

# 자동차 연료로서 수소의 전과정 환경성/경제성 분석

이지용<sup>1)</sup>, 차경훈<sup>2)</sup>, 유무상<sup>3)</sup>, 이수연<sup>4)</sup>, 허탁<sup>5)</sup>, 임태원<sup>6)</sup>

## Environmental and economic life cycle analysis of hydrogen as Transportation fuels

Jiyong Lee, Kyounghoon Cha, Moosang Yu, Sooyeon Lee, Tak Hur, Taewon Lim

### Abstract

화석연료의 사용으로 인한 자원고갈과 지구온난화 영향 그리고 에너지 안보문제의 해결을 위해 세계 각국들은 대체에너지 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 그 중 수소는 다양한 경로를 통해 생산 가능하고, 수송연료로 사용 시, 유해 물질이 거의 배출되지 않는다는 장점에 가장 주목받는 대체 에너지원이다. 현재는 수소생산 기술개발을 통해 상업화시기를 앞당기려고 하는 수소에너지 시대의 진입시점이라 할 수 있다. 그러나 수소는 생산경로에 따라 다양한 환경성 및 경제성 결과를 도출 할 수 있기 때문에 다양한 평가가 요구된다. 본 연구에서는 국내 수소생산 방식으로 개발/상용화되어있는 Natural Gas Steam Reforming (NGSR), Naphtha Steam Reforming (Naphtha SR), Water Electrolysis (WE)에 대하여, Life Cycle Assessment (LCA)와 Life Cycle Costing Analysis (LCCA) 방법을 사용하여, 수소경로 전반에 대한 즉, 원료채취부터 자동차로 주행하였을 때까지의 각 대상 수소경로의 환경성과 경제성을 평가하였다. LCA와 LCCA 결과는 Naphtha SR과 NGSR 수소경로에서 지구온난화와 화석자원 소모 부문 모두 기존연료 (가솔린, 디젤)와 비교해서 개선효과가 뚜렷하게 나타났으나, WE 수소경로는 오히려 환경부하가 증가되는 것으로 나타났다. 또한 경제성 측면에서는, 수소 판매 시 가솔린과 동일한 연료세율을 부과하더라도 수소가 가솔린에 비해 가격경쟁력을 확보하게 되는데, 이는 주행 시 수소자동차의 연비가 기존 차량에 비해 월등히 좋기 때문에 연료비용의 이점 때문이다. 만약, 수소에 연료세를 부과하지 않는다면, Naphtha SR로 생산하여 유통한 수소가 수송연료로서 가장 뛰어난 비용효율성을 갖는 것으로 나타났다.

### Key words

Life cycle assessment, LCA(전과정평가), Life cycle cost analysis, LCCA(전과정 비용 분석), Hydrogen pathway(수소 경로)

\* 건국대학교 화학생명공학부

■E-mail : jiyong77@empal.com ■Tel : (02)447-6760 ■Fax : (02)453-6710

### subscrip

Naphtha SR:naphtha steam reforming  
NGSR : natural gas steam reforming  
WE : water electrolysis  
LCA : life cycle assessment  
LCCA : life cycle cost analysis  
RAP : regulated air pollution

FCV : fuel cell vehicle  
NG : natural gas  
LNG : liquified natural gas  
VOC : volatile organic compounds  
POCP : photochemical oxidants creation potential

## 1. 서론

21C에 들어오면서 화석자원의 고갈로 인하여, 배럴 당 \$70에 육박하는 고유가를 나타내고 있으며, 또한 화석연료의 사용으로 야기되는 지구온난화에 대한 국제적인 관심이 고조됨에 따라 수소에너지가 미래의 대체에너지원으로 주목받고 있다. 이에 세계 각국의 정부 및 기업, 연구소와 학계에서 수소의 제조와 사용에 관한 연구를 진행 중에 있다. 우리나라는 원유, 천연가스, 석탄을 모두 수입하는 국가로서 증가하고 있는 에너지 소비와 높은 에너지 수입의존도로 인하여, 정책적으로 석유 의존도를 2030년까지 35%로 낮추는 정책을 마련하고 신·재생 에너지원인 수소/풍력/태양광 등의 의존도를 높이려는 방안을 모색하고 있다. 그 중 수소는 사용 시, 환경배출물이 적기 때문에, 수송부문에서 연료로 사용할 경우, 가솔린과 디젤을 대체할 에너지원으로 예측되고 있으며, 현재 미, EU, 일본 및 국내에서도 수소를 연료로 구동하는 연료전지 자동차(H<sub>2</sub> FCV)와 그 기반 시설을 구축하여 수소 제조 및 저장, 유통, 사용, 즉 수소의 전과정(원료 채취~자동차의 연료로서 사용)을 모니터링 하며, 상용화 단계로 진입하기 위한 연구를 진행 중에 있다. 따라서, 국내의 수소경제 진입을 위한 최적의 수소 공급 인프라 시스템을 구축하기 위해서는 수소를 제조하기 위한 다양한 원료, 제조, 저장·유통 방법을 고려하여 어떤 수소 경로가 수송

연료로서 가격 경쟁력을 확보할 수 있는지를 분석해 볼 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 전과정평가(LCA)와 전과정비용분석(LCCA)기법을 적용하여 국내의 기존 수소 제조 경로와 연구 개발 중인 수소 제조 경로들을 파악하여 수소가 수송연료로서, 환경적인 개선측면과 가격 경쟁력을 확보할 수 있는지를 규명하였다.

## 2. 대상시스템

본 연구의 시스템경계는 수소를 제조하기 위하여 사용되는 원료 채취로부터 수소가 스테이션내 저장탱크에 저장되어 자동차에 충전되어 연료로 사용되기까지, 즉, 연료의 전과정을 고려하였다.<sup>10)</sup>

대상 수소 제조 시스템은 국내의 수소 제법 중 대표적인 Naphtha SR 수소제법과 수소 스테이션용으로 연구 개발 중인 NGSR 수소제법, 마지막으로 화석연료를 원료원으로 하지 않는 WE 수소제법으로 하였다. 수소의 수송연료로서 가격 경쟁력과 환경성 개선효과를 분석하기 위하여 기존 연료인 가솔린과 디젤의 전과정 역시 연구의 대상 시스템에 포함하였다.

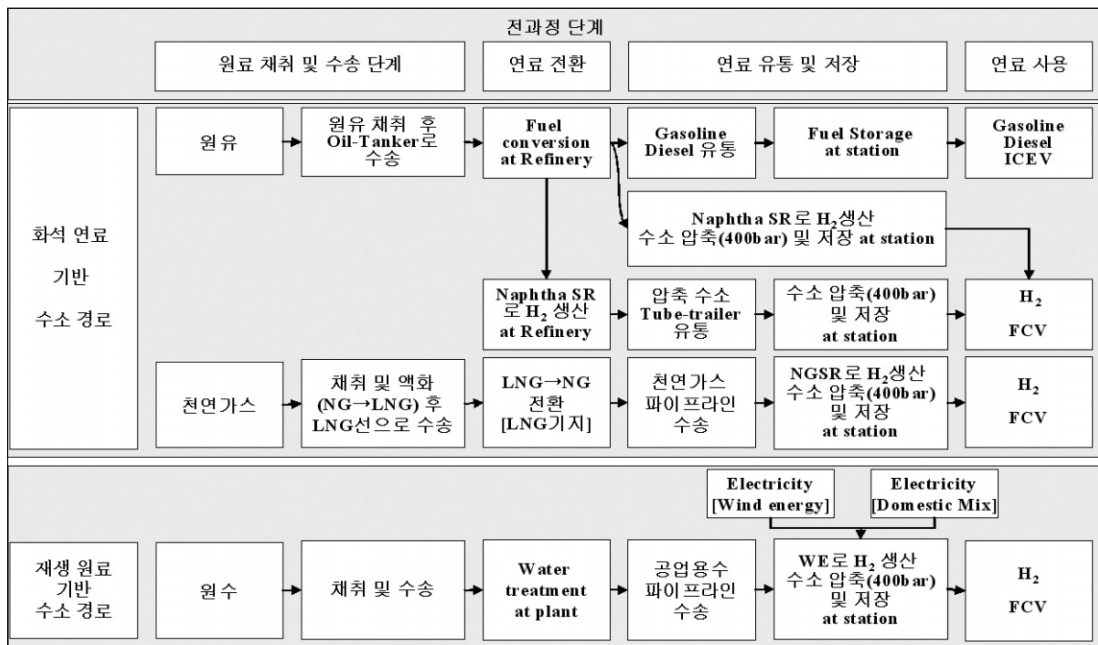


Fig. 1 Target fuel pathways

## 2.1 H<sub>2</sub> via Naphtha SR

본 연구에서 고려한 Naphtha SR 수소 제법은 대량생산(중양집중) 방식과 [스테이션] 방식이다. 중양 집중 방식 Naphtha SR에 의한 수소 생산방식은 국내 수소 제조 기법 중 가장 상용화가 잘 되어 있으며, 국내 전체 수소 생산 점유율도 가장 높은 수소 제법이다.

중양 집중 방식 Naphtha SR 수소 경로는 Fig 1에 나타낸 것과 같이, 원산지에서 Crude oil을 채취한 후, Oil-Tanker로 수입하여 정제과정에서 얻은 납사와 스팀의 개질반응을 통하여 수소를 생산하여 유통하기 위한 고압 가스 압축(200bar) 및 저장하여 400bar로 차량에 충전되어 연료로 사용되는 일련의 과정이 중양 집중 방식 Naphtha SR에 의한 수소의 전과정이다.

스테이션 방식 Naphtha SR 수소 제법은 정유사에서 납사가 만들어지면, 이 납사를 스테이션으로 가져와 스테이션 내의 소형 리포머에서 수소를 직접 생산하여 압축(0→400bar)하여 차량에 공급하는 방식이다.

## 2.2 H<sub>2</sub> via NGR

NGSR은 국내에 상용화된 플랜트는 존재하지 않으나, 수소 경제로의 전환을 위하여 수소 스테이션용 소형 리포머가 개발되어 한국가스공사 내 수소스테이션에 설치 운전 준비중에 있다.<sup>(2)</sup> NGR 수소 경로는 천연가스를 LNG상태로 수입하여 NG로 전환한 다음, 수소 스테이션까지 파이프라인으로 공급하여 스테이션내의 리포머에서 수소를 생산하여 압축(400bar)한 후, FCV에 공급하게 된다.

## 2.3 H<sub>2</sub> via WE

전기분해 방식 수소 생산은 전기화학적 반응을 통해서 물을 수소와 산소로 분리하는 것으로 제조 시 대기오염물질이 배출되지 않는 장점이 있다. 물 전기분해에 의한 수소 경로는 원수를 끌어올려 공업용수로 전환한 다음 파이프라인으로 수소 스테이션에 공급하여 수소를 생산하고 압축·저장하여 차량에 공급하여 연료로 사용하게 된다.

## 2.4 Gasoline/Diesel

가솔린과 디젤의 경로는 각 원산지 별로 원유를 수입량과 거리를 고려하여 원료 채취 단계와 수송 단계를 적용한 다음, 국내 정유공장에서 정제 공정과 제조 후, 송유관을 통해서 일정 거점까지 동일하게 운반 후, 탱크로리로 수요처인 주유소로 유통하는 단계, 내연기관 자동차에서 사용되는 것까지의 일련의 과정을 모두 고려하였다.

# 3. 연구 방법론

## 3.1 연구 방법론

전과정평가(LCA)는 대상 시스템의 전과정에 걸친 투입물과 산출물을 정량화하고, 이러한 투입물 및 산출물과 관련된 총체적인 잠재적 환경영향을 평가함으로써 환경영향의 이동(trade-off)을 규명하고 환경측면의 이슈를 규명할 수 있는 환경성 평가방법으로, 본 연구에서는 Fig 2와 같이 ISO에서 제시하고 있는 전과정 평가 4단계 절차에 의거하여 진행하였다.<sup>(3)(4)</sup>

전과정 비용 분석 역시 연구의 일관성을 유지하기 위하여, 동일한 절차로 진행하였다. 본 연구의 진행방법은 다음 Fig. 3과 같다.

## 3.2 평가 기준

전과정평가에서는 여러 대안들을 동등하게 비교하기 위하여 평가 대상이 되는 제품 및 시스템에 대해, 기능 및 기능단위를

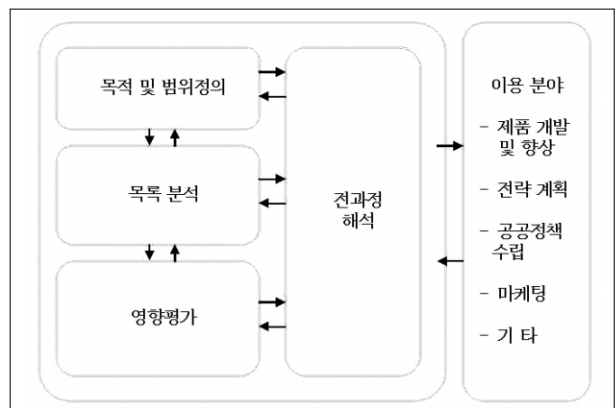


Fig 2. Basic structure of LCA

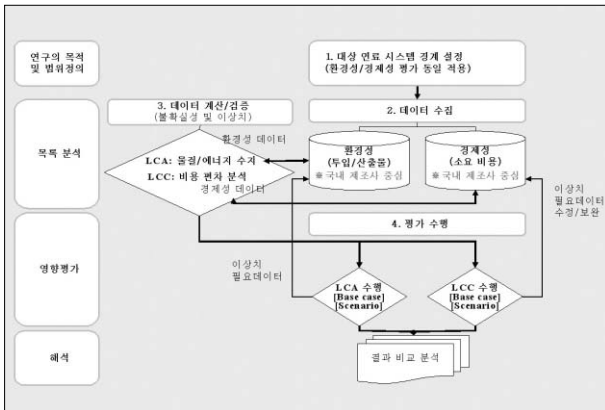


Fig 3. The procedure of this study

Table 1 Function and Functional unit

대상 시스템	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> via Naphtha SR, H <sub>2</sub> via NGRSR, H <sub>2</sub> via WE
	화석연료	Gasoline and Diesel
기능		수송 연료
기능단위		160,000km 주행

설정하고 기능단위를 기준으로 평가를 수행한다. 본 연구에서는 기존 연료인 가솔린 및 디젤과의 동등한 비교를 위하여 평가 기준을 자동차 배출허용기준(환경부고시 제2005-41호) 및 수명(10년)과 평균 주행거리(46.57km/day)를 고려하여, 160,000km를 주행시, 발생하는 환경부하와 비용을 비교 분석하였다.

### 3.3 평가 항목

#### 3.3.1 LCA 부문

환경성 부문에 있어서, 수송연료 사용으로 인하여 발생하는 주요 환경영향범주로 화석연료 소모, 지구 온난화, 그리고 주요 규제대상 대기배출물 부문에 대하여 평가하였다.

- 지구온난화 가스 배출
  - CO<sub>2</sub>
  - CH<sub>4</sub>(21 gCO<sub>2</sub>-eq/gCH<sub>4</sub>)
  - N<sub>2</sub>O(310 gCO<sub>2</sub>-eq/gN<sub>2</sub>O), IPCC 기준<sup>(5)</sup>
- 화석연료 소모
  - Crude oil, Coal, Natural gas

#### • 규제 대상 대기 배출물

- VOCs, CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, Dust

#### 3.3.2 LCC 부문

각 연료에 대한 전과정 비용 분석을 일관성 있게 진행하기 위하여, 먼저 [원료 채취~수소제조~스테이션 내 저장]까지는 다음과 같은 비용항목을 고려하였다.

- 인건비
- 에너지 비
- 유지 및 보수 비용
- 기타(세금, 이자, 보험 등)
- 원자재 비
- 생산 장비

수소가 수송연료로 사용되는 주행 단계 경제성 분석에서는 먼저, 연료 비용 분석은 연료 비용에 자동차와 관련된 비용, 즉, 자동차 구매, 유지, 보수 등의 비용을 적용하지 않고, 연료 비용과 연료세만을 고려하여 순수 연료로서 경제성이 있는 지를 분석하였다.<sup>(6)(7)</sup> 또한 자동차 구매 비용 및 자동차 유지·보수<sup>(8)</sup>에 의한 비용, 그리고 탄소세와 규제대상 대기배출물의 사회적 비용<sup>(9)</sup>을 고려하여 각 비용 항목들이 각 연료의 Well to Wheel 비용에 어느 정도 기여하는 지를 분석하였다.

### 3.4 데이터 품질

대상 시스템들에 대하여 신뢰도 있는 평가를 수행하기 위하여 Table 2에 나타난 데이터 품질을 적용하였다.

Table 2 Data Quality

구분	대상	시간적 경계	지역적 경계	기술적 경계
H <sub>2</sub>	Gasoline Diesel	2004	국내(SK, S-oil)	상용화
	Naphtha SR	2006	국내(SK, Oil-bank)	상용화
	NGSR	2006	국내(KOGAS, SK)	20Nm <sup>3</sup> /hr
	WE	2005~6	국내(엘켄텍), 국외(Stuart Energy)	5Nm <sup>3</sup> /hr 20 Nm <sup>3</sup> /hr

## 4. 결과

### 4.1 LCA 결과

- 지구온난화 (g CO<sub>2</sub> equiv./16만 km 주행)

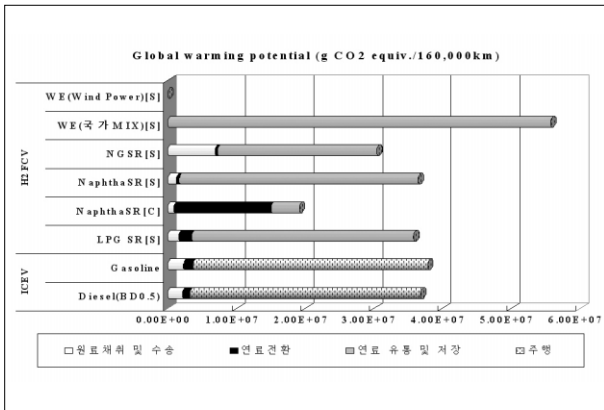


Fig 4. GWP of each fuel pathway

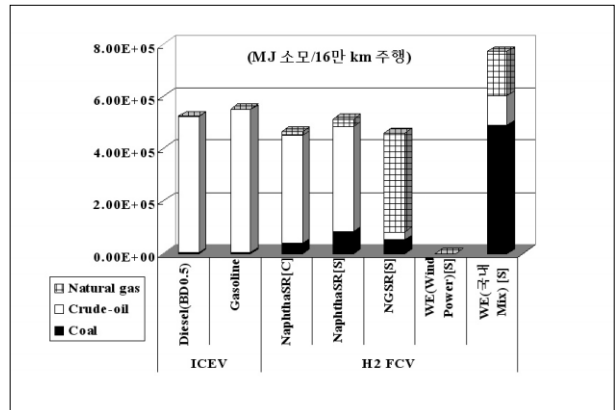


Fig 6. Fossil resources consumption of each fuel pathway

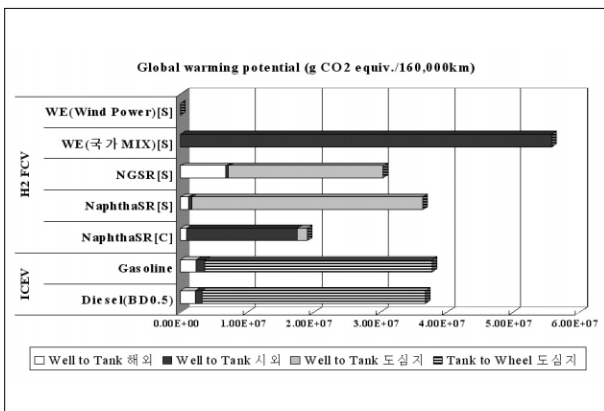


Fig 5. The analyzation of the place to emit GHGs

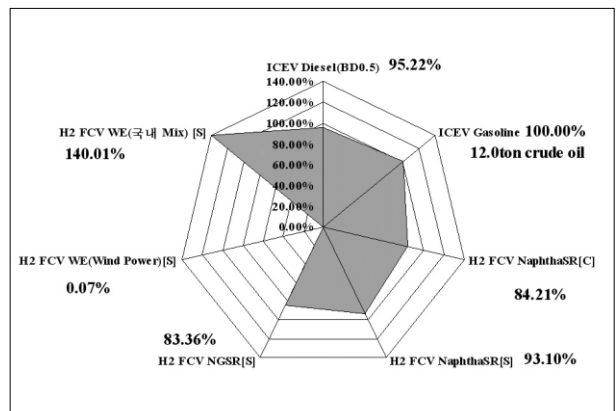


Fig 7. The relative distribution of the target fuel based on Gasoline

Fig 4와 같이, 수소 제조 공정인, SR공정에서 [Naphtha SR:  $C_nH_{2n} + 2nH_2O = nCO_2 + 3nH_2$ ], [NGSR:  $CH_4 + 2H_2O = CO_2 + 4H_2$ ] 반응으로  $CO_2$ 를 다량 배출할 수 밖에 없다. 하지만, 연료로 사용 시, 높은 에너지 효율로 수소 사용량이 적고, 주행 시 지구온난화 가스가 배출되지 않기 때문에, 중앙 집중/스테이션 방식 Naphtha SR과 스테이션 방식 NGSR 수소 경로에서 가솔린 자동차로 160,000km 주행 할 때보다, 지구온난화 저감효과가 나타나고 있다.

WE 수소 경로는 물 전기 분해 시, 사용되는 다량의 전기 사용 때문에, 오히려  $CO_2$  증가 효과가 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 이것은 국내 발전량 중 40%에 육박하는 화력 발전으로 인하여 발생하는  $CO_2$ 에 의한 것으로 발전 시설에  $CO_2$ 포집 시설(86% 저감)<sup>10)</sup>을 설치하거나, 아래 Fig 5와 같이 전력원 구성을 재생에너지[풍력]로 전환한다면, WE 수소 경로가  $CO_2$  개선 효과가 가장 크다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 수소 제법들의 경우, 주요  $CO_2$  발생원이 모두 고

정 오염원[주요 발생지:SR process and/or Power plant]이며, 대부분은 비교적 대기환경이 우수한 시외 지역에서 발생하는 것을 알 수 있다. 이것은 다시 말해서,  $CO_2$  포집 및 처리가 용이하다는 것을 말한다.

• 화석 연료 소모(MJ 소모/16만 km 주행)

화석연료 소모량 비교는 연료 경로 별, 원유, 석탄, 천연가스 소비량을 각 물질의 함유 에너지(MJ)로 환산하여 160,000km 주행 시, 투입되는 에너지량으로 나타내었다.

Fig 6을 보면 알 수 있듯이, WE-[국가 전력Mix] 수소 경로를 제외한 수소 경로들이 가솔린과 디젤에 비해 화석연료 소모 저감 효과를 보이고 있다. WE의 경우 앞서 언급한 것과 같이 수소 제조 시 투입되는 에너지(전력)가 주요 원인으로, 국내 전력원 중 화력발전의 타입별 기여도에 따라 석탄, 천연가스, crude oil 순으로 소모량이 가장 많이 나타나는 것을 알 수 있었다. 다음 Fig 7은 각 연료원으로 160,000km를 주행 시 화석

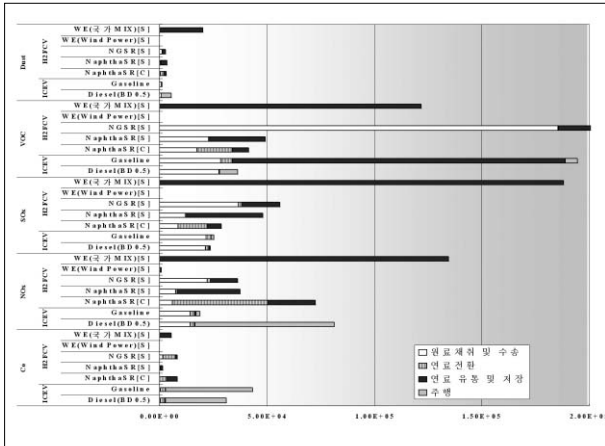


Fig 8. RAP of each fuel pathway

연료 소모량을 원유 소모량으로 환산하여, 가솔린 자동차로 주행 시와 비교해놓은 것이다. 즉, 가솔린 차량 1대 운행 시, 12ton의 원유를 소모를 하고 있다. 이에 반해, 수소의 경우, 화석연료 기반 경로는 6.9%(0.828ton)~ 15.79%(1.89ton)의 저감효과를 나타내고 있고, 특히 WE-풍력 수소 경로는 99.3%(11.92ton)의 저감효과를 보여, 궁극적으로는 재생에너지원을 이용한 물 전기분해 방식을 도입해야할 것으로 보인다.

• 규제대상 대기배출물 (g RAP i/16만 km 주행)

CO 배출에 있어, 모든 수소 경로가 가솔린과 디젤에 비해 저감되는 것으로 나타났다.

SO<sub>x</sub>와 NO<sub>x</sub>의 경우, 수소 제조공정과 압축/저장 시 다량의 전기 사용으로 인하여 [WE-풍력] 수소 경로를 제외하고는 기존연료보다 수소 경로들이 다량 배출하는 경향을 보이고 있다.

VOC의 경우에는 휘발성 물질로 주로 POCP 환경영향을 일으키게 되는데, NGSR과 가솔린 연료 경로에서 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 먼저, NGSR 수소경로를 살펴보면 Natural gas 채취단계에서 휘발되는 탄화수소 계열 물질들이

Table 3 Differences on LCI for NG extraction

참고 DB	ETH-Zurich, 1996	Buwal 132, 1990 - 본 연구 적용	국가 LCI DB
	주요 원인 배출물	[mg air emission/1kg NG채취]	
ethane	1137.08		0.17
NM VOC	145.59		18600.00
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>		28500.00	8.54
CO	888.89	153.00	0.19

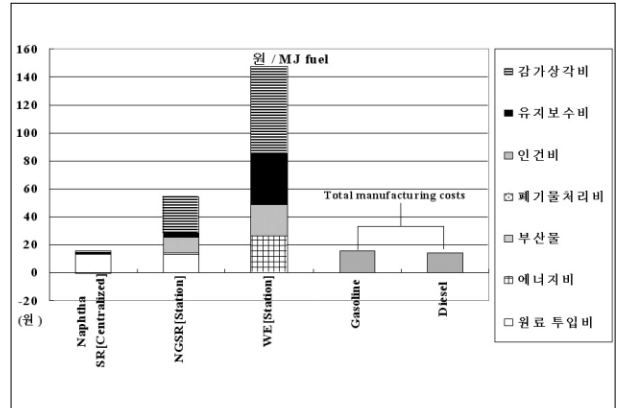


Fig 9. Well to tank costs of each fuel pathway

주요 원인이다. 하지만, Natural gas 채취 시, 발생하는 물질들에 대한 데이터들이 현재, 원산지 및 채취 데이터들에 대하여 편차가 발생하고 있어, 그 해석에 주의가 요구된다. 아래 Table 3은 채취 Database별 C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> 발생량 차이를 나타낸 것이다. 가솔린의 경우, 주유소로 수송하고, 주유소에 저장한 뒤 휘발되는 VOC량이 대부분을 차지하고 있어, 국내 대기질에 영향을 미친다.

WE 수소 경로는 CO를 제외한 모든 부분에서 기존 연료보다 다량의 대기배출물을 발생하는 것으로 나타나고 있다.

4.2 LCCA 결과

• Well to Tank 부문 (원/MJ fuel)

연료의 제조 비용(원료 채취 ~ 연료 제조)을 알아보기 위하여, 화석연료 소모 부문 분석과 마찬가지로 Fig. 9에 MJ당 원가로 비용을 분석하였다. Naphtha SR 중앙집중방식 수소 경로만이 기존 연료에 대해 가격 경쟁력을 가지며, 현재 시점에서 그 외 수소 스테이션 방식 Naphtha SR, NG SR, WE[풍력 and 국내 전기 Mix]는 아직 상용화 되지 않은 수소 제조 장비의 높은 감가상각비와 유지보수비와 소규모 스테이션으로 인한 높은 인건비 부담을 때문에 기존 연료에 비하여 높은 에너지 제조 단가를 보이고 있다.

• Well to Wheel 부문 - Fuel costs(원/km 주행)

기존 연료와 수소가 각각 ICEV와 FCEV에서 연료로 사용될 경우, 주행 시 연료 비용 차이를 분석해 보았다. Fig. 10에 제시한 것과 같이 수소에 가솔린과 같은 세율을 부과할 경우와 부

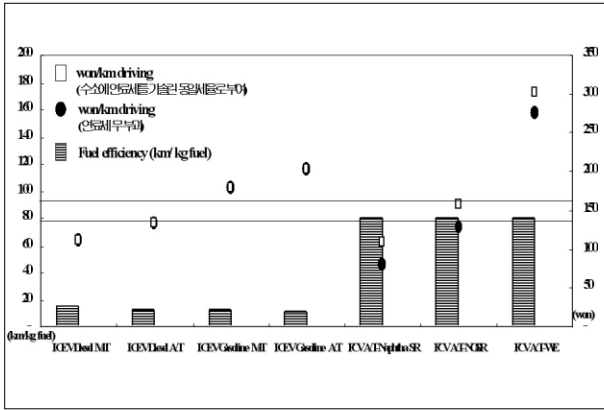


Fig 10. Well to wheel costs of each fuel pathway

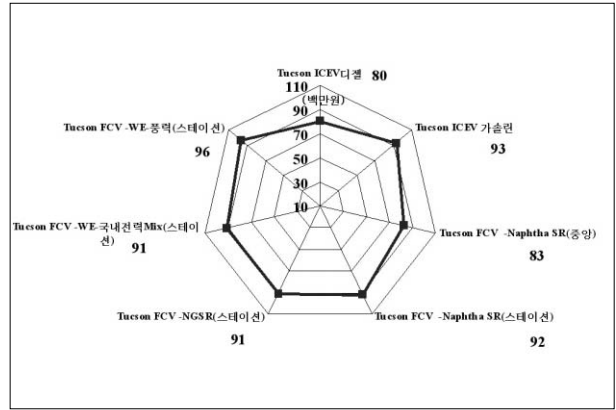


Fig 12. LCC of each fuel pathway

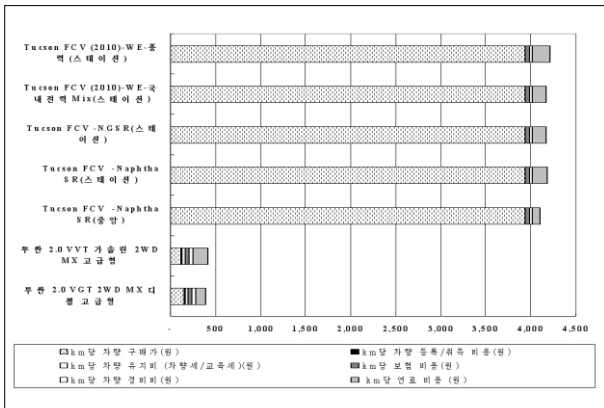


Fig 11. Well to wheel costs of each fuel pathway at present

과하지 않았을 경우로 나누어 분석하였다.

먼저, 수소에 연료세를 부과할 경우, Naphtha SR, NGSR 수소 경로는 가솔린 ICEV로 주행하였을 경우보다 연료 비용이 낮게 나타났다. 이것은 H<sub>2</sub> FCV의 높은 에너지 효율로 160,000km 주행 시, 약 2,000kg 소비되지만, 가솔린은 약 15,000kg이 소비되어, 높은 수소의 MJ당 제조 비용을 상쇄시켜주기 때문이다. 연료세를 부과하지 않았을 경우에는 Naphtha SR 수소 경로의 경우, 가장 비용이 적게 드는 수송연료가 된다.

• Well to Wheel 부문

- Life cycle costs(원/km 주행)

앞서 언급한 Fuel costs는 수소의 연료로서 가격 경쟁력을 분석한 것이다. 수소가 연료로서 가격 경쟁력을 확보하여도, 그것을 연료로 사용할 FCV의 구매, 유지·보수에 관련한 비용

이 기존 가솔린/디젤 ICEV 보다 높다면, 수송연료로서는 사용할 수 없게 된다. 그래서 Fig 11은 160,000km를 주행할 경우 소비되는 모든 비용, 즉, 자동차 구매 비, 등록 및 취득 비, 유지·보수 비, 보험, 연료 비용을 분석하여, 2007년 현재시점에서 km 주행 당 LCC를 제시하였다. Fig 10에서의 수소의 연료 비용 저감 효과를 나타내지만, FCV의 높은 구매 비용으로 인하여 H<sub>2</sub>-FCV는 가솔린/디젤에 대해서 가격 경쟁력을 가지지 못하게 된다.

그러나, 2010~15년 시점에서 FCV가격이 약 50,000,000원<sup>(11)</sup>으로 떨어지게 되면, WE-풍력을 제외하고는 가솔린 보다 비용저감 효과를 보이는 것으로 나타났다.

또한, Naphtha SR 수소의 경우, 디젤에 비하여 약 2,000,000원 정도의 초과 비용을 발생하지만, FCV의 등록/취득 비용에 대해 면세 인센티브를 적용할 경우, Naphtha SR 수소 경로의 LCC가 다른 연료에 비하여, 최소로 되어 연료로서 가장 비용 효율적인 연료가 된다.

6. 결론

LCA 결과, 환경성 측면에서는 [WE-국내 전기Mix] 수소 경로를 제외하면, 수소 경로들이 기존 연료보다 지구온난화 영향과 화석 연료 소모부문에서는 모두 저감효과를 나타내고 있었지만, 규제 대상 대기배출물 범주에서는 배출물에 따라 수소가 오히려 환경 영향이 크게 나타나는 것도 확인 할 수 있었다. WE 수소 경로의 경우, 전기의 다량 소모로 인하여 오히려, 기존 연료보다 환경부하가 증가되는 현상을 보이므로, WE를 사

용할 시에는 전력원으로 재생에너지를 활용하는 방안과 발전 시설에 CCS를 설치하여 CO<sub>2</sub>를 포집·처리 한다면, 환경부하를 크게 낮추어 기존연료보다 환경 부하가 작은 수소 연료 경로가 될 것이다. LCC 분석 결과를 보면, 수소의 경우, 에너지원으로는 아직 Naphtha SR 수소 경로를 제외하고는 대체에너지로서 가격 경쟁력을 확보하고 있지 못하고 있지만, 수송 연료로서는 스테이션 방식인 NGSR 수소 경로 역시 가격 경쟁력을 가지는 것으로 나타나, 수소를 수송연료로 사용되는 FCV가 상용화 되어 FCV 제조 비용이 저감된다면, 수소 경제의 보급·확산은 환경적·경제적 개선 효과 모두를 가져다 줄 수 있을 것으로 예상된다. LCA 및 LCC와 같은 평가 방법을 사용하여, 개발되고 있는 많은 대체에너지와 그 기반시설, 경로들을 총체적으로, 전과정적인 관점에서 분석한다면, 효과적인 수소 및 대체에너지 인프라 구축 및 정책 수립을 할 수 있을 것이다.

## 후기

본 연구는 신재생에너지기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

## References

- (1) GM Corporation, 2002, GM well to wheel analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicle systems-a european study.
- (2) 이영철, 30Nm<sup>3</sup>/hr급 수소스테이션 건설 및 실증 연구, 2007, 수소·연료전지사업단 Workshop.
- (3) ISO 14040: Life cycle assessment - Principles and framework, 2006
- (4) ISO 14044: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, 2006
- (5) Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996, Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions
- (6) D. Simbeck, E. Chang, 2002, Hydrogen supply : cost estimate for hydrogen pathways - scoping analysis, National Renewable Energy Laboratory.
- (7) Tax policy services group of Ernst & Young, 2003, An economic analysis of various hydrogen fuelling pathways from a Canadian perspective.
- (8) 양문희, 김봉진, 김종욱, 2005, GHG를 고려한 수소연료전지 자동차의 경제성 분석
- (9) 손의영, 황기연, 2001, 자동차 소유, 운행의 사적, 사회적 비용 비교 연구
- (10) International energy agency, 2007, Climate Policy Uncertatinty and Investment Risk
- (11) IEA/OECD, 2005, PROSPECTS FOR HYDROGE-N AND FUEL CELLS



**이지용**



2001년 건국대학교 공업화학과 공학사  
2003년 건국대학교 신소재공학과 공학석사  
2005년 건국대학교 신소재공학과 박사수료

현재 건국대학교 신소재공학과 박사과정 연구원  
(E-mail ; jiyong77@empal.com)

**차경훈**



2004년 건국대학교 신소재공학과 공학사  
2006년 건국대학교 신소재공학과 공학석사

현재 건국대학교 신소재공학과 박사과정 연구원  
(E-mail ; khcha0527@gmail.com)

**유무상**



2005년 경희대학교 환경공학과 공학사

현재 건국대학교 신소재공학과 석사과정 연구원  
(E-mail ; cosmosoahc@hanmail.net)

**이수연**



2006년 건국대학교 신소재공학과 공학사

현재 건국대학교 신소재공학과 석사과정 연구원  
(E-mail ; pslike84@empal.com)

**허탁**



1981년 서울대학교 공업화학과 공학사  
1983년 서울대학교 공업화학과 공학석사  
1988년 리하이대학 고분자공학 전공 공학박사

현재 건국대학교 신소재공학과 교수  
(E-mail ; takhur@konkuk.ac.kr)

**임태원**



1984년 연세대학교 금속공학과 공학사  
1986년 뉴욕주립대(버팔로) 기계항공공학과 공학석사  
1991년 뉴욕주립대(버팔로) 기계항공공학 전공 공학박사

현재 현대자동차 환경기술연구소 소장  
(E-mail ; twlim@hyundai-motor.com)