



## 천연가스배관을 통한 수소 혼합공급의 환경적 유용성 평가

†김형식 · 홍성호 · 황태연\*

한국가스공사 연구개발원 신에너지환경연구개발, \*에코시안  
(2008년 10월 24일 접수, 2009년 5월 27일 수정(1차), 2009년 6월 12일 수정(2차), 2009년 6월 12일 채택)

### Comparative Evaluation of Environmental Availability for Hydrogen Supply System with Existing Natural Gas Pipeline

†Hyoung Sik Kim, Seong Ho Hong, Tae Yeon Hwang\*

Korea Gas Corporation R&D Center, \*Ecosian

(Received 24. October. 2008, Revised(1st) 27. May. 2009, Revised(2nd) 12. June. 2009, Accepted 12. June. 2009)

#### 요 약

수소의 대표적인 공급방식에는 집중식과 분산식이 있다. 경제성 측면에서 대량수소사용을 위해 집중식이 유리하지만 막대한 공급인프라 구축비용이 단기간에 소요되는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 기존의 천연가스배관에 수소를 혼합공급하는 방법이 주목받고 있다. 본 논문에서의 수소혼합공급의 환경적 유용성을 타수소공급방안과 비교하여 분석한 결과에 의하면 수소혼합공급이 환경적으로 유익하며, 특히 지구온난화 감소에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

**Abstract** - There are two hydrogen supply systems which are central and distributed supply. Central supply system may be cost-effective but huge supply infra cost is needed. For cost-effectiveness, hydrogen supply with existing natural gas pipeline has been focused in Europe. From the analysis results in this study, hydrogen supply method with existing natural gas pipeline is the better for environmental availability including green house effect.

**Key words** : hydrogen supply, environmental availability, pipelines, LCA

#### 1. 서 론

수소를 광범위하게 사용하기 위해서는 생산시스템의 구축뿐만 아니라 효율적인 공급시스템이 필요하다. 현재 국내 수소분야의 연구방향이 제조방법에 집중되고 있어 공급시스템에 대한 비교연구가 필요한 시점이라 판단된다. 특히 수소의 에너지원으로서의 중요성 중에 하나가 환경적인 측면이라면 공급시스템에 따른 환경의 영향을 종합적으로 평가해 보는 것이 필요하다.

수소를 사용하기 위한 공급시스템에는 분산식과

집중식이 있다. 분산식이란 천연가스배관망이 이용되는 방식으로 말단의 수소사용지점에서 수소제조장치로 천연가스를 개질하여 수소를 제조/사용하는 방식이다. 이에 비해 집중식이란 중앙에서 대형 수소제조플랜트에서 수소를 대량으로 제조한 후 사용하는 지점까지 배관, 액체트레일러, 가스트레일러를 통해 운송하여 사용하는 방식이다. 집중식이 경제성확보에 유리한 것으로 보고되고 있지만 배관 등 막대한 공급인프라 투자비용이 걸림돌이 되고 있다[1,2]. 이러한 공급인프라 구축비용을 해결하기 위한 방법으로 유럽을 중심으로 수소를 운송하는 한 가지 방안으로 천연가스배관에 수소를 혼합하여 공급하는 방식이 국외에서 활발히 연구

\*주저자:hskim@kogas.or.kr

되고 있다. 이는 수소전용배관을 따로 설치하지 않고 기존의 천연가스배관을 통해 수소를 공급한다는 측면에서 경제성측면에서 획기적인 방법이라 평가받고 있다. 다만 수소혼합공급을 실현하기까지는 배관의 수소취성, 수소분리막 등 수소사용에 대한 기술적 확인이 필요한 상황이다.

본 연구에서는 수소혼합공급을 포함하여 수소의 생산-공급-사용 과정에 따라 8가지 시나리오로 구성하고 각 시나리오에 대해 6개 환경영향 범주별로 환경영향을 분석하여 가장 환경적으로 유리한 생산-공급-사용 시나리오를 확인하고자 하였다. 또한 이산화탄소 격리기술을 적용하는 경우 각 시나리오에서의 지구온난화영향의 감소 정도를 산출하였으며, 일반 연소기에서 혼합가스를 연소하는 경우의 지구온난화영향 변화를 추정해 보았다.

## II. 본 론

### 2-1. 환경영향 분석 방법

본 연구에서는 수소공급시스템에 대한 환경적으로 비교우위성 또는 열위성을 종합적으로 판단하기 위한 방법으로서 잠재적 환경영향을 정량적으로 평가할 수 있는 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment)를 선택하였다. 이는 단일하거나 국지적인 환경 오염 또는 영향보다는 광범위하고 복합적인 환경영향을 평가함으로써 전 지구적인 관점에서 환경친화적인 대안을 판별하기 위한 표준화된 방법론이다[3-5].

전과정평가는 원료물질채취/제조단계로부터 제품의 사용과 폐기에 이르는 모든 과정에서의 입력물과 출력물을 정량적으로 분석하고 이러한 입력물과 출력물들이 환경에 미치는 잠재적인 영향을 파악하는 기법이다[6,7]. 따라서, 이 과정 전체에서의 공정 단위별 입력물과 출력물의 종류와 양을 파악하는 과정이 필요하다. 원료물질 채취 및 제조 단계에는 천연가스의 생산, 전력 생산, 용수 생산 등이 포함되며, 이 단계의 평가에 필요한 데이터는 모두 국가 LCI 데이터베이스를 활용하였다.

제품의 제조 단계에는 수소의 생산, 운송과 관련된 공정들이 포함되며 비교대상 시나리오에 따라 단위공정의 조합이 이루어진다. 평가에 필요한 데이터는 외국의 연구 사례를 주로 활용하였다. 수소를 연료전지의 연료로 이용하는 경우와 천연가스나 혼합가스를 연소하는 경우를 포함한다. 사용 단계에서의 배출물은 이론적 연소 데이터를 사용하였다.

### 2-2. 수소공급시스템

연구대상 시스템은 천연가스의 채취로부터 수소의 생산 및 운송과 사용까지의 공정이며, 수소의 생산방법(분산식, 집중식)과 수송 방법에 따라 아래의 8가지로 구분할 수 있다[1,2]. 이때 이산화탄소의 격리 처리에 따른 효과는 고려하지 않았으며, 이산화탄소 격리 처리로 인한 환경영향의 감소 효과는 별도로 분석하였다.

- 1) S1: 천연가스 ▶ 집중식수소생산 ▶ 가압(고압) ▶ 고압압축가스 트레일러 운송 ▶ 저장탱크 ▶ 사용(차량용, 발전용)
- 2) S2: 천연가스 ▶ 집중식수소생산 ▶ 가압(고압) ▶ 액화가스트레일러운송 ▶ 저장탱크 ▶ 기화 ▶ 사용(차량용, 발전용)
- 3) S3: 천연가스 ▶ 집중식수소생산 ▶ 가압(저압) ▶ 전용수소배관 ▶ 사용 (발전용)
- 4) S4: 천연가스 ▶ 집중식수소생산 ▶ 가압(저압) ▶ 전용수소배관 ▶ 가압 ▶ 저장탱크 ▶ 사용(차량용)
- 5) S5: 천연가스 ▶ 집중식수소생산 ▶ 가압(저압) ▶ 천연가스배관혼합공급 ▶ 분리 ▶ 사용(발전용)
- 6) S6: 천연가스 ▶ 집중식수소생산 ▶ 가압(저압) ▶ 천연가스배관 혼합공급 ▶ 분리 ▶ 가압 ▶ 저장탱크 ▶ 사용(차량용)
- 7) S7: 천연가스 ▶ 천연가스배관공급 ▶ 분산형수소 생산시설 ▶ 가압(저압) ▶ 사용(발전용)
- 8) S8: 천연가스 ▶ 천연가스배관 공급 ▶ 분산형 수소 생산 시설 ▶ 가압(고압) ▶ 저장탱크 ▶ 사용 (차량용)

## III. 평가결과

8가지 수소공급 시나리오에 대해 환경영향을 자원고갈(ADP), 산성화(AP), 부영양화(EP), 지구온난화(GWP), 오존층고갈(ODP), 광화학산화물(POCP) 생성의 6개 영향범주별로 산출하고 이를 통합하여 하나의 통합환경영향지수로 산출하였다. 평가 결과의 수치는 무차원화된 통합영향의 크기이며, 수치 자체의 절대적인 크기는 무의미하다. Fig. 1에 8가지 수소공급시나리오에 대한 환경영향평가 결과를 나타내었다.

자원고갈(ADP) 범주에서는 각 시나리오에 따른 영향의 크기가 약 20%까지 차이가 있는 것으로 나타났다. 자원고갈의 주요 원인은 천연가스 자원과 원유 자원의 고갈이며, 이는 주로 천연가스의 생산으로부터 개질을 통해 수소를 만들어내는 과정에서의 천연가스 소모량과 에너지 사용으로 인한 결과

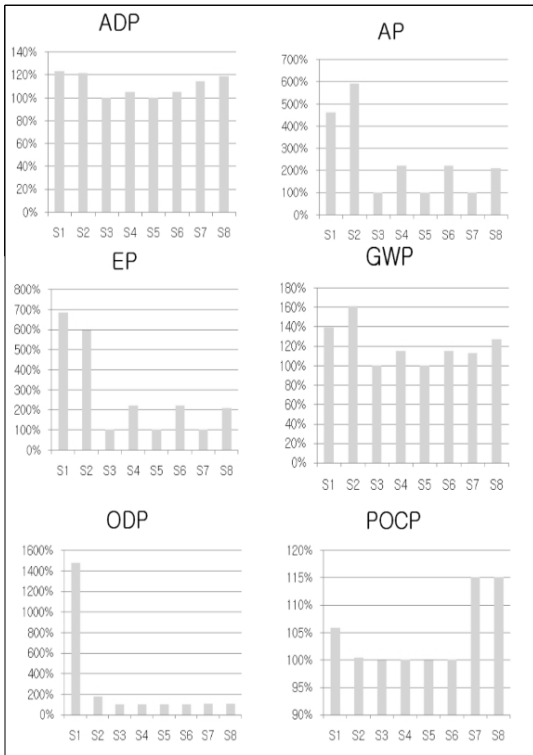


Fig. 1. Life cycle assessment.

이다[8,9]. 수소의 운반 수단으로 차량을 사용하는 경우(S1, S2)의 경우는 차량의 연료 소비로 인한 자원의 고갈이 추가로 고려되었으며, 분산형 개질기를 설치하는 경우(S7, S8)에는 개질 효율이 낮음으로 인해 자원고갈에 대한 영향이 상대적으로 크게 분석되었다. 자원고갈의 측면에서만 본다면 분산형 개질기의 설치와 차량을 이용한 수소의 운반은 비슷한 크기의 영향을 미친다고 볼 수 있으며, 가스배관을 통한 공급이 자원고갈에 미치는 영향이 가장 적은 대안이라고 할 수 있다. 여기에서 배관을 통한 수소의 공급 방법 중 전용수소배관(S3, S4)과 천연가스 배관 혼합공급(S5, S6)의 경우는 전과정평가(6개 환경영향범주 모두)를 통한 잠재적 환경영향을 파악하였을 때 차이가 나타나지 않는다. 이는 두 경우에 있어서 운영과정, 즉 수소를 공급하는 과정에서의 에너지 사용량이나 운영상의 여타 요소들이 동일하기 때문이다. 실행적으로는 전용수소배관(S3, S4)의 경우, 대규모의 인프라 투자(수소전용배관의 제조, 배관 설치를 위한 토지 이용, 토목공사, 공급설비 신설 등)가 수반되는 것이

사실이나 전과정적인 관점에서 접근할 때 인프라의 투자에 대한 부분은 장기간에 걸쳐 상각되는 것이며 현 상황에서의 경제성 측면에 영향을 미치는 요소이므로 전과정평가 연구에서는 제외된다. 이러한 점은 전과정평가 연구의 한계점으로 볼 수 있으며, 신규건설로 인해 단기적(수년 이내)에 발생하는 추가적 환경영향에 대한 분석은 별도의 연구 과정을 통해 도출할 수 있다. 이를 위해서는 인프라 시설의 건설 및 자재에 대한 포괄적인 데이터의 확보가 필요하다.

산성화(AP) 범주에 미치는 영향의 크기는 상당히 큰 폭의 차이를 보이고 있다. 산성화의 주요 원인 물질인 황산화물과 질소 산화물의 배출이 산성화의 주요 원인이며, 이 원인 물질들은 연료의 연소와 전력생산 과정에서 주로 배출된다. 차량을 이용하는 경우(S1, S2)의 경우는 산성화의 영향이 기준 대비 4.5~6배에 이를 정도로 매우 크게 증가하고 있다. 한편, 배관을 통한 공급과 분산형 개질기를 사용하는 경우에는 최종 사용처(자동차 또는 발전용 연료전지)에 따라 고압 압축에 소요되는 전력으로 인한 영향이 반영되어 약 2배의 편차를 보이고 있다.

부영양화(EP)에 영향을 미치는 주요 인자는 질소 산화물로 거의 모든 영향이 이 물질로 인한 것으로 분석되었다. 차량을 이용하는 경우에 있어서 두 대안 간의 영향 크기가 바뀐 점을 제외하면 산성화 범주에서도 동일한 경향을 보인다.

모든 환경영향 범주 중에서 전 지구적으로 환경영향에 대한 심각도와 파급효과가 가장 큰 것으로 알고 있는 것이 바로 지구온난화(GWP)이다. 영향물질 중 이산화탄소의 배출이 지구온난화 범주에 미치는 영향의 대부분을 차지하는 것으로 분석되었다. 이산화탄소의 배출 원인은 공정 및 운송 과정에서 사용되는 전력, 천연가스, 차량 연료 등의 생산과 연소이다. 지구온난화범주에서도 배관을 이용한 공급이 다른 대안에 비해 환경영향이 작은 것으로 나타났다.

오존층 감소(ODP) 범주에서는 차량을 이용하는 경우를 제외한 나머지 대안에서의 차이는 약 8%로 매우 낮은 편차를 보였지만, 차량 운행에 따른 연료의 생산과 연소로 인한 영향이 최대 15배까지 높게 나타나는 결과를 보였다. 이의 주요 원인 물질은 타이오 마모시 발생하는 Halon-1301이다. 고압가스 차량을 사용하는 경우에는 액화가스를 사용하는 경우에 비해서 적체 효율이 현저하게(약 200배) 떨어지므로 차량의 운행으로 인한 연료의 영향이 크게 증폭된 것을 볼 수 있다.

광화학산화물생성(POCP) 범주에서 각 시나리오별로 미치는 환경영향의 크기는 거의 비슷한 수준에 있으며, 분산형 개질기를 사용하는 경우에 있어서만 15%정도 크게 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 광화학산화물 생성에 영향을 미치는 물질 중 VOC 물질의 배출이 큰 폭으로 증가했기 때문이다. 분산형 개질기 시스템은 중앙집중식 개질기 시스템에 비해 수소 생산 효율이 낮기 때문에 에너지 소요량 및 대기 배출물 발생량이 증가하게 된다.

Fig. 2의 통합환경영향평가의 결과를 살펴보면 기준이 되는 시나리오인 중앙집중식 수소 생산설비로부터 생산한 수소를 기존의 배관에 혼합공급하고 이를 막 분리하여 수소 연료전지 발전(주로 가정용)에 사용하는 경우(S5)에 비해 볼 때, 다른 대안들의 환경 영향 크기가 최대 40% 내외가 큰 것으로 나타났다.

차량을 이용하는 경우와의 환경적 측면에서의 가장 큰 차별 요인은 차량 운송에 따른 연료의 소비와 대기배출물의 증가이며, 수소의 압축 또는 액화에

소요되는 에너지도 약 5~7%의 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 배관을 통한 공급을 수행하는 경우에 있어서도 차량용으로 수소를 사용하는 경우, 결국 수소를 차량의 수소 탱크 내에 압축하기 위한 가압공정이 수반되기 때문에 이로 인한 영향의 증가가 반영되고 있다.

기후변화에 영향을 미치는 대표적인 온실가스인 이산화탄소의 격리처리는 환경적 측면뿐 아니라 경제적 측면에서도 매우 중요한 이점을 가지고 있다. 그러나 천연가스를 개별 수요처에서 연소시키거나 개질하여 수소로 전환하여 사용하는 경우에는 포집설비의 설치와 운영이 어려우며, 효율성이 확보되지 않으므로 그 적용이 어렵다.

수소 혼합공급 방안에 있어서는 천연가스를 대량으로 개질하는 공정을 가스기지 또는 주요 공급시설 단위로 설치할 수 있으므로 대규모의 이산화탄소 포집 시설을 설치하고 운영하는 것이 가능하다. 이산화탄소 포집 시설의 규모와 운영에 따른 각종 환경영향에 대해서는 별도의 면밀한 연구를 통해서 도출될 수 있으므로 이 연구에서는 포집 시설의 설치와 운영에 따른 영향은 고려하지 않고 단지 이산화탄소의 격리처리로 인해 얻을 수 있는 이점을 평가해보았다.

Fig. 3에서 이산화탄소 격리 설비를 통해 이산화탄소를 포집하여 지구온난화를 방지하면서 수소를 생산하고 이를 기존 배관을 통해 혼합공급(S5, S6)하는 경우 분산식에 비해 50%까지 지구온난화영향이 적은 것을 알 수 있다.

한편 수소를 천연가스 배관에 혼합공급하는 경우, 수소의 사용처에서는 수소만을 분리하여 사용하면 되지만 기존의 천연가스 수용가에서는 일반 연소기기를 통해 혼합가스를 연소시키게 될 것이다. 이때 천연가스만으로 공급되는 경우에 비해 수

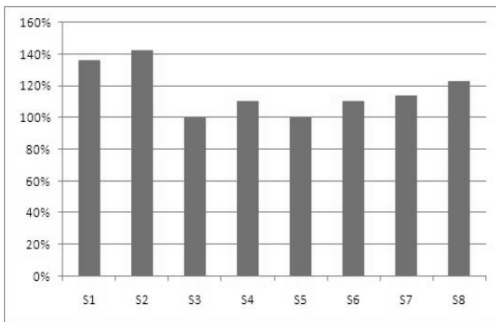


Fig 2. Total environmental impacts.

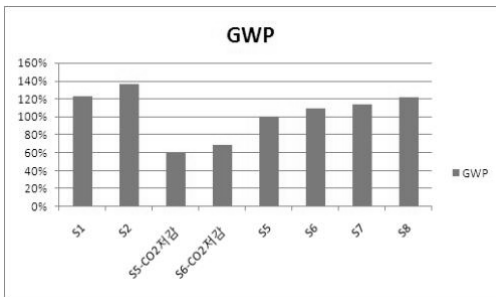


Fig. 3. GWP reductions with CO2 sequestration.



Fig. 4. GWP reduction with hydrogen mix gas combustion.

소 혼합공급의 경우 열량 부족분만큼을 추가로 사용한다고 가정하였을 때의 환경영향의 차이를 분석해 보았다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 수소의 생산과정에서 이산화탄소를 격리 처리하는 경우에는 지구온난화의 영향이 수소 함량에 따라 수소 50%를 혼합하는 경우 지구온난화 영향이 15%이상 감소하는 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

국내의 수소공급은 주로 분산공급시스템에 대해 연구가 수행되고 있다. 하지만 분산공급시스템은 수소경제의 초기단계에 가능한 방법으로 대량으로 수소를 사용하기에는 경제성 측면이나 특히 지구온난화 물질인 CO<sub>2</sub>처리가 불가능하는 등 환경적 측면에서도 어려움에 직면하고 있다.

이에 비해 중앙 집중식 공급시스템은 초기 공급 설비의 투자비가 많이 들어간다는 단점에도 불구하고 경제성측면과 환경적 측면에서 유리할 것으로 판단된다. 하지만 수송방법으로 차량을 이용하는 방식은 배관을 이용하는 방식에 비해 환경적으로 많은 악영향을 미치게 된다. 이는 수송의 효율성에 따른 차이이기도 하며, 수송 과정에서 차량운행에 따른 환경부하의 증가 효과가 상당히 크기 때문이다.

한편 기존 천연가스배관을 이용한 수소혼합공급 방안의 경우 초기 설비 투자비도 많지 않을뿐더러 통합환경적으로 유리한 방식이다. 특히 혼합공급에 이산화탄소 격리처리 기술을 적용하는 경우, 분산형에 비해 지구온난화의 영향을 50%까지 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다. 그 실제 효과는 격리처리 기술의 종류와 실제 구성 시스템의 운영 실적에 따라 달라지겠지만, 격리처리가 가능한 중앙집중식 수소생산/공급시스템의 도입으로 인해 지구온난화 영향을 상당량 감소시킬수 있을 것이라 판단된다.

또한 혼합공급 시스템은 중앙집중생산에 의한 지구온난화영향의 감소뿐만 아니라 혼합가스를 일반 연소기기의 연료로 사용하는 경우 일반 가정에서도 지구 온난화영향을 감소시킬 수 있는 유일한 방안이 될 것이다.

#### 참고문헌

- [1] Christopher Yang and Joan Ogden, *Analysing Natural Gas Based Hydrogen Infrastructure-Optimizing Transitions from Distributed to Centralized H2 Production* (2005)
- [2] Takeo Suzuki, Shin-ichiro Kawabata, Tetsuji Tomita, IEEJ, "Present Status of Hydrogen Transport Systems Utilizing Existing Natural Gas Supply Infrastructures in Europe and the USA", 1-16(October 2005)
- [3] ISO 14040: *Life Cycle Assessment - Principles and framework*, (2006)
- [4] ISO 14044: *Life Cycle Assessment - Requirements and guideline*, (2006)
- [5] ISO 14048: *Life Cycle Assessment - Data documentation format*, (2002)
- [6] 허탁, 안중우, 정재춘, *Principles of Life Cycle Assessment*, (1995)
- [7] 이진모, 허탁, 김승도, *환경전과정평가(LCA)의 이론과 지침*, (1998)
- [8] 한국가스공사, *천연가스 전과정평가 결과보고서*, (2002)
- [9] 신에너지 · 산업기술종합개발기구, *연료전지 자동차 보급 관련 기술에 따른 Life Cycle 영향 평가 등에 관한 조사*, (2005)