Trans. of Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 28, No. 1, 2017, pp. 47~55
DOI: https://doi.org/10.7316/KHNES.2017.28.1.47

KHNES
pISSN 1738-7264 • eISSN 2288-7407

동적 이용률을 고려한 수소충전소 사업의 경제성 분석

김봉진†

단국대학교 산업공학과

An Economic Analysis of the Hydrogen Station Enterprise Considering Dynamic Utilization

BONGJIN GIM†

Dankook University, 119 Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan 31116, Korea

†Corresponding author :
bjgim@dankook.ac.kr

Received 18 January, 2017
Revised 8 February, 2017
Accepted 28 February, 2017

Abstract >> This paper deals with the after-tax economic feasibility analysis of the hydrogen fueling station considering dynamic utilization. We selected an off-site hydrogen station in which the hydrogen is supplied by a central by-product hydrogen plant as a case study. Also, we made some sensitivity analysis by changing input factors such as the discount rate, the hydrogen station construction cost, the hydrogen demand and the hydrogen sale price. As a result, the hydrogen station will not be economical in 2020 due to the relatively high price of the hydrogen station construction cost and the low price of hydrogen sale price. In order to realize the economic feasibility of the hydrogen station in the early stage of the hydrogen economy, the subsidies on the annual operating cost as well as the construction cost are needed.

Key words : Hydrogen station(수소충전소), After-tax economic analysis(세후 경제성 분석), Dynamic utilization(동적 이용률), Subsidy(보조금), By-product hydrogen (부생수소)

Nomenclature

BL : bank loan
D : depreciation
EV : electric vehicle
FCV : fuel cell vehicle
HS : hydrogen station
HSCC : hydrogen station construction cost
HSPC : hydrogen station production capacity
IROL : interest rate of loan
IRR : internal rate of return
NPV : net present value
STHS : subsidy to hydrogen station
UHPP : unit hydrogen purchase price
UHSP : unit hydrogen sale price

2017 The Korean Hydrogen and New Energy Society. All rights reserved.

Notation

f_t : net cash flow at time t
i : discount rate for the ordinary price
I : initial investment of a hydrogen station
IP_t : interest payment at time t
N : life cycle period of a hydrogen station
O_t : operating cost at time t
Q_t : hydrogen production quantity at time t
R_t : revenue at time t
RBL_t : repayment to a bank loan at time t
S : salvage value of a hydrogen station
T_t : income tax at time t
TI_t : taxable income at time t
U_t : utilization of a hydrogen station at time t

1. 서 론

최근에는 배기가스 규제 및 환경협약 등에 대응이 가능한 친환경차에 대한 관심이 증대하고 있다. 친환경차는 하이브리드차, 플러그인 하이브리드차, 전기차(electric vehicle: EV), 연료전지차(fuel cell vehicle: FCV) 등으로 구분할 수 있다. FCV는 연료전지를 사용하여 에너지원인 수소와 공기 중의 산소를 반응시켜 얻어지는 전기를 동력원으로 하는 자동차이며, FCV와 EV는 에너지원이 각기 수소와 전기인 점을 제외하면 특성이 비슷하여 구동방법 상의 차이가 거의 없는 편이다.

하이브리드차, 플러그인 하이브리드차, EV 등의 친환경차는 이미 상용화되었으며 점차 시장점유율을 높여가고 있는 실정이다. FCV는 수소충전소의 부족과 수소의 위험성에 대한 대중 인식 등의 문제점 이외에도 비싼 차량 가격 등으로 인한 낮은 경제성이 문제가 되고 있다. 현재 FCV에 대한 정부보조금은 약 2,750만원이며 소비자가 투산 FCV를 구매할 때의 실제 지불가격은 약 5,750만원으로서 투산의 구매가격이 약 3천만원인 점을 고려하면 FCV 가격은 상대적으로 고가이다. 하지만, 향후에는 대량생산에 따른 FCV의 가격인하 등을 통해 2018년에는 3천만원대 후반, 2020년에는 3천만원대 초반까지 FCV 구매가격이 인하될 전망이다.

수소충전소(hydrogen station: HS)는 수소를 자체 생산하여 판매하는 분산형(on-site)과 외부에서 생산된 수소를 공급 받아 단순히 저장한 후 판매하는 중앙집중형(off-site)으로 구분할 수 있다. 일반적으로 미국과 캐나다 등과 같이 국토가 넓은 국가들의 수소경제 초기에는 분산형 HS가 중앙집중형 HS보다 경제적으로 유리하나, 우리나라는 인구밀도가 높고 부생 수소를 상대적으로 저렴한 가격에 공급받을 수 있어서 수소 수요가 적은 수소경제 초기에는 부생수소를 이용한 중앙집중형 HS가 경제적인 것으로 사료된다.

최근에는 미세먼지 감축을 위한 유력한 대안으로 FCV의 보급이 부각되고 있으며, FCV는 정부의 지원하에 2016년 현재 지자체와 공공기관을 중심으로 총 78대가 보급되었다. 또한 HS는 총 19개소가 구축되었으나 실제로 운영 중인 곳은 약 10기에 불과한 실정이다. 현재 국내에서 HS 1기 구축에는 약 30억원의 건설비용이 소요되며, 이러한 국내 HS 건설비용은 미국과 유럽 등의 HS 건설비용보다 약 10억원이 비싼 고가여서 수소인프라 구축에 큰 걸림돌이 되고 있다. 정부는 HS 보급을 위하여 1기에 15억원의 보조금을 지원하고 있으며, 국내 HS 보급사업에는 주로 자동차산업 및 수소산업 육성에 관심이 많은 지자체가 참여하고 있다.

Offer 등은 2030년의 영국의 도로교통 부문을 대상으로 하여 사회적인 관점에서 플러그인 하이브리드차, EV, FCV 등에 대한 기술경제 및 행동 분석을 수행하였다[1]. 그들은 FCV와 EV가 적대적인 관계가 아니고 동시에 추구해야 하는 친환경차이며, 미래에는 하이브리드차보다 플러그인 하이브리드차가 경제적으로 유리할 것으로 전망하였다.

양문희 외는 수명주기와 순현가(net present value: NPV) 방법을 이용하여 사회적인 관점에서 국내 FCV의 경제성을 분석하였다[2]. 그들은 2015년의 투산 FCV의 구입가격을 28,503,579원, HS에서의 수소 판매가격을 5,000원/kg 등으로 예상하여 기존의 투산 자

동차와 투산 FCV와의 증분 분석을 통하여 환경비용을 고려한 투산 FCV의 경제성을 NPV 방법에 의하여 분석하였다. 하지만 그들은 수소경제 초기의 FCV 보급에 필수적인 보조금을 전혀 고려하지 않았으며, 2015년을 기준한 투산 FCV의 가격과 수소 판매가격 등을 실제 가격보다 아주 낮은 수준으로 예측하였다.

Weinert 등은 중국의 상하이를 대상으로 천연가스, 메탄올, 전기, 부생수소 등을 이용한 분산형 HS의 수소 생산가격을 예측하였다[3]. 그들은 분산형 HS의 경제성을 수소충전소에서의 적정 수소 판매가격을 대리변수로 하여 평가하였다.

Gim and Yoon은 천연가스와 전기 등을 사용하는 국내 분산형 HS의 규모의 경제성을 분석하였다[4]. 그들은 30 Nm^3/h, 100 Nm^3/h, 300 Nm^3/h 등의 수소 생산규모를 갖는 분산형 HS의 수소 제조가격을 산출하였으나, HS의 건설비용(hydrogen station construction cost: HSCC)을 HS의 주요 설비들이 상업화단계에 도달하는 미래 시점에서의 비용을 기준하여 상대적으로 낮은 수소 제조가격을 제시하였다.

Kang 등은 국내 HS 건설의 경제성 분석을 수행하였다[5]. 그들은 다양한 수소 생산규모를 갖는 분산형 및 중앙집중형 HS들의 HSCC를 제시하였으며, 이러한 HSCC는 보조금과 융자금이 없는 경우의 HS 사업의 초기투자비이다. 또한 그들은 압축수소(부생수소)를 이용한 100 kg/일, 400kg/일, 1,000 kg/일 등의 수소 생산규모를 갖는 중앙집중형 HS의 2020년과 2030년 시점에서의 HSCC를 예측하였다.

국내 HS의 보급목표를 달성하기 위해서는 민간 사업자의 참여가 필수적이며, 본 논문에서는 민간 사업자의 입장에서 수소경제 초기의 HS 사업의 경제성을 파악하고자 한다. 수소경제 초기에는 보급된 FCV 수가 적기 때문에 HS의 이용률이 낮으며, 시간이 경과함에 따라 FCV 수가 증가하여 HS의 이용률이 점진적으로 높아지는 동적인(dynamic) 특성을 보일 것으로 전망된다. HS의 이용률은 HS의 실제 수소생산량을 최대 수소생산량으로 나눈 값으로 정의할 수 있으며, 본 논문에서는 HS의 이용률이 연도별로 다른 동적인 이용률을 가정하고, 경상가격을 기준한 세후 경제성 분석에 의해 HS 사업의 경제성을 평가하였다.

본 논문은 다음과 같은 내용으로 구성된다. 제 2장에서는 민간 사업자의 입장에서 HS 사업에 대한 경제성을 분석하는 방법을 설명한다. 수소경제 초기에 HS의 이용률이 시간의 흐름에 따라 높아지는 동적인 이용률을 가정하여 경상가격을 기준한 세후 경제성 분석방법에 의해 HS 사업의 경제성을 분석한다. 제 3장에서는 사례연구로서 2020년을 대상으로 부생수소를 이용한 중앙집중형 HS를 연구대상으로 하여 HS 사업의 경제성을 분석하고 할인율, HSCC, 수소 판매가격, 수소 수요량 등의 변화에 따른 HS 사업의 경제성의 변화를 파악한다. 마지막으로 제 4장에서는 본 논문의 연구결과를 요약하고 향후 연구방향에 대해서 언급한다.

2. 수소충전소 사업의 경제성 분석 방법

본 논문에서는 HS 사업자의 입장에서 수명 주기에 기초한 HS의 경제성을 분석하였다. HS의 경제성은 초기투자비, 연간 수입, 연간 운영비, 잔존 가치 등에 의해 결정된다. 초기투자비 I는 HS 사업자가 HS 건설 시에 지불하는 초기 비용이며, 잔존가치 S는 수명기간 이후에 HS를 처분하여 얻는 수입이다. I와 S가 1회성 비용인 반면에, 연간 수입과 연간 운영비는 HS 수명기간 동안에 계속하여 발생한다. Fig. 1에는 HS 사업에 따른 연도별 현금흐름을 나타내는 현금흐름도(cash flow diagram)를 수록하였다.

Fig. 1에 제시된 바와 같이 HS의 경제성 분석기간은 수명기간을 나타내는 N으로 표기하였다. 또한 위

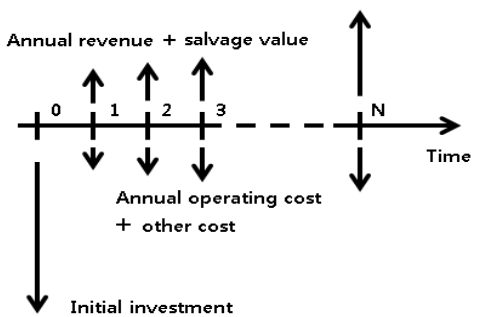

Fig. 1. Cash flow diagram of a HS

와 같은 현금흐름도에서 화살표 아래 방향은 지출, 위 방향은 수입을 나타낸다.

HS의 총 건설비용은 HSCC이지만 HS 건설 시에 HS 사업자에게 지불되는 보조금이 STHS (subsidy to hydrogen station)이고 은행으로부터 BL의 융자금을 받는 경우에, HS 사업자의 입장에서 0 시점에서의 실제 초기투자비 I는 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$I = HSCC - STHS - BL \tag{1}$$

HS 사업의 주요 수입은 수소에너지를 판매하여 얻는 수입이며, 본 논문에서는 기타 수입이 없는 것으로 가정하였다. HS의 연간 수소생산능력을 HSPC (hydrogen station production capacity), t년도의 이용률을 U_t로 표기할 때 t년도의 수소생산량 Q_t는 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$Q_t = HSPC \times U_t \tag{2}$$

UHSP (unit hydogen sale price)를 부가가치세를 제외한 HS에서의 단위당 수소 판매가격으로 표기하고 생산된 수소에너지를 모두 판매한다고 가정할 때, t년도의 연간 판매수입을 나타내는 R_t는 다음과 같다.

$$R_t = UHSP \times Q_t \tag{3}$$

HS의 연간 운영비는 크게 인건비, 원료비(연료비), 보수유지비, 부지 임대료, 기타 운영비 등으로 구분할 수 있다. HS의 운영비 중에서 연료비(원료비)는 가장 큰 비중을 차지하며 분산형 HS의 경우에는 천연가스, 메탄올, 전기 등의 연료비이고, 중앙집중형 HS의 경우에는 부생수소 등의 구입비용이다. 보수유지비는 수소충전소의 설비의 보수유지 및 검사 등에 소요되는 비용이며 시간이 경과하여 설비가 노후화함에 따라 보수유지비는 증가한다. 본 논문에서는 t년도의 연간 운영비를 O_t로 표기하였으며, 세후 경제성 분석을 위하여 t년도의 법인세는 T_t로 표기하고 기타 운영비에서 분리하여 별도의 항목으로 하였다.

RBL_t를 은행으로부터의 융자금 BL에 대한 t년도의 원리금 상환액으로 표기하면, t년도의 순현금흐름을 나타내는 f_t는 연도별로 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$f_t = \begin{cases} -I, & t=0 \\ R_t - O_t - RBL_t - T_t, & 1 \le t \le N-1 \\ R_N - O_N - RBL_t - T_N + S, & t=N \end{cases} \tag{4}$$

식 (4)를 보면 f_0는 0 시점의 실제 초기투자비 -I이며, t년도의 순현금흐름을 나타내는 f_t는 연간 판매수입에서 운영비, 원리금 상환액, 세금 등을 차감한 금액이다. 또한 HS의 수명주기인 N 시점에서의 순현금흐름을 나타내는 f_N은 일반적인 f_t에 잔존가치 S가 추가된 금액이다. 본 논문에서는 세후 분석방법에 의한 NPV 방법을 이용하여 HS 사업의 경제성을 분석하였으며, HS 사업의 할인율을 i로 표기하면 HS 사업의 NPV는 다음과 같다.

$$NPV = \sum_{t=0}^{N} \frac{f_t}{(1+i)^t} \tag{5}$$

HS 사업의 경제성을 나타내는 NPV가 양수이면 HS 사업의 경제성이 있으며, 음수이면 경제성이 없는 것으로 판단한다. 또한 NPV의 값이 클수록 HS 사업의 경제성이 좋은 것을 나타낸다. HS 사업의 경제성을 판단하는 다른 지표로는 내부수익률(internal rate of return, IRR)이 있다. IRR은 식 (5)의 NPV가 0이 되는 할인율로 정의되며 HS 사업의 IRR이 할인율 i보다 크면 HS 사업의 경제성이 있는 것으로 판단하고, 그렇지 않으면 경제성이 없는 것으로 판단한다.

3. 사례 연구

3.1 수소충전소의 경제성 분석

본 사례연구에서는 수소경제 초기에는 FCV 보급대수가 충분하지 않고 HSCC가 상대적으로 고가인 측면 등을 고려하여 민간 HS 사업자는 투자 시점을 늦추어 2020년에 사업을 개시하는 것으로 설정하였다. 또한 HS 사업자는 규모가 커질수록 수소 생산단가가 낮아지는 규모의 경제 효과를 고려하여 HSPC가 400

Table 1. Estimated values of variables for a HS

Classification	Value of variables
N	15 years
i	7%
IROL	3%
HSCC	2.6 billion won
STHS	1.3 billion won
BL	0.65 billion won
S	0.13 billion won
HSPC	400 kg/day (146,000 kg/year)
UHPP	5,600 won/kg (500 won/Nm^3)
UHSP	9,000 won/kg

kg/day이고 압축수소(부생수소)를 이용한 중앙집중형 HS를 연구대상으로 하였다.

HS 사업의 수명기간 N은 HS 사업의 중요한 요소 중의 하나이며 최소 10년에서[3] 최대 20년[4] 사이로 추정되고 있다. 본 논문에서는 수소경제 초기를 대상으로 하는 점을 고려하여 N을 15년으로 설정하였다. Table 1에는 HS 사업의 경제성 평가에 필요한 주요 변수들에 대한 추정치를 수록하였다.

본 논문에서는 2020년 400 kg/일 수소 생산규모의 HS 건설에 소요되는 총 건설비 HSCC는 Kang 등의 연구결과를[5] 기준하여 약 26억 원, HS에 지원되는 정부 및 지자체의 보조금은 13억 원, 은행으로부터 융자금은 BL은 6.5억 원 등으로 설정하였다. 이러한 경우에 HS 사업자의 순 초기투자비 I는 식 (1)에 의해 6.5억 원이다. 또한 HS 사업의 수명기간 이후의 잔존가치를 나타내는 S는 HSCC의 5%인 130,000,000원으로 추정하였다. 은행으로부터의 융자금 6.5억 원은 연간 이자율(IROL) 3%로 10년간 균등하게 원리금을 상환하며, 할인율 i는 가중평균 자본비용과 수소경제 초기의 HS 사업의 위험도를 감안하여 연간 7%로 설정하였다.

김봉진은 투산 FCV와 투산 경유차의 총 연간비용을 비교하였으며, 투산 FCV의 연비 80 km/kg과 연간 주행거리 16,517 km를 기준하여 투산 FCV의 연간 수소 사용량을 207 kg, 투산 경유차의 연간 경유 사용량을 1,502 liter로 산정하였다[6]. 또한 2020년에는 투산 FCV의 연비가 85 km/kg으로 향상되는 것으로 가정하여, 투산 FCV의 1 대당 연간 수소 사용량을 194 kg으로 추정하였다. 한편 2017년 1월 6일의 전국 주유소 평균 경유 판매가격인 1,292원/liter를 기준하면, 두 차량의 연간 연료비가 동일하게 되는 HS의 수소 판매가격은 10,004원/kg이다.

Table 2. Hydrogen demand and utilization of HS

Year	2015	2020	2025	2030
Number of FCV	71	10,000	100,000	630,000
Number of HS	10	100	210	520
Number of FCV/HS	7.1	100	476	1,212
Hydrogen demand/HS	1.5 ton	19.4 ton	92.3 ton	235.1 ton
Utilization	1.0%	13.3%	63.2%	90%

FCV 소유자의 입장에서 비교 대상이 되는 일반 차량의 연간 연료비보다 FCV의 연간 연료비가 저렴해야 하므로, 평가 기준이 되는 UHSP를 9,000원/kg으로 설정하였다. 또한 단위당 압축수소의 구입비용(UHPP: unit hydrogen purchase price)은 수소 생산지로부터의 거리와 구입량 등에 따라 차이가 있으나, 본 논문에서는 500원/Nm^{3}를 기준하였으며 이를 환산하면 5,600 원/kg이다.

정부는 최근에 '수소차 보급 및 시장 활성화 계획'을 수립하였으며, 2020년에는 FCV의 누적 보급대수를 10,000대, HS의 누적 보급기수를 100 기로 하는 계획을 발표하였다[7]. Table 2에는 정부의 연도별 FCV 및 HS 보급계획을 기준한 HS의 평균 수소에너지 수요량과 이용률을 수록하였다.

2020년의 HS 1기당 평균 FCV 보급대수는 100대이므로 여기에 194 kg을 곱하여 HS 1기의 연간 수소 수요량(판매량)을 19,400 kg으로 추정하였다. 한편 HSSC가 400 kg/day인 HS의 연간 최대 수소 생산량(판매량)은 146,000 kg이므로 2020년의 HS 평균 이용률을 연간 수소 수요량 19,400 kg을 146,000 kg으로 나눈 13.3%로 추정하였다. 본 논문에서는 야간 시간 등에는 HS의 수소 수요가 충분하지 않은 점 등을 고

Table 3. Estimated U_t, Q_t, R_t of the HS

t	U_t(%)	Q_t(ton)	R_t(million won)
1	13.3	19.4	174.6
2	23.2	33.9	305.1
3	33.2	48.5	436.5
4	43.2	63.1	567.9
5	53.2	77.7	699.3
6	63.2	92.3	830.7
7	82.7	120.8	1,087.2
8	90.0	131.4	1,182.6
9	90.0	131.4	1,182.6
10	90.0	131.4	1,182.6
11	90.0	131.4	1,182.6
12	90.0	131.4	1,182.6
13	90.0	131.4	1,182.6
14	90.0	131.4	1,182.6
15	90.0	131.4	1,182.6

려하여 HS의 최대 이용률을 90%로 한정하였다. Table 3에는 HSPC가 400 kg/day인 HS의 연도별 수소 생산량, 이용률, 연간 판매수입 등의 추정치를 수록하였다.

마찬가지 방법으로 각 기준년도의 HS의 평균 수요량과 이용률을 산출할 수 있으며, 2030년 HS 1기의 평균 수소 수요량은 약 235,000 kg으로 연간 최대 수소 생산가능량인 146,000 kg을 초과하므로 HS의 이용률은 최대 이용률인 90%로 추정하였다.

HS의 연간 운영비는 원료비(연료비), 인건비, 보수유지비, 기타 운영비 등으로 구분할 수 있으며, 이 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 비용은 원료비 또는 연료비이다. HS의 연도별 원료비 또는 압축수소 구입비는 Table 3의 연도별 수소 생산량 Q_t에 UHPP인 5,600원/kg를 곱하여 산출할 수 있으며, Table 4에는 HS의 연도별 연간 운영비를 항목별로 수록하였다.

HS의 운영 인원은 수소 수요가 적은 HS 도입 초기(t = 1, 2)에는 정규직 근로자 1인과 비정규직 근로자 1인으로 운영하나, t = 3, 4, 5 시점에서는 정규직 근로자 1인과 비정규직 근로자 2인, t = 6 시점 이후에는 정규직 근로자 1인과 비정규직 근로자 3인으로 운영하는 시스템을 기준하였다. 또한 t = 1시점의 정규직 근로자의 연간 인건비는 40,000,000원, 비정규직 근로자의 연간 인건비는 20,000,000원 등을 기준하였으며, 수명기간 동안의 HS 사업의 연간 인건비 상승률은 2010년부터 2015년까지의 노동비용 상승률인 3.5%를 기준하였다.

Table 4. Estimated operating cost Ot of the HS

unit : million won

t	O_t				
	Fuel	Labor	Maintenance	Other	Total
1	108.6	60.0	65.0	52.0	285.6
2	189.8	62.1	66.6	53.3	371.8
3	271.6	64.3	68.3	54.6	458.8
4	353.4	88.7	70.0	56.0	568.1
5	435.1	91.8	71.7	57.4	656.0
6	516.9	95.0	73.5	58.8	744.2
7	676.5	122.9	75.4	60.3	935.1
8	735.8	127.2	77.3	61.8	1,002.1
9	735.8	131.7	79.2	63.4	1,010.1
10	735.8	136.3	81.2	64.9	1,018.2
11	735.8	141.1	83.2	66.6	1,026.7
12	735.8	146.0	85.3	68.2	1,035.3
13	735.8	151.1	87.4	69.9	1,044.2
14	735.8	156.4	89.6	71.7	1,053.5
15	735.8	161.9	91.8	73.5	1,063.0

HS의 보수유지비는 운영 초기에 거의 들어가지 않지만 시간이 경과함에 따라 증가하며, overhaul 등의 작업에 의하여 특정한 해에 많이 소요될 수도 있다. Gim and Yoon은 HS의 평균 보수유지비를 HSCC의 3.5%로 추정하였으며[4], 본 논문에서는 t = 1 시점의 보수유지비는 HSCC의 2.5%이나 다음 년도의 보수유지비는 전년도의 보수유지비에 비하여 2.5%씩 매년 증가하는 것으로 추정하였다.

HS의 기타 운영비에는 부지 임대료, 전기료, 수도료, 보험료 등이 포함되며, 본 논문에서는 Gim and Yoon의 연구결과를 감안하여 t = 1 시점의 기타 운영비는 HSCC의 2.0%이고 보수유지비와 마찬가지로 기타 운영비는 HS 사업의 수명기간 동안에 2.5%씩 매년 증가하는 것으로 추정하였다.

Table 5. RBL_t, IP_t and TI_t of the HS

unit : million won

t	Principal repayment	IP_t	RBL_t	TI_t
1	56.68	19.50	76.18	0
2	58.38	17.80	76.18	0
3	60.13	16.05	76.18	0
4	61.94	14.24	76.18	0
5	63.79	12.39	76.18	0
6	65.71	10.47	76.18	0
7	67.68	8.50	76.18	13.60
8	69.71	6.47	76.18	44.03
9	71.80	4.38	76.18	38.12
10	74.18	2.00	76.18	32.40
11				155.90
12				147.30
13				138.40
14				129.10
15				249.60

Table 6. Estimated T_t and f_t of the HS

unit : million won

t	I/S	R_t	O_t	RBL_t	T_t	f_t
0	-650					-650
1		174.6	285.6	76.18	0	-187.18
2		305.1	371.8	76.18	0	-142.88
3		436.5	458.8	76.18	0	-98.48
4		567.9	568.1	76.18	0	-76.38
5		699.3	656.0	76.18	0	-32.88
6		830.7	744.2	76.18	0	10.32
7		1087.2	935.1	76.18	1.50	74.42
8		1182.6	1002.1	76.18	4.84	99.48
9		1182.6	1010.1	76.18	4.19	92.13
10		1182.6	1018.2	76.18	3.56	84.66
11		1182.6	1026.7		17.15	138.75
12		1182.6	1035.3		16.20	131.10
13		1182.6	1044.2		15.22	123.18
14		1182.6	1053.5		14.20	114.90
15	130	1182.6	1063.0		32.91	216.69

본 사례연구에서는 은행으로부터의 융자금 6.5억 원을 연간 이자율(IROL) 3%를 기준하여 10년간 동일한 금액으로 상환하는 것으로 설정하였다. 이러한 조건하에 t년도의 연간 원리금 상환액 RBL_t는 t = 1부터 t = 10까지 매년 동일한 약 76,180,000원이다. 또한 RBL_t는 연도별로 원금 상환액(principal repayment)과 이자 지불액(interest payment) 등으로 구분할 수 있으며, t년도의 이자 지불액을 나타내는 IP_t는 전년도인 t-1년도의 잔여 원금에 IROL을 곱하여 산출할 수 있다.

본 사례연구에서는 HS 사업의 초기 수입이 적은 점을 감안하여 감가상각법은 정액법을 적용하고 법정 내용년수는 10년으로 설정하였다. D를 정액법을 적용한 감가상각비(depreciation)로 표기하면, 보조금을 제외한 HS 사업의 초기투자비는 1,300,000,000원이므로 D는 초기투자비를 법정내용년수인 10으로 나눈 값인 130,000,000원이다.

HS 사업의 법인세는 각 연도의 과세표준(taxable income)에 의해 결정되며, t (t = 1, 2, …, N-1) 년도의 과세표준을 나타내는 TI_t는 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$TI_t = R_t - O_t - IP_t - D \tag{6}$$

한편 HS 사업의 수명주기 종료시점인 t = N에서의 과세표준 TI_N에는 잔존가치 S가 추가되며, TI_t가 음수이면 TI_t의 값을 0으로 변환하였다. Table 5에는 HS 사업의 RBL_t, IP_t, TI_t 등을 수록하였다.

Table 5를 보면 HS 사업을 개시하고 첫 6년 동안은 비용이 수입을 초과하여 손해가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 식 (4)에 의한 과세표준이 음수이므로 이를 0으로 조정하였으며, HS 사업의 연도별 순수입을 나타내는 과세표준은 감가상각기간이 지난 t = 11년 이후부터 크게 증가하는 것으로 분석되었다.

국내 법인세는 과세표준이 2억 원 이하이면 과세표준의 10%, 2억 원 이상 200억 원 미만이면 20%, 200억 원을 초과하면 22%를 과세하고 있다. 또한 법인세의 10%를 주민세로 부과하므로 과세표준이 2억 원 이하이면 11%, 2억 원 이상 200억 원 미만이면 22%의 종합세율을 적용하였다. T_t를 t 년도의 과세표준 TIt에 부과되는 t 년도의 세금으로 표기할 때 HS 사업의 t 년도의 순현금흐름을 나타내는 f_t는 식 (4)에 의해 산출할 수 있으며, Table 6에는 연도별 세금과 순현금흐름 등

Table 7. Sensitivity analysis on NPV and IRR by discount rate

i	NPV(million won)	IRR(%)
5%	-510.5	-0.85
6%	-563.3	-0.85
7%	-609.2	-0.85
8%	-649.2	-0.85
10%	-688.1	-0.85

Table 8. Sensitivity analysis on NPV and IRR by UHSP

UHSP	NPV(million won)	IRR(%)
8,000 won/kg	-1385.6	-
9,000 won/kg	-609.2	-0.85
10,000 won/kg	126.9	8.37
11,000 won/kg	807.2	14.91

Table 9. Sensitivity analysis on NPV and IRR by HSCC

HSCC	NPV(million won)	IRR(%)
+ 20%	-833.1	-2.65
+ 10%	-719.7	-1.76
0 %	-609.2	-0.85
- 10%	-521.7	-0.11
- 20%	-386.3	1.38

을 수록하였다.

Table 6을 보면 HS 사업은 6년이 경과하여야 수익이 발생하며, 식 (5)에 의한 HS 사업의 NPV는 -609,200,000원이고 IRR은 -0.85%로 Table 1의 주요 변수들의 추정치에 근거한 수소경제 초기의 HS 사업은 경제성이 없는 것으로 분석되었다. 그러므로 수소경제 초기에는 HS에 대한 정부의 초기투자비 보조금 이외에 연간 운영비에 대한 보조금 지급 등을 통하여 HS 사업의 경제성을 확보하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

3.2 민감도 분석

본 논문에서는 HS 사업의 경제성에 크게 영향을 줄 수 있는 할인율, 수소 판매가격, 수소 수요의 변화에 따른 수소충전소의 이용률, 수소충전소의 건설비용 등의 변화에 따른 HS 사업의 NPV와 IRR의 변화를 파악하였으며, 이러한 민감도 분석 수행결과를 각기 Table 7, Table 8, Table 9, Table 10 등에 수록하였다.

Table 7을 보면 할인율 i의 변화에 따른 HS 사업의 NPV의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 할인율이 7%에서 5%로 감소하면 NPV는 -609,200,000원에서 -510,500,000원으로 약간 증가하나, 할인율이 0%가 되어도 HS 사업은 경제성이 없는 것으로 나타났다.

수소충전소에서의 수소 판매가격인 UHSP가 증가하면 HS 사업의 NPV와 IRR은 증가한다. UHSP가 10,000원/kg으로 증가하면 NPV는 126,900,000원, IRR은 8.37%이 되어 HS 사업의 경제성을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다. 하지만, UHSP가 8,000원/kg으로 감소하면 NPV는 -1,385,600,000원으로 감소하고 IRR은 -100%를 초과하는 것으로 분석되었다.

Table 9를 보면 수소충전소의 초기 건설비용인 HSCC가 감소하면 HS 사업의 경제성은 상대적으로 개선된다. HSCC가 20% 증가하여 3,120,000,000원으로 증가하면 NPV는 -833,100,000원, IRR은 -2.65%로 경제성이 나빠지며, HSCC가 20% 감소하여 2,080,000,000원이면 NPV는 -386,300,000원으로 개선되는 것으로 나타났다.

FCV가 기준이 되는 연도별 수요예측치보다 적게 보급되어 HS에서의 수소 수요량이 감소하면 HS의 이용률이 감소하고 HS 사업의 경제성은 악화된다. Table 10을 보면 수소수요량이 기준수요량보다 40% 감소하면 NPV는 -1,175,200,000원으로 감소하고, 40% 증가하면 NPV는 -251,700,000원으로 증가한다. 하지만, 수소 수요량이 기준수요량보다 40% 증가하여도 HS 사업의 경제성은 여전히 부족한 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 논문에서는 수명주기에 기초한 NPV 분석방법을 이용하여 민간 사업자의 입장에서 HS 사업의 경제성 분석을 수행하였다. 수소경제 초기에는 HS의 이용률이 시간이 경과함에 따라 증가하는 동적인 이용률을 나타낼 것으로 예상되므로, 동적 이용률을 고려한 HS 사업의 경제성을 세후 경제성 평가방법에 의해 평

가하였다.

2020년을 기준한 국내 HS 사업은 수소 수요량이 충분하지 않고 수소 판매가격을 고가로 받을 수 없는 한계가 있기 때문에 경제성이 많이 부족한 것으로 분석되었다. 수소경제 초기에는 HS에 대한 정부의 초기 투자비 보조금 이외에 연간 운영비에 대한 보조금 지급 등을 통하여 HS 사업의 경제성을 확보하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

후 기

이 연구는 2016학년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 연구되었다.

References

1. G.J. Offer, M. Contestabile, D.A. Howey, R. Clague and 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. 1939-1950.
2. M.H. Yang, B. Gim and 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.
3. J.X. Weinert, L. Shaojun, J.M. Ogden and M. Jianxin, "Hydrogen Refueling Station Costs in Shanghai", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 32, 2007, pp. 4089-4100.
4. B. Gim and 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.
5. B. Kang, T. Kim and T. Lee, "Analysis of Costs for a Hydrogen Refueling Station in Korea", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 27, No. 3, 2016, pp. 256-263.
6. B. Gim, "An Economic Analysis of Domestic Fuel Cell Vehicles Considering Subsidy and Hydrogen Price", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 26, No. 1, 2015, pp. 35-44.
7. Ministry of Environment and Ministry of Trade, Industry and Energy, The Plan of Dissemination and Market Activation of Hydrogen Fuel Cell Vehicles, Korea, 2015.