

수소에너지시대를 대비한 대용량 수소생산공정 현황: 원자력 고온열원을 이용한 SI 순환공정

임영일, 박호재

Department of Chemical Engineering, Hankyong National University
456-749 Ansung, Korea
Phone: +82 31 670 5207, Fax: +82 31 670 5445, Email: limyi@hknu.ac.kr

8. 결론 : 수소경제에 대비한 수소생산공정

인류가 손쉽게 이용 할 수 있는 화석원료의 매장량이 앞으로 수백 년 이내에 한계에 이를 것으로 예상되고 있다. 화석원료 자원은 한정되어 있지만 그 수요는 나날이 증가하기 때문이다. 따라서 이를 대체할 차세대 에너지원의 개발이 선진국들을 중심으로 활발히 연구되고 있다. 그러한 에너지원들 중 하나로써 수소 에너지는 원료가 되는 물이 지구상 어느 곳이나 존재하고 있고, 또한 연소 후에도 오염물질을 거의 배출하지 않는 청정에너지로서 상당한 관심을 받고 있다. 본장에서는 앞서 살펴본 원자력 열원을 이용한 열화학적 수소생산 공정을 바탕으로 앞으로 오게 될 수소 경제에 대해서 살펴보고, 수소 경제가 오기 위해서 어떠한 해결 과제들이 이루어져야 하는지 알아 볼 것이다.

8.1. 에너지 운반체로서의 수소

수소에너지는 전기에너지와 마찬가지로 에너지를 생산하는 장소로부터 소비하는 장소까지 에너지를 운반하는 매개체가 될 수 있다. 또한 수소에너지와 전기에너지는 자연적으로 만들어지는 양은 극히 적기 때문에 여러 다른 에너지를 이용하여 수소에너지나 전기에너지로서의 변환이 필요하다. 그리고 수소에너지와 전기에너지는 비교적 적은 에너지 손실로 연료전지 (수소를 전기로) 나 물-전기분해 (전기를 수소로) 방법으로서 서로 전환이 가능하다 (Forsberg, 2005).

그러나 수소에너지와 전기에너지간의 근본적인 차이점이 존재하는데, 전기에너지의 경우 전자의 진동으로 에너지를 전달할 수 있기 때문에 운반 매개체로서 전선이 필요하지만, 수소에너지의 경우 수소 그 자체를 운반하여야 하는 점에서 차이가 있다. 그렇기 때문에 본질적으로 다른 특성을 가지는 수소에너지의 생산, 저장, 운반, 이용에 있어서 대규모 수소생산 공정을 동반하는 것이 유리하다고 판단 할 수 있다. 따라서 많은 나라들은 원자력을 이용한 대규모 수소생산공정 개발에 총력을 기울이고 있다. 수소에너지의 생산, 저장, 분배, 이용 기술 개발이 충분히 이루어지게 되면, 현재 사용하는 전기에너지만큼 편리하게 수소에너지를 사용하게 될 것이다 (Forsberg, 2005).

8.2. 수소에너지의 생산

수소를 얻기 위해서는 화합물 형태로 존재하는 수소를 분리 (예로서, 물 (H_2O) 에서 수소 (H_2) 와 산소 (O_2) 를 분리) 하여야 한다. 현재 가장 널리 사용하는 방법은 천연가스에 포함된 메탄의 수증기개질법 (steam reforming) 이며, 다른 방법도 함께 소개하면 다음과 같다 (원자력 수소연구회, 2003).

- 수증기개질법 (상용 공정으로 운전 중)
천연가스중의 메탄을 고온의 수증기와 함께 니켈촉매에서 반응시키면 수소와 일산화탄소로 분해된다. 현재 전세계에서 생산되는 연간 4 천 2 백만톤 중 48 % 차지하고 있는 상용화된 기술이나, 연료전지발전 등 사용처에 요구되는 기술인 소형화/경량화에 맞추기 위해 연구 중이다.
- 전기분해법 (상용 공정으로 운전 중)
물에 1.75 볼트 이상의 전류를 흘리면 양극에서 산소가 음극에서 수소가 발생된다. 고순도의 수소를 얻을 수 있으나 생산비용이 높다.
- 고온전기분해법
고온의 수증기를 전기분해하면, 상온전기분해법보다 더 적은 전류로 수소를 생산할 수 있으므로 고온열원이 있는 경우 유리하다.
- 열화학분해법 (실험실규모 실증 완료, 대규모 실증 개발 중)
800 °C의 고온에서 여러 단계의 화학 과정을 거쳐 물을 수소와 산소로 분해할 수 있다. 열원으로는 원자력 또는 태양열 이용 방법 개발중. 열화학법에는 황산과 요드화수소를 사용하는 Sulfur-Iodine (SI) cycle, 브롬화칼슘 ($CaBr_2$) 과 브롬화철 ($FeBr_2$) 을 사용하는 UT-3 cycle 등의 실험실 규모 실증이 연구되고 있으나, 대량 연속공정에는 액체를 사용하는 SI 열화학사이클이 가장 앞선 단계임.
- 광전기화학법 (또는 광촉매법, 효율을 3%로 높이기 위한 개발중)
태양전지처럼 광전기를 만드는 반도체와 태양광을 이용하여 물을 분해할 수 있으며, 태양광에너지효율을 3%대로 끌어올리기 위해 노력중.
- 광생물학법 (효율을 10%로 높이기 위한 개발중)
갈조류와 같은 미생물은 태양광으로 물을 수소와 산소로 분해할 수 있다. 보다 수소생산효율을 높이기 위해 유전자조작 등 기술을 연구중.
- 미생물법 (연구중)
목재 등에 작용하는 미생물 중에는 수소를 생산할 수 있는 것이 있다. 유전자조작 등 기술을 연구 중.

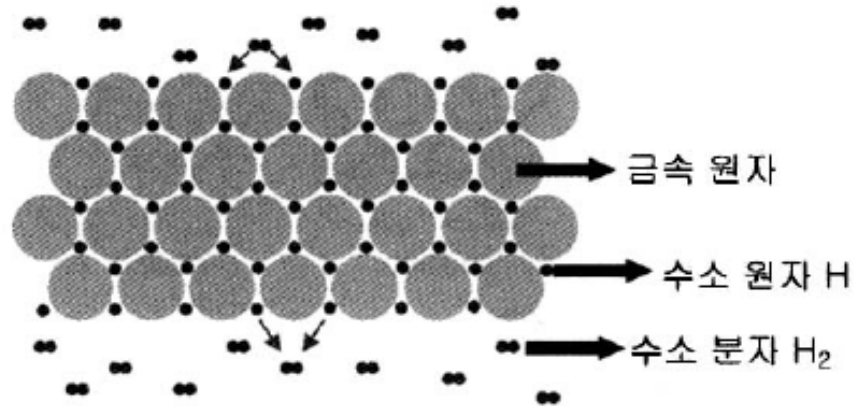
- 석탄가스화 및 열분해법 (20세기초부터 상용화하던 방법임.)
석탄을 가스화 하면 수소를 생산할 수 있으며, 산업혁명 이후 영국에서 이를 이용하여 가로등을 밝힌 사례가 있다. 석탄의 열분해로 코크를 만드는 과정에서 나오는 제철소 부생가스를 포함하여 현재는 수소수요의 극히 일부만을 담당하고 있다.
- 부생수소
원유의 정제과정에서 부산물로 수소가 생산되며 대부분 정유공장에서 중질유개질 및 연료 등으로 자체 소모하고 있다. 전세계 생산량의 30%로 추정됨.

이러한 여러 수소 생산 공정 중 이산화탄소를 배출시키지 않고, 원자력 발전소의 열에너지를 이용하기 때문에 제조비용을 낮출 수 있는 열화학적 수소생산 공정이 가장 가능성 있는 공정 중 하나로 평가 받고 있으며 여러 선진국들이 앞다투어 연구·개발에 총력을 기울이고 있다.

8.3. 수소에너지의 저장 및 수송

현재의 수소에너지의 저장 및 수송 방법은 기체상태의 수소를 높은 압력을 주어 탱크나 봄베에 넣는 방식을 취하고 있다. 하지만 이방법의 경우 저장용기 크기가 커질수록 (높은 압력을 유지하는 어려움) 수소저장량이 낮아지는 문제점을 가지고 있으며, 또한 고압으로 인하여 폭발의 위험성이 높다는 점이 큰 문제점으로 지적되고 있다. 그리고 액체 저장법의 경우 수소를 액화시켜 저장 밀도를 높이므로 기체 저장 방법에 비하여 더 많은 수소를 저장 할 수 있으나, 수소 액화에 드는 많은 에너지가 (-250 °C 필요) 필요하고, 저장하기 위해서 극저온용 단열 용기가 필요하기 때문에 장치의 복잡성을 가져오고 그에 따른 비용상승으로 인한 경제성의 문제점을 가진다 (최현도와 2인, 2005). 현재의 수소 저장기술의 문제점을 해결하기 위해서 보다 효율적이고 안전하며 고용량의 수소저장밀도를 갖는 수소저장기술에 대해서 살펴 보겠다.

- 수소저장합금
다량의 수소를 가역적으로 흡수 (저장), 방출 (사용) 할 수 있는 능력을 보유한 합금 (<그림 8-1> 참조) 을 말하며 여기에는 크게 Metal Hydride와 알칼리계 수소화물을 매체로 하는 Chemical Hydride 로 구분된다.
<표 8-1> 에서는 수소저장합금의 종류와 특성을 보여준다. 수소저장합금은 수소를 저온에서 액화시킬 필요가 없고, 저장시 수소가 가지는 폭발의 위험성을 줄일 수 있다. 또한, 특별한 내압용기가 필요 없고 수소방출시 어느 정도 고순도의 수소를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 수소화 반응 속도도 매우 빨라서 이와 관련된 많은 연구가 진행 되어 왔다. 그러나 저장량의 한계와 반복 사용으로 인한 미분화가 발생할 수 있고, 금속이 가지는 높은 비체중 때문에 저장용기의 경량화 문제가 남아있다 (안준현외 2인, 2003).



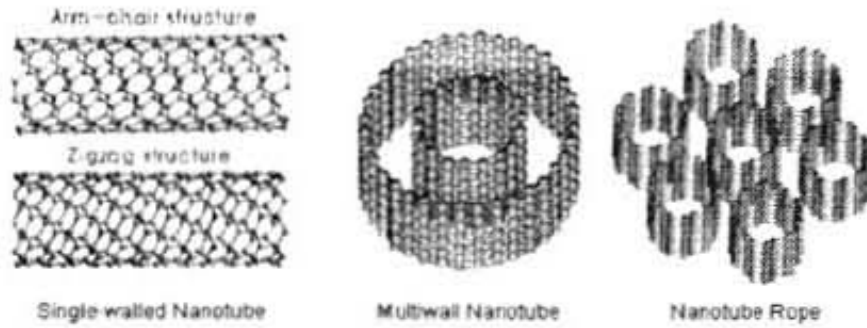
<그림 8-1> Hydrogen adsorption/desorption on the metal powder surface (안준현외 2인, 2003)

<표 8-1> 수소저장합금의 종류와 특성(홍현선의 2인, 2003).

| | 장 점 | 단 점 | 합금성분 | 수소저장 용량 (wt%) | 반응조건 |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------|---|------------------|--|
| AB ₅ type | 우수한 활성화 특성 우수한 cycle 특성 | 값비싼 원재료 작은 용량 | LaNi ₅ H _{6.0} (MmNi ₅) | 1.4 | 50°C, 2 bar, |
| AB ₂ type | 높은 용량 넓은 조성범위 | 값비싼 원재료 초기 활성화 필요 | ZrV ₂ H _{5.5} ZrMn ₂ H _{3.5} | 2.3 1.7 | 50°C, 10 ⁻⁸ bar 210°C, 1 bar |
| AB type | 값싸고 풍부한 재료 | 초기 활성화 필요 작은 방전용량 | TiFeH _{1.9} | 1.8 | 50°C, 10 bar |
| A ₂ B type | 단위 무게당 높은 수소저장량 값싸고 풍부한 재료 | 고온 수소 흡·방출 | Mg ₂ NiH ₄ | 3.6 | 250°C, 1 bar |

- 탄소 나노튜브

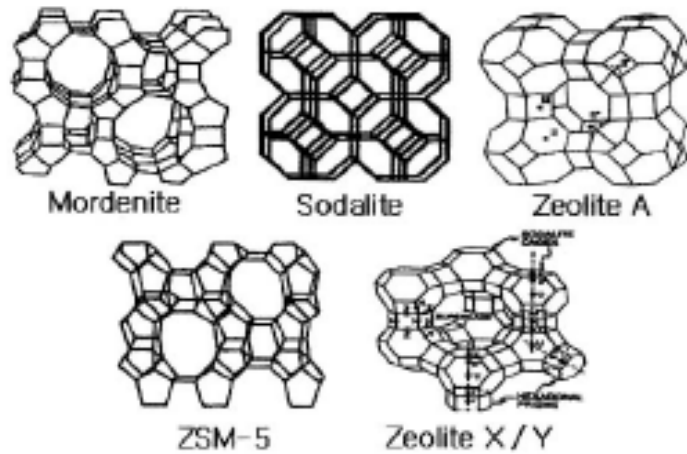
탄소 나노튜브는 직경이 1~100nm인 튜브형상으로 <그림 8-2> 에서 보는 바와 같이 크게 세가지 형태로 존재하며 체적대비 넓은 표면적을 갖고 있어 보다 많은 수소를 유기결합 형태로 저장 할 수 있는 구조로 되어있다 (홍현선의 2인, 2003).



<그림 8-2> 탄소 나노튜브의 세가지 구조 (홍현선외 2인, 2003)

- 제올라이트

다공성 구조체 제올라이트가 가지는 마이크로 기공구조 (<그림 8-3>참조) 는 수소를 비롯하여 많은 미세 결정체들이 반응할 수 있는 표면적을 극대화 시킬 수 있다는 장점이 있다. 이러한 마이크로 기공도를 높여 수소 저장 능력을 극대화 시키려는 연구가 진행 중에 있다.



<그림 8-3> Framework structures of some extensively studied zeolite (Langmi et al., 2003)

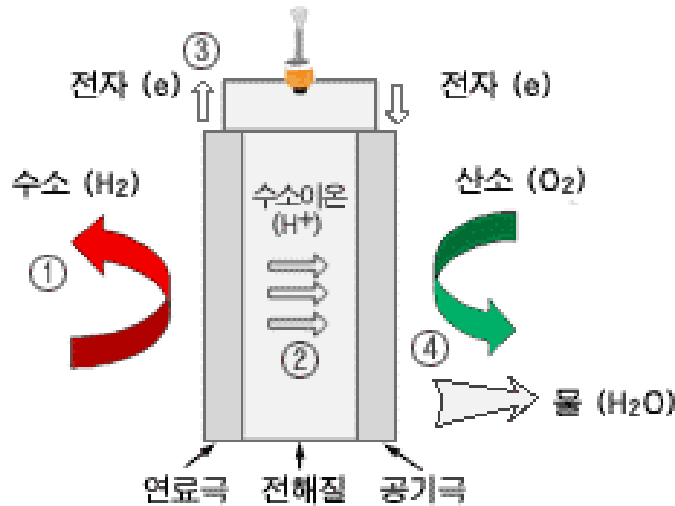
이러한 수소에너지의 저장 기술들이 연구.개발이 충분히 이루어져 만족할 만한 저장 밀도와 안정성 증가가 이루어 진다면 수소 수송에 있어서도 좀더 편리하고 효율적인 수송이 이루어 질 것이다.

원자력 고온열원을 이용한 물분해 수소생산 공정의 경우 대량의 수소가 중앙 집중적으로 생산되므로 사용하는 장소까지 액체수소상태로의 연속적인 수송도 효과적일 수 있다. 그렇기 위해선 액체로 수소를 수송 하게 될 경우 기화손실을 제어할 수 있는 파이프 라인의 개발이 필수적이 될 것이다 (홍현성외 2인, 2003).

8.4. 수소에너지의 이용

수소는 산업용의 기초 소재로부터 일반 연료, 수소자동차, 수소비행기, 연료전지 등 현재의 에너지 시스템에서 사용되는 거의 모든 분야에 이용될 가능성을 지니고 있다.

현재 수소의 이용기술 중 가장 유망한 분야로 꼽히고 있는 것이 연료전지 발전기술이다. 기존의 화력발전 기술은 석탄이나 석유등의 연료를 연소시키고, 이를 이용해 증기를 발생시키며, 발생된 증기로 증기터빈을 회전시키고, 여기에 연결된 발전기를 회전시켜 전기를 얻는 과정처럼 복잡한 다단계의 공정을 필요로 한다. 그러나 연료전지는 연소하는 과정이나 터빈 등의 구동장치가 전혀 필요 없다. 따라서 화력발전소의 열효율은 보통 35-40% 정도이지만, 연료전지는 50% 정도로 효율성이 높다. 또한 환경문제를 유발하지 않는 새로운 개념의 발전 기술이다. 연료전지는 <그림 8-4>에서 보는 바와 같이 연료극에서 수소가 수소이온과 전자로 분해되고 ①, 수소이온은 전해질을 거쳐 공기극으로 이동한다 ②, 전자는 외부회로를 거쳐 전류를 발생하게 되고 ③, 공기극에서 수소이온과 전자 그리고 산소가 결합하여 물이된다 ④.



<그림 8-4> 연료전지 개념도 (한국과학기술원 연료전지 연구센터, 2000)

8.5. 결론

지금까지 총 7장에 걸쳐 원자력을 이용한 열화학적 물분해 수소생산공정중의 하나인 SI cycle 공정에 대하여 자세히 알아보았고, 수소에너지시대를 대비한 대용량 수소생산공정 현황에 대하여 본 8장에서 살펴 보았다. 현재 우리나라의 경우 앞선 기술을 보유한 나라들에 비해 본격적인 연구의 시작은 다소 늦었지만, 대용량 수소생산 공정개발에 대하여 연구/개발되어야 할 과제들이 아직도 많이 남아있기 때문에, 국내 연구자들이 집중력있는 연구를 진행한다면, 수소생산 기술에 대한 원천기술을 보유할 수 있게 될 것이다. 다가오는 수소경제 체제가 앞으로 50년 이상 남아있지만, 이에 대한 철저한 준비로 수소경제시대의 주도국으로 자리매김 할 수 있기를 기대해 본다.

참고문헌

안준현외 2인. (2003), 수소저장체및 수소저장기술개발동향, *공업화학전망*, 6(4), 52-67.

최현도외 2인. (2005), 수소 기술-경제체제로의 이행을 위한 장·단기 시나리오 분석, *한국수소 및 신에너지학회 논문집*, 16(3), 296-305.

홍현선외 2인. (2003), 수소 에너지 저장기술 및 개발동향, *한국가스학회 가스산업과 기술*, 6(1), 48-61.

Forsberg (2005), Futures for hydrogen produced using nuclear energy, *J. Progress in Nuclear Energy*, 47(1-4), 484-495.

Langmi et al., (2003), Hydrogen adsorption in zeolites A, X, Y and RHO, *J. Alloys and Compounds*, In press.

관련 Web-sites

원자력 수소연구회, <http://www.hydrogen.re.kr>

한국과학기술원 연료전지 연구센터, <http://fuelcell.kist.re.kr/Teams/FuelCell/main.htm>