

KENTECH 5월 과제

“수소 전주기 벨류체인 디자인”

전북과학고등학교

엄민성

옥예림

한지윤

Abstract

수소 경제의 필요성과 수소 전주기 벨류 체인을 이해하여 두 국가간의 하나의 수소벨류 체인을 설계하고, 우리나라의 수소 벨류체인을 고안해본다.

Q1. 다음 맵에서 제시된 특징을 고려하여 A국가와 B국가에 걸친 수소 벨류체인을 구성해보자. 이때 위의 본문에서 제시한 수소의 생산, 운반, 저장, 활용 기술을 고려해보자.

[수소의 활용 기술]

1. 인프라가 잘 구축된 A지역의 큰섬

-고체 산화물 연료전지(SOFC)를 활용한 에너지 활용 : 높은 작동 온도에서 고효율로 작동하는 특징을 가진 연료전지로 다양한 연료를 사용할 수 있으며 대규모 전력 생산과 열병합 발전에 적합하다.

-마이크로그리드 시스템 구축 : 다양한 에너지를 통합하여 자립형 에너지 시스템을 구축하는 방식이다. 안정적이고 지속 가능한 에너지 공급이 보장된다는 장점이 있으며 비상 전력 공급에도 용이하다.

2.인프라 구축이 잘 되지 않은 A지역의 작은 섬

-배전망 설계를 통한 전기 전달

-스마트 그리드 기술 도입을 통한 효율성 강화

-태양광-배터리 하이브리드 시스템 : 태양광 패널과 리튬이온 배터리를 결합한 전력 공급 시스템으로 전력망이 닿지 않는 지역에 안정적인 전력을 제공한다.

-양성자 교환막 연료전지 활용

양성자 교환막 연료전지(PEMFC) : 수소와 산소의 화학 반응을 통해 전기와 물을 생성하는 장치이다. 고효율, 저온 작동, 빠른 시동의 장점이 있어 인프라가 부족한 지역에 설치하기에 적합하다. 다만 안정적인 수소 공급이 필요해 태양광, 풍력 등 재생 에너지를 이용해 물을 전기분해하여 수소를 생산하는 수전해 시스템도 함께 도입해 사용 가능하다.

3.B지역

-탄소배출량 감소

- 수소 연료전지 차량(FCEV): 수소탱크에 저장해 둔 수소를 전기발생장치로 보내고, 연료전지 스택에서 산소를 화학반응 시켜 전기를 만들어 모터로 보낸 뒤, 모터를 움직여 전기에너지를 운동에너지로 바꿔 운전하는 방식
- 수소 기반 산업 공정 : 코크스 대신 수소를 활용해 철을 제련하는 수소 환원 철강제조공정, 그린 수소를 사용한 암모니아 생산 등

1. 수소 저장 및 운송 기술

- 액화 수소: 수소를 20K 이하의 극저온으로 냉각하여 액화 상태로 저장 및 운송하는 방법이다. 대용량 저장과 장거리 운송에 적합하지만, 고도의 단열 기술이 필요하다. 액화 과정에서 상당한 에너지가 소모되며, 효율성 향상이 필요하다.
- 압축 수소: 기체 수소를 고압으로 압축하여 저장하는 방법으로, 저장 용량이 한계가 있으며 정기적인 점검이 필수적이다. 이 방법은 주로 소규모 저장과 운송에 사용된다.
- 화합물 저장: 메탄올 또는 암모니아와 같은 화합물을 이용한 저장 방법이 있다. 메탄올은 합성 과정에서 이산화탄소가 발생하며, 암모니아는 높은 에너지 소비와 독성 문제로 인해 사회적 수용성 문제가 있다.

2. 수소 활용 기술

- 연료전지: 수소 연료전지는 자동차, 발전소 등에서 전기를 생산하는 데 사용된다. 연료전지는 높은 효율과 낮은 배출로 주목받고 있으며, 특히 교통 분야에서 유망한 기술로 평가받고 있다.
- 산업용 연료: 철강, 화학, 정유 등의 산업 분야에서 수소를 열원 및 원료로 사용한다. 이들 산업에서 수소를 사용하면 탄소 배출을 크게 줄일 수 있다.
- 전력 저장 매개체: 재생 에너지의 변동성을 보완하기 위해 수소를 전력 저장 매개체로 활용할 수 있다. surplus renewable energy를 이용해 수소를 생산하고, 필요할 때 전력을 재생산하는 방식이다.

[2050년 넷제로 달성을 위한 수소 밸류체인]

1. 수소 밸류체인의 개념

- 수소 밸류체인은 수소의 생산, 저장, 운송, 그리고 활용까지 전 과정을 포함한다. 이 체인은 탄소 중립을 실현하는 데 필수적인 요소로 작용하며, 각 단계에서의 효율성 향상과 기술 혁신이 필요하다.

2. 수소 밸류체인 설계

<배경이론>

수소 밸류체인 :

수소의 생산, 저장 및 운송, 활용까지의 전 산업. 탄소 배출 없이 생산되는 수소가 우리 삶에서 필요한 에너지로 사용되고, 또 그 사용을 통해 나오는 부산물은 물이라는 점에서 우리가 수소 사회를 실현하는데 굉장히 중요하다.

수소 생산과 색깔 :

수소는 생산과정에서 발생하는 이산화탄소의 양과 원료에 따라 그레이 / 블루 / 그린 / 청록 / 황색 / 핑크 수소로 나누어볼 수 있다. 수소를 생산하는 과정은 석유화학 공정이나 철강 등을 만드는데 발생하는 수소인 부생수소, 그리고 천연가스를 고온고압에서 분해하여 만드는 개질수소, 물의 전기분해로 만드는 수전해 방법이 있다. 부생수소와 개질수소는 그레이수소다. 부생수소는 말 그대로 다른 공정에서 부가적으로 생기는 수소라서 생산량을 늘리는데 한계가 있다. 또한 개질 수소는 대량 생산은 가능하나 이산화탄소 또한 대량으로 발생한다. 이러한 그레이 수소는 블루수소로 단점을 보완하였다. 그레이수소와 생산방식은 같지만 CCUS(이산화탄소 포집, 활용 및 저장 기술)를 활용하여 이산화탄소를 제거한다. 가장 현실적인 방안으로 생각되고 있다. 청록수소는 천연가스를 분해하여 생산한다. 그린수소는 재생에너지로 생산된 전기로 수전해를 진행하여 생산 과정에서 이산화탄소를 아예 발생시키지 않는다. 황색수소는 재생 에너지가 아닌

기존 전력망을 이용하여 얻은 전기로 수전해를 진행하는 것을 말하고, 핑크수소는 원자력 발전을 통해 얻은 전기로 물을 분해하는 것을 말한다.

수소 운송 및 저장 기술 :

수소를 생산했다면, 안전하고 친환경적으로 필요한 곳까지 운송하고 원하는 기간만큼 안정적으로 저장하는 것 또한 생산만큼이나 중요하다. 수소는 기체 / 액체 / 화합물 형태로 운송 및 저장할 수 있다. 현재 가장 보편적인 저장 운송 방법은 기체수소를 탱크에 압축하여 저장하는 방법이다. 하지만 수소를 섭씨 영하 253도로 냉각 및 액화시켜 저장 및 운송하는 방법도 있으며, 수소를 메탄이나 액상 암모니아로 변환하거나 금속에 화합물화 시켜 운송 및 저장하는 방법도 있다. 기체의 경우 생산 후 200~450bar로 압축시켜 파이프라인 및 압축 탱크로 운송한다. 엄청난 고압이므로 저장용기가 매우 견고하고 조건이 까다로우며, 파이프 라인은 편리하고, 수요가 확보되면 가장 저렴한 방법이지만 초기 투자비가 많이 발생한다. 액체의 경우 기체보다 대용량으로 저장이 가능하고, 때문에 한번 운송할 때 필요한 양을 운송하기에 운송 효율이 높다. 수소 온도를 낮추는데 많은 에너지가 필요하다. 액체를 운송하는 탱크로리와 선박으로 운송한다. 화합물의 경우 기체에 비해 운송 효율이 높으며, 기체 또는 액체와 달리 상온 / 상압으로 운송이 가능하다보니 안정적이다. 마찬가지로 탱크로리와 선박등을 통해 운송한다. 기체 / 액체 저장과는 다르게 수소를 분리하는 공정이 필요하다. 액체와 기체는 물리적 저장 및 운송법으로, 화합물은 화학적 저장 및 운송법으로 분류할 수 있겠다.

<제시된 각 국가의 특성 정리>

A국가 : 탄소 배출량이 적음 / 파력, 풍력, 태양광 자원이 풍부함 / 작은 섬은 발전 어려운 상황, 큰 섬은 인프라 구축이 비교적 잘 되어있어 다양한 발전소 설치 가능

--> 신재생 에너지를 수소 에너지 생산, 저장, 운송에 사용해보기

B국가 : 탄소 배출량이 많음 / 파력, 풍력, 태양광 등의 친환경 자원 부족 / 작은 섬에 인프라 구축 잘 되어있어 에너지 요구량이 적음 / 큰 섬은 인프라 구축이 안되어있어 발전 어려운 상황

--> 수소 에너지 전주기 밸류 체인 개발 필요

<수소 생산 단계>

고려할 점

- 지역의 기후조건을 최대한 이용하여 효율적인 수소 생산이 가능한가?
- 블루 수소 생산법, 그린 수소 생산법 등을 참고하여 설계하기
- 친환경적

A국가의 경우 신재생 에너지를 생산할 수 있는 여지가 굉장히 많다. 파도, 바람, 태양열이 모두 강하기 때문에 파력과 풍력, 태양광 및 열 발전을 사용할 수 있을 것 같다. 이런 발전들로 전기를 친환경적으로 생산한 후에, 물과 해수를 분해하는 수전해 기술을 사용하여 대량의 수소를 발생시킬 수 있다. 이 과정은 이산화탄소의 발생이 없기 때문에 생산된 수소를 그린수소라고 할 수 있으며, 환경적으로 가장 이상적인 기술이다. 이런 발전을 위한 발전소는 작은섬보다 큰섬에 구축하는게 기초 인프라가 잘 되어있어 훨씬 효율적이라고 생각이 되며, 작은섬에서는 대신 바이오매스에서 가스를 추출하여 그 가스를 이용해 청록수소를 생산할 수 있다.

B국가의 경우 탄소 배출량이 많다. 현실적으로 탄소 중립을 위해 갑자기 B국가에 존재하는 공장과 냉난방 시스템, 자동차 연료 등을 단기간에 모두 교체하기에는 무리가 있으므로, 제일 먼저 CCUS기술로 탄소를 포집한 후 활용 / 저장하여 탄소 중립에 가까워질 수 있다. 그리고 이 과정은 친환경 자원이 부족하고 전반적인 모습에서 공업이 발달한 것이 눈에 띄는 B국가의 상황을 고려하였을 때, 블루수소 생산과도 얽혀있다고 할 수 있다. 공업적인 시스템 가동 시 부가적으로 얻게 되는

부생 수소는 이미 B국가에서 발생하고 있을 것임을 보면 블루수소가 더없이 어울리며, 천연가스를 원료로 한 발전으로 수소를 얻되 나오는 이산화탄소를 포집한 후 촉매를 개발하여 플라스틱이나 다른 연료로 전환시키는 활용기술을 도입하여 가치를 창출한다. 또한 B국가의 큰 섬에는 인프라가 구축되어있지 않아 이런 친환경 에너지 발전이 힘들다. 또한 B국가 전체적으로도 신재생 에너지 발전 측면의 환경적인 메리트가 없다. 따라서 주변에 풍부한 해수를 수전해하여 수소를 생산할 수 있다. 해수 수전해는 음이온 교환막 기술을 통해 진행하며, 비교적 값싼 귀금속을 촉매로 사용할 수 있는 연구가 속속들이 진행되고 있다는 점이 매력적이다. 해수를 따로 처리할 필요 없이 해수 그 자체를 분해하여 일반 수전해처럼 수소를 생산해낸다. 이 과정에서 부산물로 이산화탄소가 발생하지도 않으니 굉장한 프로세스라고 생각할 수 있다. 그나마 큰 섬의 왼쪽 부분에서 파력발전을 기대해볼 수 있을 것 같으며, 여기에 그 기초 인프라를 좀 구축할 필요가 있다. 작은 섬에서는 음식물 쓰레기 등의 폐기하려는 유기물을 모아서 발생하는 가스들의 리포밍 기술을 고려해보는 것도 좋을 것 같다는 생각을 해보았다.

〈수소 저장 및 운송 단계〉

- 안전성, 경제성, 사회 수용성 고려하여 운송방식 지정
- 물리적 저장 방법, 화학적 저장 방법
- 저장과 운송의 규모, 목적, 기간 등 검토
- 에너지 생산 목표치보다 초과하여 에너지가 발생할 경우 신재생 에너지를 저장하는 기술을 밸류체인에 추가

A국가에서는 환경적 자원에 따른 신재생 에너지의 기반이 풍부한 곳이 작은섬보다는 큰섬이었으므로, 바이오매스에 의존해야하는 작은섬보다 수소의 생산이 더 활발하고 균일하게 발생할 것이다. 즉 큰 변동없이 안정적인 양이 매일

발생할 것이라는 말이다. 이로 인해 큰섬에서 작은섬으로 수소를 운송해야하는 경우가 생길 것이다. 작은섬에는 집이 1개, 큰 섬에는 집이 5개 정도 있는 것으로 보아, 인구 규모나 에너지 소비 규모도 이 정도라고 가정하고 수소 저장과 운송의 규모와 목적 기간을 책정해보겠다. 먼저 총 생산되는 수소를 10이라고 한다면, 집뿐만 아니라 다른 인프라도 작은섬보다는 큰섬이 더 갖춰져 있는 상황이라 그걸 유지하는 에너지를 2로 잡겠다. 그리고 남은 8의 수소를 나눠갖게 되는데, 큰 섬에 6을 주고, 2는 작은 섬에서 사용할 수 있겠다. 저장을 위한 시스템은 큰섬과 작은섬 모두에 존재하며, A국가의 섬 분포와 강한 해류, 파도 때문에 해상 파이프 라인을 설치하는게 가장 안정적일 수 있다. 물론 초기비용은 들겠지만, 꾸준히 운반해줘야하며, 이는 곧 꾸준한 수요로 이어지기 때문에 유조선 등으로 그때그때 운반하기보다는 이게 장기적 비용면에서는 더 낫다고 봤다. 또한 이 파이프라인을 활용해야하므로 운송 효율도 높으며, 파이프라인 사용 특성 상 기체 압축 상태로 저장하는 것이 좋을 것이다.

B국가에서는 작은 섬에 그래도 인프라가 잘 구축되어있는 상태라서 A국가 만큼이나 큰섬에서 작은섬으로 에너지를 조달해야할 필요는 없을 것 같다. 따라서 가끔 유조선으로 보내도 비용이나 효율면에서 크게 문제가 없을 듯 하여, 선박으로 운반하는게 좋을 것 같다. 또한 B국가는 해파가 그렇게 강한 편도 아니라 더 할 나위 없이 좋다. 그렇기 때문에, 수소도 액체로 저장하여 배로의 운송에 적합하게 만들어야한다고 생각하고, 이또한 효율 면에서도 두 번 갈거 한 번 갈 수 있게 되어 좋을 것이다. 두 섬에서 생산하는 에너지를 각자 사용하되, 부족한 부분을 달에 몇 번 정도 운송하는게 좋을 것 같다.

〈생산 단계〉

- 재생 에너지를 이용한 그린 수소 생산: 태양광, 풍력, 수력 등의 재생 에너지를 이용해 물을 전기 분해하여 그린 수소를 생산한다. 이 과정은 이산화탄소 배출이 없으며, 청정 에너지 전환의 핵심이다.

- 해외 재생 에너지 자원 활용: 우리나라와 재생 에너지 자원이 풍부한 주변국 간의 협력을 통해 그린 수소를 생산한다. 예를 들어, 호주, 중동 등 태양광과 풍력 자원이 풍부한 지역에서 그린 수소를 생산해 수입하는 방식이다.

<저장 및 운송 단계>

- 액화 수소 및 암모니아 활용: 대용량 저장 및 장거리 운송에 적합한 액화 수소와, 이미 확립된 인프라를 이용할 수 있는 암모니아를 활용한다. 액화 수소는 특히 장거리 해상 운송에 유리하며, 암모니아는 기존 화학 인프라를 활용할 수 있는 장점이 있다.
- 효율적인 운송 네트워크 구축: 수소를 안전하고 효율적으로 운송하기 위한 파이프라인 및 운송 시스템을 구축한다. 이는 국내뿐만 아니라 주변국과의 연계를 통한 국제 수소 네트워크 구축도 포함된다.

<활용 단계>

- 연료전지 기술 상용화: 수소 연료전지를 이용한 발전소 및 자동차 보급을 확대한다. 특히 대중교통, 상용차 등에서의 연료전지 적용을 통해 탄소 배출을 줄인다.
- 산업용 수소 활용 확대: 철강, 화학, 정유 등의 산업 분야에서 수소를 연료 및 원료로 활용한다. 산업 공정에서 발생하는 탄소 배출을 줄이고, 청정 생산 기술을 도입한다.

[기술적 과제와 해결 방안]

1. 생산 단계의 과제

- 고비용 문제: 그린 수소 생산 비용이 여전히 높다. 태양광, 풍력 등 재생 에너지 비용 하락과 대규모 전기분해 기술 개발이 필요하다.

- 기술적 한계: 현재 전기분해 효율이 낮아 경제성이 떨어진다. 전기분해 기술의 효율성을 향상시키고, 대규모 수소 생산 시설을 구축해야 한다.

2. 저장 및 운송 단계의 과제

- 저장 안정성 문제: 수소는 높은 인화성과 폭발성을 가지고 있어 안전한 저장 기술이 필요하다. 액화 수소 저장 기술과 고압 수소 저장 기술의 안전성을 개선해야 한다.
- 운송 효율 문제: 수소 운송 비용이 높고, 운송 중 손실이 발생할 수 있다. 액화 수소와 암모니아 등의 대안적 운송 방법을 연구하고, 효율적인 운송 네트워크를 구축해야 한다.

3. 활용 단계의 과제

- 연료전지 비용 문제: 연료전지 시스템의 비용이 여전히 높다. 연료전지 기술의 비용 절감과 대량 생산 기술 개발이 필요하다.
- 산업 적용 문제: 기존 산업 공정에 수소를 적용하는 데 기술적 어려움이 있다. 산업별 맞춤형 수소 적용 기술을 개발하고, 파일럿 프로젝트를 통해 실증해야 한다.

<결론>

우리나라의 수소 기술 인프라는 아직 초기 단계지만, 2050년 넷제로 달성을 위해 다양한 수소 밸류체인 전략이 필요하다. 재생 에너지를 기반으로 한 그린 수소 생산, 효율적인 저장 및 운송 기술, 그리고 다양한 산업 분야에서의 활용 확대가 중요하다. 또한 주변국과의 협력을 통해 수소 경제를 활성화하고, 기술력 향상과

비용 절감을 도모해야 할 것이다. 이를 통해 지속 가능한 에너지 시스템을 구축하고, 기후변화 대응에 기여할 수 있을 것이다.