

KOREA POWER EXCHANGE

---

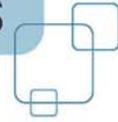
# 전력산업 R&D REPORT

---

2022. 8







## I 탄소중립 R&D 보고서(30건)

01 ▶ 신재생에너지(9건) .....	3
02 ▶ 전력시장(6건) .....	51
03 ▶ 전력계통(6건) .....	95
04 ▶ 정책·제도(5건) .....	117
05 ▶ 수소경제(4건) .....	139

## II 전력산업 유관기관 R&D 현황

☞ 한국전력공사 .....	167
☞ 발전 5개사 .....	185
☞ 한국수력원자력 .....	203
☞ 에너지경제연구원 .....	206
☞ 한국전기연구원 .....	210
☞ 한국에너지공단 .....	214





PART

I

# 탄소중립 R&D 보고서

(신재생에너지, 전력시장, 전력계통, 정책·제도, 수소경제)

※ 탄소중립 R&D 보고서는 전력산업 유관기관의 탄소중립 관련 연구보고서를 참고하여 내용을 요약·정리한 발췌본입니다. 자세한 내용은 각 기관의 본 연구보고서를 참고해주시길 바랍니다.





전력산업  
R&D REPORT

# 신재생에너지

## 연구과제(9건)





## 재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE) 전망 시스템 구축 및 운영(1)

연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
에너지경제연구원	2020년	이근대, 김기환	자체 연구보고서

### 1 연구개발의 필요성 및 목적

#### 01 필요성

- 2017년에 출범한 문재인 정부는 재생에너지 3020 이행계획 발표(2030년까지 재생에너지 발전비중 20% 달성) 등을 통해 재생에너지 중심의 에너지전환정책을 추진 중에 있음

  - 정부는 2030년까지 태양광과 풍력의 설비용량을 각각 36.5GW, 17.7GW로 확대하는 목표를 제시 하였는데 이는 2017년 재생에너지 발전비중(8.1%)의 약 2.5배에 달하며, 기존 목표의 약 2배에 가까운 의욕적인 목표임
- 이러한 신재생에너지 보급 확대와 관련하여 재생에너지 지원 성격의 보조금 증가에 따른 전기요금 상승에 대한 사회적 우려가 있을 수 있음

  - 2018년 공표된 제8차 전력수급기본계획에서는 2030년까지 재생 에너지 발전단가(이하 LCOE, Levelized cost of electricity)<sup>1)</sup> '17년 대비 35.5% 하락, 전기요금 인상률 10.9% 억제 목표 제시
- 하지만 재생에너지 발전단가(LCOE)에 대한 신뢰성 있고 연속성 있는 정보제공이 이루어지지 않고 있어 재생에너지의 경제성과 보급 확대 필요성에 대한 사회적 합의 도출의 어려움이 존재함

  - 재생에너지 기술개발과 보급정책의 효과성 분석에 어려움도 존재하여 비용효율적인 재생에너지 보급 확대를 위해 재생에너지 발전비용 분석 및 전망 시스템을 구축하고 이에 기반한 정책 개선방안 제시 필요
- 따라서, 재생에너지 중장기 발전단가(LCOE) 전망을 위해 비용 결정요인에 대한 신뢰성 있는 조사와 합리적인 방법론에 기반한 분석체계 구축 필요

  - 재생에너지 발전비용에 미치는 영향 요인은 다양하며, 이를 객관적으로 조사/분석하여 발전단가(LCOE) 제시 필요

- 합리적이고 연속성을 확보한 발전단가(LCOE) 분석과 전망을 통해 발전단가(LCOE) 분석 및 전망 결과의 신뢰성 확보와 함께 정책 활용성 확보도 요구
- 본 연구는 현재 국내 정책에 따라 보급이 확대되고 있는 지상 태양광 발전과 육상풍력 발전을 대상으로 이들의 발전단가(LCOE) 분석결과를 제시함으로써 신재생에너지 시장의 투명성을 제고하고 신재생 에너지 정책수립에 기여하고자 함

## 02 목적

■ 본 연구는 현재 정부 정책에 기반하여 보급이 확대되고 있는 지상 태양광 발전과 육상풍력 발전을 대상으로 이들의 발전단가(LCOE) 분석결과를 제시함으로써 신재생에너지 시장의 투명성을 제고하고 관련 정책 수립에 기여하고자 함

- 5년에 걸쳐 수행되는 과제로서 1차년도 연구의 상세 목적은 재생에너지원별/유형별 신뢰성 있는 발전비용(CAPEX, OPEX, 토지비, 기타비용 등) 데이터베이스를 구축하기 위한 조사 시스템을 구축하는데 있음
- 이를 바탕으로 재생에너지원별/유형별 발전단가(LCOE)를 추정하고 국내외 선행연구와의 비교 등을 통해 장기적으로 비용효율적 재생에너지 보급 확대를 위한 시사점을 도출하는데 있음

## 2 연구개발의 내용



### 01 사회적 관점 vs 재무적 관점 발전단가

■ 에너지원간/에너지원별 발전비용 비교 시 사회적 관점에서의 발전단가와 재무적 관점에서의 발전단가는 차이가 있음

- 사회적 관점에서의 발전비용은 국가 등의 공공부문이 직접 발전 사업을 추진할 때 발생하는 비용으로 비용편익분석에 반영되는 비용 요소가 민간 투자자가 동일 사업을 추진할 경우와는 다름
- 사회적 관점은 전체 비용에서 내재화되지 않은 외부 비용과 정책비용 등을 반영하여 사업을 평가함
- 재무적 관점에서는 민간사업자가 추진하는 사업과 관련된 비용 요소가 반영됨. 여기에는 설비비용 및 운영유지비용 등의 직접 비용 외 금융비용, 각종 세금/부과금 등이 포함됨

### 02 재생에너지(태양광, 육상풍력) 비용조사

■ 국내 태양광발전 발전설비 원가 조사 수행

- 태양광발전은 규모별 원가조사 수행: 소규모(100kW), 중규모(1MW), 대규모(3MW)로 구분

- 품셈기준(조달청 조달가격반영)과 현장기준 비용분석 및 비교

### ■ 국내 풍력발전 발전설비 원가 조사 수행

- 국내 육상풍력 평균 설비용량 20MW급 이상 표준설비에 따른 세부 항목 조사 수행

## 03 재생에너지(태양광, 육상풍력) 발전단가(LCOE) 산정 결과

### ■ 국내 재생에너지 발전단가(LCOE) 산정 결과

- 2020년 기준 100kW급 태양광 발전단가(LCOE)는 169.8원 /kWh(재무적 관점), 133.3원/kWh(사회적 관점)으로 추정됨
- 2020년 기준 1MW급 태양광 발전단가(LCOE)는 144.8원/kWh(재무적 관점), 117원/kWh(사회적 관점)으로 추정됨
- 2020년 기준 3MW급 태양광 발전단가(LCOE)는 136.1원/kWh(재무적 관점), 111.7원/kWh(사회적 관점)으로 추정됨
- 20MW급 풍력 발전단가(LCOE)는 166.8원/kWh(재무적 관점), 131.6원/kWh(사회적 관점)으로 추정됨

### ■ 국내 태양광 및 육상풍력 발전단가(LCOE) 전망

- 2030년 유틸리티급인 3MW 태양광발전 CAPEX 전망치와 전제 조건을 적용하여 산정한 재무적 관점의 발전단가(LCOE)는 94.2 원/kWh 수준으로 전망되었으며 이는 2020년 대비 31% 하락한 수준임
- 1MW 태양광발전의 경우엔 108.3원/kWh으로 전망되었는데 이는 2020년 대비 25% 하락한 수준임
- 100kW 태양광발전의 경우 128.4원/kWh으로 전망되었는데 이는 2020년 대비 24% 하락한 수준임
- 2030년 20MW급 풍력발전 CAPEX 전망치와 전제조건을 적용하여 산정한 재무적 관점의 발전단가(LCOE)는 130원/kWh 수준으로 전망되었으며 이는 2020년 대비 10% 하락한 수준

### ■ 국내 태양광 및 육상풍력 발전단가(LCOE) 영향 요인 민감도 분석 결과

- 태양광 발전 발전단가(LCOE) 전제조건별 민감도를 분석한 결과 여러 전제조건 중에서 설비비용(EPC cost) 변화에 따른 민감도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 그 다음으로 이용률(Capacity Factor)변화에 민감한 것으로 나타남
- 풍력발전은 전제조건별 민감도를 분석한 결과 여러 전제조건 중에서 이용률(Capacity Factor)에 가장 민감하게 반응하는 것으로 확인되며, 그 다음으로 설비비용(EPC cost)에 민감한 것으로 나타남

### 3 결론 및 정책제언



#### 본 연구에서 수행한 원가조사용역과 선행연구 비교 시 설비비용의 하락 발견

- 본 연구에서 조사된 2020년 기준 태양광 발전단가와 2017년 수행한 선행연구와 비교 시, 100kW 급은 약 10%, 1MW급은 약 17%, 3MW급은 약 16% 정도 하락하였음
- 풍력발전 설비의 경우, 2020년 기준으로 조사된 2,522천원/kW 수준이며, 2017년 수행한 선행 연구에 적용한 설비비용은 2,433 천원/kW으로 태양광과는 달리 일정 수준으로 유지되고 있는 것으로 나타남
- 태양광발전과 달리 풍력발전 발전비용이 소폭 상승하거나 일정 수준으로 유지되고 있는 요인으로는 국내의 경우 NIMBY와 같은 민원비용 증가와 더불어 환경규제 강화에 따른 입지 제약 등에 따른 비용 증가가 기여한 바가 크기 때문임

#### 2030년 재생에너지 발전단가는 하락 추세가 지속될 것으로 전망

- 2030년 재무적 관점에서의 재생에너지 태양광 발전단가(LCOE)는 94.2원/kWh~128.4원/kWh 으로 전망되었는데 이는 2020년 대비 24%~31% 하락한 수준임
- 2030년 풍력 발전단가(LCOE)는 150원/kWh으로 전망되었는데 이는 2020년 대비 평균 10% 하락한 수준임

#### 신재생에너지 비용하락에 따르는 긍정적 사회경제적 파급효과

- 재생에너지 공급확대라는 정부의 정책 목표를 달성함에 있어 재생에너지 그리드패리티 조속한 달성 등에 의해 국민경제적 부담을 경감시키는 효과를 유발함
- 또한, 재생에너지 중심의 정부의 에너지전환 정책에 대한 국민의 사회적 수용성을 높여 정책 추진을 원활하게 할 수 있게 함

#### 기술혁신과 비용하락 등의 신재생 환경변화에 대한 정부의 적극적 역할 필요

- 민감도 분석결과에서 보듯이 발전단가(LCOE)에 가장 큰 영향을 미치는 요소인 초기 투자비가 중요하므로 정부는 초기 투자비를 낮출 수 있기 위해 제반 노력을 할 필요가 있음
- 설비비용에서 비중이 높은 주기자재와 관련하여 기술혁신과 글로벌 가격경쟁에 의해 비용하락이 획기적으로 이루어지고 있음. 정부는 신재생에너지산업의 공급체인별 발전방안 마련 시 이러한 대외 여건상황을 적절히 반영한 국산화 추진 정책 필요
- 또한, 이용률도 발전단가(LCOE)에 영향을 미치는 중요 요소이므로 일사량이 높은 지역을 중심으로 재생에너지 보급이 원활히 추진되도록 해당 지역의 인허가절차 간소화 등의 규제개혁 추진 필요

## ■ 본 연구는 전체 연구기간(5년)중 1년차 연구로서 향후 2~5년차 연구에서 추진해야 할 업무 범위 존재

- 1차년도는 전체 태양광 발전 중 지상태양광발전에 초점을 맞춰 분석하였으며 향후 수상태양광발전, 건축물이용 태양광발전 등 유형별 태양광발전에 대해 발전단가(LCOE) 분석을 추진할 계획임
- 풍력발전의 경우에도 자료 등 한계로 인해 육상풍력 발전에 대해 우선적으로 연구를 추진하였으며 향후 해상풍력 발전에 대해 발전단가(LCOE) 분석을 추진할 계획임
- 국내 정책적 이유로 인해 가중치가 감소된 폐목재를 제외한 바이오매스 자원에 대해 발전단가(LCOE) 분석을 추진할 계획임
- 1차년도는 전국 단위차원에서 발전단가(LCOE) 분석을 수행하였으나 향후 연구에서는 이를 확장하여 격자 연산(1km × 1km, 약 10만개) 모형에 기반한 지역차원에서 발전단가(LCOE) 분석을 추진할 계획임
- 최종적으로는 세부 지역별 LCOE 분석 시스템 구축을 통해 연구 수요자가 필요로 하는 재생에너지 발전비용에 대한 정보 제공과 실질적 재생에너지 사업성 분석에 기초적인 자료를 제공할 계획임
- 태양광발전, 풍력발전, 바이오매스 등에 대한 현재와 미래의 재생에너지 발전비용 분석을 통해 그리드 패리티 달성 시점 등 관련 사항에 대한 연구를 추진할 계획임
- 또한, 태양광발전, 풍력발전 등에 대한 발전비용 분석이 완료된 이후에는 재생에너지의 가격 경쟁력을 평가하기 위해 화력(석탄, 가스)발전, 원자력발전 등과의 타 에너지원과의 발전비용 비교 연구를 추진할 계획임

## 재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE) 전망 시스템 구축 및 운영(2)



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
에너지경제연구원	2021년	이근대, 임덕오	자체 연구보고서

### 1 연구개발의 필요성 및 목적



#### 01 필요성

최근 정부는 제9차 전력수급기본계획 및 5차 신재생에너지기본계획 발표, 2034년까지 신재생에너지 발전비중 25.8%(재생 22.2%, 신 3.6%) 달성 목표 제시

- 정부는 2034년까지 태양광과 풍력의 설비용량을 각각 45.6GW, 24.9GW로 확대하는 목표를 제시
- 2019년 신재생에너지 발전비중(5.6%)의 약 4~5배에 달하며, 2034년 최종에너지 중에서 신재생에너지 비중 13.7%로 의욕적인 목표

재생에너지 발전단가(LCOE, Levelized Cost of Electricity) 저감을 위한 정책 개선방안 마련 필요

- 제8차 전력수급기본계획에서는 2030년까지 재생에너지 발전단가(LCOE) 35.5% 하락, 전기요금 인상률 10.9% 목표 제시
- 재생에너지 발전단가(LCOE)가 목표 수준으로 하락하지 않을 경우, 전기요금 인상으로 이어져 장기적으로 재생에너지 보급 확대의 장애요인으로 작용할 가능성 존재
- 비용효율적인 재생에너지 보급 확대를 위해 재생에너지 발전비용 분석 및 전망 시스템을 구축하고 이에 기반한 정책 개선방안 마련 필요

재생에너지 중장기 발전단가(LCOE) 전망을 위해, 비용 결정요인에 대한 신뢰성 있는 조사와 합리적인 방법론에 기반한 분석체계 구축 필요

- 재생에너지 발전 설비비용에 미치는 영향 요인은 다양하며, 이를 객관적으로 조사/분석하여 발전단가(LCOE)를 제시할 필요가 있음
- 합리적이고 연속성을 확보한 발전단가(LCOE) 분석과 전망을 통해 분석결과의 신뢰성을 제고하고 정책 활용성 확대 필요

- 발전단가(LCOE) 전망 결과를 바탕으로 그리드패리티 달성 시점과 재생에너지 가격 경쟁력 등을 진단함으로써 재생에너지 정책 추진력 확보 필요

## 02 목적

### ■ 재생에너지원별/유형별 발전비용 조사 시스템 구축을 통한 발전단가(LCOE) 분석 및 전망

- 재생에너지원별 설비비용(CAPEX), 운영유지비용(OPEX), 토지비, 기타비용 등 발전설비 비용항목 표준화 및 조사 체계 구축
- 재생에너지원별 경제적 전제조건을 고려한 발전단가(LCOE) 산정 방법론 정립 및 분석
- 학습효과(Learning Effect) 모형 등을 활용한 중장기 발전단가(LCOE) 전망 모형 구축
- 격자-LCOE 연산 기반 시장잠재량 산정모형을 활용한 우리나라 최적/평균 발전단가(LCOE) 추정 및 지역별 발전단가(LCOE) 분석

### ■ 국내 재생에너지 발전단가(LCOE) 추세 및 주요국과의 발전단가(LCOE) 비교 등을 통해 재생에너지 보급 정책 개선방안 제시

- 국내 재생에너지 발전단가(LCOE) 전망 결과를 바탕으로 그리드패리티 달성 시점 분석 및 시사점 도출
- 해외 주요국 재생에너지 발전단가(LCOE) 분석을 통한 시사점 도출
- 비용효율적 재생에너지 보급을 위한 지원제도 개선방안 도출

### ■ 본 연구는 2020년부터 5년간 수행해야하는 일반연구과제로 전반적인 연구추진 내용은 다음과 같음

- 1차년도(2020년) 연구에서는 재생에너지 주요 대상인 지상태양광과 육상풍력의 발전 설비 세부 비용을 규모별로 조사하는 체계를 구축하고, 비용 항목 표준화 및 이를 통한 발전단가(LCOE)를 추정하고 전망하였음
- 올해는 2차년도 연구이며 1차년도의 분석 대상인 지상태양광 및 육상 풍력과 더불어 특수태양광(건물, 수상, 영농형)에 대한 조사 및 분석을 수행
- 또한, 전국토를 1km<sup>2</sup> 격자단위로 구분한 격자 연산 모형을 활용하여 지역별 발전단가(LCOE)를 분석함
- 3~4차년도 이후의 연구에서는 해상풍력 발전 설비비용 조사와 발전소 단위의 발전단가(LCOE) 범위를 초과하여 전력시스템 운영 및 접속 관련비용과 기타 외부비용 등을 분석할 계획이며, 이를 반영한 발전단가(LCOE) 산정결과를 제시하고자 함
- 5차년도 연구에서는 그동안 축적된 자료를 활용하여 학습효과 모형에 기반한 재생에너지 발전단가 전망시스템을 구축하고, 설비 유형별, 규모별 발전단가(LCOE) 전망결과를 제시하고자 함
- 최종적으로 재생에너지원별 발전단가(LCOE) 저감을 위한 정책 및 제도개선 방안을 제시할 예정임

## 2 연구개발의 내용



### 01 재생에너지(태양광, 풍력) 발전단가(LCOE) 분석

태양광, 육상풍력 발전 설비비용 자료와 경제적 전제조건을 반영하여 추정된 2021년 발전단가(LCOE)는 2020년 대비 소폭 감소한 것으로 분석됨

- 100kW, 1MW, 3MW, 20MW 지상태양광 발전단가(LCOE)는 각각 152.0원/kWh, 134.2원/kWh, 129.2원/kWh, 123.4원/kWh로 작년 대비 약 3%~9% 감소한 것으로 추정됨
- 20MW, 40MW 육상풍력 발전단가(LCOE)는 각각 164.0원/kWh, 158.0원/kWh로 추정되었으며, 이는 작년대비 약 2% 감소한 수준인 것으로 추정됨

재생에너지 발전단가(LCOE)는 폴리실리콘과 철강 등 원자재 가격 상승에도 불구하고, 국내 재생에너지 보급 확대 정책에 따른 기술개발 및 시장 경쟁으로 인한 설비비용이 감소와 저금리 기조를 반영한 낮은 할인율에 의해 소폭 감소한 것으로 분석됨

- BNEF(2021)에 따르면, 폴리실리콘과 철강 가격은 작년대비 약 2배 상승한 것으로 분석됨
- 재생에너지 주요 원자재의 급격한 가격 상승에도 불구하고, 세계 시장 가격 경쟁에 의해 모듈과 터빈 가격 변화에 미치는 영향은 미미한 수준
- 지상태양광 발전단가(LCOE) 하락의 주요 요인은 설비비용 하락이며, 다음으로 금융비용 감소에 있음
- 육상풍력 발전단가(LCOE) 하락의 경우, 터빈 공급가격 하락으로 인한 설비비용 감소에 따른 것으로 확인됨
- 현재 경제 상황과 저금리 기조를 반영하여 산정된 재무적 할인율이 작년대비 하락함으로써 재생에너지 발전단가(LCOE) 감소에 영향을 미친 것으로 분석됨

건물, 영농형, 수상태양광 등의 특수태양광의 발전단가(LCOE)는 지상태양광 대비 소폭 높은 수준으로 분석됨

- 최근 보급이 확대되고 있는 건물태양광(1MW)의 발전단가(LCOE)는 133.9원/kWh 수준으로 동일 용량의 지상태양광과 유사한 수준인 것으로 추정됨
- 현재 시범사업이 활발하게 진행되고 있는 영농형태양광(100kW)의 발전단가(LCOE)는 157.9원/kWh으로 동일 용량의 지상태양광 대비 약 4% 높은 수준으로 추정됨
- 수상태양광(3MW)의 발전단가(LCOE) 162.1원/kWh 수준으로 동일 용량의 지상태양광 대비 약 25% 높은 수준으로 추정됨
- 특수태양광의 경우 현재 태양광 보조금 지원 정책 하에서 발전 사업을 위한 경제성은 확보할 수 있을

것으로 판단되나, 추가적인 지원이 필요한 프로젝트가 있다면 검토를 통해서 관련 사업이 원활하게 진행될 수 있는 방안 마련이 필요할 것으로 사료됨

■ 본 연구에서 조사된 우리나라 20MW급 태양광 설비비용은 1,154천원/kW 수준이며, 이는 해외 주요국의 유틸리티급 태양광 평균 설비비용(1,045천원/kW) 대비 약 10% 높은 수준으로 확인됨

- IRENA(2021)에서 조사한 결과에 따르면, 우리나라의 태양광 발전 설비비용 중 주요기자재와 설치, 시공에 해당하는 직접비용은 주요국 평균 설비비용 대비 약 18% 낮은 수준으로 확인됨
- 하지만, 이윤, 금융비용, 인허가, 기타 비용에 해당하는 간접비용이 주요국 평균 대비 약 68% 높은 수준인 것으로 나타남

## 02 재생에너지 발전단가(LCOE) 시나리오 분석

■ 발전단가(LCOE)는 다양한 변수의 영향을 받게 되며, 대표적으로는 설비비용(CAPEX), 이용률, 할인율, 경제수명 등이 있음

■ 각각의 전제조건이 재생에너지 발전단가(LCOE)에 미치는 영향의 수준을 파악하기 위한 시나리오 분석을 시행하였음

■ 기술적 경제수명(25년)을 고려한 시나리오(S1)의 경우 약 7%의 감소효과가 나타났으며, 각 변수에 동일한 10% 변화를 가정한 시나리오 분석 결과 발전단가(LCOE) 하락에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 이용률, 설비비용(CAPEX), 할인율 순으로 나타남

- 시나리오(S1) : 현재 태양광 모듈 및 풍력 터빈의 기술적 경제수명을 고려하여 경제수명을 25년으로 설정 시, 태양광은 약 8원/kWh~10원 /kWh 감소, 육상풍력은 약 12원/kWh 감소
- 시나리오(S2) : 지속적인 저금리 상황을 가정한 할인율 10% 감소에 따른 발전단가(LCOE)는 태양광 약 3원/kWh~4원/kWh 감소, 육상풍력은 약 4원/kWh 감소
- 시나리오(S3) : 모듈 및 터빈 제품 기술력 향상을 고려한 이용률 10% 증가에 따른 발전단가(LCOE)는 태양광은 약 9원/kWh~11원/kWh 감소, 육상풍력은 약 11원/kWh~12원/kWh 감소
- 시나리오(S4) : 설비비용(CAPEX) 10% 감소에 따른 발전단가(LCOE)는 태양광은 약 7원/kWh~9원 /kWh 감소, 육상풍력은 약 10원/kWh 감소

## 03 지역별 재생에너지 발전단가(LCOE) 분석

■ 격자-LCOE 연산 모형을 활용한 지역별 재생에너지 발전단가(LCOE) 추정 결과 태양광의 경우 전라도와 경상북도, 풍력의 경우 제주도 지역의 경제성이 우수한 것으로 나타남

- 상풍력 발전을 위한 입지는 태양광과는 다르게 규제정책에 의해 배제되는 지역이 많은 것으로 나타남
- 좁은 국토에도 불구하고 지역별 발전단가(LCOE)의 편차가 크게 발생하게 되는 것은 물리적, 경제적, 사회적, 규제적 요인의 영향이 큰 것으로 분석됨

### 3 결론 및 정책제언



- 우리나라 재생에너지 발전단가(LCOE)를 분석한 결과 작년대비 소폭 하락한 것으로 나타났으며, 비용 효율적 보급을 위한 정부의 다각적 노력이 요구됨
  - 태양광과 풍력의 발전단가(LCOE)가 하락하는 데에는 설비비용의 감소가 크게 기여한 것으로 확인되며, 특히 주요 모듈과 터빈과 같은 주요 기자재 비용 하락이 총 설비비용 감소에 큰 역할을 한 것으로 분석됨
  - 향후 지속적인 설비비용의 하락을 위해 정부, 산업계, 학계, 연구계 등 관련 관계자들은 다각적 노력을 기울일 필요가 있음
  - 특히, 정부는 시장의 불확실성을 해소할 수 있도록 지속적인 재생에너지 확대정책 기초를 견지한다는 신호를 강력하게 시장에 전달하는 것이 중요할 것으로 사료됨
- 지역별 재생에너지 보급 목표 달성을 위해서는 규제지역 검토를 통해 단계적으로 완화해가는 노력이 필요함
  - 육상풍력의 경우 자연환경보전지역, 개발 불가지역, 문화재지역 외 다양한 규제 조치에 의해 설치가 어려운 지역이 많은 것으로 나타남
  - 단기적으로 발전단가의 하락을 도모한다는 측면에서는 가장 비용이 적게 드는 지역을 중심으로 보급을 확대해가는 것이 바람직할 것으로 판단됨
  - 중장기적으로 지역별 규제완화를 통해 재생에너지 설치 가능 지역을 확대해가는 노력이 필요할 것으로 사료됨
- 우리나라 재생에너지 발전단가(LCOE)는 해외 주요국 대비 여전히 높은 수준을 유지하고 있으며, 비용 저감을 위한 지원 정책 필요
  - 우리나라 태양광의 경우 주요기자재와 설치, 시공에 해당하는 비용은 국가별 평균 수준임
  - 하지만, 이윤, 금융비용, 인허가, 기타 비용에 해당하는 간접비용이 타 국가 대비 높은 수준으로 확인됨
  - 우선적으로 인허가 비용 저감을 위해 신재생에너지 사업 추진에 대한 지자체 참여를 강화하여 소규모 발전 사업에 대해서는 인허가를 의제 처리하고, 주민참여형 사업 확대를 통해 주민수용성을 확보해 나가는 노력이 필요할 것으로 판단됨

- 또한, 재생에너지 발전 설비에 대한 간접비용을 감소시키기 위해 현재 정부에서 진행 중인 신재생 에너지 금융지원사업을 확대함으로써 발전 사업 참여자들이 시중은행 이자율 보다 저렴하게 비용을 활용할 수 있도록 제도를 개선해 나갈 필요가 있을 것으로 사료됨

#### ■ 발전사업자간의 적절한 경쟁을 유도함으로써 공급 가격을 하락시킬 수 있는 경매제도 도입 검토 필요

- 최근 해외 주요 국가를 중심으로 재생에너지 보급을 위한 경매제도가 확대 되는 추세
- BNEF(2021)에 따르면 경매제도를 도입한 이후 전 세계 재생에너지 거래 가격은 급격하게 하락한 것으로 나타남
  - \* 태양광의 경우 최대 약 190USD/MWh에서 최소 약 20USD/MWh까지 하락
  - \* 육상풍력은 최대 약 195USD/MWh에서 최소 약 12USD/MWh까지 하락
- 우리나라의 경우 현재 고정가격계약 경쟁입찰을 통해 태양광 가격이 빠르게 하락하고 있는 상황
- 향후 비용효율적 재생에너지 보급을 위해 다양한 재생에너지원을 포함하고 거래 규모 확대한 경매 제도 도입 검토가 필요한 것으로 사료됨

## 재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용방안 연구



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
에너지경제연구원	2020년	이태의	자체 연구보고서

### 1 연구개발의 필요성 및 목적



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 전력 공급을 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)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
- 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 잉여 전력을 그린수소의 생산원료(feedstock)로 활용 가능
- 보다 적극적으로는 변동성 자원 유입으로 나타나는 계통 불안정성을 완화하기 위해 에너지 저장 수단으로서 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 연구개발의 내용



### 01 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 낮다는 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

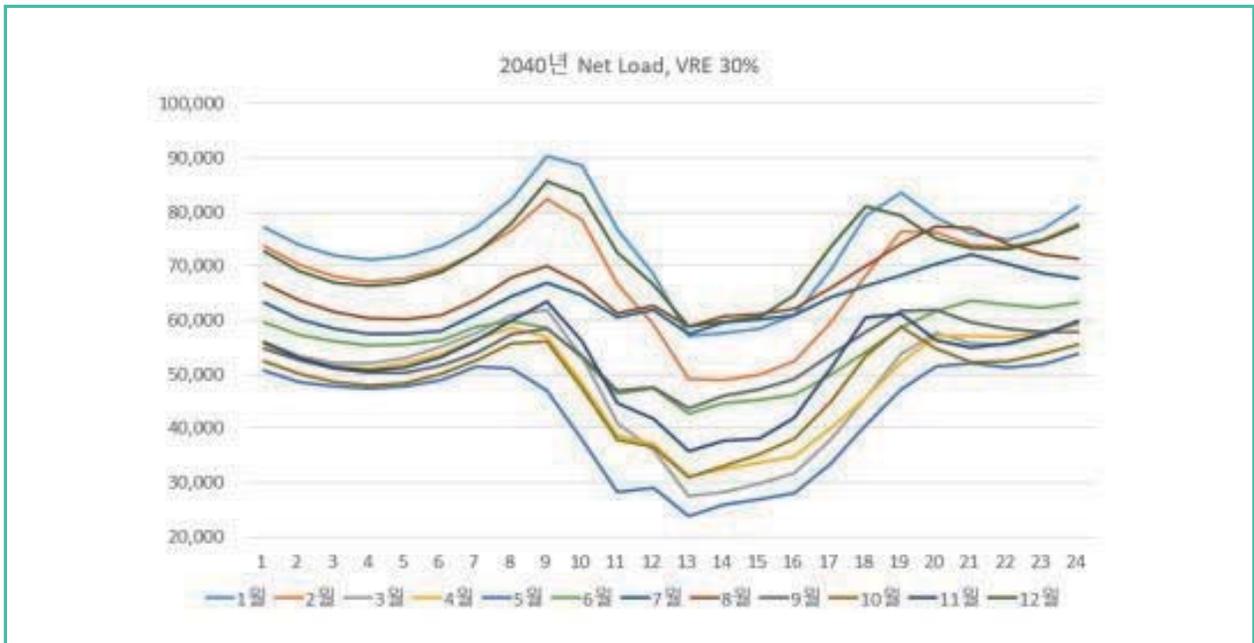
- 물리적으로 결합하여 저장함으로써 배터리처럼 사용이 가능
- 에너지 저장 여부에 상관없이 일정한 부피와 무게의 고체 저장 설비가 필요하다는 특성 역시 배터리와 유사

- 배터리는 화재의 위험 등으로 안정성에 대한 이슈가 존재하지만, 고체 수소 저장 기술은 상대적으로 안정성을 확보

## 02 재생에너지 출력제한 분석 및 활용방안

### ■ 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) 현상 발생
  - 재생에너지 보급이 30%를 넘어서면 시간대에 따라서는 전력수요를 100% 재생에너지로 보급 하여도 전력이 남는 상황이 발생



- 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

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%

### ● 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

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%

- 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

## 03 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 그린 수소의 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(agggregator)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 보조 서비스 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 위해서도 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 통합되어있는 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
- 가스공사가 독점적으로 수소 배관을 사용하는 것이라면 문제가 없겠지만, P2G로 인해 수소의 역송이 필요하다면 수소의 품질에 대한 관리기준이 마련되어야 함
  - ※ 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 상호 보완적으로 조화되어야 함
  - 다양한 사업 영역의 복합체인 P2G를 위해 다양한 업역을 동시에 수행할 수 있도록 규제를 풀기 보다는, 우선 각각의 사업영역에 접근 가능하도록 통로를 만들어 주는 것이 중요

- P2G가 하나의 사업으로 성장하기 위해 필요한 경제성을 보완하기 위해 그린수소에 대한 인증제 등의 도입 고려 필요
  - P2G 도입에는 공정한 요금의 설정 및 과세 제도의 점검이 필요함
  - P2G는 전력을 중간재로 사용하는 에너지의 전환으로 보아야 하므로 최종소비재로 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 화석 연료를 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

## 국제 신재생에너지 정책 변화 및 시장분석



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
에너지경제연구원	2021년	공지영, 조일현	자체 연구보고서

### 1 연구개발의 필요성 및 목적



■ 재생에너지 시장은 매년 빠르게 변화하고 있어, 동향을 주기적으로 분석할 필요가 있음

- 전 세계 에너지 시장은 태양광과 풍력을 중심으로 재생에너지로의 전환이 이루어지고 있음
- 우리나라도 에너지전환에 적극 동참하고 있으며, 국내 재생에너지 산업 부문도 경쟁력을 갖추기 위해 노력하고 있음
- 해외 시장과 정책의 변화에 대응하기 위한 분석과 국내 보급과 산업 육성에대한 시사점을 제공하는 것이 필요함

■ 신기후체제 출범, 탄소중립 선언 등 재생에너지 보급 활성화가 기대되는 가운데, 우리나라 재생에너지 산업 국제 경쟁력을 분석하고 문제점을 진단하여 정책 방향을 제시할 필요가 있음

- 파리기후협약이 채택되고, 신기후체제가 도래하면서 각 국가는 스스로가 설정한 온실가스 저감목표 달성을 위해 노력하고 있으며 해당국들의 재생에너지 시장이 확대되고 있음
- 이에 본 연구에서는 수출액 규모가 큰 국가와 우리나라를 대상으로 재생에너지 산업 경쟁력을 분석하고 문제점을 파악하고자 함
- 더불어 해외 주요국의 재생에너지 산업 보호와 해외 진출 사례를 분석하고 우리나라에의 시사점을 제시함

## 2 연구개발의 내용



## 01 국제 신재생에너지 보급 및 가격 동향

## ■ 최종에너지 소비 중 전력 부문에서 재생에너지 보급이 가장 적극적으로 이루어지고 있음

- 최종에너지 소비를 열, 수송, 전력으로 나누었을 때 재생에너지 보급은 전력이 27.1%, 열 10.2%, 수송 3.4% 순으로 전력 부문에서 재생에너지 보급이 가장 활발히 이루어지고 있음

## ■ 코로나19 상황에도 2020년 발전원 중 재생에너지 비중이 신기록을 경신하였고, 태양광과 풍력 위주로 보급도 증가함

- 2020년 태양광과 풍력이 전원구성에서 차지하는 비중은 역대 최대로 나타나는데, 이는 코로나19에 따른 경제봉쇄로 에너지 총수요가 감소하고 재생에너지 전력이 우선적으로 공급되었기 때문임
- 2020년 재생에너지 신규 발전설비는 258GW(태양광 139GW, 풍력 93GW)로 2019년 대비 57GW 증가하였으며, 순증가 발전설비 중 재생에너지 비중이 꾸준히 상승세로 2020년에 83%를 기록함
- 전 세계적으로 태양광과 풍력 위주로 신규 발전설비 보급이 이루어지나 개발도상국에서는 화석연료 기반 신규 발전설비 비중이 여전히 높은 편임

## ■ 균등화발전비용(LCOE)은 지난 10년간 빠르게 하락하는 추세로, 2020년에도 하락세를 보임

- 2010년부터 2020년까지 태양광 비용은 85%, 육상풍력은 56%, 해상풍력은 48% 감소하였으며, 2020년도에는 전년 대비 태양광 비용은 7%, 해상풍력은 9%, 육상풍력은 13% 하락함
- 태양광과 풍력 같은 변동성 재생에너지 보급 증가로 에너지저장장치(ESS) 보급이 중요해졌으며 ESS의 가격도 빠르게 하락하고 있음

## ■ 가격이 하락하면서 유틸리티급 재생에너지 설비는 가격경쟁력을 갖추었으나 지역별로 보급 비용의 편차는 큰 편임

- 전 세계적으로 많은 지역에서 대규모 태양광, 풍력이 가장 저렴한 신규 발전원이 되었으며, 화석연료 발전소의 한계비용과 비교해도 유럽 지역은 재생에너지 비용이 낮음
- 하지만, 지역별로는 보급 비용 편차가 큰 편으로 우리나라는 태양광과 풍력비용이 상당히 높은 편임

## ■ 해외 주요국은 재생에너지 보급에 따른 비용을 투명하게 공개하고, 해당 비용을 전기요금에 전가함

- 재생에너지 보급을 위한 보조금 정책 수단은 다양하지만, 주요국은 이를 전기요금을 통해 부과함
- 일본은 재생에너지촉진부과금을 전기요금에 부과하여 2019년 그 비중이 산업용 15%, 가정용 11%이며, 독일의 재생에너지 부과금의 최근 3개년(2019~2021) 전기요금 비중이 산업용 35.6%, 가정용 20% 수준이고, 호주의 환경비용(2019~2023)은 전기요금의 8% 정도를 차지함

## 02 국제 신재생에너지 정책 동향

■ 해외 주요국은 기후 위기 극복을 위해 장기저탄소발전전략(LEDS) 수립 등 탈탄소화를 위한 친환경 에너지 정책을 적극적으로 추진하지만, 전력부문 이외의 재생에너지 보급 확대를 위한 노력은 상대적으로 부족함

- 2050년까지 온실가스 감축 목표를 제출하는 과정에서 우리나라를 포함하여 세계 주요국은 2050년까지의 탄소중립 달성을 선언함
- 주요국은 탄소중립을 위해 재생에너지 보급 및 전력화를 위한 다양한 정책 수단을 포함한 투자계획을 발표함
- 재생에너지 보급 정책을 전력, 수송, 열로 나누어 보면 전력부문 보급 정책은 꾸준히 증가하고 있지만, 상대적으로 수송과 열 부문의 정책적 노력은 부족한 상황임

■ 재생에너지 보급 수단으로써 경매 제도가 확산되고 있으며 혼합경매와 해상풍력 경매도 확대될 예정임

- 태양광과 풍력은 가격경쟁력을 확보하면서 경매를 시행하고 있는 국가 수는 2009년 22개에서 2020년 116개로 빠르게 증가함
- 재생에너지 경매는 특정한 지역이 아닌 유럽, 미주, 아시아 전역에서 이루어지고 있으며 아시아 경매 시장 규모는 확대되는 추세임
- 그동안은 태양광과 육상풍력을 중심으로 경매가 이루어졌으며, 앞으로는 혼합경매 방식과 해상풍력 경매도 본격적으로 시작될 것으로 보임

■ 재생에너지 보급 지원제도로 재생에너지 전력 통합에 유리한 FiP로의 전환이 세계적 추세임

- 대표적인 재생에너지 보급 지원제도는 RPS와 FiT/FiP로, 최근 RPS를 채택한 국가 수는 정체되고 있지만, FiT/FiP를 정책 수단으로 선택하는 국가는 증가하고 있음
- 이는 재생에너지 발전 비중이 증가함에 따라 재생에너지원에도 전력시장가격 신호를 주기 위함으로 유럽 주요국은 경매를 수반하는 FiP 형식으로 제도를 변화하였고, 일본도 2022년부터 FiP 제도를 도입함

■ 주요 국제 다자협의체에서는 파리기후협약 채택 이후 탄소 저감의 주요 수단으로 신재생에너지 역할에 주목하였으나 인식의 차이를 드러냄

- 다자협의체에서는 신재생에너지 부문에서 기술 개발, 시장 확대, 보급을 위한 인센티브 제공 방안 등을 주요 안건으로 선정함
- 선진국과 개발도상국은 기후변화에 대응하는 방식에 차이를 보이는데, 용어를 보더라도 선진국은 '탄소중립'을, 개발도상국은 '저탄소'를 사용하길 희망함
- 이러한 인식은 앞으로 신재생에너지원을 지원하고 보급하는 입장차이로도 나타날 것으로 보임

### 03 국제 신재생에너지 산업 경쟁력

태양광 폴리실리콘과 웨이퍼는 중국의 저가 제품에 밀려 우리나라의 산업 경쟁력이 지난 10년 동안 약화됨

- 전 세계 폴리실리콘과 웨이퍼 시장은 상위 10개 기업을 중심으로 재편되고 있으며, 중국 기업의 비중은 75%를 초과함
- 폴리실리콘과 웨이퍼 가격이 하락하면서 중국 이외 국가에서 생산원가를 하회함에 따라 해당 사업을 포기하거나 공장 규모를 축소함
- 폴리실리콘 생산원가의 전기요금 비중은 40% 수준으로, 국내에서 폴리실리콘을 생산하기 위해 지급하는 전기요금이 미국이나 중국보다 높아서 폴리실리콘을 생산하기 어려운 상황임

국내 태양전지와 모듈 산업에서는 국제 경쟁력을 갖추었지만, 경쟁력이 다소 약화되고 있음

- 우리나라 기업의 태양광과 모듈 각각의 전 세계 생산량 비중은 6%와 7%로 전 세계 3위와 2위를 기록하였으나 다소 하락하는 추세이며, 중국 기업 비중은 태양전지와 모듈 각각 83%와 74%로 꾸준히 증가하는 추세임
- 우리나라 태양전지/모듈 산업은 태양광 여타품목에 비해 비교 우위에 있으나, 지난 10년간 수출 특화가 약해지고 있음

국내 풍력 산업은 전체적으로 국제 경쟁력이 약한 편이지만, 지난 10년간 주요 부품인 블레이드와 타워 산업 경쟁력은 소폭 개선되었음

- 국내 블레이드 산업은 지난 10년간 꾸준한 연구개발과 상품 생산으로, 아직은 여타 품목과 비교하여 비교열위 산업이나 그 수치가 소폭 개선됨
- 타워 산업은 일부 국제 경쟁력을 가진 기업들이 있으나, 타워 산업 특성상 현지화 되어있어 우리나라에서 수출하기 쉽지 않은 상황임
- 기어 산업은 우리나라의 여타품목에 비해 수입특화품목이지만 지난 10년 동안 수입특화가 약화되고 있는 추세임

### 04 해외 주요국 재생에너지 산업 정책

해외 주요국은 재생에너지 산업 경쟁력을 강화하기 위해 공통적으로 투자와 보조금을 포함한 재정지원을 하고 있음

- 유럽의 '유럽그린딜'은 2050년 탄소중립 달성을 위한 정책 패키지로, 이를 뒷받침하기 위한 투자 계획과 유럽 기후법 제정 등을 모두 완료한 상황임
- 미국에는 '사회기반시설 투자 및 고용창출법안'이 있는데, 여기서는 재생에너지 보급 저변 확대를 위한 송전망 구축 등의 내용이 포함됨

- 일본은 우리나라와 비슷하게 설비 보급에 보조금을 지원하고 연구개발에 투자금을 지급함

■ 재생에너지 산업 보호 정책으로는 EU의 ‘반덤핑·상계관세’, ‘EU 환경기준 강화’와 미국의 ‘미국산 제품 우선 구매제도’와 ‘세이프가드(긴급수입제한조치)’가 있음

- (반덤핑·상계관세) EU는 중국이 생산비보다 낮은 태양광 패널을 판매한다는 이유로 2013년부터 2018년까지 반덤핑·상계관세를 부과하였으며, 현재 중국산 풍력 타워에 반덤핑을 부과함
- (환경기준 강화) EU는 역내 산업 보호를 위해 강화된 환경 기준을 적용하여, 수입을 제한하거나 관세를 부과하기도 하는데 대표적인 예로 탄소 국경세가 있음
- (미국산 제품 우선 구매제도) 미국은 미국산 제품 우선 구매법을 도입하여 몇 가지 예외를 제외하고 미국 내에서의 건설자재만의 사용을 규정하고 있는데, 국내 제품 정의는 구성품 원가의 50% 초과임
- (세이프가드) 미국은 2018년 1월 태양전지·모듈에 대한 세이프가드를 발효함으로써 자국의 태양 전지·모듈 제조업을 보호하기 위한 조치를 취하였으며, 이후 4년 동안 태양전지는 매년 2.5GW의 킬터 이상에 대해서 관세를 부과하며, 모듈에는 전량 관세를 부과함

■ 재생에너지 해외 진출 지원 방안으로 개발도상국에 재생에너지 보급 사업을 지원하는 정책이 있으며, EU의 경우 역외국과 무역협정에서 기후변화 대응문제, 재생에너지 이용 확대 등과 관련된 비무역 의제들을 포함시키고 있는 것이 특징임

### 3 결론 및 정책제언



#### 01 재생에너지 경매와 전력시장 통합 고려 필요

■ 현재 전 세계적으로 경매와 FiP로의 보급 정책이 전환되고 있으며 우리나라도 현재 RPS제도에서 보급 정책 변환을 고려해 볼 시점임

- 경매와 FiP로의 제도적 변화는 시장이 효율적으로 작동하도록 하는 방안으로 경매는 재생에너지 보급에 경쟁을 유발하는 것이고, FiP는 전력 시장에 통합되어 재생에너지가 전력 시장에서 가격에 반응할 수 있도록 하는 방안임
- 우리나라는 재생에너지 보급에 경매를 적극적으로 활용하지 않아 경쟁을 통한 가격 하락이 제대로 이루어지지 않고 있는 상황으로 국제적인 기준으로 봤을 때 재생에너지 보급 비용이 높음
- 또한, 현재의 제도 하에서는 재생에너지가 전력 시장 가격에 반응할 유인이 부족한 상황으로 향후 태양광과 풍력이 주력 전원으로 부상하였을 때 재생에너지의 전력통합에 문제가 됨
- 따라서, 경매를 활용한 경쟁과 재생에너지 전원에 대한 시장통합을 고려한 기존의 RPS제도의 수정이나, 해외의 사례와 같이 RPS제도를 폐지하고 FiP로의 전환이 필요한 시점임

## 02 - 개도국과 국제협력 채널 확대 및 협력

- 에너지 다자협의체에서 선진국 그룹과 개발도상국 그룹의 입장차이를 이해하고 국제협력에 적극 참여 필요
  - 다자협의체에서 선진국 그룹은 재생에너지 위주의 전환을 기본 경로로 생각하는 반면 개도국 그룹은 청정에너지 기술개발을 통한 청정한 에너지 사용을 강조함
  - 경제력 및 기술 수준, 재생에너지 개발 환경, 누적 탄소배출량 등 다양한 요인으로 인해 앞으로도 양 그룹 간 입장 차이는 계속될 것으로 보임
  - 따라서, 재생에너지뿐 아니라 청정에너지 기술 개발 및 보급 가속화를 위한 국제협력도 중요한 것으로 예상되며 관심사에 부합하는 국제협력에 적극적으로 참여하여 채널 확대 및 주요국과의 협력 사업 발굴 기회로 활용할 필요가 있음

## 03 - 재생에너지 산업 육성을 위한 노력 필요

- 국내 태양광 산업은 비교 우위에 있으나, 산업 경쟁력이 약화되고 있어 이를 극복하기 위한 경쟁력 강화 방안이 필요함
  - 폴리실리콘과 웨이퍼의 생산량 중 중국 기업 비중이 꾸준히 증가하고 있어, 중국 기업의 독점 구조를 구축한다면 공급망 안정성이 우려되는 실정임
  - 따라서 이를 극복하기 위해서는 공급선 다변화를 위해 노력하고 국내 제조 산업 경쟁력 강화 방안을 마련하는 한편, 장기적으로는 차세대 태양광 기술로의 기술전환이 필요함
- 국내 풍력 산업은 국제 경쟁력은 약하지만, 그 정도는 꾸준히 개선되고 있으므로, 이를 유지하기 위한 정부의 추가적인 지원 정책이 필요할 것임
  - 국내 풍력 산업 경쟁력은 약하지만 정부의 기술개발 지원 등으로 그 수준은 개선되고 있음
  - 정부는 이러한 상황이 유지될 수 있도록 국산 제품 활용에 인센티브를 부여하거나, 핵심부품 개발을 위한 정부 재원을 활용할 수 있음
- 우리나라의 재생에너지 산업 육성을 위해서는 공통적으로 재생에너지 R&D와 제조업 시설투자, 세액 공제, 제조업 인센티브 등을 고려할 수 있음
- 더불어 우리나라 재생에너지 제조업 육성 및 우리 여건에 맞는 강화된 환경기준을 적용하고, 필요시 불공정 무역 조사 진행과 결과에 따라서 반덤핑·상계관세, 세이프가드를 고려해 볼 수 있음

## 태양광발전 저출력 구간 효율 향상을 위한 능동형 온라인 모듈 PCS 기술 개발



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
한국전력공사 전력연구원	2020년	이우종	자체 연구개발과제

### 1 연구개발의 필요성 및 목적



#### ▣ 정부의 3020 방침에 따라 2030년까지 태양광발전량은 36.5GW에 이를 것으로 예상

- 2015년 12월에 채택된 파리 기후변화 협약(Paris Agreement)으로 인하여 전 세계적으로 온실가스를 줄이려는 노력으로 재생에너지의 비중이 급속히 증가
- 이 중 재생에너지 신규설비 95% 이상을 태양광 및 풍력 등의 청정에너지로 공급할 예정

#### ▣ 발전 효율 향상 및 고품질 전력을 유지할 수 있는 기술이 필요

- 정부의 재생에너지 3020 방침에 따라 수십 GW 이상의 신재생에너지가 계통으로 연계될 것으로 예상
- 그에 따른 문제점으로 불규칙한 출력 변동으로 계통의 품질 저하가 발생할 수 있어 고품질의 전력을 유지하는 기술이 필요할 것으로 예상
- 또한 다양한 발전사업자는 다수의 전력변환장치가 연계된 대용량 발전단지의 효과적인 운영 기술이 필요
- 기상악화 및 시스템 고장 시 발전손실저감 및 지속적인 발전 공급 기술을 시장에 요구

#### ▣ 태양광발전 저출력 구간 효율 향상용 PCS 기술 개발

- 재생에너지의 많은 부분을 차지할 것으로 예상되는 태양광 발전시스템은 기상의 영향을 많이 받는 신재생에너지로, 구름이 없는 맑은 날은 시스템의 최대 출력 구간에서 발전하지만, 일몰, 일출 및 구름 낀 기상에서는 발전량이 줄어들어 시스템의 전체적인 발전 효율이 저하되며, 특히 정격 발전량 대비 20% 이하의 구간, 즉 저출력 구간에서는 PCS의 변환효율이 정격 출력보다 많이 낮아짐
- 또한 기존 태양광 시장의 PCS 구조는 대용량의 경우 중앙집중형(Central) 방식으로 운영되고 있었으나, 저출력 발전(일출, 일몰, 음영 등)의 PCS 효율 저하가 발생하고, PCS 고장 발생 시 해당 발전소는 발전이 불가능하다는 문제가 있음
- 본 연구를 통해 개발하고자 하는 능동형 온라인 모듈 구조의 PCS는 현재 대부분 사용되고 있는

Central 방식의 PCS에 비해 저출력 구간에서의 효율 향상 및 PCS 고장시 일부 설비는 발전이 가능할 것으로 예상

- 태양광 발전의 대형단지 뿐만 아니라 중대형 발전단지에도 적용 가능하여 경제적 수익 증가, 계통 전력품질향상 그리고 시스템 수명 증가에 기여할 것으로 기대

## 2 연구개발의 내용 및 범위



### ■ 능동형 온라인 모듈(Active Online Modular) PCS 토폴로지 개발

- 2-Level 방식 PCS 다중 스택 토폴로지 개발
- 다중 스택의 결선, 스위치 구성, 필터 방식에 따른 차별성 연구

### ■ 공통 입력 시 PCS 사이에서 발생하는 순환전류 보상 기법 개발

- AOM 방식 PCS의 발생가능 순환전류 분석 및 시뮬레이션 수행
- 순환전류 보상을 위한 PCS 각 스택 간 동기화 기법 개발

### ■ PCS 최대 변환 효율 구간에서의 동작을 통한 효율 향상 기술 설계 및 구현

- AOM 방식 PCS의 저출력 구간에서 주요부분 분석을 통한 저출력 구간 최적효율 설계
- 설계된 방식에 대한 저출력 구간 최적효율 운전점 시뮬레이션 및 실시간 제어검증 수행

### ■ 실시간 제어검증시스템을 통한 AOM PCS의 모의 및 검증

- AOM 방식 실시간 제어검증시스템 기반 PCS 모의 및 동작 검증
- 기존의 Central 방식과의 동작 비교 및 용량별 최적 구조 선택을 위한 경제성 분석

## 3 연구의 기대효과



### ■ 기술적 측면

- 우리나라도 파리 기후변화 협약과 정부의 3020계획으로 인하여 온실가스를 줄이기 위해 분산형 전원의 비중이 크게 증가할 것으로 예상되고 있으나, 신재생에너지 자원이 상대적으로 부족하여 고효율 운전이 가능한 발전 시스템의 개발이 필요하며, 높은 수준의 신재생에너지 전력변환기술을 확보하고 수출기반을 마련하는 등 전력산업 분야에 대한 기술적인 파급효과가 예상됨
- 본 과제를 통해 태양광 발전에 사용되는 전력변환관련 국내 기술의 고도화가 가능할 것으로 판단됨
- PCS 토폴로지 및 제어기술은 전력연구원이 독자 개발하여 국내 기술자립을 달성하여 결론적으로 하드웨어와 소프트웨어 기술 전체를 자립하게 됨

## 경제적·산업적 측면

- 개발품을 상품화하여 기술이전하면 우리 회사의 수익을 증대할 수 있음
- 태양광발전의 전력품질을 향상시켜 배전운영, 관리 등 우리 회사의 수익을 증대할 수 있음
- PCS 토폴로지 및 제어기술은 전력연구원이 독자 개발하여 국내 기술자립을 달성하여 결론적으로 하드웨어와 소프트웨어 기술 전체를 자립하게 됨

## 사회적 측면

- 신재생에너지 발전원의 고장 등에 의해 발생 가능한 발전출력저하 상황을 예방하여 전력관리 신뢰도 향상이 가능
- 태양광발전의 전력품질을 향상시켜 배전운영, 관리 등 우리 회사의 수익을 증대할 수 있음
- 태양광 발전의 확대에 기여함으로써 세계적인 기후변화협약에 능동적으로 대처하여 국가 신인도를 향상시킬 수 있음

## 해상풍력 수산업 환경 공존 기술 개발에 관한 공동기획연구



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
한국전력공사 전력연구원	2020년	강금석	자체 연구개발과제

### 1 사업의 목적 및 필요성



#### ■ 사업의 목표

- 국내 대규모 해상풍력 개발 추진에 따른 이해관계자간 갈등, 수산업, 환경과의 해양공간 중첩 문제를 해결하기 위하여 공존-적합 해상풍력과 해상풍력-친화 수산업·환경을 개발하여 한국형 해상풍력-수산업 공존 권역별 기술 패키지를 수립하여 보급하고자 한다.

#### ■ 사업의 필요성

- (해상풍력 추진) 정부 재생에너지 이행계획에서 2030년 재생에너지의 발전량 비중을 20%까지 늘리고 설비용량을 78GW 그 중 해상풍력을 28GW로 확대하기로 계획하였다. 현재 추진 중인 65건의 해상풍력 사업 대부분은 지역·주민 수용성, 인허가 단계에서 사업 지연을 겪고 있다.
- (갈등 해소) 해양 공간을 이용하고자 하는 수요가 늘어나 기존 사용자인 수산업과 신규 진입하는 산업인 해상풍력을 둘러싼 이해관계 충돌, 갈등이 지속 되고 있다. 해상풍력을 추진하는 국내 해역에서 중첩 문제가 발생하고 있고 이로 인한 갈등을 해소하고 이종 산업과의 공존으로 시너지를 창출할 수 있는 방안을 적극적으로 모색할 필요가 있다.

### 2 사업의 내용 및 범위

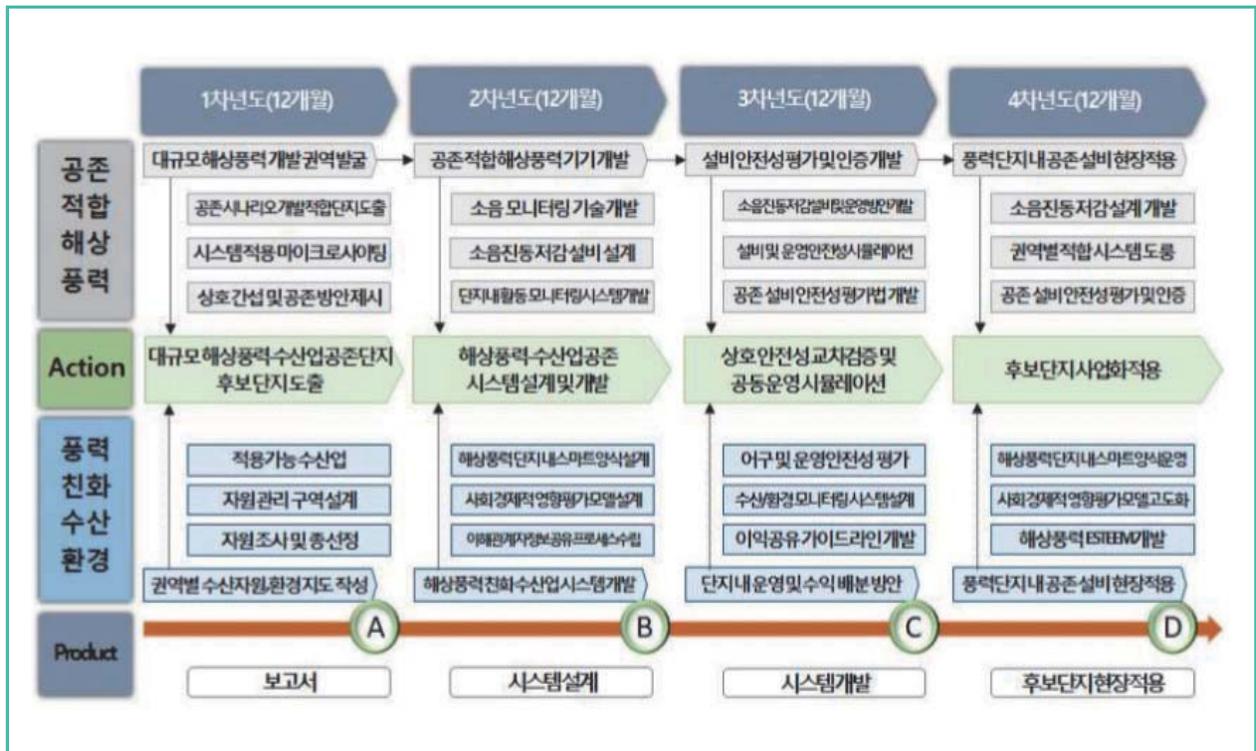


#### ■ 사업의 내용

- 공존에 적합한 해상풍력을 위한 공존 안전성 평가, 수중소음 모니터링 미치 저감 장치 개발과 해상풍력 친화 수산업을 위한 생태통합 양식 및 생물자원 조성 증식 모델을 개발한다. 해상풍력과 수산업의 공존을 위한 이익공유 가이드라인, 수용성 확보를 위한 tool로 ESTEEM 개발, 사업주기에 따른 사회 경제적 영향을 예측 평가 연구를 수행하고자 한다.

대 주제	세부 주제
① 수산업 공존 적합형 해상풍력단지 설계	가. 해상풍력단지 내 시설물 안정성 평가 기준 개발
	나. 해상 풍력단지 별 공존 타입 시나리오 개발
	다. 해상풍력발전기 수중소음 영향 평가 및 상시 모니터링 기술 개발
	라. 해상풍력발전기 수중소음 예측 기술 개발
② 해상풍력-친화 수산업 기술 융합	가. 스마트 해상풍력단지 활용 생물자원조성 증식모델 개발
	나. 해상풍력단지 내 생태통합양식 설계 기술 개발
	다. 외해 원격 모니터링 및 수중 데이터 분석 기술 개발
③ 시스템, 제도 기반 해상풍력 수산업 공존	가. 해상풍력단지 내 자원 공유 및 안전 관리 운영시스템 개발
	나. 해상풍력 지역상생과 이익공유를 위한 가이드라인 개발
	다. 해상풍력 사업의 수용성 확보를 위한 ESTEEM 개발
	라. 해상풍력발전 사업주기(lifecycle)에 따른 사회경제적 영향 예측·평가
마. 오픈 이노베이션을 통한 수용성 증진 모델 개발 및 검증	

## 추진 체계



## 부처별 역할

산업통상자원부	- 공존 적합 해상풍력 개발	
	단지설계	단지 내 시설물 설치 안전성 평가 기준 수립
		해상풍력단지 별 공존 타입 시나리오 개발
	하부구조물	해상풍력발전기 수중소음 영향 평가 및 상시 모니터링 기술 개발
해상풍력발전기 수중소음 예측 기술 개발 소음 저감 장치개발		
해양수산부	- 해상풍력 친화 수산업, 환경 공존	
	신규 양식/어업	스마트 해상풍력단지 활용 생물자원조성 증식모델 개발
		해상풍력단지 내 생태통합양식 설계 방안
환경자원 모니터링	외해 원격 모니터링 및 수중 데이터 분석 기술	
부처간 협의	- 부처간 협의 및 관련 제도	
	운영 시스템	자원 공유 및 안전 관리 시스템 개발
	정책 및 BM 개발	해상풍력 지역상생과 이익공유를 위한 가이드라인 개발
		해상풍력 사업의 수용성 확보를 위한 ESTEEM 개발
해상풍력발전 사업주기(lifecycle)에 따른 사회경제적 영향 예측·평가		

## 3 소요예산 및 투자 계획



- 연구기간 : 4년(2022년~2026년)
- 소요예산 : 400억원
- 산업부 160억원(신재생에너지핵심기술개발 사업, 전력기금) \* 추가 협의 필요
- 해수부 240억원(부처사업) \* 추가 협의 필요

## 4 연구개발의 내용



- 최종 성과물
  - 후보단지 해상풍력-수산업 공존 사업화
  - 단지 내 공존 안전성 평가 기준
  - 소음·진동 저감 설비 및 운영 기법

- 외해 스마트 양식 시스템 개발, 운영
- 해상풍력 사회경제적 영향 예측 평가 모델
- 해상풍력 ESTEEM 개발

### ■ 성과물 활용방안

- 해상풍력-수산업 공존 사업화를 위한 후보단지를 도출하고 풍력사업자, 지역 주민, 정부·지자체와 협력하여 연구기간 내 개발한 외해 스마트 양식 시스템, 해상풍력 사회경제적 영향 예측 평가 모델, 해상풍력 ESTEEM 개발, 소음·진동 저감 설비 및 운영 기법을 적용 사업화 하는 것을 목표로 한다.
- 지역주민은 사업의 계획 단계부터 연구과제에서 도출한 공존방안에 적극 의견을 제시하고, 풍력 사업자는 인허가로 인한 사업지연을 방지하고 공존 사업에 적극적으로 참여한다.
- 지역주민이 문제로 제기한 소통 부재, 환경영향, 어업구역 축소로 인한 경제적 타격을 해결하기 위해 해상풍력과 수산업의 공존을 도모하며, 풍력 사업자의 경우 인허가 문제로 인한 사업 지연과 이해관계자간의 갈등을 최소화한다.

## 5 기대성과 및 파급효과



### ■ 기술적 기대효과

- 국내 해상공간 이용 실태를 반영한 해상 특성별 공존 기술 패키지 확보
- 수중소음 영향 기준 및 운영 시 저감 기술 확보
- 수층공간을 활용한 스마트 해상풍력단지 활용 생물자원 조성 모델 개발
- 생태 통합 양식 설계 및 운영 레코드 확보
- 주민 의견을 반영한 수용성 개선 프로세스화

### ■ 사회·경제적 기대효과

- 해상풍력-수산업 공존 시장 확대 및 직·간접 고용 창출
- 해상풍력 단지 활용 자원 조성 및 생태통합 양식으로 어촌의 작업 편리성 증대, 노동력 투입 및 노동강도 절감 등 생산성 증대
- 해상풍력 사업 개발로 온실가스 감축 및 신재생에너지 보급 촉진

## 부유식 해상풍력 기반기술 개발전략 수립



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
한국전력공사 전력연구원	2020년	정민욱	자체 연구개발과제

## 1 연구개발 추진 배경



- 부유식 해상풍력(floating offshore wind)은 부유체에 해상풍력터빈을 설치하여 운영하는 기술로, 해저 지반에 견고하게 설치하는 기존의 고정식(fixed) 해상풍력과 대비 되는 개념임
- 고정식 해상풍력은 그 특성상 천해, 중수심과 같은 수심 50m 이하의 해역에서 설치가 이루어지고 있어, 단지개발 영역의 한계가 존재함. 반면, 부유식 해상풍력은 50m 이상 대수심에 설치가 가능하여 고정식 해상풍력의 수심제약을 극복할 수 있음
- 부유식은 고품속 대수심 외해지역에서 효과적으로 적용할 수 있는 기술이므로, 재생에너지 부지로 활용 가능한 국토가 협소한 국내에서는 장기적으로 개발영역을 외해로 확장할 수 있는 훌륭한 대안이 될 수 있음. 재생에너지 3020 이행계획에 따라 '18년부터 '30년까지 48.7GW의 신규 재생에너지 개발이 필요하며, 이중 풍력이 34%인 16.5GW를 분담하여야 함
- 국내의 경우, 연안에서 수심이 급격히 깊어지고 연평균풍속 8m/s 이상인 해역이 존재하는 동해남부해역이 부유식 적용에 유망할 것으로 판단됨
- 고정식 해상풍력은 상부의 터빈 및 타워가 하부구조와 일체로 형성되는데 반해, 부유식 해상풍력은 터빈 및 타워가 부유체에 거치되고, 부유체는 지반에 고정된 앵커(anchor)와 계류라인(mooring line)를 통해 연결되어 자세 및 위치를 유지하는 방식임. 여기서 부유체, 앵커 및 계류라인을 부유식 하부구조(기초)로 통칭함
- 부유식은 부유체 형태 및 계류방식에 따라 세가지 형식이 대표적임. 상단 좌측의 그림과 같이 Spar-buoy, 반잠수식(Semi-submersible), 인장각 플랫폼(TLP, Tension Leg Platform)로 분류하고 있음

- 부유식은 해양플랫폼과 같이 심해지역에 설치운영되므로, 개발 시 Oil & Gas 분야 노하우를 활용하면 기존 고정식 및 육상풍력 기반기술의 한계를 극복할 수 있음. 특히, 앵커 및 계류, Dynamic cable 등이 흔히 사용되고 있어 적절한 참고사례가 될 수 있음
- 부유식 해상풍력은 KEPCO 2030 기술전략 8대 핵심기술인 “신재생에너지”의 세부 기술로 선정되어 중장기 기술개발 방안이 전략적으로 마련되어야 하며, 이를 위해 우선적으로 부유식 해상풍력 기반기술 분석 및 연구개발 전략 수립이 필요함

## 2 연구개발의 목표 및 필요성



- 부유식 해상풍력 기반기술 분석 및 중장기 연구개발 전략 수립
  - 부유식 해상풍력 국내외 시장/기술동향 및 요소기술 분석
  - 국내 적합 부유식 해상풍력 개발방안 도출 및 중장기 개발 로드맵 수립
- 고품속 외해지역 설치가 가능한 대수심용 부유식 해상풍력 개발 필요
  - 재생E 3020 이행계획 : '30년까지 신규 48.7GW 중 풍력이 34%인 16.5GW 분담
  - 협소한 국토부지 제약 : 외해개발 확대를 위해 부유식 해상풍력 기술개발 필수
- 부유식 해상풍력 연구개발은 기술도입 단계로 명확한 연구개발 로드맵 부재
  - 높은 실증비용과 낮은 시장성속도로 상용화 수준 기술성 및 경제성 미확보
- 부유식 유망기술 발굴 및 연구개발 추진방향 정립 필요

## 3 연구 수행 내용



- 국내외 부유식 해상풍력 시장/기술동향 분석
  - 해외 실증현황 및 기술개발단계 검토
  - 국내 부유식 해상풍력 추진현황
- 부유식 해상풍력 요소기술 분석 및 기반기술 구축
  - 요소별 기술특성 분석 : 부유체 플랫폼, 앵커/계류설계, 부유식 계통연계 등
    - 부유체 : 반잠수식, 인장각 플랫폼(TLP), Spar Buoy 등 형식별 검토
    - 앵커 : 지반별 적합형식, 형식별 점유율
    - 계류 : 배치형태별 길이/중량 등 특성분석
  - 초기단계 설계/해석을 위한 기반기술 구축

### ■ 국내 적합 부유식 해상풍력 개발방안 도출

- 분석대상 : 수심 60m 이상, 대형터빈 탑재(대형터빈 : 6MW급 이상 풍력터빈)
- 국내 부유식 적용성 검토 및 Supply chain 조사
- 국내 부유식 해상풍력 후보지 분석
- 부유식 해상풍력 비용구조 및 개략 경제성 분석
- 요소기술별 비용절감방안 검토 및 국내 적합 적용성/경제성 향상 기술개발 방안

### ■ 중장기 연구개발전략 수립 및 유망요소기술 선정

- 수용성 확보모델 및 핵심기술 R&D 도출
- 중장기 핵심기술 개발계획 및 실행방안 수립
- 중점 연구개발 추진 핵심 유망요소기술 선정
  - 기확보 기술과의 연계성, 시장주도권 확보 가능성, 파생분야 파급효과 등 고려

## 4 연구개발 성과



### ■ 기술적 측면

- 국내적합 부유식 해상풍력 유망요소기술 도출
- 부유식 해상풍력 중장기 연구개발 전략 수립에 따른 기술개발 기반 확보

### ■ 경제적 측면

- 대수심 외해지역 개발확대 및 신규 개발시장 창출
- 고품속 대수심해역 개발 시 기존 대비 연간발전량 20% 이상 향상 기대

### ■ 연구개발성과물(Deliverables)

- 부유식 해상풍력 중장기 연구개발 로드맵

## 5 연구개발결과 활용 방안



### ■ 활용방안

- 부유식 해상풍력 후속과제 제안 및 수행기반 구축
- KEPCO 2030 8대 핵심기술 세부 실행방안 도출

## 신재생에너지 수용성 제고를 위한 백업전원 확보 연구



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
한국전기연구원	2020년	김창수	국가 연구개발과제

### 1 연구개발 필요성 및 목적



#### ■ 전력수급기본계획 수립과 신재생에너지 보급

- 정부는 장기적인 전력공급정책으로 저공해, 친환경 중심의 전력공급시스템으로 개편하기 위한 정책을 추진하고 있으며, 이를 위하여 원자력발전소의 신규발전소 건설을 중단하고, 석탄화력발전소의 신규건설을 억제하는 정책 등으로 친환경 중심의 공급체계를 구축
- 친환경 중심의 에너지공급 정책의 핵심은 재생에너지에 의한 전력생산을 확대하는 것이며, 신재생에너지 보급 확대를 위한 RE3020계획 (2030년까지 전력공급에서 재생에너지가 차지하는 공급비율을 20%까지 확대하는 정책)을 추진 중

#### ■ 전력분야의 재생에너지 공급의 수용성 문제

- 재생에너지 설치를 위하여 상대적으로 좁은 면적에 신재생에너지 설비건설이 집중되고 이러한 집중성은 재생에너지 전원별 실시간 발전의 동시성이 높아지게 되어 전력생산의 변동 폭이 확대되는 문제점이 발생
- 신재생발전의 최대생산량과 최소생산량의 변동 폭의 확대와 함께 시간대별 출력변동률의 증가가 발생하여 계통운영에 있어서 장애 요인으로 발생하며, 이러한 요인은 재생에너지 발전설비의 공급비율을 확대에 제약조건으로 작용할 수 있음
- 우리나라는 지금까지 전력수요의 부하율이 높아서 기저발전설비가 높은 비율을 차지하고 있다. 특히, 원자력발전소는 부하추종을 하지 않는 고정출력으로 전력을 공급하고 있어서 신재생에너지 공급 확대에 따른 전력공급 변동성 대응에 어려움 증가
- 재생에너지 공급확대의 걸림돌이 되는 제약조건을 해소하기 위하여 재생에너지 공급에 대응하는 백업전원의 확보가 필요

## 신재생에너지 공급확대에 대비한 수용성 증대방안

- 지금까지 재생에너지 공급비율은 전체 에너지에서 차지하는 비율이 매우 낮으며, 재생에너지의 중요한 부분을 차지하고 있는 태양광발전과 풍력발전은 공급의 초기 단계에 있으므로 계통이 미치는 영향이 적음
- 재생에너지 공급에 대한 백업전원의 관점은 신재생에너지 공급에 따른 설비 확대 효과를 억제하고, 기존전원을 이용하여 전력공급이 가능하도록 설비를 구성하고 있으며, 태양광발전은 설치용량의 13%, 풍력발전은 설치용량의 2.2%만 설비용량으로 반영

<표 1> 신규 신재생에너지 용량

(단위 : MW, %)

구분	수력	태양광	풍력	해양	바이오	폐기물	연료 전지	부생 가스	IGCC	소계
정격용량	57	14,774	7,460	770	56	16	1,190	1,427	900	26,649
피크기여도	28.0	13.0	2.2	1.1	23.3	10.2	70.1	68.6	60.0	-
실효용량	16	1,921	164	8	13	2	834	979	540	4,477

※ 제7차 전력수급기본계획에서 신재생에너지의 용량 반영

- 신재생에너지 공급중심의 설비를 고려하는 경우 현재의 백업전원 반영방법은 대부분의 백업전원으로 석탄, LNG복합 등을 적용하고 있는 형태이며, 단순하게 최대부하 시점의 공급확률만을 고려한 형태임
- 최대부하 시점의 공급확률만을 고려하는 방법은 보는 시각에 따라 전체 설비공급에 있어서 과잉공급으로 보일 수 있으며, 특히 재생에너지 전원별 공급특성과 백업전원의 공급특성을 고려한 백업전원의 경제성, 신뢰성, 운영 효율성 등을 고려하지 않은 방법으로 추진됨에 따라 향후 신재생에너지 공급에 따른 수용성 확보 비용이 증가할 수 있음

## 신재생전원에 대응하는 수용성 확보를 위한 백업전원 특성분석 필요

- 태양광과 풍력발전은 실시간 전력공급의 변동성과 함께 공급되는 전력의 불확실성이 높아지는 문제점이 있음. 전력공급의 불확실성은 다양한 예측기법의 개발과 실적 데이터의 누적을 활용한 빅데이터 기법으로 일부 해소가 가능하나, 전력필요시 생산할 수 없는 제약발전과 실시간 발전출력의 변동은 재생에너지 고유의 특징이므로 이를 극복하는 보완 수단이 필요
- 신재생에너지(태양광, 풍력)를 확대하는 정부 정책이 수립되어 추진되고 있으며, 불확실성 전원의 증가로 계통에서 차지하는 비중이 커짐에 따른 백업전원의 필요성에 대한 공감대는 형성됨
- 백업전원의 기준과 규모에 대한 기준이 마련되지 않아서 발전사, 전력거래소, 한전 등 각사의 여건에 따라 백업전원에 대한 종류와 규모를 다르게 설정하고 있어서 국가적으로 고유의 계통특성을 반영한 백업전원이 구성되어야 신재생에너지의 수용성이 확보

## ■ 신재생전원 확대에 따른 공급자원 유연성 평가와 수용성 확보

- 현재 또는 미래에 백업전원으로 활용 가능한 설비에 대한 운영특성 분석 및 재생발전 자원의 백업활용 가능성을 통계분포 및 빅데이터 기법으로 분석이 필요함
- 저공해 백업전원 : ESS (EV의 V2G포함), DR, 연료전지, 양수 등
- 일반전원 활용한 백업전원 : 가스터빈(GT), 가스복합, 가스엔진 등
- 백업전원의 특성에 따른 전원구성알고리즘을 구축하기 위하여 비용, 계통운영 등을 모의할 수 있는 시스템을 구축 (자체 연구를 통하여 알고리즘 개발)이 필요하며, 관련 알고리즘 구축은 신재생 보급 비율이 높은 유럽의 신재생 운영자료를 획득하여 국내 상황과 비교하는 연계분석을 수행

## 2 연구개발 내용 및 범위



### ■ 신재생에너지 출력변동, 발전패턴, 계통특성 분석

- 태양광, 풍력발전의 특성분석 및 보급에 따른 순부하변동성의 확률분포 분석

### ■ 신재생의 백업전원 현황 분석

- 백업전원 유형별 변동성 대응 특성 조사

### ■ 신재생전원을 포함한 계통운영 적정성 평가지표 분석

- 신재생보급 시나리오의 계통운영 적정성 평가지표 자료 분석

### ■ 신재생 수용성 제고를 위한 백업전원 특성 및 비용분석

- 신재생에 대응하는 공급자원의 운영특성 및 유연성 공급의 비용영향 분석

### ■ 신재생전원과 백업전원의 유연성 기여 모델링 개발

- 유연성 평가 모델링 및 산정 SW 개발

### ■ 신재생전원 수용성 제고를 위한 수용성 평가지표

- 신재생 구성에 따른 수급계획의 유연성 평가지표 시산

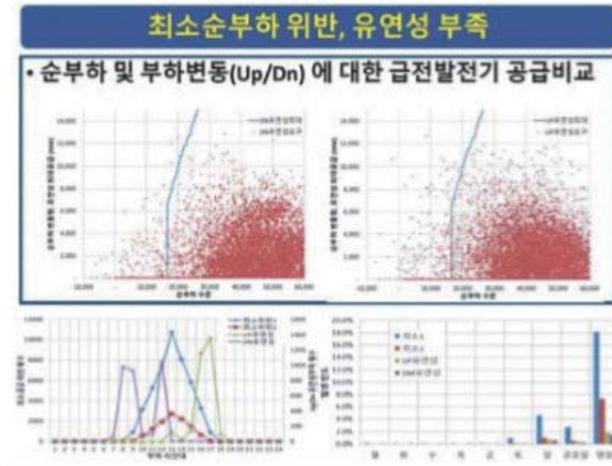
### 3 연구개발 결과의 활용



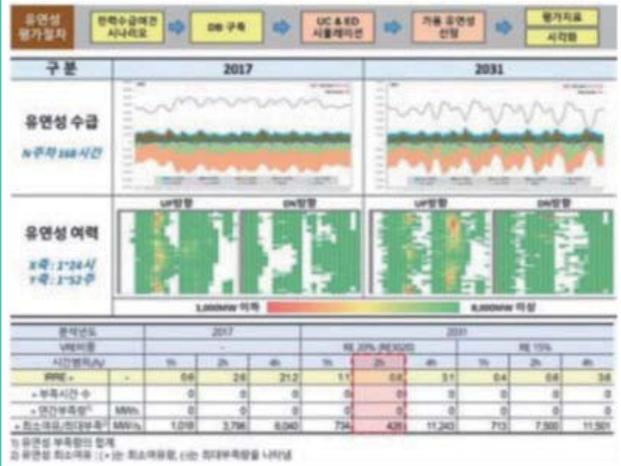
- 신재생에너지 확대에 전형적인 수급패턴의 변화와 변동성이 확대되어 전력시스템의 안정운영에 대한 새로운 도전에 직면하고 있어 전력시스템의 유연성 확보를 위해 유연성 평가 및 지표개발이 요구되고 있다. 도전적인 신재생에너지 확대는 전력시스템이 사전에 철저하게 관리되고 준비되어야 가능하기에 신재생에너지의 변동성과 가변성을 감안한 전력시스템의 새로운 기능요구로서 유연성 기준의 정립이 필요하다.
- 본 연구개발이 완료되면 국내 수급환경에 적합한 신재생에너지 수용성 분석 및 효과적으로 확대할 수 있는 백업전원을 구성방안을 분석할 수 있으며, 수용성 제고를 위한 방안을 도출할 수 있는 기반을 구축할 수 있다.
- 기존 전력수급계획은 용량확보 관점의 공급신뢰도를 LDC와 가용률을 바탕으로 수립하고 있다. LDC(부하지속곡선)에는 시간정보가 배제되어 부하변동성을 구별할 수 없으므로 미래 변동성 확대 상황에서 공급신뢰도를 보장할 수 없다. 이에 부하변동성에 대한 변동량의 방향과 시간범위를 고려하여 다양한 유연성 평가범주를 포괄한 평가지표를 도출하는 한편, 유연성 의사결정을 위한 시각화 방안도 제시하였다.
- 신재생에너지의 비약적 확대에도 불구하고 전력시스템의 유연성을 적정하게 확보하여 안정성을 담보할 수 있는 전력시스템 운용기준을 정립함과 동시에 지속적으로 신재생 에너지 설비의 전력시스템 운용성능 제고를 위한 기술개발을 독려할 수 있다.
  - 국내 신재생자원(태양광, 풍력)의 출력변동과 불확실성 관점에서 발전특성 분석자료를 구축함으로써 신재생에너지 보급확대에 따른 계통 및 수급영향을 객관적으로 분석활용
  - 유연성 평가지표를 통하여 신재생에너지의 수용성을 분석하고, 효과적으로 향상시킬 수 있는 평가체계 구축 및 유연성 향상효과 시뮬레이션 기반 마련
  - 전력수급기본계획의 설비확보 기준의 적정성과 신재생 수용성확보 기준의 적정성 분석을 동시에 평가함으로써 신재생자원의 전력생산 불확실성에 대응하는 종합적인 공급신뢰도를 향상
  - 발전사업자의 중장기 전원구성 추진시 신재생전원에 대한 수용성을 함께 고려함으로써 과대 또는 과소설비투자 방지를 통하여 수급 안정성을 확보

평가방법론	기존방식 최고기술 보유기관('20.08.)	전기연	
		최종 실적(기술수준)	비교
변동성 확대 대응 공급설비 유연성 평가지표	LOLE 평가지표를 활용한 기존의 공급용량 평가는 보편화되어 있음	- 유연성을 판단하는 평가지표 - 장기수급계획의 유연성 평가 - 유연성 상태에 대한 시각화	신재생에너지의 변동성에 대응할 유연성 평가가능 여부

유연성 평가 [최대 가용유연성 기준]



유연성 평가 [경제급전 기준]



## 중기 및 단기 신재생 에너지 출력 예측기술 개발

연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
한국전기연구원	2021년	손완빈	국가 연구개발과제

### 1 연구개발의 목적 및 필요성

- 2030년까지 재생에너지 비중을 20%로 높이겠다는 ‘재생에너지 3020 이행 계획’과 같이 국가적인 재생 에너지 확대정책에 따라 재생에너지의 비중은 최근 빠르게 증가하고 있음
- PV와 같은 재생에너지는 친환경적인 요소에서 큰 강점이 있으나 높은 변동성을 가지는 경향이 있으며, 이러한 자원의 비중이 증가할수록 해당 자원의 변동성이 계통 안정성에 위협이 될 수 있음
- 이러한 변동성에 효과적으로 대응하기 위해서 재생에너지 출력에 대한 보다 정확한 예측 기술의 개발 필요성이 점차 높아지고 있음
- 본 연구에서는 중기 및 단기 신재생 PV 출력과 부하전력량을 예측하는 기술을 개발하고 예측 시스템 및 예측 평가 시스템을 구축
- 장기, 중기, 단기의 주기를 다음과 같이 정의하고 해당 주기별 기술의 기대 활용방안은 다음과 같음
  - 장기 예측 (48시간, 24시간 주기 / 1시간 간격) \* 재생에너지 발전량 예측 제도, 수요관리 스케줄링
  - 중기 예측 (6시간 / 1시간 간격) \* 수요관리 스케줄링 보정
  - 단기 예측 (1시간 / 15분 간격) \* 수요관리 피크예측
  - 초단기 예측 (3분) \* Ramp Rate 최적화

## 2 연구개발의 내용 및 범위



### ■ PV 출력 예측 기술 개발

- 중기 PV 출력 예측 기술 개발
  - \* 인공위성 이미지 수집 및 후처리 모듈 개발
  - \* 구름량 분석을 통한 예측 가중치 도출
- 단기 PV 출력 예측 기술 개발
  - \* 기계학습기반 신재생발전 예측 모형 개발
- 초단기 PV 출력 예측 기술 개발
  - \* 전천 이미지 수집 장치 개발
  - \* 기상카메라를 이용한 태양광발전 예측모형
- 장기 PV 출력 예측 기술 개선

### ■ 부하 전력량 예측 기술 개발

- 중기 부하 예측 기술 개발
  - \* 다수의 예측 모형에 대한 비교 분석을 통해 성능 개선 및 검증
- 단기 부하 예측 기술 개발
  - \* 시계열적 특성을 지닌 부하 예측을 위한 딥러닝 기법 도입

### ■ 예측 평가 시스템 구축

- 기존 장기 예측에 대한 예측 평가 시스템을 중기 예측에 적용하기 위해 고도화

## 3 연구개발결과



### 01 PV 출력 예측 기술 개발

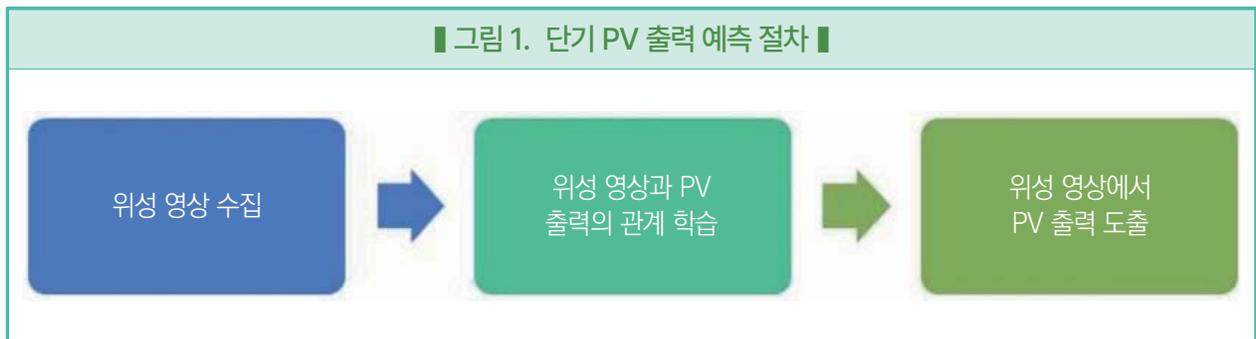
#### ■ 중기 PV 출력 예측 기술 개발

- 천리안 2호 위성은 2018년 12월에 발사되어, 2019년 8월경부터 위성 영상을 제공하고 있음. 천리안 2호 위성영상의 수집은 기본적으로 국가기상위성 센터(<https://nmsc.kma.go.kr>)에서 제공하는 가시영상과 적외영상을 한시간 단위로 수집하는 방향으로 이루어짐. 한반도를 중심으로 인근의 중국, 일본 일부가 포함된 영상을 수집 후 이를 예측 관심지역 중심으로 편집하여 저장하여 이후 분석에 용이한 형태로 가공

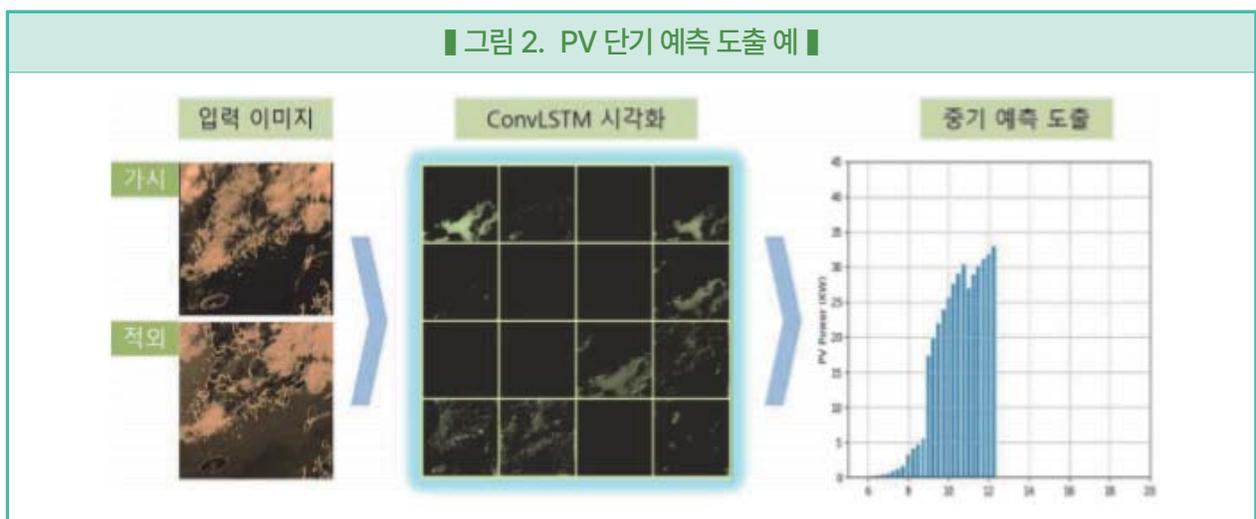
- 6시간 예측을 위해 최신의 일기예보를 사용하는 장기 예측의 방식을 사용 하되 위성사진을 분석하여 예측 과정에 가중치를 부여하는 형태로 구성. 현 재 구름의 비율이 높은 것으로 판단될 경우 일기 예보의 운량과 같은 요소에 가중치를 부여하는 형태로 예측을 진행하여 장기 예측에 비해 보다 높은 정확도를 얻도록 구성

■ 단기 PV 출력 예측 기술 개발

- 인공위성 영상의 수집은 중기 PV 예측에서와 같은 절차로 진행. 다만 단기 PV 출력 예측에서는 이 자료를 토대로 딥러닝 학습을 적용하여 진행



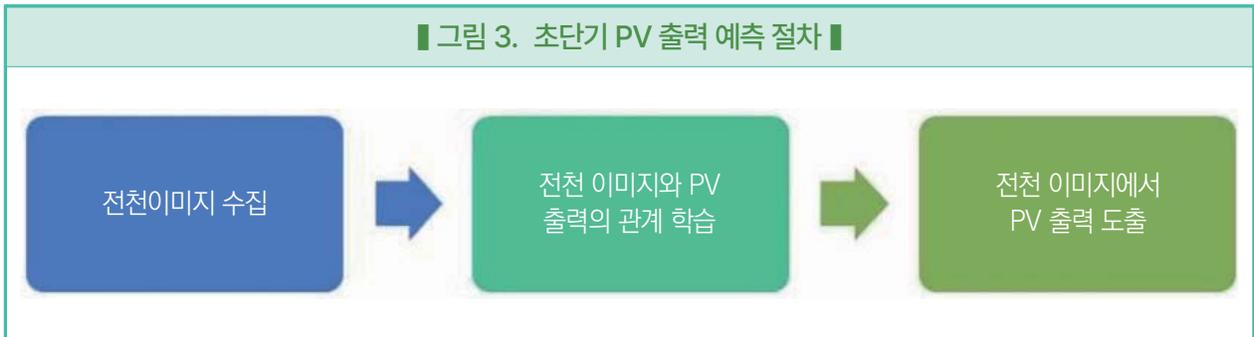
- 단기 예측에 딥러닝의 이미지 분석 기술을 사용하려면 시간적으로 연속된 이미지를 통한 미래 예측 기술이 필요한데 Convolutional LSTM이 이러한 기술 중의 하나임. 단기 PV 예측에서는 해당 딥러닝 네트워크를 주축으로 하여 시계열 이미지 분석을 통한 PV 출력 예측을 수행함
- 뉴럴 네트워크의 출력은 PV의 출력이 되도록 구성하고, 시간별 가시영상과 적외영상은 각각을 1개의 채널로 하는 2채널 이미지로 구성하고 이전 3시간의 2채널 이미지를 뉴럴 네트워크의 입력으로 사용하여 딥러닝 네트워크 구성
- 딥러닝 네트워크는 오픈소스 신경망 라이브러리중의 하나인 Keras를 이용하여 구현. GPU를 활용한 딥러닝 네트워크의 학습을 수행하였고 학습된 결과를 저장하여 위성 영상 도출에 사용. 최근의 3시간 인공위성 이미지와 출력을 입력으로 하여 15분 단위의 1시간 이내 PV 출력을 도출



초단기 PV 출력 예측 기술 개발

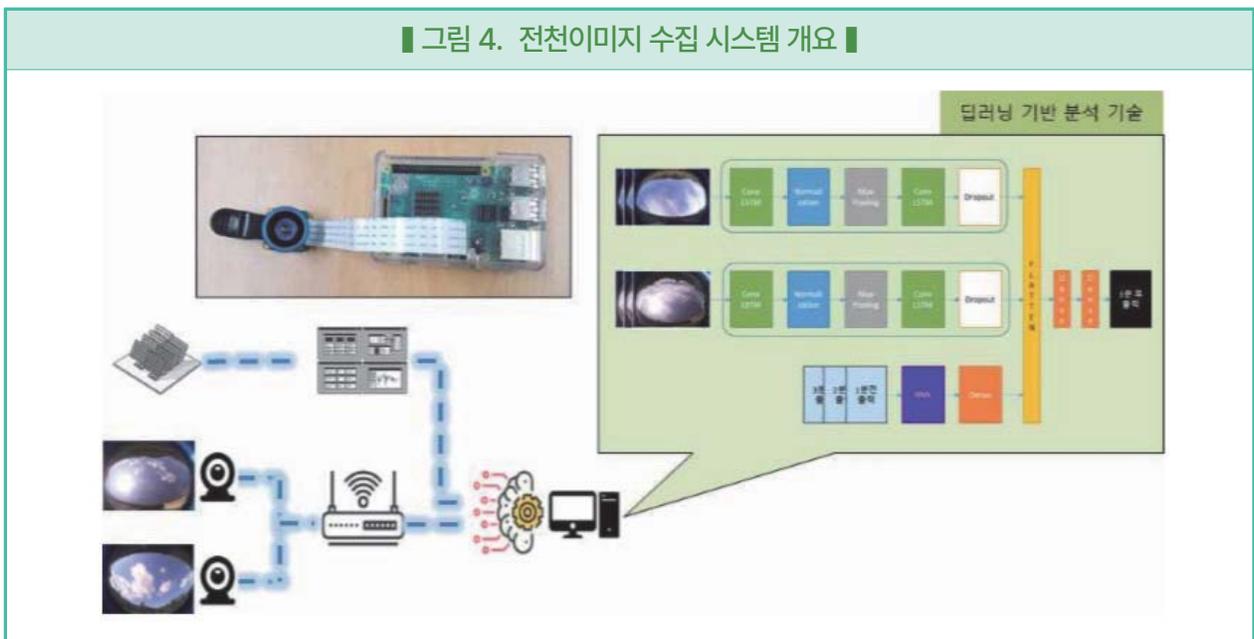
- 초단기 PV 출력 예측에서는 최근의 하늘 상태의 변화를 분석하고 이를 통해 3분 후의 PV 출력을 예측하는 초단기 PV 출력 예측 기술을 개발. 딥러닝의 우수한 영상 분석 능력을 활용함과 동시에 구름의 존재 유무 등의 단편적인 정보만으로는 PV 출력의 변화를 설명하기 힘든 요소를 딥러닝으로 예측해 보고자 하는 관점에서 해당 기술을 도입

그림 3. 초단기 PV 출력 예측 절차



- 초단기 PV 예측에서 핵심적인 자료로 사용되는 전천 이미지 자료를 수집하고 대량의 전천 이미지가 수집되면 전천 이미지와 해당 시간의 분 단위 PV 출력간의 관계를 딥러닝 네트워크로 학습. 학습이 완료되면 학습된 딥러닝 네트워크와 최신의 전천이미지를 활용하여 향후 3분 후의 PV 출력을 도출하도록 함

그림 4. 전천이미지 수집 시스템 개요



- 전천 이미지 분석 기술은 중기 예측과 마찬가지로 Convolutional LSTM을 이용한 딥러닝 방식의 시계열 분석 기술이 활용. 3장의 분 단위 연속 전천이미지 사진을 Convolutional LSTM을 통해 학습하여 PV 출력을 도출

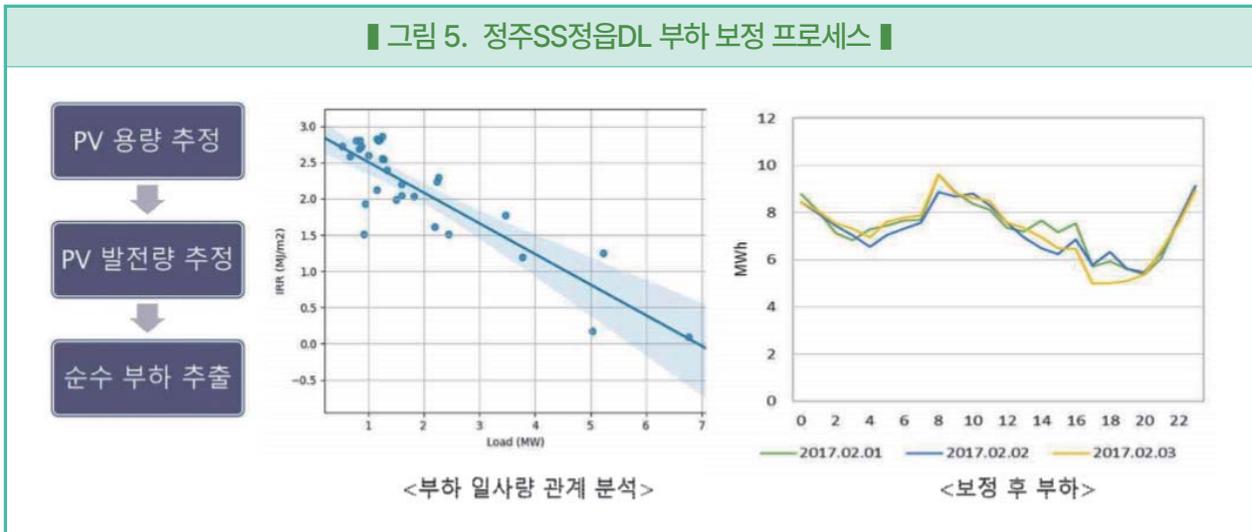
- 단기 PV 출력 예측에서와 마찬가지로 오픈소스 딥러닝 라이브러리 중의 하나인 Keras를 이용하여 PV 출력 초단기 예측을 위한 딥러닝 네트워크를 구성하고, 딥러닝 네트워크를 학습한 후 매분마다 얻어진 전천 이미지와 학습된 네트워크를 기반으로 PV 초단기 출력을 도출

## 02 부하 예측 기술 개발

### 중기 부하 예측 기술 개발

- 정주 SS 정읍 DL 배전망 부하 자료에 대한 중기 예측을 수행. 정주 SS 정읍 DL 부하 중 일부는 마이너스 값이 있는 것을 확인할 수 있었고, 부하 예측 대상인 정읍은 분산전원 급증으로 변전소 연계 용량이 초과되어 접속지연이 발생. 외부요인으로 추정되는 PV 출력을 고려하여 배전망 부하를 보정 작업을 수행

■ 그림 5. 정주SS정읍DL 부하 보정 프로세스 ■



- 가중치 이동평균과 선형회귀기법, ARIMA, TBATS 기법을 이용하여 중기 예측에 적용. 그 외 다양한 예측 기법을 배전망 부하 및 사무용 부하 예측에 적용
- 한국전기연구원 부하는 사무용부하, 시험부하로 크게 구분되며, 본 과제에서는 사무용 부하만을 고려. 부하예측 기법을 선택하기에 앞서 먼저 부하의 특징을 분석하고, 부하 유형을 분류. 근무일의 경우 높은 부하 패턴을 보이며, 토요일과 공휴일의 경우에는 비교적 낮은 부하 패턴을 나타냄
- 한국전기연구원 EMS를 이용하여 1일 96구간인 15분 단위 사무용 건물 부하 데이터를 수집하고 2018년 1월부터 2018년 12월까지의 데이터를 취득하였으며, 이를 활용하여 가중치이동평균기법, 선형회귀법, ARIMA, TBATS 기법을 사용하여 부하를 예측

### 단기 부하 예측 기술 개발

- 단기예측은 기준 시점으로부터 향후 1시간 이내에 대한 한국전기연구원 사무용 건물 부하를 예측. 단기예측에는 부하예측을 위한 딥러닝 모델로 NARX(Nonlinear autoregressive with external input) 네트워크를 도입. NARX 네트워크는 외생적인 입력을 갖는 비선형 자기회귀 신경망으로 시계 열적 특성과 외부 환경 변수를 동시에 고려할 수 있는 딥러닝 모델임

- 해당 NARX 네트워크를 학습하고 이를 가중치 이동평균, 선형회귀법 등과 비교하여 한국전기연구원 사무용 건물 부하 예측을 수행

#### 4 연구개발결과의 활용 계획



- 최근 재생에너지 발전원의 급격한 증가에 따라 재생에너지원의 변동성을 예측하는 기술의 중요성이 점차 커지고 있으며 이는 정책적인 요소에서도 점차 나타나고 있음. 재생에너지 발전량 예측 제도와 같이 발전량 예측 정확도에 대해 금액적인 정산을 해주는 제도가 도입되고 있으며 이러한 변동성 예측 기술의 중요도는 점차 더 커질 것으로 예상됨
- 기 확보된 기술과 더불어 본과제의 중기, 단기, 초단기 예측 기법이 더해지면서 어플리케이션에 따라 필요로 하는 예측 주기별로 사용할 수 있는 PV 출력 예측 기술과 부하예측 기술을 갖춘. 이는 재생 에너지의 변동성 제어를 위한 핵심 기술로 활용 가능할 것으로 기대됨



전력산업  
R&D REPORT

# 전력시장

## 연구과제(6건)





## 저탄소 전력시스템으로의 전환을 위한 전력시장 제도개선 방안 연구(2/3)

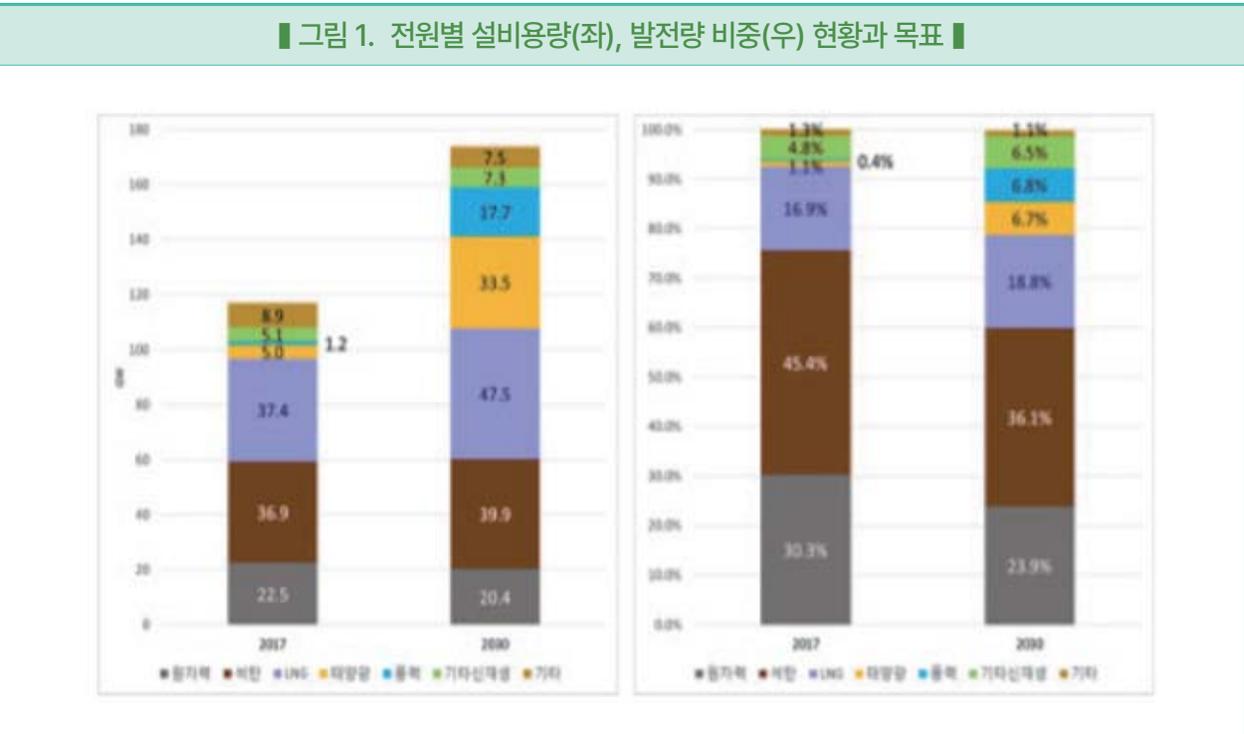
<b>연구기관</b> 에너지경제연구원	<b>발간연도</b> 2019년	<b>연구과제 책임자</b> 안재균	<b>과제분류</b> 자체 연구보고서
-------------------------	----------------------	------------------------	-------------------------

### 1 연구의 필요성 및 목적

#### 01 배경 및 필요성

- ▣ 정부의 재생에너지 3020 비전에 따라 2030년 기준 신재생 발전량 비중은 20%, 설비용량은 60GW 수준으로 증가할 것으로 예상
  - 태양광, 풍력발전과 같은 변동성 재생에너지(VRE)의 발전비중은 약 13.5%, 설비용량은 약 51GW 까지 확대될 것으로 예상

▣ 그림 1. 전원별 설비용량(좌), 발전량 비중(우) 현황과 목표



출처: 산업통상자원부(2017, p.36, 79, 80, 83)를 참조하여 저자 작성

- 변동적 재생에너지 출력제한(Curtailment)은 재생에너지의 출력변동성과 예측 불확실성을 완화하는 동시에 전력수급 불균형, 송전 제약, 계통 신뢰도 저하 등의 문제에 효과적인 방안으로 평가
- 국내의 현행 제도에는 출력제한 수행방법에 대한 명시, 근거, 구체적 절차를 다룬 세부규정이 부재한 상황으로 합리적인 재생에너지 출력제한 적용기준을 모색해야할 시점임

## 02 목적

- 본 연구의 목적은 변동적 재생에너지 출력제한의 당위성을 검토하고 향후 출력제한량을 추정하는 한편 국내 적합한 출력제한 수행방법을 제시
- 또한 경제적으로 사회후생을 극대화할 수 있는 출력제한 보상제도 고찰과 재생에너지 출력제한 완화를 위한 방안을 모색

## 2 주요 연구내용



- (출력제한 필요성) 출력제한 변동적 재생에너지의 계통수용비용(Integration cost)을 감소시키며 총 발전비용 감소로 사회후생을 증대
- (출력제한 수행방법) 대표적인 비시장적 방법은 LIFO(Last In First Out), Pro rata, Rota가 있음
  - LIFO(Last In First Out) 방식: 발전기 진입의 역순으로 출력제한을 수행하는 방식
  - Pro rata 방식: 발전기를 균등한 용량으로 출력제한하는 방식
  - Rota 방식: 사전에 정해진 순서로 순환해가면서 출력제한하는 방식
- (출력제한 보상) Jacobsen and Schröder(2012)의 경제적 최적 출력제한 달성을 위한 보상제도는 네트워크(송배전망) 제약과 확장 지연, 시스템 안전문제, 과잉발전으로 구분하여 상이한 보상 실시

&lt;표 1&gt; 경제적 최적 출력제한 보상안

구분	출력제한 근거	상황	출력제한에 따른 보상안
1: 네트워크 제약 (최적 출력제한)	네트워크 과잉투자 방지	합의되지 않은 수준의 출력제한	시장가격 (보조금 손실분과 함께)
		사전 협의된 수준까지 출력제한	• 합의 수준 미달: 보상 없음 • 합의 수준 초과: 완전한 보상
2: 네트워크 확장 (extension)지연	네트워크 증설지연 방지	우선 급전권 기부여 발전설비	완전한 보상
		우선 급전권 없는 신규 발전설비	시장가격 (보조금 제외)
3: 시스템안전문제	예비력비용 감소	시스템 안정성 목적 (일반적 경우)	없음 (비상조치 규칙에 의거)
		기술적 원인에 의한 출력제한 (통제불가 경우)	시장가격 (보조금 손실분과 함께)
4: 과잉발전 (시장가격 ≤ 0)	수급일치	과잉발전	시장가격 (단, 시장가격=0)
		과잉발전상황에서 자발적 출력제한 인센티브	보조금 부분만 보상 (시장가격 초과분)

출처: Jacobsen and Schröder(2012, p.5)를 부분 인용

- (네트워크 제약에 따른 출력제한) 네트워크 과잉투자 방지를 목표로 보상제도는 합의 수준을 초과하는 출력제한에 대해서는 완전한 보상을, 합의수준 미만의 출력제한은 무보상
- (네트워크 확장지연에 따른 출력제한) 망사업자의 네트워크 증설지연을 방지해야하므로, 망사업자가 네트워크 증설 지연에 대한 책임이 있는 경우에 우선적으로 급전권의 유무에 따라 보상기준을 차별화
- (시스템 안전문제에 따른 출력제한) 예비력 비용을 감소시켜 당위성을 지니므로 일반적인 시스템 안정성 유지의 목적으로는 보상이 필요 없으나 계통운영자가 기술적 원인을 알 수 없는 경우에는 보상 필요
- (과잉발전) 전력수급 유지를 유도해야 하므로 보상이 불필요하나 자발적으로 출력제한을 유도를 필요한 상황에서는 보상이 필요

■ (출력제한 완화 전략) 출력제한 증가 시 에너지 손실, 보조금, 온실가스 배출량 증가를 초래하므로 이를 억제하기 위해 완화 전략 수립 필요

- 출력제한 완화 전략은 운영적인 측면, 시장적인 측면, 기타로 구분하며 주요 방법은 <표 A-2>와 같음

**<표 2> 미국 주의 재생에너지 출력제한 완화 전략**

구분	방법	기관 및 계통운영자
운영 측면	풍력 등 재생에너지 Balancing을 위한 AGC로 활용	ERCOT, PSCO
	출력제한 된 발전자원을 예비력으로 활용	PSCO
	일반 발전기의 최소 발전용량 수준 감소	HECO(Maui)
	계통운영 스케줄링 빈도수 증가(주기 감소)	WAPA
시장 측면	재생발전자원 시장 참여(시장기반 출력제한)	ERCOT, MISO, SPP
	발전기 입찰을 억제하는 Negative 입찰을 이용해 경부하시 과잉공급 방지	CASIO, ERCOT, MISO, PJM, ISO-NE
	Balancing 시장 도입	CAISO, PacifiCorp
기타	풍력발전 증감발 up management system을 통한 풍력발전 제어	AESO
	송전 용량 확장을 통해 풍력발전 출력제한 완화	ISO-NE, ERCOT, MISO, PJM, SPP
	예측수준 제고를 통해 풍력발전 출력제한 완화	ISO-NE, PSCO, NV Energy, SMUD

출처: NREL(2014a, p.24)를 참조하여 재구성

■ (미래 출력제한량 추정) 2040년 재생에너지 시나리오 4030, 4035 에 따른 출력제한량은 각각 4.3%, 12.1%로 추정

**<표 3> 시나리오별 출력제한량 산정 결과**

구분	4030 시나리오 (재생E 발전량 비중 30%)	4035 시나리오 (재생E 발전량 비중 35%)
총 출력제한량 비율(연간)	약 4.3%	약 12.1%

※ 본 연구의 추정결과와 네트워크로 인한 출력제한이 주요 원인인 해외사례를 모두 고려할 때, 국내 출력제한 관련 제도를 선제적으로 갖춰나갈 필요가 있음을 시사

### 3 정책제안



■ (출력제한 제도 마련) 정부, 한국전력거래소, 송배전사업자와 이해 당사자 등으로 구성된 협의체를 구성하여 관련 출력제한 규정 수립을 위한 논의를 시작해야 할 것으로 판단

- (출력제한 수행) 본 연구에서 제시한 비시장적 방법으로 수행이 가능하므로 현행 전력시장운영규칙 급전지시에 출력제한 요청조항 신설 필요

- (출력제한 보상) 송배전망 비용 최소화, 증설지연 방지, 안전도 제고, 과잉발전과 같이 출력제한 원인별로 상이하게 설계함으로써 사회후생 극대화를 유도하는 것이 중요

■ (출력제한 완화 기술개발 및 관련 제도) 실시간 측정 및 분석, 발전량 예측, 사전분석 및 출력제어를 위한 구분하여 각각의 기술개발과 제도개선 사항은 아래의 표와 같음

<표 4> 기술개발 및 관련 제도개선 사항

기술개발		내 용
실시간 측정 및 분석	기술개발	기존 계량기에 실시간 정보제공 기능 추가 기술 개발
		IOT 기술을 접목한 재생에너지 자료 취득 기술 개발
	제도개선	신재생 관제 권한 부여 및 데이터 제공 의무 규정
		자료취득 규격 및 재생발전기 접속기 구비장치 장치 기준 규정 기관별 역할 및 자료취득 방안, 기관 간 정보공유, 정보공개 등 기준 규정
발전량 예측	기술개발	육지계통에 대한 신재생 출력 예측시스템개발
		ICT 및 최신기술이론 등을 접목하여 신재생 출력 예측 능력 제고
	제도개선	일정 규모 이상 재생발전기의 출력 예측정보 및 지역별 현장 정보 제공 의무 규정
사전분석 및 출력제어	기술개발	원활한 제어가 이루어지기 위해 구비 장치에 대한 기술적 표준 기준 마련
		유·무효전력 출력제어 등 계통지원 기능이 적용된 인버터 기술 개발
	제도개선	신재생발전허가업자의 접속 보장 수준을 고려한 송배전사업자의 설비화 기준 마련
		사전분석, 제어절차 및 정보공개에 대한 세부 기준 명확화

## 저탄소 전력시스템으로의 전환을 위한 전력시장 제도개선 방안 연구(3/3)



 연구기관	 발간연도	 연구과제 책임자	 과제분류
에너지경제연구원	2020년	안재균	자체 연구보고서

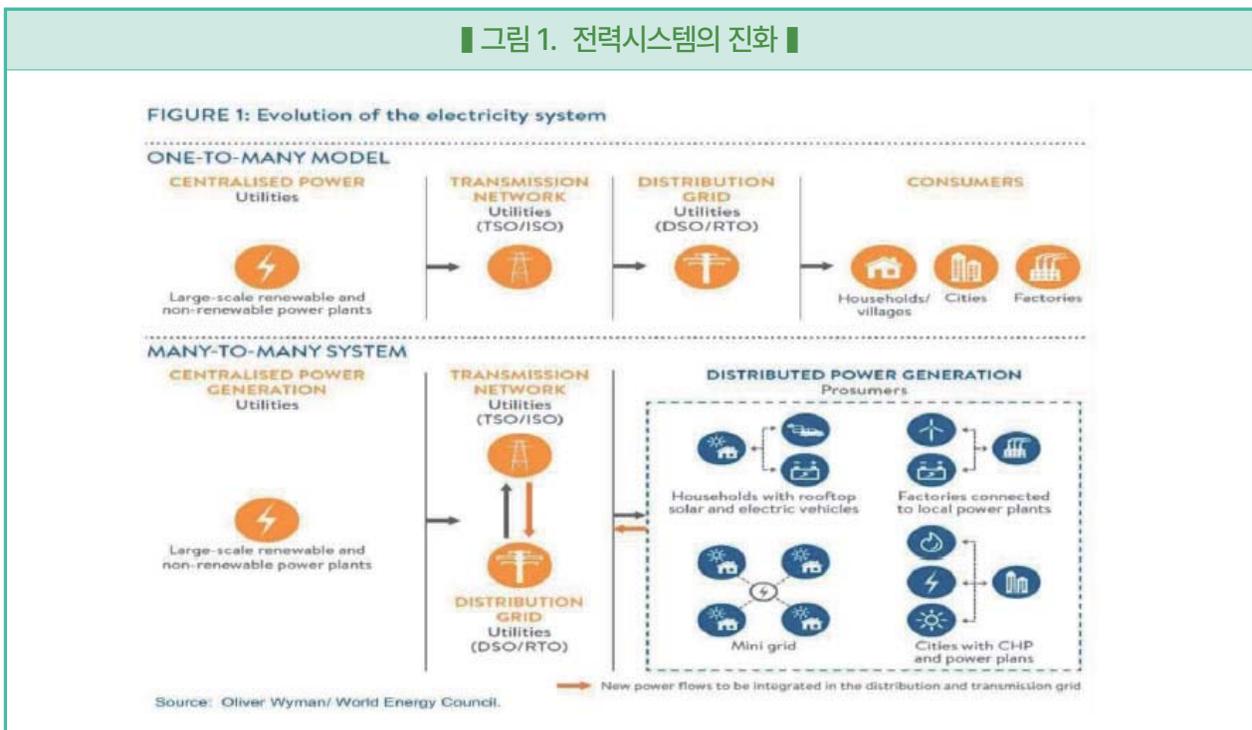
### 1 연구개발의 필요성 및 목적



#### 01 배경 및 필요성

- 국내 배전계통에 접속되는 태양광 발전의 보급이 확대됨에 따라 배전계통운영자(Distribution System Operator, DSO)와 개인 간(Peer to Peer, P2P) 전력거래 플랫폼의 도입 필요성이 제기되고 있음
  - 배전단의 태양광 발전의 보급 확대에 따라 기존의 단방향, 즉 전류의 흐름이 발전사 → 최종수용가의 중앙집중형에서 양방향전력시스템으로 진화가 필요

■ 그림 1. 전력시스템의 진화 ■



출처: World Energy Council(2017, p.16)

- 배전계통운영자(DSO)는 이러한 양방향 전력시스템을 가능케 하고 안정적인 전력계통 운영과 재생 에너지 수용능력을 확대
- 또한 태양광 발전의 경제성 제고로 인한 P2P 전력거래 플랫폼의 보급은 프로슈머와 수용가들에게 태양광 발전의 혜택을 확대할 수 있으며 안정적 전력계통에 기여할 수 있도록 거래 및 운영규정 마련이 요구

## 02 목적

■ 본 연구의 목적은 배전계통운영자 및 P2P 거래 플랫폼 사업 사례를 분석하고 국내 DSO 도입 및 P2P 거래 플랫폼의 기능정립과 도입을 위한 제도개선안 제시임.

- 배전계통운영자(DSO)의 필요성, 역할, 주요 프로젝트 분석
- P2P 거래 플랫폼 모형을 구축하여 거래 메커니즘에 따른 참여자 수익, 계통기여도 측면에서의 효과를 분석
- 국내 DSO, P2P 거래 플랫폼의 기능정립 및 도입을 위한 제도개선방안 제시

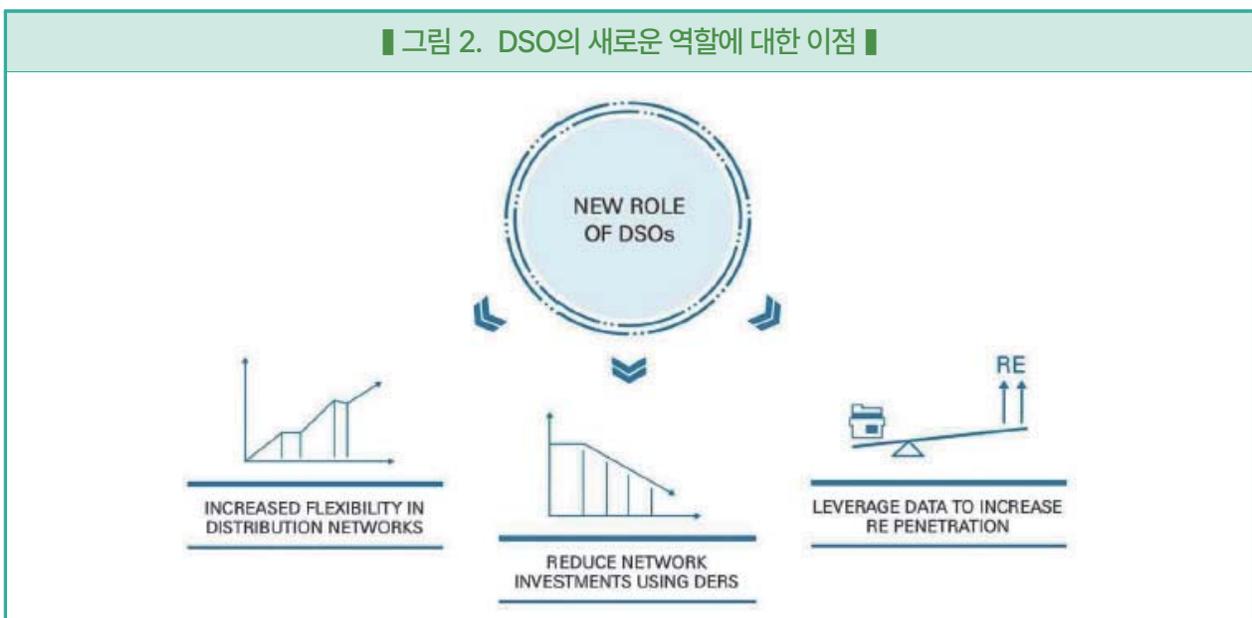
## 2 배전계통운영자(DSO) 등장배경 및 역할



### 01 DSO의 에너지전환에 대한 기여

■ DSO의 장점은 배전계통 유연성 증가, 망투자 감소, 전력계통 운영의 효율성 제고, 데이터 활용을 통한 재생에너지 보급 증가를 들 수 있음

■ 그림 2. DSO의 새로운 역할에 대한 이점 ■



출처: IRENA(2019, p.9)

- DSO는 분산에너지원을 이용하여 전압 지원(Voltage support), 혼잡 관리(Congestion Management), 피크부하 감소(Peak Shaving)와 같은 유연성 서비스를 제공
- DSO와 송전계통운영자(Transmission System Operator, TSO) 사이의 협력은 전력계통 운영의 효율성을 증대
- DSO는 데이터 공유 및 활용을 통해 계통에 유연성을 제공하고 에너지 효율을 높일 수 있으며 최종 소비자를 위한 새로운 비즈니스 모델을 구상하여 서비스를 제공

## 02 DSO의 필요 기능

저탄소 전력시스템으로의 전환 과정에서 안정적인 전력 공급을 유지하기 위해서 시스템 운영 협력, 네트워크 운영, 투자 계획, 접속 보장, 서비스 및 시장 활성화 등의 기능 발휘 필요

<표 1> 거래 모형에서의 역할 분류

기능	주요 내용
시스템 운영협력	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해당 지역의 제약을 관리하기 위해 지역적인 관리 작업을 수행하며, 송전계통운영자(Transmission System Operator, TSO)와 협력하여 보조서비스 조달 및 손실 최소화를 달성</li> </ul>
네트워크 운영	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 안전한 계통 운영을 위해 위험을 식별하고 관리하여 배전계통을 운영</li> <li>• 전체 시스템 최적화를 위해 TSO와 긴밀히 협력</li> <li>• 고객들의 최적 의사결정을 위해 현재 배전계통 제약이 있는 위치를 표시하기 위한 지도 제공</li> </ul>
최적 투자계획	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일정 지역 내에서 프로슈머간 P2P 거래 중개 및 정산 프로슈머들의 발전량을 통합하여 배전시장운영자(Distribution Market Operator, DMO)와 거래 계통의 이슈에 대해 분산에너지자원을 활용하여 보조서비스 제공</li> </ul>
접속 보장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DSO는 계통에 필요한 용량을 식별하고 고객에게 가장 효율적인 용량 제공 수단을 확보</li> </ul>
서비스 및 시장 활성화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TSO-DSO 협력 인터페이스는 배전 수준의 용량상품 개발, 지역 계통서비스 시장 개발을 가능하게 하며 분산에너지자원이 밸런싱 서비스에 접근 허용 DSO와 TSO는 조정된 조달, 데이터 플랫폼, 가격 신호를 통해 지역 시장을 촉진</li> </ul>

자료: SSEN(2017, pp.15~16)를 정리함.

### 3 P2P 거래 플랫폼 효과 및 모형 분석



#### 01 개인 간(P2P) 거래 효과

■ P2P의 장점은 재생에너지 보급 및 유연성 향상, 분산에너지자원(Distribution Energy Resource, DER)의 효율적 운영을 통한 균형 및 혼잡 관리, 전력계통에 대한 보조 서비스 제공, 소규모 계통에서 소비자를 위한 접근성 개선임

- 프로슈머들이 발전한 에너지를 더 좋은 가격에 거래할 수 있는 시장을 제공하여 DER의 보급을 유인, 소비자와 프로슈머의 능동적 참여로 소비와 가격 통제를 통해 시스템의 유연성 증가
- 매시간 전력수급을 일치 가능, 계통으로 부터 구매하는 최대수요를 감소시켜 최대 수요를 충족시키는데 필요한 발전용량 및 송전 인프라 등의 투자를 지연
- 소규모 계통에서 P2P 거래운영자는 P2P 거래를 수행을 통해 각 참여자들이 전력계통에 보조 서비스를 제공
- 독립된 소규모 계통에서 P2P 전력거래는 에너지 접근성과 지역 발전원의 신뢰도를 향상

#### 02 모형 분석 결과

■ 시장거래 설계가 참여자의 수익성, 계통의 전압 변동 감소, 역송 전력 감소 등에 어떠한 영향을 미치는 분석하기 위한 모형을 구축하며 분석을 수행하기 위해서 두 가지 시나리오를 제시

- 시나리오 1 : 플랫폼 운영자의 P2P 전력거래 가격 산정 방법, 운영 전략
- 시나리오 2 : 재생에너지 Curtailment 최소화를 위한 플랫폼 운영자의 Community ESS 운영 전략

■ 모형 분석 결과, 플랫폼 거래 설계규칙은 DER의 수익개선, 유연성을 제공, 출력제한을 최소화하여 프로슈머들의 수익을 향상시키고 배전계통의 안정성 또한 향상함

- P2P 전력거래에 있어서 가격 등의 거래 규칙을 수립하여 플랫폼 거래 참여자의 수익 영향을 증대하며 계통에 긍정적인 효과를 유도
- 커뮤니티 ESS를 통해 지역 내 출력제한을 방지하고, 계통에는 역조류 현상을 개선해주어 최종소비자들에게 출력민감도에 의한 할당비율로써 발전사업에 대한 수익을 최대화

## 4 정책제언



### 01 국내 DSO 도입 방안

■ 국내 독립적인 기관으로서의 DSO 추진 방식은 법적 분리, 회계분리, 회계 분리 등으로 구분해 볼 수 있음

- 법적 분리란 DSO를 발전, 송배전, 판매 사업자로부터 별도의 법인으로 분리하는 방식
- 기능적 분리란 DSO의 일상적인 경영활동이 발전, 송배전, 판매 사업자로부터 독립하는 방식
- 회계 분리란 DSO의 별도의 회계 및 감사 규정을 따르는 방식

### 02 P2P 거래 도입 방안

■ 국내 P2P 플랫폼 거래 도입을 위해서는 현행 전기사업법의 일부 개정을 통해 플랫폼사업자를 통한 전력 거래 허용이 필요

- 현행 제도에서는 플랫폼사업자가 전력판매를 중개하는 것은 불가하므로 전시신사업의 한 종류로 추가하거나 소규모 신·재생에너지발전전력 등의 거래에 관한 지침을 개정하는 것이 필요
- 플랫폼사업자가 수급정보 제공, 과전압 해소, 역송전력 완화 등으로 전력계통 안정화에 기여할 수 있도록 의무규정을 마련하는 것이 요구

### 03 저탄소 전력시스템으로의 전환을 위한 제도개선 전략

■ 변동적 재생에너지의 확대에 따라 소요되는 계통통합 비용을 최소화하면서 환경적 편익 등이 최대한으로 발휘되는 것을 목적으로 단계별 전략 도출이 요구

#### 가. 단기 전력시장제도 개선방안

- (발전량 예측) 전력거래 시 재생에너지 발전량 예측능력을 제고하는 인센티브 제도 마련
- (발전량 제어) 인버터 등 제어설비 설치를 의무화하여 출력제어 수행, 제어량에 대한 합리적 보상 기준 마련
- (변동예비력) 예비력기준 개선을 통한 단기 변동성 문제 해소
- (급전운영주기) 신재생발전량의 단기 변동성을 대처하기 위해 주기 단축
- (유연성 자원 확보 의무화) 국내 전력계통 내 유연성 제공 가능용량과 신재생 변동량 및 예비력 요구량을 고려하여 계통 내 유연성 부족량 산정
- (P2P 플랫폼 거래) 개인간 전력거래 허용과 가시성 제고, 잉여전기 해소, 밸런싱 의무규정 정립

## 나. 중장기 전력시장제도 개선방안

- (실시간 시장 운영) 재생에너지의 불확실성을 완화하기 위해서 시장 마감 시간을 운영 실시간에 근접화, 시장참여자가 재생에너지 발전량 개선 예측 값에 반응하도록 시장 설계
- (보조서비스 시장 운영) 응동속도가 빠른 유연성 제공 자원에 적정 인센티브를 제공할 수 있는 시장 설계
- (배전계통운영자 도입) 배전계통운영자 설립 및 분산에너지자원의 운영, 전력거래소와의 협조체계 수행, 신규 망투자 지연 역할 부여

## 공급형 가상발전소(VPP) 활성화 방안 연구 소규모전력증개시장 활용을 중심으로

연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
에너지경제연구원	2019년	안재균	자체 연구보고서

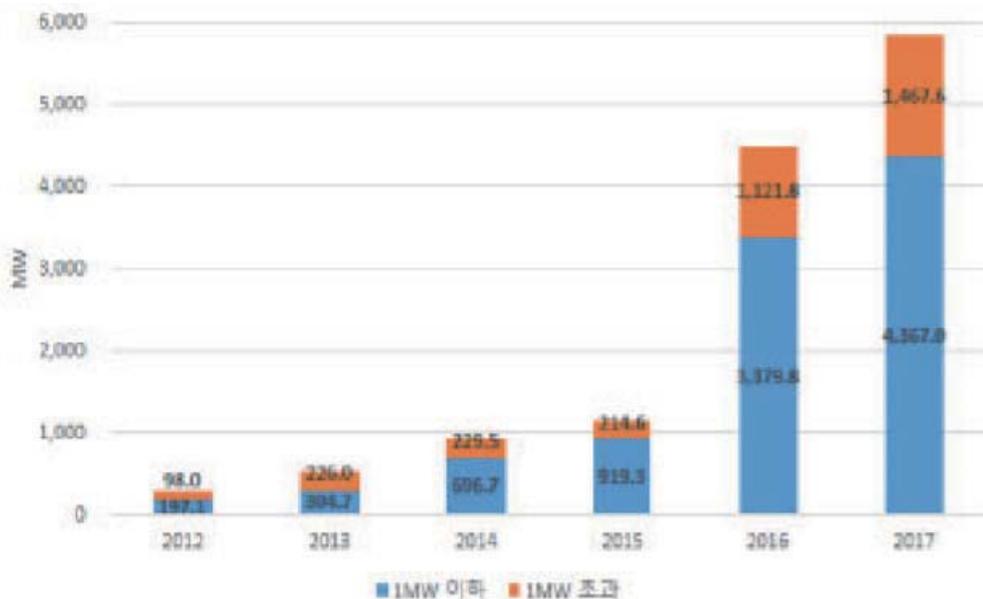
### 1 연구의 필요성 및 목적

#### 01 배경 및 필요성

최근 에너지 전환 정책에 따라 소규모 태양광 사업자가 증가하고 있는 추세임

- 1MW 이하의 소규모 태양광 발전의 용량은 2012년 약 197MW에서 2017년 4,367MW로 약 22배 증가하여 연평균 증가율 85.8%를 기록하였음

그림 1. 태양광 발전 누적용량(2012년~2017년)



자료: 한국에너지공단 신·재생에너지센터 통계자료(<https://www.knrec.or.kr/pds/statistics.aspx>)

- 이러한 소규모 태양광 발전은 계통운영자가 정확한 발전량을 알 수 없으므로(가시성 악화) 급전계획에 차질을 발생하여 관련 비용(연료비, 기동비, 보조서비스)이 증가할 수 있으며, 변동적인 발전 특성으로 인해 전압 및 주파수 유지에 부정적인 영향을 주어 전력 품질이 떨어지는 문제가 발생할 수 있음
- 이러한 문제점을 해결하기 위해 소규모 태양광 발전소를 통합하여 발전량의 예측능력 강화(불확실성 해소), 전압제어, 예비력 제공 기능을 제공하는 공급형 가상발전소(Virtual Power Plant, VPP)의 필요성이 강조되고 있음
- 정부는 가상발전소 육성을 위한 첫 단계로 소규모전력중개시장 제도를 2019년 2월부터 운영을 시작 하였으나 2019년 9월 기준으로 실제 운영 중인 중개사업자 수는 5개에 불과하며, 실제 거래되는 용량은 11.1MW 수준으로 활성화되지 못하고 있는 실정임

## 02 연구의 목적

- 본 연구의 목적은 소규모전력중개시장 제도의 개선방향을 모색하여 공급형 가상발전소의 활성화 방안을 제시하는 것임
  - 주요 선진국의 전력중개시장을 통한 가상발전소 지원정책 조사를 통해 국내 정책적 시사점 도출
  - 소규모 태양광 발전사업자를 대상으로 선택실험법을 적용하여 정책 시나리오별 효과 분석
  - 정량 분석 결과를 토대로 공급형 가상발전소 활성화를 위한 제도 개선안 제시

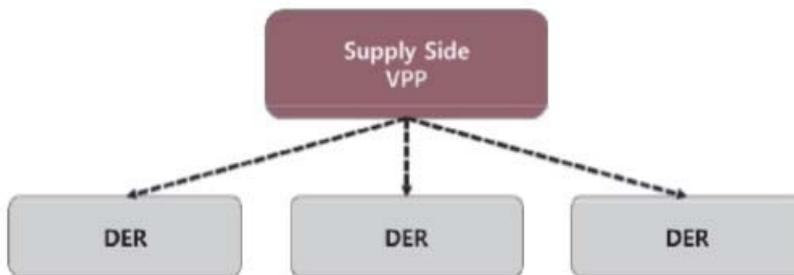
## 2 가상발전소(VPP) 유형



### 01 공급형 VPP

- 공급형 VPP는 소규모 신재생에너지 발전과 에너지저장장치 등 분산형 에너지 자원(Distributed Energy Resources, DER)을 정보 통신기술을 이용해 통합하여 하나의 발전소처럼 관리하는 시스템을 의미
- 공급형 VPP는 분산형 에너지 자원의 출력을 제어가 가능하여 안정적인 전력계통 운영에 기여

그림 2. 공급형 VPP

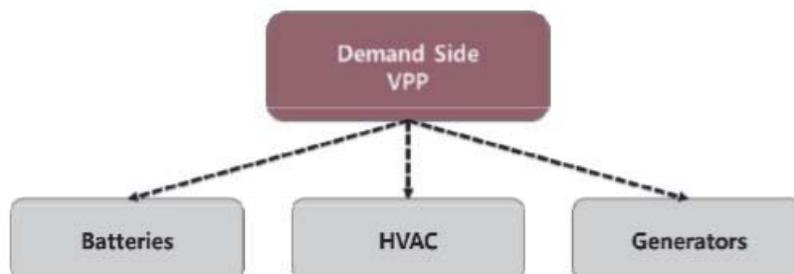


출처: Frost & Sullivan(2017, p.9)

### 02 수요형 VPP

- 수요형 VPP는 전력 피크 시 에너지효율시스템 및 소프트웨어로 중앙집중형 전원의 전력 사용을 줄이는 기능을 제공
- 소비자의 전기요금 절감과 피크 시간 대 도매전력 구입비용을 절감하는 효과가 있어 수요형 VPP는 DR 제도가 발달한 나라에 적합

그림 3. 수요형 VPP

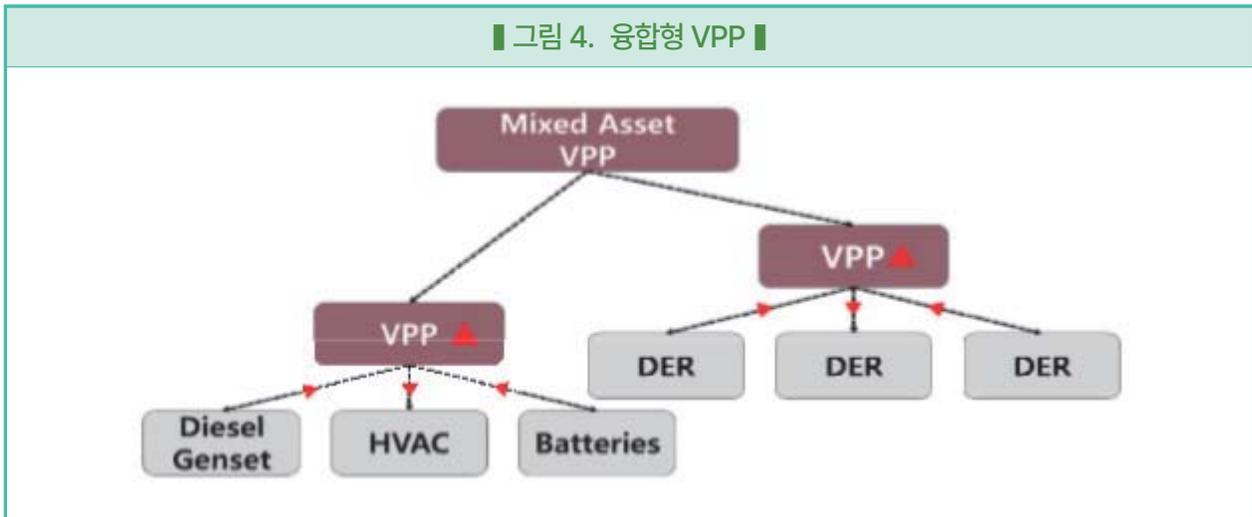


출처: Frost & Sullivan(2017, p.9)

### 03 융합형 VPP

- 융합형 VPP는 공급형 VPP와 수요형 VPP를 융합하여 전력망에 분산형 에너지 자원을 통해 전기를 공급하고 수요자원을 효율적으로 운영
- 공급 및 수요반의 VPP 장점이외의 전력 수급 균형 서비스 제공으로 전력 계통 안정화에 기여

■ 그림 4. 융합형 VPP ■



출처: Frost & Sullivan(2017, p.9)

### 04 공급형 VPP의 필요성과 활성화 방안

- 공급형 VPP는 소규모 태양광 발전소의 확대에 대비하여 안정적인 전력계통 운영을 위한 효과적인 수단임
- 따라서 공급형 VPP를 활성화할 필요가 있으며 이를 위한 제도는 소규모 전력중개시장임
  - 소규모 전력중개시장은 중개사업자가 소규모의 분산형전원을 모아 전력도매시장에 거래하는 사업으로 독일, 호주, 미국 등의 해외 주요국에서 운영하고 있는 제도임
  - 소규모 전력중개사업자가 VPP 기능을 발휘하기 위해서는 하루 전 시장에서 발전량 입찰의 정확도를 높여 태양광 발전의 예측 불확실성 감소, 중장기적으로는 출력제어 및 ESS 활용으로 변동성 제어 기능으로 변동성을 완화하는 역할 담당 필요

### 3 국내외 소규모 전력중개시장 제도



#### 01 독일의 중개사업자 지원 제도

2014년 재생에너지법(Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG) 개정을 통해 신재생에너지에 대한 정부지원을 축소하고 시장 중심의 인센티브 매커니즘으로 전환

- 재생에너지 발전사업자(500kW 이상)가 전력도매시장에서 직접 참여하여 상호 경쟁함으로써 보다 효율적인 재생에너지의 운영·관리를 수행하도록 유인
- 중개사업자는 소규모 재생에너지의 전력도매시장 참여에 필요한 행정절차를 대신하여 거래비용을 절감

<표 1> 전원별 Management Premium 추이

(단위: Cent/kWh)

구분	2012	2013	2014	2015 ~	비고
풍력, 태양광 (원격제어 불가능)	1.200	0.650	0.450	0.300	2015년 4월부터 폐지
풍력, 태양광 (원격제어 가능)		0.750	0.600	0.400	
바이오가스, 수력 등	0.300	0.275	0.250	0.200	

자료: Netztransparenz 홈페이지(<https://www.netztransparenz.de/EEG/Marktpraemie/Marktwerte>, 최종접속일 2019.6.25.), Next-Kraftwerke 홈페이지(<https://www.next-kraftwerke.de/wissen/managementpraemie>, 최종접속일 2019.6.25.)

- 소규모 재생에너지 모집 및 중개시장 형성 촉진을 위해 계통운영자는 재생에너지 발전사업자에게 Management premium을 제공
- Management premium 제도는 2015년부터 태양광 및 풍력발전 대상으로 원격조정이 가능 설비에만 지급하므로 이는 실질적으로 중개사업자 지원제도로 볼 수 있음

#### 02 호주의 SGA 제도

호주는 중개사업자가 30MW 미만의 소형발전기를 모집하여 집합된 자원에서 생산한 전기를 전력도매 시장에 판매하는 소규모 전력 중개사업자 제도(Small Generation Aggregator, SGA)제도를 신설

- SGA는 전력시장에 참여하고자 하는 소규모 발전기의 거래비용을 감소시키기 때문에, 소형 발전기의 전력도매시장의 진입장벽 완화
- 또한 SGA 제도 도입으로 최대 부하 발전기를 소규모 발전기로 대체함으로써 단기적으로는 도매시장 가격의 급격한 증가를 방지하고 장기적으로는 신규 발전소 건설을 회피

- 호주의 전력도매시장은 설비투자비용을 에너지가격으로 회수하는 에너지단일시장으로 가격 스파이크를 허용하는데 이는 중개사업자가 전력도매시장 진출로 수익을 낼 수 있어 SGA 제도가 활성화가 될 수 있는 요인으로 작용



출처: AEMC(2012, p.5)

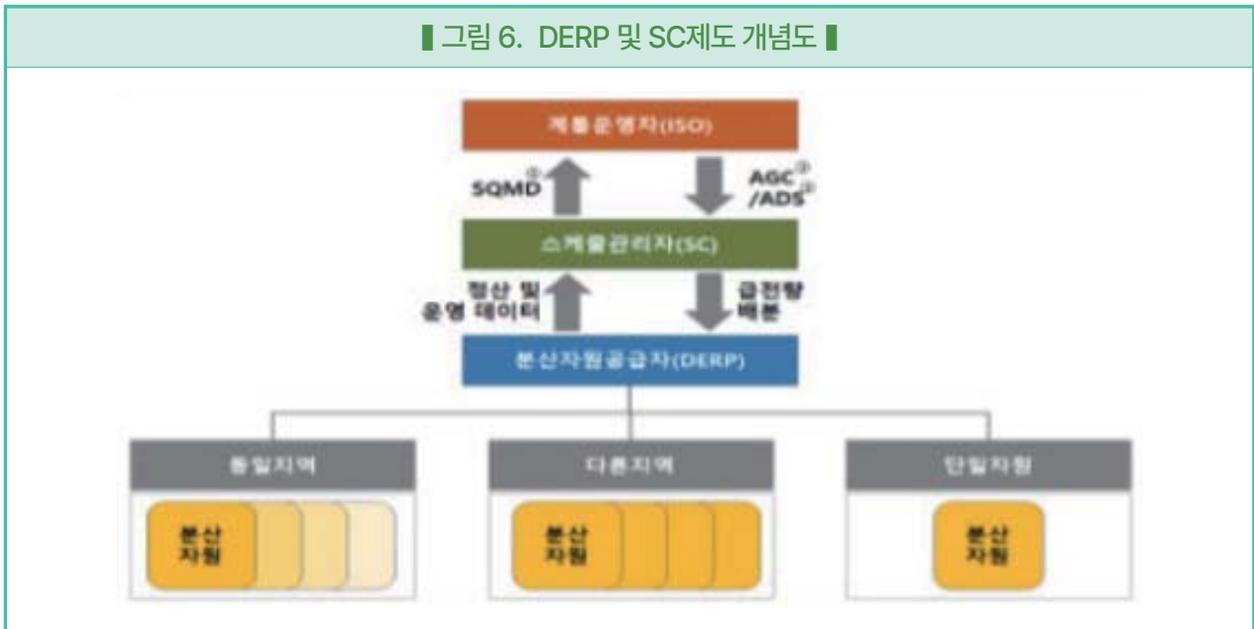
- 호주의 전력도매시장은 설비투자비용을 에너지가격으로 회수하는 에너지단일시장으로 가격 스파이크를 허용하는데 이는 중개사업자가 전력도매시장 진출로 수익을 낼 수 있어 SGA 제도가 활성화가 될 수 있는 요인으로 작용

### 03 미국 캘리포니아 DERP 및 SC 제도

캘리포니아 계통운영자가 소매시장에 참여하는 분산형 에너지자원을 직접적으로 관리 및 운영할 경우 과도한 비용 및 계통 내 발생할 수 있는 혼란을 방지하기 위해 DERP(Distributed Energy Resource Provider)와 SC(Scheduling Coordinator) 제도 시행

- DERP는 분산형 에너지자원을 모집·계량·정산을 일원화하여 운영하며 개별 자원의 용량 및 운영 특성 등을 전력시장 운영자와 공유
- SC는 분산형 에너지자원을 제어하여 실제 시장에 참여할 수 있도록, 전력시장에 대한 입찰을 실시하고 계량데이터를 검증관리

그림 6. DERP 및 SC제도 개념도



출처: 한전경제경영연구원(2017, p.9)

DERP 및 SC 확산에 있어서 아래와 같은 세 가지 장애요인이 존재

- (첫 번째 요인) DERP가 전력도매 시장 참여시 여전히 다양한 규제가 존재함
- (두 번째 요인) DERP 프로그램 참여시 이익이 충분하지 못하며, 특히 분산형 에너지자원 모집 수가 작을 경우 이익 실현 가능성이 더욱 낮아짐
- (세 번째 요인) 서비스 제공을 위해 계량시스템 구축이 필수로 요구되지만 기술적으로 어려운 수준임

04 국내 소규모 전력중개시장 현황

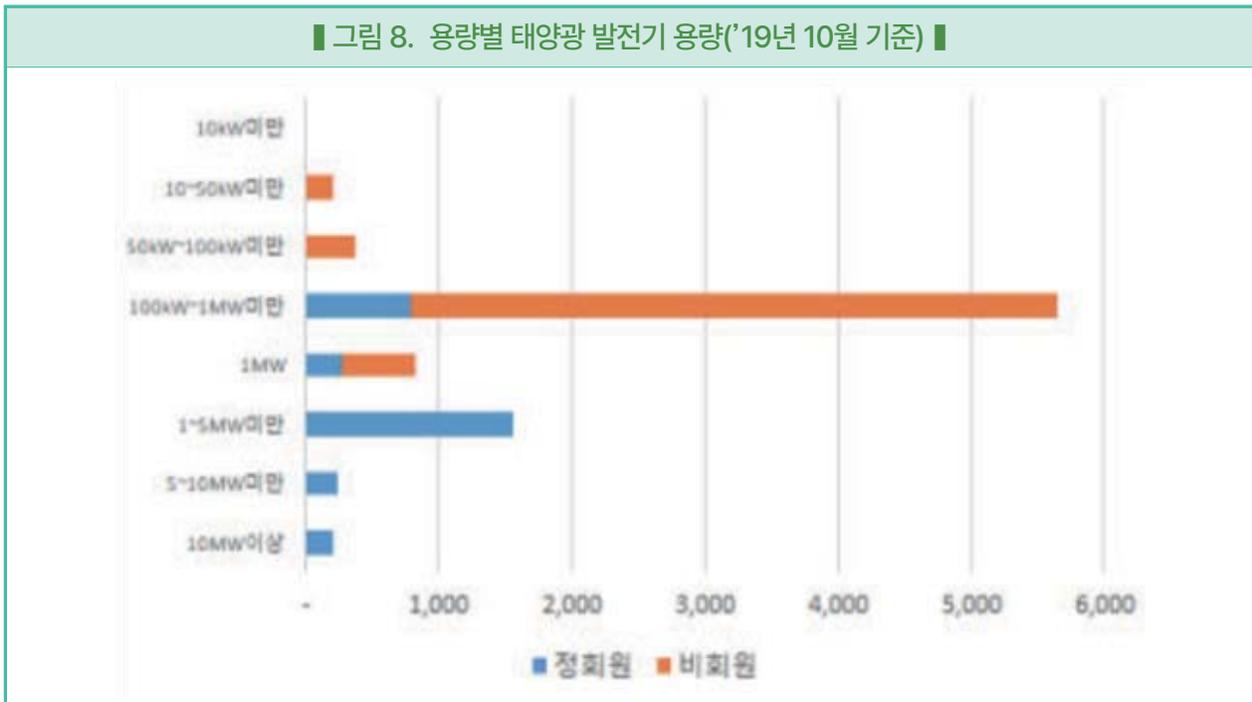
정부는 2018년 12월에 전기사업법 및 시행령 개정을 완료하고, 소규모 전력중개사업 제도를 도입하였으며 2019년 2월부터 본격적으로 운영 중

- (소규모 전력중개사업 정의) 1MW 이하의 소규모 전력자원에서 생산·저장한 전기를 중개사업자가 모아 전력시장에서 거래하는 사업
- (소규모 전력자원 구성) 1MW이하의 신재생에너지, 에너지저장장치(ESS), 전기자동차(규모 제한없음)
- (중개사업자 업무) 중개사업자는 모집된 소규모 자원에서 생산 또는 저장된 전력을 모아서 거래하며 신재생에너지 공급인증서(REC)의 거래대행 및 설비 유지보수 등의 서비스를 제공



- 전력거래소를 통한 전력시장 판매방법은 한전 PPA에 비해 계량기 비용이 높고, 정산 절차가 복잡하며, 연간 전력판매수입의 큰 차이가 없으며(20~30만원 높음).
- 현행 장기고정계약 정산방식에 따르면 전력거래의 수입이 증가하면 총 정산금은 감소하거나 동일하므로 전력시장 판매에서 한 전 PPA로 변경할 유인이 발생함.
- 이에 따라 한전 PPA는 2019년 10월 기준으로 전체 1MW 기수 중에 약 95%, 용량 기준으로는 약 85%로 절대 다수를 차지

■ 그림 8. 용량별 태양광 발전기 용량('19년 10월 기준) ■



자료: 한국전력거래소 전력통계시스템(<http://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/>)

## 4 정량분석 결과



### 01 소규모 태양광사업자의 효용분석

■ 본 연구에서는 선택실험법을 채택하여 소규모 태양광발전사업자를 대상으로 설문조사를 바탕으로 전력 판매 방법에 대한 선호를 분석하고 중개사업자의 활성화 정책 효과를 도출

- 소규모 태양광사업자 206명을 대상으로 설문조사를 실시, 속성 변수로는 판매단가, 계량기 비용, 거래 용이성, O&M 서비스, 수익 안정성을 채택하고 다중로짓모형으로 계수를 추정

<표 3> 추정결과

변 수		계수	표준오차	t-값
상수항(c)		-15.188	1.229	-12.356***
O&M 서비스(OM)		0.365	0.091	3.999***
거래간편성	매우간편 (CON1)	0.609	0.140	4.336***
	간편 (CON2)	1.262	0.136	9.268***
	보통 (CON3)	0.322	0.143	2.245**
수익안정성(SF)		0.530	0.100	5.281***
전력판매단가(PR)		0.158	0.014	11.029***
계량기설치비(ME)		-0.004	0.000	-8.182***

주) \*\*: 5% 수준에서 유의함.

\*\*\*: 1% 수준에서 유의함.

출처: 저자 작성

- 양의 계수는 거래가 간편하고, 수익이 안정적이며, 판매단가가 높고, 계량기 비용이 낮을수록 효용이 높아짐을 나타냄
- 거래 간편성 계수의 크기를 비교할 때, “간편”의 계수(0.882)가 “매우 간편”(0.418)보다 높은데 이는 REC 장기고정계약에 대한 효용이 보다 큰 것으로 해석함
- 이는 소규모 태양광사업자의 전력선택방법의 주요 영향요인은 REC 장기고정계약 가능여부라 할 수 있음

## 02 소규모 태양광사업자의 전력판매방법 모의

추정결과를 바탕으로 현행 CBP 제도를 전제하는 시나리오를 아래와 같이 구성하여 소규모 태양광사업자가 중개사업자를 선택할 확률을 모의

- 시나리오-1에서 예측정산금은 현재 논의되고 있는 사안으로, 하루전 시장에서 시간대별 태양광 발전량 입찰의 정확도를 높일 경우 추가 정산금을 지급하는 인센티브 제도

<표 4> 추정결과

구분	내 용
BAU	중개수수료(5원/kWh)
시나리오-1	중개수수료(5원/kWh), 중개사업자 O&M 서비스 제공, 예측정산금(5원/kWh), 계량기 비용 인하(350만원→50만원)
시나리오-2	시나리오1과 동일, REC 장기고정계약 허용으로 수익안정성 확보

출처: 저자 작성

- 시나리오-2에서 가정한 제도는 중개사업자의 REC 장기고정계약 허용으로, 이는 현행 제도에서 불가능한 것으로 해당 제도의 조건부 허용을 전제하여 적용
- (BAU의 결과) 현행 상태의 중개사업자의 점유율은 3.3%에 그쳐 현행 CBP 제도에서 추가적인 인센티브 없이는 중개사업자 활성화가 매우 어려울 것으로 전망
- (시나리오-1) 중개사업자의 점유율을 24.1%로 대폭 상승하는데 이는 현재 추진 중인 계량기 비용 절감, 예측정산금 제도 실현 시 중개사업자는 비교적 활성화가 가능할 것으로 예상
- (시나리오-2) 중개사업자의 REC 장기고정계약 입찰 허용으로 수익 안정성을 확보한다면 시장점유율은 35%로 증가할 것으로 전망

**<표 5> 시나리오별 전력판매방법 점유율 모의**

구분	PPA+장기고정	PPA	전력시장	중개사업자
BAU	57.4%	33.8%	5.5%	3.3%
시나리오-1	45.1%	26.5%	4.3%	24.1%
시나리오-2	38.6%	22.7%	3.7%	35.0%

## 5 정책제언



### 해외사례 조사를 통한 정책시사점

- CAISO와 같이 예측의무가 존재하는 선진화된 하루전-실시간 전력시장에서라도 반드시 중개사업자의 활성화를 보장하지는 못하므로 독일의 Management Premium과 같이 중개사업자(원격제어 수행)를 지원하는 제도 도입이 필요
- 호주의 성공적인 중개사업자 활성화 요인이 에너지단일시장에 따른 판매수입 보장임을 고려할 때, 국내 CBP 시장에서 효과적인 수단으로 예측능력 제고와 같은 편익제공에 상응하는 인센티브를 부여하여 추가 수입원을 제공하는 방법이 필요

### 국내 정책 제언

- 공급형 VPP 활성화를 위해서는 단기적으로 소규모 전력 중개시장 활성화가 요구되며, 구체적 수단으로는 계통기여에 따른 인센티브 제공, 중개사업자의 REC 집합체 거래를 통한 수익 제고, 수익 안정성 확보를 위한 중개사업자의 REC 장기고정계약 참여 허용, 효과적인 전력거래 유인을 제공하는 장기고정계약 정산방법의 개선을 들 수 있음
- 중장기적인 공급형 VPP 활성화 방안으로는 도매전력시장에서 보조서비스 시장참여로 인한 추가 수익확보가 필요한데 이는 관련 기술의 개발, 송배전단과의 협력체계, 정산 등의 제도 구축이 요구되므로 중장기적 계획 마련이 요구됨

## 배출권비용의 전력시장 반영방안 연구

연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
에너지경제연구원	2020년	김남일	자체 연구보고서

### 1 연구의 필요성 및 목적

#### 01 연구의 필요성

##### 배출권거래비용을 전력시장에 반영하는 것은 매우 중요한 현안

- 미세먼지와 온실가스 문제로 인해 최근 국내에서도 깨끗한 전력을 공급하는 것이 전력 정책의 중요한 한 축이 되었음
- 2030년 온실가스 감축 목표와 올해 발표된 2050년 감축목표를 달성하기 위해서는 장기적으로 화력발전, 특히 석탄발전을 축소하고 재생에너지의 비중을 높이는 것은 거스를 수 없는 추세임
- 저탄소 발전원으로서의 전환을 위해 가장 중요한 정책 수단 중의 하나는 탄소가격화(carbon pricing)이고, 배출권가격을 전력시장에 반영하는 것은 매우 중요한 이슈로 부각되어 있음

##### 최근 전력시장운영규칙의 개정으로 배출권 비용 반영방식에 대한 세부적인 규정마련의 필요성

- 2019년 12월, 배출권비용 관련된 전력시장운영규칙이 개정되었으며, 그에 따라 세부적인 운영 내용을 규정하는 「비용평가세부 운영규정」도 2021년 말까지는 보완되어야 하는 상황에 있음
- 또한 최근 공표된 바 있는 제9차 전력수급기본계획에서도 배출권 비용 반영을 포함한 소위 '환경 급전'의 강화가 현안이 되고 있음
- 이와 더불어 「제3차 배출권거래제 기본계획」(2019.12월)이 공표되고, 「제3차 계획기간(2021~2025) 국가배출권할당계획」(2020. 9월)에서는 본 연구에서 제시한 방향으로 발전원 배출계수와 관련된 벤치마크(BM) 설정 방식이 결정되면서 이러한 최근의 정책이 전력시장에 미치는 영향이 어느 정도인지에 대한 관심이 늘어나고 있음

## 02 연구의 목적

### ■ 효과적인 탄소가격 신호 전달과 시장의 혼란 최소화를 고려한 바람직한 BM 적용방안 검토

- 배출권 비용의 전력 시장 반영 방식을 전체 발전원에 동일한 배출계수를 적용하는 통합 BM, 발전원 별로 다른 배출계수를 적용하는 개별 BM을 중심으로 살펴봄
- 실제 우리나라 전력시장을 반영한 모형을 통하여 시장 전체 및 개별 발전사에 미치는 영향을 입체적으로 분석함

### ■ 전력시장에서 발전사업자의 배출권 준비용 산정 시 효율적으로 작동하는 메커니즘 제안

- 배출권 비용의 전력시장 반영 방식을 전체 발전원에 동일한 배출계수를 적용하는 통합 BM, 발전원 별로 다른 배출계수를 적용하는 개별 BM을 중심으로 살펴봄
- 실제 우리나라 전력시장을 반영한 모형을 통하여 시장 전체 및 개별 발전사에 미치는 영향을 입체적으로 분석함

### ■ 전력시장에서 발전사업자의 배출권 준비용 산정 시 효율적으로 작동하는 메커니즘 제안

- 비용정보를 가진 발전사업자가 무상할당된 배출권을 정산받음으로써 우발이득을 취득하게 되면 불필요한 전기요금 인상이 야기될 수 있는 바, 이에 대한 정확한 평가가 중요함
- 발전사업자의 비용정보를 효과적으로 수집 또는 추정하여 배출권 관련 비용 산정이 형평성 있게 이루어질 수 있는 메커니즘 수립 방안을 모색함

### ■ 화석연료 발전설비 특히 석탄발전에 대한 정부의 장기적 정책 방향 제시

- 2050년 탄소중립 발표 등 정부의 탈탄소화 정책 방향이 확립되고 있는 상황에서 본 연구의 배출권 비용 분석을 바탕으로 석탄 발전의 원활한 퇴출을 위한 정책 대안을 고려함

## 2 연구내용 및 주요 분석 결과



### 01 연구구성

#### ■ 본 보고서 각 장과 절의 주요구성 정리

- 제2장에서는 기존 문헌에 나타난 배출권가격의 전력시장 반영에 관한 논의를 정리한 후, 정리된 방식에 대한 이론적 평가와 비교표를 제시함
- 제3장에서는 국내 배출권거래제와 전력시장 구조 및 현황을 정리하며, 특히 배출권 비용의 반영을 이해할 수 있도록 전력시장의 변동비 및 고정비가 어떻게 처리되고 있는지를 살펴봄

- 제3장의 3절에서는 현행 배출권비용 정산방식을 소개한 이후, 최근 개정된 전력시장운영규칙 조항을 검토해 보며, 작년까지 전력거래소가 준비해온 방안을 소개하고, 이에 대한 이해를 돕기 위해 사례를 들어 예증하고 평가함
- 제4장은 본 연구의 핵심으로서 앞의 제2장에서 논의된 각 BM 방식을 포함하여 논란이 되고 있는 여러 이슈를 전력시장 모형(M-Core)을 통해 우리의 실제 자료를 사용하여 분석함
- 석탄 총량제약 문제, 전력부문에서 온실가스 목표치 달성 여부, 최근 유가 인하가 미치는 영향, 그리고 배출권비용 반영방식의 변화에 따른 전략적 행동 가능성 등의 이슈에 대한 분석을 진행하고, 소결론을 도출함
- 마지막 제5장은 보고서 전체의 결론과 정책제언을 제시함

## 02 주요 분석 결과

### ■ 제 2장에서 논의된 각 방식별 이론적 분석을 종합한 결과표

<표 요약-1> 방식들에 대한 종합 평가

	효율적 경쟁시장 (Benchmark)	유상할당 100%	발전기별 BM/SMP 순비용 반영	통합 BM/SMP 순비용 반영	가상 급전시스템
공급측 효과 (급전순위)	○	○	△	○	○
수요자측면 효과 (SMP 증가폭)	○	○	△	△	△-α
투자/퇴출 효과 (발전원 유형 내 상대적 효율적 보상)	○	○	×	○	×
발전사업자들의 초과이윤 억제	×	×	△	×	○

■ 제2장의 주요 결과로서, 공급측 효과, 수요자측면 효과, 투자/퇴출효과, 발전사업자들의 초과이윤 억제 등 몇 가지 원칙하에 여러 가지 방식에 대해 정성적으로 평가한 결과 통합BM을 적용하고 발전기별 순비용을 반영하는 방안이 상대적으로 효율적 전력시장에 가까운 것으로 평가됨

### ■ 제4장에서 논의된 전력시장 모형을 활용한 분석 결과

■ 첫째, 전원별/BM방식별 효과를 비교해 보면, 기본(BAU)에서 유상할당 10% 수준으로 변화될 때 개별 BM과 통합BM의 차이가 뚜렷이 나타남을 보았음

- 그 이유는 모든 발전원에 동일하게 적용되는 통합BM의 특성상 석탄 발전기에 비하여 온실가스

배출량이 낮은 LNG 발전기들이 발전연료 또는 발전기별로 배출계수를 설정하는 개별BM에 서보다 유리해지기 때문임. 그러나 유상할당 비율이 10~40%로 증가하면 그 상대적 유리함이 희석되는 것을 확인함

❑ 둘째, 회사별/BM방식별 효과를 보면, 2021년 시점에 석탄비중이 높은 남동발전이 가장 큰 부담을 떠안게 된다는 점을 확인할 수 있음

- 여타 발전자회사들도 유상할당 비중 증가에 따라 비용부담이 증가하지만, 유상비율 10~40% 사이에서 석탄발전기의 상대적 효율성, 각 발전회사 내 가스발전의 비중, 소속 가스발전기의 급전순위상 위치에 따라 비용 부담의 순위가 달라짐
- 반면 민간LNG 그룹에 속한 발전기를 보면 특히 통합BM 방식 하에서는 유상비율 40%까지도 배출권 판매수익(+)이 발생하는 것으로 나타났음

❑ 셋째, 산업부와 환경부 사이의 쟁점이 되었던 석탄 총량제약을 통한 온실가스 제어 문제를 정리해 보았음

- 연간 온실가스 목표에 맞춰 연간 석탄발전량을 결정하고, 동계와 하계를 각각 춘계와 추계에 연계하여 조정하는 방식으로 운영을 하게 되면, 온실가스 배출량 연간목표치를 확실하게 달성 할 수 있는 방법으로 보임
- 따라서 제3차 할당계획의 전반부('21~'23년) 사이의 전력시장 운영은 수정된 개별BM 하에서 전환 부문 연간 목표치(2030 온실가스 수정로드맵)의 달성을 위해 석탄 총량계약 방식을 병행하는 방안도 검토할 필요가 있음

❑ 넷째, 9차 전력수급기본계획은 8차 계획 대비, 온실가스 배출량을 상당부분 낮출 수 있는 방안을 포함하고 있는 것으로 판단됨

- 9차 계획 검토안에서 발표된 2034년까지 석탄 → 가스대체 설비 계획과 9차 목표수요안이 모두 충족된다는 가정 하에, 온실가스 배출량은 8차 계획대비 약24백만 톤 정도 추가 감축이 가능한 것으로 분석되었음
- 현재 34백만 톤의 추가감축을 목표로 하고 있는 사정을 감안하면 상당한 효과를 거둘 수 있는 것으로 보임

❑ 다섯째, 2020년 4~5월 사이에 큰 폭의 유가하락과 이에 연동된 LNG 가격이 시차를 두고 크게 하락한 바가 있어, 석탄과 LNG 급전순위에 어떤 영향을 미치게 될지에 대한 분석을 수행함

- LNG 연료가격이 최저로 반영된 2020년 9월 시점의 연료가격을 기준으로 할 때, 모형 분석한 결과, 양발전원의 급전순위를 크게 뒤집는 수준에 이르지 못하는 못하였으며 약 2% 정도의 발전비중이 상대적으로 변하는 수준에 그치는 것으로 나타났음
- 이에 따라 약 6백만 톤의 온실가스 배출량 추가 감소효과가 있는 것으로 분석됨

여섯째, 배출권거래비용을 열량단가에 적용할 때 SMP를 결정하는 한계발전기들의 전략적 행동 가능성이 한편에서 제기되고 있기 때문에 그 가능성에 대한 모형분석을 시도하였음

- 몇 기의 LNG 복합발전기를 통제하여 개별BM/통합BM 하의 유상비율에 따라 변동비 순위가 크게 바뀔 수 있는 상황을 모사해 보았음
- 유상할당으로 인한 변동비 추가분과 잉여배출권 판매수익으로 인한 변동비 감소분 등이 복합적으로 작용하면서, 개별발전기 차원의 미시적 수준에서 배출권 과잉/과소 처리를 둘러싼 복잡 한 의사결정의 문제가 발생할 수 있음을 확인하였음

### 3 결론 및 정책제언



#### 01 결론

우리의 배출권시장과 전력시장 상황 하에서 현실적 방안 모색

- 전력 도소매 시장의 구조가 외부비용을 포함한 발전원가를 충분히 반영할 수 있는 구조이고, 배출권이 100% 유상할당 된다면 배출권 가격과 발전원별 배출량에 기초해 발전원별 탄소비용을 발전원가에 바로 반영하면 됨
- 현실에서 전력 도소매 시장은 다른 정책적 목표로 인해 규제가 존재하고, 아직까지는 연료비용도 탄력적으로 가격에 반영되고 있지는 않음
- 배출권도 발전부문에 대해서는 2018~20년에 3%, 2021~25년에 10% 유상할당을 시행할 예정이며, 90%이상의 배출권이 무상할당되고 있기 때문에 전원별 탄소배출권 기회비용과 실제 비용 사이에는 큰 괴리가 존재함
- 이러한 여러 제약 하에서 현실적 방안을 찾으려 노력함

#### 02 정책제언

첫째, 사전에 정해진 일정에 따라 개별BM의 격차를 줄여가면서 점진적으로 통합BM을 실시하는 것이 바람직함

- 유상할당 비중이 상당히 높은 수준에 가기 전에는 통합BM이 탄소비용을 적절히 반영하는 과도기적 대안이라는 점은 확실하지만, 단기간에 도입하면 석탄발전소를 많이 보유한 회사의 입장에서는 100% 유상할당을 하는 것과 비슷한 체감적 효과를 느끼게 됨
- 확실한 탄소가격 신호를 전달하는 측면에서는 효과적이지만 석탄발전소가 단기간에 좌초되는 위험이 발생할 수 있으므로, 부드러운 전환을 위해서는 통합BM의 점진적인 도입이 바람직함

- 통합BM으로의 점진적인 이행과정에서 정부의 온실가스 감축목표(2030 수정로드맵상의 연도별 목표)를 확실히 달성하기 위해서는 석탄총량제도를 보완적으로 실시하는 것이 효과적임
- 최근 발표된 정부정책(3차 배출권할당계획)이 본 연구의 제언과 일치하는 방향으로 결정된 것은 본 연구에서 언급한 바와 같이 정책 목표의 지향성과 현실 상황의 어려움이 적절히 고려된 결과라고 생각됨
- 점진적 이행을 제안하는 이유는 제4장의 소결론에서 정리한 여러 가지 이슈들에 대한 점검과 파생되는 문제점들을 보완해가는 시간적 여유도 필요한 것으로 보이기 때문임

**둘째, 전력거래소에서 배출권비용 반영을 위해서 비용평가세부운영규정 상의 순비용산정 관련 세부조항을 신설할 때, 실행이 용이하면서도 인센티브 메카니즘에 부합하는 방식을 채택하도록 제안함**

- 전력거래소(안)은 할당대상 회사별 배출권 구매-판매자료를 모두 제출받아 이를 근거로 순구매 비용을 산출하고자 하는 것임
- 그러나 배출권 판매수익에 대한 영업비 자료를 수집하기 어려운 현실에서 진실보고를 유도하기 어렵다는 점을 감안하면, 개별 할당업체의 실제 구입·판매비용에 상관없이 탄소시장에서의 월별 배출권가격을 기준으로 삼아 유상할당 비율에 따른 배출권 순구입비용을 산정하는 방식이 더 좋을 것임
- 이 방식은 객관적으로 공표된 배출권가격을 활용하기 때문에 개별기업의 정보를 어렵게 수집하는 관리비용을 줄일 수 있으며, 오히려 각 기업의 거래능력에 따른 인센티브를 줄 수 있는 방법으로 볼 수 있기 때문임

**셋째, 통합BM을 실시하게 되면 영향을 크게 받는 석탄발전소에 대한 퇴출 인센티브 또는 보상방안을 마련해야 함**

- 통합BM을 통한 배출권가격의 적정 반영과 함께 탈석탄 보상을 위한 체계를 만들어야 원활한 전환을 유도할 수 있음
- 예를 들어, 2038년까지 탈석탄을 선언한 독일에서는 탈석탄법(안)에 따라 2020년부터 15년간 총 43억 5,000만 유로의 보상금을 활용해 석탄발전소 퇴출이나 LNG로의 연료전환을 지원할 계획이며, 단순 보상이 아니라 경매를 통한 최저보상금 입찰 또는 설비 가동 중단에 따른 최대 이산화탄소배출량 제시 등과 같은 인센티브 시스템을 통해 지원을 할 계획임
- 국내에서도 이러한 종류의 보상체계를 마련할 필요가 있고, 재원으로는 배출권 경매 수입과 전력산업기반기금을 고려할 수 있을 것임

## 가변속 양수발전 확충 시 전력시장 파급효과 분석 연구

연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
에너지경제연구원	2020년	조주현	자체 연구보고서

## 1 연구의 필요성 및 목적

## 01 연구의 필요성

## ■ 재생발전원 비중 증가로 인한 발전량 급변 예상

- 태양광, 풍력발전량 증가로 낮시간대 순수요 급감 및 급증
- 점심시간 부하 변동 등 실제 순수요의 급격한 증가, 감소 발생
- 이에 대응하기 위한 유연성 설비 확충 논의 필요

## ■ 양수발전의 필요성에 대한 관심 증대 및 가변속양수발전 설비 도입 계획

- 양수발전은 전력수요의 변동성에 대응할 수 있는 설비임
- 양수발전설비가 정지상태로부터 5분 안에 가동 가능한 반면, 가스발전은 정지상태에서 20~60분 소요
- 8차 전력수급계획에 가변속양수발전 도입을 계획하였고, 후보지도 결정됨('19.6.)

## ■ 가변속양수발전은 기존 양수에 비해 다음과 같은 특징이 있음

- 발전 시 출력조절이 용이하며, 그 폭도 넓음
- 양수 시에도 소비전력을 순간적으로 조절하여 예비력을 제공할 수 있음

## 02 연구의 목적

## ■ 가변속양수발전의 특성 소개

- 본 양수발전과 비교하여 가변속양수발전의 원리와 기술적 특징 소개
- 해외의 가변속양수발전 활용사례 분석

가변속양수발전 활용시 전력시장 파급효과 분석

- 전력수요가 낮고 재생발전량이 급증하는 추석시기에 가변속양수 발전설비 확충에 따른 효과 분석
- 가변속양수발전의 운영예비력 활용 시 효과 분석

가변속양수발전 도입에 대비한 정산제도 개선방안 제시

- 국내 양수발전의 운영 및 수익성 현황, 정산제도 분석
- 해외 양수 활용 현황 및 보상제도 분석
- 가변속양수발전 활용에 대비한 양수발전 보상제도 개선방안 제시

2 연구내용 및 주요 분석 결과



01 양수발전과 가변속양수발전의 비교 분석

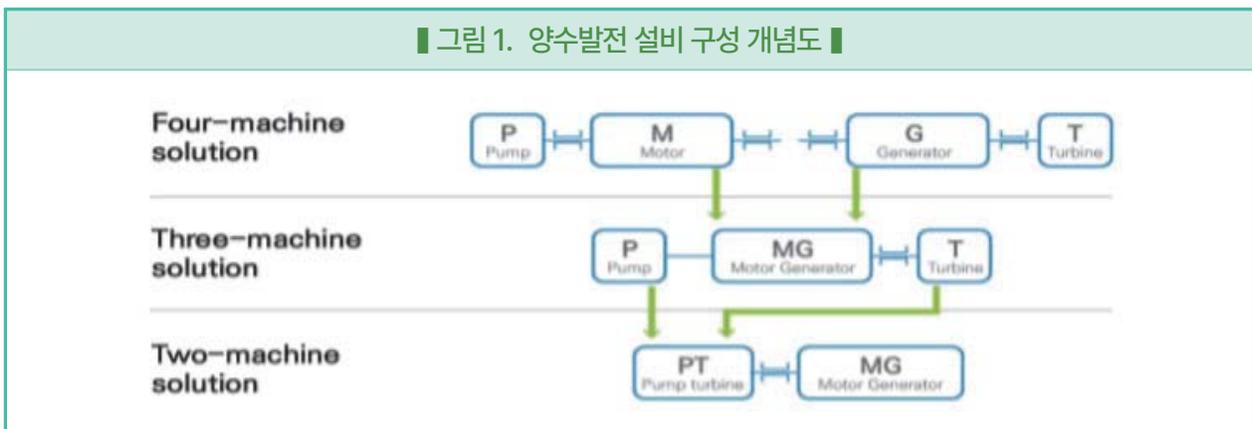
양수발전의 설비 구성

- (기본 구성) 발전설비: 터빈-발전기, 양수설비: 모터-펌프

기술개발에 따른 설비 구성 변화와 가변속양수발전 개발

- (Four-machine solution) 펌프-모터, 발전기-터빈이 분리되어 각 각 양수와 발전에 사용되며, 많은 공간이 필요함.
- (Three-machine solution) 모터-발전기의 일체화로 접속장비 및 공간을 효율적으로 활용 가능
- (Two-machine solution) 펌프-터빈도 일체화, 모터/펌프만의 속도 조절로 상부저수지에서 하부저수지로 물을 낙차시켜 전력을 생산하는 발전운전과 역으로 하부 저수지의 물을 상부 저수지로 끌어올리는 펌핑운전 사이의 전환이 용이해짐. 이로 인해 가변속양수발전기 개발 기반 마련

그림 1. 양수발전 설비 구성 개념도



자료: VOIGHT사 자료제공

### 가변속양수발전의 설명 및 특징

- 영어로 adjustable speed pumped hydro 혹은 variable speed pumped hydro로 번역되며, 이름에서와 같이 빠른 출력조절이 가장 큰 특징임
- frequency converter를 통해 모터-발전기의 속도를 조절하며, 이 로 인해 기존의 양수발전에 비해 발전 및 펌핑시 빠른 출력 변동 가능
- 기존의 양수발전은 발전기 출력 변동 폭이 작으며, 펌핑 시 소비전력은 고정됨

### 가변속양수발전의 세부 기술

- 발전기-모터 구동방식에 따라 DFIM(Double Feeder Induction Motor)와 CFM(Converter Fed Synchronous Motor)로 구분할 수 있음

<표 1> 가변속양수발전의 세부 기술과 항목별 특징비교

세부기술	출력변동폭	경제성	경제적 운영규모
DFIM	제한적	full converter 불필요로 인한 상대적 경제적 우위	100MW 이상의 설비에 활용
CFM	기준출력의 0~100%	full converter 필요로 인한 비용 증가	100MW 미만의 규모에서 경제성 확보 가능

자료: VOIGHT사 제공자료

### 해외의 가변속양수발전의 활용현황

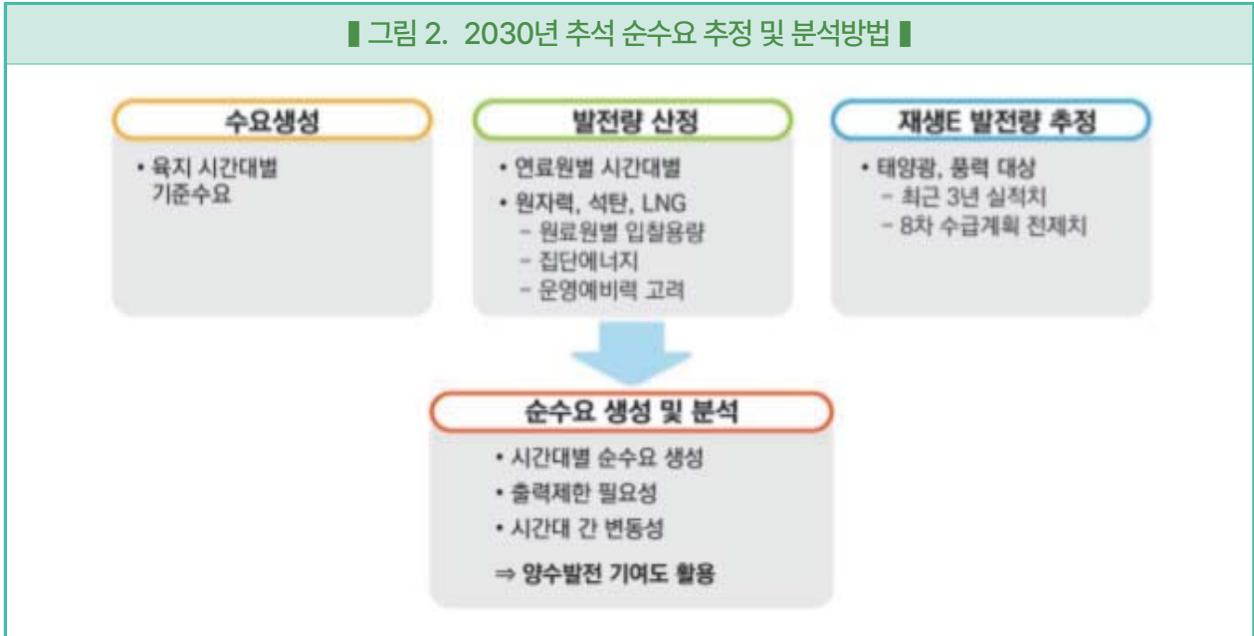
- 전 세계 총 18개 발전소(8.5GW)에서 운영 중: 일본 11곳, 유럽 7곳 발전소에 위치함
- 일본에서 80년대 파일럿 테스트를 거쳐 90년대 초 세계 최초로 오나가와 양수발전소에 가변속양수 발전기 운영을 시작함
- 신규건설은 스위스, 프랑스, 중국에서 진행 중(각 600MW 규모)

## 02 가변속양수발전 활용시 전력시장 파급효과 분석

### 2030년 전력 저수요와 재생발전원 발전량 증가가 동시에 일어나는 추석 시기의 과도발전량과 이에 대한 가변속양수발전의 역할 분석

- 2030년은 8차 전력수급계획에서 계획된 가변속양수 3기(총 2GW)의 도입이 완료되는 해임
- 추석기간은 전력 수요자 낮고, 재생발전원, 특히 태양광 발전량이 많아 향후에는 전력공급의 수요를 넘어서는 과공급(over supply)의 우려가 제기되는 시기임
- 2030년 추석당일의 육지의 시간대별 전력 순수요를 도출하고, 가변속양수발전의 계통 안정에 대한 기여도 측정(<그림 2> 참고)

- 또한 운영예비력과 기타 설비들의 특성을 고려하여 최소발전용량을 산정하고, 이를 바탕으로 시나리오를 구성함(〈표 2〉 참고)



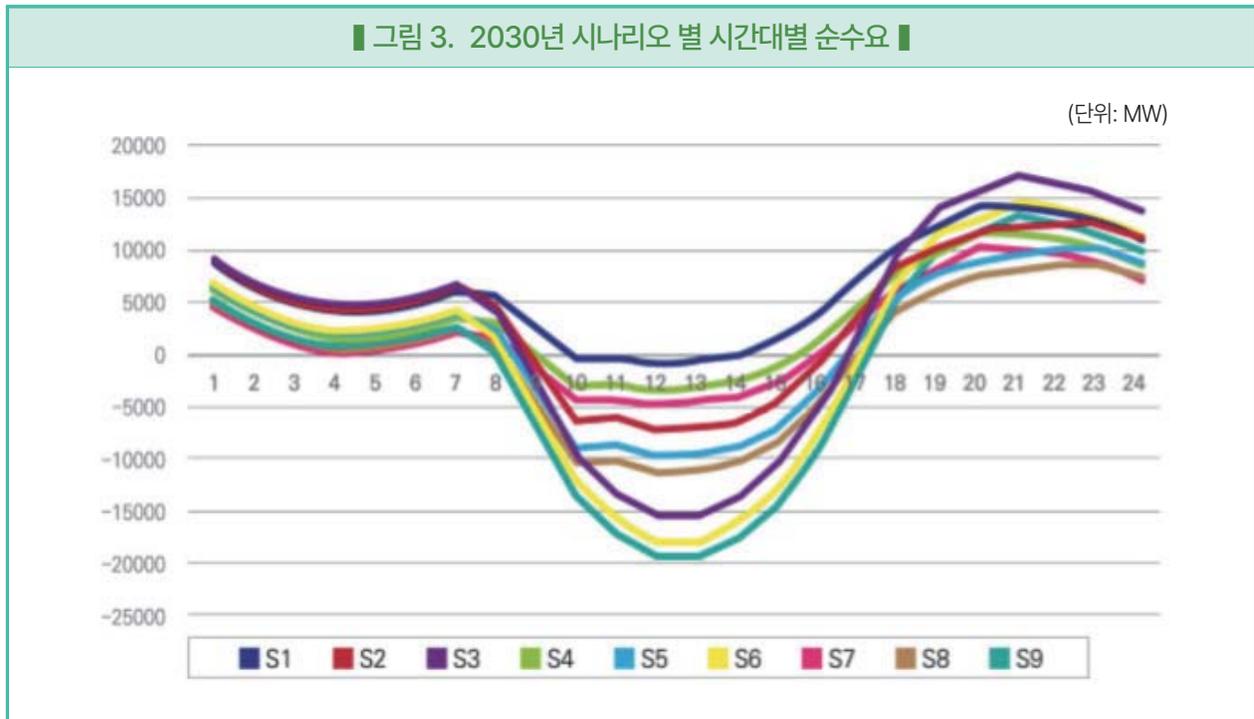
**<표 2> 각 예비력 별 석탄과 LNG비율 및 재생E 시간대별 이용률**

운영예비력 구성 (MW)			최소운영 용량(GW)	재생E 이용률	시나리오명
1차 (G/F)	석탄	500	• 원자력: 17.1 • 석탄: 12 • LNG: 17.6	'16년 9월 시간대별 실적	S1
	LNG	500			
AGC (FR+2차)	석탄	700	• 원자력: 17.1 • 석탄: 18.2 • LNG: 14.5	'19년 9월 시간대별 실적	S2
	LNG	1,400		8차 9월 시간대별 전체	
1차 (G/F)	석탄	1,000	• 원자력: 17.1 • 석탄: 21.2 • LNG: 12.8	'16년 9월 시간대별 실적	S4
	LNG	0		'19년 9월 시간대별 실적	
AGC (FR+2차)	석탄	700	• 원자력: 17.1 • 석탄: 21.2 • LNG: 12.8	8차 9월 시간대별 전체	S6
	LNG	1,400			
1차 (G/F)	석탄	1,000	• 원자력: 17.1 • 석탄: 21.2 • LNG: 12.8	'16년 9월 시간대별 실적	S7
	LNG	0		'19년 9월 시간대별 실적	
AGC (FR+2차)	석탄	1,000	• 원자력: 17.1 • 석탄: 21.2 • LNG: 12.8	8차 9월 시간대별 전체	S9
	LNG	1,100			

자료: 저자 작성

추석기간 과공급량은 가정에 따라 다르지만, 과공급이 발생할 가능성이 높을 것으로 예상되며, 태양광 발전이 가동되는 낮시간에 발생하는 것으로 분석됨

- 낮 시간에 태양광발전량이 증가함에 따라 역으로 순수요가 점점 낮아졌다 회복하는 duck curve 형태를 보일 것으로 예상됨(〈그림 3〉 참조)



자료: 저자 작성

- 수요를 넘어서는 과발전량을 기존에 운영 중인 양수발전설비와 2030년 계획된 가변속양수발전 설비를 양수모드로 운영하여 전력을 소비할 경우, 가변속양수까지 활용함에도 과발전량 중 일부를 흡수하지 못할 것으로 예상됨(〈표 3〉 참고)

**<표 3> 2030년 시나리오 별 과도발전 예상량**

시나리오명	Oversupply 규모(MWh)	양수가능량 (MWh)	양수대응 가능여부
S1	2,180	일부 양수 3차 예비력 제공 20,800	기존양수로 가능
S2	39,384		가변속양수 필요
S3	86,070		가변속양수+a
S4	15,835	양수발전 3차 예비력 미제공 25,030	기존양수로 가능
S5	59,384		가변속양수+a
S6	106,623		가변속양수+a
S7	26,496	가변속양수 포함 45,030	가변속양수 필요
S8	71,499		가변속양수+a
S9	120,123		가변속양수+a

자료: 저자 작성

추석기간 양수 시 가변속양수발전으로 석탄발전이 제공하는 일부 운영예비력을 대체할 경우, 기존 양수 발전과 가변속양수발전으로 대부분 과도발전량을 양수하여 대응할 수 있을 것으로 분석 됨(〈표 4〉 참고)

- 이는 석탄발전이 제공하던 예비력을 양수발전이 대체하면서, 예비력제공을 위해 운영되던 석탄 발전 중 일부가 운영을 하지 않게 되면서 석탄의 최소운영용량이 감소했기 때문으로 풀이됨

<표 4> 2030년 시나리오 별 과도발전 예상량

시나리오명	Oversupply 규모(MWh)	양수가능량(MWh)	양수대응 가능여부
S1	-	일부 양수	불필요
S2	8,148	3차 예비력 제공	기존 양수로 대응 가능
S3	47,968	20,800	가변속양수로 대응 가능
S4	-	양수발전	불필요
S5	22,544	3차 예비력 미제공	가변속양수 필요
S6	66,070	25,030	가변속양수+a
S7	-	가변속양수	불필요
S8	31,544	포함	가변속양수 필요
S9	78,070	45,030	가변속양수+a

자료: 저자 작성

### 3 연구개발 활용 제안



#### 01 국내 양수발전 수익구조 및 수익현황

양수발전은 크게 발전량과 발전 중 운영예비력 용량에 대한 대가를 지불받으며, 펌핑시에는 전력을 소비하므로 이에 대해 양수 시간의 계통한계가격을 기준으로 비용을 지불함

<표 5> 양수발전에 대한 정산요소와 정산금 항목명

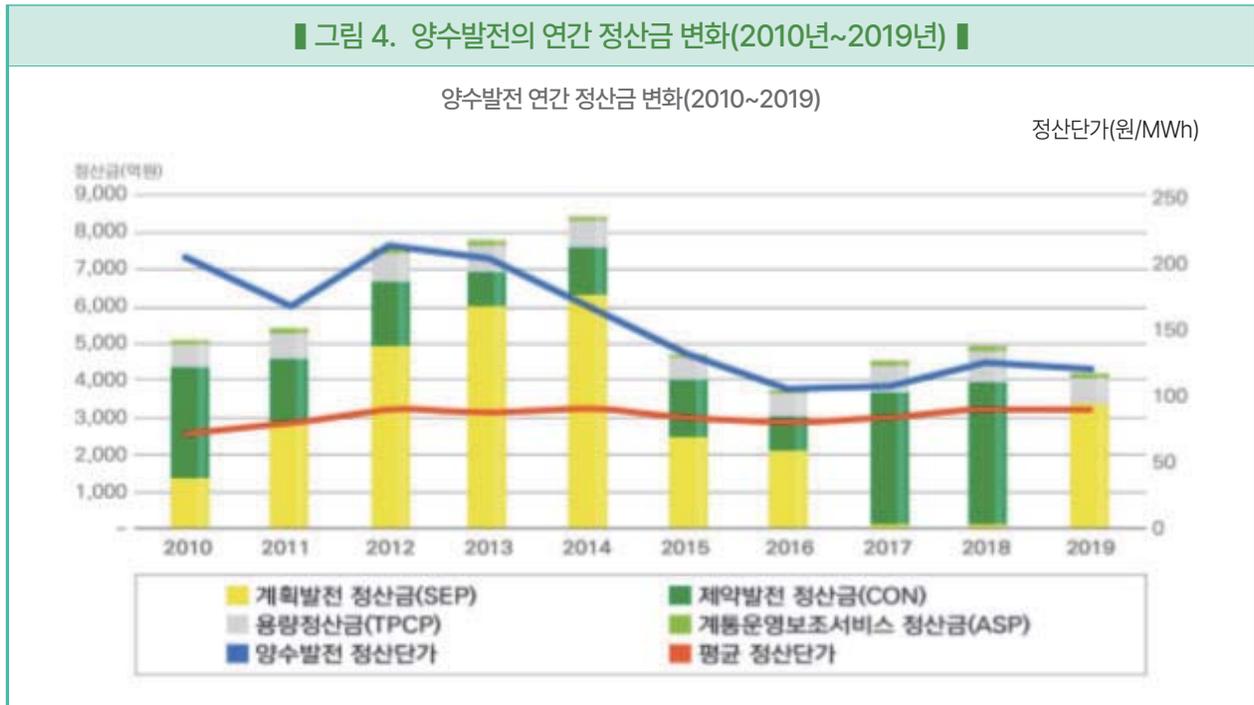
	정산요소	세부 정산금명	
발전용량제공시	용량요금	CP	
발전시	계획발전량	SEP	
	계획발전량 이외의 발전량	예비력을 위한 감발	COFF
		예비력제공을 위한 증발	CON
		예비력 제공량	ASP
펌핑시	계획양수량	PE	
	계획양수량 이외의 양수량	예비력을 위한 양수량 축소	COFPE
		예비력제공을 위한 양수량 증가	CONPE

자료: 정산규칙해설서(2019), 전력거래소를 참고하여 저자 작성

2019년까지 양수발전의 수익성이 지속적으로 악화되었는데(〈그림 4〉 참고), 이는 차익거래 실현이 불가능한 시장환경 때문인 것으로 설명됨

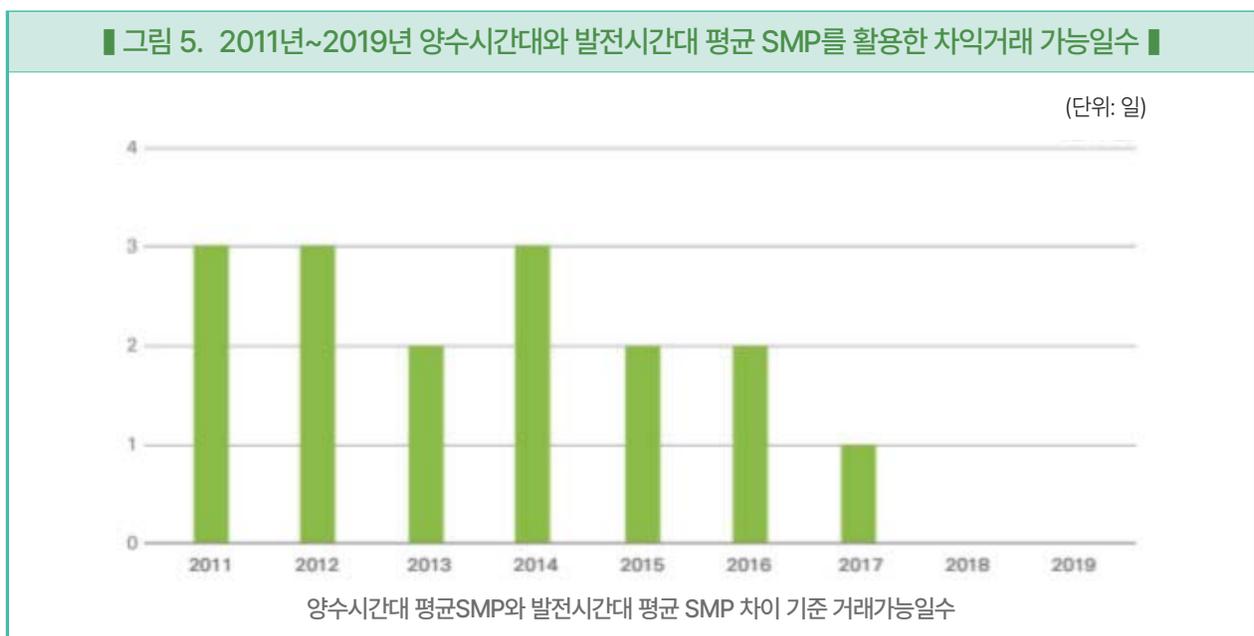
- 전력시장가격이 저렴한 시간에 양수하여 가격이 높은 시간에 발전하여 그 차액으로 수익을 실현해야 하나, 국내 시장에서는 가격변동성이 크지 않아 차익거래 실현이 어려운 것으로 조사됨
- 〈그림 5〉 참고
- 이는 해외 시장에서도 공통적인 문제로 제시되고 있음

■ 그림 4. 양수발전의 연간 정산금 변화(2010년~2019년) ■



자료: 전력시장통계 2011~2020년 각 호의 양수발전 발전량 관련 항목 정리

■ 그림 5. 2011년~2019년 양수시간대와 발전시간대 평균 SMP를 활용한 차익거래 가능일수 ■



자료: 저자 작성

## 02 가변속양수발전 확충에 대비한 보상제도 개선안

### ■ 펌핑운영으로 인한 계통안정성 기여도에 대한 보상

- 펌핑의 사유에 따라 비용지불 정도를 세분화하는 방안을 고려할 필요가 있음
- 급전지시에 의한 펌핑일 경우 이로 인해 소비된 양수동력에 대해서는 계통운영 안정에 대한 기여를 인정하여 부담을 경감시키는 방안이 필요
- 영국의 DTU(Demand Turn Up) 서비스와 같이 추가수요를 창출 하는 시장에 대한 고려도 필요

### ■ 예비력 보상제도 개선방안

- 유럽에서 가변속양수발전을 활용 중인 독일, 프랑스, 스위스, 스페인, 그리고 재생발전원 용량비중이 큰 영국을 대상으로 운영 예비력 중 국내의 주파수유지예비력과 주파수회복예비력에 해당하는 서비스들에 대한 확보와 보상방식 현황에서 시사점을 도출
- 대부분의 국가에서 시장(경매 혹은 계약)을 통해 필요한 운영예비력을 확보함
- 확보된 용량 및 운영예비력을 위해 제공된 발전량에 대한 보상은 국가별로 상황에 따라 서로 다른 형태(규제가격, 참여자들의 투찰가, 한계발전기의 가격으로 일괄보상하는 방안 등)를 보임
- 미국과 한국의 전력시장에서는 일물일가의 원칙에 의해 낙찰된 자원들이 동일한 가격으로 보상을 받음. 운영예비력 확보를 위한 입찰시장제도의 급격한 도입은 해외의 운영예비력시장에서의 가격을 고려할 때 비용 상승 요인이 존재하므로, 제도 변화에 따른 급격한 변화를 완화할 수 있도록 현재 제도와 입찰시장제도 의 본격적인 도입 사이의 중간단계가 필요한 것으로 보임
- 하나의 대안으로 유럽과 같이 장기계약과 투찰가 보상방식을 고려해 볼 수 있을 것으로 보임
- 장기계약의 사례로 2020년 6월, 영국의 계통운영사인 national grid가 2020년 6월, Cruacha 양수발전소(440MW 규모)를 포함한 5개 설비에 6년간 장기계약을 맺고 관성유지를 위한 운영예비력 자원으로 활용을 시작한 사례를 참고할 수 있을 것임. 이는 계통운영에서 필요한 예비력 설비자원의 안정적인 확보를 위해 장기계약을 활용하여 장기간 안정적인 설비를 직접 확보하여 계통운영의 유연성을 제고할 수 있을 것으로 보임
- 투찰가 보상방식의 경우 현재 국내 전력시장의 보상제도의 근간인 일물일가 적용원칙과는 다른 측면이 있으므로, 국내와 유럽의 전력시장, 특히 운영예비력 시장제도와 그 환경을 고려하여 적용을 고려해야 할 것으로 보임

## 신재생에너지 및 분산전원 확대에 따른 소매시장 정책 연구

연구기관	발간연도	위탁연구기관	과제분류
한국전력공사	2022년	연세대학교	위탁 연구개발과제

### 1 연구개발의 필요성 및 목적

#### 01 연구의 필요성

- 현재 우리나라의 전력시장 구조는 신재생에너지 및 분산전원 확대 등을 뒷받침하기 어려움
- 신재생에너지 및 분산전원 확대의 핵심은 환경비용 등의 외부비용을 시장가격에 반영하여 가격신호기능(price signal)을 회복하는 것과 도소매시장에서의 유기적 전력거래 등으로 요약할 수 있음
- 이와 같은 전력시장의 주요 정책 현안들은 활발하게 논의되고 있으나 객관적이면서 체계적으로 정리되고 있지 않음
- 재생에너지 및 분산전원의 확대라는 글로벌 트렌드 하에서 이와 같은 정책 현안들을 면밀하고 체계적으로 검토하는 것은 전력시장 제도개선에 기여함과 함께 다가오는 시대에 한전의 역량강화에 매우 중요

#### 02 연구의 목적

- 재생에너지 및 분산전원 확대 등 에너지전환에 따른 소매시장 정책연구의 개발 목표는 다음 네 가지 임
  - 재생에너지 유인을 위해 전력가격에 배출권 비용을 반영하는 환경급전 정책 검토
  - RE100 등의 가속화로 인한 재생에너지 제3자 PPA 및 전력거래P2P에 대한 정책 검토
  - 소매시장에서 소비자의 재생에너지에 대한 인식수준 제고를 위한 녹색요금제 검토
  - 분산전원 확대에 따른 지역차별요금제의 검토
- 위 네 개 주제에 대한 해외 주요국의 전력시장 제도개편 사례를 바탕으로 전력시장의 선진화를 위한 방안을 우리나라와 해외시장의 비교 분석을 통해 제시

- 다양한 시장제도 도입 시 한전의 재무적 영향, 한전의 영향력 확대를 위한 대응방안 제시
- 향후 제도 변화가 확정된 주제에 대해서는 추가적인 대안 제시
- 위 과정을 바탕으로 신재생에너지 및 분산전원이 확대되는 상황에서 전력시장에서의 한전의 역량강화와 우리나라 실정에 맞는 소매시장 제도개선 로드맵을 제시

## 2 연구개발의 내용 및 범위



- 우리나라 전력시장의 제도적 한계와 특징을 살펴보고, 이를 개선하기 위한 주요 정책 현안들의 적용 가능성 및 논리적 타당성 검토
- 신규 시장 변화에 따른 한전의 재무적 영향 분석 및 한전의 영향력 확대를 위한 대응방안 제시
- 해외 사례의 무비판적인 수용이 아닌 우리나라와의 공통점 및 차이점을 분석하고, 제도 도입을 위한 선결 조건 등을 검토함으로써 현실적인 로드맵 제시

### 01 환경급전과 도소매연동제

- 우리나라는 환경급전과 석탄발전 총량제를 본격 시행하여 현행 도매 전력시장을 변동비반영시장(CBP)에서 제한적 가격입찰제(PBP)로 전환을 진행 중
- 우리나라의 환경급전은 현행 제도에서 발전사의 온실가스 배출권 구매 비용의 보전을 중단하여 발전사의 배출권 구매 비용을 발전원가에 포함시키는 방안을 뜻함
- 석탄발전 총량제는 발전부문의 배출량을 할당하는 제도로 연간 감축할 석탄 발전량을 산정함
- 환경급전과 석탄발전 총량제의 도입으로 발전사의 발전원가는 상승할 것으로 예상되어 도매가격은 인상될 것으로 보임
- 반면, 현행 소매가격은 2021년부터 원가 연계형 요금제의 도입으로 도매가격과 연동되고 있으나 유기적으로 연동되지 못함에 따라 이를 보완할 필요성 대두
- 현행 연동제가 시행되었으나 아직 다수의 국민들이 연동제 시행여부를 인지하지 못하고 있으며 연동제 개편의 핵심 중 하나인 기후환경요금에 대해서 인지하지 못하는 등 연료비 연동제에 대한 수용성이 매우 낮음
- 다양한 형태의 정책 홍보를 통해 연동제에 대한 수용성을 지속적으로 높일 필요 있음
- 또한, 해외의 사례를 검토하여 에너지전환 비용을 제세부담금의 형식으로 환수하여야 하며, 이를 위한 제도적 정비가 필요
- 우리나라의 소매전기요금 중 정책비용을 포함한 제세부담금의 비중은 16%에 불과함

- 에너지전환에 필요한 비용이 상당함에 따라 유럽의 선도국들은 40~50%에 달하는 정책비용을 제세부담금으로 환수하고 있음
- 우리나라가 에너지전환에 더욱 적극적인 자세를 취하기 위해서는 에너지전환 정책에 대한 수용성을 지속적으로 높이는 노력을 기울여야 하며, 정책비용을 적극적으로 제세부담금의 형태로 부과하여야 함

## 02 RE100과 제3자 PPA

- RE100은 Renewable Energy 100%를 뜻하며, 기업들이 소비하는 모든 전기를 재생에너지로 조달하겠다는 일련의 캠페인
- 민간에서 시작된 에너지전환을 위한 자발적인 캠페인이라는 것이 큰 의의
- 그러나 우리나라는 재생에너지의 조달 조건이 해외와 달라 기업들이 쉽게 RE100에 참여하지 못하고 있음
- 재생에너지의 잠재력이 크지 않음과 동시에 100% 재생에너지로 조달하는 방법 중 하나인 전기구매 계약(PPA)가 제도적으로 불가하였음
- 그러나 법의 개정과 함께 재생에너지에 한하여 한전을 거치지 않고도 재생에너지 발전사업자가 직접 수요자에게 전기를 판매할 수 있는 발판이 마련됨
- 이와 같이 재생에너지 PPA가 가능한 제도적 발판이 마련되었으나 여전히 제도적으로 갖춰야 할 부분들이 많으며, 재생에너지 발전 단가(LCOE)가 산업용 전기에 비해 월등히 높음에 따라 기업들이 RE100에 참여할 유인이 크지 않음
- 제도적으로는 PPA는 한전의 고객이 아닌 장외거래이나 한전의 인프라를 사용하므로 망 이용료의 분리 고지가 필요함
- 또한, 재생에너지 발전은 간헐성 발전원임에 따라 volume risk가 크며, 이를 위해서는 한전의 보완 공급이 제도적으로 뒷받침 되어야 PPA를 안정적으로 유지할 수 있음
- PPA가 장외거래이나 에너지전환과 탄소중립이라는 국가 정책에 따라 에너지전환 정책비용을 동일하게 비차별적으로 부과하여야 함

## 03 소매시장의 녹색요금제

- 녹색요금제(Green Pricing)는 신재생에너지로 생산된 전력을 기존 요금보다 높은 가격에 소비자가 자발적으로 구매하도록 하는 요금제도를 의미함
- 녹색요금제는 소비자가 선택할 수 있는 요금제도이기 때문에 소비자의 자발적인 참여를 통한 신재생 에너지 보급 확산을 목적으로 하며 RE100 이행을 위한 중요한 수단이 될 수 있음
- 녹색요금제를 통해 확보한 수익은 신재생에너지 확충에 사용되므로 녹색요금제의 활성화와 신재생 에너지는 유기적인 보완관계임

- 우리나라에서는 산업용 및 일반용 전기를 대상으로 2021년 두 차례에 걸쳐 녹색요금제를 입찰하였으나 그 결과는 매우 저조함
- 녹색요금제가 저조한 다양한 이유가 있으나 가장 큰 원인은 기업이 참여할만한 유인이 부재하다는 것임
- 해외는 재생에너지 발전 단가(LCOE)가 산업용 전기에 비해 낮으므로 프리미엄을 지불하더라도 비용 절감 차원에서 충분히 녹색요금제에 참여할 수 있음
- 반면, 우리나라는 산업용 전기요금은 낮고, 재생에너지 발전단가는 높음에 따라 녹색요금제에 참여할 유인이 없음
- 또한, 해외는 소매전력시장이 자유화됨에 따라 전기 판매사의 다양한 상품들을 소비자들이 선택할 수 있음
- 우리나라는 현재 소매시장이 규제시장임에 따라 이 부분에서 취약한 상황
- 녹색요금제가 성공적으로 시행되기 위해서는 장기적으로 주택용과 상업용 전기에도 적용이 되어야 하며, 이 과정에서 높은 재생에너지 발전단가를 보전해줄 수 있는 FIT 제도를 동시에 활용할 필요성 높음
- 또한, 녹색요금제 도입에 대한 정책 수용성을 꾸준히 높이면서 소비자들의 지불의사금액(WTP)을 높이는 정책을 장기적인 안목에서 수행하여야 함

#### 04 지역별 전기요금 차등제

- 지역별 전기요금 차등제는 지역별로 소매요금이 차등화되어 부과되는 제도를 뜻함
- 발전원이 수요지에서 멀다면 수요지로 보내는 송전비용이 더 크므로 소매전기요금은 더 높아야 함
- 우리나라는 발전원이 남부지방에 집중되어 있으나 최대 수요지는 수도권인 북상조류의 특징이 있으므로 수도권의 전기요금이 더 비싸야 함
- 그러나 우리나라 송전이용요금은 발전측에 부과되지 않고 수요측에만 부과되고 있으며, 지역별 차등이 아닌 단일요금임
- 따라서 실질적으로 지역 차등 요금제는 시행되고 있지 않음
- 지역 차등 요금제는 향후 진행될 분산전원의 확대와 전력시장의 점진적 개편의 중요한 기초가 됨에 따라 지속적으로 추진되어야 함
- 해외에서는 우리나라와 같은 전력수급 불균형을 해소하기 위해 지역 차등 요금제를 시행중임
- 우리나라도 차등제 초기 단계에서는 산업용 전기에 차등제를 우선 적용하여 정책 수용성을 높이는 등의 고려가 필요
- 또한, 발전원이 밀집된 부울경에 시범적으로 저렴한 송전비용을 적용하는 등의 시행이 필요

### 3 연구개발결과 및 활용에 대한 건의



- 우리나라 전력시장의 주요 정책 현안의 체계적 검토를 통해 한전의 내부 역량 강화에 활용
- 미래 전력시장 구조개편에서 한전의 주도적인 역할에 활용
- 본 연구개발을 통해 재생에너지 및 분산전원 확대와 4차 산업혁명의 기초 하에서 전력시장에서 한전의 주도적 역할 제고





전력산업  
R&D REPORT

# 전력계통

## 연구과제(6건)





## AC-DC 복합 전력망 정밀해석을 위한 시뮬레이터 구축 및 해석기술 개발



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
한국전력공사 전력연구원	2019년	신경훈	자체 연구개발과제

### 1 연구개발의 필요성 및 목적



#### 01 필요성

- AC-DC 복합 전력계통에 대한 Full Scale 고정밀 해석 툴 개발 요구
- HVDC, FACTS 등 실 규모 제어기기에 대한 실시간 검증환경 및 기술 개발 필요
- 레플리카 제어기 등 외부기기 성능시험을 수용할 수 있는 환경 및 기술 확보 요구
- 실시간 해석의 효율성과 경제성을 고려한 하이브리드 계통 해석 기술 개발 필요

※ R&D계획근거 : 전력기술R&D로드맵-전력계통 안정운영 기술(T-4.1.1), 전력계통 정밀 해석기술(T-4.1.2)

#### 02 목표

- AC-DC 복합 전력망 정밀해석을 위한 시뮬레이터 구축 및 해석기술 개발

### 2 연구개발의 내용 및 범위



- 비축약(Full-Scale) 대규모 실시간 전력계통 해석 모의 인프라 구축(A-KEPS\*)
- 특수 제어 설비를 포함한 Full-Scale 대규모 계통 실시간 모의 기술 개발
- A-KEPS성능검증, 통합운영시스템 및 Hybrid Simulation Tool개발
- AC-DC통합계통 계획, 운영분야 활용기술 개발 및 Hybrid Simulation 국내 사례 적용 연구

### 3 연구개발 성과



#### 가. 기술적 측면

- 실제 현실의 계통과 동일 규모의 비축약 Full-Scale 모의 계통 구축을 통한 해석 결과의 신뢰성 강화
- 하이브리드 해석 기술 기반 상용품 수준의 해석툴 개발을 통한 신기술 주도
- AC-DC 복합 전력망 해석 기술 확보를 통한 미래 계통 선제적 대비

#### 나. 경제적 측면

- 계전기, 외부 제어기 성능 시험환경 구축을 통한 국내 계전기 업체 경쟁력 강화

#### 다. 연구개발성과물(Deliverables)

- AC-DC 복합 전력망 정밀해석을 위한 계통모의 통합 인프라(A-KEPS)

번호	연구성과물(Deliverables)	형태(Forms)	인수부서	Delivery Date	
				목표	실적
1	AC-DC복합 전력망 정밀해석을 위한 계통모의 통합 인프라(A-KEPS)	H/W	계통계획처	'17.1	'16.10
2	Hybrid Simulation Tool	S/W		'18.12	'18.8
3	특수설비 해석 모델	S/W		'19.1	'18.1
4	AKEPS통합 APP	S/W		'18.12	'18.12
5	AKEPS통합 운영 시스템(RMAS)	S/W		'19.1	'18.8
6 (KPI)	A-KEPS의 국내 계통규모 수용률	(KPI)		'17.10	'17.3
7 (KPI)	PSS/E와 Full RTDS 모의결과 차이율(전압)	(KPI)		'18.10	'17.11
8 (KPI)	실측데이터와 Full RTDS 모의결과 오차율(전압)	(KPI)		'19.10	'19.3

## 4 연구개발결과 활용 방안



## 가. 활용대상부서

■ 본사 계통계획처 및 신송전사업처

## 나. 활용방안

연구성과	활용 방안	활용 시기	활용 부서
AC-DC복합 전력망 정밀해석을 위한 계통모의 통합 인프라 (A-KEPS)	대용량 특수제어 설비 성능검증 및 계통 영향 분석	'16.6.~ (단계별 활용)	계통계획처
	레플리카 제어기 연계 시험 수행을 통한 도입 설비의 신뢰성 검증	'18.6.~	신송전사업처/ 송변전운영처/계통계획처
	계통계획 정밀 해석 및 고장분석(Full-Scale) 상시 수행	'19.3.~	계통계획처
	실시간 대규모 계통해석 기술 사내/외 전문가 양성교육 시행	'19.9.~	전력연구원

## 전력계통 주파수조정용 ESS 시운전 및 성능평가 시스템 개발



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
한국전력공사 전력연구원	2019년	최인규	자체 연구개발과제

### 1 연구개발의 필요성 및 목적



#### ■ 원활한 FR ESS 사업추진을 위해 사업공정기간 단축 필요

- ESS 설비구축 전 운전제어시스템 시운전으로 신뢰성 제고
- 전력연구원 시운전(수동모의) 완료 후 원자력발전소 고장 정지시 정상운전됨

#### ■ FR ESS 성능시험에 미국 전력거래소(PJM) 자동발전제어용 성능평가방법 사용으로 거의 100점 획득 → FR ESS 유닛별 성능비교 불가

### 2 연구개발의 내용 및 범위



#### ■ 최종 목표

- 주파수조정용 ESS의 시운전 및 성능평가 시스템 개발

#### ■ 연차별 개발목표 및 내용

- 1차년도 : FR ESS 시운전시스템 초기 시작품 개발  
시운전시스템용 다중통신시스템 초기 시작품 개발  
시운전시스템용 주파수정밀측정시스템 초기 시작품 개발
- 2차년도 : 시운전시스템 계통연계 자동제어시운전 알고리즘 개발  
시운전 시스템 ESS 현장적용 및 세부기능 개선  
FR ESS 성능평가방법 개발
- 3차년도 : 48MW FR ESS 시운전시스템 개발

성능평가알고리즘의 시운전시스템 설치운영

FR ESS 운영알고리즘 개선, 알고리즘 검증 및 분석

- 4차년도 : 운영기술 현장 적용 및 계통연계 시운전

발전제약 완화용 ESS 운영알고리즘 표준 시운전절차서 개발

### 3 연구개발결과 활용 방안



#### ■ 연구성과물 활용계획

주요 연구성과	활용방안	활용시기	활용가능부서
ESS 시운전 시스템	ESS 사업	2018	전력연구원 / 송변전운영처
GF 성능평가방법	ESS 사업	2018	

## PMU 기반 빅데이터를 활용한 전력계통 상황인지 기술개발



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
한국전력공사 전력연구원	2021년	남수철	자체 연구개발과제

### 1 연구개발의 필요성 및 목적



#### 01 필요성

- 계통운영의 복잡화(발전단지 대규모화, 특수설비 도입증가 등)로 인한 PMU 데이터 기반 광역계통에서 특수설비(HVDC, FACTS 등)의 운전 상태감시와 다수의 특수설비간 협조제어(Inter-Grid) 기술이 필요
- 계통해석의 정밀성 제고를 위하여 실계통에서 측정된 PMU 데이터 기반의 전력설비(HVDC, FACTS, 발전기, 송전선로, 부하) 모델링(모델 및 제정수) 기술이 필요
- 시각동기데이터(PMU)와 전력계통 데이터(SCADA)를 연계하여 전력계통의 운전상태를 정확히 인지하여 고장파급을 예방하는 빅데이터 활용기술 필요
- 전력계통에서 운전중인 다양한 운영시스템(SCADA, WAMAC 등)을 통해 저장된 전력계통의 빅데이터 통합관리 체계 구축 및 안정운영 한계 평가기술이 필요

#### 02 목표

- 전력계통 빅데이터의 분석과 관리기술을 통한 상황인지 및 실시간 운전점 추정 기술개발

## 2 연구개발 내용



### 가. 1차년도(2017. 8. ~ 2017. 12.)

#### ■ 전력계통의 빅데이터를 이용한 온라인 안정운영 한계 평가기술 개발

- 기존 전력정보와 PMU를 연계한 전력 빅데이터 통합체계 도출
- 계통운영 및 PMU 데이터를 이용한 수도권 용통전력 한계 감시모듈 개발
- PMU 데이터 기반 전력설비(HVDC, FACTS, 발전기, 부하, 송전선로) 모델정수 산정기술 개발

### 나. 2차년도(2018. 1. ~ 2018. 12.)

#### ■ 전력설비(HVDC, FACTS, 부하 등) 계통해석 모델과 제정수 검증용 통합 툴(Tool) 개발

- 특수설비 도입에 따른 전력계통의 비선형적 진동현상 해석기법 개발
- PMU 데이터의 DB화를 위한 압축/저장/복원기술 개발
- 전력설비(HVDC, FACTS, 발전기, 부하, 송전선로) 계통해석 모델과 제정수 검증용 통합 툴(Tool) 개발
- 전력계통에서 고장발생이 예측되는 전력계통 위치 추정 알고리즘 개발

### 다. 3차년도(2019. 1. ~ 2019. 12.)

#### ■ PMU 기반의 광역계통 특수설비(HVDC, FACTS) 협조 제어전략 개발

- 실시간 전력계통의 고장예측을 위한 PMU 데이터 통합 운용 툴(Tool) 개발
- PMU 데이터 기반의 광역계통 특수설비(HVDC, FACTS) 협조제어 알고리즘 개발

### 라. 4차년도(2020. 1. ~ 2020. 6.)

#### ■ PMU 기반의 광역계통 특수설비(HVDC, FACTS) 협조 제어전략 개발(계속)

### 3 연구개발 성과



#### 가. 기술적 측면

- PMU를 기반으로 On-line 계통감시/제어 기술을 개발하고 구현함으로써 전력계통의 실시간 안정도 감시/제어에 활용이 가능하며, 이를 통해 계통운영시 현재의 운전점을 정확히 산정하여 계통운영의 여유도를 현재보다 낮게 확보 가능
- 국내계통 실시간 감시기술의 향상에 기여하고, 이를 통해 국내계통의 안정도를 향상시켜 광역정전의 예방이 가능
- 전력계통의 계획 및 운영방안 수립 등에 기반이 되고, 향후 HVDC, FACTS 및 신재생 발전기를 포함한 동적 모델링 구축과 성능 검증에 필요한 모델링 기술과 제정수 추정 알고리즘으로 확장이 가능

#### 나. 경제적 측면

- 계통의 안정도 감시를 통해 계통의 운영 여유도를 적게 확보할지라도 안정적인 계통운영이 가능하기 때문에, 계통운영 시 필요한 제약운전 비용의 감소 및 신규 설비투자비용의 감소에 기여
- 실시간 고장정보 파악을 통해 신속하고 적절한 계통보호 기법 적용하여 시스템의 신뢰도와 안정도 확보 및 향후 통합 감시 및 제어로의 확장을 통해 기술선점과 산업 경쟁력을 확보
- 전력계통의 안정적인 운영과 전력공급이 가능하며, 고장발생시 적절한 대처방안을 통해서 국내산업 전반의 정전발생 피해를 방지하고 또한 최소화하여 경제적 손실을 저감

#### 다. 연구개발성과물(Deliverables)

- 특수설비 모델링 및 검증 툴
- 비선형진동 검출 및 전압안정도 감시 툴
- 다수 특수설비 협조제어전략(안) 등

## 4 연구개발결과 활용 방안



### 가. 활용대상부서

- 계통계획처 계통연계부, 신송전사업처 신송전운영부

### 나. 활용방안

- 특수설비 모델링 및 검증을 통한 계통계획/운영의 신뢰도 향상
- 다수의 특수설비 협조제어전략을 통한 HVDC, TCSC 등의 신전력설비 도입시 설비간 협조운전에 활용

## 재생E 도입에 따른 70kV 이상 송전전압 운전범위 재산정 및 영향평가



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
한국전력공사 전력연구원	2021년	남수철	자체 연구개발과제

### 1 연구개발의 필요성 및 목적



#### 01 필요성

- 에너지 3020 정책 달성을 위한 재생E의 수요성 증대와 전력망의 원활한 접속요구 증대
  - 재생E의 22.9kV/154kV 연계시 배전선로의 다회선 구성 및 손실증가, 경과지 복잡성 등 증가
- 재생E 전력망 연계 및 운영 효율화를 위해 우리 회사는 70kV 송전전압 도입 추진('16-'18)
  - 새로운 전압 플랫폼 도입에 따른 70kV급 송전전압운영기준 부재
- 재생E의 급격한 전력망 연계와 전통 발전기의 기동/정지 변화 등 전력망에서 환경변화 발생
  - 전력망 환경변화에 따라 과거와는 다른 전압운영 패턴 발생 및 송전망 전압조정목표 유지 한계 봉착
  - 일부 호남지역에서 특정 시간대에 345kV 전압조정목표 범위 초과사례 발생('18.11)
- 아울러, 전력망의 다양한 운영환경을 고려한 기존 154kV 이상의 전압운영기준 재검토 필요

#### 02 목표

- 새로운 송전전압 70kV 플랫폼의 전력망 도입을 위한 전압운전범위 수립과 전력망 운영환경 변화를 고려한 154kV 이상 송전전압 계급별 전압운전범위 재검토 및 전력망 영향 평가

## 2 연구개발 내용



### 가. 1차년도(2020. 1. ~ 2020. 12.)

#### ■ 송전 계통의 전압운전범위 제시

- 국제표준 및 ISO/전력사의 70kV 계통전압기준 및 운영사례 조사·분석
- 주요 변전소의 과년도 실적분석(통계)을 통한 전압변동 패턴 분석
- 새로운 70kV 전압등급 및 송전계통의 적정 전압조정목표 및 전압유지기준 제시

### 나. 2차년도(2021. 1. ~ 2021. 12.)

#### ■ 전력망 운영 환경 변화에 따른 송전계통의 전압운전범위 영향 평가

- 국내·외 재생E의 계통영향평가 사례 조사(계통전압운영범위, 실제 전력설비전압운영 등)
- 전력망 운영환경 변화(재생E 수용량 증가 등)에 따른 계통 영향 평가 절차 개발
- 지역/광역별 재생E 수용량 산정 및 기존 송전계통(154kV, 345kV, 765kV) 전압운전범위 영향 평가
- 전력망 운영환경 변화에 따른 전력망의 안정도 분석

## 3 연구개발 성과



### 가. 기술적 측면

- 다양한 계통 모의 및 해석으로 도출된 70kV 전압기준 검토 결과의 신뢰도 제고
- 70kV 사업 추진 시 전압운영기준 및 기술적 근거 확보로 신속한 계통연계 가능
- 154kV 전압기준 평가 및 개선을 통한 송변전설비 운영 부담 감소 및 계통운영 안정성 향상 기대

### 나. 경제적 측면

- 154kV 이상의 전압조정목표 범위 조정을 통한 조상설비 운전 예비력 확보 및 추가 건설비용 절감
- 전압조정에 따른 계통설비 영향 완화로 인한 설비 활용성 및 운용기간 증

### 다. 연구개발성과물(Deliverables)

- 연구과제 최종보고서, 개발 프로그램

## 4 연구개발결과 활용 방안



### 가. 활용대상부서

- 송변전운영처 계통운영부

### 나. 활용방안

- 70kV 신규 전압계급 운영을 위한 고시제정(안) 발의 및 154kV 이상 송전계통 전압운영 방안 수립

## MMC기반 전압형 HVDC 시스템 설계기술 개발



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
한국전력공사 전력연구원	2021년	김환기	자체 연구개발과제

## 1 연구개발의 필요성 및 목적



## 01 필요성

- 전압형 HVDC는 세계시장의 70% 점유, 2015년 단위용량 1GW 돌파
- 풍력발전 등 신재생에너지, 케이블 송전, 멀티터미널 송전에 적극적 적용 중
- 2020년 이후 제주3연계선 등 전압형 HVDC 시스템 도입 예정
- HVDC 시스템 / 변환설비 설계기술 필요 ⇨ 신규사업 기술규격 적용
- 제어전략 / 보호협조 설계 필요 ⇨ HVDC 운전전략 검증 / 계통영향 평가

## 02 목표

- 전압형 HVDC 기술규격 개발, 전압형 HVDC 검증모델 구축

## 2 연구개발 내용



가. 1차년도(2016. 8. ~ 2017. 7.)

- 전압형 HVDC 기술규격 개발
  - HVDC 기술규격 개발을 위해서는 조류계산, 고장전류 레벨, HVDC 동특성 해석 등을 통해 HVDC 정격, 필요한 운전성능, 무효전력 성능, 운전전력과 무효전력 등을 도출

- 과도해석을 위해서 HVDC EMTDC 샘플모델을 만들고 AC계통을 최소, 최대단락용량을 갖는 등가전압원 등으로 구성하여 연계한 후, AC 또는 DC에서 발생할 수 있는 상정고장 조건 등에 따른 과도해석을 수행해야 함
- 상호영향 검토, 계통 고조파 임피던스 등을 검토하여 AC필터의 크기, 용량 등을 사전에 정의하여 기술규격에 반영할 수 있음

#### 전압형 변환설비 소자 선정기법 개발

- MMC 타입의 전압형 컨버터는 1상당 수백개의 서브모듈이 직렬접속되며, AC전력을 DC전력으로 변환함
- 전기회로, 열적 모델링 등을 바탕으로 정확한 해석이 가능하며, 제어회로 및 스너버 설계, 전력변환 손실저감, 냉각시스템 설계 등이 가능함
- 필요한 성능 요구조건을 만족하기 위한 밸브를 구성하는 수백 개의 전력용반도체, 커패시터와 인덕터 등의 최적화된 선정기법을 개발

#### 전압형 HVDC 검증모델 설계

- 설계절차에 따라 검증모델에 적합한 HVDC 송전용량, 정격 DC전압, 정격 DC전류, DC커패시터, Arm리액터, 과부하용량 등의 정격을 설계한 후, 검증모델의 회로 구성방식, 제어개념, 운전범위, 무효전력 등을 설계함
- MMC 방식은 수백개의 IGBT 모듈의 동기화된 정확한 직렬제어가 필요하며, 각각의 모듈을 정확하게 제어하기 위해 컨버터의 a, b, c상 별로 각상의 서브모듈을 제어하는 연산처리장치 간의 제어 신호 동기화 알고리즘을 개발함

### 나. 2차년도(2017. 8. ~ 2018. 7.)

#### 전압형 HVDC 변환설비 설계기술 및 운전전략 개발

- AC계통의 운전전압, 주파수, 계통강도 등의 데이터를 기준으로 하여 핵심 변환설비인 변환용변압기, IGBT 컨버터, Arm리액터의 설계서를 개발함
- 설계서의 개발을 위해서는 HVDC 송전용량, 정격 DC전압, 정격 DC전류, DC커패시터, 리액터, 과부하용량 등의 하드웨어 성능과 DC회로 구성방식, 렉티파이어와 인버터 제어개념, 운전범위, 무효전력 등의 운전성능 등을 검토해야 함
- 전압형 HVDC의 운전전략 개발을 위해서는 성능 요구조건에 따라 필요한 제어기능을 정의하고, 제어계층별로 제어구조를 설계한 후, 운전전략을 개발함
- PSCAD 모델 등에 운전전략을 적용하여 조건별로 성능을 상세 해석하여 제어성능 검토
- 계통 또는 HVDC 고장시 설비보호 및 고장파급 최소화를 위해 보호협조가 필요하며, HVDC 보호 영역을 구분하고 구역별 보호기능 및 요구사항을 정의함

## ■ 전압형 HVDC PSS/E, PSCAD 해석모델 개발

- PSS/E는 전력계통을 전기회로로 구성하고 조류계산을 통해 해를 구하는 S/W툴임
- 전압형 HVDC 시스템의 전력계통 연계 해석기술이 필요하며, PSS/E 모델 설계등을 통해 DC전력, 무효전력, 최소한의 필요한 운전기능을 적용하여 해석을 수행함
- 전압형 HVDC를 정밀하게 해석하기 위해 PSCAD에서 전자기과도 기반의 해석모델을 개발한 후, 변환설비 설계의 적정성, 제어전략, 그리고 보호협조기법 등을 검증할 수 있음
- 전력변환손실 절감을 위해 컨버터 하드웨어 구성방식 및 제어 알고리즘 등의 개선을 통해 손실을 줄일 수 있는 기법을 개발함

## ■ 전압형 HVDC 검증모델 상세설계 및 제작구매

- 전압형 HVDC 주요 변환설비인 변압기, IGBT 컨버터, Arm리액터 등을 설계하여 검증 모델을 구축하고 성능시험을 통해 설계기술과 운전전략 등을 검증할 수 있음
- 또한, AC전원과 연계함으로써 PSCAD에서 해석하기 어려운 실제 HVDC 운전조건과 관련된 실시간 성능검증이 가능함

### 다. 3차년도(2018. 8. ~ 2019. 7.)

## ■ 전압형 HVDC PSCAD 정밀해석기술 개발

- 전압형 HVDC 해석모델을 등가임피던스와 이상적인 전압원 또는 축약된 전력계통과 연계하여 상정고장 조건별로 정밀해석을 수행하여, 성능요구조건에 적합여부 최종 검토

## ■ 전압형 HVDC 고유계통 해석기법 개발

- 전압형 HVDC를 적용하기 위해 정의된 계통강도에서 최대 DC전력, 최대무효전력 변동 등의 HVDC 성능 제한값의 도출을 위해 전압형과 국내계통에 적합한 성능을 해석할 수 있는 지표가 필요함
- 따라서, 전압형 HVDC가 연계되는 계통의 강도를 산정하고, 안정도 경계의 검토 등을 통해 SCR과 같은 계통강도 해석기법을 개발함
- AC/DC선로 교차, 병행 등으로 인해 DC선로에 유도되는 전압을 해석기법 등을 개발하여 저감대책을 수립함

## ■ 전압형 HVDC 검증모델 AC전원 연계 성능시험

- 전압형 HVDC검증모델의 밸브, 변압기, 제어시스템 등을 개별적으로 성능시험하여 설계사양과의 비교검증을 통해 성능 검증
- 통합 검증모델을 구축하여 AC전원과 연계하고 하드웨어 건전성을 시험한 후, 설계사양 및 컴퓨터 기반 시뮬레이션 모델과의 제어성능 비교검증을 통해 성능검증

### 3 연구개발 성과



#### 가. 기술적 측면

- 전압형 HVDC 기술규격 도출을 통한 신규 사업의 성공적 추진 지원
- 신송전 기술의 제어 및 보호전략 수립을 통한 신기술 주도
- MMC HVDC 계획, 설계, 해석기술 확보를 통한 HVDC 운영 선제적 대비

#### 나. 경제적·산업적 측면

- 전압형 HVDC 설계기술 확보를 통한 국내산업 경쟁력 강화
- 전압형 HVDC 정밀 모의기술을 국내 및 해외사업 용역에 활용

#### 다. 사회적 측면

- 전압형 HVDC 기술규격 기술확보를 통한 기술 대외 의존도 감소 및 시스템 엔지니어링 기술 자립도 향상
- HVDC 사업추진시, 설계기술의 충분한 검토를 통해 운전 신뢰도 향상에 기여

#### 라. 연구개발성과물

- 전압형 HVDC 타당성 검토 보고서
- 전압형 HVDC 기술규격(안)
- 전압형 HVDC 변환설비 소자 및 시스템 설비구성 보고서

## 4 연구개발결과 활용 방안



### 가. 활용대상부서

#### ■ 신송전사업처

### 나. 활용방안

#### ■ 전압형 HVDC 타당성 검토 보고서

- 제주 No.3 및 수도권 BTB HVDC 계통검토 기준으로 활용

#### ■ 전압형 HVDC 기술규격(안)

- 제주 No.3 HVDC시스템의 구매 기술규격(안) 작성에 활용

#### ■ 전압형 HVDC변환설비 소자 및 시스템 설비구성 보고서

- 전압형 HVDC 시스템 개발 검수에 활용

#### ■ 전압형 HVDC 국산화 개발에 활용

- 나주 BTB or 양주 BTB

## 계통운영 변동성 대응을 위한 가상발전(VPP) 운영기술 및 비즈니스 모델 개발



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
한국전기연구원	2021년	정구형	국가 연구개발과제

### 1 연구개발의 목표



- VPP운동을 위한 비즈니스 모델 제안 및 분산자원 통합운영 솔루션 개발

### 2 연구개발 내용



- VPP 솔루션 상용화를 위한 독자적인 원천기술 확보
- VPP 기술 정의 및 비즈니스 모델 제안
  - VPP 해외 운영 사례 분석 및 관련 시장 전망
  - VPP의 기술적 요구사항 정의
  - 구현가능한 VPP 비즈니스 모델 제안
- VPP 기술 정의 및 비즈니스 모델 제안
  - VPP 표준 아키텍처 설계 및 발전 프로파일 구성 방법론 개발
  - VPP 운영 시스템의 기본 기능 분석 및 설계
  - VPP 통합 프로파일 구성 방법론 설계
- 1일전 VPP 최적운영계획 알고리즘 개발
  - 최적운영계획 수립을 위한 데이터 요구사항 분석 및 처리 절차 설계
  - VPP 최적운영계획 알고리즘 및 프로그램 프로토타입 개발

2 대표 성과

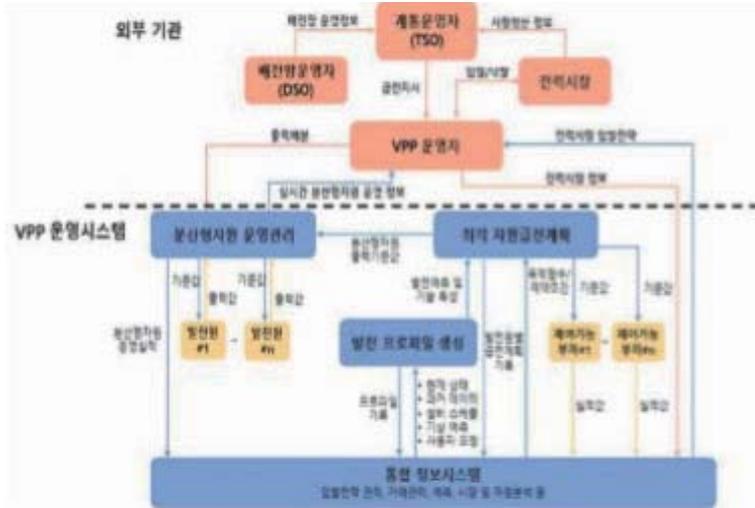


그림 1. VPP 아키텍처 및 기능 설계

VPP 아키텍처 및 기능 설계

- ▶ 분산형자원과 상위 전력계통 및 도매전력시장에 대한 인터페이스로서의 기술중립적 VPP 아키텍처 및 운영 구조 설계
- ▶ VPP 운영에 대한 필요한 다양한 기능 모듈 조합 및 상호 연계를 통한 VPP 운영시스템 표준 모델 제안

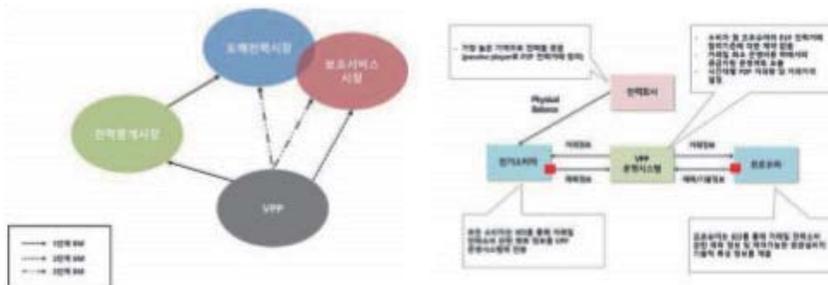


그림 2. VPP BM 설계 및 제안

VPP 비즈니스 모델(BM) 제안

- ▶ VPP 사업의 구현가능성을 고려한 단계적 VPP BM 제안
- ▶ 제안하는 VPP BM의 사업구조 및 수익요소 설계
- ▶ 제안하는 VPP BM의 수익성 제고 요인 분석 및 제안

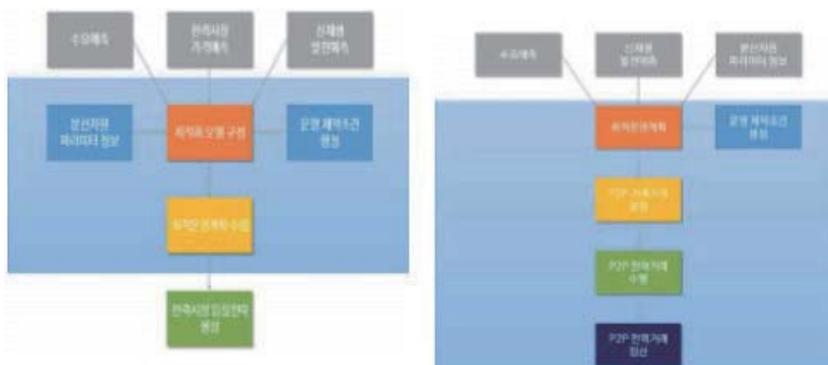


그림 3. VPP BM 설계 및 제안: P2P 전력거래 메커니즘

VPP 최적운영계획 알고리즘 개발

- ▶ 중개시장 및 전력시장 참여용 최적운영계획 알고리즘 설계 및 프로그램 개발
- ▶ P2P 전력거래 메커니즘/최적운영계획 알고리즘 설계 및 프로그램 개발

### 3 성과활용 계획



- VPP의 기능적 요구사항 및 시장니즈를 구체적으로 규명하고 전망함으로써, 향후 개발전략과 상용화를 위한 근거를 마련
  - VPP를 통한 분산형자원의 전력거래 활성화 및 향후 신재생전원의 보급 확대에 대비한 효과적인 계통운영의 변동성 대응기술로 활용 도모
  - VPP를 통한 이중기술 간 융·복합 및 이에 따른 신규 서비스 시장이 창출을 위한 기술적 토대 제공
  
- VPP 요소기술 및 시스템 국산화를 통한 해외 기술경쟁력 제고 및 관련 시장 선점에 기여
  - 분산형자원을 계통운영의 변동성 대응기술로써 활용하는 능동적인 통합운영서비스 개발
  - VPP 운영체제 구축을 통한 분산형 신재생전원의 보급 확대 및 계통수용성 제고
  - 에너지 프로슈머 중심의 새로운 비즈니스 기회 창출 및 이를 통한 에너지 신산업 활성화 기반 제공
  
- VPP 기술 구현을 위한 타 분야 전문가 및 기업과의 지속적인 기술교류를 통해, VPP 기술개발을 위한 대외 협력체계 구축
  - VPP 기술의 적극적 활용 및 발전을 위한 기술협의 및 후속 연구과제 기획 유도



전력산업  
R&D REPORT

# 정책·제도

## 연구과제(5건)





## 에너지전환 시대의 신산업 추진 현황 및 정책 방향 연구



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
에너지경제연구원	2020년	김지효, 김현재	자체 연구보고서

## 1 연구개발의 필요성 및 목적



## 01 필요성

2020년 7월 디지털 뉴딜과 그린 뉴딜을 골자로 한 ‘한국판 뉴딜 종합계획’ 발표 이후 에너지신산업의 중요성 재부상

- 한국판 그린 뉴딜은 저탄소 전환과 일자리 창출을 동시에 달성하여 ‘그린 선도국가’로 나아가겠다는 비전을 제시하고 있으며, 이는 에너지신산업에서 추구하는 방향과 일치함
- 에너지신산업 정책은 2014년부터 본격 추진되었으나, 최근에도 5대 신산업, 12대 신산업에 포함되며 그 중요성은 여전히 유효함

그러나 에너지신산업 정책의 성과에 대한 지속적 평가 및 이에 근거한 개선방향 논의는 미흡한 편임

- 산업의 정의 및 범위가 모호하여 정책 추진성과를 비롯한 한계와 발전방향에 대한 연속성 있는 진단이 부재함
- 선행연구 대부분은 정책성과를 평가하기보다는 추진전략을 제시하는 데 초점을 맞추고 있음
- 정책의 경제적 효과를 분석하기 위한 기초연구도 미흡하며, 정책개선에 대한 논의도 에너지 시장제도 개선 등 원론적 수준임

이에 에너지정책 관점에서 에너지신산업 정책의 성과를 분석하고, 이와 관련된 최근 이슈를 분석하는 연구가 필요함

## 02 목적

본 연구의 목적은 에너지신산업의 개념과 범위를 구체화하고, 이를 바탕으로 에너지 정책 관점에서 에너지 신산업 정책의 성과를 체계적으로 분석하는 데 있음

- 정책과제를 총 망라하고, 이를 체계적으로 유형화하여 에너지신산업의 개념과 범위를 구체화함
- 유형별 대표과제를 선정하여, 정책 추진실적 및 정량적·정성적 성과를 분석함
- 에너지신산업 유형별 국내·외 핵심 이슈를 분석하여 에너지신산업의 지속적 확대를 위한 정책 시사점을 도출함
- 연구결과를 종합하여 에너지신산업 정책의 추진실적 및 성과가 그린 뉴딜 정책에 어떠한 시사점을 제공하는지 살펴봄

## 2 연구개발의 내용



### 01 에너지신산업 개요

에너지신산업 정책 초기에는 수요관리의 중요성이 강조되었으나, 재생에너지와 분산형 자원 전반으로 신산업의 범위가 확장됨

- 에너지신산업은 다양한 기술을 융·복합적으로 활용하여 기후변화 대응, 에너지 안보, 에너지 전환 등 주요 현안을 효과적으로 해결하고 일자리를 창출하는 산업으로 정의됨
- 에너지신산업의 유형은 ▲재생에너지, ▲분산형자원 거래, ▲스마트그리드 인프라 구축 관련 산업으로 분류 가능

### 02 대표 정책과제 성과 분석

에너지신산업 정책의 목적 및 성격을 고려하여 유형별 대표 정책 과제로 ▲주택용 태양광 보급, ▲분산형 자원 거래기반 조성, ▲ESS 보급 선정하여 추진실적과 정량적·정성적 성과 분석

- (주택용 태양광 보급) 주택지원사업, 태양광 대여사업, 상계제도가 시행됨
- (분산형자원 거래기반 조성) 수요자원거래시장, 프로슈머거래시장, 소규모전력중개시장 육성 정책이 시행됨
- (ESS 보급) 운영편의 보전(특례요금제, REC 가중치 부여), 초기 투자비 지원(보조금·융자), 제도 개선 등이 정책이 시행됨

■ 대표 정책과제 달성을 위한 일련의 정책은 태양광 보급, 시장 확대, ESS 보급 등 양적 목표 달성에는 일정 부분 성공하였음

- 주택용 태양광, ESS 보급, 수요자원거래시장 조성 정책은 보급 및 시장 활성화 측면에서 우수한 정량적 성과를 달성함
- 반면 프로슈머거래시장은 본격적인 시장기반 조성에는 실패하였고, 소규모전력증개시장은 정량적 성과를 논하기에는 아직 이룸

■ 단기 내 양적 목표 달성에 치우친 정책 추진방식은 자원배분 왜곡을 심화시키는 부작용 초래

- 2016년 주택용 누진제 개편 이후 악화된 태양광 경제성을 개선시키기 위한 일련의 조치는 태양광 보급 증가세를 유지하는 데는 기여하였으나 한전 부담을 심화시킴
- ESS 보급 정책 추진과정에서 정부 부담의 초기투자비 지원은 감소한 반면, 한전 부담의 운영편익 보전 제도는 계속 일몰 기한이 연장되어 공공 부문의 재정적 부담을 심화시키는 비효율성을 초래함

■ 에너지신산업 정책은 분산형자원 보급에는 성공하였지만 향후 그 취지에 맞는 활용을 유도해야 한다는 과제를 안고 있음

- 분산형자원의 자가 소비를 촉진하고 계통 안정에서 기여도를 높이는 방향으로 상계제도 및 ESS 보급 제도를 개선할 필요
- 수요자원거래시장과 소규모전력증개시장의 운영제도는 시장 활성화에 초점을 맞춰 시장 및 계통 여건을 고려해 개선되어야 함
- 프로슈머거래시장은 스마트그리드 실증사업을 통해 도입 장애요인 및 극복방안을 식별하는 것이 중요함

### 03 국내·외 핵심 이슈

■ 에너지신산업 유형별(재생에너지, 분산형자원 거래, 스마트그리드 인프라 구축) 국내·외 핵심 이슈 도출

- 변동성 문제, 배전계통운영자(DSO) 역할 변화, ESS 보급을 중심으로 국내·외 동향 고찰

■ 태양광을 비롯한 변동적 재생에너지 증가로 변동성 대응을 비롯한 전력시스템의 유연성 증대 필요성이 커지고 있음

- 덴마크와 아일랜드는 재생에너지가 전력 계통 안정도 및 발전량에 미치는 영향에 대한 예측이 필수적인 단계로 진입함
- 우리나라의 경우, 제주도에서 변동성 문제가 가시화되었으며, 재생에너지 3020 보급목표 달성 시 발전량 예측과 유연성 확보가 중요한 이슈가 될 것임

- 분산형자원 보급 확대는 DSO 역할을 기존의 배전망 운영·관리에서 분산형자원 수용·활용까지 확대 시킬 것으로 예상
  - 미국과 영국에서는 DSO의 역할 변화가 진행 중이며, 우리나라도 독립적 DSO 사업모델 구축 필요성이 제기되는 상황
- 변동적 재생에너지 보급에 따른 계통 안정성 문제를 보완할 수 있는 대안으로써 ESS에 대한 관심도 전 세계적으로 꾸준함
  - 지난 10년 간 전 세계 ESS 보급은 2019년의 이례적 감소를 제외하면 지속적 증가 추세 유지
  - IEA는 ESS 중요성을 감안할 때 향후 전 세계 ESS 보급 추세가 두 자릿수의 빠른 성장세로 전환되어야 할 것으로 판단
- 국내·외 동향을 종합하면 “분산화(decentralization)”, “변동성(variability)”, “유연성(flexibility)”이 핵심 키워드
  - 국내·외 동향은 변동적 재생에너지와 분산형자원의 확산에 따라 변동성을 통합할 수 있는 유연한 미래형 에너지시스템 구축 필요성을 보여줌
  - 향후 에너지신산업은 신기술을 적용하여 분산화와 변동성의 문제를 효과적으로 해결하는 영역에서 활성화될 것임

### 3 결론 및 정책제언



#### 01 그린 뉴딜에 대한 시사점

- 본 연구는 에너지신산업 정책의 추진성과 및 최근 국내·외 핵심 이슈를 분석해 한국판 그린 뉴딜 정책에 대한 시사점을 도출함
- 첫째, 재생에너지 보급 확대와 함께 이를 수용할 수 있는 안정적 계통 구축이 병행되어야 함
  - 현재 발표된 그린 뉴딜 정책과제는 재생에너지 보급에 초점을 맞추고 있는데, 자가 소비 유인과 계통 보강에 초점을 맞춰 시장·제도를 아우르는 세부 정책과제 보완이 필요함
- 둘째, 인프라 구축과 활용 방안이 연계되어야 함
  - 아파트 대상 5백만 호 AMI 구축만으로는 저탄소경제 이행에 크게 기여하기 어렵기 때문에, 활용도를 높이기 위한 제도 개선(예: 국민DR)과 연계 필요

### ■ 셋째, 지속적 정책 추진을 위해 자원배분 왜곡이 해소되어야 함

- 지금까지는 한전이 일부 비용을 나누어 부담하는 형태로 에너지신산업 정책이 추진되었으나, 이러한 방식은 한전의 재정 부담을 심화시켜 전력산업의 장기 안정성을 저해할 가능성이 높음
- 전기요금 체계를 개편하여 공공부문의 과도한 부담을 완화하고 민간 투자를 유인할 필요가 있음

### ■ 넷째, 그린 경제로의 전환을 뒷받침하기 위해서는 공기업 위주의 에너지 산업구조가 변화되어야 함

- 과거 프로슈머거래시장 구축과정에서의 장애요인을 극복할 필요가 있음. 특히 프로슈머 거래에 한정해서라도 판매시장 진입을 허용하여 민간사업자의 참여를 허용하는 제도개선이 필요함
- 이는 제도 기반 구축 및 규제개선을 지속하여 민간의 혁신·투자를 촉진하는 촉매제 역할을 수행하겠다는 한국판 그린 뉴딜의 방향과도 일치함

## 전력 부문 서비스화(as a Service) 확산과 시사점



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
에너지경제연구원	2020년	박찬국	자체 연구보고서

### 1 연구개발의 필요성 및 목적



#### 01 필요성

전통적으로 소프트웨어 벤더(vendor)나 IT 서비스 업체가 제공해왔던 서비스화(as a service) 사업모델이 전력산업에서도 빠르게 확산 중

- 서비스화 모델은 하드웨어와 소프트웨어를 벤더가 소유, 운영, 관리하면서 고객들에게 그 하드웨어와 소프트웨어의 기능을 서비스 형태로 제공하는 사업 유형이며, 고객은 종량제 요금 또는 월정액 형태로 비용 지불

전력 부문 사업모델이 전력사업자 자체적으로 대응하는 형태에서 제3기업과 공동 협력하거나 위탁하는 형태로 변화하는 현상은 기존과 차별적인 상황으로 그 양상을 심층 이해 필요

- 전력 부문 서비스화의 전개 방향에 대한 이해를 바탕으로 전력산업의 변화방향 가늠 가능

### 2 연구개발의 내용



#### 01 서비스화 모델의 확산 추이 분석

2015년부터 2019년까지 총 5년간 구글 뉴스에서 에너지산업 관련 키워드와 “as a service” 키워드가 함께 포함된 기사를 R 패키지를 활용하여 추출

- 텍스트마이닝 분석 결과 에너지 관련 키워드가 포함된 뉴스에서 as a service 모델별 빈도수는 2015년에 대체로 NA가 많이 관측됐지만, 최근으로 올수록 다양한 서비스화 모델들이 에너지 부문에서도 부각

- 최근 5년간 총 빈도수 기준 가장 관심도가 높은 키워드는 software인데, 에너지 부문에서도 SaaS(software as a service)가 주요 서비스화 모델의 종류라는 것을 확인
- EaaS(energy as a service)도 주요 모델 중 하나인데, 2015년까지는 크게 부각되지 않다가 최근으로 올수록 빠르게 빈도수가 늘어나고 있는 중
- 증가율 차원에서 가장 증가폭이 높은 서비스화 모델은 mobility as a service이며, blockchain as a service도 유사하게 높은 증가 폭을 보였고, “energy”, “storage”, “robot”, “solar”도 서비스화 모델의 주요 키워드들로 등장

## 02 서비스화 모델별 개념과 사례

- 서비스로서의 소프트웨어, 서비스로서의 플랫폼 등과 같이 기존 서비스화모델을 에너지 부문에 접목한 경우가 있는 반면, 서비스로서의 에너지, 서비스로서의 저장장치, 서비스로서의 태양에너지, 서비스로서의 블록체인과 같이 에너지 공급, 저장, 거래, 소비 부문에서 서비스화모델을 채택한 경우 존재
  - 서비스로서의 에너지는 공급과 소비 전 부문에 걸쳐 서비스 범주가 매우 다양하며, 새로운 형태의 에너지공급과 수요 관리 서비스가 서비스로서의 에너지라는 이름으로 수렴 중
- 특정 서비스화모델이 다른 서비스화모델과 명확히 구별 된다고보다는 일부 서비스 범위가 겹치거나 유사한 성격을 띠고 있는 경우 존재

## 3 결론 및 정책제언



- 디지털화와 분산화가 서비스화 모델 확산의 핵심 동인이며, 전력산업을 포함한 에너지산업에서 앞으로 서비스화 모델은 지속적으로 확대될 것으로 예상
  - 서비스화 모델 확산으로 인해 전력산업은 더욱 자동화될 것이고, 데이터가 핵심 역량인 시장으로 변해갈 전망
- 전력 또는 에너지 신시장 발전을 위해 어떤 데이터가 우선적으로 공유되고 활용될 필요가 있는지에 대해 보다 세부적인 논의 요구
  - 특정 서비스 중심으로 발전안을 만들기보다는 디지털화에 따른 산업 발전 차원에서 포괄적 규제안 정립 필요
  - 최근 이루어진 개인정보보호법 개정을 넘어 전기사업법 등 전력산업을 대상으로 하고 있는 법률의 변화 방향을 함께 모색
- 현재 존재하는 규제 샌드박스 등을 통해 기술혁신의 장을 넓히는 노력 중요
  - 이해갈등이 심한 이슈에 대해서는 보다 개방적이고 투명한 형태로 정보를 알리고 사회적 논의가 활성화될 수 있는 길을 찾는 것이 중요

## 탄소중립 정책 지원을 위한 에너지총조사 개편 방향 연구



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
에너지경제연구원	2021년	최문선	자체 연구보고서

### 1 연구개발의 필요성 및 목적



#### 01 필요성

에너지총조사가 탄소중립 관련 정책의 수립 및 평가를 위한 기초자료로서 유용하게 활용될 수 있는지 검토가 필요

- 조사주기가 3년인 에너지총조사 데이터로 에너지 시장의 빠른 변화를 파악하는 것이 가능한지, 현재의 조사체계 및 표본규모로 지역 주도의 탄소중립 추진을 위해 반드시 필요한 시군구 단위 에너지소비통계를 작성하는 것이 가능한지, 탄소중립 관련 정책의 수립 및 평가를 위한 조사내용 및 항목이 포함되어 있는지를 점검

본 연구의 목적은 탄소중립 관련 주요 정책의 수립 및 평가를 지원하기 위해 필요한 에너지총조사 개편 방향을 도출하는 것임

- 부문별 자문회의를 통해 현행 에너지총조사의 문제점 및 한계를 정리하고 이를 해결하기 위한 부문별 개편 방향 및 개선사항을 도출

### 2 연구개발의 내용



#### 01 공통 개편 방향

부문별 순환조사 추진

- 부문별 표본크기를 확대함과 동시에 조사 관리의 효율성 및 조사 정확성을 높이기 위해서는 부문별, 연차별로 순환하며 조사하는 방식으로의 변경 필요

### ■ 시군구 단위 통계 작성안 마련

- 시군구 단위 에너지소비통계는 조사 효율성 및 조사의 지속 가능성 등을 고려 시 에너지총조사를 통해 작성하기 보다는 기존 에너지수급통계 및 타 기관 자료를 이용하거나 통계학적 추정 방법인 소지역 추정 기법을 적용하여 추정하는 방안을 연구 및 마련하는 것이 필요

### ■ 정책입안자 의견 수렴을 통한 조사내용 및 항목 개선

- 2020년까지의 에너지총조사에서는 데이터 이용자만을 대상으로 조사내용 및 항목에 대한 의견을 수렴하였으나, 보다 실질적으로 정책 이행 및 평가에 활용되기 위해서는 정책입안자(관련 부처 담당 공무원)로부터의 의견 수렴 및 반영 필요

### ■ 행정자료 및 타 기관 자료의 활용 및 연계

- 대면조사의 어려움을 해결하고 조사의 정확성을 높이기 위해서는 타 기관과의 협조 체계를 구축하여 원시데이터 또는 상세 모집단 정보 수준에서의 데이터 수집 및 활용이 필요

## 02 부문별 개편 방향

### ■ 농림어업

- 농림어업에서의 공표 시차 단축을 위해서는 조사 준비시기를 앞당기고자 하는 노력이 필요하며, 타 통계(면세유 공급 통계, 석유류수급통계)와의 차이를 줄이기 위해서는 면세유 취급 주유소별 보고 결과 간 비교를 통해 원인을 명확히 밝히는 것이 우선적으로 필요

### ■ 수송부문

- 친환경차량을 별도 조사함으로써 충분한 표본크기를 확보하여 데이터 활용도 및 정확성을 보다 높일 수 있을 것으로 보임

### ■ 상업공공 및 건물부문

- 상업공공의 경우 비대면조사 확대 및 시스템 고도화, 용도별 소비량 추정 방법 연구를 통해 응답률 및 정확성 제고가 가능
- 건물부문의 경우 에너지총조사 내에서 진행하기보다는 별도 조사화함으로써 적정 표본크기와 조사 단가를 확보하고 이를 통해 조사의 정확성 및 활용성을 높일 수 있을 것으로 보임

## 무(無)탄소 신(新)전원 해외사례 및 정책방향 연구



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
에너지경제연구원	2021년	김재엽, 이태의	자체 연구보고서

### 1 연구개발의 필요성 및 목적



#### 01 필요성

- 국내외에서 2050 탄소중립 달성에 대한 공감대 확산
  - 이산화탄소를 배출하는 기존 화석연료 기반 전원의 대체 필요성 고조
  - 석탄발전 중심의 전력믹스의 친환경·무탄소 전원믹스로의 전환이 요구
- 온실가스 배출정점 이후 국내 탄소중립 소요기간과 에너지믹스, 산업구조 등을 감안 시 우리나라 탄소중립 달성은 도전적 과제
- 우리 정부는 '2050 탄소중립' 추진 과정에서 경제구조 저탄소화의 일환으로 '에너지전환 가속화'를 천명
  - 화석연료에서 신재생에너지로의 주공급원 전환 방안을 구체화하기 위해 무(無)탄소 신(新)전원의 전원믹스 활용 등에 대한 해외사례에 대한 체계적 연구 및 정리가 요구되는 상황

#### 02 목적

- 2050 탄소중립 이행을 위해 친환경 혁신기술을 적용한 새로운 형태의 발전원에 대한 해외사례 연구 동향 파악
- 원전 및 화석연료 기반 전통전원(석탄 및 LNG)을 대체할 수 있는 다양한 무(無)탄소 신(新)전원의 발굴 및 전원믹스로의 활용 가능성 모색
  - 해외사례로부터 국내 정책적 시사점 도출 등

## 2 연구개발의 내용



## 01 무탄소 신전원의 범위와 화력발전의 활용

## 2050 탄소중립 목표 이행을 위해 무(無)탄소 신(新)전원 활용의 필요성 확대

- 무탄소 신전원의 개념은 2050 탄소중립 시나리오 초안에서 공식적으로 언급되었으며(2021.8.)
- 이후 2050 탄소중립 시나리오 최종안이 최종 발표되면서(2021.10.) 무탄소 가스터빈 발전으로 범위가 구체화되었고 2030 NDC 상향안에서는 암모니아의 활용으로도 언급
- 저탄소 전력시스템으로 접어드는 2030년 이후에도 원전의 활용은 일정수준 유지되는 상황을 감안할 때 차세대 소형원자로의 활용까지도 무탄소 신전원의 범위에 포함될 것으로 예상

## 탈탄소화된 전력 시스템에서의 화력발전의 역할 변화

- 2050 탄소중립 목표 달성 과정에서 변동성 재생에너지 중심의 전력믹스는 필연적이지만 재생에너지 발전원의 지속가능한 보급을 위해서는 전력계통의 안정성을 유지할 수 있는 방안의 확보가 중요
- 탄소 등 대기오염물질의 배출이 많은 화력발전원의 조기폐쇄를 통해 발전부문의 탈탄소화를 진행할 수 있으나 그에 따른 사회적 갈등 및 경제적 비용은 국가의 산업과 고용구조에 큰 충격 유발
- 일본 등 일부 선진국에서는 경제수명이 남아있는 화력발전설비의 유연성 및 예비력 자원으로서의 활용을 통해 좌초자산 양산을 방지하면서 2050 탄소중립 이행 시 전력시스템 운영의 안정성을 동시에 달성할 계획 수립
- 2050 탄소중립 이행 과정에서 일부 화력발전설비를 유연성 자원으로 지속적으로 활용하려면 화력발전설비의 탄소배출 저감이 필수적이며, 저탄소 연료와의 혼합발전 및 CCUS의 활용은 화력발전의 탄소배출을 저감하는 대표적 방안으로 대두
- 석탄 및 가스복합 화력발전에서 혼소가 가능한 저탄소 연료는 수소와 암모니아가 대표적 → 대규모 상용발전소에서의 혼소율을 높이기 위한 R&D 확대

## 02 주요 무탄소 신전원의 기술적 특징

## 수소 및 암모니아 혼소발전

- 저탄소 연료(수소 및 암모니아)를 석탄, LNG와 혼소하여 발전할 경우 기존 화력발전소의 탄소배출을 저감하면서 퇴출 시점을 탄력적으로 조정 가능
- 현재 기술 수준에서 수소는 가스터빈에 직접적으로 주입하여 혼소발전이 가능하며, 암모니아는 석탄화력 부문의 혼소발전으로 활용 중
- 그러나 수소는 자착화(autoignition) 및 역화(flashback) 문제를 해소하고 화염의 안정성을 유지하기 위한 기술 연구가 필요한 반면,

- 암모니아의 경우 수소 대비 느린 연소속도와 낮은 가연성이 발전효율을 저해하는 문제를 개선해야 하며, 연소 과정에서 발생하는 질소산화물과 독성물질을 다루는 기술 확보가 중요

## ■ CCUS

- 이산화탄소의 포집 및 저장을 통해 저탄소 연료를 활용한 혼소발전 시 탄소배출 저감 등 환경적 측면에서의 시너지 효과 발생
- CCUS 설비를 화력발전소에 도입했을 때 크게 두 가지 경로를 통해 탄소배출을 저감할 수 있는데, 하나는 개별 화력발전소 설비 자체를 개조하여 발전 과정에서 CCUS를 활용하는 경로며 다른 하나는 연료변환 발전소에서 혼소용 저탄소 수소 또는 암모니아를 생산할 때 CCUS를 활용하여 이산화탄소를 포집하는 경로
- CCUS 부가를 위해 개조된 화력발전소와 수소 및 암모니아 혼소 화력발전소 모두 재생에너지 확대 국면에서 전력계통 운영의 안정성을 제고하여 지속가능한 청정에너지 전환을 돕는 순(純) 효과 존재
- 그러나 혼소발전의 경우 석탄이나 LNG 대비 연료비가 비싸고 CCUS 활용을 위해 기존 발전설비를 개조하는 경우 혼소 발전소보다 물리적으로 고려해야 할 요소가 더 많아 비용이 증가할 가능성은 상존

## ■ 소형원자로(SMR)

- IAEA는 원자력이 탄소중립에 필수적인 역할을 한다는 보고서를 발표한 바 있고 이에 대해 미국, 캐나다, 프랑스, 영국, 핀란드, 폴란드, 러시아, 일본, 중국 등 주요 9개국이 지지를 표명
- 특히 IAEA는 장기적으로 탄소중립(net-zero) 달성 과정에서 원자력이 석탄 및 화석연료를 대체하고 재생에너지의 추가적인 보급을 가능하게 하는 친환경 기저전원으로 중요한 역할을 담당할 것으로 전망
- 프랑스 등 해외 주요국에서는 탄소중립 이행과정에서 원전을 청정에너지로 분류하고 탄소중립의 이행수단으로 활용하고자 하는 움직임이 활발
- 다만 기존 대형원전의 활용보다는 안전성이 강화된 SMR의 활용이 주요 선진국들의(미국, 프랑스 등) 원전활용 정책으로 대두되고 있으며, 기존 전통원전도 그린수소의 생산수단으로서 새로운 활용도를 모색 중
- SMR은 기술적 측면에서 기존 대형 상용원전의 검증된 기술을 중점적으로 사용할 경우 가압경수로 기술에 기반한 '경수형 소형원자로'로 분류되며 장기적 관점에서 혁신적인 기술을 적용한다면 '비경수로형 4세대 소형원자로'로 분류

## 03 해외 주요국의 무탄소 신전원 활용 사례

### ■ 일본 등 해외 주요국의 무탄소 신전원 활용

- 일본은 암모니아와 수소의 혼합발전을 통해 전력계통 측면에서의 화력발전 활용도를 제고하면서 탄소저감까지 달성하는 계획을 수립(제6차 에너지기본계획)

- 저렴한 수소 및 암모니아 확보를 위한 다양한 공급루트를 개척(중동, 남미, 호주 등)하는 한편, 암모니아 및 수소 혼소율을 높이기 위한 R&D를 꾸준히 진행 중
- 중동(사우디)의 경우 천연가스 기반의 암모니아를 수입하고 남미(칠레 등)로 부터는 태양광 및 풍력 등 재생에너지 기반 암모니아 및 수소를 수입, 호주로부터는 저렴한 석탄으로부터 생산된 수소를 수입
- 암모니아를 가스터빈에 직접 주입 및 혼소하는 경우 수소를 활용하는 경우보다 기술적 성숙도가 아직 낮은 것으로 평가되지만 일본 Mitsubishi Power 社를 포함한 주요 가스터빈 제조업체들은 2025년 까지 대규모 암모니아 연소용 가스터빈을 출시할 계획

■ 암모니아를 가스터빈에 직접 주입 및 혼소하는 경우 수소를 활용하는 경우보다 기술적 성숙도가 아직 낮은 것으로 평가되지만 일본 Mitsubishi Power 社를 포함한 주요 가스터빈 제조업체들은 2025년까지 대규모 암모니아 연소용 가스터빈을 출시할 계획

- 다만 선진국의 경우 단위당 일정 금액의 탄소세를 부과할 것이고 그에 따른 배출비용 절감분이 혼소에 따른 연료비 상승분을 상쇄하여 혼소 연료비 절감 효과가 발생 가능
- 인도, 인도네시아 등 신흥국에서는 산업충격 등을 고려하여 탄소세를 부과하지 않을 가능성이 높아 저탄소 연료 혼소 시 연료비용 증가분을 상쇄할 요소 無
- 혼소에 의한 연료비 상승을 절감할 방안이 마련되지 않는다면 신흥국 발전 사업자 입장에서는 굳이 수소 및 암모니아 혼소를 추진할 경제적 유인이 없어 결과적으로 저탄소 연료의 혼소도입이 저해되는 상황이 발생 가능

#### 04 무탄소 신전원의 효과적인 활용을 위한 정책방향 검토

■ 국가적 특수성을 구체적으로 고려한 해외사례 벤치마킹 필요

■ 일본의 경우 발전연료의 높은 수입의존도, 전력수급에서 화력발전의 기여도, 고립계통이라는 특성, 중앙 집중형 에너지정책 수립 및 운영체계 등 우리나라와 전력산업 거버넌스와 물리적 구조 측면에서 유사한 측면 多

- 따라서 일본이 탄소중립 이행 경로로 제시하는 수소와 암모니아의 혼소발전은 우리나라 전력정책에 큰 이질감 없는 시사점과 정책 이정표를 제시

■ 일본 정부는 제6차 에너지기본계획이 확정되기까지 다양한 수소·암모니아 혼소 실증사업을 지원하면서 상용화를 위한 기반을 충실히 닦아왔고, 그 과정에서 발전연료로서의 수소 및 암모니아 소비량이 크게 증가할 것을 예상하여 상대적으로 저렴한 수소와 암모니아 공급처를 확보하는 노력도 병행

■ 탄소중립 이행을 위한 일본의 표면적인 정책만을 모방하기보다 사회경제적 비용을 절감하면서 탄소저감을 효과적으로 이행할 수 있는 경로를 개척해나가는 과정과 정책적 일관성 등 정책결정의 소프트웨어적인 측면을 벤치마킹 필요

- 전력계통의 특성과 전력산업구조 등 전력부문에 있어 한-일간 물리적 특성이 유사한 만큼 탄소중립 및 에너지산업 전환의 경계에서 중시되는 정책적 가치관과 목표가 무엇이 되어야하며 그것을 어떻게 실천하는지를 심도있게 고찰해 보아야 할 것

### 3 결론 및 정책제언



- 2050 탄소중립 이행 과정에서 일본 정부가 저탄소 연료(수소 및 암모니아)의 효과적인 활용을 위해 기울인 노력에 대해 연구 필요

- 일본 정부는 수소와 암모니아의 혼소율 제고를 위해 장기적인 관점에서 인내심을 갖고 연구개발 투자를 진행
- 기술개발 외에 기술지표 달성 후 저탄소 연료 수요증가에 대비한 저렴한 원료 공급루트 확보 노력도 병행

- 우리나라도 탈탄소 과정에서 화력발전의 질서있는 퇴출과 재생에너지 보급에 따른 계통관성 유지라는 과제에 직면 → 정부가 장기적 관점에서 인내심을 가지고 수소 및 암모니아 혼소율 제고와 혼소발전 확대를 위한 R&D 투자를 시행하되 발전사업자들이 혼소발전을 적극 도입할 수 있는 경제적 인센티브를 동시에 제공할 필요성 존재

- 특히 수소의 혼소율을 높여 2050년경에 수소 전소가 가능한 상황을 만들기 위해서는 정부와 전력 공기업의 역할 뿐 아니라 수소터빈 개발 등과 관련된 민간부문의 기술개발과 투자를 유인할 수 있는 법·제도적 체계 구축 要
- 석탄 등 화석연료보다 연료비가 비싼 수소의 특성을 고려했을 때 수소발전 공급의무 내지는 수소발전 우선 구매 등의 법·제도적 지원이 이루어진다면 투자에 대한 리스크를 일부 완화하는 효과가 있을 것으로 예상
- 이 경우 민간의 수소발전 사업 및 기술개발 참여가 보다 용이해질 것이며, 중단기적으로는 수소발전의 총량을 정책적 의지를 갖고 확대하는 지원책도 고려 가능

- 기후변화 대응 및 2050 탄소중립 이행을 시대흐름에 부응한 불가역적(irreversible) 정책목표로 본다면 이를 달성하는 과정에서 발생할 사회적·경제적 비용을 최소화하는 액션플랜(action plan) 구축이 중요

- 수소와 암모니아, 그리고 SMR로 대표되는 무탄소 신전원의 적극적인 활용은 그에 대한 하나의 대안으로 평가 가능

## 한-중양아 협력, 중앙아시아 탄소중립 대응방안

<b>연구기관</b>	<b>발간연도</b>	<b>위탁연구기관</b>	<b>과제분류</b>
한국에너지공단	2021년	(주)한국능률협회컨설팅	위탁 연구개발과제

### 1 연구개발의 내용

#### 01 글로벌 탄소중립 추진 배경

##### IFRC의 World Disasters Report 2020 주요 내용

- 홍수, 산불, 산사태, 이상기온, 가뭄 등 기후이변은 시간이 지남에 따라 증가하고 있음

<표> 재해 유형별 발생건수, 1960~2019]

기후요인	1960~2019		2010~2019		2019
	총계	연평균	총계	연평균	총계
	8,781	146	2,355	236	237
홍수	4,435	74	1,298	130	127
폭풍	2,638	44	589	59	59
산불	243	4	75	8	8
산사태	686	11	178	18	25
이상기온	353	6	109	11	10
가뭄	426	7	106	11	8

출처 : World Disasters Report 2020(IFRC, 2020)

- 자연 재해에 따른 사망자수가 꾸준히 발생하고 있으며, 특히 이상기온, 가뭄, 산불 등에 의한 사망자 수는 계속 증가하고 있음

<표> 재해 유형별 사망자수, 1960s~2010s

Term	Flood	Storm	Wildfire	Extreme Temperature	Drought	Disease outbreak
1960s	32,394	133,891	99	1,127	1,510,650	9,457
1970s	70,746	357,300	2	1,553	119,081	9,894
1980s	81,512	45,936	378	5,335	557,268	43,902
1990s	95,401	210,943	845	9,323	3,113	93,918
2000s	53,813	171,775	568	91,539	1,147	58,574
2010s	46,972	27,592	831	75,218	258,035	54,864

출처 : World Disasters Report 2020(IFRC, 2020)

## 02 주요국 탄소중립 정책 추진 동향

### 중국

- 시진핑 주석은 2020년 9월 유엔총회 기조연설에서 2050년까지 탄소중립을 달성할 것을 선언함
- 2030년 이전에 연간 탄소 배출량 추세가 감소로 전환되도록 “보다 강력한 정책과 조치”를 취할 것을 발표함
- 그러나, 많은 지방정부에서 증가하는 에너지 수요에 대응하고 COVID-19 이후 경제 성장 촉진을 위해 신규 석탄발전소를 건설하는 등 넷제로 달성과 반대 행보를 보이고 있음
- 탄소 배출 정책 방향은 2021년 4월에 발표된 14차 국가5개년 계획(21년~25년) 핵심 키워드 환경 보호, 내수확대, 기술혁신으로 설정하고, 2030년 이전 탄소 배출 정점 달성 및 2060년 이전 탄소중립 실현이라는 국가적 목표를 위해 오염물 배출 감소 및 노후 생산시설 개선을 추진 중임
- 주요 에너지의 절반 이상을 석탄에 의존하고 있는 현실에서 넷제로 목표를 얼마나 실행 가능할지는 미정임

### 일본

- 2020년 10월 일본 스가 총리는 의회연설에서 2050 넷제로 목표를 발표함
- 일본이 탄소 배출량을 어떤 방법으로 0으로 줄일 것인지에 대해서는 구체적 계획은 발표되지 않았으나, 원자력 비중 확대와 에너지전환의 방법을 언급함
- 석탄 및 화석연료에 대한 높은 비중과, 원자력 확대에 대한 대중의 반대는 일본의 넷제로 달성의 주요 과제임
- ‘2050년 탄소중립을 실현하기 위한 녹색성장전략’을 수립(2020.12.25.) 하였으며, 기술주도의 산업화, 전력부문에서의 탈탄소화, 산업·수송·가정 부문에서의 전력화 추진, ESS 도입 확대·비용 절감 등의 방향을 제시함

## EU

- 폴란드를 제외한 유럽연합은 2019년 12월 ‘유럽 그린딜’을 발표하며, 2050 넷제로 목표를 달성을 선포함
- 이와 관련하여 유럽 연합 각국에서는 넷제로 달성을 위한 국가별 계획을 수립하고 있음

## 독일

- 2019년 12월, 독일 최초의 기후변화법이 발효됨
- 이 법의 도입은 독일이 2050년까지 온실가스 중립(greenhouse gas neutrality)의 목표를 달성할 것을 의미함
- 해당 법은 건물/운송에 대한 탄소 가격 정책, 석탄 단계적 폐기와 전기 자동차에 대한 지원을 포함함
- 법령 발효 이후, 분야별 연간 배출량 예산을 세부화하고 전문가 위원회가 신설됨
- 독일은 현재까지 에너지 전환을 통해 CO<sub>2</sub> 배출을 성공적으로 감소시키고 있는 국가 중 하나임

## 영국

- 영국은 2008년에 배출가스 감축 기본법을 통과시켰으며, 2019년 6월에는 2050년까지 탄소 배출량 100% 감축의 내용을 담은 법률 수정안을 통과시킴
- 2050년까지 넷제로 달성을 위한 정책도구인 “10-point plan”에는 원자력 투자와 해상 풍력을 4배로 늘리는 등의 120억 파운드의 공공 투자계획이 포함되어 있음(재생에너지, CCUS, 원자력, 바이오매스, 에너지 리모델링 주요 감축 수단)
- 기후변화위원회(CCC)는 영국이 넷제로 목표 달성을 위해 더 강력한 강제화 정책이 필요하다고 강조함
- 스코틀랜드위임의회는 CCS 사업을 중심으로 2045년까지 넷제로 달성 목표를 수립하였음
- 웨일즈는 2050년까지 탄소 배출의 95%를 감축하는 것을 선언하였음

## 미국

- 기후 플랫폼에서 2050 넷제로 달성을 목표로 했던 조 바이든 대선 후보가 2020년 11월 미국 대통령에 당선됨
- Biden은 대선공약에서 2050 넷제로 Emission 달성을 위한 정책 수립 및 투자 실행 의지를 밝힘
- 공약에서 2035년까지 2조 달러 규모의 투자로 “청정에너지 혁명”과 100% 청정에너지를 약속하였으며, 2035년까지 발전부문 탄소제로를 선언함
- 공약에서 미국의 파리기후협정 재가입 및 기후리더십 확보를 위한 대대적 외교활동 추진의지를 밝힘

## 싱가포르

- 2020년 2월, 싱가포르 정부는 “저탄소 및 기후 회복에 뛰어난 싱가포르”라는 비전에서 넷제로 목표를 발표함

- 주요 내용은 2030년에 6,500만톤의 이산화탄소 배출량을 정점에 두고, 2050년까지 배출량을 3,300만톤으로 줄이고, 2050년 이후에 넷제로를 달성하겠다고 발표함
- 세부 내용으로 2040년까지 내연기관 차량의 단계적 폐지, 태양광 프로그램 확대, 탄소배출권 거래를 제시하였음

### 03 중양아시아 에너지 산업 현황 개요

#### ■ 카자흐스탄

- 카자흐스탄은 석탄, 석유, 천연가스 등의 풍부한 보유 자원을 활용한 에너지 소비가 이루어지고 있으며, 전력 소비 비중은 낮음
- 1인당 GDP 대비 CO<sub>2</sub> 배출량이 높으며, 석탄을 주요 발전원으로 사용하고 있는 발전 부문의 CO<sub>2</sub> 배출 비중이 높음
- 전기 접근성은 100%를 달성하였으나, 송배전 네트워크가 설치되지 않은 지역이 많으며, 정전 발생으로 전력 공급 안정성이 낮음
- 1인당 전력소비량이 적고, 재래식 연료를 이용한 쿠킹 인구 비율이 2%를 차지함
- 노후화된 발전/송배전 시설로 인한 전력 손실과 산업 전반의 에너지 효율이 낮음
- 전력 부족으로 인근 국가로부터 전력을 수입함
- 대규모 공동주택 건설 확대로 주거 부문 에너지 수요 증가가 예상됨
- 2060넷제로를 선언하였으며, 2050년 신재생에너지 비율 50%, 에너지 집약도 40% 감소(2013 대비), 전력부문 탄소배출 40% 감소(2013 대비)를 목표로 함

#### ■ 키르기스스탄

- 키르기스스탄은 석탄, 수자원을 풍부하게 보유하고 있으며, 수력발전이 91.7%를 차지함
- 최종 에너지 소비에서 전력 및 석유 사용 의존도가 높으며, 석유 자원을 수입하여 사용하고 있음
- 1인당 GDP 대비 CO<sub>2</sub> 배출량이 높으며, 주거 부문의 CO<sub>2</sub> 배출 비중이 높음
- 전기 접근성은 99.9%를 달성하였으나, 송배전 네트워크가 설치되지 않은 지역이 많으며, 정전 발생으로 전력 공급 안정성이 낮음
- 1인당 전력소비량이 적고, 재래식 연료를 이용한 쿠킹 인구 비율이 23%를 차지함
- 노후화된 발전/송배전 시설로 인한 전력 손실과 산업 전반의 에너지 효율이 낮음
- 잉여 전력을 인근 국가로 수출함
- 신재생 분산전원 구축, 에너지 공급 안정성 확보, 에너지 효율성 개선, 노후 발전/ 송배전 인프라 개선의 정책 방향을 수립함

## ■ 타지키스탄

- 타지키스탄은 석탄, 수자원을 풍부하게 보유하고 있으며, 수력발전이 92.7%를 차지함
- 최종 에너지 소비에서 전력, 석유, 석탄 순으로 소비 비중이 높음
- 1인당 GDP 대비 CO<sub>2</sub> 배출량이 높으며, 발전 및 산업 부문의 CO<sub>2</sub> 배출 비중이 높음
- 전기 접근성은 99.6%를 달성하였으나, 송배전 네트워크가 설치되지 않은 지역이 많으며, 정전 발생으로 전력 공급 안정성이 낮음
- 1인당 전력소비량이 적고, 재래식 연료를 이용한 쿠킹 인구 비율이 18%를 차지함
- 노후화된 발전/송배전 시설로 인한 전력 손실과 산업 전반의 에너지 효율이 낮음
- 2030년까지 농촌지역 전기 공급, 신재생 발전 20%까지 확대, 전력손실 10% 감축, 에너지효율 20% 향상 등의 에너지 정책 목표를 수립함

## ■ 투르크메니스탄

- 투르크메니스탄은 천연가스, 석유 등의 풍부한 보유 자원을 활용한 에너지 소비가 이루어지고 있으며, 전력 소비 비중은 낮음
- 1인당 GDP 대비 CO<sub>2</sub> 배출량이 높으며, 천연가스를 100% 가까이 발전원으로 사용하고 있는 발전 부문과 상업/공공서비스 부문의 CO<sub>2</sub> 배출 비중이 높음
- 전기 접근성은 99.9%를 달성하였으나, 송배전 네트워크가 설치되지 않은 지역이 많으며, 1인당 전력 소비량이 낮음
- 노후화된 발전/송배전 시설로 인한 전력 손실과 산업 전반의 에너지 효율이 낮음
- 주변국으로 가스와 전력을 수출함
- 값싼 전기, 가스요금으로 신재생에너지 개발 투자가 미흡함
- 기후변화 대응 전략으로 조림사업 적극 추진 계획을 수립함
- 투르크메니스탄 정부는 발전량 증가 및 태양광 개발 의지를 보이고 있으나, UNFCCC에 제출한 NDC 목표는 국제적 기술/재정지원 조건으로 배출량 유지 또는 일부 감축이라는 소극적 대응 기조를 보임

## ■ 우즈베키스탄

- 우즈베키스탄은 풍부한 천연가스 자원을 활용한 에너지 소비가 이루어지고 있으며, 전력 소비 비중은 낮음
- 운송부문에서도 천연가스 연료 차량이 많음
- 1인당 GDP 대비 CO<sub>2</sub> 배출량이 높으며, 천연가스를 주요 발전원으로 사용하고 있는 발전 부문의 CO<sub>2</sub> 배출 비중이 높음
- 전기 접근성은 100%를 달성하였으나, 송배전 네트워크가 설치되지 않은 지역이 많으며, 정전 발생으로 전력 공급 안정성이 낮음



- 1인당 전력소비량이 적고, 재래식 연료를 이용한 쿨링 인구 비율이 15%를 차지함
- 노후화된 발전/송배전 시설로 인한 전력 손실과 산업 전반의 에너지 효율이 낮음
- 2030년까지 재생에너지 발전 비중 25% 확보, 기존 발전소 현대화 및 화력발전소 증설의 정책 방향을 수립함
- 2022년부터 나보이 지역에 2.4GW 규모의 원자력 발전소가 건설될 예정임



전력산업  
R&D REPORT

# 수소경제

## 연구과제(4건)





## 시장주도형 수소경제 조기 정착을 위한 전략 연구(1)

연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
에너지경제연구원	2020년	김재경, 김수현, 박진남	자체 연구보고서

### 1 연구개발의 필요성 및 목적

#### 01 필요성

- 2019년 1월 발표된 수소경제 활성화 로드맵에 따라 적어도 2022년까지는 수소경제로의 이행은 정부 주도로 이루어질 예정임
  - 수소경제 준비를 위한 차원에서 2022년까지 수소차, 연료전지 보급사업이나 대규모 인프라 투자, 규제완화 등을 통해 주로 정부 주도형으로 이행 추진하는 전략임
- 그러나 적어도 2023년부터는 수소경제 추진 기초를 정부주도형 추진에서 탈피, 민간자본 투자 유치를 유도하여 시장주도형 시장 경제를 조기 정착시킬 필요가 있음
  - 수소경제 추진에 있어 자원 면에서 운용에 제한적인 정부예산보다 민간자본 투자를 유도, 특히 민간 수소시장을 구축함으로써, 시장주도로 수소경제를 확산시켜 나아가는 것이 효과적임
- 이처럼 2023년부터는 민간투자 유도를 통한 시장주도형 수소경제를 조기에 정착시키기 위해서, 중기적 관점에서 이를 대비한 전략연구가 절실히 요구됨

#### 02 목적

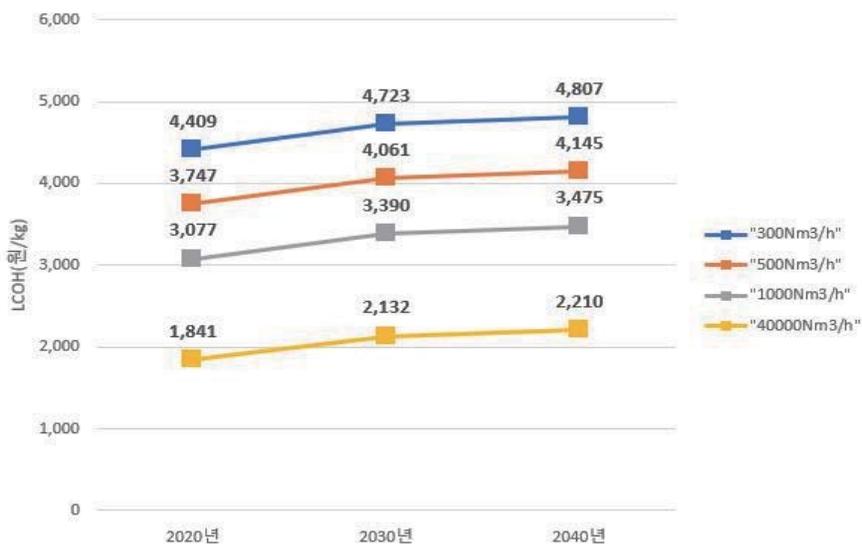
- 본 연구는 2023년부터 수소경제 추진의 기초가 정부주도형에서 시장주도형으로 변화될 것을 준비하는 차원에서, 민간투자 유도를 통한 시장주도형 수소경제를 조기에 정착시키기 위한 전략을 모색하고자 함
  - 시장주도형 수소경제로의 전환이라는 거대 담론을 다룰 수밖에 없기 때문에, 3년에 걸친 연차 연구로서 진행될 예정임

- 1년차 연구인 본 연구는 수소경제에 대한 민자투자 결정에 반드시 요구되는 수소가격을 균등화 수소원가 (Levelized Cost of Hydrogen: LCOH) 개념을 통해 생산방식별로 분석하고자 함
  - 민간투자를 결정하는 가장 중요한 요소는 투자 대상 사업의 수익성이며, 이를 가늠하기 위해서는 투자 대상 사업으로 생산된 생산품의 시장가치, 곧 ‘가격’을 파악하는 것임
- 이를 통해 시장주도형 수소경제로의 전환을 위해 반드시 필요한 경쟁력 있는 수소 가격을 확보하기 위한 정책적 시사점을 도출하고자 함
  - 수소 가격의 他에너지원 대비 경쟁력 확보에 기여할 수 있도록 시장환경 조성이 요구되며, 시장 여건의 조속한 조성을 위해 필요한 정책지원 방안을 제시하고자 함

## 2 연구개발의 내용

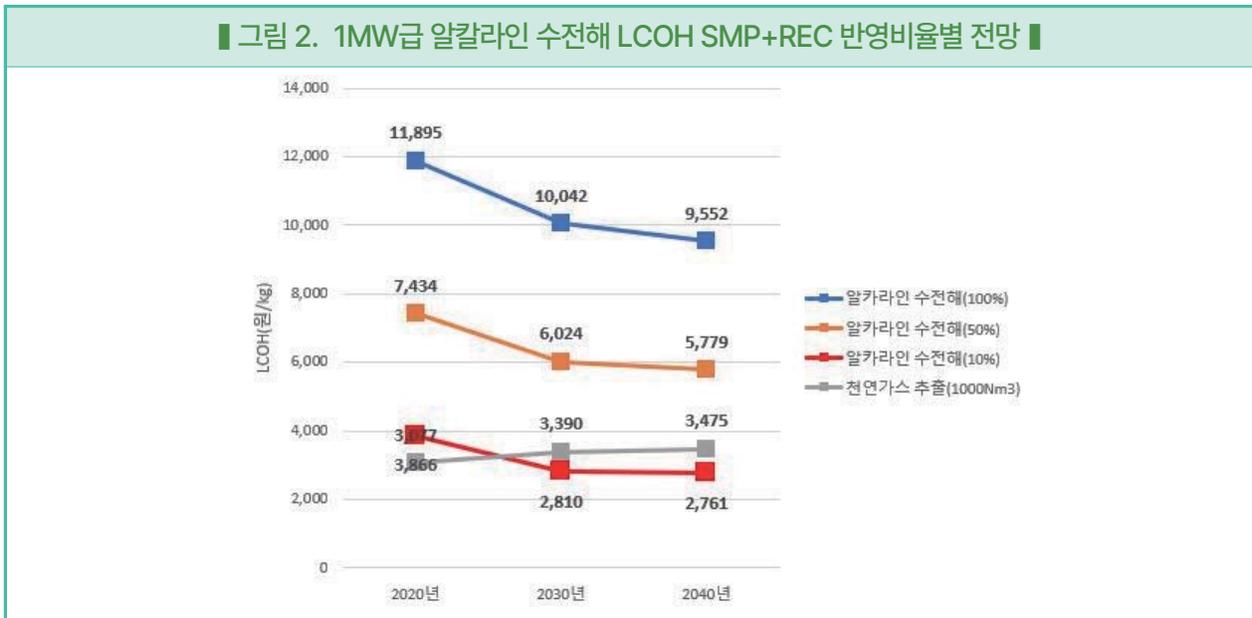
- 수소경제로의 이행을 위해서는 수소차나 발전용 자가용 수소 연료전지 등 수소 활용 상품의 보급 확대가 필수적임
- 이를 위해서는 소비자들에게 수용되기 위해 적어도 대체 관계에 있는 상품들의 연료비용보다는 충분히 낮은 수준이 되도록 수소 가격, 특히 수소 소매가격의 인하가 반드시 요구됨
- 또한 수소 소매가격 인하를 위해서는 수소 공급가격 인하가 필수적이며, 수고 공급가격 인하를 위해서는 이를 구성하는 수소 생산 비용과 이송비용 모두를 낮추는 전략이 요구됨
- 본 연구는 이 중 특히 수소 생산비용에 초점을 맞추어 수소 균등화 생산원가(LCOH)를 산정함

■ 그림 1. 천연가스 추출방식 균등화 수소원가(LCOH) 산정결과(전국기준) ■



- 우선 국내 천연가스 추출방식의 전국 평균 균등화 수소원가는 추출시설의 규모에 따른 차이로 인해 2020년에는 1,841~4,409원/kg의 범위를 지닌 반면, 수송용 도시가스 요금 상승에 힘입어 2030년에는 2,132~4,723원/kg로, 2040년에는 2,210~4,807원/kg으로 소폭 상승할 것으로 전망됨
- 한편 현 수준의 수전해 원가로 해석될 수 있는 계통전력을 활용하는 1MW급 알칼라인 수전해 균등화 수소 원가는 6,636~7,494원/kg 수준임
- 그러나 계통전력이 아닌 재생에너지 전기를 활용한다면, 균등화 수소원가는 11,895원/kg까지 인상되는 것으로 나타남

■ 그림 2. 1MW급 알칼라인 수전해 LCOH SMP+REC 반영비율별 전망 ■



- 단, 재생에너지 전기요금(SMP+REC)을 90% 이상 할인받을 수 있다면 3,866원/kg까지 인하되며, 2030년에는 2,810원/kg, 2040년 2,761원/kg로 낮아져, 1,000Nm<sup>3</sup>/h급 천연가스 추출방식의 균등화 수소원가보다 저렴해짐
  - 그래서 계통전력 대신 재생에너지 전기를 활용할 경우, 사실상 90%이상 무상에 가까운 수준으로 재생에너지 전기를 조달받아야만, 생산원가 차원에서 재생에너지 연계 수전해 수소가 천연가스 추출수소와 경쟁이 가능해짐
- 대신 100MW급 알칼라인 수전해로 설비용량을 확대한다면, 재생에너지 전기의 할인율이 70%(즉, 적용비율 30%)에서 균등화 수소원가가 2030년 3,928원/kg, 2040년 3,177원/kg으로 거점형 1,000Nm<sup>3</sup>/h급 천연가스 추출방식의 균등화 수소원가보다 저렴함
  - 100MW급 알칼라인 수전해는 기술개발이 필요하지만, 상대적으로 대규모 수소생산으로 인해 규모의 경제 효과를 기대할 수 있음

### 3 결론 및 정책제언



#### 01 수소생산용 천연가스 제세공과금 인하

■ 현재 수소경제로의 이행을 위해 수소 가격을 인하하려면, 수소 이송 비용과 연계하여 일차적으로 천연가스 추출방식으로 생산되는 수소의 생산원가를 낮추기 위한 대책이 요구됨

- 비록 생산과정상 이산화탄소 배출에서의 열위를 지닌 천연가스 추출방식이 한시적으로 추가적인 수소 생산 확대수단이 될 수밖에 없음
- 「수소경제 활성화 로드맵」은 대규모 공급원으로서 천연가스 추출 방식이 신규 수소 수요의 2030년 50%, 2040년에는 30%를 담당하도록 규정함

■ 천연가스 추출방식의 생산원가에서도 가장 큰 비중을 차지하는 요소는 단연 원료가 되는 ‘천연가스’의 가격임

- 향후 천연가스(또는 도시가스) 인상 전망에 따라 천연가스 추출방식의 LCOH 전망까지도 함께 인상시키는 결과를 낳게 됨
- 그래서 향후 천연가스 가격 인상 여부가 「수소경제 활성화 로드맵」의 수소 공급가격 목표 달성에 가장 큰 걸림돌이 됨

■ 본 연구는 수소경제 활성화라는 정부의 정책목표 달성 차원에서 수소생산용 천연가스에 부과되는 제세공과금에 대한 한시적 인하를 제안함

- (a) 개별소비세 조정 방안 : 개별소비세법 제18조 제1항 개정을 통해 수소생산용 천연가스, 특히 수소차 충전용 수소생산에 투입되는 천연가스에 대해 조건부 면세 혜택 부여
  - 「개별소비세법」 제18조 제1항 제13호의 유연탄 조건부 면세 참조
- (b) 수입부과금 인하 방안 : 석유 및 석유대체연료 사업법 동법 시행령 제24조 제1항 제3호에 단서조항 개정을 통해, 발전용 이외의 천연가스와는 별도로 수소생산용 천연가스를 특정하고, 이에 대해서는 현행 세율보다 인하된 세율로 적용 추진
- (c) 수입부과금 면제 방안 : 수소생산용 천연가스를 석유 및 석유대체연료 사업법 제19조 제1항에 따라 수입부과금을 납부 후 환급을 받을 수 있는 대상으로 지정 추진
  - 「석유 및 석유대체연료 사업법 시행령」 제27조 제1항 개정을 통해 수소생산용 천연가스를 수입 부과금 환급대상에 포함 가능

## 02 제3자 PPA 지원을 위한 적정 수전해 전용 재생에너지 전기 금 체계 마련

- 수소생산의 전과정적 차원에서 온실가스가 전혀 배출되지 않는 사실상 유일한 수소 생산방식은 재생에너지 발전의 전기를 활용한 수전해 방식임
  - 환경적 측면에서 수소경제 이행 추진의 정당성은 친환경 CO<sub>2</sub>-free 수소 공급 확대를 추진, 달성 하겠다는 「수소경제 활성화 로드맵」의 약속이라는 점에서, 특히 재생에너지 연계 수전해 수소생산 확대는 반드시 필요함
- 수전해 방식의 생산원가에서 가장 큰 비중을 차지하는 요소는 단연 원료가 되는 전기의 가격 즉 전기요금임
- 현재 수전해 방식에서 계통전력을 활용하는 경우 특별한 전용요금이 없는 관계로 보통 산업용(을) 요금을 적용받고 있음
  - 수전해 수소산업 기반 구축을 지원하는 차원에서 계통전력에 대한 수전해 전용 전기요금제나 플러스 수요반응(Demand Response; DR) 보상제도 도입을 검토 가능함(김아름 외, 2020)
- 그러나 계통전력이 아닌 태양광 발전 또는 풍력 발전 등 재생에너지 전력을 활용하는 재생에너지 연계 수전해 방식의 경우 적용 가능한 요금체계 자체가 마련되어 있지 않음. 재생에너지 연계 수전해 확대에 앞서 이를 시급히 확립할 필요가 있음
- 특히 수전해 수소 생산사업자가 전력판매사업자 한국전력공사의 중개로 재생에너지 발전사업자로부터 제3자 전력구매계약(Power Purchase Agreement: PPA)을 통해 재생에너지 전기를 구입하여 수전해 설비에 투입해야 하며 수전해 수소 생산자는 재생에너지 발전사업자에게 재생에너지 전기의 기회비용을 포함한 일정 정도 이상을 보상해주어야 함. 보상 정도를 재생에너지 요금형태로 계약 당사자 간 합의를 통해 제3자 PPA에 포함시켜야 함
- 이때 계통한계가격(SMP)을 넘어 가중치 적용 신재생에너지 공급 인증서(REC) 가격까지 보상을 해주는 현행 재생에너지 전기 판매가격 체계로 인해 국내 재생에너지 발전사업자 입장에서는 재생에너지 전기를 수전해 수소생산용으로 전용할 경우 높은 기회비용을 부담해야 한다는 문제가 발생함
  - 기회비용을 감안할 경우 수전해용 재생에너지 전기 구입가격이 계통 전기요금, 즉 '산업용(을)' 요금 보다 높게 형성될 수 있음
  - 이 경우 적어도 경제적 관점에서는 수전해 수소 생산사업자가 굳이 재생에너지 전기를 활용해야 할 유인이 사실상 없어지게 됨
- 심지어 출력제한 등으로 인한 미활용 전기를 활용하더라도 적정 수준의 수전해 전용 재생에너지 전기요금의 설정은 반드시 필요함

- 심지어 출력제한 등으로 발생한 미활용된 재생에너지 전기도 재생에너지 설비 설치비용 등 고정 비용과 함께 기회비용 역시 일정 정도 할인이 될지언정 없어진 것이 아닌 만큼 재생에너지 전기 사용에 대한 적정 보상이 제3자 PPA를 통해 재생에너지 발전사업자에게 주어져야 함

■ 본 연구는 수전해 수소생산사업자와 재생에너지 발전사업자 간 원활한 제3자 PPA를 위한 가격 협상을 지원하여 재생에너지 연계 수전해 수소생산 확대를 추진하기 위해 정책 당국 차원에서 수전해 전용 재생에너지 전기요금의 기준가격 공시제도 도입을 제안함

- 적절한 수준의 수전해 전용 재생에너지 전기요금의 기준가격을 설정하기 위해 정부, 전담기관, 학계 및 관련업계 등으로 구성된 ‘가격결정위원회’를 구성하고,
- 참여자의 합의를 통해 도출된 재생에너지 전기요금을 기준가격 설정하며, 공시하는 방식으로 운영 될 수 있음
- 이를 위해서는 해당 제도가 법적 근거를 지닐 수 있도록 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」에 해당 제도를 추가하는 방안 등을 검토할 수 있음
- 또한 물론 기준가격 설정 방법 등에 대해서는 면밀하면서도 심도 있는 추가적인 연구가 필요하며, 이를 제안함

## 시장주도형 수소경제 조기 정착을 위한 전략 연구(2)



연구기관	발간연도	연구과제 책임자	과제분류
에너지경제연구원	2021년	김재경, 장성혁	자체 연구보고서

### 1 연구개발의 필요성 및 목적



#### 01 필요성

- 2019년 1월 발표된 수소경제 활성화 로드맵에 따라 적어도 2022년까지는 수소경제로의 이행이 정부 주도로 이루어질 예정
- 그러나 수소경제와 같이 친환경 신에너지 산업의 육성에 있어 장기간 정부 지원이나 투자는 자칫 수소경제의 자생력을 약화하는 역효과를 유발할 수 있으며, 수소경제 추진에 대한 사회적 수용성을 약화시키는 원인이 될 수 있다는 점도 유념 필요
  - 정부 예산을 활용한 보조금이나 인프라 투자는 이러한 시장주도형 수소경제의 밑거름인 동시에 민간 투자를 유도할 수 있는 마중물 역할을 할 때만이 의미
- 결국, 수소경제 추진에 있어 자원 면에서 운용에 제한적인 정부 예산보다 민간자본 투자를 유도, 특히 민간 수소시장을 구축함으로써, 시장주도로 수소경제를 확산시켜 나아가는 것이 효과적이면서도 바람직
- 이를 고려할 경우 적어도 2023년부터는 수소경제 활성화 로드맵에 따라 수소경제 준비기에서 확산기로 본격적으로 접어들 것으로 예상하는바, 수소경제 추진 기조도 역시 그동안의 정부 주도형 추진에서 탈피, 민간자본 투자 유치를 유도하여 시장주도형 시장경제를 조기 정착시킬 필요 존재
- 이처럼 2023년부터는 수소경제 추진의 기조 변화가 요구된 만큼, 민간투자 유도를 통한 시장주도형 수소경제를 조기에 정착시키기 위해서, 중기적 관점에서 이를 대비한 전략연구가 절실히 요구

## 02 목적

- 본 연구는 2023년부터 수소경제 추진의 기초가 정부 주도형에서 시장주도형으로 변화될 것을 준비하는 차원에서, 민간투자 유도를 통한 시장주도형 수소경제를 조기에 정착시키기 위한 전략을 모색 추진
  - 시장주도형 수소경제로의 전환이라는 거대 담론을 다룰 수밖에 없으므로, 3년에 걸친 연차 연구로서 진행될 예정
- 특히 2년 차 연구인 본 연구는 시장주도형 수소경제로의 전환에 필요한 수소 비즈니스, 그중에서도 특히 탄소중립 달성 등을 위해 반드시 요구되는 청정수소 비즈니스에 대해 다룸
- 이를 위해 우선 국내 수소경제 비즈니스 생태계 속 청정수소 비즈니스의 위상과 현황을 확인하고, 국내 청정수소 비즈니스 활성화를 위해, 관련 해외사례를 분석, 한국형 청정수소 인증제 및 이와 연계된 정책지원 방안을 모색 시도

## 2 연구개발의 내용



### 01 시장주도형 수소경제 전환을 위한 청정수소 비즈니스 육성의 필요성

- 수소경제란 다시 표현하면 기업들이 수소라는 상품을 중심으로 영위하는 경제적 활동, 즉 수소 비즈니스의 총합으로도 표현 가능
- 수소라는 상품을 생산 또는 소비하여 부가가치를 창출하는 기업을 수소기업이라 정의한다면, 이 같은 수소 기업들의 집합이 수소산업이며, 수소산업과 연관사업들이 수소라는 상품을 중심으로 경제적 활동을 영위하는 경제체제가 바로 ‘수소경제’임
- 그리고 본질적으로 이 같은 수소 비즈니스의 주체는 기업, 특히 민간기업일 수밖에 없으므로, 결국 수소경제 역시 궁극적으로는 민간기업이 주도하는 시장 주도형 체제로 전환될 수밖에 없는 숙명이 존재
- 그런데도 2019년 1월 「수소경제 활성화 로드맵」 발표 당시까지만 하더라도 팽배한 시장의 불확실성에 대한 염려로 인해, 국내 수소경제는 부득이하게 당분간 정부 주도로 불가피하게 추진
- 그러다 2020년 하반기를 기점으로 큰 국면전환이 이루어져, 그린뉴딜, 탄소중립, ESG(환경·사회·지배구조) 경영 등 새로운 경영 환경변화에 대응하는 차원에서, 관망세였던 정유·석화·제철 등 민간기업들이

앞다투어 수소 공급사업 진출을 선언, 수소의 수요와 공급, 양 측면 모두에서 민간기업의 역할이 확대되고, 그만큼 위상 또한 고양 중

- 특히 민간기업은 2030년까지 그린수소 및 블루수소 등 청정수소 생산부문 11조원, 액화플랜트 구축 등 수소 저장·유통 부문 8조원 이상의 투자계획을 발표
- 또한 민간 수소산업 진출은 수소 공급뿐만 아니라 수요 측면에서도 이어져, 2019년 당시 수소 수요는 수소차나 연료전지 등 에너지 용도만 국한되었지만,
- 탄소중립 달성에 불가피한 수소환원제철, 탄소중립 연료(E-fuel)나 합성 나프타 제조 등을 위해 새로운 산업용 수소 수요가 창출, 확대되어, 애초 2040년 5.3백만 톤이었던 국내 수소 수요 전망을 2050년에는 이보다 5~6배인 27.5~29.2백만톤으로 상향 조정

- 그래서 2021년 현재는 국내 수소경제는 정부 주도형에서 시장 주도형으로 급격히 기조가 바뀌는 전환기로 평가 가능
- 조만간 민간기업 중심의 시장 주도형 수소경제가 본격화되면, 심지어 정권교체 등 정책 동력의 약화에도 국내 수소경제가 지속 가능할 시장의 내적 동력을 갖게 될 수 있으며, 그만큼 수소경제의 성공도 가까워지게 될 것으로 기대
- 같은 맥락 아래 수소의 한 종류인 청정수소를 중심으로 한 청정 수소경제 체제 역시 마찬가지로 운명을 지님
- 특히 2021년 10월 문재인 대통령이 2050 탄소중립 선언 이후, 탄소중립 추진이 국가적 화두가 되면서, 정책적 필요로 인해 궁극적으로 국내 수소경제는 결국 청정수소 중심의 수소경제로 빠르게 전환 필요
- 그렇다면 청정수소 생산·확대도 역시 시장주도형 수소경제 기조 아래서 민간기업이 중심이 될 수밖에 없으며, 또한 중심이 되어야 하며, 그만큼 정책적 지원 필요성도 높음
- 그러나 적어도 현재까지는 높은 생산원가로 인해 경쟁시장에서 청정수소가 충분한 경쟁력을 갖출 수 있을지, 그래서 충분한 수익을 창출할 수 있을지에 대한 의구심도 만만치 않음
- 이로 인해 민간투자가 활성화되지 못한 상황에서 청정수소 중심의 수소경제로 빠르게 전환하겠다는 정부의 의지나 계획도 큰 실효성을 갖기는 어려운 것이 현실
- 결국, 탄소중립 추진과 정부의 청정 수소경제로의 전환 의지를 실현하기 위해서라도 실제 민간기업들이 청정수소로 사업, 즉 비즈니스를 수행하여 수익을 창출할 수 있도록 지원이 필요, 이에 대한 제도적·정책적 지원방안 마련 요구

## 02 국내 수소 비즈니스 생태계에서 청정수소 비즈니스의 위상 및 현황

본 연구는 우선 국내 수소경제 비즈니스 생태계 속 청정수소 비즈니스의 위상과 현황을 확인하는 작업을 수행, 국내 수소 비즈니스 생태계 내 존재하는 비즈니스 유형에 대한 분류체계를 구성(〈표 1〉 참조)

- 현재까지 공식적으로 국내에서 발표된 수소사업의 내용이나 사업계획 등 총 79건을 수집, 데이터 베이스(DB)를 구축하여 유형별로 분류하여 수소라는 상품을 중심으로 한 국내 비즈니스 생태계의 구조 현황을 파악
- 그 결과, 20개의 사업 유형 그룹이 식별, 국내 수소 비즈니스 유형의 소분류로 설정하는 한편, 계층적 군집분석 결과를 통해 도출된 소분류 사업 유형의 상위 유형들을 식별, 각각 10개의 중분류 유형과 6개 대분류 유형으로 그룹화함으로써, 국내 수소 비즈니스 생태계 내 존재하는 비즈니스 유형에 대한 분류체계를 구성

<표 1> 국내 수소 비즈니스 유형 분류 결과

대분류	중분류	소분류
수소생산공급사업	수소생산공급사업	전통적 수소생산공급 사업
		폐자원 및 바이오 수소생산공급 사업
		재생E 연계 수전해 수소생산 공급사업
	암모니아 생산 및 전환사업	암모니아 개질 수소생산 공급사업
		그린암모니아 생산 및 공급사업
수소유통업	수소유통업 (저장 및 이송서비스 제공)	수소유통업 (저장 및 이송서비스 제공)
	액화수소 기반 수소유통업	액화수소 기반 수소유통사업
		액화수소 기반 수소충전소 운영사업
	액화 및 액상수소 해상운송업	액화수소 기반 수소해상운송업
LOHC 기반 수소해상운송업		
		암모니아 기반 수소해상운송업
수소충전소 운영사업	수소충전소 운영사업	단독 수소충전소 운영사업
		융복합 수소충전소 운영사업
수소 모빌리티 관련사업	수소모빌리티 관련사업	수소 모빌리티 사업
		액화수소 기반 수소모빌리티 사업
		수소 모빌리티 임대사업
수소 발전사업	연료전지 기반 사업	연료전지 발전 사업
		연료전지 기반 기타사업
	수소 기반 발전사업	수소 기반 발전사업
수소 기반 건축물 구축 및 운영사업	수소 기반 건축물 구축 및 운영사업	수소 기반 건축물 구축 및 운영사업

- 이중 청정수소, 특히 재생에너지 연계 수전해 수소와 CCUS와 연계된 천연가스 추출수소(소위 블루수소) 관련 사업들을 별도로 추출하여, 각각의 비즈니스 생태계 구성 현황 고찰
- 우선 재생에너지 연계 수전해 수소 비즈니스는 주로 다른 부문에 비해 해당 수소의 생산 및 공급사업에 불균형적으로 집중
  - 재생에너지 연계 수전해 수소생산·공급 사업은 직접 재생에너지 연계 수전해 수소를 생산, 공급 하든지, 추후 저장 및 이송에 쉽도록, 생산된 수소를 질소와 결합, 암모니아를 제조하는 사업으로 구성
- 반면 CCUS 연계된 천연가스 추출수소(소위 블루수소) 블루수소 비즈니스 생태계는 국내가 아닌 국외에서 생산하여 국내로 이송하는 가치사슬에 편중
  - 이는 아직 국내에서 천연가스 추출수소에서 발생하는 이산화탄소를 포집하여 처리하는 CCUS 사업이 활성화되어 있지 않은 관계로, 주로 대다수 사업이 CCUS 사업이 가능한 해외 생산과 이송에 초점이 맞추어진 결과로 평가
  - 향후 청정수소 수소 비즈니스가 활성화되기 위해서는 지금과 같은 불균형적 구조를 넘어 특히 국내 유통 및 활용부문에서도 본격적으로 사업 진출을 유도할 수 있는 지원이 필요

### 3 결론 및 정책제언



#### 01 한국형 청정수소 인증제도 설계 방향

- 실제 민간기업들이 다양한 부분의 청정수소 비즈니스에 진출하기 위해서는 실제 수익을 창출할 수 있도록 제도적·정책적 지원방안 마련이 요구
- 이를 위해서는 무엇보다도 다양한 수소 생산방식 중에 과연 청정수소 생산방식이 무엇인지를 ‘劃定(획정)’ 하는 작업, 다시 말해 청정수소 비즈니스 지원제도 설계를 위해서는 청정수소 생산방식을 구체적인 기준을 바탕으로 확정하는 작업이 요구
  - 2021년 7월까지 발의된 3개 “수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률 일부 개정안”(이하 수소 경제법 개정안) 모두 법안은 모두 청정수소 생산방식의 법률적인 ‘劃定(획정)’을 위해 “청정수소 인증제” 관련 조항 포함
  - 단, 개정안들은 모두 청정수소 인증업무를 담당할 “인증기관”만 명시하고 있을 뿐, 실제 한국형 “청정수소 인증제”의 인증 기준·절차·방법 그 밖에 인증제도 운용에 필요한 사항 등 구체적인 내용을 관련 시행령 등 위임규정을 통해 정할 것을 규정
  - 향후 시행령 제정을 위해서는 구체적인 한국형 청정수소 인증제 설계가 필요

- 본 연구는 청정수소 비즈니스 육성 지원방안 마련을 위한 선행조건으로써, 청정수소 생산방식을 ‘劃定(획정)’ 하는 기준, 즉 청정수소 인증제를 EU, 중국, 일본 등 해외사례를 살펴보고, 다음과 같이 한국형 청정수소 인증제 설계 방향을 제안
- 먼저 해외사례를 통해 확인한 바와 같이 청정수소 인증제와 관련하여 일차적인 난관은 청정수소를 어떻게 정의할 것인가라 할 수 있으며, 이는 정부가 단순히 특정 전문기관에 연구용역 하나 주고, 단기간에 만들 수 있는 사안이 아님
- 결국, 한국형 청정수소 인증제 마련을 위해서는 가장 기초가 되는 청정수소의 구체적인 조작적 정의 단계 부터 관련 이해당사자들 모두가 참여할 수 있는 논의 플랫폼을 통해 중지를 모을 수 있어야 하며, 충분한 시간 동안 논의와 토론을 통해 의견을 수렴해 나아가는 절차 또한 필요
- 또한, 청정수소 인증제 해외사례를 통해 이 같은 구체적인 조작적 청정수소 정의 마련 논의 플랫폼을 통해 논의되어야 할 주요 사항은 청정수소 대상 수소 생산기술, 판단 기준, 기능단위, 전과정 평가 시스템 경계 등임을 확인
  - 우선 청정수소 대상 생산기술과 관련하여서는 EU나 일본과 같이 청정수소 대상 수소 생산기술을 한정하기보다는 가능한 모든 기술을 대상으로 객관적이고 공정한 정량적 기준을 마련, 이를 적용하는 것이 더욱 바람직
  - 또한, 전과정 평가를 하기 위해서는 전과정 평가를 위한 시스템 경계 범위 설정이 필요한데, EU, 중국, 일본 등은 세부적으로는 약간의 차이가 있지만 모두 원료생산(well)에서 수소생산 시설, 더욱 정확 하계는 시설에서 출하 직전(gate)까지로 경계로 삼음
  - 한국형 청정수소 인증제도 역시 “well to gate”를 경계 범위로 설정할 필요
  - 그러나 이런 “well to gate” 경계 범위는 해외도입 수소에 적용하는 데 한계가 있을 수 있음도 고려할 필요
  - 가령 호주산 수소에 해당 기준을 적용할 경우, 호주 수소생산 시설에서 출하된 이후 호주 내 이송, 전환, 해운 이송, 한국 인수기지 하역 및 전환 및 한국 인수기지에서의 출하 전 과정에서 배출되는 온실가스 배출량은 청정수소 인증제 평가대상 범위에서 제외되는 문제 발생
  - 이로 인해 해외도입 수소의 한국형 청정수소 인증제 편입을 위해서는 추가로 전과정 평가 시스템 경계 범위 설정에 대한 재논의가 필요
  - 그러나 이는 논의의 성격상 단일 국가를 넘어 향후 수소 국제거래에 참여하게 될 국가 간 국제 공조가 필요한 영역이라 할 수 있으며, 이를 위한 국제적 논의 플랫폼 마련을 제안
- 그리고 무엇보다 청정수소 인증제를 구성하기 위해서는 청정수소의 조작적 정의를 위해 객관적인 기준으로서 수소생산의 전과정 온실가스 배출량을 설정한다면, 해당 배출량을 기준을 활용하여 등급을 설정할 필요 존재

- 먼저 중국과 일본도 EU의 프리미엄 수소의 기본적인 등급체계를 준용하고 있음을 고려할 경우, EU 프리미엄 수소 등급체계 설정의 기본논리는 향후 국제적 표준이 될 가능성 높음
- 이를 고려하여 한국형 청정수소 인증제의 등급체계도 기본논리는 EU 프리미엄 수소를 준용할 필요
- 그러나 EU 프리미엄 수소 인정 기준을 청정수소 인정의 최대 범위로 설정할 경우, 국내에서 언제부터 청정수소를 충분히 공급할 수 있는지, 다시 말해 청정수소 공급 가용성을 고려 필요
- 이와 함께 결국 청정수소도 역시 정부가 아닌 민간기업이 시장기구를 통해 공급하는 상품이 되어야 하는 만큼 국내 수소산업 육성 차원에서도 바람직한지를 면밀히 검토 필요

■ 이를 고려하여 본 연구는 다음과 같은 청정수소 등급체계를 제안

■ 먼저 청정수소 인정의 최대 범위는 2021년 10월 확정된 2030년 국가 온실가스 감축 목표(NDC)를 고려하여 설정된 벤치마크 기준 배출량에서 40% 감축된 배출량(벤치마크 기준 배출량 대비 60%)인 7.01 kgCO<sub>2</sub>/kgH<sub>2</sub>로 설정하여, 해당 배출량 미만인 수소를 청정수소로 정의

- 현재 중앙집중식(off-site) 천연가스 추출수소의 전과정 온실가스 배출량은 11.68kgCO<sub>2</sub>/kgH<sub>2</sub> 정도, 이를 벤치마크 기준 배출량으로 설정

■ 다만 청정수소는 EU 프리미엄 수소 인정 기준을 준용하여 벤치마크 기준 배출량에서 60% 감축된 배출량(벤치마크 기준 배출량 대비 40%)인 4.67 kgCO<sub>2</sub>/kgH<sub>2</sub>를 기준으로, 배출량이 4.67 kgCO<sub>2</sub>/kgH<sub>2</sub> 이상 7.01 kgCO<sub>2</sub>/kgH<sub>2</sub> 미만인 수소는 II등급 청정수소로, 배출량이 4.67 kgCO<sub>2</sub>/kgH<sub>2</sub> 미만인 수소는 I등급 청정수소로 분류

<표 2> 청정수소 인증제 등급체계(안)

등급 구분		전과정 온실가스 배출량 상한 (kgCO <sub>2</sub> /kgH <sub>2</sub> )	벤치마크 배출기준 대비 비율
벤치마크		11.68	100%
청정수소	II등급	7.01 (4.67 이상 7.01 미만)	60%(기준 대비 40% 저감)
	I등급	4.67	40%(기준 대비 60% 저감)

02 청정수소 공급인증서(CHC) 거래제도 도입 제안

■ 사실 청정수소 인증제 자체만으로는 청정수소를 기반한 수소 비즈니스를 지원하는 데 한계

- 사실 EU, 중국, 일본 등의 청정수소 인증제는 친환경 또는 저탄소 상품에 붙어있는 인증마크나 라벨 정도에 불과

- 물론 이러한 인증마크나 라벨이 소비자의 선호와 밀접하게 관계되어 소비자 구매행위에 영향을 줄 수 있고, 그만큼 매출 증진으로 인한 수익 향상을 통해 청정수소 비즈니스를 간접적으로 지원 가능
- 그러나 탄소중립 추진 등 정부의 정책적 필요로 청정수소 생산 및 공급 확대가 필요한 상황이지만, 아직 산업적 기반이 제대로 갖추어져 있지 않은 청정 수소 비즈니스를 단순히 인증마크나 라벨 등에 기반을 둔 간접적인 지원 수단으로 제대로, 그것도 단기간 내에 육성하는 데는 분명 한계 존재

■ 대신 보다 직접적인 지원을 통해 산업적 기반부터 확보하는 것이 현시점에는 오히려 절실

■ 이러한 필요성을 반영하여, 2021년 7월까지 발의된 3개 수소 경제법 개정안은 청정수소, 특히 청정수소 인증제에 따라 인증된 청정수소를 발전용이나 수송용으로 수소를 사용하는 사업자가 의무적으로 일정 비율 사용하게 하는 소위 “청정수소 의무사용제”를 청정수소 인증제 연계 지원방안의 목적으로 포함

■ 그러나 이 제도가 청정수소의 시장 형성에는 기여할 수 있을지 모르지만, 앞서 언급한 바와 같이 청정수소 비즈니스 활성화에 반드시 요구되는 청정수소 비즈니스의 수익성 증진에는 한계

■ 이러한 수익성 확보 지원방안 마련을 위해 본 연구는 EU의 프리미엄 수소 인증제를 구성하고 있는 CertifHy 수소 원재료 보증서(GO) 거래제도 등을 참조하여, 앞서 제안한 한국형 청정수소 인증제와 연계하여 가칭 “청정수소 공급인증서(Clean Hydrogen Certificate, CHC)” 거래제도 도입을 다음과 같이 제안

- 우선 한국형 청정수소 인증제에 따라 인증된 청정수소(이하 인증 청정수소)를 생산·공급 실적에 상응하여 가령 청정수소 1톤당 청정수소 공급인증서 1건을 발행,
- 그리고 물리적 의미에서의 청정수소와는 별도로 해당 공급인증서를 일정한 시장가격에 거래가 가능하도록 제도화

■ 이때 이러한 거래제도가 작동하기 위해서는 다음과 같은 기본적인 사항에 대한 완비가 필요

- ① 청정수소 사용 의무화와 충분한 과징금 부과 : 먼저 공급인증서 자체에 가치를 부여하기 위해 인증 청정수소에 대한 일정 수준 이상의 사용을 특정 주체에게 의무화하면서, 의무 달성 미달 시 미달한 물량만큼 충분한 과징금 부과 필요
- ② 청정수소 공급인증서 통한 사용 의무 충족 : 사용 의무가 부과된 주체가 해당 의무를 충족시키기 위해 물리적 의미의 청정수소를 구매·사용하는 수단과 함께 청정수소 공급인증서 구매·사용하는 수단도 인정 필요
- ③ 청정수소 공급인증서 거래플랫폼 구축과 참여자 개방 : 사용 의무 충족수단으로 발생한 청정수소 공급인증서에 대한 수요와 청정수소 공급으로 확보된 인증서의 공급을 연결해주는 온라인 전자거래방식의 거래플랫폼이 구축, 이때 초기 단계에는 주로 청정수소 사용의무자와 청정수소 공급자 간 인증서 거래 중심으로 시장이 형성, 그러나 이 같은 거래시장이 청정수소 공급인증서에 대한 보다 합리적인 가격

발견 기능을 수행하기 위해서는 충분한 유동성 유입이 필수적, 이를 위해서 재정거래나 심지어 투기적 목적의 거래까지 가능하도록 시장참여자의 범위를 확대하도록 참여 제약을 해제하는 방향으로 개방 필요

- ④ 청정수소 등급에 따른 인증서 발행 가중치 차등화 : 청정수소 인증제에 청정수소 등급체계를 설정할 경우, 장기적으로 II등급 청정수소보다 I 등급 청정수소의 생산·확대를 유도하는 차원에서 등급별로 차등화된 유인구조도 마련 필요. 가령 II등급 청정수소 1톤 공급에 대해 청정수소 인증서 1건이 발행된다면, I 등급 청정수소는 2건이 발행되는 형태 가능. 향후 청정수소 인증제의 등급제가 보다 세분되거나 변경되면 청정수소 공급인증서 발행과 연계하여 세분화 또는 변경함으로써 양 제도 간의 연계성 강화 필요

■ 이같이 기본사항과 관련해 “청정수소 사용 의무화와 과징금 부과”는 앞서 제시한 바 있는 3개의 수소 경제법 개정 발의안에 일부 포함

■ 그러나 “청정수소 공급인증서 통한 사용 의무 충족”, “청정수소 공급인증서 거래플랫폼 구축과 참여자 개방”, “청정수소 등급에 따른 인증서 발행 가중치 차등화”는 아직 법제화는 커녕 관련된 논의조차 아직 진행되고 있지 않음

■ 본 연구는 청정수소 비즈니스 활성화를 지원하는 차원에서 이 같은 내용의 법제화 추진을 위한 논의를 개시하는 마중물 차원에서 관련 제도 도입을 제안

## 재생에너지 이용 극대화를 위한 2MW급 Power to Gas 시스템 엔지니어링 기술 및 비즈니스 모델 개발



주관기관	발간연도	위탁연구기관	과제분류
한국전력공사	2022년	수소에너젠, 한국에너지기술연구원, 엘캠텍, 한국과학기술연구원, 에이치파워(주), 동국대학교, KAIST, 아크로랩스(주), 한국기계연구원, 한국중부발전, 한국동서발전	국가 연구개발과제

### 1 연구목표



#### ① 한국전력공사

- 1MW급 알카라인 및 PEM 수전해 스택 개발 총괄
- 0.2MW급 알카라인 수전해 스택 기술확보 및 성능평가
- 0.2MW급 알카라인 수전해 BOP 기술확보 및 성능평가
- 20Nm<sup>3</sup>H<sub>2</sub>/hr 급 LOHC(Liquid Organic Hydrogen Carriers, 액상화합물) 시스템 공정설계 및 실증
- PEM 수전해-LOHC 연계 시스템 기초설계 및 공정해석
- 통합 P2G 시스템 기초 설계 및 공정해석

#### ② 수소에너젠

- 0.2MW급 수전해 스택 및 BOP 제작 및 평가
- 1MW급 스택 설계
- 1MW급 수전해 BOP 설계

#### ③ 한국에너지기술연구원

- 0.2 MW급 스택용 셀 프레임 설계 및 제작(전류효율 93% 달성)
- 분리막 ex-situ, in-situ 평가를 통한 스크리닝 및 스택 공급용 분리막 선정
- 전극 스케일 업(유효면적 600 cm<sup>2</sup>이상) 및 성능평가

## ④ 엘캠텍

- 1MW급 PEM 수소발생기 Stack 제작 및 평가
- 1MW급 PEM 수소발생기 설계
- 신규 촉매를 적용한 전극에 대한 개선사항 반영 및 대형 Stack에 전극 적용
- 스택 전극화 공정 리뷰 및 피드백

## ⑤ 한국과학기술연구원

- MEA-OER 질량활성 : 4A/mg(@ 2.0 Vcell) 이상
- MEA-OER 전극 표면적 및 임피던스 분석
- OER 귀금속 사용량: 0.7mg/cm<sup>2</sup> 이하
- OER 반쪽 전지 성능 측정

## ⑥ 에이치엔파워(주)

- 20Nm<sup>3</sup>/h LOHC 시스템 탈수소화 반응온도 유지를 위한 운전기법 개발
- 잔여 LC회수 및 탄화수소 제거를 위한 응축기 및 흡착탑 운전기법 개발
- 20Nm<sup>3</sup>급 LOHC 시스템 통합제어 프로토콜 개발

## ⑦ 동국대학교

- 반응조건에 따른 탈수소화 반응속도 예측을 위한 empirical parameter 설정
- 수소화 반응속도 자료 구축, 분석 및 반응식 도출
- 탈수소화 반응기 제작(3m<sup>3</sup>/hr)
- 20m<sup>3</sup>/hr 급 탈수소화 반응기 설계
- 수소화 반응기 설계/제작(3m<sup>3</sup>/hr)

## ⑧ KAIST

- 제조인자변화에 따른 LOHC 탈수소화 성능평가 및 상관관계 파악
- 전기화학적 암모니아 합성 전극 개발
- 알칼라인 수전해 전극 제작

## ⑨ 아크로랩스(주)

- 수전해 단위전지 내구성평가[on/off cycle(1,000회)]
- 수전해 가속시험 모드에 따른 성능 저하 특성 분석

## ⑩ 한국기계연구원

- 수전해 하이브리드 시스템 통합 모델링 개발 및 시뮬레이션
- 수전해 하이브리드 시스템 공정 해석 및 설계 보완

- 수전해 하이브리드 시스템 BOP 동적 모델링 개발

#### ⑪ 한국중부발전, 한국서부발전

- 계통 및 시스템 설치 포인트 발전량 계측 장비 설치 및 모니터링
- 경제성 기반 미활용전력 운영방안 도출

## 2 연구개발의 내용



### ① 한국전력공사

- 1MW급 알칼라인/PEM 수전해 스택 기술확보 및 평가
- 1MW급 알칼라인/PEM 수전해 BOP 기술개발 및 평가
- 2MW(400Nm<sup>3</sup>/hr) 수전해 시스템 BOP 및 P&ID 설계
- PEM 수전해-LOHC 연계 시스템 설계

### ② 수소에너지젠

- 0.2MW급 수전해 스택 및 BOP 제작 및 평가
- 1MW급 스택 설계(zero-gap design) - KAIST, KIER 협업
- 스택 구성 요소 설계(셀 프레임, 전극, 분리막, 급전체, 쌍극판, 가스켓)
- 1MW급 수전해 BOP 설계
  - 기액 분리 시스템 설계
  - 전해액 순환 시스템 설계
  - 전해액 냉각 시스템 설계
  - 수분 응축 및 수소 정제 시스템 설계
  - 수전해 공정 제어 시스템 설계
  - 차압 조절 시스템 설계

### ③ 한국에너지기술연구원

- 선트전류 효율 분석을 통한 0.2 MW급 스택용 셀 프레임 설계(전류효율 93% 이상)
- 0.2 MW급 스택용 셀 프레임 제작(전류효율 93% 이상) - 수소에너지젠 공동연구
- 분리막 ex-situ, in-situ평가를 통한 스크리닝 및 스택 공급용 분리막 선정
- 전극 스케일 업(유효면적 600 cm<sup>2</sup> 이상) 및 성능평가

### ④ 엘캠텍

- 1MW급 PEM 수전해 Stack 제작 및 평가
  - 1MW급 PEM 수전해 Stack 설계도 제작 및 부품구성 제작

- 1MW급 PEM 수소발생기 설계
  - 신규 촉매를 적용한 전극에 대한 개선사항 반영 및 대형 Stack에 전극 적용
  - 스택 전극화 공정 리뷰 및 피드백
- ⑤ 한국과학기술연구원
- 저귀금속 촉매 전극의 개발 및 전극 제작
  - 반전지 및 단위 전지의 제작 및 성능 평가
  - 전극의 성능 감소요인 정량 분석
  - 촉매 활성 극대화를 위한 전략 도출
  - 전극/MEA 성능 개선 연구
  - MEA의 미세구조 분석
- ⑥ 에이치엔파워(주)
- 20Nm<sup>3</sup>/h LOHC 시스템 탈수소화 반응온도 유지를 위한 운전기법 개발
  - 잔여 LC회수 및 탄화수소 제거를 위한 응축기 및 흡착탑 운전기법 개발
  - ppm 단위 이하의 탄화수소 농도 확보를 위한 운전기법 개발
  - 20Nm<sup>3</sup>급 LOHC 시스템 통합제어 프로토콜 개발
    - 수소화/탈수소화 반응을 위한 온도/압력 제어 및 임펠러, 히터, LC펌프, 응축기, 흡착기 등의 통합제어 프로토콜
- ⑦ 동국대학교
- 탈수소화 속도 예측을 위한 empirical parameter 설정
  - 수소화 반응속도 자료 구축, 분석 및 반응식 도출
  - 탈수소화 반응기 제작(3m<sup>3</sup>/hr)
  - 수소화 반응기 설계/제작
  - 20Nm<sup>3</sup>/hr 급 탈수소화 반응기 설계
- ⑧ KAIST
- 제조인자변화에 따른 LOHC 탈수소화 성능평가 및 상관관계 파악
  - 전기화학적 암모니아 합성 전극 개발
  - 알칼라인 수전해 전극 제작
- ⑨ 아크로랩스(주)
- 수전해 단위전지 성능 및 내구성 평가(1,000회 on/off cycle)
  - 수전해 가속시험 모드에 따른 성능 저하 특성 분석

### ⑩ 한국기계연구원

- 수전해 하이브리드 시스템 공정 해석 및 설계 보완
- 수전해 하이브리드 시스템 BOP 동적 모델링 개발
- 재생에너지 발전시스템 동적 모델링 개발
- 수전해 하이브리드 시스템 통합 모델링 개발 및 시뮬레이션

### ⑪ 한국중부발전, 한국서부발전

- 경제성 기반 미활용전력 운영방안 도출
  - 미활용 전력 발생시 운전 Data 분석 지원
- 계통 및 시스템 설치 포인트 발전량 계측 장비 설치 및 모니터링
  - 발전시스템 설치단지 배전망 분석 : 발전량 측정 포인트 선정
  - 계통 발전량 측정 장치 설치
  - 운전 Data 분석 지원

## 3 기대효과



### ■ 사업화 계획

- 본 사업을 통해 개발된 통합 하이브리드 수전해 시스템 기술은 2단계 과제를 통해 재생에너지 연계 실증 및 운전 최적화를 수행할 예정임. 특히, 발전사에서 운영 중인 2.4 MW급의 태양광 발전단지 및 풍력단지 등과 본 사업의 성과물인 통합 하이브리드 수전해 시스템을 연계할 계획에 있음. 이를 통해 실제 전력그리드에 전력을 공급함으로써 전력을 판매하고자 함. 사업화는, 3세부에서 개발될 비즈니스 모델과 연계하여 체계적으로 사업화를 추진할 계획에 있음

### ■ 사업화의 기대효과

- P2G 시장은 국내 풍력, 태양광 발전량의 5%를 P2G 시스템에 사용할 경우 2021년 기준 1,700억원의 시장 규모 예상
- 기술 개발을 통해 전세계 풍력, 태양광 발전량의 1%에 해당하는 P2G 시장을 확보할 경우 2021년 기준 7조원의 시장 규모 예상

### ■ 파급효과(기술적 측면)

- 전기형태로만 저장할 수 있는 기존 배터리 기반 에너지저장기술(ESS)에 비해 화학에너지 형태로 대용량 에너지를 저장할 수 있는 차세대 에너지저장시스템으로 활용할 수 있음
- 수소제조 시스템 설계, 최적화 및 운전 제어 기술 개발

- 고성능, 고내구성, 고신뢰성 차세대 P2G 소재/부품 및 시스템 기술

#### ■ 파급효과(경제·산업적 측면)

- 2030년 재생에너지 발전량 20%를 P2G 기술 전환시 2,200억 원의 천연가스 수입대체 가능
- 수소 연료전지 차량 시장 확대에 걸림돌이 되고 있는 높은 수소 판매가를 낮출 수 있음
- 전력망, 가스망, 열에너지 연계 복합화를 통해 국가에너지망 효율화 및 비용저감 가능
- 전력 계통 안정화를 통해 재생에너지 보급 확대 및 스마트 그리드의 안정적 구축 달성
- 신재생 에너지 산업의 확대를 통해 이와 연계된 다양한 일자리 창출 및 동반 성장 가능

#### ■ 파급효과(사회적 측면)

- 온실가스와 미세먼지 배출량이 현저히 낮은 P2G 시스템 개발을 통해 신기후변화 체제하 온실가스 감축에 대한 효율적 대처가 가능함

## LCA를 고려한 수소에너지 열량환산기준 및 온실가스 배출계수 방법론 개발



연구기관	발간연도	위탁연구기관	과제분류
한국에너지공단	2021년	세종대학교, 스마트에코(주), 한국화학융합시험연구원	위탁 연구개발과제

### 1 연구개발의 범위



- 수소제법에 대한 한국형 LCA 산정방법론 개발
- 국내 발열량, 배출계수 산출방법 개발
- 중장기 LCA 평가를 위한 제도개선 및 협력방안 도출
- 중장기 발열량, 배출계수 산정 로드맵 개발

### 2 연구개발의 내용



- 수소제법에 대한 한국형 LCA 산정방법론 개발
  - 본 연구에서는 수소경제 활성화 로드맵과 국제 학술지 사례를 벤치마킹하여 수소 LCA 산정 목표 및 범위를 하고 결과를 반영하여 정의하였다. ISO TS 14048에 따라 국내의 수소제법별 생산현황, 생산설비, 시설규모, 운영단계(정상운전, 정상가동) 등을 파악하여 수소제법별 데이터 수집 메뉴얼(양식 및 방법)을 개발하였다. 수소생산업체에서 제공받은 일차데이터를 이용하여 LCI 데이터세트를 구축하고 데이터 작성 및 산정 메뉴얼을 개발하였다. 수소제법별로 도출된 LCI 데이터세트는 적정 방법론을 선정하여 온실가스 배출계수 산출 방안과 해석방법을 제시하였다.
- 국내 발열량, 배출계수 산출방법 개발
  - 국내 수소 벨류체인 상의 조사대상은 국내 수소 생산 업체 조사 및 검토를 통해 상용단계 또는 연구중(Pilot 단계 이상)인 기술을 대상으로 선정하였다. 이후 국내·외 문헌 조사를 통해 검토하여 조사 방법을 도출하였다. 수소의 총발열량 및 순발열량은 국외 논문 및 문헌을 검토하여 산정 방법론을 도출하였다. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas

Inventories에 제시된 Tier 별 방법론을 분석하고 국내에 적용방안을 도출하였다. 그리고 이를 종합하여 국내 에너지통계, 산업공정 인벤토리 조사양식의 개선방안을 도출하였다.

### 중장기 LCA 평가를 위한 제도개선 및 협력방안 도출

- 우리나라가 발표한 수소경제 활성화 로드맵에 따라 수소믹스 시나리오별 탄소배출량 추이 분석 방안을 제시하고, 그린수소에 대한 글로벌 평가시스템 구축사례를 분석하여 지속가능한 수소 LCA 평가를 위한 법, 제도적 개선방안을 제시하였다. 해외 수소 에너지원의 거버넌스를 참고하여 국내 수소에너지의 활성화를 본격화할 수 있는 최종 협력방안을 제시하였다. 수소에너지 온실가스 배출 계수 개발과 신뢰도 확보를 위해서 수소 제법별 전문가 협의체의 구성하였다.

### 중장기 발열량, 배출계수 산정 로드맵 개발

- 본 연구에서는 수소제법에 대한 한국형 LCA 산정방법론 개발, 국내 발열량, 배출계수 산출방법 개발, 중장기 LCA 평가를 위한 제도개선 및 협력방안 등을 검토하여 중장기 발열량, 배출계수 산정 로드맵을 개발하였다. 개발된 로드맵을 기반으로 필요한 인력과 예산 등 연차별 소요자원들이 산출하고자 하고, 온실가스 배출계수 구축 대상 제법 선정 및 참여 기업 모집, LCI 데이터세트 구축, 전문가협의체 운영, 발열량과 배출계수 산출, 수소의 운송, 압축, 저장방법별 LCI 데이터세트 구축 등이 있으므로 이를 고려하여 연차별 소요자원을 산출하였다.





PART

II

# 전력산업 유관기관 R&D 현황



## 한국전력공사\_최근 3년간(2019~2022) R&D 현황



### 2019년도

과 제 명	수행기관
◆ 도서 발전설비의 내진설계기준 계정 및 내진성능 개선 연구	전력연구원
◆ 가변파장형 레이저기반 화력발전 실시간 최적연소제어 기술개발	전력연구원
◆ 전문가 지식기반 변전소 고장복구 지원시스템 개발	전력연구원
◆ VR/AR 기반 몰입형 전력콘텐츠 제작 및 인터랙티브 운용기술 개발	전력연구원
◆ 중국 화능집단과의 연소후 습식 CO <sub>2</sub> 포집기술 국제공동연구	전력연구원
◆ DAS 보안패치 사전영향평가 및 배포 실증연구	전력연구원
◆ 기계학습과 글로벌 연구투자정보를 활용한 에너지분야 R&D Map 개발	전력연구원
◆ 온실가스 저감을 위한 CO <sub>2</sub> 활용(CCU) 기술개발 전략 수립 및 고부가 타당성 평가	전력연구원
◆ 배전선로의 분산전원 연계용량 기준 상향 타당성 연구	전력연구원
◆ 배전 Secondary Substation(MV/LV) 기초 모델 설계 및 모델 타당성 분석	전력연구원
◆ 태양광발전 저출력 구간 효율 향상을 위한 능동형 온라인 모듈 PCS 기술보고서	전력연구원
◆ 지중송전 OF 케이블 절연열화 新진단기법 타당성 연구	전력연구원
◆ 간접활선용 전선 인장연결 슬리브 기술개발(R18DA05)	전력연구원
◆ 한전 IGCC 사업화 지원을 위한 패키지 Tool 개발	전력연구원
◆ 가공 송전선로 전자파 측정관련 국제표준 개정을 위한 국제협력 비교검증	전력연구원

과 제 명	수행기관
◆ 3중항-3중항 소멸 상향변환발광 기반 융합 시스템을 이용한 광(전기)화학적 태양에너지 전환 수소생산 기술	연세대학교
◆ 변동성 신재생전원 수용능력 확대를 위한 전력계통인프라 구축정책 연구	계통계획처
◆ 풍력발전시스템 상태감시 진단시스템 개발	전력연구원/신재생에너지연구소/ 재생에너지연구실
◆ 주민수용성 제고를 통한 해상풍력 건설 실행력 확보방안 연구	경영연구원
◆ 해상풍력 환경안전 이슈 해결을 위한 장기 환경모니터링 시스템 및 해상활동 안전기준 기술개발 (참여)	전력연구원/신재생에너지연구소/ 재생에너지연구실
◆ 녹색기후기금(GCF) 활용 해외 온실가스 감축사업 모델 개발	전력시장처
◆ 신재생 프로젝트 경제성평가 매뉴얼 개발 연구	기후변화대응처
◆ 신재생에너지 종합평가 응용 솔루션 개발	대명지이씨(주)
◆ 중대형 풍력터빈 LVRT 특성시험 국내 인증체계 구축	전력연구원/차세대송변전연구소/ 전력망신기술연구실
◆ 바이오매스 신재생발전의 고온부식저감용 분말 및 코팅공정 개발	전력연구원/청정발전연구소/ 발전시스템그룹
◆ 저풍속 중형풍력발전시스템 기술개발	전력연구원/창의미래연구소
◆ 해상풍력터빈 일괄설치시스템 (MMB) 개발	전력연구원/에너지신산업연구소/ 신재생에너지그룹
◆ 신재생발전원 실시간 감시/분석/제어 시스템 개발	강원본부/전력관리처
◆ HVDC 케이블 Off-line 고장점탐지 시스템 북미지역 실계통 적용(1단계)	전력연구원/차세대송변전연구소/ 송변전그룹
◆ 발전플랜트용 가스터빈(GT) 회전익 신뢰성 평가 체계 구축	전력연구원/발전기술연구소/ 터보시스템연구실
◆ 배전 Secondary Substation(MV/LV) 기초 모델 설계 및 모델 타당성 분석	전력연구원/스마트배전연구소/ 신배전시스템그룹
◆ 활선용 전선 인장연결 슬리브 기술개발	전력연구원/스마트배전연구소/ 신배전시스템그룹
◆ 한전 IGCC 사업화 지원을 위한 패키지 Tool 개발	전력연구원/청정발전연구소/ 저탄소연소그룹
◆ KEPCO R&D 수행성과의 회사경영 및 국가경제 기여도 분석	전력연구원/연구전략실/ R&D운영팀

과 제 명	수행기관
◆ 2018 에너지 글로벌 기술협력교류	전력연구원/신재생에너지연구소/ 전력신소재연구실
◆ 삼척 순환유동층 보일러 연료다변화 기술 개발	전력연구원/청정발전연구소/ 저탄소연소그룹
◆ 전력사용 데이터를 활용한 서비스 모델 개발	전력연구원/디지털솔루션연구소/ ICT융합연구실
◆ 분해가스 분석에 의한 가스절연변압기/개폐기 화학적 진단기술 개발 및 기준 제정	전력연구원/창의미래연구소/ 융합에너지그룹
◆ TCSC 적용 계통의 보호 및 운영 기술 개발	전력연구원/차세대송변전연구소/ 변전기술연구실
◆ 해외발전사업 예비타당성 평가용 엔지니어링 툴 개발	전력연구원/발전기술연구소/ 지능형발전연구실
◆ 전문가 지식기반 변전소 고장복구 지원시스템 개발	전력연구원/차세대송변전연구소/ 전력계통그룹
◆ MW급 ESS의 성능 및 안정성 평가 이동형 시험장비용 운영시스템 및 표준 절차서 개발(참여)	전력연구원/에너지신산업연구소/ 신재생에너지그룹
◆ 도서 발전설비의 내진설계기준 제정 및 내진성능 개선 연구	전력연구원/차세대송변전연구소/ 구조내진연구실
◆ 3상 동축 초전도케이블시스템 신뢰성 평가 및 기술규격 개발(세부2)	전력연구원/차세대송변전연구소/ 송전기술연구실
◆ 저압 직류배전망 독립성 실증 연구(총괄)	전력연구원/스마트배전연구소/ 배전ICT그룹
◆ 380MHz 대역을 활용한 Small Cell 무선통신시스템(e-WSN)개발	전력연구원/스마트배전연구소/ 배전ICT그룹
◆ 중국 화능집단과의 연소후 습식 CO <sub>2</sub> 포집기술 국제공동연구	전력연구원/창의미래연구소/ 기후환경그룹
◆ 청정화력발전 실증테스트 베드 구축(총괄)	전력연구원/청정발전연구소/ 발전시스템그룹
◆ 청정화력발전 테스트 베드를 위한 다목적 모니터링 시스템 구축(세부2)	전력연구원/창의미래연구소/ 첨단신소재그룹
◆ IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환기술 개발	전력연구원/청정발전연구소/ 저탄소연소그룹
◆ 강진 대비 전력건축물 지진력 감소를 위한 장치 및 설계기준 개발	전력연구원/차세대송변전연구소/ 구조내진그룹
◆ 화력발전소 미세먼지 배출저감 대책 수립을 위한 미세먼지 배출특성평가 및 자동측정기술개발	전력연구원/청정발전연구소/ 저탄소연소그룹
◆ 100kW급 염전용 수중 태양광 발전시스템 개발	전력연구원/연구전략실/ 에너지밸리연구센터

과 제 명	수행기관
◆ 청정화력발전 실증테스트 베드 구축 (세부1)	전력연구원/청정발전연구소/ 발전시스템그룹
◆ 국산화 보일러 튜브 용접부 특성 평가	전력연구원/청정발전연구소/ 발전시스템그룹
◆ 기설 전력구 및 양산단층 전력설비의 내진성능 개선방안 수립	전력연구원/차세대송변전연구소/ 구조내진그룹
◆ 발전소 제어 루프 실시간 감시 진단 시스템 개발	전력연구원/에너지신산업연구소/ 에너지솔루션그룹
◆ 터빈 로터 Bending 교정 장치 및 기술개발	전력연구원/청정발전연구소
◆ 해상풍력단지 해저전력망 설치 및 운영기술 개발	전력연구원/차세대송변전연구소/ 전력계통그룹
◆ 소규모 주택용, 일반용 고객 수요반응(DR) 실증 프로그램 설계 및 운영기술 개발	전력연구원/에너지신산업연구소
◆ 딥러닝 기반 송전선로 자동진단 드론 운용기술 개발(세부과제)	전력연구원/차세대송변전연구소/ 송전기술연구실
◆ 송전선로 감시진단용 드론 운용 시스템 개발(세부과제2)	전력연구원/디지털솔루션연구소/ SW플랫폼연구실
◆ 송전철탑기초 신뢰성기반 LRFD 설계법 개발(1단계: 심형기초)	전력연구원/차세대송변전연구소/ 구조내진그룹
◆ 지중배전케이블 직매 시공을 위한 기술기준 개발	전력연구원/스마트배전연구소/ 신배전시스템그룹
◆ IP통신 기반 DAS 현장단말 장치용 암호인증 SoC 모듈 개발 및 국가 검정	전력연구원/스마트배전연구소/ 배전CT그룹
◆ 송전케이블 시스템의 기자재 성능평가기술 및 규격 재정립에 대한 연구	전력연구원/차세대송변전연구소/ 송변전그룹
◆ 고탄소강심 차세대 주력전선 개발 및 실증	전력연구원/차세대송변전연구소/ 송전기술연구실
◆ 무선 센서네트워크 기반 지중배전선로 상시 감시시스템 개발	전력연구원/스마트배전연구소/ 전력IoT연구실
◆ 전력관리 기능 강화형 및 수출형 AMI 시스템 개발	전력연구원/스마트배전연구소/ 신배전망연구실
◆ 해저케이블 보호설비의 성능평가기술 개발	전력연구원/차세대송변전연구소/ 구조내진연구실
◆ 양수발전소 발전전동기 모델권선 시험장치 및 진단기법 개발	전력연구원/청정발전연구소/ 전문기술센터/전기성능기술팀
◆ 배전계통 연계 에너지저장장치 운영기술 개발	전력연구원/스마트배전연구소/ 배전시스템연구실

과 제 명	수행기관
◆ 파일럿급 CO <sub>2</sub> 활용 고부가화합물 생산 및 MW급 기본설계	전력연구원/창의미래연구소/ 기후환경그룹
◆ 발전용 보일러 화염측 연소환경 진단장치 및 운영기술 개발	전력연구원/청정발전연구소/ 전문기술센터
◆ MMC 기반 전압형 HVDC 시스템 설계기술 개발	전력연구원/차세대송변전연구소
◆ 기후변화대응을 위한 SF6 감축기술 개발 및 전주기 관리방안 연구	전력연구원/창의미래연구소/ 융합에너지그룹
◆ 페코크(petcoke)의 연료화 활용 및 연소부생물의 자원화 원천기술 개발	전력연구원/청정발전연구소/ 저탄소연소그룹
◆ 친환경 개폐장치용 170kV 진공 차단기술 개발	전력연구원/차세대송변전연구소
◆ 전기흡착식 담수화기술 실증 및 사업화 연구	전력연구원/창의미래연구소/ 첨단신소재그룹
◆ 전력구조물의 장수명화를 위한 Self Healing Concrete 개발	전력연구원/차세대송변전연구소/ 구조내진연구실
◆ 전자회로 3D 프린팅 기반 차단기 상태감시용 센서모듈 개발	전력연구원/창의미래연구소
◆ Smart Energy Campus 구축을 통한 에너지 신사업 실증	전력연구원/에너지신산업연구소/ 에너지시스템그룹
◆ 전력계통 주파수조정용 ESS 시운전 및 성능평가 시스템 개발	전력연구원/에너지신산업연구소/ 에너지솔루션그룹
◆ 한전 사옥 건물에너지 평가기법 개발	전력연구원/스마트배전연구소/ 전력IoT연구실
◆ 발전용 가스터빈의 저열량가스 적용 연소기술 개발	전력연구원/청정발전연구소/ 저탄소연소그룹
◆ AC-DC 복합 전력망 정밀해석을 위한 시뮬레이터 구축 및 해석 기술 개발	전력연구원/차세대송변전연구소/ 전력망신기술연구실
◆ 열효율 8%급 나노 열전소자 및 프로토타입 열전발전모듈 개발	전력연구원/연구전략실/ 에너지밸리연구센터
◆ 고성능 MEA(1.0W/cm <sup>2</sup> ) 기반 5kW급 PEMFC-배터리 하이브리드 시스템 개발	전력연구원/창의미래연구소/ 융합에너지그룹
◆ 중소형 고체산화물 연료전지(SOFC) 발전시스템 개발	전력연구원/신재생에너지연구소/ 에너지저장연구실
◆ 배전 접지자재 수명예측 및 성능평가기술 개발	전력연구원/스마트배전연구소
◆ 전력계통 운영환경 변화에 따른 전력량 최적 계량기술 개발	전력연구원/스마트배전연구소/ 신배전망연구실

과 제 명	수행기관
◆ 저압 직류배전망 요소기기 및 운영시스템 개발(세부1)	전력연구원/스마트배전연구소
◆ 환경조화형 Slim Tower 개발	전력연구원/차세대송변전연구소/ 송전기술연구실
◆ 전력설비 종사자 전자계 노출량 평가 및 관리방안 수립	전력연구원/차세대송변전연구소/ 송변전그룹
◆ IoT 기반 캠퍼스 마이크로그리드 구축 및 실증(참여)	전력연구원/스마트배전연구소/ 배전시스템연구실
◆ 금속산화물을 이용한 0.5 MWth CO <sub>2</sub> 원천분리 가압 연소기술 개발(참여)	전력연구원/창의미래연구소/ 기후환경그룹
◆ 전력소매시장 환경변화 대비를 위한 에너지 신사업 포지셔닝 전략수립에 관한 연구	경영연구원
◆ 전력계통 유연성 제공자원 종합분석 및 체계 정립에 관한 기초연구	경영연구원
◆ 신재생 프로젝트 경제성평가 매뉴얼 개발 연구	기후변화대응처
◆ 중장기 정부경영평가 지표 개발	경영연구원
◆ 가치체계 재정립을 위한 설문 및 인터뷰 설계	경영연구원
◆ 전기자동차 충전인프라 및 충전서비스 국내외 시장동향	경영연구원
◆ 수소경제 도래에 따른 글로벌 유틸리티 추진전략 사례분석	경영연구원
◆ 전력서비스 환경변화에 대응하기 위한 최적 자가무선망 구축방안 수립	ICT기획처
◆ 아파트 고객 AMI 구축방안 연구	스마트미터링실
◆ 전기자동차 역송(V2G)을 이용한 비상용 수요관리제도 도입 기초연구	경영연구원
◆ 국내외 에너지신사업 계약 사례 분석	경영연구원
◆ 장기 에너지 정책을 반영한 시장모의 DB 개발	경영연구원
◆ 전력사용데이터 유통플랫폼 활용 최적화 방안 연구	경영연구원
◆ 스마트가전 활용 에너지관리자원 개발 및 사업 활성화 방안 연구	경영연구원

과 제 명	수행기관
◆ 배전계통 운영의 안정성 확보를 위한 재폐로 기준 재정립에 관한 연구	경제경영연구원
◆ 갈등관리 체계 선진화를 위한 중장기 전략 및 로드맵 수립	상생협력처
◆ 배전분야 정보통신 기술기준 관리체계 개선에 관한 연구	배전계획처
◆ 신재생발전기 계통연계기준 및 계통검토 절차서 정립에 관한 연구	계통계획처
◆ 전압별 고장전류 최적관리 정책수립에 관한 연구	계통계획처
◆ 전력계통 투자규모 산정 및 선 투자 추진방법에 대한 연구	계통계획처
◆ 지중 고압 입상주 바이패스케이블 공법 개발	경기본부/서평택지사
◆ 맨홀환경 최적화 온라인 PD진단 SYSTEM 및 고출력 독립전원	인천본부/전력관리처
◆ 저압용 원격 Smart 자동전압 조정기(S-SVR) 개발	경북본부/전력사업처
◆ 순시선박에서 해저케이블 관리를 위한 소형 무인잠수정 개발	제주본부/HVDC부
◆ 전력구 소방설비 원격 진단·제어 시스템 개발	부산울산본부/전력관리처
◆ 경제성 및 미관개선용 내염형 지상변압기 개발	서울본부/전력사업처
◆ Interlock 내장형 지상개폐기 개발	인천본부
◆ TTB 무정전 교체장치 개발	대구본부/서대구지사
◆ 초경량 다용도 접지용구 SET 개발	강원본부/태백전력지사
◆ 지중 고압 입상주 바이패스케이블 공법 개발	경기본부/서평택지사
◆ 자기수축형 케이블 엔드캡 개발	경기북부분부/고양지사
◆ OPGW를 이용한 비접촉식 통신장비 개선	경남본부/전력관리처
◆ 전주추락 방지장치 개발	부산울산본부/전력사업처

과 제 명	수행기관
◆ One-stop 저압접속함 누설전류 및 전압측정 진단장비 개발	경기본부/평택지사
◆ SC Bank장기경향성데이터분석을통한지능형사고예방시스템개발	강원본부/전력관리처
◆ GIS용 상시 SO2, 순도, 수분 측정장치 개발	경북본부/영주전력지사
◆ 154kV LA일체형 Dry Type 기중종단접속함(EBA)	남부건설본부/대구경북건설지사
◆ IEC 61850 기반 전력구 운영시스템 무선 통신장치 개발	경인건설본부/지중건설부
◆ SF6 가스 파장분석을 통한 가스 검출기 제작	광주전남본부/전력관리처


**2020년도**

과 제 명	수행기관
◆ 부유식 해상풍력 기반기술 개발전략 수립	전력연구원
◆ 고객 맞춤형 클라우드 기반의 에너지관리시스템(K-iEMS) 개발	전력연구원
◆ PMU 기반 빅데이터를 활용한 전력계통 상황인지 기술 개발	전력연구원
◆ 해외수출용 MDMS 패키지 및 데이터 분석 솔루션 개발	전력연구원
◆ 신재생 하이브리드 수소에너지 생산저장이용 기술 개발 및 실증	전력연구원
◆ 해외수출용 MDMS 패키지 및 데이터 분석 솔루션 개발	전력연구원
◆ 송변전설비 지진피해 예측 및 시뮬레이션 기술 개발	전력연구원
◆ 지중 송전구조물의 신뢰성 기반 설계 지침 개발	전력연구원
◆ 배전 지중케이블용 고유연 스마트 센서 및 이삼검출 알고리즘 개발	전력연구원
◆ 내진설계기준 개정을 위한 전력설비의 지진응답 특성 연구	전력연구원

과 제 명	수행기관
◆ 제주계통 신재생에너지 수용향상을 위한 종합감시운영시스템(K-REMS) 개발	전력연구원
◆ 재생에너지와 계통관성의 상호영향 평가 및 주파수응답 핵심기술 연구	전력연구원
◆ ESS운전능력 향상을 위한 배터리 모의 인프라 구축 및 고정밀 BMS 개발	전력연구원
◆ ESS용 망간기반 수계 이차전지 개발	전력연구원
◆ 차세대 CO <sub>2</sub> 분리막 상용기술 개발	전력연구원
◆ CO <sub>2</sub> 의 BEM(Bio-Electrochemical Methanation) 기술 개발	전력연구원
◆ 전기차 충전인프라 공개키 기반 보안체계 및 고객자동인증 규격 개발	전력연구원
◆ V2X 기반 전기차 충전인프라 플랫폼 기술개발	전력연구원
◆ 고성능 MEA(1.0W/cm <sup>2</sup> ) 기반 5kW급 PEMFC-배터리 하이브리드 시스템 개발	전력연구원
◆ 수소가스터빈 기술개발 기획연구	전력연구원
◆ 친환경 개폐장치용 170kV 진공차단기술 개발	전력연구원
◆ 재생에너지 3020 경제적 계통수용 정책 수립에 대한 연구	계통계획처
◆ 재생에너지 계통 접속 활성화를 위한 배전 연계 기준 및 정책 조사	경영연구원
◆ 주민참여 및 이익 공유형 신재생 사업모델 개발 연구	신재생사업처
◆ 인공지능 딥러닝 기반 전력수요 및 신재생발전 예측연구	전주대학교
◆ 능동형 배전망 환경에서의 신재생에너지 기반 가상발전소의 강건 최적화를 통한 운영계획기법 및 적응형 제어기법 개발	서울대학교
◆ 블록체인과 IoT를 결합한 마이크로그리드 기반 신재생에너지 거래 플랫폼	서강대학교
◆ ESS, 계통연계형 인버터 기반 신재생에너지 발전단지 발전노드 모형 개발 및 제어기술 개발	영남대학교
◆ 풍력 및 태양광 발전설비의 낙뢰 보호기준 수립에 관한 기초연구	한경대학교

과 제 명	수행기관
◆ 밴드갭 제어 복합산화물 기반 고전압 태양전지 개발	가천대학교
◆ 페로브스카이트 및 유기 물질을 이용한 아일랜드 형태의 스트레처블 고효율 투명 태양전지 연구	경희대학교
◆ 양자점 기반 파장변환 광대역 고효율 플렉서블 CIGS 박막태양전지 기술 개발	광주과학기술원
◆ CIGS 태양전지의 통합형 광전자 수치 해석 모델 개발	경희대학교
◆ 조도환경 맞춤형 제작이 가능한 부착형 양자점 태양전지	고려대학교
◆ 차세대 반도체 GaN 적용 고효율 고밀도 태양광 마이크로 인버터 개발	대구대학교
◆ 고밀도 혼합가스에서의 고주파 플라즈마를 이용한 이산화탄소 분해 원천 기술 연구	한양대학교
◆ 공공주택 환경에서의 효율적 전기차 충전 및 과금을 위한 개인 식별 기술 기반 지능형 충전수요관리시스템 개발	경일대학교
◆ 극한 기후변화로 인한 전력망 복구성(Grid Resilience) 향상을 위한 연구	아주대학교
◆ 이산화탄소를 함유한 친환경 폴리우레탄 소재 개발	한국화학연구원
◆ 미래 환경변화를 고려한 배전계통 절연협조 기준 재정립 및 최적화 연구	전력연구원/스마트배전연구소
◆ 배전·ICT 분야 EPRI 연구개발 협력프로그램 가입 및 활용	전력연구원/스마트배전연구소/ 신배전시스템그룹
◆ 15MWth급 CO <sub>2</sub> 가스화-순산소 가압유동층 복합발전 기술개발[Phase I]	전력연구원/발전기술연구소/ 신발전시스템연구실
◆ 내진설계기준 개정을 위한 전력설비의 지진응답 특성 연구	전력연구원/차세대송변전연구소/ 구조내진그룹
◆ 송변전 EPRI 연구개발 프로그램 가입 및 활용 - Part 2	전력연구원/차세대송변전연구소/ 전력계통그룹
◆ 지중송전 빅데이터 기반 지능화 PD판정 시스템 및 선로교체 기준 개발	전력연구원/차세대송변전연구소/ 송전기술연구실
◆ 보호배전반 운영기준 및 전력설비 보호시스템 진단개선 연구	전력연구원/차세대송변전연구소/ 전력망신기술연구실
◆ 디지털변전소 상호운용성 검증시스템 및 평가기술 개발	전력연구원/차세대송변전연구소/ 전력계통그룹
◆ 전력 입찰담합 예방을 위한 이상포착시스템 고도화 기술 개발	전력연구원/스마트배전연구소/ SW플랫폼센터/SW인프라팀

과 제 명	수행기관
◆ 12.5kW급 VRFB 스택용 유로핵심부품 개발	전력연구원/신재생에너지연구소/ 에너지저장연구실
◆ 1500°C급 가스터빈 블레이드/베인 재생정비 및 신뢰성 평가	전력연구원/청정발전연구소/ 발전시스템그룹
◆ 35kW급 AC-DC 복합 V2X 시스템 개발 및 전기농기계 활용 BM 적용	전력연구원/에너지신산업연구소/ 에너지시스템그룹
◆ 배전 지중케이블용 고유연 스마트 센서 및 이상검출 알고리즘 개발	전력연구원/스마트배전연구소/ 신배전시스템그룹
◆ 고온고압하 실시간 연소가스 분석 센서시스템 개발	전력연구원/청정발전연구소/ 발전시스템그룹
◆ MHPS 501J/GAC 가스터빈 연소튜닝 시뮬레이터 및 동압센서 건전성평가장치 개발	전력연구원/청정발전연구소/ 저탄소연소그룹
◆ 내연기관용 미세먼지/질소산화물 동시처리 촉매필터 기술개발	전력연구원/창의미래연구소/ 기후환경그룹
◆ MVDC 배전망 해석모델 개발 및 최적 공급전압 연구	전력연구원/스마트배전연구소
◆ 변전설비 자산관리시스템 구축을 위한 Health & Risk 평가 프로세스 개발	전력연구원/연구전략실/ 에너지밸리연구센터
◆ 국제표준기반 IoT전력 서비스 공통 솔루션 및 응용기술 개발	전력연구원/스마트배전연구소
◆ 열유체 선형해석 기반의 발전소 성능상태 분석모델 개발	전력연구원/청정발전연구소/ 전문기술센터
◆ 전압/전류원 분산전원 연계 배전계통 고장 특성 실증	전력연구원/스마트배전연구소/ 배전CT그룹
◆ 전력기기 결빙방지 및 자기세정을 위한 생체모방 기술개발	전력연구원/창의미래연구소/ 첨단신소재그룹
◆ 불소계 혼합가스 적용 SF6 Free Eco GIS 및 운영기술 개발(총괄)	계통계획처/송변전기기부
◆ 불소계 혼합가스 적용 SF6 Free Eco GIS 및 운영기술 개발(세부)	전력연구원/차세대송변전연구소/ 송변전그룹
◆ 배전설비 3D data 구축 및 증강현실 운영관리 기술 개발	전력연구원/스마트배전연구소/ 전력IoT연구실
◆ 차세대 배전지능화시스템 개발	전력연구원/에너지신산업연구소/ 에너지시스템그룹
◆ KEPCO 전력 소프트웨어 공용 플랫폼 기술 개발	전력연구원/디지털솔루션연구소/ SW플랫폼연구실
◆ 발전소 폐열 활용 해양복합온도차발전 실증	전력연구원/기후환경연구소/ 대체에너지연구실

과 제 명	수행기관
◆ Eco-Design 154kV 저손실 변압기 개발	전력연구원/차세대송변전연구소/ 변전기술연구실
◆ BIPV용 반투명 고효율 페로브스카이트 태양전지 개발	전력연구원/창의미래연구소/ 첨단신소재그룹
◆ 빅데이터 기반 발전소 터빈 블레이드 고장 감시 시스템 개발	전력연구원/청정발전연구소/ 발전시스템그룹
◆ ESS 운전능력 향상을 위한 배터리 모의 인프라 구축 및 고정밀 BMS 개발	전력연구원/신재생에너지연구소/ 에너지저장연구실
◆ 바나듐 레독스 흐름전지(VRFB) 기반 출력 100kW급 및 용량 1MWh급 ESS 개발 및 실증	전력연구원 신재생에너지연구소 에너지저장연구실
◆ 전력시스템용 광섬유 기반 고감도 고안정 OCT/OVT 시스템 개발	전력연구원/차세대송변전연구소/ 전력망신기술연구실
◆ 차세대 CO <sub>2</sub> 분리막 상용기술 개발	전력연구원/기후환경연구소/ 기후대응연구실
◆ 디젤/가스엔진 폐열이용 2MW급 초임계 CO <sub>2</sub> 발전 시스템 개발	전력연구원/창의미래연구소/ 융합에너지그룹
◆ 주파수 조정용 대용량 그래핀 슈퍼커패시터 모듈 개발	전력연구원/창의미래연구소/ 첨단신소재그룹
◆ 쉘트BDM 현장굴진자료 DATA분석을 통한 굴진성능 예측 및 산정기법 제시	전력연구원/차세대송변전연구소/ 구조내진연구실
◆ '가스터빈 운전 중 코팅기술' 장기실증 및 사업화	전력연구원/창의미래연구소/ 첨단신소재그룹
◆ 주택용 TOU 도입에 따른 신사업 창출 가능성	경영연구원
◆ 제안분야 재무실적 경제성 평가 Tool 개발	경영연구원
◆ 계약종별 가격탄력성 추정에 관한 연구	경영연구원
◆ 백령도 디젤발전기의 LNG 전환 검토 연구	경영연구원
◆ UAE 전력사업 환경 및 전망 분석	경영연구원
◆ 글로벌 유틸리티 기술개발 동향 및 기술확보 전략 분석	경영연구원
◆ 노후(폐지예정) 석탄화력발전소 활용사례 조사	경영연구원
◆ 미국 화력발전시장 진출 전략수립을 위한 Merchant 시장 연구	경영연구원

과 제 명	수행기관
◆ EVC 시장변화 분석을 통한 충전요금 설계 및 수익다변화 전략 수립	신재생사업처
◆ 에너지 정책 대응 EERS 중장기 사업 추진전략 연구	전력수급처
◆ EMS 시장개척효과 분석으로 K-BEMS 고객층 확대전략 수립	에너지신사업처
◆ 설비투자비 절감을 위한 수도권지역 무효전력 보상설비 최적 적용 중장기 정책수립에 관한 연구	계통계획처
◆ 주민참여 및 이익 공유형 신재생 사업모델 개발 연구	신재생사업처
◆ 준수험적 환경 데이터를 활용한 주택용 고객군별 가격탄력성 추정 연구	경영연구원
◆ 투자효율성을 고려한 최적 전기품질 관리방안에 관한 연구	경영연구원
◆ 배전지능화용 리튬이차전지 측정기 개발	배전계획처/배전기술부
◆ 가공지선 유도에너지 충전장치 개발	강원본부/전력관리처
◆ 지상개폐기용 무고장 엘보접속재 개발	광주전남본부/전력사업처
◆ 바이패스케이블 주상포설 공법 및 부속 기자재 개발	경기본부/전력사업처
◆ 『간접활선용 전선홀딩클램프』 개발	경남본부/안전재난부
◆ 특고압 간접활선용 자기수축형 절연 커버의 개발	강원본부/전력사업처
◆ AR 스마트 디바이스 활용 지중설비 모바일 순시점검 시스템 구축	전북본부/전력관리처
◆ 고압고객 By-pass 응급복구장치 개발 및 현장적용	배전운영처/지중운영부
◆ IEC61850 기반 디지털 소내전원설비 개발	남부건설본부/대구경북건설지사
◆ 보호계전기 동작분석 시스템 개발	부산울산본부/전력관리처
◆ 증강현실기반 170kV GIS 점검 절차교육/원격지원 콘텐츠	경남본부/전력관리처
◆ 22.9kV 가공절연케이블 피박기 및 가설용 케이블롤러 개발	부산울산본부/전력사업처

과 제 명	수행기관
◆ SCADA RTU 변환기장치 교정방법 개선	대전세종충남본부/전력관리처
◆ 완전절연 특고압 가공케이블(AITC) 3심용 외피튜브 개선	경기북부분부/전력사업처
◆ 전력량계 1대로 다수고객 계량을 위한 프로그램 개발	경기북부분부/전력사업처
◆ 얼굴인식 기술을 활용한 공사현장 실시간 인력관리 시스템 개발	충북본부/전력사업처
◆ 차화크리트 개발	경기본부/전력사업처
◆ 변전소 154kV 모선전압 변동Trend 실시간 추적기능 개발	경남본부/전력관리처
◆ 가공개폐기 및 리크로자의 피뢰기 결합용 절연지지대 및 절연커버	경기본부/오산지사
◆ 초고속 전력통신망용 광선로 감시시스템 개발	전북본부/전력사업처
◆ 변압기 과압방출장치(96D) 시험용 Jig 및 시험장비 개발	전북본부/전력관리처
◆ 단자집합반 설치형 『Compact PD Black-Box』 개발	경기북부분부/전력관리처
◆ 전력계통 지상 무효전력 공급장치 개발	인천본부/김포전력지사
◆ SA운영시스템 휴대용 구간Data 송수신 장애 검출장치 개발	경인건설본부/남서울인천건설지사
◆ 연성 폴리머 절연소매 개발	경기본부/전력사업처
◆ 폴리머류 기자재 친환경 처리 장비 개발	대구본부/경주지사
◆ 23kV 고체절연개폐장치(SIS) 고장구간 탐지시스템	경기본부/전력관리처
◆ 건축용방호관 간접활선 공구 및 공법	개발경남본부/전력사업처
◆ 배전작업용 웨어러블 다기능 안전대 개발	대전세종충남본부/서대전지사
◆ 소구경 관로 OF케이블 대체용 신기자재 케이블 개발	남서울본부/전력관리처
◆ 지상개폐기 자기고장 검출시스템 개발	경기본부/평택지사

과 제 명	수행기관
◆ 부분방전 신호검출용 무선 진단장비 개발	충북본부/전력관리처
◆ VR기반 가공송전분야 체험용 디지털 콘텐츠 개발	경기본부/전력관리처
◆ 케이블 접속개소 Portable형 활선 PD진단 장비	개발설비진단처/배전진단부
◆ IOT 기반 전력구 부대설비용 SMART 통합제어반 개발	인천본부/전력관리처
◆ IoT기술을 활용한 AMI 통합모뎀 개발(전자식 전력량계용)	대전세종충남본부/전력사업처
◆ 미래 사업화 모델 개발을 위한 X-Business 과제 발굴 영역	삼성회계법인



## 2021년도

과 제 명	수행기관
◆ 70kV 가공송전케이블 적용방안 연구	전력연구원
◆ 농업용 대체에너지 개발 및 온실가스 배출저감을 위한 A.C.E-Farm 모델개발	전력연구원
◆ 고효율 장주기 에너지저장 최적기술 선정 및 타당성 조사	전력연구원
◆ 스마트시티 통합 에너지운영시스템 및 융복합 신산업 모델 개발	전력연구원
◆ 폐지 석탄화력발전소 매몰자산 평가 기술개발	전력연구원
◆ 미국 신재생에너지 사업 및 정책환경 분석	경영연구원
◆ 15% 이상급 양자점/페로브스카이트 이종접합 태양전지 개발	서울대학교
◆ 비동기 재생E 확대에 따른 전력계통 동적안정도 분석 및 계통 안정화 설비 도입방안 연구	계통계획처
◆ 스마트 팜의 전력사용량과 신재생에너지원의 증가가 지역 전력 그리드에 미치는 영향 분석	호서대학교
◆ 신재생 에너지 연계를 위한 공용 ESS 최적 운용기술 개발 및 국가 전체 에너지 저장장치(ESS+양수)의 최적용량 산정	부산대학교

과 제 명	수행기관
◆ 광전효율 16 % (White LED 500 lux 기준) 이상의 실내용 유연 유기태양전지 개발	동국대학교
◆ 액체마찰전기용 나노발전기(TENG, Triboelectric Nanogenerator)와 유기태양전지(OPV, Organic Photovoltaic)가 융합된 100 cm <sup>2</sup> 급 자가발전기 개발	포항공과대학교
◆ Edge Computing 기술 상 기상 Big Data 분석을 통한 풍력 및 태양광발전 출력 예측모형 개발기술 기초연구	상명대학교
◆ 이온성 (4차 암모늄염) 세미 클러스레이트를 이용한 연소 전 이산화탄소 포집기술 개발	울산과학기술원
◆ 경제성 및 안전성을 고려한 신재생에너지, 연료전지/ESS 통합 전기차 충전소의 최적입지 선정 모델 개발	중앙대학교
◆ 기후변화를 대비한 Artificial Neural Network 기반 분산형 전력네트워크의 전력수요 예측 및 리스크 관리방안 연구	중앙대학교
◆ 제주지역 신재생에너지 수용성 증대를 위한 계통운영전략 정책수립	송변전운영처
◆ 신재생발전기 출력제어 조건에 따른 보상정책에 관한 연구	요금기획처
◆ 지상발전 방식의 공중풍력 발전시스템 개발	한국전기연구원
◆ 칠레 그리드 사업 환경연구	경영연구원
◆ 일본 LNG 인프라의 제3자 이용 및 정보공개 사례 연구	경영연구원
◆ 전력시장 제도개선에 따른 감시기능 강화방안 연구	경영연구원
◆ 석탄발전 선도시장의 경매방식 해외사례 연구	경영연구원
◆ 해외전력사 경쟁우위 분야 및 해외사업 예정국 현황분석	경영연구원
◆ 에너지공급자 효율향상의무화(EERS)에 따른 전기요금 영향 연구	경영연구원
◆ KEPCO 플랫폼 대외 서비스 추진전략 및 모델 수립 연구	디지털변환처
◆ KEPCO 재난관리 중장기 마스터플랜 수립 연구	안전보건처
◆ 국내 신재생사업 투자기준 수립 및 기준수익률 산정모델 개발	경영연구원
◆ 다목적 계통안정화 ESS 적용을 위한 세부운영전략 수립에 관한 연구	계통계획처

과 제 명	수행기관
◆ 에너지밸리 중장기 로드맵 재설정을 통한 투자환경 최적화	상생협력처
◆ 학교인근 가공송전선로 지중화 기준 및 정책수립 연구	송변전운영처
◆ 학교인근 가공송전선로 지중화 기준 및 정책수립 연구	기술기획처
◆ 미국 신재생에너지 사업 및 정책환경 분석	경영연구원
◆ 재생에너지 확대를 위한 전력 도소매시장 선진화 및 소비자 수용성 제고 연구	경영연구원
◆ 중장기 수요전망 모형 개발	전력수급처
◆ 데이터 3법 개정에 따른 전력분야 데이터 유통 공유 방안 수립	디지털변환처
◆ 근적외선 분광법 적용 OF케이블 휴대형 유증가스 진단장비 개발	인천본부/전력관리처
◆ 간접활선 공법 적용이 가능한 다용도 점퍼선용 건축방호관 개발	경남본부/전력사업처
◆ 밀폐형 저압접속함 관로구 체결장치 개발	대구본부/전력사업처
◆ 안정적 AMI 통신을 위한 무선 중계 네트워크 장치 개발	광주전남본부/전력사업처
◆ 종단접속 이질금속 터미널러그 개발	충북본부
◆ MES-6(가칭_6회선 미만용) 배전맨홀 신규 개발	광주전남본부/전력사업처
◆ 대중교통 활용 지중선로 자동순시 시스템 개발	광주전남본부/전력사업처
◆ 가공배전용 개폐기 부싱 누설거리 증가 및 인출방식 개선	제주본부/배전운영부
◆ 콤팩트형 지중저압 분전함 개발	남서울본부/전력사업처
◆ 케이블구동형 OLTC 및 DB기반 부하연계형 최적냉각시스템 개발	남부건설본부/송변전건설실
◆ 스마트 안전블랙박스 개발	경인건설본부/송변전건설실
◆ 25.8kV 가스절연개폐장치용 아크화염 소호장치 개발	남서울본부/전력관리처

과 제 명	수행기관
◆ 안전공구 활용 송전철탑 철거 표준 안전공법 개발	경기본부/전력관리처
◆ 영상분석과 ICT기술을 이용한 배전공사 활선종합관리시스템 개발	경남본부/전력사업처
◆ 길이 조절이 가능한 커넥터를 이용한 전력케이블 직선접속재 개발	경기북부본부/전력사업처
◆ 폴리머 현수애자 일체형 인류클램프 개발	광주전남본부/서광주지사
◆ 간접활선용 테이핑레스 방수형 분기접속 절연커버 개발	경기본부/오산지사
◆ 전력용반도체를 활용한 지상 배전자동화개폐기 전원공급장치 개발	남서울본부/전력사업처
◆ HTACSR/AW 고장력 내열 전선용 압축형 인류클램프 개발	광주전남본부/순천전력지사
◆ Roll Type의 간접활선용 주름형 건축방호관 개발	충북본부/전력사업처
◆ 전력회로 이상검출 Auto-Lock System 개발	대전세종충남본부/전력관리처
◆ 3상 펄스 분석기술 적용 지중송전 보급형 이상신호 검출장비 개발	설비진단처/송변전진단부
◆ 바이패스케이블 클램프 및 입상케이블 간접활선 방호구 개발	경기북부본부/전력사업처
◆ 입상용 볼트타입 접속재 개발	경기본부/안양지사
◆ 포스트 코로나시대 그린뉴딜과 에너지전환의 성공을 위한 전력산업의 역할	부경대학교 산학협력단
◆ 배출권시장 파생상품 도입이 전력회사에 미칠 영향과 대응방안	송실대학교 산학협력단
◆ 신재생에너지 및 분산에너지자원 확대에 따른 전력 도소매시장 변화 연구	연세대학교 산학협력단

## 발전 5개사\_최근 3년간(2019~2022) R&amp;D 현황


**한국중부발전**
**2019년도**

과 제 명	연구기관
◆ 대용량 가스터빈 기동장치 국산화 개발	한국전력공사 전력연구원
◆ 터빈 로터 Bending 교정장치 및 기술개발	한국전력공사 전력연구원
◆ 화력발전소 미세먼지 배출 저감 대책 수립을 위한 미세먼지배출 특성평가 및 자동측정기술개발	한국전력공사 전력연구원
◆ 중국 화능집단과의 연소후 습식 CO <sub>2</sub> 포집기술 국제공동연구	한국전력공사 전력연구원
◆ 화력발전소 미세먼지 확산영향분석 및 2차 생성 규명	한국전력공사 전력연구원
◆ 표준화력 500MW Retrofit를 위한 Fan 용량증대 및 SmartSoot-Blower개발	대영기계공업
◆ 차세대 가스터빈 고온부품 GET-future 연구실	두산중공업
◆ 화력발전소 미세먼지 확산 영향 분석 및 2차 생성 규명	지필로스
◆ 표준화력 500MW Retrofit을 위한 주기기 효율향상 실증 기술개발	두산중공업

**2020년도**

과 제 명	연구기관
◆ 가스터빈(GT24)의 고압터빈 1단 단결정 회전익 개발	한국로스트웍스
◆ 풍력에너지 잉여전력 활용을 위한 500kW급 하이브리드 수소변환 및 발전시스템 기술개발	지필로스

과 제 명	연구기관
◆ 가스터빈 연소튜닝 시뮬레이터 및 동압센서 건전성 평가장치 개발	한국전력공사 전력연구원
◆ 발전수요부품 국산화를 위한 3D프린팅 상용화 기술개발	(주)대건테크
◆ 아주대 에너지인력양성사업(차세대 청정원료) 1단계	아주대학교 산학협력단
◆ MHPS 501J/GAC 가스터빈 연소튜닝 시뮬레이터 및 동압센서 건전성 평가장치 개발	한국전력공사 전력연구원
◆ IoT 및 빅데이터 기반의 온배수 활용 온실 환경제어 기술 개발	제주대학교
◆ 표준화력 500MW Retrofit을 위한 Fan 용량증대 및 Smart Soot-Blower 개발	대영기계공업
◆ 표준화력 500MW Retrofit을 위한 주기기 효율향상 실증 기술개발	두산중공업
◆ 대용량 가스터빈 기동장치 국산화 개발	한국전력공사 전력연구원



과 제 명	연구기관
◆ 가연성/유기성 폐기물 에너지화 공정시스템 기술 고급트랙	연세대학교원주산학협력단
◆ CCS 통합실증을 위한 중규모 저장연계 연소후 습식 CO <sub>2</sub> 포집기술고도화	한국전력공사 전력연구원
◆ 발전분야 EPRI프로그램 가입 및 활용(2단계)	한국전력공사 전력연구원
◆ 10MW급 연소후 건식 CO <sub>2</sub> 포집기술 고도화 및 50톤/일 압축·액화 기술 개발	한국남부발전
◆ 전기화학적 CO <sub>2</sub> 전환을 통한 CO 생산 모듈 및 시스템 개발	한국전력공사 전력연구원
◆ 풍력에너지 잉여전력 활용을 위한 500kW급 하이브리드 수소변환 및 발전시스템 기술개발	지필로스
◆ 700wh/L급 이차전지 및 Power Management System 개발	(주)미섬시스텍
◆ 지능형 발전소 플랫폼 구축 기술 개발	한국전력공사 전력연구원


**한국서부발전**

**2019년도**

과 제 명	연구기관
◆ 태안GCC ISUB 점화장치(Ignitor) 국산화 개발	고려엔지니어링
◆ 태안 #9,10 미분기 내부 Grinding Part 국산화 및 장수명화 연구개발	정원엔지니어링
◆ 500MW 석탄화력 복수탈염설비 Alarm 및 SOE 관리 프로그램 개발	(주)한울티아이에스
◆ 황연저감설비 성능개선을 위한 기술개발	(주)이엠코
◆ 500MW급 화력발전용 LP TBN Combined Seal Ring 국산화 개발	터보파워텍
◆ 옥내 저탄장 자연발화 유해가스의 환기 시스템 개선방안 연구	계명대학교
◆ 대형터빈 통합감시(TSI) 시스템 개발	인코시스
◆ 가스터빈 압축기 고정익 2단 베인 국산화 개발	터보파워텍
◆ 발전설비용 증강현실 자동객체인식 기술 및 운영환경 개발	부품디비
◆ 풍력터빈의 자기상관 함수기반 시간 동기 평균화 및 고장에너지 추출 기술을 활용한 기어박스 및 베어링 진단시스템 개발	원프레딕트


**2020년도**

과 제 명	연구기관
◆ 기후 변화 적응 역량 평가 제도화 시행에 따른 사내 대응 방안에 대한 연구	한양대학교
◆ MHPS 501J/GAC 가스터빈 연소튜닝 시뮬레이터 및 동압센서 건전성 평가장치 개발	한국전력공사 전력연구원
◆ 태안 #7,8호기 Debris Filter Screen 개선	정우산기
◆ 서인천 GT 1단 Nozzle Retaining Ring 국산화 개발	터보파워텍

과 제 명	연구기관
◆ IGCC 산소플랜트 최적 안정운전을 위한 압축기 Dry Gas Seal 국산화 개발	한국셀마스타
◆ Steel Plate Filter를 적용한 관성·충돌분리 방식 대기오염물질 제거	한성더스트킹
◆ 고저압 전력설비 왜형전류 저감장치 국산화 개발	와이엔피
◆ 작업장 상시 안전관리를 위한 휴대용 안전모니터링 패키지 개발	빌리브마이كرون
◆ 15MWth급 CO <sub>2</sub> 가스화-순산소 가압유동층 복합발전 기술개발 [Phase I]	전력연구원
◆ 정밀열성능진단 Big Data Smart Choice를 위한 Data 건전성 검토프로그램 개발	자체과제
◆ 투입상태 유지 시 전력소모가 없는 영구자석형 전자접촉기 개발	중앙대학교
◆ 수중설비 진단능력 강화를 위한 수중 진단로봇 개발	레드원테크놀러지
◆ 15kW급 초경량 수직형 풍력발전기 개발	한빛파워
◆ 초발수 표면처리를 통한 수분포집 향상기술 개발	한양대
◆ 500MW 석탄화력 보일러 연소성능 및 효율향상을 위한 기술연구	서부발전연구소
◆ 발전분야 EPRI 프로그램 가입 및 활용-2단계	전력연구원
◆ 태양광 에너지 빅데이터 시스템 개발	한국에너지기술연구원
◆ 태안 9,10호기 전동구동밸브(MOV) 통신설비 최적시스템 구축	에너토크
◆ M501G 가스터빈 Spindle Bolt & Nut 국산화 개발	삼진금속
◆ 펄택 복합 HIP BFP Mechanical Seal 국산화 개발	한국셀마스타
◆ IGCC 시스템 내 합성 가스에 노출된 금속 분리막의 물리적·화학적 안정성 변화 연구	서울대학교
◆ 제어카드(Digital I/O) Channel별 이상신호 감지시스템개발	렉터슨
◆ 석탄 컨베이어벨트 자동 습식 낙탄 회수 Robot Cleaning System 개발	한국기계연구원



## 2021년도

과 제 명	연구기관
◆ Screw Type 하역기의 주요 부품 국산화 개발	신흥기공
◆ 태안 IGCC 최적성능 복합 Plant 구축을 위한 성능관리 기준연구	에네스지
◆ 발전소 안전관리용 인공지능 영상분석 시스템 개발	세오
◆ 태양광 에너지 빅데이터 시스템 개발	한국에너지기술연구원
◆ 1000MW급 터빈 증기조절 밸브용 유압 구동식 액추에이터 국산화 개발	에네스지
◆ 서인천 보조보일러 점화계통 융합 최적성능 개발	고려엔지니어링
◆ 1,000MW급 보일러 Long Soot Blower Lance 및 Feed Tube 인양장치 개발	KLES
◆ SLP 전동기용 강제 공랭식 수직형 베어링 국산화 개발	터보링크
◆ 발전용 M501G 가스터빈 IGV(Inlet Guide Vane) 국산화 개발	터보파워텍
◆ 태안 IGCC 가스화기 고온고압부 누설 조기감지 시스템 개발	오르비스
◆ 증강현실(AR) 기법을 적용한 DCS 정비교육 시스템 개발	제스엔지니어링
◆ 군산 GT TCA Cooler Cooling Water Valve(FCV-G1-002) Trim부 국산화 개발	한일마이크로텍
◆ 군산 HRSG HP Drum Level Control Valve(501A) Trim Part 국산화 개발	한일마이크로텍
◆ 1500℃급 가스터빈 고온부품 재생정비 및 신뢰성 평가기술 개발	전력연구원
◆ 초고압 선로에 대한 다기능 종합 진단 감시시스템 개발	에스엠엔디
◆ IoT 기반 빅데이터를 이용한 작업자 안전 Tracking 시스템 개발	그린 IT코리아
◆ 태안 9,10호기 미분기 기어박스 국산화 개발	효성중공업
◆ IGCC 공정수 스케일 생성방지를 위한 화학적 처리 기술개발	한승케미칼
◆ LNG 발전 전용 탈질촉매 개발	서울대학교


**한국동서발전**

**2019년도**

과 제 명	연구기관
◆ 50t/d 이상 상용급 고형연료 사용시설 효율 향상을 위한 연소장애 극복기술 개발	에너지기술연구원
◆ 화력발전소 미세먼지 배출저감 대책수립을 위한 미세먼지 및 2차 전구물질 측정 기술개발	전력연구원
◆ 파일럿급 CO <sub>2</sub> 활용 고부가화합물 생산 및 MW급 기본설계	전력연구원
◆ 발전소 제어루프 실시간 감시 진단시스템 개발	전력연구원
◆ 터빈 로터 Bending 교정 장치 및 기술개발	전력연구원
◆ 화력발전소 미세먼지 확산 영향분석 및 2차 생성 규명	전력연구원
◆ 스마트 플랜트 가상체험 VR 플랫폼 & 콘텐츠 개발	포미트
◆ 덩러닝 기반 석탄화력 보일러 주요부품 진단시스템 개발	UNIST
◆ EWP 자가무선망 및 에너지하베스팅 기술을 이용한 발전설비 감시진단 기술개발	한전KDN, KETI, 센볼
◆ 지진계측기 보정관리 시스템 개발	리얼게인
◆ 고압회전기 On/Off-line 데이터를 통한 절연상태 분석 시스템	우리기술
◆ 추락사고 방지를 위한 지능형 IoT 안전벨트 시스템	덕산정보통신
◆ No Leak Green 나이프게이트 밸브 개발	팬웨스트인터내셔널
◆ Pyrites 리시버 탱크를 포함한 자동이송장치 국산화 개발	동우유체기계
◆ 고압히터(HP HTR) 냉각장치 개발	케이텍플러스
◆ Metal 3D 프린팅 기술을 적용한 가스터빈 연소기 부품 국산화 개발	KAMI
◆ IoT 기능을 구현한 무선 원격 제어 솔레노이드 밸브 개발	홍성정공

과 제 명	연구기관
◆ 발전기 수소 밀봉링 Babbitt Metal Type 변경	대동메탈공업
◆ 발전원가 절감을 위한 A.I 활용 CWP/SLP 기동 시뮬레이션 시스템 개발	ALEES
◆ 당진화력 9,10호기 제매기 Gear 국산화 개발	상원코리아
◆ 레진리치(Resin Rich) 공법을 적용한 22kv 500MW 발전기 고정자권선 로벨바(Roebel Bar) 국산화 개발	(주)해강AP
◆ 전기집진기 Si-TR용 MPS(마이크로펠스) 및 제어기(AVC) 국산화 개발	동양산업
◆ 침수형 영구자석동기발전기 및 수차일체형 해양(양식장 등) 소수력발전설비 개발	스틸포커스



## 2020년도

과 제 명	연구기관
◆ 이미지 형식 엔지니어링 도면의 지식기반 설계정보 인식기술 개발	경북대학교
◆ 전기집진기 Si-TR용 MPS(마이크로펠스) 및 제어기(AVC) 국산화 개발	동양산업
◆ 미분기 수명연장을 위한 핵심부품 육성용접 기술 개발	정원엔지니어링
◆ 터빈 로터 비상 구동장치 개발	동명산업
◆ 고온용 내마모 및 역류방지 유동공기 공급 Nozzle 개발	지텍
◆ CTCS 스폰지볼 국산화 개발	제스엔지니어링
◆ 가스터빈(W501D5) 연소기 Main Nozzle 국산화 개발	한울항공기계
◆ 표면정밀도 7um급 대형부품 직접제작용 금속 3D 프린터 개발	맥스로텍
◆ 초장수명 ESS용 리튬이차전지 소재 및 셀 공정 기술개발	UNIST
◆ 발전소의 단종 및 수요부품 제작을 위한 금속 3D 프린팅 상용화 기술개발	(주)대건테크

과 제 명	연구기관
◆ 대용량 가스터빈 기동장치 개발	전력연구원
◆ 차세대 CO <sub>2</sub> 분리막 상용기술 개발	전력연구원
◆ MHPS 501JGAC 가스터빈 연소튜닝 시뮬레이터 및 동압센서 건전성 평가 장치 개발	전력연구원
◆ 발전분야 EPRI 프로그램 가입 및 활용	전력연구원
◆ 15MWth급 CO <sub>2</sub> 가스화-순산소 가압유동층 복합발전 기술 개발	전력연구원
◆ Smart Glass를 활용한 발전설비 관리 AR 플랫폼 및 콘텐츠 개발	(주)이렌텍
◆ 폐자원 활용 블럭형 태양광발전 모듈 개발 및 실증	(주)한축테크
◆ IoT 기반의 보일러 노내 온도 통합 감시 시스템 개발	(주)렉터슨
◆ 화염온도 측정이 가능한 스마트형 화염 검출장치 개발	(주)에스텍
◆ 코일스프링 방식의 미분기 스크레이퍼 개발	지텍
◆ 5~8호기 제매기 Poppet Valve 국산화 개발	대명
◆ 터빈 케이싱 체결용 볼트/너트 국산화 개발	무진정밀
◆ 전력차단기 인적실수 방지를 위한 정리관리시스템 연동 스마트 전력조작시스템 개발	제이케이넷
◆ 전기비저항 측정방법을 활용한 저탄장 자연발화 감시시스템 개발(지구물리 탐사방법을 이용한 CoalBurning Monitoring System)	한울전력기술



과 제 명	연구기관
◆ 석탄하역기 Boom Slewing 감속기 국산화	창원정밀
◆ 빅데이터 기반 인공지능형 터빈 진동진단시스템 개발	(주)나다

과 제 명	연구기관
◆ 멀티센서 및 듀얼 채널 임펄스 감지 기술을 이용한 변압기 부분방전 감시시스템 개발	(주)APM테크놀로지스
◆ M501J 가스터빈 화염감지기(불꽃감지기) 제품 국산화 개발	(주)제이에스티엔랩
◆ 발전소 복수기, 열교환기 전기방식용 양극 및 기준전극 제작 개발	(주)태흥전기방식
◆ IoT 기반의 보일러 노내 온도 통합 감시 시스템 개발	(주)렉터스
◆ ICT 기반 변압기 고장 예측 진단 시스템 개발	(주)와이피피
◆ 계측제어설비 점검용 진단 프로세스를 내장한 포터블 추이분석 커뮤니케이터 국산화 개발	(주)동영테크원
◆ 광투과 DUST 연속측정기 개발	(주)제이에스티엔랩
◆ IoT 기반의 AC전원 건전성모니터링 시스템 개발	(주)디지털파워넷
◆ 에너지 밸런스 및 빅데이터 분석을 이용한 사고예방기술 개발	(주)O&M Korea
◆ 대형발전설비 히팅볼트·너트분해·조립용 고성능 통합 유도가열시스템 개발	디아이케이
◆ 화력발전 보일러Sulzer설비 유압액추에이터 위치피드백 포지셔너 개발	제이에스티엔랩
◆ 계통안정화를 위한 PV-SOFC 융복합형 발전소 모델 개발	엠티에프씨
◆ CPV 태양전지를 활용한 에너지 자립형 IoT smart LED 보안등 시스템 개발	삼광산전
◆ 발전소 빅데이터기반 최적화탄 인공지능 기술 및 운영 시스템 개발	트윈
◆ 수직주행 솔바발전 건식 클리닝 로봇 및 이동식 도킹스테이션 개발	에코센스
◆ 컨베이어 벨트 사행 방지 시스템 국산화 개발	대양롤랜드
◆ 가상 발전소 구축을 위한 IoT 기반 분산자원 연계 시스템 개발	인코어드 테크놀로지스


**한국남부발전**

**2019년도**

과 제 명	연구기관
◆ 포집된 CO <sub>2</sub> 를 활용한 고부가 화학제품 기존 생산공정 혁신기술개발	테크윈
◆ 7FA.03 24K Combustion Liner 국산화 및 재생정비기술 개발	성일터빈
◆ GE 7FA+e 가스터빈용 1단 Shroud Block 국산화 개발	성일터빈
◆ 국내 운전특성을 고려한 터빈 블레이드의 손상 매커니즘 분석 및 개선안 도출	연세대학교
◆ 터빈 로터 Bending 교정 장치 및 기술개발(한전, 중부, 서부, 동서 공동)	전력연구원
◆ 화력발전소 미세먼지 배출저감 대책수립을 위한 미세먼지 및 2 차 전구물질 측정 기술 개발	전력연구원
◆ 차세대 가스터빈 고온부품 GET-Future 연구실	연세대학교
◆ 모델링 연구를 통한 삼척 CFBC 보일러 노내 탈황 효율증대 방안 제시	부산대학교
◆ 집광-비집광 복합형 태양전지 모듈 시제품 제작 및 실증시험	한국나노기술원
◆ 삼척 순환 유동층 보일러 연료다변화 기술 개발	전력연구원
◆ 미분기 감속기 무부하 장치	성일하이테크
◆ 대용량 CFBC Boiler 최적 장수명 점화시스템 개발	고려엔지니어링
◆ 소포제 자동주입 시스템 개발	와이팁스
◆ 미분기 Classifier Vane 개도일체형 원격조절장치 개발	태성중공업
◆ HRSG Tube Auto Cleaning System 구축	제일엔지니어링
◆ ICT 융합형 다용도 드론체계 개발 및 상용화	카스컴
◆ 3방향 밸런스형 제어밸브 국산화 개발	코팩스

과 제 명	연구기관
◆ VR(Virtual Reality)기술을 활용한 발전기술원 교육시스템 개발	와이앤케이플러스
◆ 모듈타입 열전냉각기를 적용한 온습도제어 판넬	씨앤엘
◆ 풍력발전기용 은브러쉬 소재개발	가람산전
◆ 한국남부발전(삼척발전소) 발생 비산재의 재활용 방안연구	서울대학교
◆ 가스발전소특화 가상현실 안전체험시스템 연구개발	해피콤
◆ REC 가중치 변동 대응한 축분 펠릿 제작과 활용 고온성 우점종 미생물을 이용한 축분연료화 시스템 개발	경북대학교
◆ 발전소 주변지역과 상생하는 사업화 모델 개발 연구	강원대학교
◆ 고압차단기반 상시절연 감시 시스템 개발	비츠로테크
◆ Chain Dragged Conveyor Weighing System 개발	스케일테크
◆ SIEMENS SGT6-8000H 가스터빈 고온용 열전대 국산화 개발	한울인텍스
◆ AR기법을 활용한 터빈설비 현장점검 및 정비 시스템 구축	와이앤케이플러스
◆ Ovation DCS Verification Device 개발	파워테크
◆ 터빈 주제어설비 CPU 전원공급장치 국산화개발	무하기술
◆ 빅데이터 기반 제어망 불법자산 및 네트워크 이상 트래픽 탐지기술 개발	디아이티시스템
◆ 밀봉수재순환펌프(SWRP)손상원인 규명 및 임펠러 개발	강운테크
◆ IoT를 이용한 안정적인 전원감시 제어 시스템 개발	삼현씨앤에스


**2020년도**

과 제 명	연구기관
◆ 발전 수요부품 국산화 위한 금속 3D 프린팅 상용화 기술개발	대건테크
◆ 석탄화력발전소 석탄 비산분진 발생억제를 위한 미세 FOG 액적 분무기술	보평그린
◆ 대용량 가스터빈 기동장치 개발	전력연구원
◆ 빅데이터 기반 발전소 터빈 블레이드 고장 감시 시스템 개발	전력연구원
◆ 화력발전소 미세먼지 확산영향 분석 및 2차 생성 규명 공동연구개발	전력연구원
◆ 스마트 보일러 튜브 관리시스템 연구	포미트
◆ 원통형 탈황설비 정비용 안전인증 비계 개발	에스폼
◆ 발전분야 EPRI 프로그램 가입 및 활용	전력연구원
◆ 재충전금지 일회용 용기 내 잔여 HFCs 재생냉매 배출권 사업개발	오운알투텍
◆ 유동층 보일러애시 기반 조기강도 발현형 혼화재 개발	대우건설, 대호산업개발
◆ 마이크로 포그 분무기술을 활용한 분진 저감기술 실증연구	보평그린
◆ 삼척 LSB부 건전성 평가를 위한 UT 점검기술 연구개발	에네스지
◆ 남부발전의 사회적가치 실현의 성과체계에 대한 진단 및 혁신방안 연구	명지대학교
◆ 유동층 보일러 석탄재의 특성·기술 D/B 구축 및 이를 활용한 新 자원화 연구	부산대학교
◆ 하동지역 청정에너지 개발에 대한 위탁연구	한미글로벌
◆ 국내 미이용 산림바이오매스 활용방안 및 연료수급 전략연구	산림기술연구원
◆ AI기반 Self-Adjusting 기능을 가진 배관안정화 시스템개발	유니슨이테크
◆ Traveling Water Screen 실시간 장력 감시 및 조정장치 개발	피제이케이

과 제 명	연구기관
◆ 유동층 석탄보일러 바닥재로부터 철성분 회수를 위한 공정개발	강원대학교
◆ 복합화력 초미세먼지 저감을 위한 Retractable 고성능 융합탈질 장치 개발	이엠코
◆ 스마트 재난관리시스템 이상상태 조기감지 통합관리시스템 구축	해피콤
◆ 삼척 석탄재를 활용한 인공골재 기술개발 및 상용화	에코마인
◆ Disk-Type 하이테크 펌프 개발로 이송펌프 국산화	일성
◆ 가스터빈 Inlet Guide Vane Support Roller 국산화	피제이케이



과 제 명	연구기관
◆ CPS 시스템의 Cross-Sectional Data 기반 컨텍스트 분석을 활용한 신재생에너지 설비이상 탐지시스템 개발	커넥탈리스트
◆ 발전부분 배출권거래시장 장기 전망 및 구매비용 합리화를 위한 산정기준 마련 연구	송실대학교
◆ 보일러 비계구조물 안전진단장비 및 안전점검 표준기준 개발	KLES
◆ 증기터빈케이싱(중, 고압) 전동회전 작업장치 개발	티엠디앤지
◆ HRSG 급수펌프 성능향상을 위한 Rotor 국산화 개발	강운테크
◆ 하동화력 7,8호기 환경설비 개선 시스템구축	케이씨코트렐
◆ 발전설비 중 저주파소음 저감기술 개발	마이텍
◆ D11 고중압 증기터빈 케이싱 크랙 조기 검출 기술개발	한국남부발전 기술전문센터
◆ 유동층 보일러 석탄재와 가축분뇨를 활용한 친환경 인공토양 제조기술 개발	케이씨그린소재
◆ SIEMENS SGT6-8000H 가스터빈 연소기 화염감지 광케이블 국산화 개발	하이버웍스코리아

과 제 명	연구기관
◆ 에너지정책 브리콜레르 고급트랙(2단계 사업-3차년도부터 본 사업 참여)	송실대학교
◆ 에너지산업 기술금융 고급트랙(2단계 사업-3차년도부터 본 사업 참여)	서울과학기술대학교
◆ 옥내 저탄장용 상탄기(PortalReclaimer) 주행부(TravelPart) 국산화 신모델 개발	두텍
◆ 소리 및 열 영상 분석으로 고위험지역 장비의 고장진단과 안전사고에 신속 대응하는 스마트 안전관리 시스템	제이디솔루션
◆ 10MW급 연소 후 건식 CO <sub>2</sub> 포집 기술고도화 및 50톤/일 압축 액화 기술개발	한국남부발전
◆ 지능형 발전소 플랫폼 구축기술 개발	한국전력공사 전력연구원
◆ CFB 보일러연료 유연성 확보를 위한 혼탄/바이오매스 운영기술 개발	한국생산기술연구원
◆ 발전소 냉각수 실시간 수질 모니터링을 위한 다항목 수질 계측기개발	썬텍엔지니어링
◆ 지능형 발전소 플랫폼 구축기술 개발	전력연구원
◆ SCR 시스템 최적운동을 위한 실시간 NO, NH <sub>3</sub> 모니터링 기술개발	한국생산기술연구원
◆ SO <sub>2</sub> /SO <sub>3</sub> 저전환 및 고효율 탈질촉매 제조 기술 개발	한국생산기술연구원
◆ CCS통합실증을 위한 중규모 저장연계연소 후 습식 CO <sub>2</sub> 포집 기술 고도화	전력연구원
◆ 3D프린팅 공정제어 및 설계 최적화기법(DfAM) 적용을 통한 F급 이상의 고효율 냉각터빈 고온부품 기술개발	연세대학교
◆ 미이용 바이오매스를 활용한 고효율 초청정 발전기술 개발	부산대학교
◆ 윤활유 실시간 모니터링 기능정제기 개발 및 수분Filter 국산화	솔지
◆ HP DrumStart-up Blowdown Valve 국산화 개발	서전발맥

**한국남동발전**
**2019년도**

과 제 명	주관기관
◆ 산업부산 애쉬의 활성분체 제조기술 및 활성분체와 세라믹섬유를 복합 사용한 모르타르·콘크리트 개발	한국세라믹기술원
◆ 청정발전 기술 실증 테스트 베드 구축	한국전력공사
◆ 화력발전소 미세먼지 배출저감 대책 수립을 위한 미세먼지 배출특성 평가 및 자동측정기술개발	한국전력공사
◆ 표준/신표준 발전소 대상 미세먼지 저감 통합 환경설비 솔루션 개발	두산중공업
◆ 계통연계 영농형 태양광발전 연구개발	경상대학교
◆ 석탄회를 이용한 산업용 장섬유 개발	한국세라믹기술원
◆ 노후발전구조물 내 발전설비의 내진안전도 평가기술 개발	(주)블루와이즈
◆ Advanced RBM System 개발로 보일러 자산관리 최적화	(주)피레타
◆ 인공 경량골재를 활용한 BIPV(건물일체형 태양광) 제조기술 개발	(주)KR솔라
◆ 냉매용 온실가스 HFC-134a 축매열분해 처리기술 및 장치개발	한림대학교
◆ 계통연계 농촌 태양광 스마트 전력변환모듈 연구개발	한양대학교
◆ 진동기반 설비결함 자동진단 및 AR활용 설비점검 시스템 개발	(주)퓨처메인
◆ 석탄 자연발화 조기감지 경보시스템 개발	ISL 계기
◆ 저회경량골재 활용 조경용 인공토양 제조기술 개발 및 상용화	(주)푸르디
◆ Main TBN Over Speed Trip Device 국산화 개발	(주)이엠코리아



과 제 명	주관기관
◆ 발전 배출가스 직접반응을 통한 CO <sub>2</sub> 포집 및 대량활용 저장기술 개발	(주)대우건설
◆ 100kW급 농가보급형 농업 병행 태양광발전 표준시스템 개발 및 실증	(주)원광전력
◆ 에너지작물 케나프의 고밀도 연료화 및 클링커 방지형 연소기술 개발	(주)동원중공업
◆ 화력발전소 미세먼지 확산 영향 분석 및 2차 생성 규명	한국전력공사
◆ 보호계전기 동작 자동분석 및 보호요소 상태 실시간 모니터링 시스템 개발	(주)오앤엠 코리아
◆ 보일러 노내 SLOPE TUBE 안전비계 및 SEALING DECK 개발	(주)해람 솔루션
◆ P-LTE 기반의 스마트 안전 플랫폼 개발	(주)에스앤디
◆ 고, 저압 차단기에 대한 Human Error 예방시스템 도입과 위험작업 대체용 Robot Arm을 융합한 스마트 안전도어 개폐 시스템 개발	(주)엔피산업전기
◆ 미세분진을 활용한 우드펠릿 재생공급장치 개발	자연과학산업
◆ 경량골재를 활용한 수목용 외과수술 대체소재 개발연구	경남대학교
◆ 바이오매스 전소 발전소 발생회의 농업적 활용을 위한 기술개발 및 사업화 기획	케이디아그로
◆ 산업소재 자원화설비 탈수기 제어시스템 국산화 개발	사이베리어
◆ 블록체인기반 REC 통합관리시스템 개발	서우에스앤씨



과 제 명	주관기관
◆ CCS 통합실증을 위한 중규모 저장연계 연소후 습식 CO <sub>2</sub> 포집기술 고도화	한국전력공사
◆ 바이오매스 고품위화를 위한 고효율 반탄화 기술 실증	(주)O&M Korea

과 제 명	주관기관
◆ 발전용 F급 가스터빈 고온부품 재생정비 기술개발 및 실증(1단계)	(주)성일터빈
◆ CT 기반 화력발전소 환경설비 정밀계측 및 진단제어 시스템 개발	고등기술연구원연구조합
◆ 인공지능 기반 발전설비 고장 예지, 진단 및 분석 기술개발	한국과학기술연구원
◆ 발전수요부품 제작을 위한 금속 3D프린팅 상용화 기술개발	(주)대건테크
◆ 10MW급 연소후 건식 CO <sub>2</sub> 포집기술 고도화 및 50톤/일 압축·액화기술 개발	한국남부발전
◆ 에너지 정책 브리콜레르(Bricoleur) 고급트랙(2단계)	숭실대학교
◆ 지진재난재해 대비 전력계통의 안전성 확보를 위한 핵심기술 고급트랙(2단계)	경상대학교
◆ loE 기반의 수요반응 기술 고급 트랙(2단계)	광운대학교
◆ 습식 탈황장치(FGD) 연계형 황산화물-질소산화물 동시 저감기술 개발(1단계)	(주)디에스티
◆ 5.56MW 부유식 해상풍력 시스템 개발(1단계)	고등기술연구원연구조합
◆ USC 발전소 Major Valve Disc 및 Seat 국산화 개발	거명파워
◆ 저회경량골재의 레미콘용 모래 대체 기술 개발	경기대학교
◆ 여항시설 활용 어민소득 증대형 조력발전 기술개발	해인이엔씨
◆ 바이오매스 내알칼리 SCR 탈질촉매 개발	한국세라믹기술원
◆ 태양광 및 풍력 발전기 O&M 비용산정 모델 및 Tool 개발	브이젠
◆ 석탄취급설비 안전보건 환경개선을 위한 비산먼지 및 낙탄 예방 설비의 개발	(주)한성더스트킹
◆ 석탄취급설비 괴탄처리용 가변형 Roll Crusher 국산화 개발	(주)더대성
◆ 드론 영상의 입체 텍스처 기법을 활용한 VR기반 점검이력 관리시스템 개발	(주)포미트
◆ 고효율 열저장 장치를 갖는 반사형진공관형 태양열 집열기 개발	(주)하늘바람

과 제 명	주관기관
◆ 안전사고 예방을 위한 지능형 배관지지물 점검/정비 이력 관리기술개발	(주)케이엘이에스
◆ 석탄취급계통 산업재해 제로화 구현을 위한 다목적 레이더 시스템 국산화 개발	(주)조선내화이엔지
◆ 삼천포 1,2호기 폐지에 따른 잔존 가치 및 역할 평가를 통한 순환경제모델 개발	중앙대학교
◆ 바닥재(bottom ash)를 주원료로 한 미네랄울 생산 공정 개발	(주)크레웍스
◆ 해수 냉각수 발생 거품의 무동력 제거설비 개발	하나엔비텍

## 한국수력원자력\_최근 3년간(2019~2022) R&D 현황



### 2019년도

과 제 명	연구기관
◆ 원전해체용 대면적 방사능오염측정 장비 및 방법 개발	중앙연구원 방사선해체연구소
◆ 고강도철근 설계기준 코드개정 및 설계지침서 작성	중앙연구원 플랜트설계연구소



### 2020년도

과 제 명	연구기관
◆ 원전 배수시스템 거품 저감방안 연구	중앙연구원 그린에너지연구소
◆ 규제요건 선제적 대응을 위한 원전 종사자 내부피폭선량평가 성능검증체계 구축	중앙연구원 방사선해체연구소
◆ 한울1발전소 EQ대상 케이블 재질분석, 기기검증 기술개발	중앙연구원 계전연구소
◆ 가압경수로 열병합발전 설계 개발 및 검증	중앙연구원 성장연구소
◆ 보조계통 열교환기 와전류검사 신호평가 자격인증체계 개발	중앙연구원 기술관리실
◆ 원전 2차계통 부식저감을 위한 계통수 고평 운전 기술개발	중앙연구원 방사선해체연구소
◆ 3D 프린팅 활용 SG 고형슬러지 제거장비 개발	중앙연구원 기술관리실
◆ APR1400 원전의 온라인 상태감시 및 조기경보 고유 모델 개발	디지털혁신추진단 디지털융합실


**2021년도**

과 제 명	연구기관
◆ 가상 DCS 제어시스템을 적용한 새울 1 발전소 시뮬레이터 개선	중앙연구원 계전연구소
◆ APR 노형 수출을 위한 리스크 기반 안전등급 분류 예비조사	중앙연구원 성장연구소
◆ 가압경수형 원전 다주기 노심설계 최적 화 기술 개발	중앙연구원 안전연구소
◆ 원자력발전소 가상/증강현실(VR/AR) 시스템 개발(1단계)	디지털혁신추진단 디지털융합실
◆ 지진시 원전사면의 동적거동 특성평가 기술개발	중앙연구원 성장연구소
◆ 증기발생기 이물질 검사를 위한 최적비파괴 검사기술 개발	중앙연구원 기계연구소
◆ 가동원전 안전관련 펌프 가동중 시험 기준값 결정 기술배경서 개발	중앙연구원 기계연구소
◆ 필수안전기능 기반의 중수로형 비상운 전지침서(WEOG) 개발	중앙연구원 안전연구소
◆ 원전 화재 비정상운전절차서 및 해체원전 화재방호계획서 개발	중앙연구원 안전연구소
◆ 원전 SSC의 내진성능평가를 위한 정밀 내진해석 및 취약도 평가 방법론 적용성 검증	중앙연구원 성장연구소
◆ 원전종사자 수정체 선량평가 체계 구축	중앙연구원 방사선해체연구소
◆ 중수로 해체원전 계통제엄 기반기술 개발	중앙연구원 방사선해체연구소
◆ 개인선량계 판독성능검사 기준 강화 대비 ISO 기준엑스선장 구축	중앙연구원 방사선해체연구소
◆ 증기발생기 누설관리 프로그램 신뢰도 향상 기술개발	중앙연구원 기계연구소
◆ 안전중요도 기반 의사결정 체계 구축 및 시범 적용	중앙연구원 안전연구소
◆ 혁신형 SMR 개념 개발 및 경쟁력 강화 방안 연구	중앙연구원 SMR추진단
◆ 원전 운영 고도화를 위한 디지털트윈 기반 구축 및 시범 기술 개발	디지털혁신추진단 디지털융합실
◆ 디지털 보호계전기 전원공급모듈 성능 진단 시스템 개발	중앙연구원 계전연구소

과 제 명	연구기관
◆ KHNP 근본원인분석 매뉴얼 개발	중앙연구원 기술관리실
◆ 해체원전 부지 오염 및 규제해제 안전성 평가기술 개발	중앙연구원 방사선해체연구소
◆ 조류발전단지 개발을 위한 다수 조류터빈 배치 및 발전단지 성능해석 기법 개발	중앙연구원 성장연구소
◆ 원자로내부구조물 경년열화 건전성 평가 기술 개발	중앙연구원 기계연구소
◆ 고건전성용기(HIC)의 장기건전성 평가 및 원전 적용성 제고	중앙연구원 방사선해체연구소
◆ 경량 지붕형 태양광발전 실증연구	중앙연구원 성장연구소
◆ 고연소도 사용후핵연료 건식저장용기 타당성 분석 및 예비평가 (1단계)	중앙연구원 방사선해체연구소
◆ 원전 대체품 리버스 엔지니어링 국산화 체계 구축	중앙연구원 기계연구소

## 에너지경제연구원\_최근 3년간(2019~2022) R&D 현황

### 2019년도

과 제 명	연구담당자
◆ E3ME 모형을 활용한 제3차 에너지기본계획 주요 정책의 사회·경제적 파급효과 분석	이수일(선임연구위원)
◆ 에너지 전환 추진에 있어 정부의 역할과 한계: 전환이론 관점을 중심으로	이상준(연구위원)
◆ 편익이전 기법을 활용한 간헐성 전원의 계통비용 추정 연구	장희선(부연구위원)
◆ 온실가스 배출권거래제 제1차 계획기간의 성과 분석	손인성(부연구위원)
◆ 태양광 발전의 보급 확산에 따른 상계제도의 개선방향 연구	이태의(연구위원)
◆ 세계 재생에너지 자국산 부품사용요건 정책에 대한 대응방안 연구	이석호(부연구위원), 김기환(부연구위원)
◆ 공급형 가상발전소(VPP) 활성화 방안 연구: 소규모전력중개시장 활용을 중심으로	안재균(연구위원), 김남일(선임연구위원)
◆ 지능형 기술 확산에 따른 에너지산업 가치사슬 변화	박찬국(연구위원)
◆ BTM 내 분산형자원의 경제성 비교 및 지원정책 개선방안 연구	석주현(부연구위원)
◆ 주요국의 에너지전환(Energy Transition) 추진성과와 과제	양의석(선임연구위원)
◆ 에너지전환에 대응한 국제 자원개발기업의 전략 분석	김태현(선임연구위원)
◆ 국제 신재생에너지 정책변화 및 시장분석	이승문(연구위원), 조일현(부연구위원)


**2020년도**

과 제 명	연구담당자
◆ 녹색채권과 에너지 분야 투자 연구 : 프랑스 사례를 중심으로	허예진(부연구위원)
◆ 산업부문 전력 에너지효율 투자 행태분석 및 인센티브 개선방안	박지용(부연구위원), 이성인(연구위원)
◆ 대기오염물질 저감을 위한 산업부문 연료의 상대가격 개선 방안 연구	김태현(선임연구위원)
◆ 배출권비용의 전력시장 반영방안 연구	김남일(선임연구위원)
◆ 주요 제조업의 온실가스 배출 탈동조화 촉진 방안 연구	김동구(연구위원), 손인성(부연구위원)
◆ 농어촌지역 재생에너지 보급사업의 갈등요인 분석과 해결방안 연구	이상준(연구위원), 안동환(서울대학교 교수), 김현석(서울대학교 조교수), 신승환(서울대학교 박사과정), 이원석(서울대학교 석사과정)
◆ 가변속 양수발전 확충 시 전력시장 파급효과 분석 연구	조주현(연구위원)
◆ 재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용방안 연구	이태의(연구위원)
◆ 고빈도 자료를 활용한 전력소비 변동성 결정요인 분석	강병욱(연구위원)
◆ 에너지 전환기의 국가 에너지안보 영향 분석과 대응전략	김태현(선임연구위원), 도현재(선임연구위원)
◆ 발전 및 수송 부문 미세먼지 저감정책 효과 분석	김수일(선임연구위원), 강병욱(연구위원)
◆ 재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE) 전망 시스템 구축 및 운영	이근대(선임연구위원), 김기환(연구위원)
◆ 재생에너지 확대의 국민경제 파급효과 분석	김기환(연구위원)
◆ 4차 산업혁명 시대 대응 중장기 에너지효율관리 발전방안 연구	이성인(연구위원), 박지용(부연구위원), 박상규(부연구위원)
◆ E-mobility 성장에 따른 석유·전력·신재생에너지 산업 대응 전략 연구(석유)	김재경(연구위원), 임찬수(GS칼텍스 부장)
◆ 신남방정책 추진에 따른 에너지 부문 성과와 과제	정웅태(선임연구위원), 유학식(연구위원)
◆ 에너지 R&D 투자효과 성과분석 및 정부투자 전략 수립	박기현(연구위원), 정준환(선임연구위원)

과 제 명	연구담당자
◆ E-mobility 성장에 따른 석유·전력·신재생에너지 산업 대응 전략 연구(신재생에너지)	조상민(연구위원), 조일현(부연구위원)
◆ 국제 신재생에너지 정책변화 및 시장분석	조일현(부연구위원), 이재석(부연구위원)
◆ 녹색에너지협동연구 : 커뮤니티 솔라 제도 도입을 통한 태양광 보급 활성화 방안 연구	안재균(연구위원), 김아름(부연구위원)
◆ 저탄소 전력시스템으로의 전환을 위한 전력시장 제도개선 방안 연구(3/3)	안재균(연구위원)
◆ 유럽의 저탄소 냉난방 정책과 지역냉난방의 역할	오세신(연구위원)
◆ 분산에너지원 확대에 따른 주택용 전기요금의 개선방향	이유수(선임연구위원)
◆ 저소득층 에너지 효율사업 개선방안에 대한 연구	김종우(부연구위원), 박지용(부연구위원)
◆ 에너지전환 시대의 신산업 추진 현황 및 정책 방향 연구	김지호(연구위원), 김현재(선임연구위원)
◆ 전력 부문 서비스화(as a Service) 확산과 시사점	박찬국(연구위원)
◆ EU 배출권거래제 4기의 핵심 설계 변화 분석과 국내 배출권거래제 3기예의 시사점	손인성(부연구위원), 김동구(연구위원)
◆ 하향식 배출 허용량 관점에 따른 우리나라의 온실가스 감축 부담 분담에 관한 연구	임정민(부연구위원), 김동구(연구위원)
◆ 유럽 그린딜의 동향과 시사점	김수현(부연구위원), 김창훈(연구위원)


**2021년도**

과 제 명	연구담당자
◆ 재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE) 전망 시스템 구축 및 운영(2/5)	이근대(선임연구위원), 임덕오(부연구위원)
◆ 시장주도형 수소경제 조기 정착을 위한 전략 연구(2/3)	김재경(연구위원), 장성혁
◆ 에너지부문의 파리협정 격년 투명성 보고서(BTR) 작성기반 구축 연구(1/3)	노동운(선임연구위원)
◆ 에너지 전환 과정에서의 에너지 정의(Energy Justice)논의와 정책적 시사점	이수민(부연구위원), 김현재(선임연구위원)
◆ 2016년 전기요금제 개편으로 인한 주택용 전력 소비 변화 연구	남수현(연구위원), 강병욱(연구위원)

과 제 명	연구담당자
◆ E-mobility 성장에 따른 석유, 전력, 신재생에너지 산업 대응 전략 연구(전력)(3/4)	김도원(부연구위원), 정연제(연구위원)
◆ E-mobility 성장에 따른 석유, 전력, 신재생에너지 산업 대응 전략 연구(신재생에너지)(3/4)	이승문(연구위원), 이재석(부연구위원)
◆ 재생에너지 확대의 국민 경제 파급효과 분석(3/4)	김기환(연구위원)
◆ 국제 신재생에너지 정책 변화 및 시장분석	공지영(부연구위원), 조일현(연구위원)
◆ 녹색에너지협동연구: 디지털 플랫폼 기반의 친환경 분산에너지 거래메커니즘 구축과 시장 활성화 방안 연구	이유수(선임연구위원)
◆ 태양광 설비 설치 가구의 스마트미터링 조사 연구	남수현(연구위원), 조일현(연구위원)
◆ 무(無)탄소 신(新)전원 해외사례 및 정책방향 연구	김재엽(부연구위원), 이태의(연구위원)
◆ 탄소중립 정책 지원을 위한 에너지총조사 개편 방향 연구	최문선(연구위원)
◆ 에너지전환 정책의 성과 및 향후 추진방향 연구	김지효(연구위원), 김현제(선임연구위원)
◆ 기후변화 대응을 위한 한국형 그린뉴딜의 방향성: 에너지 부문 온실가스 감축을 중심으로	손인성(연구위원), 김동구(연구위원)
◆ 온실가스 難감축 산업의 탈탄소 이행 지원제도 구축 방안 연구	심성희(선임연구위원), 이상준(연구위원)
◆ 그린리모델링 사업 추진을 위한 경제성 모형 구축 및 운용	박기현(연구위원)
◆ 효과적인 분산형 전원 보급 및 활용을 위한 송배전 요금제 도입방안 연구	안재균(연구위원)
◆ 재생에너지 보급 장벽 분석 및 보급 정책 설계 방안	조일현(연구위원), 박정순(명예선임연구위원)
◆ 에너지 부문 인공지능 활용과 과제	박찬국, 김민규
◆ 에너지 재정사업 성과지표 연구	조성진(선임연구위원), 박광수(명예선임연구위원)
◆ 코로나19가 한국의 전력 수급에 미친 영향 분석	김수일(선임연구위원)
◆ 수송부문 수소사용 활성화 방안 연구	박명덕(선임연구위원), 이상열(부연구위원)
◆ 주요국 상대비교를 통한 우리나라 에너지전환정책 시사점 연구	이수민(부연구위원), 김창훈(연구위원)

## 한국전기연구원\_최근 3년간(2019~2022) R&D 현황

### 2019년도

과 제 명	연구기관
◆ 미래 국가 전력망 최적 운영 및 계획을 위한 핵심 기술 개발	한국전기연구원
◆ 차세대 스마트기기용 나노카본기반 신축전극 개발사업	한국전기연구원
◆ 다층 고온초전도 선재 개발	한국전기연구원
◆ 스마트윈도우용 투명 encapsulation 절연소재 개발	한국전기연구원
◆ 모듈형 고밀도 펄스전원 기술	한국전기연구원
◆ 인공지능 기반 고정밀 망막 산소포화도 측정 기술 연구	한국전기연구원
◆ 포토론 형광복강경 및 광역학 치료광원 기술 개발	한국전기연구원
◆ 치과 X-선 영상기기용 linear-array typed CMOS image sensor 개발	한국전기연구원
◆ 금속섬유직조천을 이용한 400°C급 면상발열체 개발	한국전기연구원
◆ Intra-oral용 디지털 x-ray detector 개발	한국전기연구원
◆ 대용량 전력저장용 레독스흐름전지(RFB) 시험인증센터 구축	한국전기연구원
◆ 장거리 무선전력 전송 기술	한국전기연구원
◆ 대용량 스마트 전기추진시스템 기술개발	한국전기연구원
◆ 고출력 전자기펄스(HPEMP) 보호대책기술 개발	한국전기연구원
◆ 5W 의료용/100W 산업용 펄초 레이저 기술 개발	한국전기연구원
◆ 고전압, 고전류밀도 SiC기반 차세대 전력소자 개발	한국전기연구원

과 제 명	연구기관
◆ 스마트 변전소 프로세스버스 구현 및 응용기술개발	한국전기연구원
◆ 수요자 맞춤형 인공지능 청각보조의료기기 개발	한국전기연구원
◆ 신재생수용률 향상을 위한 미래 배전계통의 설계 및 운영 기술 개발	한국전기연구원
◆ 의료용 형광 전자내시경 시스템 개발	한국전기연구원
◆ 스마트팩토리용 시스템통합 및 요소기술 개발	한국전기연구원
◆ 미래형 도심개인이동수단(UPMV)의 전기추진 핵심기술 개발	한국전기연구원
◆ 공작기계용 정밀제어시스템 제어기술 개발	한국전기연구원
◆ 로봇/자동화용 스마트 액추에이터 개발 II	한국전기연구원
◆ 배전급 3상 스마트 전력용 반도체 변압기 기술 개발	한국전기연구원
◆ 암치료기용 LINAC 및 마그네트론 개발	한국전기연구원
◆ 고에너지밀도/고출력 저반응성 리튬 구조체 요소기술개발	한국전기연구원
◆ SF6 대체가스 적용 145kV 가스차단기 설계기술 개발	한국전기연구원
◆ 고에너지밀도 리튬전고체전지용 고체 전해질 기반 원천소재기술 개발	한국전기연구원
◆ 전압형 HVDC MMC용 서브모듈 시험장치 및 고압절연 전원장치 개발	한국전기연구원
◆ SiC MOSFET 용 고속 구동 제어 IC 개발	한국전기연구원
◆ 3D전자기기 스마트 프린팅 시스템 기술 개발	한국전기연구원
◆ 고출력 초고주파 전력모듈 고정밀 제어 기술	한국전기연구원
◆ 나노카본기반 경량 고전도성 와이어 제조기술 개발	한국전기연구원
◆ 복합 에너지 하베스팅 기반 IoT 센서용 고효율 전력관리 회로 기술 개발	한국전기연구원
◆ 차세대 HVDC 케이블용 친환경 열가소성 절연재료 개발	한국전기연구원



과 제 명	연구기관
◆ 공정혁신 시뮬레이션 센터 구축 사업	한국전기연구원
◆ 대용량 전력저장용 레독스흐름전지(RFB) 시험인증센터 구축	한국전기연구원
◆ 해상풍력용 8MW급 직접구동형 영구자석 발전기 개발	한국전기연구원
◆ 스마트제조 고급인력 양성사업	한국전기연구원
◆ 경남창원 스마트산업단지 표준제조혁신공정모듈사업	한국전기연구원
◆ 전기추진선박 성능평가 시스템 구축	한국전기연구원
◆ DC±200kV급 전압형 MMC 개발 및 운영/실증	한국전기연구원
◆ 스마트팩토리용 시스템통합 및 요소기술 개발	한국전기연구원
◆ 고전압, 고전류밀도 SiC기반 차세대 전력소자 개발2	한국전기연구원
◆ 한-캐 인공지능(AI) 공동연구센터 운영사업	한국전기연구원
◆ 로봇기반 전기자동차급속 자동 충전시스템 개발 및 실증	한국전기연구원
◆ 그린수소 생산용 수전해 내구성 및 안전진단 기술 개발	한국전기연구원
◆ 미래형 도심개인이동수단(UPMV)의 전기추진 핵심기술 개발	한국전기연구원
◆ 전기추진 차도선 및 이동식 전원공급시스템 개발	한국전기연구원
◆ 고에너지밀도 리튬전고체전지용 고안정성 고체 전해질 원천기술개발	한국전기연구원
◆ 신재생에너지 자립형 마이크로그리드용 PCS 핵심 기반 기술 개발	한국전기연구원
◆ 전력기기 진단용 무연압전 AE Sensor 기술 개발	한국전기연구원
◆ SF6 대체가스 적용 145kV 가스차단기 설계기술 개발	한국전기연구원

과 제 명	연구기관
◆ 전기·전자기기 회로/하우징 일체화 4D프린팅 및 스마트 잉크 기술 개발	한국전기연구원
◆ 복합 대기오염물질(미세먼지, 가스상 유해물질) 동시처리용 전기집진 시스템 개발	한국전기연구원
◆ 그린수소 생산용 수전해 전력변환 핵심 기술개발	한국전기연구원
◆ HILS 기반 멀티터미널 직류 시스템의 핵심요소기술 개발	한국전기연구원
◆ 대면적 유기 영상 센서용 readout 모듈 기술 개발	한국전기연구원
◆ 극저온 수소 냉각 기반 초전도 전력기기 핵심 기술 개발	한국전기연구원
◆ 스마트기기용 광경화형 투명 나노절연소재 개발	한국전기연구원
◆ 태양광·태양열 융합발전 대응을 위한 광각 집광기 및 비납계(Pb-free) 열전발전소자 개발	한국전기연구원
◆ 클라우드 컴퓨팅 및 Si기반 제조라인 로봇 제어기술 개발	한국전기연구원
◆ 국가기간시설의 EMP 보호대책기술 개발	한국전기연구원
◆ 다층 고온초전도 선재 개발	한국전기연구원
◆ 최소침습 수술용 혼합현실 디지털가이딩 시뮬레이션 기술개발	한국전기연구원
◆ 상황인식 기반의 IEC 61850 전력설비 사이버 보안기술 개발	한국전기연구원
◆ 에너지 절감을 위한 무효전력 보상 장치 및 제어 시스템 개발	한국전기연구원
◆ 고에너지밀도 플렉시블 전지 원천기술 개발	한국전기연구원
◆ 센서 SoC 기술을 적용한 협동로봇용 동축 구동모듈 개발	한국전기연구원
◆ 350Wh/Kg급 장수명 (500회) 특성을 갖는 리튬 금속 이차전지용 고안전성 인버스 전해질 시스템 기술 개발	한국전기연구원
◆ 인공지능 기반 3D 망막 산소포화도 측정 기술 개발	한국전기연구원
◆ 극초단 고에너지 전자빔 원천요소기술 개발	한국전기연구원

## 한국에너지공단\_최근 3년간(2019~2022) R&D 현황

### 2019년도

과 제 명	연구기관
◆ 산업발전부문 관리업체 제도 이행 지원	주식회사 에코시안
◆ 전기냉난방기 등 에너지효율 관리체계 고도화 연구	지속가능발전경영센터 주식회사, 사단법인한국냉동공조인증센터
◆ 산업발전부문 관리업체 지정 및 운영 지원	주식회사 에코시안
◆ 산업발전부문 관리업체 이행실적평가 지원	주식회사 케이이씨엠
◆ 2019년 산업발전부문 관리업체 목표설정 및 목표협상 지원	주식회사 에코시안, (주)알씨씨, 주식회사 케이이씨엠, 지속가능발전경영센터 주식회사
◆ LED 조명 효율등급 기술기준 개발 연구	한국광기술원, 사단법인엘이디산업포럼
◆ 건물에너지관리시스템 평가 및 관리 체계 1단계 구축 연구	(재)한국품질재단, 에너지기술서비스(주)
◆ 효율관리제도 운영성과분석 방법론 연구	(주)이쓰리엑스퍼트, 안양대학교산학협력단
◆ 건물부문 목표관리제 단계별 운영등에 관한 연구	주식회사 케이이씨엠, 주식회사 에코시안, 재단법인한국기후변화연구원
◆ 지역 에너지신산업 활성화 지원사업 운용규정 고도화	주식회사 엔베스트, 넷웍스아이
◆ 집단에너지 열수송관 안전관리방안	사단법인 한국방재학회
◆ 파리협정에 따른 시장 메커니즘 대응 방안 마련 연구	(재)한국품질재단, 주식회사 베리위즈
◆ 펌프 시장·기술분석 및 중장기 효율목표 수립 연구	(재)한국기계전기전자시험연구원, (주)이쓰리엑스퍼트, 한국펌프공업협동조합
◆ 지역에너지신산업 우수사례(best-practice) 도출 연구	지속가능발전경영센터 주식회사
◆ 건축물의 에너지절약설계기준 개선방안 연구	서울대학교 산학협력단 컨소시엄 (서울대학교산학협력단77%, 아주대학교산학협력단23%)

과 제 명	연구기관
◆ 산업계 기후변화 취약성 평가 및 적응대책 수립 지원	주식회사 에코시안, 주식회사 케이이씨엠
◆ 재생에너지 원스톱서비스 지원플랫폼 구축을 위한 BPR/ISP 수립	주식회사 티지컨설팅
◆ 건축물 에너지효율등급 인증 활성화 및 성능DB 구축	(주)친환경계획그룹청연 건축사사무소
◆ 성과관리를 통한 KEA 미래 발전 방안 수립	주식회사 컨설팅엔컨설턴트
◆ 건물 유형별(대학캠퍼스) 에너지효율 평가방법 개발 및 효율관리 활성화 연구	주식회사친환경계획그룹청연, 주식회사 에코비전21, 재단법인한국기후변화연구원, 재단법인 대한기계설비산업연구원
◆ 기존건축물(의료시설) 에너지 운영효율 시범평가 및 효율관리 제도화 연구	(사)한국의료복지건축학회, 한국건설생활환경시험연구원 오창
◆ 에너지다소비사업자 효율혁신 프로그램 기반 구축 및 우수사업장 인증제도 고도화	주식회사 에코시안, 지속가능발전경영센터 주식회사
◆ 셋톱박스 효율등급제 도입에 따른 적정성 검토 및 기준마련 연구	(재)한국기계전기전자시험연구원
◆ 공공기관 LED조명 보급실태 조사·분석 연구	(주)이쓰리엑스퍼트
◆ 수송부문 에너지효율 정책 연구	명지대학교 산학협력단
◆ 전동기 보급현황 실태조사 및 분석 연구	(주)메트릭스코퍼레이션
◆ 건물부문 외부사업 운영방법 고도화 연구	주식회사 케이이씨엠, 주식회사 엔베스트
◆ 표준베이스라인을 활용한 건물부문 외부사업 방법론 개발 연구	주식회사 에코아이, 주식회사친환경계획그룹청연
◆ 온실가스 감축 상생협력 모델 개발 연구	재단법인한국기후변화연구원, 주식회사 센텀인터넷
◆ 에너지바우처 패널조사 연구	명지대학교 산학협력단
◆ 제로에너지건축물 인증기관 확대 및 민간 의무화 방안 마련 연구	(재)한국품질재단, (주)제로엔
◆ 건물 냉난방에너지 수요관리 제도개선 방안 연구	(주)이쓰리엑스퍼트, 경남대학교 산학협력단, 지속가능발전경영센터 주식회사
◆ 건축물 에너지소비총량 기준 고도화 방안 연구	사단법인한국환경건축연구원, 두울

과 제 명	연구기관
◆ 에너지관리시스템(EMS) 중장기 보급전략 수립 연구	지속가능발전경영센터 주식회사, 에스큐아이소프트(주)
◆ 전력사용 고효율설비 수명주기 투자경제성 평가기법 및 전력효율향상사업 중장기 로드맵 개발 연구	한국전기연구원, 삼성회계법인
◆ 천연가스 AMI를 활용한 수요절감 및 빅데이터 활용방안 연구	(주)이쓰리엑스퍼트, 경남정보대학교 산학협력단
◆ 중소사업장 에너지사용 효율화를 위한 진단분석툴(Tool) 개발 연구	주식회사 가능컨설팅
◆ 해외사업 수주 사업제안서 작성 지원	재단법인 기후변화센터
◆ 교육시설(초중고) 온실가스 감축을 위한 운영특성 및 에너지사용량 분석 연구	주식회사 에코비전21
◆ KEA 形 직무중심 인사관리 및 보수체계 고도화	시애틀컨설팅 주식회사
◆ 에너지공급자 효율향상의무화제도 법령 개정안 도출 및 에너지절감량 산정체계 개발 연구	삼성회계법인, 주식회사 에코시안, 주식회사 케이이씨엠
◆ 제로에너지건축물 시범사업 및 보급확산 지원	주식회사 네드, 지속가능발전경영센터 주식회사, 케빈랩 주식회사



과 제 명	연구기관
◆ 산업발전부문 배출권거래제 외부사업 활성화 추진	재단법인한국기후변화연구원, 주식회사 에코아이
◆ 에너지효율시장 시범사업 베이스라인 설정 및 절감량 산정 지원	주식회사 에코시안
◆ 건물 에너지효율화 요소기술 적용 외부사업 방법론 개발 및 실증 연구	(사)한국태양에너지학회, 재단법인한국기후변화연구원, 한국표준협회
◆ 에너지 온실가스 기술시스템 분석모형 고도화 연구	주식회사 에너지피아, 주식회사 벤스트
◆ 에너지원별 열량환산기준 및 국가 온실가스 배출계수 개발	세종대학교 산학협력단, (재)한국화학융합시험연구원
◆ 산업공정 분야 국가 온실가스 인벤토리 구축	(재)한국화학융합시험연구원
◆ 지역냉난방 집단에너지사업의 효율적 운영방안 연구	한울회계법인, 인천대학교 산학협력단

과 제 명	연구기관
◆ 스마트시티 에너지서비스 비즈니스 모델 개발 지원	주식회사 네드
◆ 제로에너지빌딩 공사비 최적화 및 부동산 가치 연계방안 연구	(주)미래환경플랜건축사사무소
◆ 의료/숙박시설 DB 신뢰성 검증 및 성과평가(MNV) 방법론 고도화	지속가능발전경영센터 주식회사
◆ 으뜸효율 가전제품 구매비용 환급사업 성과분석 연구	지속가능발전경영센터 주식회사
◆ 전 부문 온실가스 배출량 조사	닐슨컴퍼니코리아
◆ 건물부문 목표관리업체 제도이행 지원	재단법인한국기후변화연구원, 주식회사 케이이씨엠
◆ 수요관리 혁신을 위한 에너지이용합리화 정책 고도화 연구	재단법인 에너지경제연구원, 주식회사지속가능발전경영센터



과 제 명	연구기관
◆ 신재생사업에 적합한 국유재산 선정방안 가이드라인 마련 용역 추진 계획	주식회사 케이이씨엠
◆ 공공기관 전력데이터 분석보고서 개발 용역	청주대학교산학협력단
◆ 글로벌 수소경제 전략사례 및 정책방향 연구	사단법인 미래에너지정책연구원
◆ 신재생에너지 산업통계 조사 및 분석 용역 계약체결	주식회사이쓰리엑스퍼트, (주)글로벌리서치, 경기대학교 산학협력단
◆ 뉴노멀 시대 대응을 위한 KEA 성과관리 발전방안 수립	주식회사 빅윈어드바이저
◆ 전동기 기술개발 동향 조사 및 제도개선 방안 연구 용역 계약체결	지속가능발전경영센터 주식회사
◆ 펌프, 송풍기 등 효율등급이관품목 기준 마련 및 조정 로드맵 수립 용역 계약체결	(재)한국기계전자시험연구원
◆ 복합기 품목의 효율등급제 이관을 위한 기준마련 연구 용역 계약체결	(재)한국화학융합시험연구원
◆ 파리협정 시장메커니즘 대응 동향 분석 및 원격 검인증 가이드라인 개발 용역 계약체결	한국표준협회, (재)한국품질재단

과 제 명	연구기관
◆ 시내버스 경제(ECO)운전 시스템 도입 성과 분석 용역 계약체결	사단법인녹색교통운동
◆ 집단에너지사업자 연료전환을 위한 현황 및 전환 비용 조사	유진에너지기술주식회사
◆ 전기차 에너지소비효율 등급제 도입 방안 연구 용역 계약체결	서울과학기술대학교 산학협력단
◆ 산업발전부문 배출권거래제 외부사업 기반 구축 연구 용역 계약체결	주식회사이너젠컨설팅, 재단법인 한국기후변화연구원
◆ LCA를 고려한 수소에너지 열량환산기준 및 온실가스 배출계수 방법론 개발 용역	세종대학교산학협력단, 스마트에코(주), (재)한국화학융합시험연구원
◆ 에너지진단 결과 개선이행 컨설팅 및 실태조사 용역 변경계약	(사)한국온실가스감축에너지 진단협회
◆ 불박이에너지사용기자재 로드맵 마련 및 식기세척기 효율기준·관리방안 연구 용역 계약체결	지속가능발전경영센터 주식회사, 한국산업기술시험원
◆ 산업발전부문 배출권거래제 외부사업 평가 및 운영 지원 용역 계약체결	주식회사 에코시안, 주식회사 케이이씨엠
◆ 전기냉방기의 냉방 주요인자 관리에 따른 냉방효과 및 에너지절감 효과 분석 용역 계약체결	사단법인 한국냉동공조인증센터
◆ 일가정양립 고도화를 위한 인사노무제도 연구	서울신학대학교산학협력단
◆ 신재생에너지 보급에 따른 집단에너지사업법 영향 검토 용역 계약체결	(주)우원엠앤이
◆ 에너지 수요관리 시책 성과평가시스템 구축 연구 용역 계약체결	(재)한국품질재단, 주식회사 에코시안, 한국표준협회
◆ 산업부문 온실가스 배출량조사 용역	닐슨컴퍼니코리아
◆ 공공기관 설치의무화 단위 에너지생산량 및 원별 보정계수 산정에 관한 연구 용역 계약체결	지속가능발전경영센터 주식회사
◆ 공공주도 해상풍력 지원사업 이행관리 가이드라인 마련 지원	지속가능발전경영센터 주식회사
◆ 전기법술 등 에너지효율 관리체계 고도화 연구 용역 계약체결	지속가능발전경영센터 주식회사, 사단법인 한국냉동공조인증센터, 주식회사 데이데이
◆ 산업공정 분야 국가 온실가스 인벤토리 구축	(주)알씨씨, (재)한국화학융합시험연구원
◆ 전력효율향상 잠재량 계량화모형 개발 연구 용역 계약체결	가천대학교 산학협력단, 한국전기연구원, 주식회사 맨파스
◆ 태양광 공급비용 가격전망 분석 연구 용역 계약체결	유한회사케이아이씨

과 제 명	연구기관
◆ 산업계 기후변화 적응대책 수립 지원 영역	주식회사 케이이씨엠, 주식회사 에코시안
◆ 건축물의 에너지절약설계기준 발전방안 연구 영역 계약체결	(재)한국건설생활환경시험연구원 오창
◆ 건물부문 목표관리업체 제도이행 지원 영역 계약체결	재단법인 한국기후변화연구원, 주식회사 케이이씨엠
◆ 건물부문 목표관리제 단계별 운영관리 지원 영역 계약체결	주식회사 케이이씨엠, 주식회사 에코시안, 재단법인 한국기후변화연구원
◆ 에너지 온실가스 기술시스템 분석모형 고도화 연구	주식회사 에너토피아, (주) 벤스트
◆ 공공기관 에너지이용합리화 정부평가 지표 개발	재단법인 한국기후변화연구원
◆ 에너지원별 열량환산기준 및 국가 온실가스 배출계수 개발 영역	세종대학교산학협력단, (재)한국화학융합시험연구원
◆ 건축물 에너지소비총량제 중장기 운영 로드맵 연구 영역 계약체결	두울
◆ 건물 유형별(업무시설) 에너지 절약 운영가이드 개발 연구 영역 계약체결	(재)한국건설생활환경시험연구원 오창
◆ 기존건축물(업무시설) 에너지 관리지원 및 운영효율 분석 연구 영역 계약체결	주식회사 에코비전21
◆ 자발적 에너지효율목표제 운영 지원 영역 계약체결	주식회사 에코시안, 지속가능발전경영센터 주식회사
◆ 표에너지원단위 개발을 위한 벤치마크 지표 개발 연구 영역 계약체결	주식회사 에코시안, 지속가능발전경영센터 주식회사
◆ 열공급시설 검사, 안전진단 표준방안 마련 및 수수료 산정 연구영역 계약체결	(주)우원엠앤이, (사)한국구조물진단유지관리공학회, 사단법인한국산업정보연구소, 전주대학교산학협력단
◆ 중대형 전기상용차 에너지효율 예측 모델 개발 연구 영역 계약체결	한국교통대학교산학협력단
◆ 주택용 전력수요절감을 위한 스마트계측장치 활용 조사 및 분석 영역 계약체결	주식회사 커넥탈리스트, 주식회사 케이이씨엠
◆ 한국형 RE100 참여 의향기업 실태조사 및 컨설팅 지원 영역 계약체결	지속가능발전경영센터 주식회사, 주식회사 에코시안
◆ 건물 유형별(판매시설) 운영단계 에너지효율 분석방법 개발 연구 영역 계약체결	주식회사 에코시안, 에너지기술서비스(주)
◆ 풍력발전 O&M 종사자 안전관리 가이드라인 연구 영역 계약체결	(사)한국선급

과 제 명	연구기관
◆ 녹색프리미엄 재원 관리 체계 구축 및 한국형RE100 인센티브 부여방안 연구 용역 계약체결	주식회사 케이이씨엠
◆ 에너지효율시장 조성사업 베이스라인 설정 및 절감량 산정지원 용역 계약체결	주식회사 에코시안
◆ 전력효율향상사업의 에너지절감량 산정 개선방법 연구 용역 계약체결	(재)한국품질재단
◆ 전력사용량 계측자료기반 절감실적 분석 용역 계약체결	주식회사 블루이코노미전략연구원, (재)한국조명아이씨티연구원, 한밭대학교산학협력단, (주)스페이스마인드
◆ 집단에너지 사용자시설 안전관리 제도 운영 방안 연구용역 계약체결	주식회사이쓰리엑스퍼트, (주)미래에너지기준연구소
◆ 지역별 전력수요 동인조사 및 적정 에너지사용수준 평가 연구 용역 계약체결	연세대학교 산학협력단
◆ 풍력발전 인허가 전 과정 지원을 위한 세부 이행방안 연구용역 계약체결	중앙대학교 산학협력단
◆ 무정전전원장치의 고효율인증기준 개선에 관한 연구 용역 계약체결	(재)한국화학융합시험연구원, 사단법인 한국전지산업협회
◆ 집단에너지 친환경연료 전환효과 및 경제성분석을 통한 지원방안 연구 용역 계약체결	유진에너지기술주식회사, 사단법인한국열병합발전협회
◆ 단계적 제로에너지건축물 확산 세부 추진전략 마련 연구 용역 계약체결	(재)한국건설생활환경시험연구원 오창, 주식회사 에코시안, 지속가능발전경영센터 주식회사
◆ 에너지절감량 국가통계화 타당성 검토 연구 용역 계약체결	주식회사비알프레임
◆ 육상풍력 입지특성 분석 연구	한국산지보전협회
◆ 전남 공공건물 신재생 안전망 구축 및 안전관리 확대	재단법인 녹색에너지연구원
◆ 신재생 리사이클 사업을 위한 에너지공동체 육성	재단법인 녹색에너지연구원
◆ 분산에너지 활성화 법제화 후속조치 연구용역 계약체결	중앙대학교 산학협력단
◆ 건물에너지진단정보DB 서비스플랫폼 기능 구현을 위한 알고리즘 및 기준정보 개발 용역 계약체결	주식회사 에코시안
◆ VPP 제도 설계 및 사업자 육성방안 연구용역 계약체결	가천대학교 산학협력단
◆ 검사업무 부하분석을 통한 검사수수료 원가산정 연구용역 계약체결	사단법인한국산업정보연구소
◆ 재생에너지 원스톱 서비스 플랫폼 이용실태 조사 및 활성화 방안 연구 용역 계약체결	주식회사 데이데이, (주)한수기업정책연구소

과 제 명	연구기관
◆ 열사용기자재(보일러) 유형별 안전수준 분석을 통한 맞춤형 검사제도 개발 연구 용역 계약체결	(사)대한설비공학회
◆ 국가 기후변화대응 정책 분석 및 온실가스 감축 방법 개발 용역 계약체결	주식회사 에코시안, 주식회사 리저브카본
◆ 2021년 한-개도국 협력(ODA) 신규사업(스리랑카) 지원 용역	재단법인 한국기후변화연구원
◆ 2020년 에너지총조사 수송부문 통계 분석 및 정책 연구 용역	주식회사 코리아리서치센터
◆ 2021년 한-개도국 협력(ODA) 신규사업(파키스탄) 지원 용역	(주)현대경제연구원
◆ 2021년 에너지바우처 패널조사 연구	명지대학교 산학협력단
◆ 연료전지 종합효율 및 부생수소 검증방안 연구 계약체결	(재)한국품질재단
◆ 건물부문 온실가스 감축사업 활성화 지원 방안 연구 용역 계약체결	한국부동산원, 재단법인 한국기후 변화연구원, 주식회사 에코아이
◆ 열사용기자재 검사유효기간 연장심사제도 개발 연구 용역 계약체결	디엔비코리아유한회사
◆ 중장기 감사전략 수립 및 내부통제체계 개선	한길회계법인
◆ 해상풍력 산업계 상생방안에 관한 연구 용역 계약체결	유한회사 케이이아이씨
◆ 2050 건물부문 탄소중립 관련 세부 추진방안 도출 용역 계약체결	주식회사 에코시안
◆ 건물 유형별 에너지효율 평가를 위한 기초데이터 분석 용역 계약체결	케이이씨엠
◆ 에트회계 중장기 재정건전화 방안 연구	재단법인 에너지경제연구원
◆ ACE협력 ODA사업개발을 위한 시장조사 수행 용역	주식회사티에이치이에너지
◆ RPS 설비확인 업무 절차 고도화 연구 용역 계약체결	케이이씨엠
◆ 직무분석을 통한 조직 및 인력운영체계 개편방안 연구 용역	하이에치알노무법인
◆ 분산에너지 설치의무화 기준 수립을 위한 연구	지속가능발전경영센터 주식회사
◆ 분산에너지 특화지역 기준수립 및 사업모델 발굴을 위한 연구	주식회사 베리위즈

과 제 명	연구기관
◆ 한-중앙아 협력 중앙아시아 탄소중립 대응 방안 연구용역	(주)한국능률협회컨설팅
◆ 지역에너지 절감 성과분석 및 사업추진 효율성 제고 방안 마련 용역 계약체결	한국표준협회
◆ 2021 한-개도국 협력사업 자체평가 및 성과분석 용역	주식회사 라프러스
◆ KEA 에너지바우처사업 추진 방향 검토	명지대학교 산학협력단
◆ E.S.G 사업 분석을 통한 건물부문 외부사업 활성화 방안 도출 연구 용역 계약체결	지속가능발전경영센터 주식회사
◆ 국제기구 협력사업 추진방향 개선 위한 사업현황 및 실적 조사분석	(주)중앙경영연구소
◆ 이해충돌 취약분야 개선을 위한 용역	주식회사 아트너컨설팅
◆ 산업단지 입주기업의 K-RE100 확산을 위한 기초 조사 용역 계약체결	스마트에너지플랫폼협동조합
◆ KEA와 KCGS의 ESG평가 Tool간 Gap분석을 통한 사회적가치 성과분석	(주)한국능률협회컨설팅
◆ 건물부문 목표관리업체 온실가스 감축 지원 용역 계약체결	케이이씨엠, 재단법인 한국기후변화연구원
◆ 「태양광 발전설비 주변지역 영향 연구」 용역	(사)한국태양에너지학회



## 참고문헌



### 에너지경제연구원

- 이근대, 김기환. (2020). 재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE) 전망 시스템 구축 및 운영(1/5). 에너지경제연구원 기본연구보고서 20-21.
- 이근대, 임덕오. (2021). 재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE) 전망 시스템 구축 및 운영(2/5). 에너지경제연구원 기본연구보고서 21-24.
- 이태의. (2020). 재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용방안 연구. 에너지경제연구원 기본연구보고서 20-12.
- 공지영, 조일현. (2021). 국제 신재생에너지 정책변화 및 시장분석. 에너지경제연구원 기본연구보고서21-29.
- 안재균. (2019). 저탄소 전력시스템으로의 전환을 위한 전력시장 제도개선 방안 연구(2/3). 에너지경제연구원 기본연구보고서 19-23.
- 안재균. (2020). 저탄소 전력시스템으로의 전환을 위한 전력시장 제도개선 방안 연구(3/3). 에너지경제연구원 기본연구보고서 20-23.
- 안재균, 김남일. (2019). 공급형 가상발전소(VPP) 활성화 방안 연구: 소규모전력중개시장 활용을 중심으로. 에너지경제연구원 기본연구보고서 19-15.
- 김남일. (2020). 배출권비용의 전력시장 반영방안 연구. 에너지경제연구원 기본연구보고서 20-07.
- 조주현. (2020). 가변속 양수발전 확충 시 전력시장 파급효과 분석 연구. 에너지경제연구원 기본연구보고서 20-11.
- 김지효, 김현제. (2020). 에너지전환 시대의 신산업 추진 현황 및 정책 방향 연구. 에너지경제연구원 수시연구보고서 20-08.
- 박찬국. (2020). 전력 부문 서비스화(as a Service) 확산과 시사점. 에너지경제연구원 수시연구보고서 20-03.
- 최문선. (2021). 탄소중립 정책 지원을 위한 에너지총조사 개편 방향 연구. 에너지경제연구원 수시연구보고서 21-07.
- 김재엽, 이태의. (2021). 무(無)탄소 신(新)전원 해외사례 및 정책방향 연구. 에너지경제연구원 수시연구보고서 21-06.
- 김재경, 김수현, 박진남. (2020). 시장주도형 수소경제 조기 정착을 위한 전략 연구(1/3). 에너지경제연구원 기본연구보고서 20-26.
- 김재경. (2021). 시장주도형 수소경제 조기 정착을 위한 전략 연구(2/3). 에너지경제연구원 기본연구보고서 21-23.



### 한국에너지공단

- 한국에너지공단. (2022). 글로벌 RE100 이행 동향 조사 연구.
- 한국에너지공단. (2021). 한-중양아 협력 중앙아시아 탄소중립 대응 방안 연구용역.
- 한국에너지공단. (2021). LCA를 고려한 수소에너지 열량환산기준 및 온실가스 배출계수 방법론 개발 용역.



### 한국전력공사

- 이우중. (2020). 태양광발전 저출력 구간 효율 향상을 위한 능동형 온라인 모듈 PCS 기술 개발.
- 강금석. (2020). 해상풍력, 수산업, 환경 공존 기술 개발에 관한 공동기획연구.
- 정민욱. (2020). 부유식 해상풍력 기반기술 개발전략 수립.

- 한국전력공사. (2022). 신재생에너지 및 분산전원 확대에 따른 소매시장 정책 연구.
- 신경훈. (2019). AC-DC 복합 전력망 정밀해석을 위한 시뮬레이터 구축 및 해석기술 개발.
- 최인규. (2019). 전력계통 주파수조정용 ESS 시운전 및 성능평가 시스템 개발.
- 남수철. (2021). PMU 기반 빅데이터를 활용한 전력계통 상황인지 기술개발.
- 남수철. (2021). 재생E 도입에 따른 70kV 이상 송전전압 운전범위 재산정 및 영향평가.
- 김환기. (2021). MMC기반 전압형 HVDC 시스템 설계기술 개발.
- 유영성. (2022). 재생에너지 이용 극대화를 위한 2MW급 하이브리드 수전해 그린 수소생산 및 저장 기술 개발. 국가과학기술지식정보서비스(NTIS). [https://www.ntis.go.kr/project/pjtInfo.do?pjtId=1415167306&pageCode=TH\\_TOTAL\\_PJT\\_DTL](https://www.ntis.go.kr/project/pjtInfo.do?pjtId=1415167306&pageCode=TH_TOTAL_PJT_DTL). (최종접속일 : 2022.7.14)


**한국전기연구원**

- 김창수. (2020). 재생에너지 수용성 제고를 위한 백업전원 확보 연구.
- 손완빈. (2021). 중기 및 단기 신재생 에너지 출력 예측기술 개발.
- 정구형. (2021). 계통운영 변동성 대응을 위한 가상발전(VPP) 운영기술 및 비즈니스 모델 개발. 과학기술 지식인프라 ScienceON(사이언스온). <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do>. (최종접속일 : 2022.7.14)


**참고 사이트**

- 공공기관 경영정보 공개시스템(ALIO),  
<https://www.alio.go.kr/item/itemOrganList.do?reportFormRootNo=B1260>
- 공공에너지 R&D 정보포털(RISPEC),  
<https://www.rispec.kr/rd/pj/projectList.do>
- 국가과학기술지식정보서비스(NTIS),  
<https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>
- 한국전력공사 자체 연구보고서 검색,  
[https://home.kepco.co.kr/kepco\\_alio/front/NC/D/A/NCDA001List.jsp](https://home.kepco.co.kr/kepco_alio/front/NC/D/A/NCDA001List.jsp)
- 한국전력공사 연구개발(R&D) 정보검색,  
<https://home.kepco.co.kr/kepco/RD/A/htmlView/RDAAHP002.do>

1. 전력산업 R&D REPORT는 전력산업 유관기관에서 수행한 연구 보고서의 내용이 포함되어 있습니다.
2. 이 리포트는 전력산업 R&D 현황에 대해 한국전력거래소 내부 정보공유를 위해 비영리 목적으로 만들어진 발간물입니다.

