

국내 분산형 수소충전소의 규모의 경제성 분석

김봉진[†] · 김종욱*

단국대학교 산업공학과, *한국에너지기술연구원 정책연구부
(2007년 3월 5일 접수, 2007년 11월 19일 채택)

An Analysis of the Economy of Scale for Domestic On-site Hydrogen Fueling Stations

Bongjin Gim[†] and Jong-Wook Kim*

Dept. of Industrial Engineering Dankook University, San 29 Anseo-dong Cheonan Chungnam 330-714, Korea

*Dept. of R&D Policy Research KIER, 71-2 Jang-dong Yusung-ku Daejeon 305-343, Korea

(Received 5 March 2007, Accepted 19 November 2007)

요 약

본 연구에서는 증기개질 방식으로 천연가스와 납사를 연료로 하여 수소를 생산하는 국내 분산형 수소충전소의 규모의 경제성 문제를 다루었다. 분산형 수소충전소의 수소 생산규모는 30 Nm³/hr, 100 Nm³/hr, 300 Nm³/hr 등을 분석대상으로 하였다. 분산형 수소충전소의 초기투자비 및 연간운영비, 수소 판매가격 등을 주요 변수로 하는 전통적인 경제성 분석모형을 수립하였으며 수소 판매가격과 할인율을 대상으로 민감도 분석을 수행하였다. 천연가스를 원료로 하는 수소충전소의 수소가격은 30 Nm³/hr, 100 Nm³/hr, 300 Nm³/hr 등의 생산규모에 대하여 각각 18,472원/kg, 10,689원/kg, 7,758원/kg이며, 천연가스 대신에 납사를 사용하여도 거의 비슷한 수소 가격을 갖는 것으로 추정되었다. 현 시점에서 300 Nm³/hr 이하의 수소충전소는 경제성이 부족한 것으로 나타났으며, 이러한 경제성 분석결과는 향후에 분산형 수소충전소를 건설할 때 중대형 생산규모 이상의 수소충전소를 중심으로 보급하는 것이 바람직한 방안인 것을 시사하고 있다.

주요어 : 분산형 수소충전소, 수소 가격, 규모의 경제성, 경제성 분석, 증기 개질

Abstract — This paper deals with the economy of scale for domestic on-site hydrogen stations fueled with natural gas and naphtha. We evaluate the economic feasibility of on-site hydrogen stations with hydrogen production capacities of 30Nm³/hr, 100Nm³/hr and 300 Nm³/hr. We build a classical economic feasibility model and we make some sensitivity analyses by changing the values of input factors such as the hydrogen sale price and the discount rate. The estimated hydrogen prices of steam methane reforming stations with production capacities of 30 Nm³/hr, 100 Nm³/hr and 300 Nm³/hr are 18,472 won/kg, 10,689 won/kg and 7,758 won/kg, respectively. Also, the hydrogen prices are about the same if we use naphtha as a raw material for hydrogen energy instead of natural gas. It turns out that small and medium size domestic on-site hydrogen stations will not be economical in the near future. This indicates that we need to construct large scale on-site hydrogen fueling stations even for the initial phase of the hydrogen economy.

Key words : On-site hydrogen fueling station, Hydrogen price, Economy of scale, Economic analysis, Steam reforming

[†]To whom correspondence should be addressed.
Dept. of Industrial Engineering Dankook University, San 29
Anseo-dong Cheonan Chungnam 330-714, Korea
Tel: 041-550-3572
E-mail: bjgim@dankook.ac.kr

1. 서 론

수소는 사용 시에 환경오염이 발생하지 않는 청정 에너지이며 차세대 에너지로 사용하기 위하여 수소에너지의 제조, 저장, 이용 등의 각 분야에서 많은 연구개발이 진행되고 있다. 수소는 화석연료, 원자력, 태양광, 풍력, 바이오매스 등의 다양한 에너지원으로부터 얻을 수 있다. 현재는 대부분의 수소를 화석연료를 이용하여 생산하고 있으며, 국내에서는 석유정제나 석유화학 등의 산업에서 주로 원료용이나 첨가제 등의 용도로 사용되고 있다. 수소에너지의 이용은 대부분이 연료전지를 통하여 이루어지며 미래에는 주로 수송용, 발전용, 가정용, 휴대용 등의 분야에서 사용될 것으로 전망되고 있다. 수소에너지의 상용화를 위해서는 상당한 기술진보와 이에 따른 경제성 확보가 필수적이다. 그러나 수소에너지의 장점이 단점을 능가하기 때문에 수소경제 시대의 도래는 시간상의 문제인 것으로 예측되고 있다.

수소에너지는 여러 분야에서 사용될 수 있으며 이중에서 수소연료전지 자동차는 수소경제의 핵심이다. 수소에너지는 수소엔진 자동차 또는 수소연료전지 자동차에 사용될 수 있으며, 수소 자동차는 수소충전소에서 수소를 공급받게 된다. 따라서 수소충전소는 수소 자동차와 직접적으로 연계되어 있는 수소경제의 핵심적인 인프라이며 수소경제 시대로의 조기 진입을 위한 교두보로서 매우 중요한 위치를 차지한다. 수소충전소는 수소를 자체에서 생산하여 판매하는 분산형(on-site)과 대규모의 수소 plant에서 생산된 수소에너지를 수송하여 단순히 저장한 후 판매하는 중앙집중형(off-site)으로 구분할 수 있다. 수소에너지의 수요가 적은 수소경제 초기에는 소규모의 분산형 수소충전소를 중심으로 보급하고, 수소경제의 실현시점인 상용화 단계에서는 분산형 수소충전소와 중앙집중형 수소충전소를 병행하여 구축하는 것이 수소경제체제의 물류 및 인프라구축 비용을 최소화하는 방안으로 인식되고 있다.

본 논문은 분산형 수소충전소를 연구대상으로 하며, 수소충전소의 규모에 따른 수소가격의 변화를 파악하는 규모의 경제성(economy of scale) 분석을 수행한다. 본 논문에서는 분산형 수소충전소에서 생산되는 수소에너지를 연구대상으로 하며 수소에너지를 단순히 수소로 표기한다. 수소충전소의 규모의 경제성은 수소에너지의 적정 생산규모까지는 생산규모가 커질수록 평균 수소 생산가격이 감소하다가 적정 생산규모를 초과하면 평균 수소 생산가격이 다시 상승하는 현상을 의미하며, 일반적으로 평균 비용곡선은 U자 또는 I자 형태로 나타난다.

분산형 수소충전소의 수소에너지 생산원료로는 전기, 천연가스, 메탄올, 납사(naptha), 휘발유, 경유, 등유, LPG

등이 사용될 수 있다. 그러나 국내에서는 에너지 가격 제도의 특성으로 인하여 분산형 수소충전소에 적합한 수소에너지의 생산원료로는 천연가스, 납사, 전기 등이 거론되고 있다. 전기는 물의 전기분해(electrolysis)를 통하여 수소에너지를 생산하는데 사용되며, 천연가와 납사는 증기개질(steam reforming) 방식에 의하여 수소에너지로 변환될 수 있다. 물의 전기분해에 의한 수소 생산 방식은 개질방식에 비교하여 상대적으로 제조가격이 비싸기 때문에 우리나라에서는 심야 전기를 이용하지 않으면 경제성이 없는 것으로 사료된다. 현재 우리나라는 심야전기를 이용하기 어려운 상황이므로 물의 전기분해에 의하여 수소에너지를 생산하는 방법을 고려대상에서 제외하고 천연가와 납사의 증기개질 방식에 의한 분산형 수소충전소의 규모의 경제성 분석을 수행한다.

미국 DOE(department of energy)^[1]는 2003년을 기준으로 천연가스 및 액체연료를 이용한 증기개질 방법에 의한 690 kg/일 규모의 분산형 수소충전소에서의 수소 제조가격을 \$5/kg으로 추정하고, 2010년에는 수소 제조가격을 \$1.5/kg으로 낮추는 목표치를 발표한 바 있다. Myers *et al.*^[2]는 수소발생장치인 SMR(steam methane reforming)과 고순도 수소정제장치인 PSA(pressure swing absorption)를 사용한 54 Nm³/hr 규모의 분산형 천연가스 수소충전소의 수소 제조가격을 \$3.38/kg으로 산출하였다. Adame *et al.*^[3]은 SMR과 PSA를 설치한 70 Nm³/hr 규모의 분산형 수소충전소의 적정 수소 판매가격을 \$14.23/kg으로 제시한 바 있다. 분산형 수소충전소의 수소 가격에 대한 국내의 연구^[4]에서는 에너지기술연구원에 건설된 SMR과 PSA 등을 설치한 20 Nm³/hr 규모의 분산형 수소충전소의 수소 판매가격을 22,931원/kg으로 산출하였다.

분산형 수소충전소는 수소경제 초기에 30 Nm³/hr와 100 Nm³/hr의 소형 수소충전소를 중심으로 보급하고, 수소연료전지 자동차가 충분히 보급된 시점에서는 300 Nm³/hr 규모 이상의 중대형 수소충전소를 건설하는 것이 바람직한 수소충전소 보급방안으로 평가되고 있다. 본 논문에서는 일반적으로 경제성 평가에 많이 사용되고 있는 수명주기(life cycle)에 기초한 편익/비용 분석방법을 사용하여 천연가와 납사를 원료로 하는 30 Nm³/hr, 100 Nm³/hr, 300 Nm³/hr 등의 생산규모를 갖는 분산형 수소충전소의 수소 가격을 산출하고 경제성을 분석한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 분산형 수소충전소 시스템과 제조장비 등에 대하여 설명하며, 3장에서는 분산형 수소충전소의 경제성분석 모형을 정립하고 수소 가격의 산출방법을 논한다. 4장에서는 사례 연구로서 천연가와 납사를 원료로 하는 국내 분산형 수소충전소의 생산규모별 경제성 분석을 수행하고 수소

가격을 산출한다. 5장에서는 연구의 결과를 요약하고 향후 연구과제에 대하여 논의한다.

2. 분산형 수소충전소

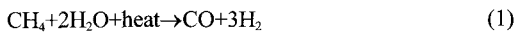
2-1. 분산형 수소충전소 시스템

분산형 수소충전소의 기본적인 구성은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 천연가스와 납사 등의 개질장치와 물의 전기분해장치 등과 같은 수소발생장치, 고순도 수소 분리 시스템(PSA), 고압 압축기(compressor), 저장시스템(storage system), 수소 충전시스템(dispatcher) 등으로 구성된다.

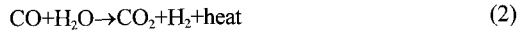
중앙집중식 대형 수소 생산시스템은 생산지로부터 수소충전소까지의 수송거리가 중요한 변수로서 파이프라인, 고압 및 액상수소 수송용 트럭, 튜브 트레일러 등과 같은 수소 인프라를 필요로 한다. 한편 분산형 수소충전소는 기존의 주유소와 같이 수소에너지를 직접 판매하는 소용량 생산시스템으로 자체 생산 및 현장 주유가 가능하여 수소 분배를 위한 수송 인프라가 필요 없는 특징이 있다.

2-2. 수소 제조장비

수소 발생장치인 SMR은 주성분이 메탄가스인 천연가스와 물을 원료로 하여 수소를 생산하는 장치이며 가압반응 방식으로 촉매 상에서 수소 생산반응이 진행된다. 수소 생산반응은 수증기 개질반응과 수성가스 전이반응으로 구분할 수 있으며 수증기개질 반응식은 다음과 같다.



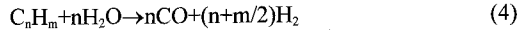
수성가스 전이반응은 일산화탄소를 물과 반응시켜 수소와 이산화탄소로 변환하는 발열반응이며 다음과 같은 관계식을 갖는다.



SMR을 이용한 전체 수소 생산반응은 식 (1)과 식 (2)를 결합한 것으로서 전체 반응식은 다음과 같이 표현될 수 있다.



천연가스 대신에 휘발유, 납사, 등유, 경유, LPG 등의 석유제품을 이용하여 수소를 생산할 수 있으며, 주로 탄소와 수소의 결합물인 석유제품의 일반 탄화수소 증기개질 반응식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



수소의 생산온도는 상온이고 99.99% 이상의 순도를 갖는 수소에너지를 생산하기 위하여 PSA를 이용하여 수소를 정제한다. 수소 발생장치 및 PSA의 부속설비로는 전기설비, 압축질소 설비, 천연가스 및 납사 저장탱크, 오프가스 저장탱크 등이 필요하며, 오프가스는 PSA에서 회수한 이산화탄소, 일산화탄소, 수소 등을 포함한다.

고압 압축기는 PSA에서 생산된 수소를 400 bar까지 압축하는 장치이며, 수소 저장시스템은 차량에 수소를 주입하기 전까지 수소를 저장하는 장치이다. 수소 충전시스템인 dispatcher는 차량탑재형 저장탱크에 350 bar 압력으로 수소를 주입하는 장치로 일반 주유소의 주유기와 비슷하다. 우선 분배패널은 3단 cascade 운영을 위해 설치되며, dispatcher는 우선 분배패널과 연동하여 급속 충전이 가능하도록 한다.

3. 분산형 수소충전소의 경제성분석

3-1. 경제성모형의 정립

본 논문에서는 수명주기에 기초한 편익/비용 분석방법을 이용하여 분산형 수소충전소의 경제성분석을 수행

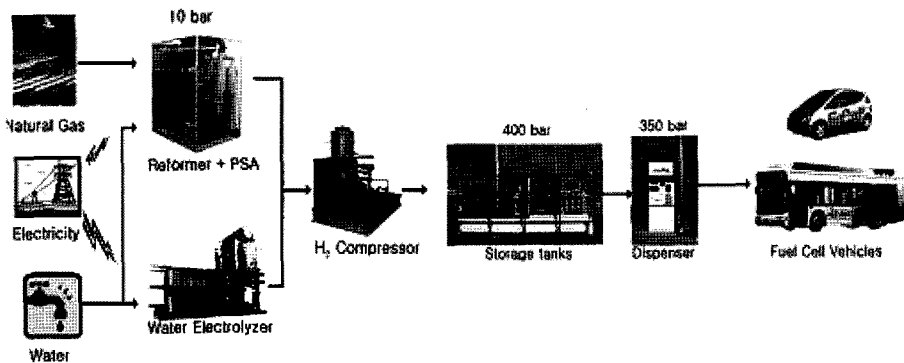


Fig. 1. Basic structure of an on-site hydrogen fueling station.

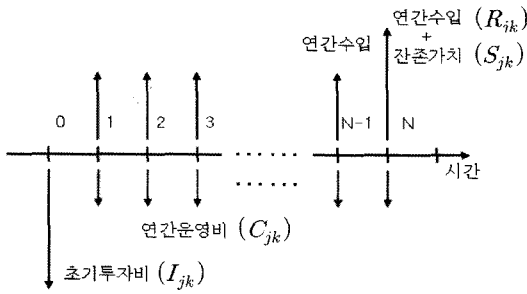


Fig. 2. Cash flow diagram of an on-site hydrogen fueling station.

한다. 분산형 수소충전소에서 생산되는 수소에너지를 편의상 수소로도 표기하기로 한다. 분산형 수소충전소의 경제성은 연간 수소 판매수입, 초기투자비, 잔존가치, 연간운영비 등에 의하여 결정된다. 전개의 편의상, R_{jk} 를 연료 j , 생산규모 k 인 수소충전소의 연간 판매수입으로 표기한다. 여기서 변수 j 가 1이면 천연가스, 2이면 남사를 의미한다. 또한 수소충전소의 수소 생산규모를 나타내는 변수 k 가 1이면 30 Nm³/hr, 2이면 100 Nm³/hr, 3이면 300 Nm³/hr를 나타낸다. 마찬가지로 C_{jk} 를 연료 j 를 사용하고 생산규모 k 인 수소충전소의 연간운영비로 표기한다.

Fig. 2에 제시된 바와 같이 경제성 분석기간을 수소충전소의 수명기간인 N 년으로 설정한다. 분산형 수소충전소의 경제성 분석모형의 현금흐름은 시점 0에서의 초기투자비 I_{jk} 와 시점 t 에서의 연간 판매수입 R_{jk} 와 연간 운영비 C_{jk} , 시점 N 에서의 수소충전소의 잔존가치 S_{jk} 등으로 구성된다.

본 논문에서는 모든 가격을 인플레이션 효과가 제거된 불변가격(real price)을 사용한다. I 를 인플레이션율, i 를 경상가격에 의한 할인율이라 표기하면 불변가격에 의한 무인플레이션 할인율 i 는 다음과 같이 산출될 수 있다^[5].

$$i = \frac{1+i'}{1+I} - 1 \tag{5}$$

수소충전소의 연간 판매수입은 수소에너지를 판매하여 얻는 수입이다. 수소충전소의 연간 판매수입에는 세금이 제외된 것으로 가정한다. Q_k 를 생산규모 k 인 수소충전소의 연간 수소생산량, P_{jk} 를 연료가 j 이고 생산규모가 k 인 수소충전소의 수소 판매가격으로 표기하자. 그러면 수소의 생산량 및 판매량이 매년 동일하다고 가정할 때, 연료가 j 이고 생산규모가 k 인 수소충전소의 연간 판매수입을 나타내는 R_{jk} 는 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$R_{jk} = P_{jk} \cdot Q_k \tag{6}$$

수소충전소의 초기투자비가 사업 초기에 소요되는 1회성 비용인 반면에, 수소충전소의 연간운영비(operating and maintenance cost)를 나타내는 C_{jk} 는 매년 소요되는 비용이다. 분산형 수소충전소의 연간운영비는 인건비, 도시가스 및 납사 요금, 전기 요금, 수도 요금, 보수유지비, 부지 임대비, 기타 운영비 등으로 구성된다.

한편 β_1 을 매년 동일한 금액이 지불될 때, 이러한 동일 금액을 현재가치로 환산하는 계수인 등가지불현재계수(equal payment series present worth factor)로 표기하면 β_1 은 다음과 같다.

$$\beta_1 = \sum_{t=1}^N \frac{1}{(1+i)^t} = \frac{\{(1+i)^N - 1\}}{i(1+i)^N} \tag{7}$$

수소충전소의 연간 판매수입과 연간운영비가 불변가격을 기준하여 매년 동일한 경우에 연료가 j 이고 수소생산규모가 k 인 수소충전소의 순현재가(net present value)를 나타내는 NPV_{jk} 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$NPV_{jk} = -I_{jk} + \frac{S_{jk}}{(1+i)^N} + (R_{jk} - C_{jk})\beta_1 \tag{8}$$

수소충전소의 관점에서 NPV_{jk} 가 0 이상인 경우에는 경제성이 있고, NPV_{jk} 가 음수인 경우에는 경제성이 없는 것으로 평가할 수 있다. 또한 수소충전소의 순현재가가 클수록 우수한 대안으로 평가할 수 있다.

3-2. 수소 가격

수소충전소에서의 수소 판매가격은 일반적으로 수소에너지의 시장가격을 의미한다. 향후 차량용 수소에너지의 시장가격은 수소자동차의 상대적인 가격 및 성능과 휘발유, 경유, LPG 등의 경쟁 연료들의 가격에 의하여 좌우될 것으로 전망된다. 수소경제 초기에는 수소에너지를 시장가격에 의하여 판매하는 경우에 수소충전소의 경제성이 확보되기 어려우므로, 수소경제 초기에는 수소에너지에 대한 세금 혜택과 보조금 지급 등의 보급유도 정책 도입이 필요할 것으로 판단된다.

본 논문에서는 수소충전소에서의 수소가격을 NPV_{jk} 가 0이 되는 가격으로 정의한다. 이러한 수소가격은 수소충전소의 입장에서 투자한 자본에 대하여 할인율만큼의 수익을 얻을 수 있는 세금이 제외된 수소 판매가격이다. 분산형 수소충전소의 수소가격을 중앙집중형으로 생산되는 수소에너지의 제조가격과 구분하기 위하여 단순히 수소가격으로 표기하기로 한다. 또한 수소충전소의 수소가격을 산출하기 위하여 수명기간동안의 수소가격, 연간 수소생산량, 연간 운영비 등이 일정한 것으로 가정한다. 모든 수입 및 비용을 연간 수입 및 비용으로 환산하는 과정을 나타내기 위하여 β_2 를 시점 0에서의 초기비용을 연

간비용으로 환산해 주는 자본회수계수(capital recovery factor)로 표기하자. β_2 는 β_1 의 역수로서 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$\beta_2 = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \tag{9}$$

P_{jk} 를 연료 j 를 사용하고 생산규모 k 인 수소충전소의 수소가격으로 표기하면, 연료 j 를 사용하고 생산규모가 k 인 수소충전소의 연간 순수입을 나타내는 AE_{jk} 는 다음과 같다.

$$AE_{jk} = NPV_{jk} \beta_2 \tag{10}$$

한편 식 (8)의 양변에 β_2 를 곱하면 다음과 같은 관계식을 얻는다.

$$AE_{jk} = \left\{ -I_{jk} + \frac{S_{jk}}{(1+i)^N} \right\} \beta_2 + (P_{jk} Q_k - C_{jk})$$

$$= -(I_{jk} - S_{jk}) \beta_2 - i S_{jk} - C_{jk} + P_{jk} Q_k \tag{11}$$

연료 j 를 사용하고 생산규모 k 인 수소충전소의 수소가격을 나타내는 P_{jk} 는 NPV_{jk} 또는 AE_{jk} 를 0으로 만드는 값이므로 P_{jk} 는 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$P_{jk} = \frac{(I_{jk} - S_{jk}) \beta_2 + i S_{jk} + C_{jk}}{Q_k} \tag{12}$$

여기서 $(I_{jk} - S_{jk}) \beta_2 + i S_{jk}$ 는 연료 j 를 사용하고 생산규모 k 인 수소충전소의 자본비를 나타내며, 분산형 수소충전소의 규모의 경제성은 이러한 수소가격을 대리변수로 하여 파악할 수 있다. 본 연구에서는 생산규모가 300 Nm³/hr 이하인 분산형 수소충전소를 분석대상으로 하였으며 수소충전소 생산규모의 증가에 따라 수소가격이 하락하는 경향을 나타낼 것으로 예측할 수 있다.

4. 사례 연구

4-1. 표준벡터의 변수 추정

분산형 수소충전소의 경제성분석을 위해서는 적절한 분석기간 N 의 선정이 필요하며, 본 논문에서는 N 을 수소 제조장비들의 평균 수명기간의 추정치인 10년으로 설정하였다. 할인율 i 는 불변가격을 기준으로 8%로 설정하였으며 6%, 7%, 9%, 10% 등에 대한 민감도분석을 수행하였다. 예를 들어, 연간 인플레이션율이 3%이고 경상가격에 의한 할인율이 11.24% 수준인 경우에 i 는 식 (5)에 의하여 8%가 된다. 또한 $N=10$ 년, $i=8\%$ 인 경우에 각기 $\beta_1=6.7101$, $\beta_2=0.1490$ 이 된다.

분산형 수소충전소의 초기투자비는 크게 수소 제조 및 판매 장비비와 건설비용 등으로 구분할 수 있으며, 수

Table 1. Estimated values of variables for a standard vector.

변수	추정값
N	10년
i	8%
β_1	$N=10, i=8\%$ 일 때 6.7101
β_2	$N=10, i=8\%$ 일 때 0.1490
P	5,000원/kg
f_1	498원/Nm ³
f_2	415원/liter

소충전소의 수명기간으로 설정한 10년이 경과하면 수소 장비의 잔존가치는 없고, 수소충전소 건축물의 수명은 20년으로 추정하여 수소충전소 경제성 분석기간인 10년 후의 수소충전소 건설비의 50%만이 수소충전소의 잔존가치로 남는 것으로 가정하였다.

분산형 수소충전소의 연간운영비 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 도시가스와 납사 등의 원료 또는 에너지 비용이다. f_1 =도시가스의 구입가격, f_2 =납사의 구입가격으로 표기하자. 국내 도시가스 가격은 지역 또는 용도별로 차이가 있으며, 산업용 평균가격을 기준으로 $f_1=498$ 원/Nm³으로 설정하였다. 국내 납사는 명확한 요금 체계가 없으나, 최근의 일본 C&F 가격인 377.14원/liter에 수송비와 적정 이익 등의 부대비용 10%를 더하여 $f_2=415$ 원/liter를 기준하였다.

미국에서는 2010년에 분산형 천연가스 수소충전소의 수소 가격의 목표치를 \$1.5/kg으로 설정하고 있으며, 국내의 연구⁽⁶⁾에서는 세금을 제외한 수소충전소에서의 수소 판매가격이 5,136원/kg 이하이면 수소연료자동차의 경제성이 있는 것으로 보고하였다. 본 논문에서는 세금을 제외한 수소충전소에서의 수소 판매가격(P)을 5,000원/kgH₂로 설정하였다. 우리나라는 휘발유 가격이 상대적으로 비싸기 때문에 수소에너지에 대하여 특별소비세 등이 부과되지 않는다면 미국 등의 선진국에 비교하여 수소에너지의 가격경쟁력이 상대적으로 유리한 것으로 판단된다. Table 1에는 표준벡터 변수들의 추정치를 수록하였다.

4-2. 초기 투자비

분산형 수소충전소의 초기 투자비는 수소 제조장비비, 수소충전소 건설비, 부대비용 등으로 구성된다. 수소 제조장비는 PSA를 포함한 SMR, 전기 및 기타설비, 저장 시스템, 컴프레서/펌프, 디스펜서 등으로 구성된다. 수소 제조장비는 대부분을 외국에서 수입하는 것으로 가정하였으며 환율은 1\$에 940원, 1\$에 7.8원을 기준하였다. 납사를 사용하여 수소를 생산하는 경우에는 증발기

Table 2. First costs and salvage values of on-site hydrogen fueling stations by production capacities.

구분	단위: 천원		
	30 Nm ³ /hr	100 Nm ³ /hr	300 Nm ³ /hr
SMR(PSA포함)	386,100	557,700	1,287,000
전기 및 기타 설비	5,115	10,230	20,460
저장시스템	120,320	360,960	1,082,880
컴프레서/펌프	109,740	214,185	358,765
Dispenser	111,860	223,720	447,440
건축비	180,000	270,000	360,000
부대비용	50,862	76,293	101,724
초기투자비(I_{in})	963,997	1,713,088	3,658,169
잔존가치(S_{in})	90,000	135,000	180,000

(vaporizer)가 추가로 필요하나, 증발기의 추가비용이 상대적으로 작기 때문에 천연가스와 남사를 원료로 사용하는 분산형 수소충전소의 초기투자비는 동일한 것으로 가정하였다.

분산형 수소충전소의 건설비는 기초 공사비, 사무실 건축비, 기타 건축비, 설계 및 감리비 등으로 구성되며, 부대비용은 엔지니어링 비용, 인허가 비용, 안전 검사비 등으로 구성된다. Table 2에는 분산형 수소충전소의 생산 규모별 초기투자비와 잔존가치를 수록하였다.

천연가스 또는 남사를 사용하는 분산형 수소충전소의 초기투자비는 30 Nm³/hr 규모인 경우에 약 9.6억원이고 300 Nm³/hr 규모인 경우에는 약 37억원으로 추정되었다. 300 Nm³/hr 규모의 수소충전소는 30 Nm³/hr 규모의 수소충전소보다 수소 생산규모는 10배이나, 초기투자비는 약 3.8배로 증가되는 것으로 나타났다.

분산형 수소충전소의 초기투자비는 어떠한 제품을 구입하는가에 따라 많은 차이가 날 수 있다. 본 연구에서는 주요 설비인 PSA를 포함한 SMR은 비교적 가격이 저렴한 일본 A사의 제품을 기준하였고, 300 Nm³/hr 규모의 SMR은 현재 개발 중인 제품으로서 conceptual design에 근거한 추정치를 기준하였다.

수소 저장시스템의 규모는 일본 JHFC(Japan hydrogen & fuel cell)⁷⁾의 사례를 참조하여 1일 수소생산량의 65%를 기준하였다. 수소충전소의 1일 수소 생산시간은 16시간을 기준하였으며, 수소 저장시스템은 캐나다 B사의 제품을 기준으로 저장시스템의 규모는 16 kg의 배수가 되도록 하였다. 따라서 30 Nm³/hr, 100 Nm³/hr, 300 Nm³/

hr 등의 생산규모에 대응되는 수소 저장시스템의 규모는 각기 32 kg, 96 kg, 288 kg 등으로 설정하였다.

Dispenser는 미국 C사의 제품을 기준으로 하였으며 30 Nm³/hr, 100 Nm³/hr, 300 Nm³/hr 등의 생산규모에 대응되는 dispenser의 대수는 각기 1대, 2대, 4대 등으로 설정하였다. 수소충전소의 건축비는 1평에 200만원을 기준하였고 30 Nm³/hr, 100 Nm³/hr, 300 Nm³/hr 등의 생산 규모에 대응되는 수소충전소의 면적은 각기 90평, 135평, 180평을 기준하였다. 수소충전소의 부지는 임대하여 사용하는 것으로 가정하여 부지구입비는 초기투자비에서 제외하였고, 수소충전소의 수명기간으로 설정한 10년 후의 잔존가치는 건축비의 50%로 설정하였다.

4-3. 연간 판매수입 및 운영비

본 연구에서는 수소충전소의 1일 생산시간이 16시간이고, 1년에 365일을 영업하는 것으로 가정하였다. 또한 수소연료전지 자동차는 1회에 3kg의 수소에너지를 충전하는 것으로 가정하였다. 따라서 수소 생산규모가 30 Nm³/hr인 경우에 1일 수소생산량은 약 43 kg이고, 연간 수소생산량은 15,659 kg이다. 마찬가지로 100 Nm³/hr 규모와 300 Nm³/hr 규모의 수소충전소의 연간 수소생산량을 산출할 수 있다. 수소충전소의 연간 판매수입은 연간 수소생산량에 수소 판매가격을 곱하여 산출할 수 있다. Table 3에는 분산형 수소충전소의 생산규모별 연간 수소생산량 및 판매수입을 수록하였다.

30 Nm³/hr 규모의 수소충전소의 연간 수소생산량 15,695 kg에 수소 판매가격인 5,000원/kg을 곱하면 연간

Table 3. Annual hydrogen production quantities and revenues of on-site hydrogen fueling stations by production capacities.

구분	30 Nm ³ /hr	100 Nm ³ /hr	300 Nm ³ /hr
1일 수소생산량	42.9 kg	143 kg	429 kg
연간수소생산량(H_{in})	15,659 kg	52,143 kg	156,585 kg
연간판매수입(R_{in})	78,295천원	260,715천원	782,925천원

Table 4. Energy efficiencies of on-site hydrogen fueling stations by production capacities.

		단위 : unit/kg-H ₂		
구 분		30 Nm ³ /hr	100 Nm ³ /hr	300 Nm ³ /hr
천연가스	도시가스	4.04 kg(220MJ)	3.75 kg(204MJ)	2.96 kg(161MJ)
	전기	10.12 kwh(36.4MJ)	5.43 kwh(19.5MJ)	7.86 kwh(28.3MJ)
	효율	58.1%	66.7%	76.8%
납사	납사	6.57 liter(220MJ)	6.09 liter(204MJ)	4.99 liter(167MJ)
	전기	10.12 kwh(36.4MJ)	5.43 kwh(19.5MJ)	7.86 kwh(28.3MJ)
	효율	58.1%	66.7%	74.3%

판매수입은 약 78백만원이다. 마찬가지로 수소 생산규모가 300 Nm³/hr인 경우에 연간 수소생산량은 156,585 kg 이고 연간 판매수입은 약 783백만원이 된다.

수소충전소의 초기 투자비는 사업 초기에 소요되는 1 회성 비용인 반면에, 연간 운영비는 매년 소요되는 비용이다. 분산형 수소충전소의 연간 운영비는 인건비, 도시가스 또는 납사 비용, 전기 요금, 수도 요금, 보수유지비, 부지 임대비, 기타 운영비 등으로 구성된다. 분산형 수소충전소의 연간 운영비 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 도시가스, 납사, 전기 등의 에너지 비용이다. 일반적으로 분산형 수소충전소의 에너지 효율은 생산규모가 커질수록 높아지며 이러한 현상은 분산형 수소충전소의 규모의 경제성을 초래하는 주요 원인 중의 하나이다. Table 4에는 분산형 수소충전소의 생산규모별 에너지 효율을 수록하였다.

JHFC[®]에 의하면 천연가스 수소충전소는 생산규모가 30 Nm³/hr인 수소충전소의 에너지 효율은 58.1%이며, 생산규모가 100 Nm³/hr으로 증가하면 66.7%로 증가하는 것으로 보고되었다. 또한 분산형 수소충전소의 생산규모가 300 Nm³/hr으로 증가되면 76.8%의 에너지 효율을 달성할 수 있을 것으로 예측하였다. 한편 JHFC[®]에서는 천연가스 대신에 납사를 연료로 사용하면 에너지 효율은 약간 감소하며 천연가스 수소충전소의 평균 에너지 효율은 71.1%인 반면에, 납사 수소충전소의 평균 에너지 효율은 68.8%인 것으로 보고되었다. 그러나 생산규모가 작은 수소충전소의 경우에는 에너지 효율에 큰 차이가 없는 것으로 나타났으므로 30 Nm³/hr와 100 Nm³/hr 규모의 에너지 효율은 동일하고, 300 Nm³/hr 규모의 납사 수소충전소의 에너지 효율은 동일 규모의 천연가스 수소충전소 에너지 효율인 76.8%의 96.7% 수준에 해당하는 74.3%로 추정하였다.

Table 4의 에너지 효율과 에너지 원단위를 이용하면 분산형 수소충전소의 생산규모별 에너지 비용을 산출할 수 있다. 수소충전소의 전기가격은 일반용 저압전력(갑)의 연간 평균단가인 약 75원/kwh에 계약용량 요금을 더하여 80원/kwh를 기준하였다. 국내 도시가스 1 kg을 부

Table 5. Unit energy costs of on-site hydrogen fueling stations by production capacities and fuel types.

		단위 : 원 /kg-H ₂		
구 분		30 Nm ³ /hr	100 Nm ³ /hr	300 Nm ³ /hr
천연가스	도시가스	2,505	2,325	1,835
	전기	810	434	629
	소계	3,315	2,759	2,464
납사	납사	2,727	2,527	2,071
	전기	810	434	629
	소계	3,537	2,961	2,700

피로 환산하면 1,238 Nm³이며 13,000 kcal의 열량을 갖고 있다. 따라서 도시가스의 부피기준 가격인 f₁=501원/Nm³을 기준하면 도시가스 1 kg의 가격은 약 620원이 된다. 또한 납사 가격 f₂=415원/liter를 기준하여 분산형 수소충전소의 단위당 에너지 비용을 산출한 결과를 Table 5에 수록하였다.

수소충전소의 생산규모별 에너지 비용은 단위당 에너지 비용에 연간 수소생산량을 곱하여 산출할 수 있다. 예를 들어, 300 Nm³/hr 규모의 천연가스 수소충전소의 연간 도시가스 비용은 연간 수소생산량 156,585 kg에 단위당 도시가스 비용 1,835원을 곱하여 약 287백만원이고, 연간 전기비용은 수소생산량 156,585 kg에 단위당 전기 비용 550원을 곱하여 약 98백만원이 된다.

분산형 수소충전소를 이용하는 차량의 1회당 평균 수소 충전량을 3 kg으로 기준할 때 30 Nm³/hr, 100 Nm³/hr, 300 Nm³/hr 규모의 수소충전소의 1일 이용 차량대수는 자기 14대, 48대, 143대이다. 수소충전소의 1일 근무시간, dispenser의 수, 1일 이용 차량대수 등을 고려하여 30 Nm³/hr, 100 Nm³/hr, 300 Nm³/hr 규모의 수소충전소의 근무인원은 자기 2인, 4인, 6인으로 설정하였다. 또한 수소충전소는 가스안전기사 자격증을 갖고 있는 연봉 3,600만원의 정규직원 1인과 기타 인원은 시간당 인건비가 4,000원인 비정규직 근로자로 운영하는 시스템을 가정하였다.

30 Nm³/hr 규모의 분산형 수소충전소에서 물은 반응

용 원료로 30 kg/hr, 냉각수로 540 kg/hr이 소요되며, 이를 합산하면 570 kg/hr의 물이 필요하다. 마찬가지로 100 Nm³/hr와 300 Nm³/hr 규모의 분산형 수소충전소의 물 소요량은 각기 1,900 kg/hr과 5,700 kg/hr이다. 수소충전소에서 반응용 원료로 사용되는 물은 pure water로 filter를 이용하여 수돗물을 정수하여 사용하는 시스템을 가정하였다. 냉각수는 대전지역의 하수도 요금과 물이용 부담금을 포함한 업무용 수도요금을 적용하여 770원/톤, 반응용 물은 filter 비용을 포함하여 3,000원/톤을 기준하였다.

보수유지비는 수소 제조장비의 보수유지 및 검사에 소요되는 비용이며 촉매의 교체비용 등을 포함한다. 보수유지비는 초기에 적고 시간이 경과함에 따라 증가하는 것의 일반적인 현상이나, 매년 동일하게 소요되는 것으로 가정하였다. 수소충전소에 대한 국내 운영 경험이 없으므로 수소충전소에 대한 선행연구⁽⁹⁾의 결과를 참고하여 보수유지비는 수소 제조장비비의 3%가 매년 소요되는 것으로 가정하였다.

수소충전소의 부지 임대비는 이용 차량이 적은 것을 감안하여 도시 변두리 지역에 위치하는 것으로 가정하였다. 수소충전소의 부지 가격은 평당 300만원이고, 부지 가격에 대해 연간 6%의 임대료를 지불하는 것을 기준으로 연간 부지 임대료를 산출하였다.

수소충전소의 기타 운영비에는 보험료, 재산 및 소득세, 각종 요금 등이 포함된다. 수소충전소의 기타 운영비는 초기투자비의 1%가 매년 소요되는 것으로 추정하였다. Table 6에는 분산형 수소충전소의 생산규모별 연간운영비를 수록하였다.

30 Nm³/hr 규모의 천연가스 수소충전소의 연간 운영비는 약 152백만원으로 연간 판매수입인 약 78백만원을

Table 6. Annual operating costs of on-site hydrogen fueling stations by production capacities.

구 분	단위 : 천원		
	30 Nm ³ /hr	100 Nm ³ /hr	300 Nm ³ /hr
도시가스 요금	39,226	121,232	287,333
납사 요금	42,702	131,765	324,287
전기 요금	12,683	22,630	98,492
수도 요금	2,953	9,846	29,539
인건비	49,140	75,420	101,700
보수 유지비	21,994	41,004	95,896
부지 임대비	16,200	24,300	32,400
기타 운영비	9,640	17,131	36,287
연간 운영비(C _{1k})	151,836	311,563	681,962
연간 운영비(C _{2k})	155,312	322,096	718,896

훨씬 초과하는 것으로 분석되었다. 따라서 30 Nm³/hr 규모의 천연가스 수소충전소는 초기 투자비를 제외하여도 매년 손해가 발생한다. 이러한 현상은 100 Nm³/hr 규모의 천연가스 수소충전소도 마찬가지이며, 다만 300 Nm³/hr 규모의 천연가스 수소충전소는 연간 판매수입이 연간 운영비보다는 큰 것으로 나타났다. 납사 수소충전소와 천연가스 수소충전소의 연간 운영비는 큰 차이가 없으므로 마찬가지로 현상을 나타냈으며, 납사를 원료로 사용하는 분산형 수소충전소의 연간 운영비는 천연가스 수소충전소의 연간 운영비보다 약간 비싼 것으로 분석되었다.

4-4. 경제성 분석

수소충전소의 경제성을 분석하는 과정은 먼저 Fig. 2와 같은 연도별 현금흐름(cash flow)을 도출한 후에, 식 (5)를 이용하여 수소충전소의 순현재가를 산출한다. 수소충전소의 t=0 시점의 현금흐름은 초기투자비를 나타내

Table 7. Cash flows and net present values of on-site hydrogen fueling stations by production capacities.

구 분	천연가스			납사		
	30 Nm ³ /hr	100 Nm ³ /hr	300 Nm ³ /hr	30 Nm ³ /hr	100 Nm ³ /hr	300 Nm ³ /hr
0	-963,997	-1,713,088	-3,658,269	-963,997	-1,713,018	-3,658,269
1	-73,541	-50,848	100,983	-77,017	-61,381	64,209
2	-73,541	-50,848	100,983	-77,017	-61,381	64,209
3	-73,541	-50,848	100,983	-77,017	-61,381	64,209
4	-73,541	-50,848	100,983	-77,017	-61,381	64,209
5	-73,541	-50,848	100,983	-77,017	-61,381	64,209
6	-73,541	-50,848	100,983	-77,017	-61,381	64,209
7	-73,541	-50,848	100,983	-77,017	-61,381	64,209
8	-73,541	-50,848	100,983	-77,017	-61,381	64,209
9	-73,541	-50,848	100,983	-77,017	-61,381	64,209
10	16,459	84,152	284,847	12,983	73,619	244,029
NPV _{jk}	-1,415,776	-1,991,751	-2,897,287	-1,439,101	-2,062,429	-3,145,252

고 $t=1, 2, \dots, N-1$ 시점에서의 현금흐름은 연간 판매수입에서 연간 운영비를 차감한 금액을 나타낸다. $t=N$ 시점의 현금흐름은 연간 판매수입+잔존가치-연간 운영비를 나타낸다. Table 7에는 분산형 수소충전소의 생산규모별 현금흐름과 순현재가를 수록하였다.

분산형 천연가스/납사 수소충전소는 고려 대상인 모든 생산규모에 대하여 순현재가가 음수로 나타났다. 따라서 수소 판매가격이 5,000원/kg인 경우에는 300 Nm³/hr 이하의 분산형 수소충전소는 경제성이 없는 것으로 분석되었다. 수소충전소의 생산규모가 100 Nm³/hr 이하인 경우에는 수명기간을 제외한 모든 연도의 현금흐름이 음수로 나타났다. 한편 NPV_{jk}는 수소충전소의 입장에서 투자한 자본에 대하여 할인율만큼의 이익을 얻을 수 있도록 하기 위한 적정 보조금의 규모로 간주할 수 있다.

4-5. 민감도 분석

분산형 수소충전소의 경제성에 큰 영향을 줄 수 있는 요소로는 수소 판매가격, 초기투자비, 에너지 가격, 할인율 등이다. 이 중에서 도시가스 가격과 납사 가격 등과 같은 에너지 가격은 상대적으로 확실한 가격이고, 초기투자비는 비교적 저렴한 가격을 기준으로 하였으므로 민감도 분석에서 제외하였다. Table 8에는 수소 판매가격의 변화에 따른 수소충전소의 순현재가의 변화를 수록하였다. 수소 판매가격은 3,000원/kg부터 8,000원/kg까지의 범위를 대상으로 하였다.

수소에너지의 생산규모가 300 Nm³/hr인 국내 분산형

수소충전소는 수소 판매가격이 약 8,000원/kg 정도는 되어야 경제성이 있는 것으로 나타났다. 수소 생산규모가 100 Nm³/hr 이하인 경우에는 수소 판매가격이 10,000원/kg으로 증가되어도 경제성이 없는 것으로 분석되었다. Table 9에는 할인율의 변화에 따른 분산형 수소충전소의 순현재가를 수록하였다.

할인율의 변화에 따른 분산형 수소충전소의 순현재가는 민감하지 않은 것으로 나타났다. 예를 들어, 천연가스를 원료로 하는 300 Nm³/hr 규모의 분산형 수소충전소의 순현재가는 할인율이 6%이면 약 -28.1억원이고, 할인율이 10%이면 약 -29.7억원으로 할인율의 변화에 따른 순현재가의 차이는 크지 않은 것으로 분석되었다.

4-6. 수소 가격

수소충전소의 수소가격은 수소의 단위 판매량(kg)에 소요되는 연간 비용으로서 자본비와 연간운영비로 구분할 수 있다. 수소충전소의 수소 가격은 수소충전소의 순현재가 또는 연간등가가 0이 되는 수소 판매가격이며, Table 10에는 식 (13)을 이용하여 산출한 분산형 수소충전소의 생산규모별 수소 가격을 수록하였다.

천연가스 수소충전소의 수소 가격은 수소 생산규모가 30 Nm³/hr이면 18,472원/kg, 100 Nm³/hr이면 10,689원/kg, 300 Nm³/hr이면 7,758원/kg인 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 수소충전소의 수소 생산규모가 커질수록 수소가격이 감소하는 규모의 경제 효과를 잘 보여주고 있다. 수소충전소의 생산규모가 커지면 수소의 단위 무게

Table 8. Net present values of on-site hydrogen fueling stations by production capacities and hydrogen sale prices
단위 : 천원

수소 판매가격	천연가스			납사		
	30 Nm ³ /hr	100 Nm ³ /hr	300 Nm ³ /hr	30 Nm ³ /hr	100 Nm ³ /hr	300 Nm ³ /hr
3,000원/kg	-1,625,923	-2,691,520	-4,998,689	-1,649,248	-2,762,198	-5,246,654
4,000원/kg	-1,520,849	-2,341,636	-3,947,988	-1,544,174	-2,412,314	-4,195,953
5,000원/kg	-1,415,776	-1,991,751	-2,897,287	-1,439,101	-2,062,429	-3,145,252
6,000원/kg	-1,310,703	-1,641,866	-1,846,586	-1,334,028	-1,712,544	-2,094,551
7,000원/kg	-1,205,629	-1,291,982	-795,885	-1,228,954	-1,362,660	-1,043,850
8,000원/kg	-1,100,556	-942,097	254,816	-1,123,881	-1,012,775	6,851

Table 9. Net present values of on-site hydrogen fueling stations by production capacities and discount rates.
단위 : 천원

할인율	천연가스			납사		
	30 Nm ³ /hr	100 Nm ³ /hr	300 Nm ³ /hr	30 Nm ³ /hr	100 Nm ³ /hr	300 Nm ³ /hr
6%	-1,455,010	-2,011,950	-2,814,512	-1,480,594	-2,089,474	-3,085,172
7%	-1,434,773	-2,001,604	-2,857,511	-1,459,187	-2,075,583	-3,115,797
8%	-1,415,776	-1,991,751	-2,897,287	-1,439,101	-2,062,429	-3,145,252
9%	-1,396,145	-1,982,391	-2,934,158	-1,418,453	-2,049,989	-3,170,163
10%	-1,381,182	-1,973,486	-2,968,379	-1,402,541	-2,038,207	-3,194,340

Table 10. Hydrogen prices of on-site hydrogen fueling stations by production capacities 단위 : 원 /kg-H₂

구분	천연가스			납사		
	30 Nm ³ /hr	100 Nm ³ /hr	300 Nm ³ /hr	30 Nm ³ /hr	100 Nm ³ /hr	300 Nm ³ /hr
1. 자본비	8,776	4,717	3,402	8,776	4,717	3,402
- SMR(PSA, 전기)	3,723	1,623	1,244	3,723	1,623	1,244
- 저장시스템	1,145	1,032	1,031	1,145	1,032	1,031
- 컴프레서(펌프)	1,044	612	341	1,044	612	341
- Dispenser	1,064	639	426	1,064	639	426
- 건설비(부대비용)	1,800	811	360	1,800	811	360
2. 연간운영비	9,696	5,972	4,356	9,918	6,174	4,592
- 도시가스(납사)	2,505	2,325	1,835	2,727	2,527	2,071
- 전기	810	434	629	810	434	629
- 인건비	3,138	1,446	649	3,138	1,446	649
- 보수유지비	1,405	786	613	1,405	786	613
- 기타 연간운영비	1,838	981	630	1,838	981	630
3. 수소가격	18,472	10,689	7,758	18,694	10,891	7,994

에 소요되는 자본비와 연간 운영비가 모두 하락하는 현상을 보이고 있다.

납사를 원료로 사용하는 경우에 수소 생산규모가 30 Nm³/hr이면 18,694원/kg, 100 Nm³/hr이면 10,891원/kg, 300 Nm³/hr이면 7,994원/kg으로 원료비의 차이 때문에 천연가스를 사용할 때보다는 수소 가격이 약간 비싸지만 규모의 경제 효과는 거의 같은 경향을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 납사 가격은 도시가스 가격에 비교하여 가격 변동이 크고 지역에 따라서 도시가스 가격과 납사의 수송비가 틀려질 수 있으므로 도시가스를 사용하는 것이 납사를 사용하는 것보다 항상 유리하다고 판단할 수는 없다.

본 논문에서 산출한 수소가격은 현 시점에서의 분산형 수소충전소의 수소가격이며 현 시점에서 분산형 수소충전소의 경제성은 없는 것으로 분석되었다. 하지만 수소경제 시대가 본격화되는 2020년 이후에는 수소 제조설비, 저장설비, 디스펜서 등의 대량생산과 기술진보에 의하여 분산형 수소충전소의 수소가격이 대폭 낮아질 것으로 전망된다. 또한 수소경제를 가능하게 하기 위해서는 수소충전소에서의 수소 가격을 일정 가격 이하로 낮추는 것이 필요하므로, 분산형 수소충전소의 규모의 경제성을 고려하여 수소경제 초기에도 중대형 생산규모의 이상의 분산형 수소충전소를 중심으로 보급하는 것이 바람직한 수소충전소 보급전략인 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 국내 분산형 천연가스/납사 수소충전소의 규모의 경제성 분석을 수행하였다. 수소충전소의 생산규모는 30 Nm³/hr, 100 Nm³/hr, 300 Nm³/hr 등을 대상

으로 하여 수소충전소의 순현가를 계산하여 수소충전소의 경제성을 평가하였다. 또한 각 연료 및 생산규모를 대상으로 수소충전소의 수명주기 동안의 총 비용을 고려한 연간 비용과 연간 수소생산량에 근거하여 적정 수소 가격을 산출하였다.

분산형 천연가스/납사 수소충전소는 고려 대상인 모든 생산규모에 대하여 순현가가 음수로 나타났다. 따라서 수소 판매가격이 5,000원/kg인 경우에 300 Nm³/hr 이하의 국내 분산형 수소충전소는 경제성이 없는 것으로 분석되었다. 또한 분산형 천연가스 수소충전소의 수소 가격은 수소 생산규모가 각각 30 Nm³/hr, 100 Nm³/hr, 300 Nm³/hr이면 수소 가격은 18,472원/kg, 10,689원/kg, 7,758원/kg인 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 수소충전소의 수소 생산규모가 커질수록 수소가격이 감소하는 규모의 경제 효과를 잘 보여주고 있으며, 천연가스 대신에 납사를 사용하여도 거의 같은 결과를 보이는 것으로 나타났다.

본 논문에서 산출한 수소가격은 현 시점에서의 분산형 수소충전소의 수소가격이며 현 시점에서 분산형 수소충전소의 경제성은 없는 것으로 분석되었다. 하지만 수소경제 시대가 본격화되는 2020년 이후에는 수소 제조설비, 저장설비, 디스펜서 등의 대량생산과 기술진보에 의하여 분산형 수소충전소의 수소가격이 대폭 낮아질 것으로 전망된다. 또한 수소경제를 가능하게 하기 위해서는 수소충전소에서의 수소 가격을 일정 가격 이하로 낮추는 것이 필요하므로, 분산형 수소충전소의 규모의 경제성을 고려하여 수소경제 초기에도 중대형 생산규모의 이상의 분산형 수소충전소를 중심으로 보급하는 것이 바람직한 수소충전소 보급전략인 것으로 사료된다.

향후에는 중앙집중형 수소충전소를 대상으로 하는 수소 가격에 대한 연구가 필요할 것이다. 또한 천연가스

와 납사 이외에도 전기, LPG, 경유, 등유 등을 사용하는 분산형 수소충전소의 경제성 평가 및 수소 가격에 대한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부 프론티어 연구사업인 고효율수소에너지제조·저장·이용기술개발사업단의 연구비 지원으로 수행되었음.

사용기호

C_{jk}	: 연료 j, 생산규모 k인 수소충전소의 연간 운영비
R_{jk}	: 연료 j, 생산규모 k인 수소충전소의 연간 판매수입
I_{jk}	: 연료 j, 생산규모 k인 수소충전소의 초기 투자비
S_{jk}	: 연료 j, 생산규모 k인 수소충전소의 잔존 가치
NPV_{jk}	: 연료 j, 생산규모 k인 수소충전소의 순현재가
AE_{jk}	: 연료 j, 생산규모 k인 수소충전소의 연간 순수익
P_{jk}	: 연료 j, 생산규모 k인 수소충전소의 수소 가격
i	: 할인율
N	: 경제성 분석기간

참고문헌

1. Department of Energy, "Multi-year research, develop-

- ment and demonstration plan", U.S.A., 2003.
2. Myers, D.B.; Ariff, G.D.; James, B.D.; Lettow, J.S.; Thomas, C.E.; Kuhn, R.C. "Cost and performance comparison of stationary hydrogen fueling appliances", Proceeding of the 2002 U.S.A. DOE Hydrogen Program Review, 2002.
3. Adame, C.; Caldwell, M.; Crosby, J.; Glanville, P.; Gonzalez, M.; Heffner, R.; Heinen, K.; McCarthy, R.; Weinert, J. "Bid in response to the DOE/NHA proposal to design a public hydrogen fueling station", U.C. Davis., 2004.
4. 김봉진; 김종욱; 윤왕래; 서동주. "20 Nm³/hr급 메탄수증기개질기를 설치한 국내 분산형 수소스테이션의 수소 가격", 한국수소 및 신에너지학회 추계학술대회, 2005, 75.
5. 박찬석; 김규태; 최성호. 경제성공학, 영자문화사, 2004, 58.
6. 양문희; 김봉진; 김종욱. "GHG를 고려한 수소연료전지 자동차의 경제성 분석", 신재생에너지, 2005, 1, 42.
7. Japan Hydrogen & Fuelcells. "JHFC: Results of Study for Total Efficiency", 2005.
8. Japan Hydrogen & Fuelcells. "JHFC: A Mid-term Report of Results of Study for Total Efficiency", 2004, 78.
9. Aaron, T.M. "Low cost hydrogen production platform", DOE Hydrogen Annual Meeting, U.S.A., 2004.