

수소발생

최신 연구동향



한국과학기술연구원 유성종

현대 사회에 있어 에너지원의 확보는 경제 및 산업 발달에 필수적인 핵심 요소이며 에너지원의 중요성은 에너지의 소비량의 급속한 증가와 화석 연료의 가채량 한계의 가시화에 의해 더욱 커지고 있다. 특히 세계 에너지 소비량은 가채량의 한계가 가장 심한 석유의존도가 높은 수송 분야에서 두드러지게 증가하고 있으며, 이에 따라 세계 각국들은 에너지원 확보에 총력을 기울이고 있다. 수소에너지는 가채량 및 지역 편재성이 없을 뿐만 아니라 환경친화적이기 때문에 에너지 안보와 환경 보호를 위해 그리고 21세기 막대한 에너지 기술 시장 확보를 위해 세계 각국에서는 막대한 자원을 투입하여 연구 개발을 진행하고 있다. 에너지 자원 빈국에서 21세기 에너지 기술 강국으로 도약하여 안정된 에너지원의 확보 및 차세대 경제성장 동력을 연료전지 분야에서 모색하고 있는 우리나라는 수소에너지 생산에 관심을 기울이고 있는 것이 현 시점이다. 하지만, 실질적인 생산 단가는 석유에 비해 상대적으로 높으며, 수소 저장 장치의 개발과 함께 이루어져 나가야 한다고 본다. 본 report에서는 현 시점에서의 수소 생산 기술과 앞으로 나아가야 할 방향을 모색하도록 하겠다.

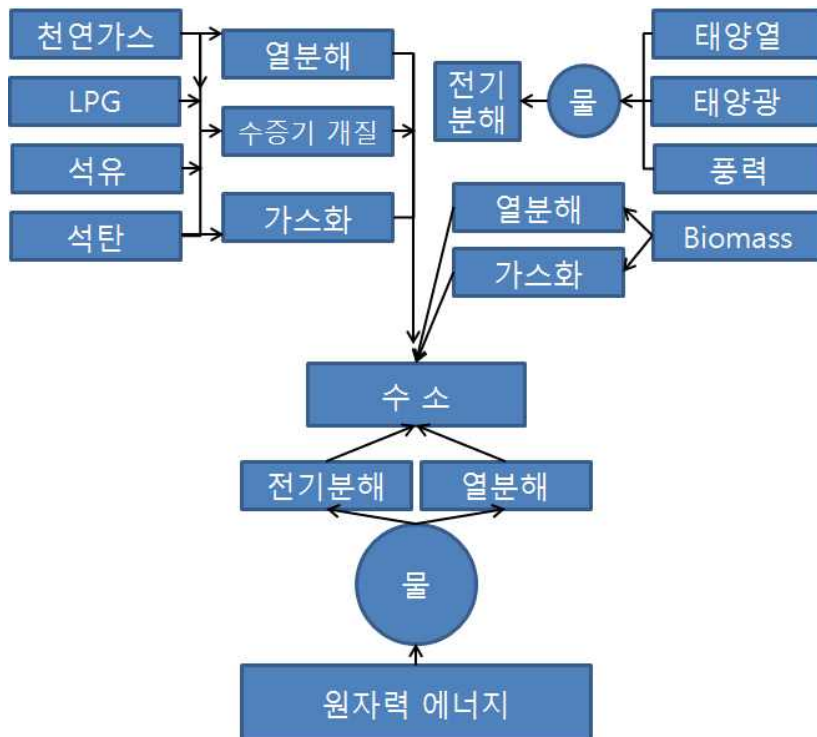


Figure 1. 수소 생산 방법

수소를 에너지로 사용하기 위하여 화석연료, 신재생에너지, 원자력으로부터 수소를 제조하는 방법들이 있으며, 단기적으로는 경제성이 있는 화석연료로부터 수소를 제조하되, 부산 되는 이산화탄소(CO₂)는 분리/처리하여 수소경제로의 전환을 촉진하고, 궁극적으로는 태양광 및 풍력과 같은 신재생에너지를 이용한 CO₂ 배출이 전혀 없는 수소생산기술을 개발하는 것이 ideal한 방법으로 여겨지고 있다. 수소에너지를 생산하기 위한 source로는 천연가스, LPG, 석유, 석탄 등의 화석연료와 더불어 풍력, 태양광 등의 신재생에너지 및 원자력에너지를 이용하는 물 그리고 바이오매스 등을 이용할 수 있다 (Figure 1). 수소에너지 생산기술로는 화석연료의 수증기개질, 부분산화, 자열반응, 열분해, 플라즈마 개질 등과 더불어 신재생에너지를 활용한 물 전기분해, 광화학적 또는 생물학적 수소제조방법이 있으며 원자력에너지를 활용하여 물을 전기분해하거나 열화학적 방법에 의해 수소를 제조하는 방법이 있다. 이 중에서 본 report에서는 화석연료를 이용한 수소 생산 방법과 물로부터 수소를 생산 하는 방법을 소개하겠다.

1. 화석연료로부터의 수소생산

천연가스의 직접분해에 의한 수소 제조기술은 다음과 같다. 천연가스로부터 수소를 제조하는 방법에 대해서는 수증기개질을 비롯하여 많은 연구가 진행되어 왔고, 현재 천연가스에 대한 수증기개질 방법을 통해 상용화에 근접한 수소생산 가격을 확보할 수 있으며, 이외에도 부분산화, 자열반응, 열분해, 플라즈마 개질 등과 같은 방법으로 천연가스로부터 직접 수소를 생산할 수 있다. 천연가스의 직접분해는 지구온난화 문제를 해결하고 수소의 대량제조가 가능하며 동시에 부산물로 얻어지는 고순도의 카본을 활용할 수 있는 일석삼조의 기술로서 최근 들어 많은 주목의 대상이 되고 있다. 아울러 천연가스의 직접분해에 의해 제조된 수소는 이산화탄소 발생원(발전소 등)에서 회수된 이산화탄소와 반응시켜 내연기관의 연료로 사용되는 메탄올을 생산하는 기술과 효과적으로 연계될 수도 있다. 천연가스(메탄) 직접 분해기술은 플라즈마를 이용한 분해법과 열분해법으로 대별할 수 있으며 열분해법에는 고온 열분해법, 촉매분해법 및 용융금속 열분해법 등이 있다. 추가적인 연구범위는 고효율 촉매 개발, 수소 스테이션 등을 위한 공정 소형화, 그리고 시스템 디자인에 따른 공정 효율 개선, 이산화탄소 회수 및 처리 기술 개발등을 들 수 있다.

2. 물로부터의 수소생산

열화학적 방법(Thermochemical methode)에 의한 수소 제조기술은 다음과 같다. 매개물질을 이용하여 물과 열에너지(Thermo-energy)를 사용하여 수소와 산소를 생산하는 기술이다. 열원으로는 태양열(solar furnace), 고온가스 냉각로, 원자력 등이 고려되고 있다. 반응계내에 열에너지를 공급하여 매개물을 환원시키고 산소를 발생하고 환원된 매개물을 물과 반응시켜 수소를 발생하면 매개물은 산화되어 초기의 매개물 상태로 전환되어 닫힌계 내에서 순환하게 된다. 최근까지 제안된 수백 가지 열화학 cycle은 크게 metal oxide의 redox reaction, sulfuric compound을 이용한 반응과 halogen compound을 이용한 반응 cycle로 분류하고 있고, 이 중 지금까지 연구 대상이 되고 있는 시스템은 ferrate의 redox cycle (metal oxide의 redox reaction), SO₂-I₂ cycle(황화합물/할로겐), UT-3(할로겐 화합물)

등이 있다.

원자력을 이용한 수소 제조기술은 다음과 같다. 원자로의 핵열, 방사선, 전기, 화학물질을 조합하여 경제적이고 안전한 방법으로 수소를 생산하는 기술이다. 특히 제4세대형 원자로의 노심 출구 온도는 550-1,000 °C로 고온 물 열분해에 적합하다. 따라서 고효율의 고체산화물 연료전지 (solid oxide fuel cell, SOFC)를 이용한 열 및 전기화학적 물 분해 수소제조기술 개발과 VHTR (Very High Temperature Reactor System)의 경우 고온 핵열을 이용한 고온 물 분해 수소제조 기술로 구분된다.

| | |
|-------------------|--|
| 천연 가스 / 석유 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 저가 수증기 개질 촉매 국산화 ✓ 금속 및 세라믹 수소 분리막 개발 ✓ syngas 제조를 위한 막반응기 및 분리막 개발 |
| 석탄 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 석탄가스화 공정 개발 ✓ 가스화 촉매/분리기술 개발 |
| 전기 분해 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 고효율 알카리 수전해 시스템 개발 ✓ 수전해에 적합한 PEMFC MEA 개발 ✓ 고온 SOFC를 이용한 수증기 전해 기술 개발 |
| 열화학적 분해 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 금속 산화물 촉매 개발 ✓ 열분산 반응기 설계 ✓ 고온 가스 냉각로(HTGR) 개발 |
| 생물학적 분해 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 자연계 및 돌연변이 균주 개발 ✓ 고정화 기술 개발 ✓ 반응기 설계 및 최적화 기술 개발 |
| 광화학적 분해 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 광감응제 활용 기술 개발 ✓ 고효율 광촉매 재료 개발 ✓ 광부식 감소 코팅 기술 개발 ✓ 광촉매 고정화 및 광반응 시스템 기술 개발 |

Figure 2. 수소 발생 개발 분야

광촉매를 이용한 수소제조 기술: 태양광 광촉매 수소제조 시스템 및 관련 핵심기술 개발은 장기적 관점의 신재생에너지를 이용한 수소생산 중 핵심 기술이다. 고효율 가시광 감응 water splitting photo-catalysts 소재 기술을 이용 수소를 제조하는 친환경적인 청정기술이다. 태양광의 에너지의 대부분을 차지하고 있는 visible light (450nm-700nm) 및 장파장 UV light (350nm-450nm) 영역만을 고려할 때 1.5 eV~2.5 eV 및 2.5 eV~3.5 eV 의 에너지대 (band gap)를 갖는 photo-catalysts 재료를 개발해야 해야 한다. 또한 물과 같은 극성 solvent 속에서 장기간 분산되어있는 경우에도 구조가 안정해야 하므로 많은 경우 oxides 계통의 재료들이 주로 연구되고 있다.

생물학적 방법에 의한 수소 제조기술은 다음과 같다. 태양광과 같은 자연에너지를 에너지원으로 활용하고 박테리아 또는 조류 등의 미생물을 이용하여 물을 분해함으로써 수소를 얻는 기술이다. 박테리아 또는 조류와 같은 균주 개발이 핵심이고, 태양에너지, 물, 대기 중 이산화탄소 이용으로 효율적인 생물학적 수소 제조기술 및 생물학적 고정에 의

한 환경기술의 확보 가능하다.

물의 전기분해에 의한 수소 제조기술은 다음과 같다. 태양광 및 풍력 등의 신재생에너지는 저장에 용이하지 않은 전기 형태로 변환되기 때문에 이를 효과적으로 이용하기 위해서는 물을 효율적으로 전기분해하여 수소를 생산하는 제조공정 개발 필요하다. 기존 알칼리 수전해법보다 높은 90% 이상의 효율을 갖는 고체고분자 전해질 (SPE, Solid polymer electrolyte)을 이용한 전기화학적 수소생산 방법 연구가 가장 활발히 진행 중이다. 국내에서는 SPE (Solid polymer electrolyte)를 이용한 물의 전기분해에 관해서는 신재생에너지프로그램 수소에너지 기초연구를 통해 일부 대학에서 MEA 및 전극에 대한 기초 연구가 추진된 바 있으며, 현재 국가사업을 통해 한국에너지기술연구원과 엘캠텍에서 SPE 기술 기반 수전해 시스템 개발 중이다. 국내에서 SPE 자체는 고분자 전해질 연료전지와 연계하여 SK에서 Nafion형의 막을 개발한 바 있으며, Nafion을 사용할 경우와 대등한 성능을 나타내는 것으로 알려져 있으나 Nafion형 이외의 SPE막 개발에 관한 국내 수준은 아직 초보 수준이라 할 수 있다. SPE 전기분해에 관해서는 선진국에 비해 국내 기술 수준은 매우 뒤떨어져 있으나 SPE 및 전극으로 이루어지는 MEA(membrane-electrode assembly) 제작 기술, 셀 및 스택 구성 기술은 고분자 연료전지의 경우와 거의 흡사하여 그 기본 기술은 이미 축적되어 있는 상태이다. 따라서 기존 알칼리 수전해법보다 높은 90% 이상의 효율을 갖는 SPE를 이용한 전기화학적 수소생산 방법 필요 또한 전기분해 전원을 풍력과 같은 재생에너지를 연계하는 기술과 시스템 효율과 가격 저하를 위한 기술 개발 집중 필요하다고 생각된다.

References

1. L. Barreto, et al., Int. J. Hydrogen Energy, 28, 267, 2003.
2. J. Doyon, et al., Int. J. Power Sources, 118, 8, 2003.
3. Fuel Cell Energy, Fuel Cell Seminar, San Antonio, Texas, 2007.
4. TOOI Masaaki, et al., IHI Engineering Review, 36(1), 5, 2003.