수소 에너지와 탄소 배출량에 대한 탐구

우서진, 김민승

인천과학예술영재학교

 Supporting Information Placeholder (Highly Recommended)

ABSTRACT: 본 보고서는 21세기 들어 심각해진 기후 변화와 환경 오염 문제를 해결하기 위한 방안으로 **수소 에너지**의 가능성을 탐구한다. 탄소 배출량이 많은 국가와 주요 산업 분야를 분석하고, 이들이 배출하는 온실가스를 줄이기 위해 수소 에너지가 어떻게 활용될 수 있는지 검토한다. 특히, 수소 연료전지를 중심으로 전력 생산, 교통, 제조업 분야에서 화석연료를 대체할 수 있는 가능성을 살펴보고, 이를 통해 얻을 수 있는 환경적·경제적 이익을 분석한다. 본 연구는 수소 에너지가 탄소 배출량 감소와 함께 기후 변화 완화에 중요한 역할을 할 수 있으며, 지속 가능한 에너지 전환을 위한 강력한 대안이 될 수 있음을 제안한다.

Introduction

﻿21세기 들어, 환경 오염 문제가 점점 심각해고 있다. 날이 갈수록 누적되는 탄소 배출량 때문에 온실효과가 증가하고, 지구온난화 현상이 지속된다. 이에 인류는 환경을 보호하면서 발전할 수 있도록 여러 친환경 에너지들을 생각해왔다. 주목받고 있는 것들 중 하나가 바로 수소 에너지다.

수소에너지는 수소로부터 전기에너지를 생산하는 방식으로, 대표적으로 수소 연료 전지가 있다. 연료 전지는 막전극접합체, 전해질막, 촉매층 등으로 구성되며, 음극과 양극에서 발생하는 이온의 생성과 이동으로 전위차가 발생하여 전류가 흐르게 되는 원리다.

연료 전지는 화학 에너지를 전기 에너지로 직접 변환한다. 반면 기존의 가스 터빈은 연료를 태워 화학에너지를 열에너지로 바꾸고, 터빈을 돌려 운동에너지로 변환한 다음 전기를 생산한다. 이러한 이유들로 인해 가스 터빈보다 수소 연료 전지가 더 효율적이다.

이렇게 수소에너지는 친환경 에너지이면서도 효율성 까지 갖춘 에너지임을 알 수 있다. 따라서 본 연구는 과거부터 현재까지의 탄소 배출량 현황과 수소 에너지의 활용 사례들, 그리고 이러한 수소 에너지의 활용이 환경에 어떠한 긍정적인 영향을 미치는지 알아보고자 한다. 이를 위해 환경오염의 가장 대표적인 수치라고 할 수 있는 탄소배출량과 수소 에너지의 관련성에 대해 분석한다.

Process

1. Question (1)

 1) 탄소 배출량이 많은 국가들의 예시와 규모

현재 세계에서 탄소 배출량이 많은 주요 국가로는 중국, 미국, 인도가 있다. 이들은 산업화 및 인구 증가에 따라 막대한 에너지를 소비하고 있으며, 그 결과로 높은 탄소배출량을 기록하고 있다.

-중국: 중국은 전 세계 탄소배출량의 약 28%를 차지하는 국가로, 연간 105억 톤의 이산화탄소를 배출하고 있다. 중국의 탄소배출은 주로 석탄 기반의 전력 생산과 제조업에서 발생한다. 급격한 경제성장과 산업화로 인해 에너지 수요가 폭증하면서 탄소배출량이 증가했다.

-미국: 미국은 전 세계 탄소배출량의 약 15%를 차지하며, 연간 49억 톤의 이산화탄소를 배출하고 있다. 미국의 주된 탄소배출 원인은 교통, 산업, 전력 부문이다. 특히 석유와 천연가스에 대한 높은 의존도가 탄소배출을 유발하고 있다.

-인도: 인도는 전 세계 탄소배출량의 약 7%를 차지하며, 연간 26억 톤의 이산화탄소를 배출하고 있다. 주로 석탄을 기반으로 한 에너지 생산이 인도의 탄소배출 주 원인이다.

 2) 국가별 탄소 배출량의 비교 기준과 지표의 타당성

 국가별 탄소배출량을 비교하는 기준으로는 주로 이산화탄소(CO2) 배출량이 사용된다. 이는 CO2가 온실가스 중 가장 큰 비율을 차지하고 기후 변화에 가장 큰 영향을 미치는 물질이기 때문이다. 국가별로는 다음과 같은 지표를 사용하여 탄소배출량을 비교할 수 있다.

1. 총 배출량: 한 국가가 배출하는 총 이산화탄소의 양을 기준으로 한다. 이는 해당 국가의 산업 구조와 인구 규모를 반영하며, 절대적인 배출 규모를 나타낸다.

2. 1인당 배출량: 인구 1인당 배출되는 이산화탄소의 양을 기준으로 한다. 국가의 인구 규모에 따른 차이를 고려할 수 있어, 경제 규모가 작은 국가와 큰 국가 간의 비교가 가능하다.

3. GDP 대비 배출량: 한 국가의 경제 생산 활동 대비 이산화탄소 배출량을 비교하는 지표로, 경제 활동과 탄소배출의 효율성을 측정할 수 있다.

이러한 기준들은 각각 다른 측면에서 국가의 탄소배출 수준을 평가하지만, 모든 지표가 상황에 맞게 사용되어야 하며, 단순한 총량 비교보다는 인구, 경제 규모 등을 고려한 종합적인 분석이 필요하다.

2. Question (2)

 1) 주요 산업별 탄소배출 비율

탄소배출은 국가별로 다르지만, 일반적으로 탄소배출이 많은 산업 분야는 전력 산업, 교통 산업, 제조업 및 건설업으로 분류된다.

-전력 산업: 전 세계 이산화탄소 배출량의 약 40%가 전력 생산에서 발생하며, 이는 주로 석탄, 석유, 천연가스를 사용하는 화력 발전에 기인한다. 특히, 중국과 인도와 같은 국가에서의 석탄 의존도가 매우 높다.

-교통 산업: 교통 부문은 전 세계 이산화탄소 배출량의 약 24%를 차지하며, 특히 도로 교통에서 배출되는 온실가스가 주요 원인이다. 자동차, 트럭, 항공기 등 석유 기반 연료를 사용하는 교통수단이 이 부문에서 가장 많은 배출을 유발한다.

-제조업 및 건설업: 철강, 시멘트, 화학 산업 등 제조업 부문은 전 세계 탄소배출의 약 21%를 차지하며, 건설업에서도 상당량의 탄소가 배출된다. 특히 철강 산업은 에너지를 많이 소비하는 공정이기 때문에 많은 이산화탄소를 배출한다.

 2) 탄소 발생량 비교 근거의 타당성

산업별 탄소배출량을 비교하기 위해 사용되는 대표적인 지표는 각 산업의 에너지 소비량과 배출된 이산화탄소의 총량이다. 이산화탄소 배출량은 톤 단위로 측정되며, 주로 석탄, 석유, 천연가스와 같은 화석연료의 연소 과정에서 발생하는 이산화탄소량을 기준으로 한다. 또한, 산업별로 에너지 집약도가 높은 철강, 시멘트, 화학 산업 등이 주요 비교 대상이 된다.

3. Question (3)

 1) 수소 연료 전지의 화석 연료 에너지원 대체

 수소연료전지는 화석연료를 대체할 수 있는 가장 유망한 기술 중 하나로, 연소 과정에서 이산화탄소를 배출하지 않고 물만을 생성하는 무공해 에너지원이다. 또한 에너지 효율이 높아, 기존의 화석연료보다 더 효율적으로 에너지를 생산할 수 있다.

-전력 산업: 수소연료전지를 통해 화력 발전을 대체할 수 있다. 수소는 연소 과정에서 탄소를 배출하지 않으며, 전기와 열을 동시에 생산할 수 있어 발전 효율을 높일 수 있다. 특히, 재생에너지로 생산된 수소를 사용하면, 완전한 탄소 중립을 실현할 수 있다.

-교통 산업: 수소차, 수소 버스, 수소 트럭 등의 도입이 활발히 논의되고 있다. 특히 중장거리 운송 수단에서 수소는 전기차보다 더 긴 주행 거리와 빠른 충전 속도 등의 장점을 제공하며, 교통 부문에서 화석연료를 대체할 가능성이 높다.

-제조업: 철강 산업에서 수소 기반의 대체 기술이 개발되고 있다. 기존의 석탄 기반 제철 공정 대신, 수소를 이용한 철 생산 공정(Hydrogen Direct Reduction)을 도입하면, 이산화탄소 배출 없이 철강을 생산할 수 있다.

 2) 수소 활용 기술의 사용

4. Question (4)

 1) 수소 연료 전지의 활용처

아직은 상용화와 대량 도입의 초기 단계이지만 수소 에너지의 활용은 빠른 속도로 진전되고 있다. 깨끗하고 지속 가능한 에너지원으로서 가능성을 찾기 위해 국가와 산업부문에서 수소기술에 대한 적극적인 연구와 투자가 이루어지고 있다.

∙교통 부문: 수소 에너지가 집중적으로 연구되고 있는 분야 중 하나가 교통부문이다. 수소 연료전지 차량(hydrogen fuel cell vehicle)은 수소를 연료로 사용하는 전기 자동HFCV차이다. 이 차량에서 수소 가스는 연료전지에서 공기 중 산소와 결합하여 전기를 생산하고 전기 모터를 작동시킨다. 이 과정의 유일한 부산물은 수증기이다. 연료전지 차량은 배터리, 전기 자동차에 비해 더 긴 주행 거리와 더 짧은 충전 시간을 포함한 여러 가지 이점을 가지고 있다. 그러나 높은 제조 비용, 제한된 수소 연료, 보급 인프라, 연료전지 기술의 추가발전 필요성과 같은 제한점들이 있다.

∙발전 부문: 수소를 발전에 이용하여 전기를 생산할 수도 있고 수소 연료전지를 이용하거나, 연소 엔진에서 수소를 연소시켜 전기를 생산할 수 있다. 연료전지에서 수소는 공기 중의 산소와 반응하여 전기, 열, 수증기를 생산한다. 재생 가능한 수소를 사용할 경우 이 과정은 효율이 높고 온실 가스를 배출하지 않는다. 수소를 발전에 활용하는 또 다른 방법은 수소의 직접 연소이다 이 과정에서 수소는 천연 가스의 연소와 마찬가지로 터빈이나 내연기관에서 연소된다. 그러나 수소의 연소는 부산물로 수증기만 생성하므로 깨끗하고 환경 친화적인 방법이다.

∙일본은 수소 연료전지 기술의 선구자로서 인프라와 차량 배치에 많은 투자를 해왔다. 일본은 자동차 회사와의 협력 등을 통해 수소 연료전지 자동차의 개발을 계속해왔다. 또한 일본은 수소 충전소 네트워크를 확대하고 있다.

∙한국은 교통을 위한 대체 연료로서 수소를 적극적으로 홍보해오고 있다 정부는 2040년까지 도로에 620만 대의 수소 자동차를 보유하는 것을 목표로 설정하였다. 대한민국 자동차 회사인 현대는 넥쏘를 포함한 연료전지 차량 생산을 하고 있다. 국가는 충전소를 포함한 수소 인프라 건설에 투자해오고 있다.

∙독일은 청정에너지로의 전환과 화석연료에 대한 의존도 감소의 일환으로 수소 연료전지 자동차를 촉진하기 위해 노력해 왔다. 독일 정부는 연료전지차 구매를 지원하기 위해 재정적 인센티브를 제공해 왔다 BMW, 아우디와 같은 회사들은 수소를 이용한 콘셉트 카를 개발했고 수소 충전 인프라를 확장하려는 노력이 지속되고 있다.

그 외 미국, 중국, 프랑스, 영국, 캐나다, 노르웨이를 포함한 다른 국가들도 수소 연료전지 자동차 도입을 촉진하고 있다.

 2) 탄소 배출량을 줄일 수 있는 방법 고안

탄소 배출량을 줄이기 위해 다양한 방법을 도입할 수 있다. 첫째, 재생에너지 확대는 가장 효과적인 대안이다. 태양광, 풍력, 수력과 같은 재생에너지는 전력 생산 과정에서 탄소를 배출하지 않으며, 화석연료 기반 전력을 대체할 수 있다. 둘째, 에너지 효율성 향상을 통해 산업 및 가정에서 사용하는 에너지를 줄이고, 효율적인 전력 사용을 장려할 수 있다. 셋째, 수소 연료전지와 같은 청정 기술 도입도 유망하다. 수소는 연소 과정에서 이산화탄소를 배출하지 않으며, 교통, 산업 분야에서 화석연료를 대체할 수 있다. 마지막으로, 탄소 포집 및 저장(CCS) 기술을 사용하여 이미 배출된 이산화탄소를 포집하고 저장함으로써 대기 중 탄소 농도를 줄일 수 있다. 이러한 전략들은 종합적으로 기후 변화 대응에 중요한 역할을 할 수 있다.

5. Question (5)

 1) 수소 활용 기술의 환경적 이익

온실가스 배출 감소: 수소연료전지를 통해 기존 화석연료 기반 에너지를 대체함으로써 온실가스 배출을 획기적으로 줄일 수 있다. 전력 생산, 교통, 제조업에서의 수소 도입은 대기 중 이산화탄소 농도를 줄여 기후 변화 완화에 기여할 것이다.

대기 오염 감소: 화석연료 연소로 발생하는 미세먼지와 대기오염 물질이 줄어들어 공기 질이 개선될 것이다. 이는 인간의 건강에도 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

2) 수소 활용 기술의 경제적 이익

에너지 자립: 수소는 다양한 방식으로 생산될 수 있기 때문에, 수입 에너지 의존도를 줄이고 국가 에너지 자립도를 높일 수 있다. 특히 재생에너지와 결합한 수소 생산이 확대되면 에너지 안보가 강화될 것이다.

새로운 산업 창출: 수소경제는 수소 생산, 저장, 운송, 연료전지 관련 기술 개발을 통해 새로운 산업과 일자리를 창출할 수 있다. 이는 지속 가능한 경제 성장의 기회가 될 수 있다.

장기적 비용 절감: 초기 투자 비용이 높더라도, 수소 연료전지의 높은 효율성과 유지 보수 비용 절감으로 인해 장기적으로 경제적 이익을 기대할 수 있다. 또한, 화석연료 가격 변동에 영향을 받지 않기 때문에 경제적 안정성을 제공할 수 있다

토의(Discussion) 및 결론(Conclusion)

21세기 들어 기후 변화와 환경 오염 문제는 더욱 심각해지고 있으며, 이를 해결하기 위해서는 기존의 화석연료 중심 에너지 체계에서 벗어나 친환경 에너지로의 전환이 필수적이다. 이러한 맥락에서 수소 에너지는 그 잠재력과 중요성이 날로 부각되고 있다. 본 보고서에서는 탄소 배출량이 많은 국가 및 산업 분야를 분석하고, 수소 에너지가 그 대안으로서 가지는 가능성과 환경적, 경제적 이익을 탐구하였다.

우선, 세계에서 탄소 배출량이 가장 많은 국가로는 중국, 미국, 인도가 있다. 이들 국가들은 급격한 산업화와 경제 성장으로 인해 대규모의 에너지를 소비하고, 그로 인해 막대한 양의 이산화탄소를 배출하고 있다. 중국은 석탄 기반의 전력 생산과 제조업이 주된 탄소 배출 원인이고, 미국은 교통과 산업, 그리고 전력 부문에서 많은 탄소를 배출하고 있다. 인도 역시 석탄 기반 에너지 생산이 주요 원인이다. 이들 국가들의 탄소 배출을 비교하기 위해 총 배출량, 1인당 배출량, GDP 대비 배출량 등의 다양한 지표가 사용되며, 이를 종합적으로 분석할 때 탄소 배출 문제의 심각성을 더욱 명확하게 인식할 수 있다.

탄소 배출량이 많은 산업 분야를 살펴보면, 전력 산업이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 이어서 교통 산업, 제조업 및 건설업이 있다. 전력 산업은 주로 석탄, 석유, 천연가스를 사용하는 화력 발전에 의존하기 때문에 전 세계 탄소 배출량의 약 40%를 차지한다. 교통 산업은 자동차, 트럭, 항공기 등 석유 기반 교통수단의 사용으로 인해 약 24%를 차지하고 있으며, 제조업에서는 철강, 시멘트, 화학 산업이 주로 많은 에너지를 소비하며 높은 탄소 배출을 유발한다.

이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 수소 연료전지는 매우 유망한 기술로 평가된다. 수소 연료전지는 연소 과정에서 이산화탄소를 배출하지 않고, 물만을 생성하는 무공해 에너지원으로, 그 에너지 효율이 기존의 화석연료 기반 발전보다 월등히 높다. 전력 산업에서는 수소를 이용해 화력 발전을 대체할 수 있으며, 교통 산업에서는 수소 연료전지 자동차와 수소 버스 등의 도입이 활발히 논의되고 있다. 또한 제조업에서는 철강 생산 공정에서 수소 기반 기술을 도입함으로써 이산화탄소 배출 없는 철강 생산이 가능해진다.

특히, 수소 에너지의 활용은 환경적 이익뿐만 아니라 경제적 이익도 크다. 환경적으로는 온실가스 배출 감소와 대기 오염 물질의 배출을 줄여 기후 변화 완화와 공기 질 개선에 기여할 수 있다. 경제적으로는 수소 에너지를 통해 에너지 자립을 실현할 수 있으며, 수소 연료전지와 관련된 기술 개발은 새로운 산업과 일자리를 창출할 수 있다. 장기적으로는 화석연료 가격 변동에 영향을 받지 않는 안정적인 에너지 공급이 가능해지며, 수소 에너지를 사용하는 인프라 구축과 기술 개발이 진전됨에 따라 초기 비용 부담도 점차 줄어들 것이다.

또한, 탄소 포집 및 저장(CCS) 기술과 같은 혁신적인 방법들을 수소 에너지와 결합할 경우, 기존에 배출된 이산화탄소를 대기에서 제거하는 효과까지 더해져 탄소 배출을 더욱 효과적으로 줄일 수 있다. CCS는 이미 배출된 이산화탄소를 포집해 저장하거나 재활용하는 기술로, 현재 기후 변화 대응에서 중요한 역할을 하고 있다. 이 기술을 수소 에너지와 병행하면 전 세계적으로 탄소 중립을 달성하는 데 큰 도움이 될 것이다.

결론적으로, 수소 에너지는 탄소 배출량을 줄이고 환경 오염을 완화할 수 있는 가장 강력한 대안 중 하나이다. 수소 연료전지와 수소 활용 기술은 전력 생산, 교통, 제조업 등 다양한 분야에서 화석연료를 대체할 수 있으며, 이를 통해 온실가스 배출을 획기적으로 줄일 수 있다. 또한, 수소 에너지는 장기적인 경제적 이익을 가져다줄 것이며, 특히 에너지 자립과 지속 가능한 성장을 도모하는 데 중요한 역할을 할 것이다.

향후, 수소 에너지의 대규모 도입을 위해서는 정부와 기업의 적극적인 투자와 지원이 필요하다. 수소 생산, 저장, 운송에 필요한 인프라를 확충하고, 관련 기술을 더욱 발전시켜야 한다. 특히, 수소 연료전지 차량이나 수소 기반 발전 시설의 확산을 위해 충전소 등 필수 인프라가 갖추어져야 하며, 이를 통해 수소 경제로의 전환이 가속화될 것이다. 이와 더불어 국제 협력과 규제 완화, 연구 개발(R&D) 지원 등 다각적인 정책적 접근이 이루어질 필요가 있다.

종합적으로, 수소 에너지는 환경과 경제 모두에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 중요한 자원으로, 기후 변화 대응과 지속 가능한 미래를 위해 적극적으로 추진해야 할 에너지 대안이다. 탄소 배출량을 줄이기 위한 세계적인 노력에 수소 에너지가 큰 기여를 할 것이며, 이를 통해 인류는 보다 깨끗하고 안전한 환경을 누릴 수 있을 것이다.

REFERENCES

[수소 연료전지 기술] , 손재익, 한국에너지기술연구원 305-343