

이슈페이퍼

KEEI ISSUE PAPER

정책 이슈페이퍼 21-11

재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용방안 연구

이태의



KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE



에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

정책 이슈페이퍼 21-11

**재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G
활용방안 연구**

이태의

1. 연구 배경 및 필요성

□ 기후변화에 대응하는 재생에너지의 확대가 친환경성은 높일 수 있으나, 전력계통에서는 변동성을 증가시킬 수 있음.

- 태양광 풍력 등의 재생에너지는 탄소를 배출하지 않는 친환경적인 전력을 제공함으로써 기후변화 대응에 기여
- 기상조건에 의존하는 변동성 재생에너지는 전력계통에 급격한 불확실성을 가져오고 계통이 지니는 관성을 낮추어 안정적인 전력공급을 위협

□ 재생에너지의 변동성으로 인해 발생하는 잉여전력을 저장하거나 변환하여 전력계통을 안정적으로 운영하기 위한 시스템 구축이 필요

- 국내 재생에너지 보급확대에 따라 장단기 에너지저장설비의 증설 필요성 증가
 - 2017년 5.7GW 수준에 불과했던 태양광 발전설비를 2030년까지 36.5GW 수준으로 증가시킬 계획
 - 풍력은 대규모 프로젝트 건설을 통해 2030년까지 16GW 규모의 추가 확대를 추진 중
 - 소금동굴층이 많이 있는 유럽과 미국의 일부 지역에서는 재생에너지의 계절적인 변동성에 대응하기 위한 저장시설로서 P2G (Power to Gas)¹⁾를 활용하려는 사례가 존재.
 - 단, 우리나라의 지형은 수소저장이 용이한 지질적 특성을 갖고 있지 않으므로, 해외의 사례를 그대로 받아들여 계절적 변동성에 대응하는 대규모 에너지 저장시설로 P2G를 활용할 수 없음.

1) P2G 기술은 전기를 활용하여 수전해를 통해 수소를 제조·저장·전환하는 기술

- 우리나라는 에너지전환 정책추진으로 향후 봄, 가을 재생에너지 공급이 전력 수요를 초과하는 상황이 발생할 수 있어 전력계통의 안정성 제공 수단으로 P2G 대한 연구 필요성이 증가
 - 재생에너지의 발전량 비중이 14% 수준인 제주도에서는 이미 출력제한량 횟수가 연간 40회를 초과
 - 육지에서도 전력수요가 낮은 연휴 기간을 중심으로 원자력을 감발하는 사례가 발생
 - ※ 신고리 3·4호기는 2020년 5월 13시간동안 30% 감발운전, 10월 추석연휴에는 124시간 동안 30%의 감발운전을 실시
 - 대규모 태양광 및 풍력의 도입으로 나타날 수 있는 출력제한 (curtailment) 문제를 해결하고 잉여전력을 그린수소의 생산원료(feedstock)로 활용 가능
 - 보다 적극적으로는 변동성 자원 유입으로 나타나는 계통 불안정성을 완화하기 위해 에너지 저장수단으로서 P2G 기술을 적용하고 수소 생산에 활용 가능

□ 2040년 수소공급 목표 달성을 위해 수소공급설비의 확대가 필요

- 수소경제 활성화 로드맵에서는 2040년에 연간 526만 톤 이상의 수소를 공급한다는 목표를 설정
 - 이 중 30%는 추출수소, 70%는 해외생산, 부생수소, 수전해를 통해 확보
 - 현실적으로 상당량의 수소공급을 수입에 의존할 수밖에 없으며, 그린수소의 생산에는 수전해 시설이 필수적

2. P2G 기술 및 업계 동향

□ P2G 기술의 핵심은 전기에너지를 활용하여 물을 수소로 전환하는 수전해 기술

○ AEL(알칼라인)

- 알칼리 용액 전해질로 하며, 양극과 음극 사이에 일정 수준의 전압과 전류를 흘려보내면, 산화 반응을 통해 산소와 수소가 발생하는 가장 간단한 구조의 수전해 기술임.
- 현재 상용화되어 대부분의 대규모 수전해 시설에 도입
- 시스템이 안정적이며 촉매로 니켈, 스테인리스강 등 가격경쟁력이 있는 소재를 사용하며 설비 수명이 길다는 장점
- 전류 밀도가 낮고 수소의 순도 역시 다른 수전해 방식보다 상대적으로 낮은 점, 그리고 시동에 걸리는 시간이 길고 부하 조건에 따라 작동불능 상태가 야기된다는 등의 단점

○ PEMEL(고분자전해질)

- 고분자전해법은 알칼라인 수전해 방식과 달리 고압에서 구동이 가능하며, 고분자 전해질막을 전해질로 활용
- 전류밀도가 매우 높고 시동에 걸리는 시간도 10초 이내로 짧아 유연성이 있고, 수소의 순도도 매우 높다는 장점을 지님.
- 알칼라인에 비해 상대적으로 높은 비용과 낮은 내구성이 단점

○ SOEL(고체산화물)

- 세라믹과 같은 이온전도성 고체산화물을 전해질로 사용하여 수증기를 분해하는 수전해 기술

-
- 아직 개발 중이나 수전해 시설과 연료전지의 역할을 동시에 수행하면서 높은 효율을 보일 것으로 기대

□ P2G에는 수전해 기술 이외에도 수소의 저장기술이 필요

○ 고압 수소 저장 기술

- 현재 우리나라에서 활용하는 대표적인 저장기술로 고압탱크를 활용하여 수소를 저장
- 해외에서는 지층을 활용한 지하공간을 대규모의 고압 수소 저장시설로 활용

○ 액화 수소 저장 기술

- 상압에서 높은 밀도를 유지할 수 있는 액화 수소는 고압 수소 저장과 더불어 상업적 적용가능성이 높은 수소 저장 수단
- 액화수소는 LNG의 형태로 거래되는 천연가스와 유사한 형태로 장거리 수송에 활용 가능
- 수소 액화 공정을 상업화하기 위해 극복해야 할 가장 과제는 액화 단계에서의 에너지 소모량을 낮추는 것임.

※ 액화 단계의 에너지 소모량은 생산된 수소가 지닌 총 에너지량의 1/3 수준임.

- 일본 등에서 수출입을 위해 상용화 추진 중

○ 액상 수소 저장 기술

- 수소를 다른 형태의 액상으로 변환하여 운반하는 것으로 액상유기수소 운반체(LOHC)와 암모니아로 대표됨.
- 액상유기수소 운반체는 휘발유와 유사한 형태로 액상 상태로 현존하는 인프라 사용하여 저장과 운반이 가능

- 운반체에 수소를 결합하고 분리하는 과정에서 높은 에너지 소모를 보이며, 운반체의 내구성이 존재하는 단점이 존재
- 수소를 질소와 결합하여 생성되는 암모니아는 수소를 분리하여서도 활용이 가능하면, 암모니아의 형태도 직접 연소도 가능함.
- 탈수소과정에서 수소와 질소로 분리되어 별도의 매개체가 필요하지 않아 수소 활용지역으로 단방향의 운송이 가능함.
- 자극적인 냄새와 독성으로 전문적인 처리가 필요하며, 연료전지에서 사용할 수 있는 고순도의 수소로 전환하기 위해 별도의 정제과정이 필요함.

○ 고체 수소 저장 기술

- 물리적으로 결합하여 저장함으로써 배터리처럼 사용이 가능
- 에너지 저장 여부에 상관없이 일정한 부피와 무게의 고체 저장 설비가 필요하다는 특성 역시 배터리와 유사
- 배터리는 화재의 위험 등으로 안정성에 대한 이슈가 존재하는지만 고체 수소 저장 기술은 상대적으로 안정성을 확보

3. 재생에너지 출력제한 분석 및 활용 방안

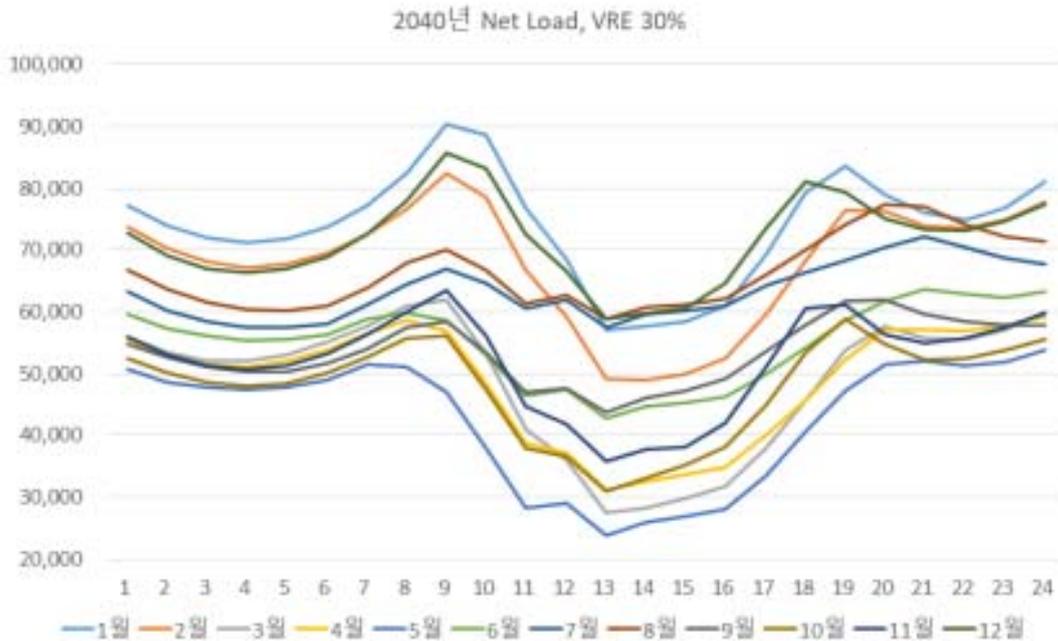
□ P2G 잠재량 산정을 위한 재생에너지 출력제한 분석

- 2030년, 2040년 재생에너지 보급 시나리오를 적용하여 순부하 패턴 및 출력제한 필요량을 분석
- 2030년의 순부하 곡선을 보면 흔히 말하는 덕커브(Duck curve)현상이²⁾ 발생

2) 태양광 발전량이 증가하면서 낮 시간의 전력수요가 낮아지고, 해가 지는 시간부터 전력수요가 급증하는 수요패턴이 나타나는데, 이러한 수요패턴의 모양이 오리와 비슷하다하여 붙여진 이름이다.

- 재생에너지 보급이 30%를 넘어서면 시간대에 따라서는 전력수요를 100% 재생에너지로 보급하여도 전력이 남는 상황이 발생

〈2040년의 순부하 패턴〉



출처: 저자작성

- 월 단위 평균 시간당 출력제한 패턴을 살펴보면 가장 높은 출력제한을 보이는 달은 5월임.
 - 시간대별로 보면 19.6GWh의 출력제한이 필요한 추석연휴가 가장 높은 출력제한을 보임.
- 재생에너지의 과잉공급이 발생하는 시간대를 중심으로 출력제한이 발생
- 2040년 재생에너지 비중을 30%로 가정하면 전력의 과잉공급으로 인한 출력제한량은 7.9TWh, 35%로 가정하면 23.4TWh 수준임.

이태의(2019). p.2.

〈출력제한 분석 결과〉

태양광·풍력 기준	2030 재생에너지 20%	2040 재생에너지 30%	2040 재생에너지 35%
연간 태양광·풍력 발전량	76TWh	137TWh	171TWh
시간단위 출력제한 발생 빈도 (총 발생시간대/8760시간)	384시간 (4.4%)	781시간 (8.9%)	1,451시간 (16.6%)
연간 출력제한량	2TWh	7.9TWh	23.4TWh
출력제한 비율 (출력제한량/총발전량)	2.6%	5.8%	13.7%

출처: 저자작성

□ P2G의 활용 방안

- P2G는 수소경제의 수소공급원으로 역할을 하면서 계통에서 발생하는 출력제한을 흡수하는 에너지저장 장치로서의 가능성을 확인
 - 출력제한의 평균값/중간값을 수전해 설비규모로 가정하여 분석한 결과, 이를 통해 절반가량의 출력제한량을 흡수
 - 수소경제 활성화 로드맵에서 2040년의 연간 수소공급량 목표치(526만 톤)의 약 20%를 생산

〈P2G 설비의 활용, 2040년 재생에너지 30%〉

수전해 수소 공급 비율 가정	20%	10%
수전해 수소 공급 목표량	105만 톤	53만 톤
P2G 설비 용량 가정	10GW	5GW
수전해 수소 공급량, P2G 이용률 50%	110만 톤	55만 톤
잉여전력 흡수율	42%	23%

출처: 저자작성

- P2G 설비를 약 50%의 이용률로 지속적으로 운영하면서 주파수 제어와 같은 서비스도 동시에 제공하면 안정적인 계통운동을 보조 가능
- P2G 설비가 기존의 발전설비와 결합하여 운영되는 경우에는 “운영예비력”이라는 관점에서 추가적인 서비스의 제공이 가능
 - ※ 운영예비력이란 전력공급량의 증발 및 감발을 통해 계통을 안정적으로 운영할 수 있게 하는 수단
- 수전해 시설의 이용률에 해당하는 전력은 상향예비력 제공으로, 잉여생산능력은 하향예비력 제공으로 활용하여 양방향으로 예비력 제공이 가능
 - ※ 양수발전이나 배터리처럼 운영할 수 있지만, 전력을 흡수하고 공급할 수 있는 누적용량에 제한이 없다는 것이 가장 큰 장점

4. 비즈니스 모델과 제도적 시사점

□ P2G의 비즈니스 모델

○ 수소생산 단독운전

- 수소생산 단독운전은 계통에 접속하지 않고 P2G를 수소 제조 전용설비로 운영하는 방식
- P2G를 재생에너지와 결합시켜 재생에너지 발전량을 모두 수소 생산에 활용하는 단독운전 방식은 현실적으로 가장 쉬운 P2G 프로젝트의 운영방식
- 지리적인 이유 등으로 송전선로의 확장이 어려운 경우 독립적인 P2G 시설을 활용하여 지역사회에 필요한 수소를 생산하여 공급
- 장기적으로 본다면 해상풍력단지에서 생산된 전력을 모두 그린수소의 대량 생산에 이용하는 방식까지 고려

- 일반적으로 대규모 풍력, 태양광 단지가 수요가 많은 도심에서 멀리 떨어진 곳에 입지한다는 사실을 고려할 때, 해당 지역에서의 수소 수요가 작을 경우 수소의 저장과 수송 문제가 발생

○ 배전시스템운영자(DSO) 차원의 운영

- 재생에너지의 변동성을 낮추면서 소규모 자급자족이 가능한 수소생태계에 적합
- 분산형 자원에 P2G 설비가 존재할 경우, 송배전망의 보강을 최소화하면서 재생에너지의 도입을 확대할 수 있는 장점이 있음.
- 단, 분산형 자원으로서의 P2G는 소규모로 운영될 수밖에 없어서 규모의 경제를 실현하기 어렵고, 지역 내에서 소비될 수 있는 수소 수요가 없으면 수소 운반에 추가 비용이 발생
- 재생에너지 전력을 취합하여 이용하는 중개사업자(aggregator)를 활용하여 대규모 수전해 설비의 운영할 수 있다면 보다 효율적인 수소 생산이 가능
- 단, 산재되어 있는 재생에너지 발전기에서 생산된 전기를 취합하는 개념이기 때문에 송배전 시설을 확충해야 하고, 이로 인해 비용도 상승할 수 있음.

○ 송전시스템운영자(TSO) 차원의 운영

- TSO 차원에서 P2G 설비를 운영하게 되면 DSO 차원에서 운영하는 수전해 설비보다 규모를 키울 수 있기 때문에 상대적으로 경제성이 있는 수소의 생산이 가능
- TSO 차원에서의 대규모 설비운영은 재생에너지 공급이 확대되어 성숙한 시장이 조성되는 단계에서 도입이 전제되어야 함.
- TSO 차원에서의 기존의 기저발전 설비 및 그리드와 연계된 운영으로 주파수 조정능력의 제공이 가능하며, 계통운영에 제공하는 운영예비력에 대해 보조서비스 시장에서 정산이 이루어지면 추가적인 경제성 확보가 가능

- 단, 그리드와 연계된 수전해 설비로 전력계통에 운영예비력을 제공하는 형태로 운영하면 100% 그린수소를 얻을 수는 없음.

□ P2G 비즈니스 활성화를 위한 제도적인 과제

○ 전력시장

- **(보조서비스 가치의 합리화)** 기존에 P2G 비즈니스 모델이 의존하는 수익 창출 수단은 수소 판매가 유일하였으나, P2G의 보조서비스 시장에서의 활용은 P2G 시스템에 추가적인 역할을 부여하고 경제성 확보가 가능
- **(실시간 시장의 도입)** 실시간 시장의 도입은 단순히 P2G의 운영만을 위해서 필요한 것은 아니며, 우리나라의 급전방식을 개선하기 위해서는 유연성 자원의 합리적 운영을 위한 보조서비스 시장과 실시간 시장을 개설할 필요가 있음.
- P2G뿐만 아니라 수요반응자원(DR)과 같은 전력 신산업에도 합리적인 보상을 위해 시장에 의해 형성된 합리적인 가격이 필요
- **(송배전 비용의 분리 및 전력구매제도 개선)** 발전사업자가 판매업을 동시에 수행할 수 없는 현재의 법률상 P2G에 사용되는 전력은 에너지 사용량과 송배전 비용이 통합되어 있는 전력시장에서 구매할 수밖에 없음.
- 에너지 사용량과 송배전 비용이 분리된다면 P2G를 위해 현실적인 전력거래가 가능
 - ※ TSO 차원에서의 운영으로 발전단 혹은 송전단에서 운영되는 수전해 설비에 송배전 비용을 부과하는 것은 적절하지 않음.
- 재생에너지에 대해 제3자 전력수급계약(PPA) 도입이 추진되는 것과 마찬가지로, P2G 사업자도 발전설비로부터 직접 PPA를 통해 전력을 구매할 수 있다면 송배전 비용의 분리가 없더라도 합리적인 전력 거래가 가능

○ 가스시장

- 수소유통망 운영 기준 및 수소품질기준의 마련이 필요

※ 가스공사가 독점적으로 수소 배관을 사용하는 것이라면 문제가 없겠지만, P2G로 인해 수소의 역송이 필요하다면 수소의 품질에 대한 관리기준이 마련되어야 함.

- 유럽에서는 기존 인프라에 P2G의 생산물인 수소, 메탄의 인입을 위한 기준 마련하고 있음.

※ 유럽에서는 다수의 가스 난방 및 조리 기구가 이미 20% 수준의 수소 혼합에 대해 인증을 받고 있음.

○ P2G라는 융합 비즈니스의 활성화를 위해서는 전력, 가스시장에 있는 상호배타적인 규제들의 완화가 필요

- P2G는 전력의 판매 및 구매, 가스의 저장 및 판매가 하나의 비즈니스로 구현됨.

- P2G 비즈니스가 시장에서 자리잡기 위해서는 가장 기본적으로 전력-가스시장의 규제가 상호보완적으로 조화되어야 함.

- 다양한 사업 영역의 복합체인 P2G를 위해 다양한 업역을 동시에 수행할 수 있도록 규제를 풀기보다는, 우선 각각의 사업영역에 접근 가능하도록 통로를 만들어 주는 것이 중요

○ P2G가 하나의 사업으로 성장하기 위해 필요한 경제성을 보완하기 위해 그린 수소에 대한 인증제 등의 도입 고려 필요

- P2G 도입에는 공정한 요금의 설정 및 과세 제도의 점검이 필요함.

- P2G는 전력을 중간재로 사용하는 에너지의 전환으로 보아야 하므로 최종소비자로 전력을 사용하는 일반 소비자의 전기요금에 부과된 세금 및 각종 부가요금을 P2G 사업자에게도 동일하게 적용할 것인지 숙고해보아야 할 문제임.

-
- 수소의 경제성이 매우 낮아 현재 대부분의 수소는 기존의 화석연료를 활용하여 생산중임.

※ 2019년 기준으로 전 세계에서 생산되는 수소의 76%는 가스에서, 22%는 석탄에서 생산되고, 재생에너지 기반의 수전해 시설에서 생산된 수소는 2% 수준임.

- 그린수소 프로젝트가 성공적인 사업으로 성장하기 위해서라도 그린수소에 대한 인증제 등의 경제성 확보 장치의 도입이 필요