준한 공채 매입액은 차량 출고가격의 12%이며, 본 논문에서는 매입한 공채를 할인율 9%를 적용하여 매각하는 것으로 가정하였다. 그러면

TDV의 공채 구입에 따른 지불액은 218,700원이며, 차량의 탁송 비용은 227,000원을 기준하였다. 따라서 TDV의 기타 초기비용 OC는 약 1,863,000원이다. 친환경차인 TFCV의 등록세와 취득세는 아직 정해진 기준이 없으므로 TFCV의 기타 초기비용은 TDV와 동일한 것으로 가정하였다.

수소를 연료로 사용하는 TFCV의 유럽 NEDC 연비는 27.8km/liter이며 이를 환산하면 약 104km/kg이다. 하지만 유럽 NEDC 연비는 실제 연비보다 매우 높은 것으로 알려져 있으므로, 본 논문에서는 TFCV의 실제 주행연비 FE를 2005년 EVS21 몬테카를로 랠리에서 투산이 기록하였던 80km/kg으로 추정하였다. 마찬가지로 TDV의 표시 연비는 13.8km/liter이나 TDV의 실제 주행연비는 표시 연비의 80%인 11.0 km/liter로 추정하였다.

수소충전소는 수소를 자체에서 생산하여 판매하는 분산형(on-site)과 외부에서 생산된 수소를 수송하여 저장한 후 판매하는 중앙집중형(off-site)으로 분류할 수 있다. 현재 국내에는 FCV에 공급하는 수소 판매가격이 형성되지 않고 있는 실정이나, 분산형 수소충전소의 적정 수소 가격에 대한 연구는 국내외에서 많이 진행되어 왔다.

미국의 Meyer et al.은 천연가스를 이용한 수소발생장치인 SMR(steam methane reforming)과 수소정제장치인 PSA(pressure swing adsorption)를 사용한 54Nm^3/h 규모의 분산형 수소충전소의 수소 제조가격을 $ 3.38/kg으로 산출하였다[7]. Weinert et al.는 중국 상하이를 대상으로 다양한 수소제조 에너지원과 생산규모를 갖는 수소충전소에서의 수소 제조가격들을 추정하였다[8]. 한편 Gim and Yoon은 국내 SMR과 알카리 수전해에 의한 30Nm^3/h 규모의 분산형 수소충전소의 수소 제조가격을 각기 $ 17.2/kg와 $ 14.6/kg 등으로 추정하였다[9].

본 논문에서는 2015년을 기준한 수소충전소에서의 수소 판매가격 FP는 Gim and Yoon의 연구결과[9]를 감안하여 18,000원/kg으로 추정하였다. 수소경제 초기에는 수소 수요가 충분하지 않기 때문에 2015년의 수소충전소의 수소 생산규모를 30Nm^3/h로 설정하였으며 수소충전소의 이용률도 낮기 때문에 수소충전소에 대한 보조금이 없다면 수소 판매가격을 18,000원/kg 이하로 유지하기는 어려울 것으로 판단된다. 또한 TDV에 사용되는 경유의 구입가격은 2014년 11월 7일의 전국 주유소 평균 판매가격인 1,550원/liter을 기준하였다. Table 2에는 TFCV와 TDV의 자본비용, 연간 운영비, 총 연간 비용 등을 비교하여 요약한 결과를 수록하였다.

Table 2 Annualized costs by vehicles (2015)

unit : 1,000 won

Classification		TFCV	TDV
CR		11,735	2,994
AOC	AFC	3,726	2,328
	Insurance	1,066	480
	Tax	442	442
	Maintenance	743	743
	Others	135	135
	Total	6,112	4,128
TAC		17,847	7,122

Table 2를 보면 TFCV와 TDV의 자본비용 CR은 각기 11,735,000원과 2,994,000원이며, 이러한 자본비용은 식 (3)에 의해 얻을 수 있다. 여기서 식 (3)에 사용되는 CRF의 값은 0.1295이며, TFCV는 TDV에 비하여 연간 8,741,000원의 자본비용이 더 소요되는 것으로 분석되었다.

TFCV의 연간 수소소비량은 연간 주행거리 16,517 km를 실제 주행연비인 80km/kg으로 나눈 값으로서 약 207kg이며, 이를 금액으로 환산하면 TFCV의 AFC는 식 (5)에 의해 약 3,726,000원이다. 마찬가지로, TDV의 연간 경유사용량은 1,502liter이며, 이를 금액으로 환산하면 TDV의 AFC는 약 2,328,000원이다.

TFCV와 TDV의 평균 연간 보험료를 산출하기 위한 수명기간 동안의 평균 차량가격은 각기 76,000,000

원과 12,000,000원을 기준하였다. 또한 43세 이상, 부부한정 운전, 보험료율 48%를 기준하여 TFCV와 TDV의 평균 연간 보험료를 각기 1,066,000원과 480,000원 등으로 추정하였다.

차량의 연간 자동차 세금은 자동차세와 지방교육세로 구분되며 지방교육세는 자동차세의 30%이다. 배기량이 1,600cc를 초과하는 비영업용 차량의 연간 자동차세는 200원/cc이고, 평균 5년의 연식을 기준한 자동차세의 평균할인율은 85%이므로 TDV의 평균 연간 자동차 세금은 약 442,000원이다. 한편 TFCV에 대한 연간 자동차 세금은 아직 정해진 기준이 없으므로, TFCV의 연간 자동차 세금은 TDV와 동일한 442,000원으로 추정하였다.

TDV의 보수유지비와 기타 운영비는 양문희 외의 연구 결과[6]를 이용하여 각기 초기 차량가격의 3.3%인 743,000원과 0.6%인 135,000원이 매년 동일하게 소요되는 것으로 추정하였다. TFCV의 보수유지비는 연료전지에 대한 보증 내용에 따라 크게 차이가 날 수 있으나, 본 논문에서는 연료전지에 대하여 수명기간 동안에 수리 보증을 하는 것을 가정하여 TFCV의 보수유지비와 기타 운영비는 TDV와 동일하게 추정하였다.

한편 TFCV의 TAC는 17,847,000원으로 TDV의 TAC인 7,122,000원의 약 2.5배이며, TFCV는 TDV에 비하여 매년 10,725,000원이 더 소요되는 것으로 나타났다. 따라서 2015년을 기준한 시점에서 TFCV는 TDV와 비교하여 경제성이 전혀 없는 것으로 분석되었으며, TFCV의 차량가격 150,000,000원과 수소충전소에서의 수소 가격 18,000원/kg은 FCV에 대한 보조금을 고려하더라도 TFCV를 보급하기에는 너무 고가인 것으로 판단된다.

3.2 민감도 분석

TFCV의 경제성에 크게 영향을 줄 수 있는 요소는 차량 가격, 보조금 규모, 수소 가격, 연료전지의 수명기간, 할인율 등이다. 본 논문에서는 2015년을 기준한 TFCV의 차량 가격과 연료전지의 수명기간 등은 고정된 값으로 간주하고 할인율, 보조금 규모, 수소 가격 등의 변화에 따른 TFCV와 TDV의 TAC의 변화를 파악하는 민감도 분석 수행결과를 각기 Table 3, Table 4, Table 5에 수록하였다.

Table 3 Sensitivity analysis on TAC by discount rate

unit : 1,000 won

i	TFCV	TDV
3%	16,742	6,847
4%	17,290	6,983
5%	17,847	7,122
6%	18,422	7,265
7%	19,006	7,410

Table 4 Sensitivity analysis on TAC by subsidy

unit : 1,000 won

SD	TFCV	TDV
80,000,000 won	15,257	7,122
70,000,000 won	16,552	7,122
60,000,000 won	17,847	7,122
50,000,000 won	19,142	7,122
40,000,000 won	20,437	7,122

Table 5 Sensitivity analysis on TAC by hydrogen price

unit : 1,000 won

Hydrogen price	TFCV	TDV
10,000 won/kg	16,191	7,122
12,000 won/kg	16,605	7,122
14,000 won/kg	17,019	7,122
16,000 won/kg	17,433	7,122
18,000 won/kg	17,847	7,122

할인율 i가 변화하면 식 (4)에 의해 자본비용인 CR은 변화하나, 연간운영비인 AOC는 변화하지 않는다. Table 3를 보면 할인율 i의 변화에 따른 TFCV와 TDV의 총 연간비용의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 할인율이 5%에서 3%로 감소하면 TFCV의 TAC는 17,847,000원에서 16,742,000원으로 감소하며, TDV의 TAC는 7,122,000원에서 6,847,000원으로 감소하였다. 한편, 할인율이 0% 수준으로 감소하

여도 TFCV는 여전히 경제성이 없는 것으로 분석되었다.

TFCV에 대한 보조금 SD가 변화하면 TFCV의 초기투자비가 변화하므로, TFCV의 자본비용인 CR은 SD에 비례하여 변화한다. Table 4를 보면 TFCV에 대한 보조금이 10,000,000원 증가하면 TFCV의 총 연간비용은 1,295,000원이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 TFCV에 대한 보조금이 60,000,000원에서 80,000,000원으로 증가하면 TFCV의 TAC는 17,847,000원에서 15,257,000원으로 감소하나, TFCV의 경제성은 여전히 낮은 것으로 나타났다.

수소충전소에서의 수소 판매가격이 변화하면 식 (5)에 의해 TFCV의 연간 연료비가 수소 판매가격에 비례하여 변화한다. Table 5를 보면 수소충전소에서의 수소 판매가격이 1,000원/kg 감소할 때마다 TFCV의 총 연간비용은 207,000원이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 수소 가격이 18,000원/kg에서 10,000원/kg으로 감소하면 TFCV의 TAC는 17,847,000원에서 16,191,000원으로 감소한다.

한편 TFCV의 판매가격이 150,000,000원이면 수소충전소에서 수소를 무료로 공급하더라도 TFCV의 경제성은 없는 것으로 분석되었다. 따라서 FCV를 보급하기 위해서는 수소충전소에서의 수소 판매가격을 낮추는 것이 필요하며, 이를 위해서는 FCV에 대한 보조금뿐만 아니라 수소충전소에 대한 정부의 보조금 지급, 세제 혜택, 기술개발 지원 등이 필수적인 것으로 사료된다.

3.3 손익분기점 분석

본 논문에서는 2025년을 기준한 미래 시점에서의 TFCV의 경제성을 파악하기 위하여 다양한 TFCV의 차량 판매가격에 대하여 TFCV와 TDV의 경제성이 동일하게 되는 수소충전소에서의 수소 판매가격을 도출하였다. 이러한 수소 판매가격을 기준한 손익분기점 분석을 통하여 TFCV가 경제성을 확보할 수 있는 차량 판매가격과 수소 판매가격의 조합을 산출하고자 하였다. 2025년에는 FCV가 상당히 보급되어 TFCV에 대한 보조금이 없는 것으로 가정하였으며, Table 6에는 2025년을 기준한 미래 시점에서의 TFCV와 TDV의 주요 변수들에 대한 추정치를 수록하였다.

Table 6 Estimated values of variables by vehicles (2025)

Classification	TFCV	TDV
N	15 years	15 years
i	5%	5%
VP	VP	22,500,000 won
OC	1,863,000 won	1,863,000 won
S	0	0
I	I	24,363,000 won
D	16,517 km	16,517 km
FE	80 km/kg	11.0 km/liter
FP	FP	1,550 won/liter

Table 7 Annualized costs of TDV (2025)

unit : 1,000 won

Classification		TDV
CR		2,994
AOC	AFC	2,328
	Insurance	450
	Tax	390
	Maintenance	1,040
	Others	189
	Total	4,397
TAC		6,743

본 논문에서는 미국 DOE의 연구결과[8]를 감안하여 2025년에는 FCV에 들어가는 연료전지의 수명기간이 1,500cycle로 증가하며, TFCV와 TDV의 경제성 분석기간 N을 15년으로 설정하였고 15년 후의 TFCV와 TDV의 잔존가치 S는 모두 0으로 추정하였다. N = 15년, i = 5%인 경우의 CRF는 식 (2)에 의해 약 0.0963이며, TDV의 자본비용은 식 (4)에 의해 약 2,346,000원이다. Table 7에는 2025년을 기준한 TDV의 연간 비용을 수록하였다.

Table 8 Annualized costs of TFCV by VP (2025)

unit : 1,000 won

VP	CR	Insurance	Total cost excluding AFC
50,000	4,994	598	7,211
45,000	4,513	575	6,707
40,000	4,031	553	6,203
35,000	3,550	530	5,699
30,000	3,068	507	5,194

N이 15년인 경우에 TDV의 수명 기간 동안의 평균 차량 가격은 11,250000원이며, 연간 보험료는 450,000원으로 추정하였다. 한편 TDV의 평균 연식은 7년을 기준하면 평균할인율을 75%이고, TDV의 평균 연간 자동차 세금은 약 390,000원이다. 수명기간이 증가하게 되면 연간 보수유지비와 기타 연간 비용이 증가하게 되며, 본 논문에서는 N이 10년에서 15년으로 증가함에 따라 연간 보수유지비와 기타 운영비가 40%씩 증가하여 TDV의 연간 보수유지비와 기타 운영비를 각기 1,040,000원과 189,000원으로 추정하였다.

Table 7을 보면 N이 10년에서 15년으로 증가하면 TDV의 TAC는 7,122,000원에서 6,743,000원으로 감소하며, 이러한 TDV의 TAC는 TFCV의 소비자가격 및 수소 가격에 관계없이 일정하다.

최근에 일본의 Toyota 자동차회사는 세단형 FCV인 Mirai를 약 68,000,000원에 판매한다고 발표하였다. 따라서 보조금이 없는 경우에는 2025년의 TFCV의 차량 판매가격이 50,000,000원을 초과하면 TFCV의 보급이 어려울 것으로 사료된다. Table 8에는 TFCV의 소비자가격 VP가 주어진 경우의 연간 비용을 수록하였다.

N이 10년인 경우와 마찬가지로 TFCV의 자동차 세금, 보수유지비, 기타 운영비는 TDV와 동일한 것으로 가정하였으며, 이러한 TDV의 비용들의 합은 1,619,000원이다. Table 8을 보면 차량의 판매가격 VP가 감소함에 따라 CR과 차량의 보험료는 감소하며 VP가 각기 50,000,000원과 30,000,000원인 경우에 AFC를 제외한 TFCV의 총 연간 비용은 각기 7,211,000원과 5,194,000원 등으로 추정되었다.

Table 9 Break-even points of hydrogen cost by VP (2025)

VP	AFC	FP
50,000,000 won	-468,000 won	-
45,000,000 won	36,000 won	174 won/kg
40,000,000 won	540,000 won	2,609 won/kg
35,000,000 won	1,044,000 won	5,043 won/kg
30,000,000 won	1,549,000 won	7,483 won/kg

한편 TDV의 총 연간비용은 6,743,000원이므로 TFCV와 TDV의 총 연간비용이 동일하게 되는 수소충전소에서의 수소 가격 FP는 두 비용이 동일하게 되는 AFP를 이용하여 계산하여 산출할 수 있다. Table 9에는 TFCV의 소비자가격에 따른 손익분기점 수소 가격을 수록하였다.

Table 9를 보면 TFCV의 VP가 50,000,000원이면 수소충전소에서의 수소 가격에 관계없이 TFCV는 TDV와 비교하여 경제성이 없는 것으로 분석되었다. 한편 TFCV의 VP가 35,000,000원이면 AFC를 제외한 TFCV의 총 연간비용은 5,699,000원이고 TDV의 총 연간비용은 6,743,000원이므로 TFCV와 TDV의 총 연간비용이 동일하게 되는 TFCV의 AFC는 1,044,000원이다. 이러한 AFC를 TFCV의 연간 수소사용량인 207kg으로 나누면 5,043원/kg이며, 이러한 손익분기점 수소 가격은 TFCV와 TDV의 총 연간비용이 동일하게 되는 수소충전소에서의 수소 판매가격이다. 마찬가지로 VP가 30,000,000원이면 TFCV와 TDV의 총 연간비용이 동일하게 되는 TFCV의 AFC와 손익분기점 수소 가격 FP는 각기 1,549,000원과 7,483원/kg 등이다.

한편 2025년까지는 FCV의 보급대수가 많지 않을 것으로 예상되기 때문에 수소충전소에서의 수소 판매가격을 7,500원/kg 이하로 감소시키기는 어려울 것으로 예상된다. 따라서 2025년 이후에 FCV를 대량으로 보급하기 위해서는 FCV의 목표 판매가격을

30,000,000원, 수소충전소에서의 목표 수소 판매가격을 7,500원/kg 등으로 설정하는 것이 바람직하며 FCV와 수소충전소에 대한 보조금 등을 통하여 FCV와 수소충전소에서의 목표 가격들을 유지하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 논문에서는 수명주기에 기초한 총 연간비용 분석방법을 이용하여 기존 내연기관차와 비교한 국내 연료전지차의 경제성 분석을 수행하였다. 2015년을 기준하여 국내 연료전지차는 차량의 판매가격과 수소충전소에서의 수소 판매가격이 모두 적정가격보다 너무 비싸기 때문에 경제성이 많이 부족한 것으로 분석되었다. 따라서 수소경제 초기에 연료전지차를 보급하기 위해서는 FCV와 수소충전소에 대한 정부의 보조금과 세제 혜택 등이 필수적이다.

2025년에 FCV를 대량으로 보급하기 위해서는 FCV의 가격과 수소충전소에서의 수소 판매가격을 크게 낮추는 것이 필요하며 TFCV의 목표 판매가격을 30,000,000원, 수소충전소에서의 목표 수소 판매가격을 7,500원/kg 등으로 설정하였다. 또한 2025년 이후에 FCV를 대량으로 보급하기 위해서는 FCV와 수소충전소에 대한 보조금을 통하여 이러한 목표 가격들을 유지하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

References

1. M. Granovskii, I. Dincer, M.A. Rosen, “Economic and Environmental Comparison of Conventional, Hybrid, Electric and Hydrogen Fuel Cell Vehicles”, Journal of Power Source, Vol. 29, 2006, pp. 1186-1193.
2. G.J. Offer, M. Contestabile, D.A. Howey, R. Clague, N.P. Brandon, “Techno-economic and Behavioral Analysis of Battery Electric, Hydrogen Fuel Cell and Hybrid Vehicles in a Future Sustainable Road Transport System in the UK”, Energy Policy, Vol. 39, 2011, pp. 1939-1350.
3. M.E. Yang, B. Gim, J.W. Kim, “An Economic Feasibility Analysis of a Hydrogen Fuel-cell Vehicle Considering GHG”, Journal of the Korean Society of New and Renewable Energy, Vol. 1, 2005, pp. 42-50.
4. G.A. Fleisher, Engineering Economy: Capital Allocation Theory, Boston, Massachusetts, USA, PWS Engineering, 1984.
5. Department of Energy, Multi-Year RD&D, National Renewable Energy Laboratory, USA, 2011.
6. Korea Energy Economics Institute, A Permanent Establishment Sample Survey on the Household Energy Consumption in 2012, Korea, 2013.
7. D.B. Meyer, G.D. Ariff, B.D. James, J.S. Lettow, C.E. Thomas, R.C. Kuhn, Cost and Performance Comparison of Stationary Hydrogen Fueling Appliances, Arlington, Virginia, USA: Directed Technology Inc., 2002.
8. J.X. Weinert, L. Shaojun, J.M. Ogden, M. Jianxin, “Hydrogen Refueling Station Costs in Shanghai”, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 32, 2007, pp. 4089-4100.
9. B. Gim, W.L. Yoon, “Analysis of the Economy of Scale and Estimation of the Future Hydrogen Production Costs at On-site Hydrogen Refueling Stations in Korea”, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 37, 2012, pp. 19138-19145.