

국외훈련 결과보고서

4차 산업혁명 시대에
에너지 전환을 활용한 에너지신산업
육성방안

2021. 11.

산업통상자원부
이 용 훈

국외훈련 개요

I. 훈련국 : 미국

II. 훈련기관명 : Rutgers, The State University of New Jersey
(Department of Industrial Systems Engineering & RUTCOR)

III. 훈련분야 : 에너지 정책

IV. 훈련기간 : 2020.12월 ~ 2021.12월

훈련기관 개요

I. 기관개요

- 훈련국 : 미국
- 훈련기관명 : Rutgers, The State University of New Jersey
(Department of Industrial Systems Engineering & RUTCOR)
- 주소 : 98 Brett Rd, Piscataway, NJ 08854
인터넷 웹주소 : <https://soe.rutgers.edu/industrial-and-systems-engineering>

II. 기관소개

- 연혁
 - 美 1766년 개교, 미국 독립전쟁 발발이전 미국에 세워진 9개의 대학 중하나, 뉴저지 주의 Flagship 대학
 - 21년 미국 대학 순위 63위, 미국 국립대학 순위 23위, 훈련학과 (Industrial engineering) 미국내 순위 20위(US News & World Reports)
- 조직
 - 3개 캠퍼스(New Brunswick, Camden, Newark)
12개 단과대로 구성(New Brunswick)
 - 학부생 : 51,000명, 대학원생 : 20,000명
 - 인문, 사회, 경제, 공학, 자연과학 등 다양한 분야에서 인재 양성 및 연구개발을 수행하는 종합대학

성 명	이 용 훈	소 속	산업통상자원부
훈 련 국	미국	훈련기간	2020.12.30.~2021.12.29.
훈련기관	Rutgers, The State University of New Jersey	보고서매수	126
훈련과제	에너지 전환을 활용한 신산업 육성전략 연구		
보고서제목	4차 산업혁명 시대에 에너지 전환을 활용한 에너지신산업 육성방안		
내용요약	<p>1. 연구 배경 및 필요성</p> <p><input type="checkbox"/> 4차 산업혁명이 산업 전반에 혁신을 일으키고 있는 가운데, 에너지 전환에 따라 에너지 산업의 패러다임이 변화 중</p> <p>○ 이러한 혁신과 변화는 새로운 비즈니스와 산업의 등장을 가속화하고 있음</p> <p><input type="checkbox"/> 본 연구는 에너지 전환에서 비롯된 4차 산업혁명 기술 기반 에너지 신산업을 발굴·육성 방안을 제시</p> <p>2. 에너지 신산업 발굴</p> <p><input type="checkbox"/> 2017년 이후 정부 에너지정책 보고서, 연구기관 연구보고서, 언론보도 자료, 해외 에너지 동향 자료 등을 종합적으로 검색</p> <p>○ 에너지 전환과 연관이 있는 기술, 비즈니스, 시스템 20개의 후보군을 도출</p> <p>○ 20개의 후보군은 유사한 항목끼리 통합하고, 4차 산업혁명 기술에 기반을 둔 기술, 비즈니스, 시스템 7개를 최종 선정</p>		

<p>내용요약</p>	<p>3. 7개 에너지 신산업 육성 방안</p> <p>1) V2G(Viecle to Grid)</p> <p><input type="checkbox"/> 개념</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 전기자동차 사용자가 자동차 배터리에 충전한 전력을 필요에 따라 전력망에서 끌어 쓸 수 있는 시스템 - 전기요금이 저렴한 시간대에 충전을 하고, 전기요금이 비싼 시간대에 방전을 하여 수익을 창출 <p><input type="checkbox"/> 활성화 장애요인</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (보급규모 미미) 2019년 누적규모 84,000대 보급, 이정도 규모로는 V2G를 상용화하기에 부족 ○ (충방전 인프라 부족) 충전기의 절대 규모도 부족. 아파트, 사무실 인근 등의 소비자 수요와도 미스매치 <p><input type="checkbox"/> 정책 제언</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (전기차 보급 확대) 내연 자동차 대비 30~40% 비싼 상황, 전기차의 경제성 확보가 무엇보다 중요 <ul style="list-style-type: none"> - 전기차 구매 보조금 적정 수준 유지 필요(현 25%수준) - 배터리 가격을 낮추기 위한 비즈니스 모델 강구 * 배터리 리스 사업, 탈착식 배터리, 폐배터리 ESS 등으로 재활용 ○ (충전기 보급 확대) 소비자 수요에 맞춤형 보급 추진, 필요시 충전기 설치 의무에 대한 규제 강화 및 신설 ○ (V2G 수익성 확보) 전기차 소유주가 V2G에 쉽게 참여할 수 있고, 참여시 경제적인 이익이 보장 필요
-------------	--

내용요약	<p>2) 신재생 발전 O&M 서비스</p> <p><input type="checkbox"/> 개념</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 풍력·태양광 등 신재생 발전에 대한 유지 관리 서비스를 전문적으로 제공 ○ 최근에는 단순 유지관리 업무만이 아닌 인공지능, 빅데이터 등을 활용하여 예지정비 서비스, 기후 예측을 통한 발전량 예측 서비스 등도 제공 ○ 드론, 로봇 등을 활용하여 신재생 설비에 대한 정밀 모니터링·점검도 가능 <p><input type="checkbox"/> 정책 제언</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ O&M시장 활성화를 위해 발전소 효율관리를 강화 <ul style="list-style-type: none"> - 신재생 발전효율을 측정할 수 있는 효율지표 개발 필요 → 발전효율 제고 및 기업간 기업간 건전한 경쟁 유도 ○ O&M기업의 전문성 제고를 위한 단지별 특화분야 선정* 및 유지보수, 데이터 관리 등에 대한 표준 매뉴얼 제정 필요 <p>* (해상풍력 예시) 동남권 원격 모니터링 및 데이터 송수신, 드론활용 상태진단, (호남권) O&M 빅데이터 수집분석, 예지정비 (제주권) 운영최적화 등 SW개발</p>
------	--

내용요약	<p>3) 가상 발전소</p> <p><input type="checkbox"/> 개념</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 소규모 분산 에너지자원들을 ICT망으로 연결하여, 모니터링·제어하여 전력시장과 연계하는 개념 - (구성) 가상발전소는 소규모 태양광, 풍력 발전소, V2G 등의 분산에너지 자원을 모아 구성 - (역할) 가상발전소 사업자는 전력중개 사업자가 되며, 분산에너지 자원과 에너지저장장치 자원의 모집하고 이를 제어하여 전력도매시장에 전력 판매자로 참여 <p><input type="checkbox"/> 현황 및 문제점</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 2018년 소규모 전력중개사업 제도를 도입하여 제도적 기반은 마련하였으나, 아직은 미미한 수준* * 소규모 전력중개시장을 통한 전력거래량은 우리나라 전체 전력거래량 424억kWh의 0.1% 수준 ○ 소규모 발전사업자들은 한전 PPA 거래 선호 - 중개사업자를 통한 전력 판매는 한전 PPA에 비해 번거롭고, 수익률도 PPA 대비 년 20~30만원 ↑ ○ 전력중개 사업자의 사업범위가 O&M서비스 제공 및 전력·REC 위탁거래에 한정 → 수익모델 제한
------	---

내용요약	<p><input type="checkbox"/> 정책 제언</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (수익 개선)고가의 계량기 가격, 통신비 등 비용 절감 지원, 중개사업자의 발전량 예측 인센티브 도입으로 추가 수입원 마련 필요 ○ (사업영역 확대) 태양광으로 제한되어 있는 사업영역을 소규모 전력중개 사업법위를 풍력 여타 신재생발전으로 확대할 필요 - 중장기적으로 전력 중개사업자가 예비력 확보, 주파수 조정 등 계통 보조서비스 참여 및 소규모 자원을 활용한 전력 비즈니스로 영역확대 지원 <p>4) xEMS, ZEx : 에너지 효율 혁신</p> <p><input type="checkbox"/> 개념</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (xEMS) ICT기술을 활용하여 빌딩, 공장, 주택 등을 대상으로 에너지 흐름과 사용을 최적화하기 위한 통합 에너지관리 솔루션 - 적용 대상에 따라 주택은 HEMS(Home EMS), 빌딩은 BEMS(Building EMS), 공장은 FEMS(Factory EMS)로 구분 ○ (제로에너지건축물) 고성능 단열재, 창호 등 패시브 기술과 고효율 설비, BEMS, 신재생에너지 발전 등을 액티브 기술을 적용하여 에너지 소비량을 최소화한 건축물
------	--

	<p>□ 현황 및 문제점</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (산업부분) 초기 투자비 부담, 투자회수의 불확실성, 사후 관리역량 부족 등으로 민간의 자발적 FEMS 투자에는 한계 * ‘11년~‘18년간 FEMS 보급실적은 정부지원으로 459건이 설치된 반면, 민간에서 자발적으로 설치를 한 것은 13건에 불과 ○ 상업·가정 부분은 제로에너지건물 의무화(2017년) 및 제로에너지 인센티브를 부여 등 관리체계는 양호 - 1990년대 도입한 소비효율등급제, 대기전력저감제도 등의 제도는 기술환경 변화에 맞게 정비 필요 <p>□ 정책제언</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (산업부분) FEMS의 활용 적극 확대 필요하나, 예산의 한계가 있으므로 스마트 팩토리 사업과 연계하여 지원하는 방안 검토 필요 - 중소기업 대상 FEMS 설치이후 사후관리와 컨설팅 지원, FEMS 전문기업 육성 - 기업들의 자발적인 에너지 효율 목표제도 본격적으로 시행하기 위한 인센티브 강화 필요 ○ (상업·가정) 선진국 수준 78%의 기술 역량을 제고하기 위한 시장창출 지원, R&D 지원 필요
--	---

내용요약	<p>5. 에너지 프로슈머</p> <p><input type="checkbox"/> 개념</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 에너지 생산자(Producer)와 에너지 소비자(Consumer)의 합성어로 에너지 생산자와 소비자를 동시에 의미 <ul style="list-style-type: none"> - 에너지 생산량이 소비량 보다 많으면 생산자로, 소비량이 생산량보다 많은 경우에는 소비자가 되는 특징 ○ 프로슈머의 분산자원 거래 참여 유형 <ul style="list-style-type: none"> - 상계거래(NEM : Net Energy Metering)는 프로슈머가 전력 공급자로부터의 수전량에서 프로슈머의 발전량을 차감한 양에 대해서만 전기요금을 지불 - 이웃간 거래(P2P Electricity Trading)는 프로슈머 자신이 생산한 전력을 전력요금 부담이 큰 이웃에게 판매 - 도매시장 참여(Electricity Market)는 프로슈머는 전력중개 사업자를 통해서 거래시장에 참여 <p><input type="checkbox"/> 우리나라 현황</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 에너지 프로슈머 활성화를 위한 제도와 인프라 정비가 아직은 미흡한 상황 <ul style="list-style-type: none"> - 요금상계제도, 소규모 전력중개거래 제도 도입 등 제도적 기반을 일부 마련 - 전력산업은 여전히 도매시장의 경쟁체제와 소매시장의 독점 운영, 전기요금 인위적 결정이라는 경직된 구조로 비즈니스 모델 창출이 곤란
------	--

내용요약	<p><input type="checkbox"/> 정책제언</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 법·제도, 관련 인프라, 유틸리티(한전, 전력거래소 등) 역할 등을 재정립하는 것이 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 다만, 소매시장의 독점 운영, 전기요금 인위적 결정 구조의 변경은 신중한 검토가 필요 - 다양한 비즈니스 모델이 등장할 수 있도록 전력산업 구조를 지속적으로 혁신할 필요 - xEMS, AMI, 스마트 그리드, VPP 등 에너지 프로슈머를 둘러싼 주변 인프라 동시에 구축할 필요 ○ 장기적으로 전력 공급자와 소비자의 역할 변화에 따라 계통신뢰도, 전력거래, 부가서비스 측면에서 새로운 비즈니스 기회가 창출을 지원 <p>6. 실시간·보조서비스 전력시장 개설</p> <p><input type="checkbox"/> 현황 및 문제점</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (실시간 전력시장) 현행 하루전 시장*에서의 정산금 제도로는 유연성 제공 자원**에 적절한 인센티브가 제공되지 못하는 상황 <ul style="list-style-type: none"> * 우리나라 전력시장은 급전 하루전에 입찰을 받고 급전계획을 세우는 하루전 시장 제도를 채택 중, 한전은 발전계획량과 실제발전량의 차이가 발생하는 경우에 정산금을 지불 ** 전력계통의 수요와 공급의 불확실성과 변동성을 신뢰가능하고 효율적으로 관리하는 모든 수단
------	---

<p>내용요약</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 예비력 제공에 대한 정확한 가치산정이 이루어지지 않고 있어서 유연성 제공 자원은 수익이 적어지는 현상이 발생 ○ (보조서비스* 시장) 기회비용을 산정해 보상하는1 외국과는 달리, 우리는 시장의 부재로 인해 정해진 정산금 범위 내에서 실적에 따라 지급하는 방식 <ul style="list-style-type: none"> * 주파수 조정, 예비전력 유지, 무효 전력공급 서비스 등 - 계통의 안정적 운영에 기여하는 유연성 제공 자원은 기저발전에 비해 불리 □ 정책 제언 <ul style="list-style-type: none"> ○ (실시간 시장 도입) 실시간 시장 도입시 제유연성 자원의 적절한 가치평가가 가능 <ul style="list-style-type: none"> - 실시간 시장을 통한 밸런싱이 이루어져 전력시장과 계통 운영을 일치시키는 것이 가능 ○ (보조서비스 시장 도입) 보조서비스 가치를 평가받을 수 있는 보조서비스 시장 제도 도입을 검토할 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 입찰가격을 기반으로 시장가격을 결정해 보상하는 것이 필요하며, 장기적으로는 에너지와 예비력을 동시에 최적화하는 시스템으로 전환이 바람직
-------------	---

내용요약	<p>7) DC 그리드</p> <p><input type="checkbox"/> 개요</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (DC 마이크로 그리드) 분산전원을 이용하여 전력수요가 있는 곳에 전력을 공급하는 소규모 전력시스템으로 DC전원을 사용 <ul style="list-style-type: none"> - 회로를 단순화 할 수 있어서 제어가 간편하고, 재생에너지, DC기기*와 연계시에 AC/DC 변환과정이 없어서 에너지 효율 측면에서 강점 * 현재 전기기기의 80% 이상이 AC를 DC로 변환하여 사용 ○ (HVDC) 고압 DC송전망으로 장거리 송전망에 사용 <ul style="list-style-type: none"> - 고압 AC송전망에 비해 초기 투자비는 높으나, 장거리 송전(600KM 이상)에는 에너지 효율이 높아서 유리 <p><input type="checkbox"/> 정책 제언</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (DC 마이크로 그리드) 실증단계 기술로 기술확보, 관련 기자재 개발, 표준선점에 대한 노력 지속 필요 <ul style="list-style-type: none"> - DC 마이크로 그리드의 효용성 제고 차원에서 전기기기 기업의 DC 가전개발을 유도할 필요 ○ (HVDC) 동북아 수퍼그리드에 대비하여 고성능 HVDC 기술개발, 실증사업, 상용화 등을 지속 추진할 필요
------	--

【 목 차 】

제1장 연구 배경	14
제2장 에너지 전환	18
1. 우리나라의 에너지 전환 정책	18
2. 주요국의 에너지 정책 동향	28
제3장 4차 산업혁명 기술	39
1. 4차 산업혁명이란? 한국의 현황 및 동향	39
2. 인공지능 기술	45
3. 빅데이터 기술	51
제4장 에너지 신산업	60
1. V2G(Vehicle to Grid)	62
2. 신재생 발전 O&M 서비스	71
3. 가상 발전소	78
4. xEMS, ZEx : 에너지 효율 혁신	86
5. 에너지 프로슈머	99
6. 실시간·보조서비스 전력시장 개설	108
7. DC 그리드	116

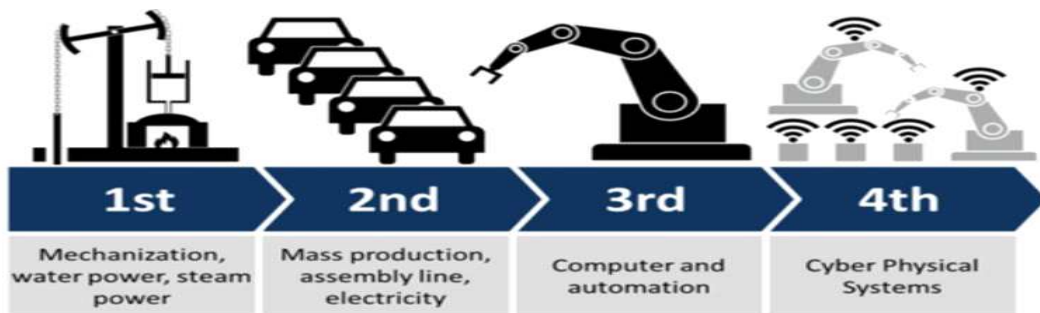
제1장. 연구배경

산업혁명 이후 새로운 에너지원의 부상은 산업의 혁신으로 이어져 왔다.

석탄으로 인해 증기기관이 발명되고, 증기기관으로 인해 효율적인 수송과 생산이 가능해지면서 영국에서 산업혁명이 일어났다. 석유의 등장도 그러하다. 석유가 내연기관의 연료로 사용되면서, 항공기가 탄생하게 되었고, 본격적인 자동차 시대가 열리게 된 것이다.

석유나 석탄과 같은 1차 에너지원은 아니지만, 전기도 다르지 않다. 에디슨의 전구로 일상생활에 전기가 사용되기 시작한 이후에 벌어진 산업혁명들은 모두 전기를 기반으로 하고 있다 하여도 과언이 아닐 것이다. 2차 산업혁명의 컨베이어 시스템에 의한 대량생산, 3차 산업혁명의 자동화, 정보화로의 변화 그리고 4차 산업혁명의 인공지능, 빅데이터로 인한 혁신, 이 모든 변화들의 기저에는 전기가 있는 것이다.

< 산업혁명의 변화 >



최근 신재생 에너지가 발전원으로 급부상하고 있다.

2015년 유엔 기후변화 회의에서 ‘파리 기후변화협약’을 만장일치로 통과시키면서, 세계 각국은 지구의 평균온도가 산업화 이전보다 2도 이상 올라가지 않도록 자발적인 온실가스 감축 목표를 정하고 이를 이행할 것을 약속하였다.

우리나라도 온실가스 감축에 적극적으로 보조를 맞추고 있다. 정부는

2030년까지 BAU 배출 전망치인 851만톤 대비 37%를 줄어든 536만톤을 배출 목표로 설정하였다.

2018년 우리나라의 에너지 분야 온실가스 배출량은 632백만톤으로 온실가스 총 배출량 710백만톤의 약 87%를 차지한다. 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서는 에너지 분야의 친환경화가 필수적인 것이다.

< 1990~2018년 분야별 온실가스 배출량 추이 >

분야 및 부문	1990	2000	2010	2016	2017	2018
에너지	240.4	411.8	566.1	602.7	615.7	632.4
A. 연료연소	235.3	409.1	562.3	598.7	611.6	627.9
1.에너지산업	48.4	136.3	256.1	263.7	271.0	287.6
2.제조업 및 건설업	76.6	130.6	162.0	181.4	186.5	186.6
3.수송	35.5	69.9	85.4	98.8	98.3	98.1
4.가정, 상업, 공공, 농림어업 등	74.6	69.8	55.8	51.8	52.6	52.5
5. 미분류	0.2	2.4	2.9	3.1	3.2	3.1
B. 탈탄	5.1	2.7	3.8	3.9	4.0	4.5
1. 고체연료	4.8	1.2	0.6	0.5	0.4	0.3
2. 석유 및 천연가스	0.3	1.5	3.2	3.4	3.6	4.1
산업공정	20.4	50.9	53.0	53.2	55.9	57.0
농업	21.0	21.4	22.1	20.8	21.0	21.2
폐기물	10.4	18.8	15.2	16.8	17.2	17.1
총배출량	292.2	502.9	656.3	693.5	709.7	727.6

에너지 분야에서의 온실가스 감축에 대한 관심은 제9차 전력수급계획에 잘 나타나 있다. 9차 계획에 따르면 신재생 에너지 설비 비중은 2020 15.8%에서 2030년 33.8%로 대폭 확대되는 반면, 석탄발전의 설비 비중은 28.1%에서 18.9%로 대폭 감소한다.

해외 주요 선진국도 신재생 에너지 비중을 적극 늘려 나가고 있다. 독일은 에너지 전환 선도국으로 2038년까지 석탄 발전소를 전면 폐쇄하고, 재생에너지 발전 비중도 2018년 35.3%에서 2030년 65%로 늘려나갈 계획이다. 영국은 2018년 재생에너지 발전 비중이 33.5%로 2020년 목표 31%를 초과달성 하였으며, 2032년까지 저탄소전원(재생에너지+원전)의

발전 비중을 80% 이상으로 확대할 계획이다. 미국은 트럼프 정부의 파리기후변화협약 탈퇴를 사과하면서, 2035년까지 태양광 발전 비중을 미국 전체 전력의 40%까지 끌어올릴 계획임을 밝혔다.




독일의 외코 연구소는 이러한 에너지원의 변화를 ‘에너지 전환’ 이라 명명하며, 에너지 공급 체계가 석유 석탄 등 지속 불가능한 방법에서 재생에너지 등 지속 가능한 방법으로 바뀌는 것이라 정의했다.

한편, 최근 초연결·초지능으로 대표되는 4차 산업혁명은 많은 변화를 불러오고 있다.

빅데이터·인공지능 기술을 기반으로 기존의 한계를 뛰어넘는 지식과 성과를 창출하면서 생산성이 향상되고 신산업이 등장하고 있는 것이다. 이러한 현상은 비단 산업 분야에 국한되지 않는다. 네트워크에 초연결되어 데이터가 폭발적으로 증가하고, AI가 이를 스스로 학습하여 육체노동 뿐만 아니라 지적 판단기능도 수행 가능하게 되는 것으로 국가 시스템, 사회, 삶 전반에 걸쳐서 혁신적 변화를 불러오고 있는 것이다. 에너지 분야도 예외는 아니다. 빅데이터 분석을 통해 풍력 터빈 고장을 사전에 예측하는 새로운 서비스 모델이 등장하고, 인공지능으로 보다 강력해진 EMS(Energy Management System)가 등장하고 있는 것이다.

구글, 애플, 테슬라 등 주요 혁신 기업들도 등 4차 산업혁명 기술을 접목한 에너지 비즈니스 모델(예시 : 애플 I-home, 테슬라 VPP 등)을 개발하는 등 에너지 신산업에 적극 진출하고 있다.

< 에너지 신산업 비즈니스 모델 사례 >

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신재생에너지를 생산·판매하는 구글에너지 설립('09) ○ 에너지 융합 스마트홈 시장 진출을 위한 Nest社 인수('14), 구글 어스를 활용한 태양광 컨설팅(Project sunroof) 추진
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 태양광발전으로 전력 생산·판매하는 애플에너지 설립('16) ○ 에너지·디바이스 원격제어 시스템 I - Home 출시('14)
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 솔라시티사를 인수('16)하여 태양광, 가정용 ESS 등 출시 ○ 호주남부 지역 5만가구 대상 태양광 기반 VPP 구축 예정('22)

4차 산업혁명이 산업 전반에 혁신을 일으키고 있는 가운데, 에너지 전환에 따라 에너지 산업의 패러다임이 변화하고 있다. 이러한 혁신과 변화는 새로운 비즈니스와 산업의 등장을 가속화하고 있다.

이에 본 연구에서는 에너지 전환에서 비롯된 4차 산업혁명 기술 기반 에너지 신산업을 발굴하고 이를 육성하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

이를 위해 에너지 패러다임 변화에 따라 부각되고 있는 비즈니스 모델, 시스템 등을 살펴보고, 이 중 4차 산업혁명 기술에 기반하여 새롭게 등장하는 것들이나, 기존에 존재하던 것이 인공지능, 빅데이터를 통해 고도화되고 강화되어서 경쟁력을 획기적으로 개선된 것들을 발굴하고 이를 육성하기 위한 정책을 강구하고자 한다.

제 2장 에너지 전환

1. 우리나라의 에너지 전환 정책

(1) 등장 배경

① 해외 리스크에 취약한 에너지 수급 구조

우리나라는 1980년대까지는 목재, 무연탄 등 국내에서 수급되는 에너지원도 주요 에너지원 중의 하나로 활용되었으나, 90년대 중반 이후 산업이 고도화되고 삶의 질이 향상됨에 따라 석유, 가스 등의 에너지 수입이 증가해 왔고, 이에 따른 에너지 해외 의존도는 현재 90% 이상을 기록하고 있다. 에너지 수입이 우리나라 전체 수입에서 차지하는 비중은 고유가 시대인 2010년에는 28.6%, 비교적 유가가 낮은 2020년에는 18.5%로, 에너지 수입은 국민경제에 적지 않은 부담으로 작용하고 있으며, 국제 에너지 가격 변동에 취약한 구조이다.

< 우리나라 에너지 수출입액 추이 >

구 분	수입						수출	수입액 비중
	합계	석탄	원유	석유 제품	LNG	우라늄	석유 제품	
	백만달러(Million USD)							%
1990	10,908	1,288	6,386	2,774	460	1	650	15.6
1995	19,054	2,081	10,809	4,673	1,275	215	2,393	14.1
2000	37,888	2,186	25,216	6,379	3,882	225	9,257	23.6
2005	66,697	5,443	42,606	9,716	8,647	286	15,444	25.5
2010	121,654	13,131	68,662	22,241	17,006	615	31,699	28.6
2015	102,715	9,961	55,120	17,986	18,779	869	32,192	23.5
2020p	86,427	9,592	44,328	16,033	15,716	758	24,537	18.5

주: 수입액은 CIF, 수출액은 FOB 기준.
자료: 한국무역협회

또한, 주요 에너지원인 원유의 경우 중동산의 수입 비중이 73.6%로 수입선이 다변화 되지 않고 있어, 중동 리스크에 노출되어 있는 상황이다.

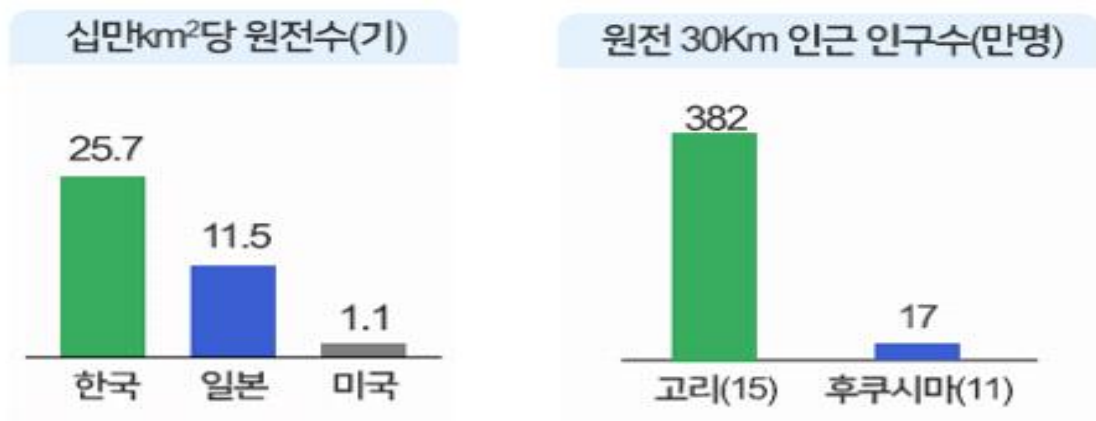
② 환경과 안전에 대한 국민적 관심 증가

2011년 일본의 후쿠시마 원전 사고 이후, 원전 안전에 대한 국민적 관심이 커졌다.

2016년 경주지진, 2017년 포항지진으로 인해 원전 밀집지역의 지진 안전성에 대한 우려가 높아졌다. 일부 전문가¹⁾는 원전의 내진설계 기준을 넘어서는 7.3규모의 지진이 한반도 남동부 지역에서 발생할 가능성을 배제할 수 없다고 주장하고 있다.

이러한 상황에서 우리나라의 원전 밀집도는 십만km²당 25.7기로 일본의 11.5기, 미국의 1.1기에 비해 높은 수준이며, 원전 인근 30km이내 인구수도 우리나라 고리원전이 382만명으로 후쿠시마 원전 17만명의 약 22배 수준이다.

< 원전 밀집도 및 원전주변 인구 수(산업부) >



고준위 방폐물 처분에 대한 부담도 증가하고 있다. 원전내의 임시저장 시설에 사용후 핵연료를 무한정 보관할 수 없고, 포화시점도 한빛 원전의 경우 2029년으로 머지 않았기에 고준위 방폐물 처분장 마련도 시급한 상황이다.

1) 2007년 한반도 남동부 제4기 단층들의 단층변위자료를 이용한 지진규모 예측(부경대, 김영석 교수)

< 사용후 핵연료 포화예상연도 및 저장률(2019년 기준) >

	한빛	한울	고리	신월성
저장률	70.6%	80.2%	77.3%	36.9%
포화 예상연도	'29	'30	'31	'42

앞서 1장에서 언급하였듯이 우리나라는 신기후체제인 파리기후변화협약에 가입한 국가이다. 2030년 BAU 기준 이산화탄소 배출량의 37%를 감축하겠다는 목표 내세운 상황에서, 온실가스 배출의 87%를 차지하고 있는 에너지 분야의 친환경화가 필수적이다. 석탄발전 등 온실가스를 배출하는 기존의 발전소를 줄이고, 친환경 에너지원인 신재생 에너지를 늘리는 것이 요구되고 있는 상황이다.

< 2030년 온실가스 감축량 >



아울러, 미세먼지가 없는 깨끗한 에너지원에 대한 국민적 관심도도 높아지고 있다.

미세먼지는 세계보건기구(WHO)가 1군 발암물질로 분류하는 물질로 날씨예보와 함께 미세먼지도 예보가 될 정도로 국민적 관심이 높은 상황이다. 석탄발전소는 MWh(메가와트아워) 당 0.12kg의 미세먼지를 발생시키는 미세먼지 발생원 중의 하나이며, 온실가스 배출원으로 독일, 영국 등에서 우선적인 감축대상 중의 하나이다. 우리나라도 석탄 발전 설비 비중을 2020년 28.1%에서 2034년 15.0%로 줄여나갈 계획이다.²⁾

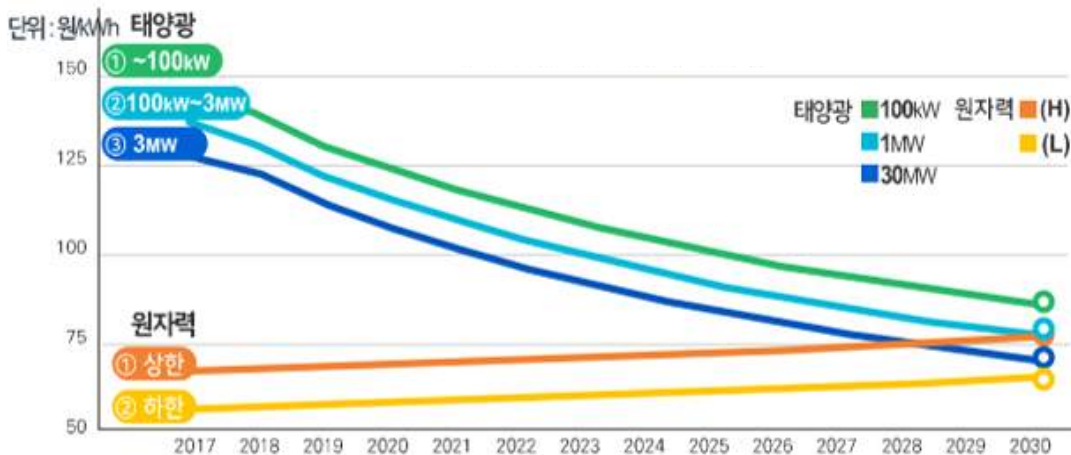
2) 산업통상자원부(2020). 제9차 전력수급기본계획

③ 신재생 에너지의 경제성 제고

세계적으로 태양광발전 전력 거래 가격의 점차 낮아지고 있다. 2014년 두바이에서는 kWh당 67.4센트에 거래되고, 2015년 텍사스 오스틴에서는 kWh당 44원에 거래된 바 있다. 또한, 2016년에는 두바이에서 kWh당 32.9원, 아부다비에서 kWh당 26.6원에 거래된 바 있다. 중동, 미국 남부가 기후여건상 태양광 발전에 최적지인 관계로 태양광 발전 단가가 낮게 책정되는 측면이 있고, 일시적인 거래가격인 점을 감안하더라도, 원자력 발전단가가 kWh당 50원 내외의 점을 고려할 때 시사하는 바가 크다.

에너지 경제 연구원에 따르면, 균등화 발전비용³⁾이 2017년 기준 태양광 발전 3MW급은 kWh당 118.65원, 원전은 균등화 발전비용 상한선이 64.51원인 반면, 2030년에는 태양광 발전 3MW급이 kWh당 66.03원이며, 원자력 발전은 상한선이 72.66원으로 전망하고 있다.

< 발전원별 균등화 발전비용 변화 전망(에너지경제 연구원)>



다시 말하면, 태양광 발전은 기술의 발전, 규모의 경제 달성, 효율 향상 등을 통해 지속적으로 균등화 발전단가가 낮아지는 반면, 원자력 발전은 사회적 비용 상승, 사용후핵연료 처분비용 상승 등을 이유로 균등

3) 균등화발전단가란 1개의 발전소 건립과 전 사업기간 동안 발생하는 비용을 추산하고 할인율을 적용하여 현재 가치로 변환하는 것임

화 발전단가가 상승한다고 해석할 수 있다. 또한, 2030년의 경우는 대규모 태양광 단지의 균등화 발전단가와 원자력발전의 균등화 발전단가 상한선이 역전될 가능성도 제시하고 있다. 에너지 전환이 늦어질수록 경제적 부담은 증가한다는 주장이다.

(2) 에너지 정책 개관

에너지 전환 정책의 기본 방향은 2017년 10월 '에너지전환 로드맵', 2019년 6월 '제3차 에너지기본계획'에 제시되어 있다.

세부 분야별로 보면, 전력분야는 2020년 12월 '제9차 전력수급기본계획', 신재생에너지 및 수소 분야는 2017년 12월 '재생에너지 3020 이행계획', 2019년 1월 '수소경제 활성화 로드맵'에 제시되어 있으며, 에너지 수요 관리 분야는 2019년 8월 '에너지효율 혁신 전략'에 제시되어 있다.

① 2017년 10월 에너지전환 로드맵

에너지전환 로드맵은 원전분야에 대한 정책방향은 신규원전 건설계획을 백지화하고, 노후원전은 수명연장을 금지하는 것을 골자로 하고 있다.

신규원전 건설의 경우 신고리 5, 6호기 공론화 결과에 따라, 신고리 5, 6호기는 건설하고 신한울 3, 4호기 부터는 백지화하겠다는 것이다.

< 단계적 감축 대상 원전 현황 >

구 분	호기수	용 량	대 상
신규원전	6기	8.8GW	· 신한울 3·4, 천지 1·2, 신규 1·2
노후원전	14기	12.5GW	· '38년까지 14기 고리2~4, 월성 2~4, 한빛 1~4, 한울 1~4
월성 1	1기	0.7GW	· 월성 1호기

로드맵에 따르면 원전을 2022년까지 28기, 2031년까지 18기, 2038년까지 14기 등 단계적으로 감축하고, 2017년 기준 7%인 신재생에너지 발전량 비중을 2030년 20%로 확대한다. 원전 감축으로 축소되는 발전량을 신재생에너지를 통하여 충당한다는 것이다.

② 2019년 6월 제3차 국가에너지 기본계획

국가에너지 기본계획은 20년을 계획기간으로 5년마다 수립, 시행하며, 에너지 분야를 총망라하는 중장기 에너지 정책의 종합계획으로서, 에너지원별, 부문별 에너지 계획의 원칙과 방향을 제시하고 있다. 국가에너지 기본계획에는 국내외 에너지 수요와 공급의 추이 및 전망, 에너지의 안정적 확보, 도입, 공급 및 관리를 위한 대책, 에너지 수요목표, 에너지원 구성, 에너지 이용효율 향상, 신재생에너지 등 환경친화적인 에너지의 공급, 사용을 위한 대책 등이 포함된다.

제3차 국가에너지 기본계획에서는 ㉠ 에너지정책을 소비구조 혁신 중심으로 전환, ㉡ 깨끗하고 안전한 에너지 믹스로의 전환, ㉢ 분산형, 참여형 에너지 시스템 확대를 기본 방향으로 하고 있다.

㉠ 에너지 소비구조 혁신

에너지 소비구조 혁신을 통해 2040년까지 에너지 소비효율을 2017년 대비 38% 개선하고, 에너지 수요를 18.6%감축하는 것을 목표로 하고 있다.

이를 위해 산업, 건물, 수송 등의 부문별로 목표에너지 원단위 관리제를 도입하고, 고효율 기기와 제품 보급 외에도 시스템 단위에서의 에너지 사용 최적화를 통해 종합적인 에너지 효율을 제고한다.

< 부문별 목표 에너지원단위 >

	2017	2030	2040
산업부문 원단위(TOE/백만원)	0.150	0.129	0.119
건물(공공 상업) 원단위(TOE/백만원)	0.029	0.021	0.018
승용차 평균연비(km/l)	16.8	28.1	35.0

인공지능, 빅데이터, IoT 등 4차 산업혁명 기술을 에너지 기기 및 설비에 적용하여 에너지 수요를 실시간으로 관리하여 에너지 효율 제고 및 절약에 대한 비즈니스 모델 창출을 지원하고, 에너지 가격 체계 합리화, 비전력 에너지의 활용을 확대하여 에너지 소비구조 혁신도 도모한다.

㉠ 깨끗하고 안전한 에너지 믹스로의 전환

제3차 국가에너지 기본계획에서는 2040년 재생에너지 발전 비중을 30~35% 수준으로 확대하는 것을 목표로 하고 있다. 2017년 '에너지전환 로드맵'에서는 2030년 신재생에너지 발전 비중 30%를 제시한 바 있다.

원자력에 대해서는 노후원전 수명은 연장하지 않고, 원전 건설은 신규로 추진하지 않는 방식으로 원전을 점진적으로 감축한다. 미세먼지·온실가스 문제에 대응하기 위해서 석탄발전은 과감한 감축을 추진한다.

또한, 에너지의 공급 안정성 제고를 위해 역내 협력망 강화, 도입선 다변화, 동북아 수퍼그리드 등 다양한 정책 노력을 전개해 나간다.

㉡ 분산형, 참여형 에너지 시스템 확대

재생에너지, 진단에너지, 연료전지 등 수요지 인근에 위치한 분산형 전원의 발전량 비중을 2017년 12%를 2040년 30%로 확대를 목표로 한다. 이를 위해 발전용 연료전지 보급을 2022년 1GW에서 2040년 8GW로 늘리는 등 수요지 인근에 분산전원 보급을 확대하고, 공공기관 자가용 태양광 설치 의무화, 전력중개시장 활성화 등 프로슈머형 에너지 생산기반도 확충한다.

③ 제 9차 전력수급 기본계획

제9차 전력수급기본계획은 국가에너지 기본계획의 하위 계획으로 국가에너지 기본계획과 기본방향을 공유하며, 중장기 전력수요 전망 및 이

에 따른 전력설비 확충을 위한 15년 장기계획으로 2년 주기로 수립된다.

전력수급기본계획에는 이전 계획에 대한 평가, 장기 수급정만, 수급관리 목표, 발전 및 송변전 설비 계획, 분산형 전원확대 등을 주요 내용으로 하고 있다.

9차 전력수급계획의 기본방향은 에너지전환 로드맵과 3차 국가에너지 기본계획에 따라 원전은 점진적 감축 기조를 유지하고, 미세먼지·온실가스 문제 대응을 위해 석탄발전은 과감하게 감축해 나간다는 것이다. 신재생에너지는 2034년 발전비중 22.2%달성을 목표로 보급을 확대하여 나가는 것이 기본방향이다.

제9차 전력수급기본계획에서 2034년 목표수요는 전력소비량은 554.8TWh, 최대전력은 동계기준으로 102.5GW로 전망하였다. 이는 2020년 전력소비량 509.8TWh, 최대전력 88.4GW 대비 각각 연평균 0.6%, 1.1% 증가한 전망이다.

전력수요 전망에는 경제성장률 전망, 산업구조 변화, 기온 데이터 등을 반영하여 전망하였다. 다만, 4차 산업혁명에 따른 전력소비량 영향은 예측 불확실성으로 인해 정량화하여 반영하지는 않았고, 전기차 보급목표와 충전패턴을 고려하여 '34년 기준 약 1GW 증가로 전망하였다.

수요관리 분야에서는 2034년 최대전력 기준수요 117.5GW의 12.6%인 14.8GW를 감축하는 것을 목표로 제시하였다. 에너지효율향상을 통해 6.7GW를 감축하고, 수요자원(DR) 시장 개선 및 에너지저장시스템(ESS) 확대 보급 등 부하관리를 통해 7.08GW를 감축할 계획이다.

또한 V2G 및 스마트 조명확산, 요금제도 개선 등 신규수단을 통해 1GW 감축을 추진할 계획이다.

〈 최대전력 수단별 수요관리 목표량 (단위 : MW) 〉

구 분	기존수단			신규수단	합계
	효율향상	부하관리	소계		
'24년	1,485	3,685	5,170	38	5,208
'29년	4,545	5,262	9,807	194	10,001
'34년	6,704	7,077	13,781	1,000	14,781

2034년 기준 목표 설비용량은 125.1GW로 산출되었으며, 이는 2034년 목표수요 102.5GW에 설비에비율 22%를 반영한 결과이다. 8차 전력수급 계획에 따른 기존의 설비 계획은 122.2GW로 신규 2.8GW의 추가설비 확충이 필요하다. 신규설비 2.8GW는 LNG 및 양수발전으로 확충할 계획이다.

〈 주요 발전원별 연도별 변화 추이〉

① 석탄 : 현재 60기 중 30기(15.3GW) 폐지, 신규 7기(7.3GW) 준공
 * 8차 계획 폐지 반영된 10기를 포함 9차 계획에서 30기 폐지

'20년 35.8GW → '22년 38.3GW → '30년 32.6GW → '34년 29.0GW (6.8GW ↓)

② LNG : 폐지되는 석탄 30기중 24기(12.7GW) LNG 전환 등 추진

'20년 41.3GW → '22년 43.3GW → '30년 55.5GW → '34년 59.1GW (17.8GW ↑)

③ 원전 : 4기(5.6GW) 준공, 노후 11기(9.5GW)는 수명연장 금지

'20년 23.3GW → '22년 26.1GW → '30년 20.4GW → '34년 19.4GW (3.9GW ↓)

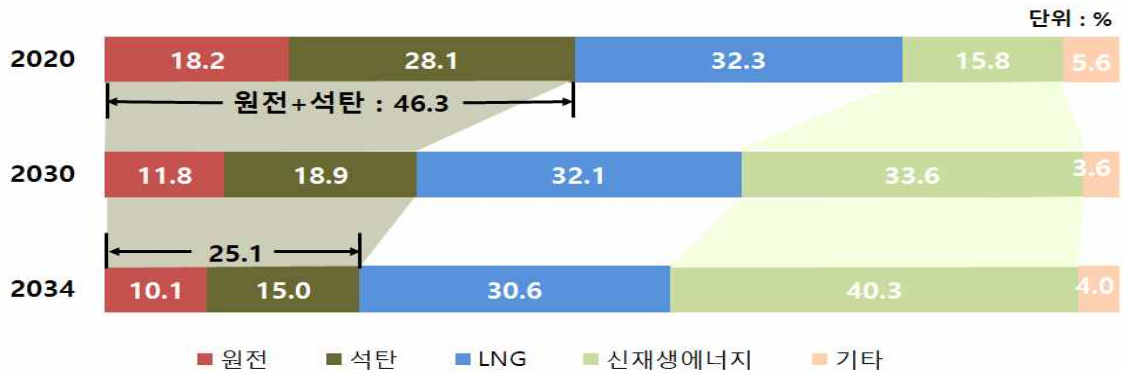
④ 신재생 : 3차 에기본 및 그린뉴딜 계획 보급 목표 달성(정격용량 기준)

'20년 20.1GW → '22년 29.4GW → '30년 58.0GW → '34년 77.8GW* (57.7GW ↑)

* 전원별 피크기여도를 고려한 실효용량은 10.8GW

한편, 전원별 설비 용량 구성의 경우는 2034년까지 원전과 석탄발전이 각각 18.2%, 28.1%로 2020년 대비 각각 10.1%, 15.0% 감소될 전망이다.

< 전원별 설비용량 비중 변화 전망 >



이상으로 우리나라의 에너지 전환 정책에 대해 살펴보았다. 요약하자면 에너지 전환 정책은 전환이 원전과 석탄발전을 줄이고 신재생발전을 증가시키는 것만을 의미하지 않는다. 에너지 소비구조 혁신, 분산 에너지 확대 또한 에너지 전환의 중요한 축임을 알 수 있다.

특히, 에너지 소비구조 혁신과 분산에너지 확대는 4차 산업혁명 기술과 결합하여 보다 고도화되고 강력해지고 있다. 애플의 I-Home(에너지 소비구조 혁신), 테슬라의 호주 가상발전소(분산 에너지)가 대표적인 사례이다.

2. 주요국의 에너지 정책 동향

(1) 미국

미국의 발전량은 2000년 4,025 TWh에선 2018년 4,413 TWh로 매년 평균 0.5%내외로 점진적으로 늘어왔으며, 석탄발전의 비중은 2000년 52.9%에서 2018년 28.4로 대폭 감소한 반면, 신재생에너지와 천연가스 발전이 각각 2000년 8.2%, 15.8%에서 2018년 17%, 34.3%로 대폭 증가하였다. 원전의 비중은 2000년 19.8%에서 2018년 19.0%로 비중은 소폭 감소하였으나, 발전량은 소폭 증가하였다.

〈 미국의 원별 발전 비중 〉

구분	2000	2005	2010	2016	2017	2018 ^P
발전량 (TWh)	4,025.8	4,268.8	4,354.3	4,299.6	4,263.6	4,413.4
· 석탄	52.9	50.5	45.8	31.5	31.0	28.4
· 석유	2.9	3.3	1.1	0.8	0.8	0.9
· 천연가스	15.8	18.3	23.4	33.0	31.4	34.3
· 원자력	19.8	19.0	19.3	19.5	19.7	19.0
· 재생에너지	8.2	8.6	10.1	14.8	16.8	17.0

미국은 셰일 혁명을 통해 세계 최대의 석유 가스 생산국이 되었으며, 발전비중에서도 가스발전이 석탄발전을 빠르게 대체해왔다.

트럼프 행정부에서 파리협정 탈퇴, 청정전력계획 폐지 등 기후변화 대응 정책은 후퇴한 측면이 있으나, 캘리포니아의 2045년 재생에너지 100%, 뉴욕의 2050년 온실가스 80%감축 계획 등 주정부 차원에서는 기후변화 대응 노력을 지속하여 신재생 에너지의 비중은 증가해 왔다.

바이든 정부는 미국의 신재생 에너지 발전 비중은 우수한 기후, 지리 여건을 활용한 수력, 풍력이 전체 신재생에너지 발전 비중의 70%를 차지하고 있으며, 최근 태양광에 대한 R&D 투자계획⁴⁾과 2035년까지 태

4) DOE Announces Goal to Cut Solar Costs by More than Half by 2030(DOE. MAR 25, 2021)

양광 발전비중을 미국 전체 전력의 40%까지 끌어올릴 계획임을 발표한바 있다.

< 미국의 신재생에너지 원별 발전비중 >

재생에너지 발전비중(%)					
소계	수력	태양광	풍력	바이오	기타
17.0	6.7	2.0	6.3	1.3	0.7

원전의 경우에는 스리마일 아일랜드 사고 이후, 중지되었던 건설이 '12년 재개되었으나 아직까지 완공된 원전은 없는 상황이다. 다만, 바이든 행정부에서는 SMR(소형모듈원자로)을 청정에너지로 분류하고 이에 대한 개발을 추진 중이다.

바이든 행정부는 청정에너지시스템 구축을 통한 지속가능한 발전을 기치로 청정에너지와 관련 인프라 확대 및 국제 기후변화 주도권 재확립 추진 중이다. 대내적으로는 '50년 탄소중립('35년 발전부문 脫탄소화)을 목표로 청정에너지 중심으로 2조불 투자하여 청정에너지와 관련인프라를 확대하고, 대외적으로는 파리 기후변화 협약 재가입 등을 통해 미국의 국제 기후변화 주도권과 리더십을 재확립하려 하고 있다.

< 바이든 정부의 분야별 에너지 개요5) >

① [기후변화] '50년 청정경제 및 탄소배출 제로 달성

○ (탄소중립) '35년 발전부문, '50년 소부문 탄소제로 목표 제시 등 100% 클린에너지 경제 지향

* (이행체계) 부문별 단계적 배출기준 강화 등 이행준수 메커니즘 구축과 단계별 목표 법제화 추진

(인센티브) 친환경 발전사업에 세제혜택 부여, 건물 에너지 효율 향상, 가전제품 효율기준 강화 등 전국적 인센티브 제도 도입

○ (국제공조) 파리기후변화 협약 재가입, 세계기후정상회의 개최를 통해 전세계 온실가스 감축목표 상향 조정

* 화석연료보조금 및 非청정 에너지분야 금융보조금 중단 추진

② [화석에너지] 석유·가스 등 화석에너지 개발·이용 규제강화

○ 탄소국경세 신설 및 환경규제 강화 등 화석에너지 개발·이용 제한

* (탄소국경세) 탄소중립 실현 및 타국 기후변화 대응 압박 등을 위해 '25년 까지 관세 또는 쿼터 형태의 탄소국경세 도입 추진

(환경규제) 화석연료 보조금 폐지, 탄소감축 실패기업에 대한 규제강화, 연방공유지 자원개발 규제강화, 수압파쇄공법 적용제한, 가스·석유산업 공유지 임대 신규허가 금지 등

(수압파쇄공법) 바이든 공약에는 수압파쇄공법 적용 금지에 대한 언급은 없으나, 오바마 행정부는 연방공유지 및 원주민 토지의 수압파쇄공법 적용을 금지('15)

○ 美에너지외교는 對이란 유화선회*, 對러 압박강화, 對OPEC 방임 전망

* 對이란 핵협상 재개를 위한 제재 완화, 원유 생산·수출 제재 점진적 해제

5) 한국환경정책평가연구원(2020). 바이든 대통령 당선자의 기후 에너지 공약과 시사점

③ [신재생에너지] 태양광·수소 등 청정에너지시스템으로의 전환

- 연방정부 예산 2조불을 투자하여, 친환경 에너지시장 및 일자리 창출
- 태양광·풍력 등 재생에너지 부문 집중 투자, 10년內 그린수소 전면 상용화 등을 통해 ' 35년 발전부문 脫탄소화
- 기후변화 연구 전담부서인 ARPA-C를 신설, 청정에너지 기술 투자

④ [원자력에너지] 원전활용 기조 유지, 차세대·소형원전 위주 지원

- 대형원전 등 전통적 원전이 아닌 선진 원전기술에 대한 지원 강조
 - 소형 모듈형 원전, 최신형 非경수로 등 상대적으로 안전성이 높은, 소형·최첨단 원전기술 지원 확대

⑤ [전달인프라] 안전하고 신뢰성 높은 에너지 전달인프라 구축

- 송배전 인프라 고도화 및 신재생에너지 공급확대에 따른 전력공급의 간헐성을 극복하기 위한 신규 송배전 인프라 지능화 추진
- 미국의 對러시아 제재강화 및 美-러시아간 대결구도 심화에 따라 러시아 주도 에너지 협력 프로젝트의 추진동력 약화

⑥ [에너지효율] 건물·자동차 중심 에너지 효율향상 투자 확대

- (건물) 상업건물* 400만 개소 대상 LED 조명설치·냉난방 설비개선, 주택 200만호 대상 고효율 가전보급·고효율 창호설치 등 추진

* 제로에너지빌딩 관련 R&D를 신설 'ARPA-C'의 주요 프로젝트로 추진

- (자동차) 클린카 300만대 공공조달, 전기차 충전소 50만개소 구축, 도전적 연비기준 도입 등 추진

(2) 독일

독일의 발전량은 2000년 572.3 TWh에서 2018년 643.6 TWh로 점진적으로 증가하였으며, 석탄발전과 원자력 발전의 발전비중이 각각 2000년 53.1%, 29.6%에서 2018년 37.5%, 11.8%로 대폭 감소하였으며, 재생에너지와 천연가스 발전 비중은 각각 2000년 6.2%, 9.2%에서 2018년 35.3%, 13.2%로 증가하여 석탄 발전과 원자력 발전의 감소분을 대체하였다.

〈 독일의 원별 발전 비중 〉 (단위: TWh, %)

구분	2000	2005	2010	2016	2017	2018 ^P
발전량 (TWh)	572.3	615.8	626.5	643.5	647.7	643.6
· 석탄	53.1	48.3	43.6	42.5	39.0	37.5
· 석유	0.8	1.9	1.4	0.9	0.9	0.8
· 천연가스	9.2	12.0	14.4	12.8	13.5	13.2
· 원자력	29.6	26.5	22.4	13.2	11.8	11.8
· 재생에너지	6.2	10.1	16.7	29.2	33.4	35.3

독일의 신재생에너지는 태양광과 풍력 중심으로 운영되고 있으며, 독일 정부는 신재생에너지 발전비중을 2030년 65%, 2050년 80%로 늘려나갈 계획이다.

2019년에는 기후법 제정을 통해 2030년 온실가스를 1990년 대비 55%수준으로 감축하는 것을 법제화하였으며, 2050년 넷제로를 선언한 바 있다. 2020년 6월 발표한 국가수소전략을 통해 그린 수소를 통한 산업, 수송, 난방 등의 분야에서 온실가스 감축 노력을 강화하고 있다.

〈 독일의 재생에너지 원별 발전 비중 〉

재생에너지 발전비중(%)					
소계	수력	태양광	풍력	바이오	기타
35.3	2.8	7.2	17.3	7.0	1.0

한편, 독일정부는 가동중인 7기의 원자력 발전소를 2022년까지 모두 폐쇄하고, 석탄발전소는 2038년까지 모두 폐지할 계획이다.

(3) 일본

일본의 발전량은 2000년 1,055 TWh에서 2010년 1,164 TWh로 점증하다가, 후쿠시마 원전사고를 기점으로 줄어들었으며 2018년에는 1,018 TWh로 2010년에 비해 소폭 감소하였다. 일본의 원별 발전비중은 2000년 원전 30.5%, 천연가스 24.5%, 석탄 21.1%, 석유 12.7%, 재생에너지 9.2%에서 2018년에는 천연가스 35.4%, 석탄 31.4%, 재생에너지 17.8%, 원자력 6.4%로 급격히 변화하였다.

2011년 후쿠시마 원전 사고 이후 원전의 비중은 대폭 감소하였으며, 석탄, 천연가스, 재생에너지가 원전의 역할을 대체하였다.

〈 일본의 원별 발전 비중 〉 (단위: TWh, %)

구 분	2000	2005	2010	2016	2017	2018 ^P
발전량 (TWh)	1,055.0	1,099.4	1,164.0	1,054.7	1,061.0	1,018.4
• 석탄	21.1	26.6	26.7	33.1	33.2	31.4
• 석유	12.7	12.3	8.2	7.8	6.6	5.1
• 천연가스	24.5	22.5	28.0	39.6	37.5	35.4
• 원자력	30.5	27.7	24.8	1.7	3.1	6.4
• 재생에너지	9.2	8.9	9.6	14.2	15.8	17.8

일본 전체 신재생에너지 발전의 80%가량이 수력과 태양광으로부터 산출되고 있다. 일본 2050년 탄소중립 실현을 위한 녹색성장전략(‘19.12월)에 따르면 해상풍력은 2030년까지 10GW, ‘40년까지 30~45GW 도입을 목표로 하고 인프라를 확대해 나갈 계획이다.

원전의 경우 재가동을 추진 중이나, 안전규제로 인한 수익성 악화로 원전 21기 폐로를 결정하였으며, 지자체는 재가동을 반대하는 입장이다.

〈 일본 원전 운영 현황 (‘19.8월 JAIF 기준) 〉

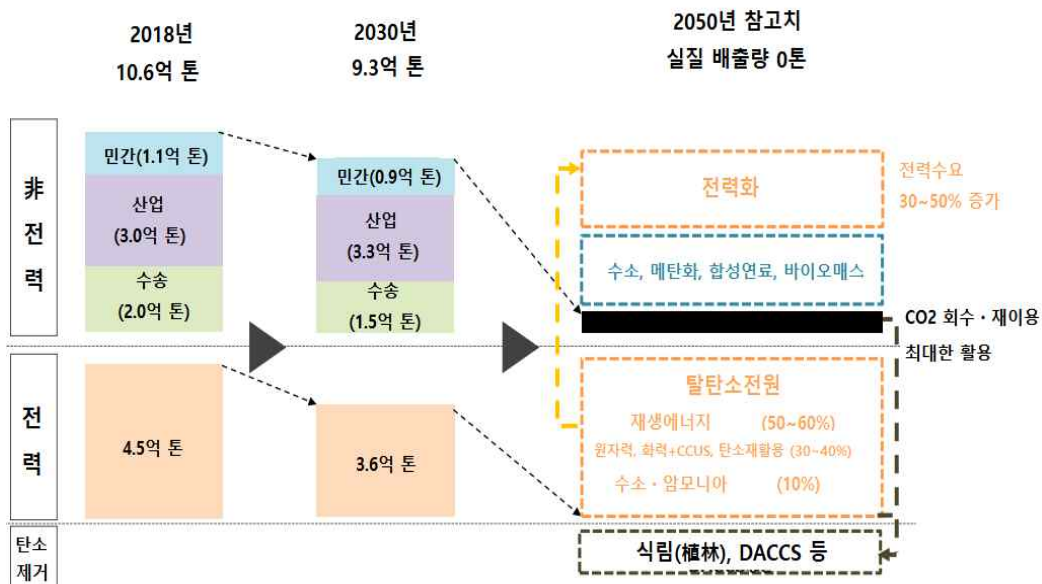
합 계	폐로확정	재가동 미신청	재가동 신청		
			재가동 심사중	지자체 협의 중	재가동중
54기	21기	8기	9기	7기	9기

< 일본의 2050 탄소중립 실현을 위한 녹색성장전략 보고 >

1. 개요

- 일본은 2050년 탄소중립을 위해 녹색성장전략을 수립·발표(12.25)
 - 日 정부는 기후변화 대응을 경제발전 제약 또는 비용 상승 요인이 아닌 새로운 성장의 기회로 삼고 경제와 환경의 선순환을 도모
 - 동 전략은 2050년 탄소중립 달성 방안으로 전력 부문 탈탄소화, 산업·수송·가정 부문 전력화, ESS 확대·비용 절감 등을 강조
 - '50년 전력수요는 산업, 수송, 가정 부문의 전력화에 따라 현재 보다 30~50% 증가할 것으로 전망
 - '50년 발전량의 약 50~60%는 신재생으로, 나머지는 원자력·화력 +CCUS·탄소재활용(30~40%), 수소·암모니아(10%)로 충당할 계획

< 2050년 탄소중립 실현 이미지(CO2 배출량 감축) >



참고: DACCS(Direct Air Capture with Carbon Storage)는 탄소 직접 공기 회수 및 저장을 의미

2. 세부내용

□ 세계개혁, 규격·표준화 등의 정책 제시

- (기금 조성) 기술 개발·도입을 위해 NEDO에 향후 10년간 2조엔 규모의 '그린 이노베이션 기금' 조성
 - 이를 통해 민간기업의 연구개발·설비 투자 유치(15조엔)
- (세제 개정) 기업의 탈탄소화 투자를 지원하기 위해 세제 개정
 - 탈탄소화 효과가 높은 생산설비를 도입하거나 고부가가치 생산공정설비 도입 기업에게 최대 10% 세액공제 및 50% 특별 상각 제공
 - 코로나19 이전 대비 매출액이 감소(2% 이상)하였음에도 불구하고 탈탄소 R&D를 확대하는 기업에게 R&D 세액 공제 상한 확대*
- * 현재 법인세액의 25%인 것을 30%로 확대
- (규제완화·표준화) 실증단계를 거친 탈탄소화 기술(수소·해상풍력·EV·ESS)에 대한 수요를 창출하기 위해 규제개혁과 국제표준화 추진

3. 시사점

□ 日 정부는 탄소중립을 국가 발전을 위한 경제성장 전략으로 제시

- 이를 위해 기술개발과 기업지원, 민간투자 활성화, 법제도 정비 등의 내용을 이번 녹색성장전략에 복합적으로 제시
 - 농·축산 부문에 탄소흡수 등 탄소순환 개념을 적용하고, 화석연료 기반의 기존 소재를 대체하는 신소재 개발에도 역점
 - 수소와 함께 암모니아 이용 확대 관련 내용도 비중있게 제시

□ 2050년 탄소중립 달성을 장기 경제성장 전략으로 간주하고 기술주도의 산업화 방향을 제시하였다는 측면에서 많은 시사점을 제공

- 앞으로 부문별·지역별로 구체화될 세부 계획* 내용에도 주목하여 지속 관찰할 필요

* 日 정부는 지자체의 탈탄소 대응을 강화하여 2050년 탄소중립 목표를 실현하기 위해 '정부·지자체 탈탄소실현회의'를 통해 '21.6월 '지자체 탈탄소 로드맵'을 수립할 계획

4) 영국

영국의 발전량은 2000년 374.3 TWh에서 2018년 331.4 TWh로 점차 감소하여왔으며, 석탄발전의 발전비중이 2000년 32.7%에서 2018년 5.3%로 대폭 줄어든 반면, 재생에너지의 발전비중은 2.6%에서 33.5%로 급격히 증가하였다.

당초 재생에너지 발전비중목표는 2020년 31%로, 2018년 실적이 33.5%임을 고려할 때 목표를 조기달성한 셈이다.

< 영국의 원별 발전 비중 > (단위: TWh, %)

구분	2000	2005	2010	2016	2017	2018 ^P
발전량 (TWh)	374.3	395.4	378.9	336.3	335.4	331.4
· 석탄	32.7	34.5	28.7	9.3	6.9	5.3
· 석유	2.3	1.4	1.3	0.6	0.5	0.5
· 천연가스	39.6	38.6	46.4	42.6	40.8	39.6
· 원자력	22.7	20.6	16.4	21.3	21.0	19.6
· 재생에너지	2.6	4.3	6.9	24.7	29.6	33.5

신재생에너지는 풍력이 50%가량을 차지하고 있으며, 영국정부는 신재생에너지와 원전의 발전비중을 2018년 53.1%에서 2032년 80%까지 늘려나갈 계획이다.('17.10월 청정성장전략)

2019년 기후변화법 개정으로 2050년까지 탄소중립 목표를 법제화할 계획이다.

재생에너지 발전비중(%)					
소계	수력	태양광	풍력	바이오	기타
33.5	1.6	3.9	17.2	9.7	1.1

원전은 현재 15기를 원영 중이며, '30까지 노후원전 대체분을 포함하여 12기를 건설할 계획이다. 석탄발전소는 2024년까지 전면 폐지된다.

< 영국 에너지 백서 요약 >

1. 개요

- 영국 정부는 녹색산업혁명을 위한 10대 중점 계획*(11.18일)에 이어, 향후 에너지정책 방향을 담은 「에너지백서」를 발표(12.14일)

* 대중교통 친환경화, 수소, 원전, 해상풍력, 항공 및 선박 저탄소화, 고효율 건물, CCUS, 환경보호, 수송부문 탈탄소화, 녹색금융

2. 세부내용

- 이번 에너지백서는 ①소비자, ②전력, ③에너지시스템, ④건물, ⑤산업 에너지, ⑥석유·가스 등 총 6개 분야로 구성

① 소비자: 스마트미터기 도입 등을 통해 개별 가구의 효율 개선 및 에너지 비용 절감을 추진하며, 이를 위한 전력요금 개편*도 검토중

* 개편 취지: 생산자뿐 아니라 소비자 또한 가스·전기요금을 통해 에너지 탈탄소화 비용을 공정하게 부담해야 한다는 원칙에 바탕

- (요금 개편) 전력 사용시간 및 사용패턴*에 따른 차등 요금 부과, 전기차 특별요금 제도 도입 예정

* 가구별 에너지이용 패턴에 따라 자동으로 저렴한 요금체제로 전환되는 “opt-in switching” 제도를 구상하고 있으며 ‘24년부터 본격 시행될 예정

② 전력

- (신재생) ‘30년까지 해상풍력 40GW(‘19년 10GW)을 보급하고, 2년마다 CfD 경매*를 시행하여 ‘30년까지 신재생에너지 2배 이상 확충

* Contract For Difference: 발전사업자와 전력공급자간 행사가격과 기준가격 차이를 보장해주는 장기발전차액제도(‘14.4월부터 시행)

- (원전) 대형 원전 건설* 추진 및 소형·차세대 원전** 개발

* 향후 10년 내 수명을 다할 원전을 대체하기 위해 금번 의회회기(‘24년) 말까지 최소 1개 이상 대형 원전 사업(Hinkley Point C 등) 개시 결정 추진

** SMR에 £215백만, 4세대 소형원전(AMR)에 £170백만 등 총 £385백만 투자

- (넷제로 혁신 투자) 탄소중립을 위해 부유식 해상풍력, 차세대 원전, 바이오에너지 등을 주요 혁신기술로 선정하고 약 £10억 투입
- ③ 에너지시스템: 안정적 에너지 공급, 에너지가격 보장, 에너지전환 가속화를 위해 '50년까지 최종에너지 50% 이상*'을 전력으로 공급
 - * 나머지 50%은 수소, 가스, 석유, 바이오에너지 등으로 공급할 예정
 - (전력) 전력·가스 송배전망 확충, 스마트미터기 도입 등을 통해 스마트 전력시스템 도입 가속화
 - (디지털) 빅데이터 관리 시스템 도입, 민간의 데이터 접근성 개선 등을 통해 에너지 분야의 기술 발전과 서비스 혁신 도모
 - (수송) '30년부터 내연기관차 판매 금지, 항공·선박 운송 탈탄소화
- ④ 건물: 가정 및 상업용 건물의 에너지 효율을 개선하고, 90%에 달하는 화석연료 난방방식을 청정에너지원 중심으로 전환
 - (효율개선) 신축 주택 탈탄소화 기준 마련, 스마트미터기 설치 장려, 주택 개·보수 바우처 지급, 공공건물 개·보수 추진
 - (청정전환) 가정용 연료에 청정 수소 활용, 천연가스 내 바이오매스 비중 향상 등을 통해 난방방식을 전력화 또는 열펌프 중심으로 전환
- ⑤ 산업에너지: '50년까지 산업부문 배출량을 현재 대비 90% 감축을 목표로, 특히 제조업 분야에 청정 수소 및 CCUS 활용을 적극 장려
 - (계획안) 산업 부문 탈탄소화 장려를 위한 英 정부의 '산업 부문 탈탄소화 전략' 및 '수소 전략'을 '21년 상반기에 발표 예정
 - (배출권거래제) 브렉시트에 따른 EU-ETS(Energy Trading Scheme) 대체안으로 신규 배출권거래제 마련
- ⑥ 석유·가스: 석유·가스 기업의 사업 포트폴리오를 CCUS, 재생E, 수소 등으로 전환하는 것을 지원하기 위해 규제기반 마련 및 도입
 - (탈탄소화) 시추 활동에 필요한 전력을 재생에너지로 공급함으로써, '50년까지 영국 대륙봉 시추 활동을 탈탄소화로 전환
 - (자산활용) 석유·가스정 생산 활동 종료 시, CCUS 자산으로 전환하여 활용할 수 있는 방안 마련

제3장 4차 산업혁명 기술

1. 4차 산업혁명이란?

(1) 4차 산업혁명의 정의

4차 산업혁명에 대한 화두는 세계경제포럼⁶⁾의 창립자 중 한명인 클라우스 슈바프 Harvard 대학교 교수의 기고문을 통해 2015년 처음 제시되었다. 이후 2016년 세계경제포럼에서 4차 산업혁명에 대해 논의되면서 널리 알려지기 시작한 개념이다. 클라우스 슈바프는 포럼에서 급격히 발전하고 있는 기술에 의해 우리의 삶과 일 뿐만 아니라 사람 간의 관계도 변화되고 있다고 언급하며, 다가오는 4차 산업혁명의 범위, 강도 및 복잡성 등을 감안할 때 전지구적인 대응이 필요하다고 역설하였다.

4차 산업혁명에 대한 정의는 아직까지 명확하지 않다. 클라우스 슈바프는 디지털 시대를 시작한 3차 산업혁명에 기반한 기술 간의 융합으로 특징지어진다고 주장하면서, 구체적으로는 유비쿼터스, 인터넷, 발전된 센싱 기술, 인공지능, 머신러닝⁷⁾ 등이 4차 산업혁명의 특징이며, 단순히 기기와 시스템을 연결하고 지능화하는데 그치지 않고, 광범위한 범위까지 아우른다고 주장하였다. 유전자 염기서열분석에서 나노기술, 재생에너지, 양자 컴퓨팅까지 넓은 분야에서 거대한 진보가 동시다발적으로 일어나고 있으며, 이 모든 기술이 융합하여 물리적, 디지털, 바이오 영역이 상호교류하는 4차 산업혁명은 과거의 산업혁명과는 근본적으로 궤를 달리한다고 밝혔다⁸⁾.

한국의 4차 산업혁명위원회는 4차 산업혁명은 인공지능, 빅데이터 등 디지털 기술로 촉발되는 초연결 기반의 지능화 혁명으로 산업 뿐만 아

6) 세계 각 나라의 정부, 의회, 기업 유력인사와 언론인, 학자 등이 세계 경제 이슈에 대한 논의를 위해 조직한 포럼으로 클라우스 슈바프(Klaus Schwab) Harvard대학교 교수가 창립하였으며, 다보스 포럼이라고 불린다.

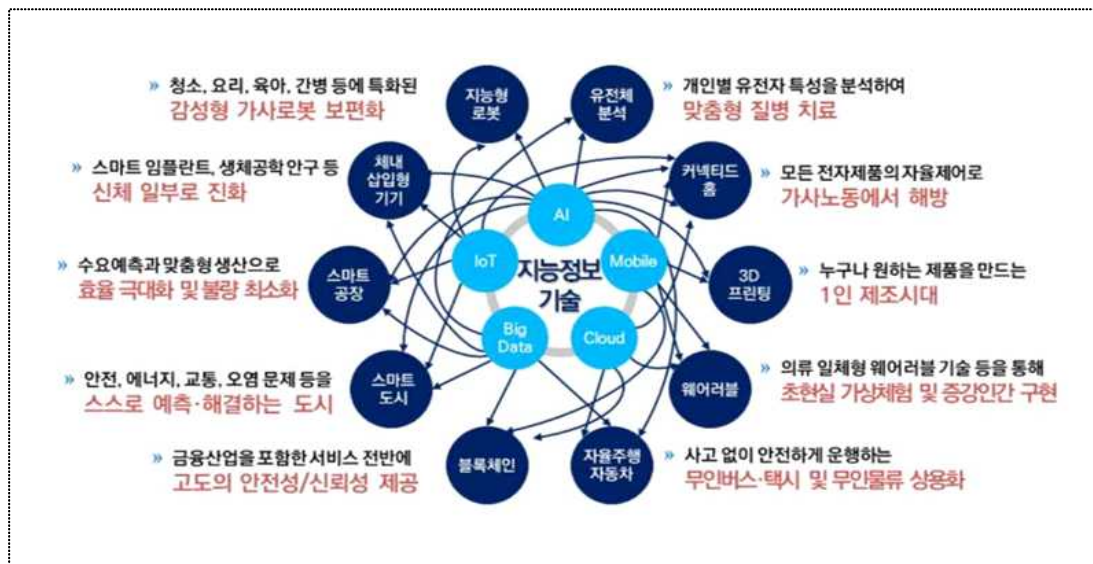
7) 컴퓨터를 인간처럼 학습시켜 스스로 규칙을 형성하도록 하는 학습법으로, 컴퓨터에게 충분히 많은 데이터를 주고 일반적인 패턴과 규칙을 찾아내게끔 하는 학습법을 말한다.

8) Klaus Schwab(2016). *The Fourth Industrial Revolution(World Economic Forum)*

나라 국가 시스템, 사회, 삶 전반의 혁신적 변화를 유발한다고 규정하면서, 모든 것이 네트워크에 초연결되어 데이터가 폭발적으로 증가하고, AI가 이를 스스로 학습하여 육체노동 뿐만 아니라 지적 판단기능도 수행 가능하게 되는 것으로, 네트워크(IoT, 5G), 데이터(Cloud, Big Data), 인공지능(머신러닝, 알고리즘) 등 지능화 기술이 각 분야의 기반 기술과 융합하여 범용으로 영향을 미치는 핵심동인이라 밝혔다.

과학기술정보통신부는 지능정보기술을 바탕으로 기계의 지능화를 통해 생산성이 고도로 향상되어 산업구조가 근본적으로 변하는 것으로 정의하였고, 이에 따른 기존 산업구조 변화로 인해 현재 산업의 일자리 및 업무 특성이 변화하고 더 나아가 국민의 삶에 큰 영향을 주는 것이라 하였다.⁹⁾

< AI, 빅데이터 등 지능정보기술과 타 기술간의 융합(과기부, '16) >









결론적으로, 4차 산업혁명은 디지털 기술과 센싱 기술의 발달에 따라 다양한 영역에서 생성되고 있는 빅데이터와 머신러닝, 딥러닝 등 고도화되고 있는 인공지능을 기반으로 대용량 데이터 통신, IoT 등 초연결을 통해 광범위한 분야에서 일어나고 있는 혁신적인 변화라고 요약할 수 있다.

9) 관계부처 합동(2016.12). 제4차 산업혁명에 대응한 지능정보사회 중장기 종합대책

(2) 4차 산업혁명의 핵심기술

세계경제포럼 산하 ‘4차 산업혁명 네트워크 센터¹⁰⁾’에서는 6개 분야에 중점을 두고 정책 프레임워크와 거버넌스 프로토콜을 공동 설계하고 시험 중에 있으며, 인공지능, IOT, 블록체인, 빅데이터, 우주항공 및 통신 기술을 주요 기술로 보고 있다.

< 4차 산업혁명 6대 핵심 분야(WEF, ‘21)>

 <p>① Artificial Intelligence and Machine Learning</p>	 <p>② Internet of Things and Urban Transformation</p>	 <p>③ Blockchain and Digital Assets</p>
 <p>④ Data Policy</p>	 <p>⑤ Frontier Technologies</p>	 <p>⑥ Space, Communications and Aerial Technologies</p>

한국의 4차 산업혁명위원회에서는 앞서 언급한 바와 같이 네트워크 (IoT, 5G), 데이터(Cloud, Big Data), 인공지능 SW(머신러닝) 등 지능화 기술이 각 분야에 영향을 미치는 핵심기술로 보고 있다. 한국 정부는 제조, 수송기기 등 산업영역 뿐만 아니라 교통, 복지, 의료 등 사회문제 해결 등 다양한 분야에 4차 산업혁명 핵심기술을 적용을 추진하고 있다.

10) 4차 산업혁명 기술로 인한 혜택과 이익을 증대시키기 위한 전세계 협력 허브로서, 14개국에 센터를 보유. 정부, 기업, 학계 및 시민사회가 협력하여 기술편익 극대화 등을 위한 거버넌스 모델 개발 및 테스트를 진행 중

< 4차 산업혁명 분야별 주요 추진 과제(4차 산업혁명위, '17.11월) >

분야	적용기술	추진과제
의료	AI, Big Data	신약 개발
	AI	의료 로봇
제조	AI	지능형 제조로봇
	Big Data	제조업의 서비스화 ¹¹⁾
	3D 프린팅	3D 프린트
수송기기	AI	자율 주행차
	AI	드론
에너지	AI, Big Data	스마트 그리드
	IoT	신재생자원지도
금융	AI, 블록체인	핀테크
물류	AI, IoT	스마트 물류센터
농수산업	AI, Big Data	스마트 팜, 스마트 양식 등
재해대응	Big Data, IoT	스마트 재해대응 체계
도시	Big Data	스마트 시티
교통	Big Data, IoT	지능형 교통·교통안전 시스템
복지	AI, 웨어러블	돌보미 로봇, 웨어러블 슈트
	Big Data	사회 취약계층 발굴
안전	AI, IoT	시설물 안전예측 시스템
국방	AI	경계감시 시스템
	VR/AR	전투 훈련 시뮬레이터

특허청에서는 4차 산업혁명의 특허 지원에 적합하도록 4차 산업혁명 관련 기술은 4차 산업혁명 ICT기반 기술, 융합서비스 분야, 산업기반 기술로 분류를 하였다. 4차 산업혁명 ICT 기반기술로는 인공지능, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅, 차세대 통신, IoT 등을 제시하였다.

< 신특허 분류체계 개요(특허청 ' 18) >

4차 산업 ICT 기반기술 (Z01)	인공지능 (Z01A)	빅데이터 (Z01B)	클라우드 컴퓨팅 (Z01C)	차세대통신 (Z01T)	IoT (Z01I)
융합 서비스 분야 (Z03)	지능형 로봇 (Z03R)	자율 주행차 (Z03V)	드론(무인기) (Z03D)	가상증강현실 (Z03A)	스마트시티 (Z03C)
	맞춤형 헬스케어 (Z03H)	혁신신약 (Z03M)			
산업 기반기술 (Z05)	지능형 반도체 (Z05S)	첨단소재 (Z05M)	신재생 에너지 (Z05E)	3D 프린팅 (Z05P)	

11) (사례) GE는 항공기 엔진, 발전기 터빈 등의 원격진단, 예방정비 등을 통해 제조 서비스 매출을 극대화('14)
하기스는 기저귀에 센서를 부착하여 상태 모니터링, 알림 등 토털 케어 서비스를 제공('13)

과학기술정보통신부는 4차 산업혁명의 동인으로 인공지능 기술과 데이터 활용기술을 지목하였다. 여기서 인공지능 기술은 인간 정보처리 활동의 원리를 분석하는 기술과 ICT를 통해 이를 구현하는 인공지능 SW 및 HW 기술을 의미하고, 데이터 활용기술은 인공지능의 빠른 성능 향상과 보급·확산을 위한 핵심 기반인 데이터 수집·전달·저장·전달하는 기술로서 각종 데이터를 수집하고 실시간으로 전달하며 (IoT·Mobile), 수집된 데이터를 효율적으로 저장하고 그 의미를 분석 (Cloud·Big Data)하는 기술을 의미한다.

< 4차 산업혁명의 동인 : 지능정보화 기술(과학기술정보통신부 '16년)>



정리하자면, 4차 산업혁명의 핵심기술에 대해서는 명확하게 규정된 바는 없으나, 다양한 분야에 활용될 수 있는 요소기술이자 사회 전반에 혁신을 유발하고 광범위한 사회·경제적 파급력을 가진 4차 산업혁명의 핵심기술로는 인공지능 기술과 빅데이터 기술을 꼽을 수 있을 것이다. 다음절에서는 인공지능 기술과 빅데이터 기술을 보다 구체적으로 살펴보도록 하겠다.

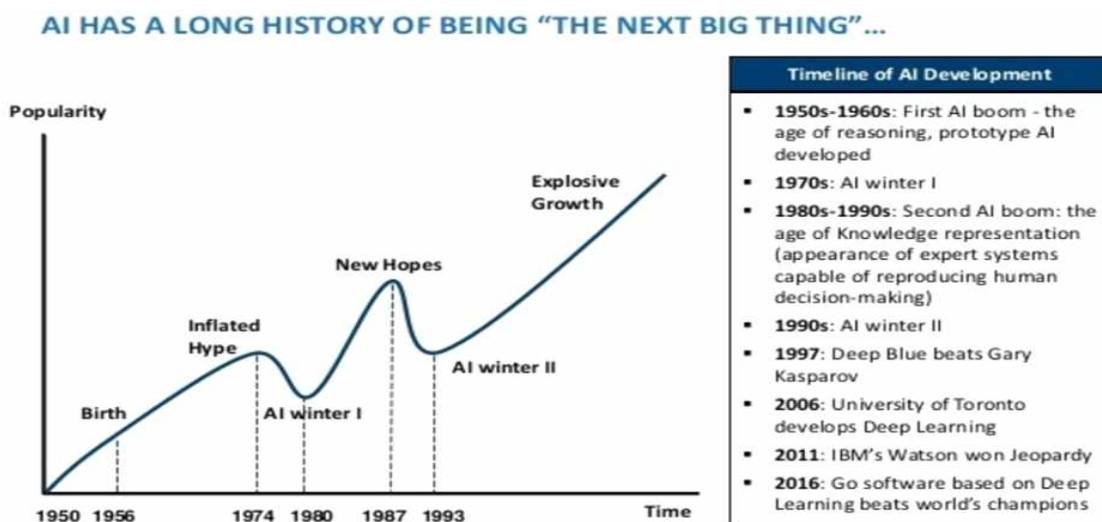
2. 인공지능 기술

인공지능(Artificial Intelligence)이란 용어는 1956년 미국의 다트머스 대학교(Dartmouth College) 수학과 교수인 존 매카시(John McCarthy)가 인공지능이란 용어를 처음 사용한 것으로 알려져 있다.

과학기술 정보통신부는 인공지능을 인간의 지적능력을 컴퓨터로 구현하는 과학기술로서, 상황을 인지하고, 이성적·논리적으로 판단·행동하며, 감성적·창의적인 기능을 수행하는 능력까지 포함하는 것이라고 정의하였다.¹²⁾

1950년대 인공지능이 처음 등장하던 시기에는 인공지능에 대한 기대가 컸으나, 과도한 기대와 이론적인 연구 대비 컴퓨팅 능력 부족 등으로 1980~90년대에 쇠퇴기를 겪었다. 그러나 80년대 이후 머신러닝과 딥러닝의 등장하고, 컴퓨팅 능력이 향상됨에 따라 인공지능은 다시금 각광을 받기 시작했다. 2016년 3월 구글사의 딥마인드(DeepMind Technologies Limited)가 개발한 ‘알파고(AlphaGo)’ 라는 인공지능과 이세돌간의 대결이 그 단적인 예다.

<인공지능의 부흥기와 쇠퇴기¹³⁾>



12) 과학기술부(2019.12). ‘인공지능 국가전략’

13) Milton Lim(2018). ‘History of AI Winter.’

인공지능 기술은 하나의 기술이 아니며 구현 방법도 매우 다양하나, 크게 규칙 기반 방법과 신경망(데이터) 기반 방법으로 구분할 수 있다.

규칙기반 방법은 초기에 인공지능 연구가 집중되었다 분야로, 사람이 설정한 규칙에 따라 컴퓨터가 작동하도록 하는 시스템을 말한다. 사람은 컴퓨터가 원하는 동작을 수행할 수 있도록 최적의 규칙을 찾아내고 이를 프로그래밍화하여 인공지능 시스템을 만드는 것이다. 보다 구체적으로는 인간의 지식과 경험을 규격화하고 규칙화하여, 이를 프로그래밍상에 'IF A, Then B' (만약 A라면, B를 해라)의 구조를 가진 논리를 바탕으로 인공지능을 구현하는 것이다.

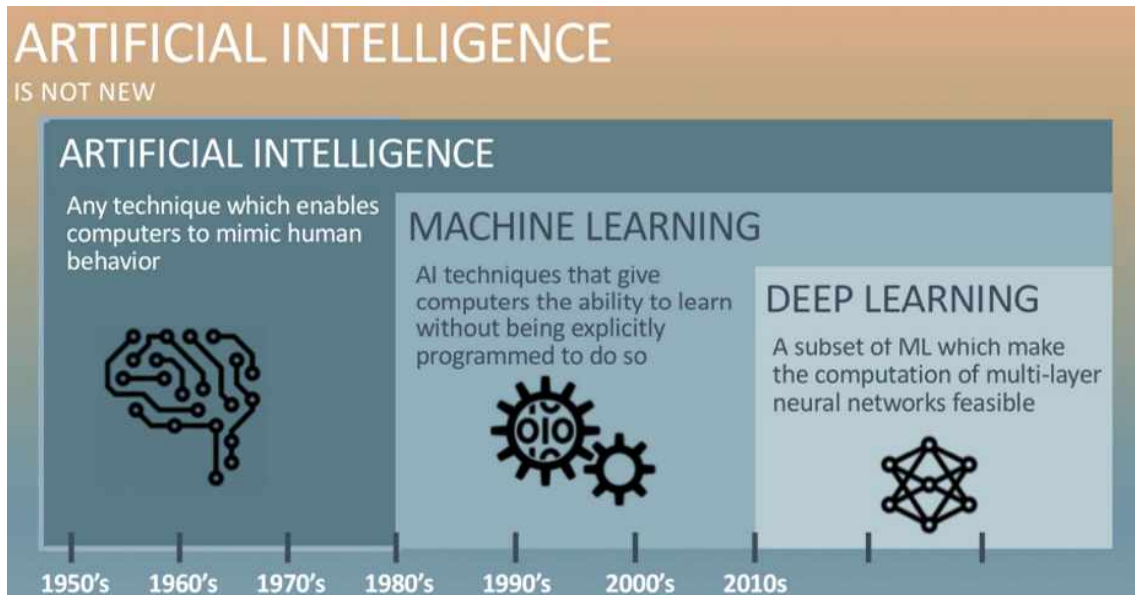
1970~80년대에 규칙기반 인공지능은 특정분야 전문가의 지식을 데이터베이스화하고, 사용자의 질문에 대한 답을 찾는 것을 목표로 하여, 의료진단 및 법률 자문 전문가 시스템에 대한 대규모 투자가 있었으나, 기대한 수준에 미치지 못하여 크게 활용되지 못하였다. 활용이 미진했던 이유에는 주변 상황에 대한 고려와 중의적 의미 파악이 필요한 인간의 지식을 명확히 프로그래밍화하기 어려운 부분이 있고, 보다 명확한 작동을 위해서는 보다 자세한 규칙을 지속적으로 찾아야하는 어려움이 있으며, 일부 규칙에서 오류가 발견되었을 경우, 이를 기반으로 하는 후속 규칙을 모두 수정해야 하는 등 관리에 애로도 있었기 때문이다.

반면, 신경망(데이터) 기반 방법 중 가장 잘 알려진 것이 머신 러닝(Machine Learning)이다. 머신러닝은 충분한 데이터가 제공이 되면 컴퓨터가 데이터를 학습하여 필요한 규칙을 추론해 내는 방법이다. 사람은 추론에 필요한 데이터를 수집·정제하여 시스템에 제공하여 학습을 지원하고 시스템은 그 학습을 기반으로 하여 추론을 수행하는 것이다.

머신러닝에서 보다 고도화된 것이 딥러닝이다. 딥러닝은 향상된 컴퓨팅 능력과 특수한 유형의 신경망간 결합을 통해 대용량 데이터에서도 복잡한 패턴을 학습할 수 있다. 또한 기존 머신러닝에서는 사람이 수

집된 데이터에서 주요 특징을 선별하여 훈련 데이터를 설정하였으나, 딥러닝 수집된 데이터 전체를 훈련 데이터로 학습하여 시스템의 주요 특징을 자동적으로 추출하는 것도 불가능한 것은 아니다.

< 인공지능, 머신러닝, 딥러닝 간의 관계¹⁴⁾ >



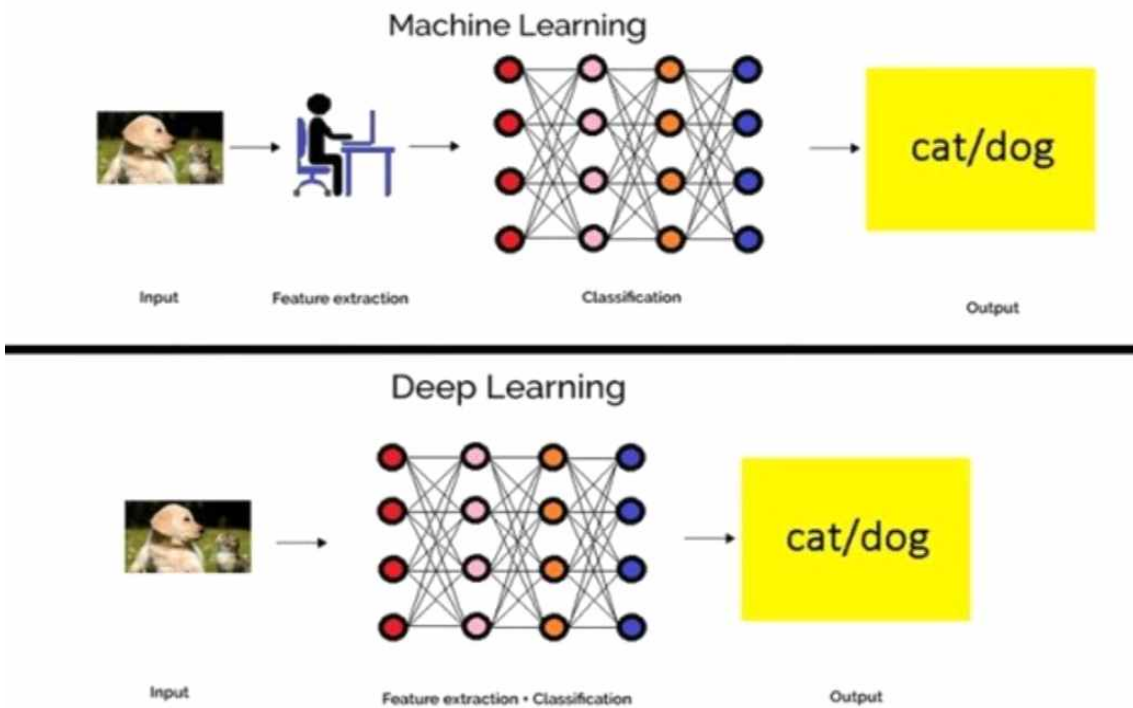
예를 들어, 기존의 규칙기반 인공지능의 경우 강아지와 고양이 사진을 놓고 강아지를 구별해내게 하려면 강아지가 고양이와 다른 특징적인 규칙을 사람이 입력을 해주어야 한다. 그러나, 강아지만의 특징적인 규칙을 찾은 것은 쉽지가 않다. 예를 들어 강아지의 특징으로 발이 4개, 털이 있는 것, 꼬리가 있는 것 등을 제시해봐야 인공지능은 고양이와 강아지 사진을 구별을 하지 못한다. 또한, 강아지와 고양이의 눈의 모양이 다르다는 점은 사람이 인식할 수는 있지만 규칙기반 인공지능에게 인식하게 하는 것은 어려운 작업이다.

반면, 머신러닝에서는 강아지와 고양이의 사진을 인공지능이 학습하면서 강아지와 고양이의 특징적인 부분을 추론해 낸다. 사람이 강아지와 고양이의 눈의 모양, 몸체 외형으로 구별해보라 지시하면 인공지능은 강아지와 고양이의 눈의 모양이나 몸체 외형에 대해 통계적으로 특

14) Peter Jeffercock (2018). 'Whats the Difference Between AI, Machine Learning, and Deep Learning?'

정적인 규칙을 찾아낸다. 이를 통해 머신러닝 인공지능은 학습한 사진들 외에 다른 강아지나 고양이 사진이 제시되었을 때에도 강아지와 고양이를 구분해 내는 것이다.

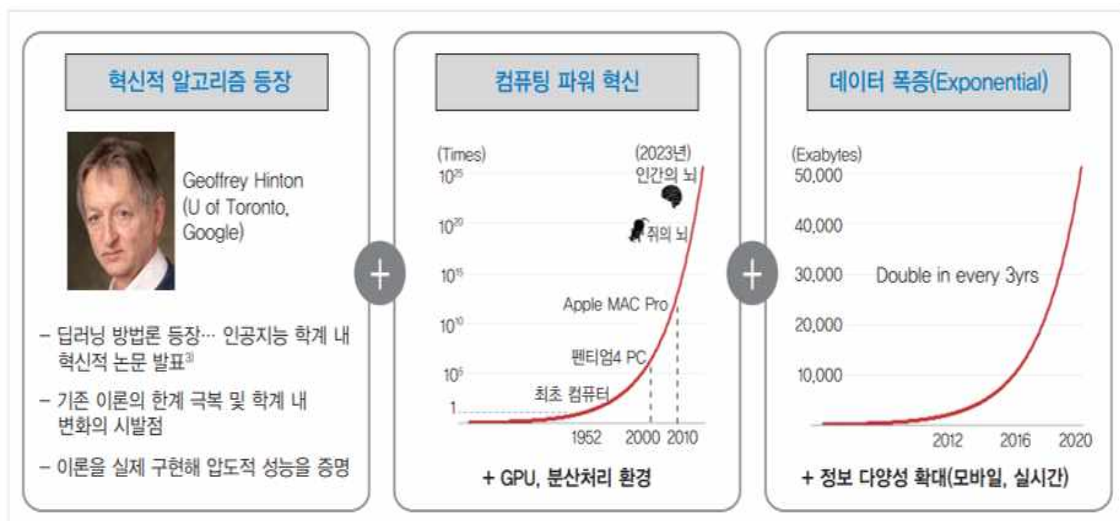
딥러닝의 경우에는 강아지와 고양이의 사진을 인공지능이 입력받으면, 인공지능은 사진들에서 고양이와 개의 특징적인 규칙을 찾아낸다. 인공지능이 찾아낸 특징적인 규칙에는 눈의 모양, 몸체 외형이 포함될 수도 있고 또 다른 특징적인 규칙이 포함될 수도 있다. 인공지능은 스스로 찾아낸 특징적인 규칙을 통해 학습한 사진 외에 다른 사진이 제시되더라도 특징적인 규칙에 의거하여 고양이와 강아지를 구분해내는 것이다.



< 머신러닝과 딥러닝의 차이 >

딥러닝이 수집된 데이터 전체를 훈련데이터로 학습하여 사람이 아닌 인공지능이 주요 특징을 자동적으로 추출하는 점은 딥러닝의 강점이기도 하지만, 딥러닝의 인공지능이 추출한 특징을 명시적으로 확인하기 어려워 인공지능의 판단에 대한 당위성이 확보되지 않는 점은 약점으

로 꼽힌다.¹⁵⁾ 예를 들어 훈련 데이터의 내용과 양에 따라 딥러닝의 인공지능은 사진속 객체가 누워있느냐 서 있느냐를 강아지와 고양이의 구분기준으로 할 수도 있기 때문이다. 딥러닝이 보다 정확히 이루어지기 위해서는 대량의 학습데이터가 필요하며, 특징적인 규칙을 찾아내기 위한 컴퓨팅 자원도 머신러닝이나 기존의 규칙기반 인공지능에 비해 많이 소모하게 된다. 최근 인공지능 급격히 발전된 것은 우수한 딥러닝 알고리즘에 빅데이터를 통한 다량의 학습데이터 확보와 고성능 컴퓨팅이 가능해졌기 때문이다.



< 인공지능 발전의 핵심요소¹⁶⁾ >

딥러닝이 빅데이터와 컴퓨팅 자원이 뒷받침 될 경우 가장 강력한 성능을 보이지만, 머신러닝이나 규칙기반의 인공지능 등 여타 기술들이 배제되지는 않는다. 각각의 인공지능 기술이 고유의 장단점이 있기에 과제의 특징에 따라 인공지능 기술을 조합하여 최적의 솔루션을 찾는 것이 중요하다. 알파고의 경우에도 이세돌 9단과의 대국시에 딥러닝 기술외에도 무한대에 가까운 경우의 수를 획기적으로 줄이기 위한 탐색트리 기술, 기계간 대국을 통한 강화학습 등이 조합되어 활용되었다고 한다.¹⁷⁾

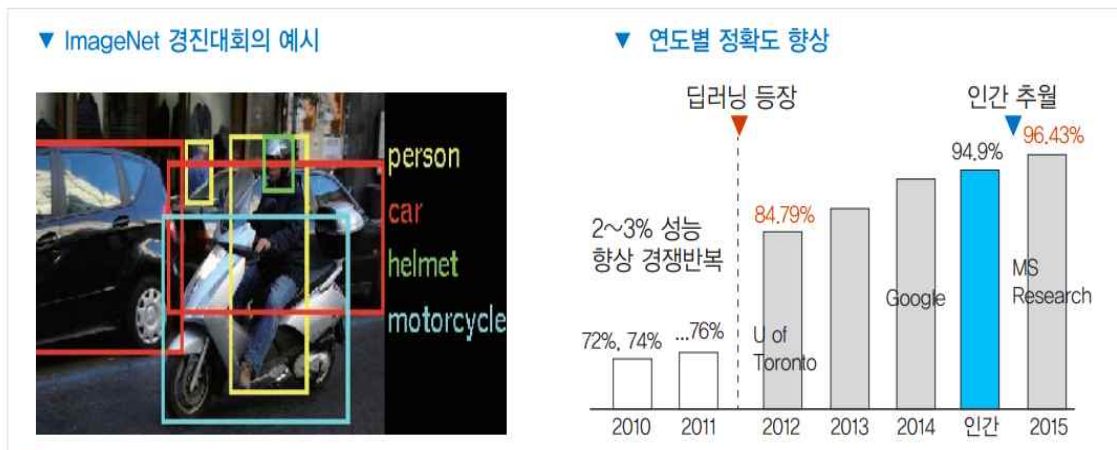
15) 이러한 특징 때문에 딥러닝을 ‘블랙박스(Blackbox)’ 모델로 부르기도함
 16) LG 경제연구원 이승훈(2017). ‘최근 인공지능 개발 트렌드와 미래의 진화방향’
 17) 최계영 정보통신정책연구원(2016). ‘알파고의 충격 : 인공지능의 가능성과 한계’

인공지능은 연구계 뿐만 아니라 산업계에서도 활발하게 사용되고 있다.

인공지능은 일부 영상인식 분야에서는 인간의 한계를 뛰어 넘었다고 알려져 있으며, 자연어 처리 등 음성인식 분야에서도 인간의 능력에 근접해가고 있다.

스탠포드의 영상인식 경진대회인 ImageNet에서 2015년 우승한 마이크로소프트사의 영상인식 프로그램의 영상인식 정확도가 96.43%를 달성하며, 인간의 영상인식 정확도인 94.9%를 추월하였고. 최근 오픈 AI사에서 개발한 GPT-3 시스템은 자연어 처리를 통하여 사람과 일정 수준의 대화가 가능하고, 작문수준도 수준급에 이르렀다고 한다¹⁸⁾.

<ImageNet 경진대회 결과 >



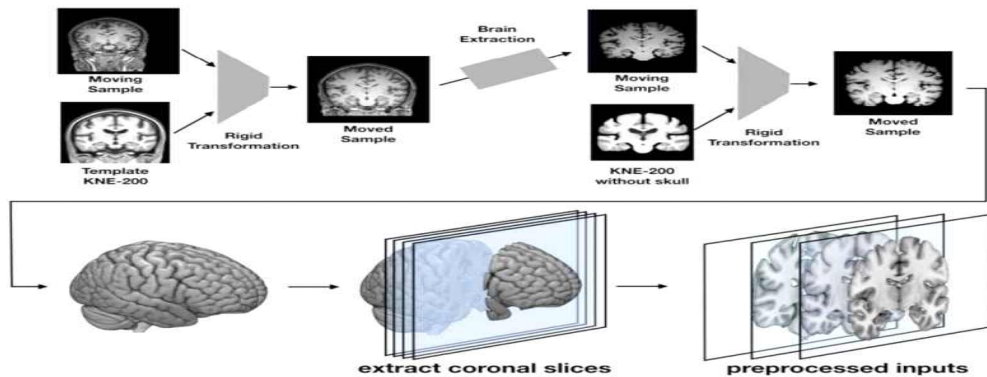
딥러닝 기술을 적용한 인공지능은 바둑이나 전략시뮬레이션 게임 등 일부에서는 이미 인간의 한계를 넘은 것으로 보인다. 딥마인드사의 알파스타는 전세계스타크래프트 상위 0.2%에 포함되는 것으로 보이고, Open AI사가 개발한 인공지능은 실시간 전투게임인 Dota2 팀플레이에서 세계 우승을 차지한 바 있다.

18) Brown(2020). 'Language Models are Few-Shot Learners'

의료, 신약개발, 소재 연구 등의 연구개발 분야에서도 딥러닝의 활용이 활성화되고 있다.

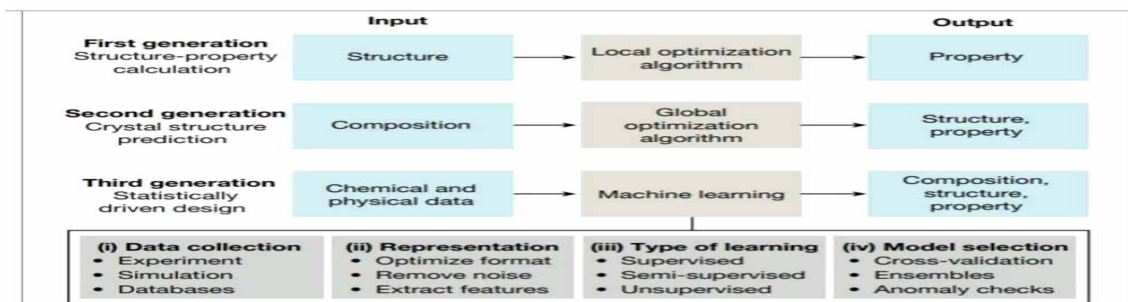
신약개발 기업인 Insilico Medicine사는 기존에 알려진 화합물질 정보를 학습시켜 새로운 저분자 화합물 구조 도출에 성공하였고, 분당 서울대병원은 그간 조기진단이 어려웠던 알츠하이머 진단에 딥러닝 기술을 MRI에 활용하여 1분 이내 반변이 가능한 시스템을 개발하였다.

< 딥러닝을 활용한 알츠하이머 진단 >



삼성전자는 OLED소재 개발시 AI를 활용하여 36,000종의 화학구조 중 딥블루 OLED소재에 적합한 2종의 신규 화학구조를 발견(2018년)하였고, LG사이언스파크에서는 친환경 촉매와 차세대 광학소재 개발을 위해 프랑스의 토탈사, 캐나다의 토론토대학, 맥마스터대학 등과 함께 인공지능 기술을 활용한 화학소재 개발 컨소시엄을 결성(2020년)하였다.

< 딥러닝을 통한 소재연구¹⁹⁾ >



19) Zhavoronkov, A. et al. (2019). Deep learning enables rapid identification of potent DDR1 kinase inhibitors, Nature Biotechnology

딥러닝 기술은 고도로 복잡한 작업에도 적용할 수 있다. 특히 자율주행차 및 로봇틱스 분야의 진보를 딥러닝이 선도하고 있다. 구글, 우버 등 IT 업체와 기존 완성차 업체도 자율주행차 시장을 선도하기 위해 딥러닝 기반 인공지능 개발에 전력을 다하고 있다.

서비스 분야에서도 인공지능을 활발하게 활용되고 있다. 네이버는 자체 인공지능 플랫폼인 클로바를 통해 뉴스, 쇼핑, 번역 등의 서비스 역량을 강화하고 있고, 카카오는 카카오톡이라는 플랫폼을 활용하여 다음뉴스, 카카오 맵, 카카오 택스 등의 서비스를 고도화하고 있다. 금융분야에서도 한화생명은 딥러닝 기법을 활용한 보험금 청구 자동 심사 시스템을 도입하여 전체 심사의 25%이상을 자동화하였고, 기업은행은 인공지능을 활용한 부동산 담보 대출 자동심사 시스템을 구축하여 운영 중에 있다.

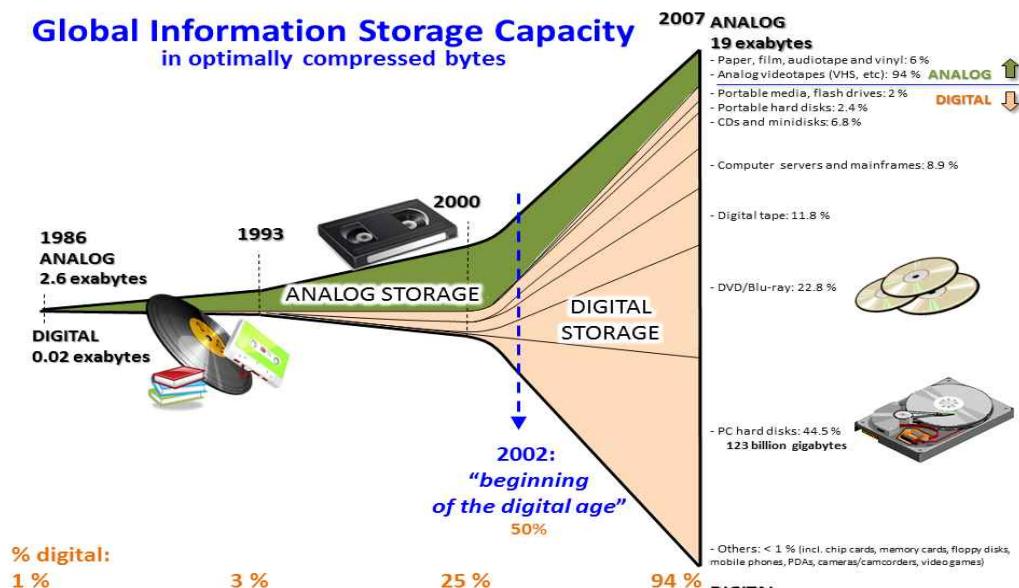
< 금융분야 인공지능 활용 사례 >

회사	시스템	효과
기업은행	AI 부동산 자동심사시스템	부동산 담보대출 절차 및 시간단축
한화생명	딥러닝을 활용한 실손보험 자동지급심사 시스템	심사정확도 개선 보험금 지급 기간 단축
삼성카드	AI 데이터분석을 통한 간편식 업종 개인화 마케팅	협업기업 3개사 매출 4.6배 증가

3. 빅데이터 기술

1990년대 이후 본격화된 개인용 컴퓨터와 모바일 기기 보급 확산, 인터넷의 보편화로 정보화 사회에 들어선 이후 IoT와 각종 센서가 일상화되고 디지털화가 진전됨에 따라 과거 아날로그 시대와는 달리 엄청난 양의 데이터가 우리 사회에 축적되고 있다. 이른바 ‘빅데이터’ 환경이 도래한 것이다.

<Growth and digitization of global information storage capacity²⁰⁾>



‘빅데이터’에 대한 통일된 정의는 없으나, 간단하게는 기존의 방법으로서는 처리하기 힘든 크고 복잡한 데이터의 집합으로 볼 수 있다.

‘빅데이터 기술’은 보다 대량의 데이터를 수집, 저장, 분석 뿐만 아니라 활용까지 포함하는 일련의 기술을 의미한다. 보다 기술적으로는 기존의 관리 체계나 분석 방법으로는 다루기 어려운 방대한 양의 정형, 비정형 데이터를 수집, 저장, 관리, 분석, 시각화하는 정보통신 기술분야를 일컫는다.²¹⁾ 우리가 흔히 언급하는 ‘빅데이터’라 함은 ‘빅데이터 기술’을 의미한다 볼 수 있다.

20) Hilbert, Martin; López, Priscila (2011). "The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information". Science. 332 (6025): 60-65. Bibcode:2011Sci...332...60H.

21) 정보통신용어사전

빅데이터 기술은 앞서 언급한 바와 같이 데이터의 생산·수집, 데이터 저장·관리, 데이터 분석·활용 기술 등으로 나누어 질 수 있다²²⁾. 아래에서는 빅데이터 기술의 동향에 대해 살펴보도록 하겠다.

데이터를 활용하기 위한 첫걸음은 데이터를 확보하는 것이다. 데이터를 직접 생산하거나 외부에서 데이터를 수집하는 방법이 있다.

데이터 생산측면에서 살펴보면 기존 데이터베이스 시스템에서는 조직 내에서 사용하고 있는 업무용 애플리케이션을 통해 정형화된 데이터를 입력하여 생산하는 방법이 주류를 이루었다. 상품매장에서 입력하는 고객관리, 재고관리 등 각종 정형화된 데이터들이 이에 해당한다. 최근에는 데이터 자동 생산 방식이 주목을 받고 있다. IoT기술이 확산됨에 따라 데이터 생산방식도 다양해지고 있다.

< 사물인터넷 데이터 생산 방식(2020데이터산업백서) >

구분	데이터 생산 방식
스마트 홈	구글 네스트 CCTV, 기상정보 연계, LED/온도 센서 네트워킹
	애플 홈킷 잠금장치, 조명, 카메라, 온도 조절, 플러그, 스위치 등과 아이폰 연결
스마트시티	스마트 주차장 바닥 센서 네트워킹
	스마트 표지판 디지털 방향조절 표지판과 연결
스마트 물류	아마존 물류 창고 로봇 '키바' 제어센터와 운반 로봇 통신
	스마트 사물함 디지털사물함과 스마트폰 연결
스마트 카	볼보 커넥티드 카 충돌센서 정보 수집, 차량 제어 기능 등 스마트폰 연결
	폭스바겐 커넥티드 카 + 스마트 홈 서비스 차량 제어 기능에 집안의 조명, 난방, 가전기기 제어 기능 연결

데이터 수집기술은 데이터의 형태나 종류에 관계없이 수집할 수 있어야 한다. 이를 위해서 데이터 형태나 종류에 따라 수집 방법이 달라지게 되며, 수집된 데이터는 가공 재생산될 수 있어야 한다.

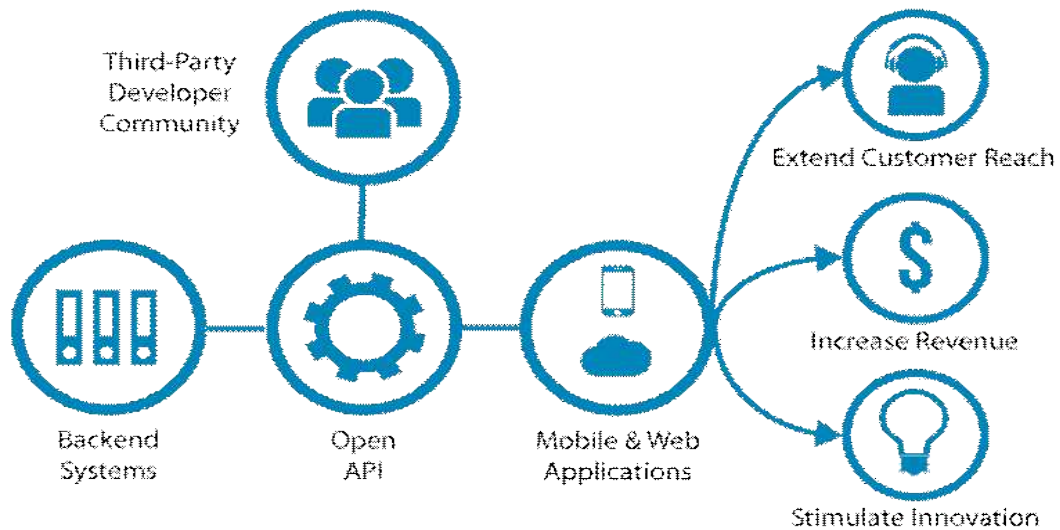
기업내외부에서는 서로 다른 어플리케이션을 유기적으로 연동하기 위

22) 2020년 데이터 산업 백서

한 환경구축을 위해 EAI²³⁾/ESB²⁴⁾ 등의 기법을 주로 사용하여 데이터 수집·저장등에 활용하고 있다.

최근에는 Open API²⁵⁾를 통한 데이터 수집 방식이 각광을 받고 있다. Open API에서는 데이터 소유 주체가 웹 개발자나 사용자를 위해 데이터를 정해진 프로토콜로 공개하고, API관리 플랫폼에서는 각 서비스의 API를 안전하게 공유하고 쉽게 사용할 수 있도록 개발자 포털을 제공한다. API 관리자는 API서비스 들이 어떻게 사용되고 운영있는지를 분석하고, 그 외 API의 트렌드 확인 등 API에 대한 전반적인 관리기능을 제공해야 한다.

< Open API 비즈니스 모델 >



Open API를 활용할 경우 개인이나 기업이 준비된 정보와 인터페이스를 가져와 다양한 방법으로 활용할 수 있다. 예를 들어 포털사이트가 제공하는 지도서비스를 활용하여 맛집 정보, 대중 교통 운영정보 서비스를 앱으로 구현하여 제공하는 것이 매우 용이해진다. 현재 네이버, 구글, 페이스북 등의 IT기업들은 Open API를 활용하여 지도, 음악, 날씨 등 다양한 자료를 공개하고 있으며, 한국 정부에서도 도로명주소조

23) Enterprise Application Integration

24) Enterprise Service Bus

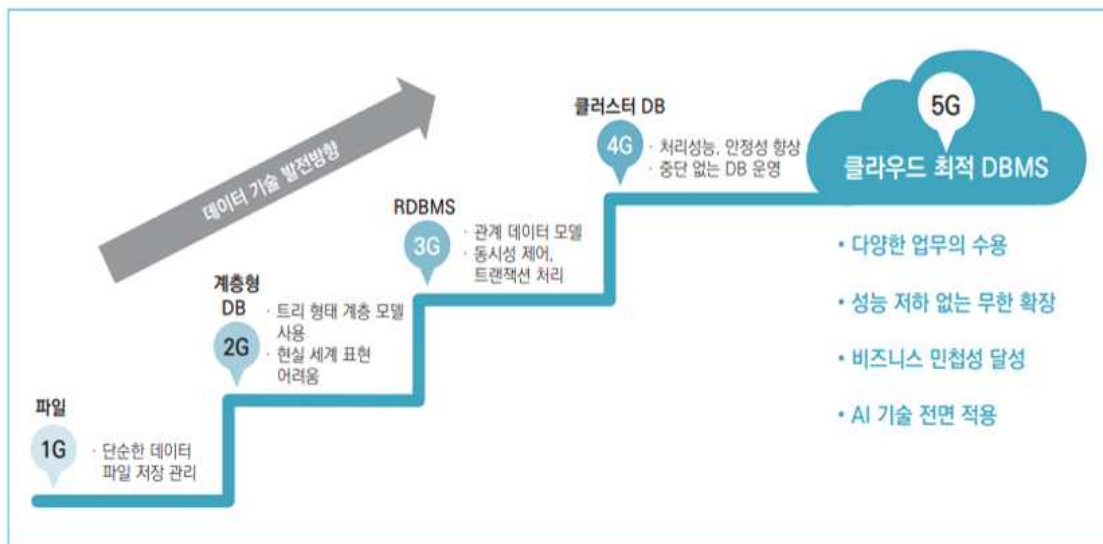
25) Open Application Programming Interface

회서비스, 동네예보정보서비스 등 Open API 2,500여건을 운영 및 제공하고 있다.

데이터 저장 및 관리 기술은 초고속 네트워크, IoT등 기술의 발달에 따라 데이터 생산 주체가 다양해지면서 저장되는 데이터의 형태 또한 다양해지고 있으며, 데이터의 양 또한 폭증하면서 관심을 받고 있다. 현재의 DBMS(DataBase Management System)기술로 다양한 형태의 데이터 프로세싱을 위한 여러 가지 시도가 진행되고 있다. 대표적으로는 컴퓨팅 자원을 탄력적으로 활용해 기존의 단일 박스 형태의 하드웨어를 병렬화, 가상화하는 클라우드 기술이 있다.

또 다른 방법으로는 데이터의 최적 관리, 보안관리, 모니터링을 자동화하고 DBMS를 자율적으로 운영할 수 있게 하는 인공지능 기술의 접목이 시도되고 있다. 이러한 기술을 통해 등장할 5G DBMS는 클라우드 환경에 최적화된 DB로서 다양한 업무의 수용, 성능저하 없는 무한 확장성, 탄력적인 자원활용, 비즈니스 민첩성 달성 등 선제적이고 자동화된 관리가 가능한 신개념 DB가 될 수 있을 것이다.

< 5세대 데이터 베이스 관리 시스템 >



데이터 경제²⁶⁾로의 전환이 가속화 되는 만큼 전세계적으로 빅데이터 활용은 증가해 나가고 있다. 4차 산업혁명이 진전됨에 따라, 생성 데이터양이 2016년 16ZB(zeta bite)에서 2025년 163 ZB(zeta bite)로 10배 가량 증가하고, 빅데이터 시장규모도 2021년 550억불에서 2025년 3,800억 불 규모로 연평균 50% 이상 성장해 나갈것으로 전망된다. 빅데이터 기술이 핵심경쟁력으로 떠오르고 있는 것이다.

< 향후 5년간 빅데이터 시장 규모 추정²⁷⁾(단위 : 백만불) >

빅데이터 시장 분야	2021	2022	2023	2024	2025	점유율(%)	누적규모
Platforms	3,959	7,979	11,562	21,741	32,263	7	71,654
Cloud&Hardware	9,514	16,476	25,002	35,403	47,789	11	224,502
Applications	13,340	24,337	38,608	56,492	77,635	18	287,375
Analytics & Bigdata SW	11,999	24,519	43,506	71,607	110,432	25	202,878
Professional Services	16,501	31,691	52,210	80,911	118,424	27	329,657
Total Beyond Connectivity	55,314	105,002	170,888	266,155	386,544	88	1,116,065
Connectivity	35,256	40,039	45,267	48,958	51,173	12	51,173
Total IoT	90,570	145,040	216,154	315,112	437,717	100	1,167,239

가트너는 빅데이터의 활용 목적을 ① Customer Insights, ② Product and process Efficiency, ③ Digital Products and Services, ④ Operational Excellence, ⑤ Digital Marketing, ⑥ Risk Management and Compliance 등 6가지를 제시하였다. 국내의 경우 공공 분야의 활용이 가장 활발(33.1%)하고, 고객관리 모니터링 및 마케팅(22.9%), 빅데이터 비즈니스 개발 및 런칭(16.1%)²⁸⁾순으로 빅데이터를 활용하고 있다.

< 국내 빅데이터 분야별 활용 비중 >

활용 분야		(단위 : %)	
1. 공공 분야 (교통 및 대민 지원 등)	33.1%	7. 비즈니스 환경 변화 모니터링 및 대응	2.5%
2. 고객 관리 및 모니터링/마케팅 분야	22.9%	8. 위험 요소 예측/모니터링 (리스크 관리)	2.5%
3. 수익 목적의 빅데이터 비즈니스 개발/런칭	16.1%	9. 각 분야의 비용 절감	1.7%
4. 실적 및 성과 관리 분석	8.5%	10. 기업 리소스 및 경쟁력 관리	0.8%
5. 신상품 및 서비스 개발	6.8%	11. 소셜 분석 등 시장 환경 트렌드 분석	0.8%
6. 생산량 증감 조절 및 예측	3.4%	12. 생물정보활용	0.8%

26) 2011년 David Newman이 쓴 Gartner보고서에서 ‘데이터 경제’ 개념이 처음 등장, 4차 산업혁명 시대에 데이터가 모든 산업의 발전과 새로운 가치 창출의 촉매역할을 한다는 의미

27) PwC(2019), The IoT Big Data Revenue Opportunity for Mobile Operators, GSMA

28) 과학기술정보통신부 데이터산업 현황조사

빅데이터는 다양한 목적으로 광범위한 산업분야에 걸쳐 활용되고 있다.

아마존과 월마트와 같은 대형 판매업체는 각 매장별 판매 데이터를 활용하여 물류 최적화를 도모하고 있다. 아마존은 배달시간 단축을 위해 소비자의 구매성향을 빅데이터로 분석하여 소비자의 구매 예상 품목을 인근 물류창고에 미리 준비해 놓는 예측 배송 시스템을 특허로 출원하였다. 월마트는 자체 물류 체계를 분석하여, 통합배송센터를 구축하고 제조업체에서 점포까지 전단계에 걸친 무재고 적시배송을 시행 중에 있다.



<아마존의 예측배송 개념도 >

제조업에서도 빅데이터는 주요 장비의 예지 정비, 불량 검사, 공정 최적화 등 다양한 분야 사용되고 있다.

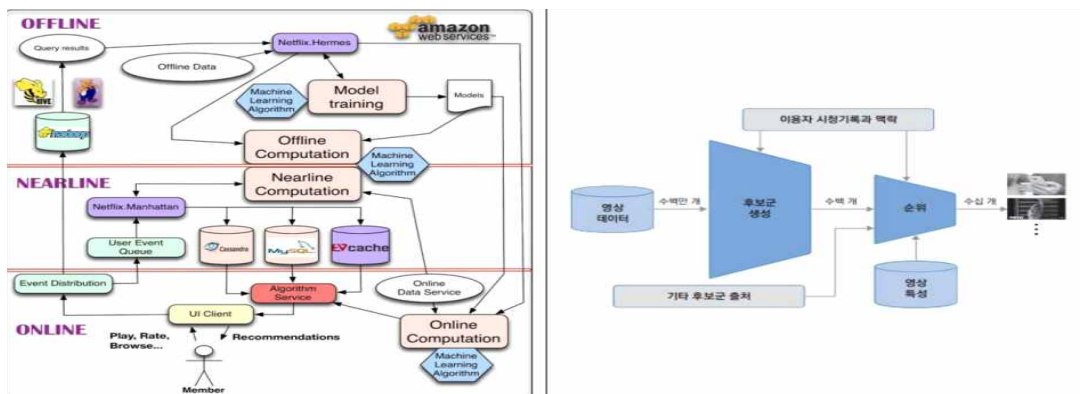
GE사는 빅데이터 등을 활용하여 항공기 터빈, 발전기 터빈에 부착된 센서로 부터의 신호를 분석하여 고장을 사전에 예측하는 기술을 보유하여 구매자에게 예지정비 서비스 제공하고 있다. GE사는 단순히 터빈 블레이드를 납품하는 제조기업이 아닌 빅데이터를 활용한 유지 보수 서비스까지 제공하는 비즈니스 모델을 운영 중에 있다.

< 제조분야 예지정비 사례 >

요구사항	이슈	사용 데이터	기대효과
웨이퍼 생산장비의 예기치 못한 고장 발생 예측	장비가 복잡하고 다양한 레시피 때문에, 모든 고장유형을 사전에 알 수 없음	장비에 부착된 100개 이상의 센서 데이터	고장 전 12~48시간 전에 알람
로봇팔의 예기치 못한 고장 예측	도장 작업에 사용되는 로봇팔이 제품 모델에 따라 동작하면서, 예방정비로도 잡지 못하는 예기치 못한 고장 발생	로봇팔의 각 축마다 부착된 모터의 전류값, 인코더 값(각도 측정), 진동센서값 등	로봇팔 고장 발생 4~6일 전 예측

넷플릭스, 유튜브 등도 시청자 행동 패턴 데이터를 분석하여 광고 및 서비스를 맞춤형으로 제공하고 있다. 넷플릭스는 2006년부터 자사의 추천시스템의 성능을 10%이상 개선시 100만 달러의 상금을 지급하는 Netflix Prize를 개최해왔고 2009년 성능개선에 성공하여 2012년 고객이 시청하는 콘텐츠의 75%가 자사의 추천 시스템으로 인한 것이라는 자료를 발표하였다. 유튜브의 경우 사용자의 특정 영상 시청 시간, 검색 키워드, 거주 지역 등의 데이터를 분석하여 동영상을 추천하고 있으며, 조사결과 유튜브 시청시간의 70%는 추천 영상임이 밝혔다.

< 넷플릭스와 유튜브의 추천시스템 개념도 >



금융분야는 최근 핀테크, 빅테크 기업 등이 등장하면서 빅데이터 활용이 가장 빈번하게 일어나고 있는 분야 중의 하나이다. 간편결제, 오픈뱅킹, API, 인공지능, 클라우드 등 신기술과의 결합이 활발하게 이루

어지고 오픈된 금융 데이터에 기반한 새로운 금융서비스도 등장하고 있다.

국내에서는 카카오페이가 2014년 간편결제 서비스를 도입해 송금, 대출, 신용조회, 전자인증 등 다양한 금융서비스 포트폴리오를 완성했고, 2020년 3월 자산관리 서비스를 출시해 현재 약 350만 명이 사용하고 있다. 네이버파이낸셜은 자동차, 개인, 보험료 정보를 조합한 맞춤형 자동차보험 조회, 자산, 소득 수준에 맞는 부동산 매물 추천, 통합 데이터 기반의 새로운 대출 심사모형을 이용한 대출 등의 서비스를 준비 중이다.

< 금융분야 빅데이터 활용 사례 >

업권	활용 데이터 분석	주요 서비스 목적	서비스 예시
은행	계좌거래 내역, 대출잔액, 금리·이자 등 다양한 금융자산 현황 분석	저축, 재테크 방안 안내 등을 통한 자산 형성 지원	<ul style="list-style-type: none"> • 오픈뱅킹: 타 금융사 계좌 정보와 자사 은행의 정보를 함께 제공 • 대부분의 은행에서 제공 중
카드	카드사용 일시, 결제내역, 카드대출 이용 등 소비패턴 분석	다양한 카드사용 혜택 제공 및 합리적인 소비습관 형성 지원	<ul style="list-style-type: none"> • 자산조회 및 소비 컨설팅 서비스 - 현대카드: 소비케어서비스 운영 - 우리카드: 핀테크 앱 '브로콜리'와 제휴해 자산관리서비스 제공 - 신한카드: 토털 소비관리 신규 추가 - KB국민카드: 리브메이트를 기반으로 개인사업자 특화 신용평가 서비스인 크레딧 트리(Credit Tree) 운영 • 그 외: 고객구매 이력의 활용도 높은 정보를 바탕으로 데이터 상품화, 이종산업 간 데이터 거래 추진
금융 투자	투자종목, 투자금액, 자산규모 등의 투자정보를 분석해 투자제언 제공	세제 혜택, 투자습관 개선 등 다양한 포트폴리오 제공	<ul style="list-style-type: none"> • 투자자문 및 일임업: 고액 자산가에서 일반 고객으로 대상 확대
보험	보험료 납입내역, 보험기간, 보장내역 등 보험정보를 이용해 노후예측 및 건강 분석	연금관리를 통한 노후설계와 저비용 건강관리 서비스 제공	<ul style="list-style-type: none"> • 헬스케어: 앱을 이용해 맞춤형 건강습관을 제시하고, 목표달성 시 다양한 혜택이나 포인트 제공 - SK텔레콤: AIA vitality와 제휴해 걷기 목표 달성 혹은 헬스푸드 구매시 통신비 할인 등의 혜택 제공
핀테크	은행, 카드, 증권, 보험 등 여러 금융 업권의 금융상품 및 정보를 종합 비교 분석	맞춤형 금융상품 추천 및 정보주체의 정보권리 행사 대행	<ul style="list-style-type: none"> • 뱅크샐러드: 카드, 은행, 투자, 대출, 연금 등 종합적 자산조회 및 소비컨설팅, 금융상품 추천 앱 운영
IT/융합	금융과 통신, 유통 등 데이터와 융·복합	통신·유통 정보기반 금융상품 등 고부가가치 혁신서비스 제공	<ul style="list-style-type: none"> • 금융정보이력이 부족한 이용자의 공과금, 세금, 통신비, 카드이력 등을 조회한 신용평가

제 4장 에너지 신산업

이번 장에서는 에너지 신산업 발굴과정에 대해 간략하게 언급하고, 발굴된 에너지 신산업의 육성방안에 대해 각각 기술하고자 한다.

2장에서 언급한 바와 같이 에너지 전환은 단순히 신재생에너지의 비중을 늘려나가는 것만을 의미하지 않는다. 에너지 소비효율 혁신, 분산 에너지 확대 또한 에너지 전환의 중요한 축이다.

에너지 전환 신산업 후보군을 도출하기 위해 2017년 이후 정부 에너지정책 보고서, 연구기관 연구보고서, 언론보도 자료, 해외 에너지 동향 자료 등을 종합적으로 살펴보고 총 20개의 후보군을 도출하였다. 이 후보군들은 다수의 에너지 관련 신산업 중 에너지 전환과 연관이 있는 기술, 비즈니스, 시스템을 추려낸 것이다. 예를 들면, 신재생 에너지 확대에 따라 태양광·풍력 발전 시장 규모가 커짐으로 인해 태양광·풍력 발전소를 유지관리하는 전문 O&M기업을 후보군에 포함하였고, 분산전원이 확대됨에 따라 분산전원을 종합관리·제어하는 가상발전소도 유망 비즈니스로 부각되어 후보군에 포함하였다.

발굴된 20개의 후보군은 유사한 항목끼리 통합하고, 4차 산업혁명 기술에 기반을 둔 기술, 비즈니스, 시스템 7개를 선정하여 에너지 신산업으로 정의하였다.

4차 산업혁명 기술에 기반한 산업일수록 비즈니스의 기회가 보다 넓어지고, 후발주자의 참여가 비교적 용이한 경향이 있기에 4차 산업혁명에 기반하지 않은 후보군은 제외하였다. 아울러, 이미 시장이 세계적으로 성숙(예시 : 양수발전)되었거나, 시장이 성장단계에 접어들어 정부의 역할이 제한적(예시 : ESS)인 경우, 새로운 시장을 창출하는 것이 아닌 기존 기술의 고도화를 하는 경우(예시 : 고효율 태양광 발전 등)도 제외 사유로 하였다.

〈 20개 에너지 신산업 후보군 리스트 〉

순번	기술·시스템·BM	에너지전환	4차 산업혁명 기술 연관도	비고
1	태양광·풍력 O&M서비스	신재생 확대	○	포함
2	실시간 전력시장	신재생 확대	△	실시간·보조서비스 시장개설로 통합
3	보조 전력시장 서비스	신재생 확대	△	
4	초임계 이산화탄소 발전	신재생 확대	-	제외
5	고효율 태양광 발전	신재생 확대	-	제외
6	원전 해체	신재생 확대	-	제외
7	스마트 수요반응	신재생 확대	○	에너지 효율혁신으로 통합
8	ZEx(Zero Energy)	에너지 효율	○	
9	xEMS (Energy Management Sys.)	에너지 효율	○	
10	플러스 에너지 빌딩 등	에너지 효율	○	
11	Community Solar	에너지 효율	△	
12	그린버튼	에너지 효율	-	제외
13	HVDC	에너지 효율	△	DC 그리드로 통합
14	DC 마이크로 그리드	분산전원	○	
15	스마트 그리드	분산전원	○	
16	에너지 프로슈머	분산전원	○	포함
17	가상발전소	분산전원	○	포함
18	V2G (Vehicle to Grid)	분산전원	○	포함
19	양수발전	분산전원	-	제외
20	ESS	분산전원	-	제외

〈 7개 에너지 신산업 〉

1	V2G(Viecle to Grid)
2	신재생 발전 O&M 서비스
3	가상 발전소
4	xEMS, ZEx : 에너지 효율 혁신
5	에너지 프로슈머
6	실시간·보조서비스 전력시장 개설
7	DC 그리드

1. V2G(Vehicle to Grid)

(1) V2G 시스템 개요

V2G(Vehicle-to-Grid)는 전기자동차 사용자가 자동차 배터리에 충전한 전력을 필요에 따라 전력망에서 끌어 쓸 수 있는 시스템을 말한다.

V2G 시스템은 전기자동차 배터리 관리시스템, 전력 계통에 연결하여 충·방전을 할 수 있도록 하는 EVSE(Electric Vehicle Supply Equipment)기술, 전기자동차의 충·방전 여부 등을 판단할 수 있는 시스템 기술로 구성된다.

아래 그림에서 보듯이 전기자동차 사용자는 자동차를 충·방전 설비가 갖추어진 곳에 주차를 하고 전력망에 연결하면, 충·방전은 운전자가 아닌 시스템에 의하여 자동적으로 이루어진다. 계통운영자와의 무선 커뮤니케이션으로 전기 구입 비용이 가장 쌀 때 충전을 하도록 신호를 보내고, 비쌀 때 방전을 하여 전기자동차 사용자에게 이익이 되도록 한다. 계통운영자는 전기자동차가 수요가 많은 시간대에 방전함으로써 피크시간대에 전력 부하 부담을 줄일 수 있게 된다.²⁹⁾

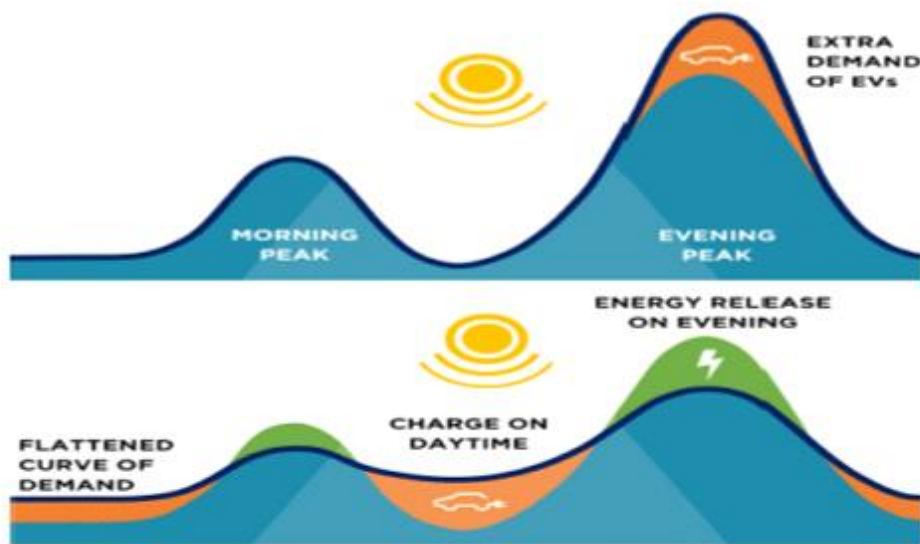
< V2G 시스템 개념도 >



29) 에너지경제연구원(2019). '전기자동차 충전시스템에서의 신재생에너지 활용 방안 연구'

태양광, 풍력 발전 비중이 늘어나는 경우 전력 공급의 변동성과 불확실성이 증가하는 경향이 있다. 전력 공급의 변동성과 불확실성을 완화시킬 수 있는 방안 중의 하나로 V2G가 관심을 받고 있다. 아래 그림은 전력수요가 많은 시간대에 전기차가 방전을 하고 야간에 충전을 하는 경우 피크수요 감소와 전력망 부하 경감을 보여준다.

< V2G를 활용한 전력 부하 분담 >



(2) V2G 활용 현황(주요국 사례)

V2G는 영국, 네덜란드, 덴마크 등 여러 나라에서 실증사업이 진행되고 있다. 덴마크에서는 Parker Project라는 세계 최초로 상업화에 성공한 실증 프로젝트를 실시 중이다. 전기차 소유 회사에서 10대의 전기승합차를 활용하여 참여를 하고 있고, 시스템 관리 회사는 V2G 관리 소프트웨어로 차량들에 충전·방전 신호를 보내고 각 차량들로부터 모아진 전력을 전력시장에 공급하는 시스템을 구축하고 있다. 이 전기차는 일정 수준 이하로는 방전이 되지 않도록 설계되어 있으며, 특정 시간대에 사용될 수 있도록 충전량 수준을 조정할 수 있다. 이러한 V2G 서비스를 통해 연간 차량 1대당 1,000~1,400 유로의 수익을 얻는 것으로 보고되고 있다.³⁰⁾

< 덴마크의 Parker Project에 참여 중인 전기 승합차 >



영국 정부³¹⁾는 최근 V2G 프로젝트에 활발한 지원을 하고 있다. 1,000개의 V2G 충전소를 설치하여 데이터를 수집하고 있으며, 135개의 V2G 충전기에 대한 실증시험을 진행하고 있다. 일본도 히타치와 미츠비시가 동경전력(TEPCO)과 함께 실증 사업을 진행 중이며, 신재생에너지를 활용한 비즈니스 모델 구현과 전력 계통의 안정성 유지를 목표로 하고 있다.

국내에서는 제주도 스마트그리드 실증 사업(2009.12-2013.5)에서 V2G의 실증 테스트가 완료되었고, 양방향 충전기(on board charger)도 개발되었다. 서울대학교와 광주과학기술원에서는 V2G 차량에 대한 충전·방전 자료를 수집하고 경제성을 분석한 바 있다. 국내에서 V2G 기술이 적용된 충전소는 국내 KT 분당 사옥에 있는 충전소로, 이곳에는 충·방전을 할 수 있는 기기가 설치되어 있다. 이에 대한 개발 실증은 마친 상태이며, 현재 전기차-수요관리 사업모델에 대한 실증이 진행되고 있다. 아울러, 제주도에는 제주 한국전력 사옥에 V2G 기술이 추가된 20대 동시 충전기가 설치되어 있다.

30) NREL(National Renewable Energy Laboratory) 2017 P6

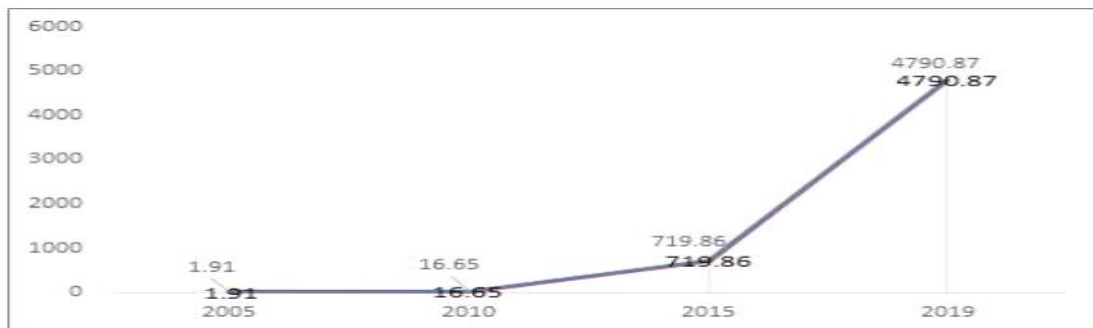
31) Office for Low Emission Vehicles, Innovate UK

(3) V2G 활성화 장애요인

V2G는 다양한 실증 사업을 통해 가능성과 잠재력을 보여주었지만, 본격적으로 확산되기 위해서는 선결되어야 할 과제들이 있다.

우선, 가장 중요한 고제는 전기차의 보급확산이다. 전세계 보급 전기차 누적 대수는 2010년 16,000대에서 2015년 720,000대를 거쳐, 2019년에는 4,791,000대까지 급증했다. 그러나, 전세계 연평균 차량 생산대수가 7,000~9,000만대에 이르는 점을 감안할 때, 전기차가 본격적인 보급 시대를 접어들었다 말하기는 이르다.

< 글로벌 전기차 보급 대수 >



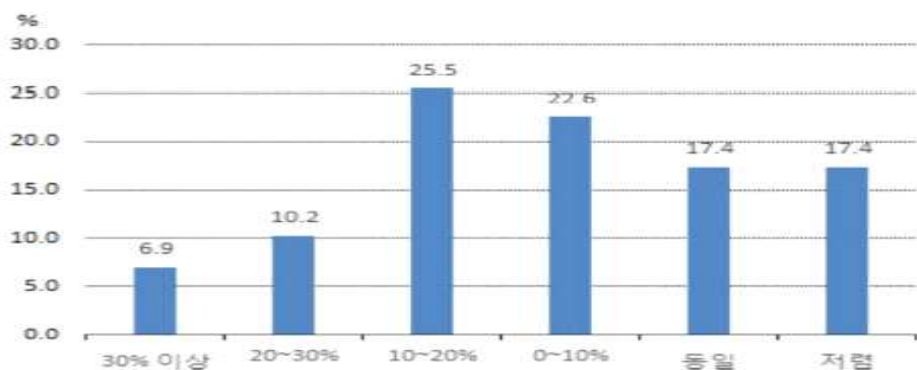
우리나라 전기차 시장은 2015년부터 본격적으로 시작되어, 2015년 5,700대 였던 전기차가 2019년에는 누적규모로 84,000대까지 증가하였다. 하지만, 이정도 보급 규모로는 V2G를 상용화하기에는 부족하다. 85,000대의 전기자동차가 모두의 배터리용량 50%(10kWh)를 1시간동안 V2G로 역송전을 실시한다고 하더라도 800MW 석탄화력 발전소에서 1시간 동안 발전하는 전력량에 불과하기 때문이다³²⁾.

V2G 상용화를 위한 최소 전기차 보급 대수에 대한 명확한 결론은 아직 없는 상황이다. 이러한 연구결과가 나오기 위해서는 전기차 사용자의 전력 사용패턴, 신재생발전 비율, 발전비용, 충전 인프라 수준 등이 종합고려되어야 한다.

32) 가천대학교(2014), 전기자동차 V2G용량 산정에 관한 연구

하지만 전기차의 높은 가격이 전기차 보급의 발목을 잡고 있다. 실제 시중에 판매되는 전기 자동차의 가격은 49백만원에 보조금 1,200만 원을 지급받는다 하더라도 37백만원인데 반해, 동급의 내연기관 자동차 가격은 27백만원에 불과하기 때문이다. 한국의 소비자를 대상으로 설문조사한 결과 전기자동차가 내연기관 자동차보다 30% 이상 비쌀 경우에도 구매하겠다는 비중은 6.9%에 불과하다.

〈 전기차 구매를 위한 내연기관차량과의 적정 가격차이 〉



전기차 보급 문제 외에도 충·방전 인프라 확보도 V2G 활성화에 필수적이다. V2G 시스템이 효율적으로 구동되기 위해서는 전기차 운전 시간 이외에는 전기차가 충·방전 기기에 접속하고 있어야 하기 때문이다. 설문조사 결과에 따르면 전기차 사용자 4명 중 3명은 직장과 주거지에 충전시설이 부족하다고 답했다.³³⁾

충·방전 인프라에는 전기차와 계통간에 원활한 전력 이동과 통신이 가능해야 하고 이를 제어하기 위한 관리 시스템이 포함되어야 한다. 이러한 부분은 기술적인 문제로서 연구 개발, 실증 사업 등을 통해 해소 나가고 있다.

이 외에 에너지 시장에서 V2G가 ESS 등의 전력저장장치와 비교할 때 경쟁력을 갖출 수 있을지 불확실하다는 점과 V2G 사용자의 경제적인 이윤이 불확실하다는 점도 V2G확산의 장애요인으로 제기되고 있다.³⁴⁾

33) 관계부처 합동(2020). 미래자동차 확산 및 시장선점 전략

34) 에너지경제연구원(2019). '전기자동차 충전시스템에서의 신재생에너지 활용 방안 연구'

(4) V2G 활성화를 위한 정책 제언

우선, 전기차의 보급 확산을 적극 추진하여야 한다. 이를 위해 가장 중요한 것은 내연 자동차 대비 경제성을 확보하는 것이다.

지금 시행되고 있는 전기차 구매시 보조금 지원제도는 가장 강력한 지원수단 중의 하나이다. 현대 전기차 코나를 예를 들면 차량 값의 25%인 1,200만원이 보조금으로 지급되고 있다. 이러한 보조금 제도를 언제까지 유지할 수는 없지만, 전기차 시대가 본격화되기까지 대다수의 소비자가 전기차 구매를 포기하지 않도록 적정 수준을 유지해 주어야 할 것이다.

전기차 가격이 낮추는데는 전기차 가격의 30~40%를 차지하고 있는 배터리 가격이 중요하다. 하지만 2010년 대 이후 배터리 생산가격 추이를 살펴볼 때 배터리 생산이 극적으로 개선되는 것을 기대하기는 어렵다. 2013년 \$668/kWh이었던 배터리가격이 2015년 \$384/kWh로 낮아진 반면, 2018년 \$181/kWh였다 가격이 2020년에 \$137/kWh 수준으로 가격하락 폭이 크게 감소하고 있다.

< 전기차 배터리 생산가격 감소추이³⁵⁾ >



35) BloombergNEF, Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh

이제는 배터리 비용 부담을 낮추기 위한 비즈니스 모델을 적극 강구하는 것도 필요하다.

배터리 리스가 대표적인 사례이다. 소비자들은 전기차를 구매할 때 배터리 가격을 제하고 지불하고, 배터리는 리스하는 것이다. 최근 현대차는 정부·물류·배터리·모빌리티 업계와 협력 MOU를 맺고 배터리 리스 사업 실증에 나선바 있다.³⁶⁾

배터리 리스 사업과 같이 소비자는 배터리를 제한 가격에 차량을 구매하되, 충전시 충전기를 이용해 충전하지 않고 배터리를 통째로 교체하는 방법도 있다. 이 방법을 이용시 배터리 리스사업과 같이 전기차 구매비용 문제도 해소되는 동시에 장시간 걸리는 배터리 충전 문제도 해결이 가능하다.

배터리 재활용 비즈니스 모델도 배터리 가격을 낮추는데 도움이 된다. 소비자의 전기 자동차 수명이 다 되었을 경우 폐배터리를 개수하여 발전시설, 공장, 데이터 센터 등의 ESS(에너지 저장장치)로 재활용하는 것이다.

전기차 생산에 규모의 경제를 확보하는 것도 중요하다. 주지하다시피 대량생산은 가격을 낮추는 데 가장 효과적인 방법의 하나이다. 생산 물량이 많으면 많을수록 부품 조달 가격을 낮출 수 있고, 대량 생산에 소요되는 비용을 줄일 수 있다. 자동차의 경우 하나의 생산 라인에서 하나의 차종을 생산할 때 가장 생산성이 높아진다. 생산 차종이 달라질 때마다 생산에 필요한 세팅과 부품 공급을 달리 해주어야 하기 때문이다. 통상, 하나의 자동차 생산라인에서 생산가능한 최적의 자동차 수는 30만대 수준으로 알려져 있으나, 2019년 현재 전기차 생산량은 3만대에도 못미치지 못하는 실정이다. 적절한 생산 규모가 확보될 때까지 정부의 적극적인 지원이 필요하다.

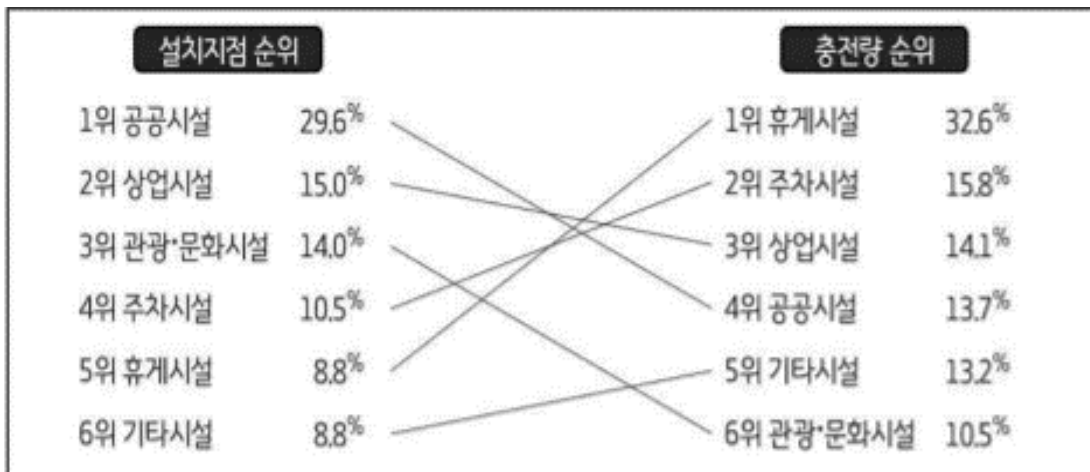
36) 연합뉴스(2021.2.18.일), 배터리 리스로 전기차 가격 낮춘다... 다음달 전기차 택시 실증

전기차 보급확대와 발을 맞추어 충·방전 인프라도 소비자 수요에 맞게 확보하여야 한다.

현재 공용 급속 충전기의 경우, 1기당 적정 충전 대수인 10대인데 반해, 우리의 급속 공용 충전기는 1대당 17대의 차량을 감당하고 있다. 특히, 서울, 대전, 대구, 부산 등 실수요가 많은 대도시에서 충전기가 부족한 것으로 조사되었다.³⁷⁾

충전기기의 절대량도 충분하지 않지만, 충전기기 수요와의 미스매치도 문제다. 아래에 그림에서 보듯이, 급속 충전기의 29.6%가 공공시설 위주로 보급이 되어 왔다. 그러나, 실제 사용율은 13.7%에 그치고 있는 상황이다. 상업시설도 마찬가지 이다. 즉, 그간 수요가 상대적으로 적은 공공시설이나 상업시설에 많은 충전기가 설치되어 왔고, 충전 수요가 많은 아파트, 도심 등지에는 충전인프라가 더욱 부족해진 것이다. 기간의 충전소 설치가 수요에 기반하기 보다는 충전기 설치의 용이성, 상징성 등이 높고 설치하기 쉬운 입지를 찾아서 설치되었기 때문이다. 전기차 사용자들이 아파트, 직장 인근의 충전인프라를 찾지 못해 애를 먹는 경우가 많은 이유 중 하나인 것이다.

< 기존 전기차 충전기의 설치지점과 충전량 미스매치 현황³⁸⁾>



37) 경기연구원(2021). 미래차 상용화 발목잡는 충전 인프라

38) 관계부처 합동(2019). 미래자동차 산업 발전전략 2030년 국가 로드맵, 2019

향후 급속 충전기 설치에 대한 정책 자원이 아파트, 사무실이 밀집한 대형 빌딩 등을 위주로 이루어져야 할 것이다. 또한, 기존에 자동차들의 유동량이 많은 위치의 주유소 등에도 충전소 설치를 늘리는 것도 필요하다. 이를 위해서는 보조금 지원제도 외에 주유소 내에서 충전소 운영이 가능하도록 보완하는 제도개선도 필요할 것이다.

기존의 보조금 위주의 정책도 다시금 살펴볼 필요가 있다. 전기차 보급이 가속화 될수록 보다 많은 충전 인프라가 요구가 되고, 이는 재정부담으로 연결될 수도 있다. 적정한 시점에 충전기 의무설치에 대한 규제를 강화하거나 신설하는 것도 검토되어야 한다.

마지막으로 전기차 소유주가 V2G에 쉽게 참여할 수 있고, 참여시 경제적인 이익이 보장되어야 한다.

앞서 언급한 바와 같이 전기차와 계통간의 전력이동, 통신, 제어 등 V2G 자체의 기술적인 문제는 R&D와 실증사업 등을 통해 해결해 나가고 있다. 하지만, 전기차 소유주의 편의와 수익극대화를 위한 가상발전소(VPP), HEMS와의 연계하는 것이 필요한데, 이에 대한 기술적, 제도적 문제에 대해서도 심도있게 검토가 필요하다. VPP, HEMS에 대한 설명은 후술하도록 하겠다.

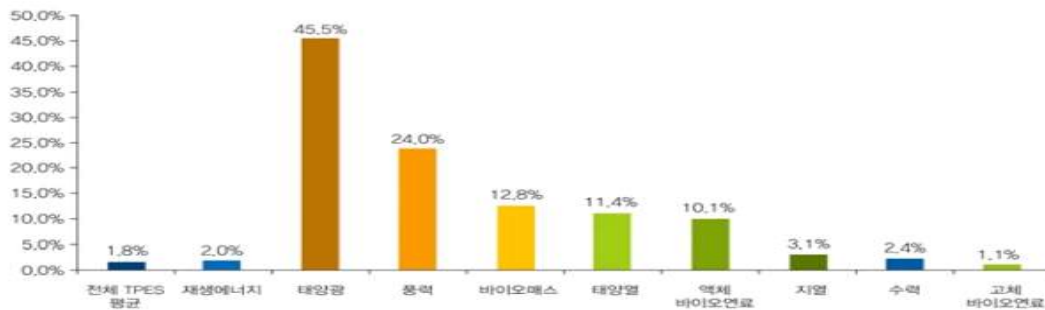
아울러, 우리의 전력거래 제도는 CBP(Cost based pool, CBP)에 기반한 시장으로 V2G, ESS와 같은 유연성 제공자원(Power System Flexibility)에 대한 가치가 제대로 평가받기 어려운 환경이다. 이에 대한 개선방안은 후술하도록 하겠다.

2. 신재생 발전 O&M 서비스

(1) 신재생 발전 O&M 개요

기후변화에 대응 수단으로 신재생 에너지 보급이 전세계적으로 확대되고 있다. IEA에 따르면, 1990~2015년간 태양광은 45.5%, 풍력은 24% 매년 성장해왔다고 한다. 향후, 수력을 제외한 신재생 에너지의 발전비중은 2019년 10.6%에서 2030년 22.7%, 2040년 32.1%로 증가할 것으로 전망하고 있다.

< 1995~2015 재생에너지 원별 연평균 증가율(IEA, 2017) >



태양광, 풍력 발전의 보급확대는 기후변화 대응을 위한 각국의 정책적인 노력도 있지만, 태양광 풍력의 경제성이 제고에 기인한 부분도 있다. IRENA는 2018년 대비 2050년 발전비용은 태양광이 최대 60%(\$96/MWh → \$38/MWh), 풍력은 최대 27%(\$55/MWh → \$40/MWh) 감소할 것으로 예상하고 있다.³⁹⁾

태양광·풍력 발전비용은 발전장비 등에 소요되는 비용(Capex(Capital Expenditure)), 운전 및 유지·보수 등에 소요되는 비용(O&M(Operating and maintenance))등을 합산하여 산정한다.

아래 태양광 발전의 사례에 알 수 있듯이 발전비용의 상당 부분을 Capex가 차지하지만, O&M의 비중도 적지 않다.

39) 에너지경제연구원(2017). 태양광 원가분석을 통한 균등화 비용 국제 비교 분석

한국의 3kW 태양광 발전의 연간 O&M비용은 35,000원으로 20년간 운영을 가정시 총 O&M비용은 70만원에 이르며, 이자율, 할인율을 고려하지 않을시 Capex비용의 5,503,674원의 13%에 이른다. 또한, 태양광 발전기기 비용은 기술의 발전, 제조 효율 향상 등으로 지속적인 하락이 이루어질 것으로 예상되는바, 향후 O&M이 발전비용에 차지하는 비중은 높아질 것으로 예상된다. 특히, 한국의 O&M 비용은 중국, 독일에 비해 3배 가량 높은 상황이므로, O&M 비용 절감과 효율성 제고가 더욱 중요하다.

< 태양광 발전 CAPEX, O&M 비용 비교⁴⁰⁾(단위 원) >

항목		한국	중국	독일
CAPEX	3kW(가정용)	5,503,674	5,503,674	3,050,736
	100kW(기업용)	161,083,270	93,153,531	108,292,400
연간 O&M 비용	3kW(가정용)	35,000	13,248	14,100
	100kW(기업용)	3,736,510	1,133,875	1,643,205

한국의 태양광, 풍력발전은 시장이 시공·건설 위주로 성장해 온 관계로 O&M은 완공 후 부가서비스로 인식되어 시공·건설사가 주도하고 있고 별도의 전문영역화는 미흡한 상황이나, 태양광·풍력 O&M 전문기업이 성장 잠재력은 점점 커지고 있다.

우선, 태양광·풍력 발전 O&M 시장은 태양광·풍력 보급에 비례하여 확대될 전망이다. 태양광 발전설비 보급 목표는 2019년 11.2GW에서 2030년 49.7GW로 4배 이상 성장이 예상되고 있고, ‘30년까지 풍력발전 설비 보급 목표는 누적규모 16GW에 이르고 있다. 시장규모의 확대가 예상된다는 것이다.

인공지능, 빅데이터 등 4차 산업혁명 기술의 등장에 따라 O&M기업의 역할이 기존 사후정비형 유지보수 서비스에 국한되지 않는다. 새로운 비즈니스 모델이 등장하여 사업의 영역도 확대되고 있다.

40) 에너지경제연구원(2017). 태양광 원가분석을 통한 균등화 비용 국제 비교 분석

예를 들어, 과거 사고·고장 데이터 등을 활용하여 고장의 사전예측, 예방정비가 가능해지고 있으며, 정기 정비나 주요 부품 교체도 일기예보, 예상 발전량, 전력 판매가격 등을 종합적으로 고려하여 최적의 시점과 주기로 수행이 가능해진다. 또한, 전문 정비 로봇, 드론 등을 활용한 발전설비 진단을 통해 O&M의 효율성과 전문성을 제고할 수 있다.

마지막으로 분산전원이 확대됨에 따라 O&M전문기업이 관리하고 있는 태양광·풍력 발전설비를 활용하여 소규모 전력중개 사업자로서 전력중개 시장에 진출하는 것도 가능할 것이다. 서비스 외에 전력거래 시장 진출도 가능해진 것이다.

(2) 국내외 사례

국내 중소 벤처기업인 A사의 경우 태양광 발전 관련 전문적인 유지·보수 서비스를 제공하고 있다. A사는 태양광 패널 크리닝 로봇을 도입하여 태양광 발전 사업자를 대상으로 태양광 패널의 오염(먼지, 모래, 송진가류, 조류 배설물 등)을 제거하고, 패널상태를 모니터링 하는 서비스를 제공하고 있다. A사에 따르면 태양광 패널에 발생한 오염물을 지속적으로 제거시 5~10%의 발전효율 향상을 기대할 수 있으며, 로봇에 장착되어 있는 감지센서를 통해 패널의 손상 부위나 크랙을 감지하고, 패널의 온도를 측정하는 등 패널상태에 대한 정밀 모니터링이 가능하게 된다고 한다. 아울러 로봇의 배터리는 로봇 거치대에서 태양광을 이용해 자동으로 충전이 된다.

<태양광 패널 자동 청소·모니터링 로봇 >



해외 벤처기업인 B사는 풍력발전 설비에 대한 O&M서비스를 전문적으로 제공하고 있다. B사가 자체 개발한 소프트웨어와 모니터링 시스템을 통해 풍력발전 설비에 대해 실시간 데이터 수집, 모니터링 및 분석을 통해 서비스를 제공하고 있다. 대표적인 예로는 풍력발전 설비의 진동, 온도, 속도 데이터 등을 수집하여 클라우드 기반 통합 데이터 베이스에 저장한 후 인공지능을 통해 풍력발전 설비의 고장 징후를 사전에 파악하는 서비스를 제공하는 것이다. 이러한 사전 고장 예측을 통해 부품의 심각한 훼손을 방지하여 수리기간과 비용을 줄이고, 기계부품의 정비비용을 줄이는 등 설비 효율을 극대화하고 있다.

< B사의 예지보전 O&M 서비스 >



이러한 시스템을 구축하기 위하여 B사는 4차 산업혁명 기술을 적극 활용하고 있다. 풍력발전 설비의 각종 데이터를 실시간으로 수집하기 위해 IoT 기반의 센서를 자체 개발하였고, 수집한 데이터 분석을 통한 고장의 사전 진단을 위해 빅데이터 분석과 머신러닝 기술을 활용하고 있다.

B사에 따르면 현재 30개국에서 5,200개 이상의 풍력터빈 모니터링과 50GW의 이상의 실사 프로젝트를 진행 중이며, 터빈 성능 개선 및 풍력 에너지 생산 효율 향상을 통해 2018년 76,500톤의 이산화탄소 배출을 절약하는 성과를 거둔 바 있다고 한다.

해외 벤처기업인 C사는 자체 개발한 솔루션을 통해 전력 중개, 전력 거래를 위한 P2P(Peer to Peer)플랫폼 서비스를 제공하고 있다.

C사는 지역 내 소규모 분산전원과 수요처를 플랫폼에 연결하여 실시간으로 전력생산량과 소비량에 대한 모니터링을 한다. 모니터링 데이터를 기반으로 태양광, 풍력 발전 등 분산전원에서 전력을 구매하여 전력 소비자에게 전력을 중개하고, 분산전원과 에너지 소비자에 대한 전력 수급 밸런스를 관리하고 있다.

요금관리는 블록체인(암호화폐) 기술을 활용하여 분산전원 및 에너지 수요처간에 요금을 투명하고 안전하게 정산한다.

C사는 소프트웨어 모듈을 전력 생산자, 소비자 및 유틸리티에 제공하고 서비스 유형에 따라 이용료 및 라이선스 비용으로 매출을 올리고 있다.

< 전력중개 관리 사업모델 >



C사는 연평균 매출 성장률 157%를 달성하여 영국의 'Financial Times 2020 Report'에서 1,000대 유망 기업 중에 78위로 선정된 바 있으며, 유럽의 홈에너지 관리 시스템 기업과 협업하여 신재생 에너지를 소비자와 프로슈머에게 직접적으로 연결하는 프로젝트를 2019년에 착수한 바 있다.

(3) O&M 전문기업 육성을 위한 정책제언

첫째, O&M시장 활성화를 위해 발전소 효율관리를 강화해야 한다.

우선, 태양광 발전소의 발전효율⁴¹⁾을 측정할 수 있는 표준화된 효율 지표 개발이 필요하다. 지표 개발에는 일사량, 설비용량, 온도 등 다양한 변수들이 고려되어야 한다. 이를 통해 발전효율 저해요인을 해소하여 발전효율을 제고 할 수 있으며, O&M 기업 간에 건전한 경쟁을 유도할 수 있기 때문이다.

또한, 정부의 보급사업 참여기업과 발전사업자에게 발전량 예측 의무를 부여하고 성과에 따라 입찰 우선권, REC 우대 등 인센티브 제공함으로써 발전소의 효율관리를 강화할 수도 있다.

둘째, O&M 기업의 전문성을 제고하여야 한다.

O&M의 전문 영역화를 위해 O&M 표준 매뉴얼을 제정이 필요하다. 여기에는 O&M시 필수 고려사항, 유지보수에 필요한 필수 작업, 데이터 관리 등이 포함되어야 한다. 이를 통해 새롭게 진출하는 기업들의 서비스 신뢰성을 높이고 역량을 단기간에 향상시킬 수 있다.

대규모 발전단지가 있는 곳에는 각 단지와 지역의 상황에 부합하는 O&M 특화분야를 선정하는 것도 방법이다. 예를 들어 해상풍력의 경우 동남권은 원격 모니터링 및 데이터 송수신, 드론활용 상태진단에 특화하고, 호남권은 O&M 빅데이터 수집분석, 예지정비 등에 집중하며, 제주권은 운영최적화 등 SW개발에 특화하는 것이다.

마지막으로, O&M 기술·서비스 혁신을 위한 지원을 확대해 나갈 필요가 있다.

태양광 O&M 관련 R&D 예산을 확대하여, 원격·지능형 O&M 플랫폼

41) 실제 발전량 / 정격 시스템 출력(일사량×모듈의 효율)

품, 빅데이터 기반 실시간 이상검출 시스템, 드론 활용 블레이드 비접촉·비파괴 검사 자동화등 4차 산업혁명 기술을 적극 활용한 R&D에 지원을 강화할 필요가 있다.

O&M이 전문기업이 개발한 서비스에 대한 검증·평가도 지원할 필요가 있다. 기존의 발전단지를 활용하여 신기술·제품·서비스 도입 전에 구현 가능성 및 성능의 사전 검증을 지원하는 것이다. 특히, O&M에 대한 기술적 난이도가 높은 해상 풍력 분야 신생 O&M 전문기업에 더욱 필요한 지원으로 보인다.

3. 가상 발전소

(1) 가상발전소 개요

정부는 2034년까지 총 발전량의 26.3%를 신재생에너지로 보급한다는 ‘제9차 전력수급 기본계획’을 2020년 12월에 발표하였다. 설비용량 기준으로는 40.9%(77.8GW)이다. 이 중 태양광이 45.6GW, 풍력이 24.9GW로, 태양광과 풍력은 전체의 91% 비중을 차지하고 있다.

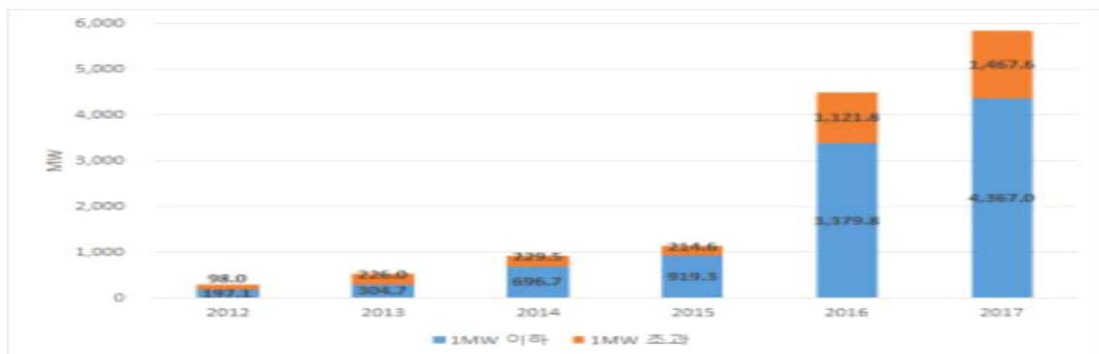
< 신재생 에너지 발전량 및 설비 비중(9차 전력수급 계획) >

구분	'20년	'22년	'30년	'34년
발전량(TWh)	41.2 (7.5%)	57.6 (10.2%)	121.7 (20.8%)	157.8 (26.3%)
설비(GW)	20.1 (15.8%)	29.4 (20.6%)	58.0 (33.8%)	77.8 (40.9%)

* 사업용 설비 기준

2012~2017년간 보급통계를 보면, 태양광 발전의 보급이 2012년 295.5MW에서 2017년 5,835MW로 급격히 증가하였다.

< 2012~2017년 태양광 발전 누적용량⁴²⁾ >



특히, 2012~2017년간 대규모 태양광 발전(1MW 초과)은 2012년 98MW에서 2017년 1,467MW로 15배 가량 증가한 반면, 소규모 태양광 발전(1MW 이하)은 2012년 197MW에서 2017년 4,397MW로 25배 가량 증가한 것으로 나타났다.

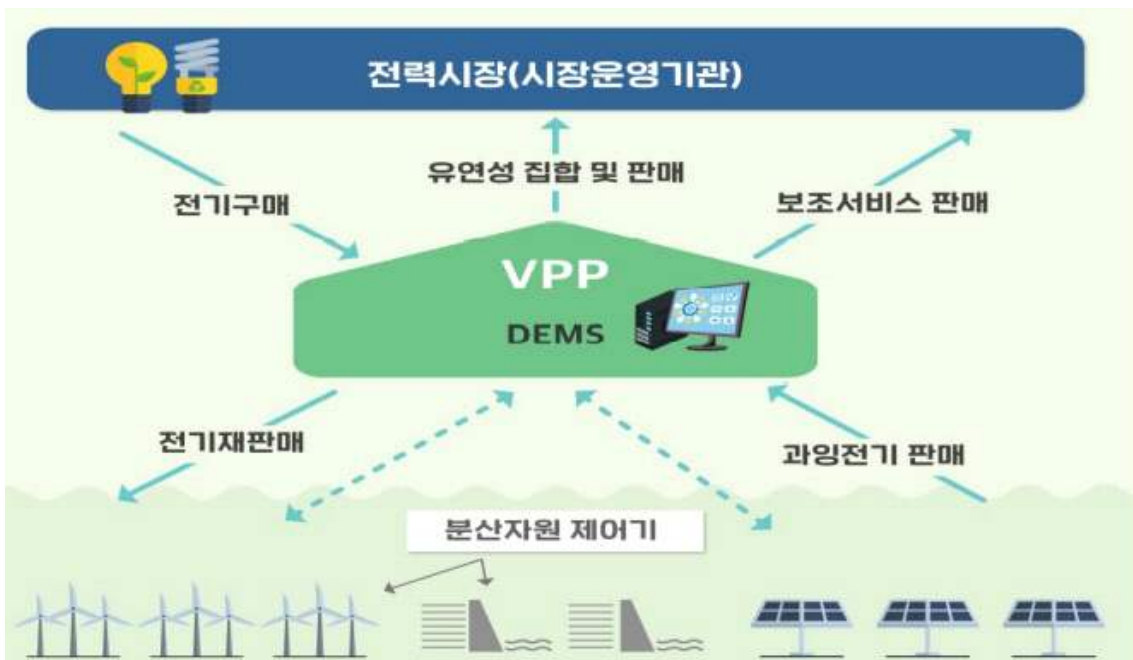
42) 한국 에너지공단 통계자료

급전계획을 마련하는 전력당국 입장에서는 각지에 산재한 소규모 태양광 발전소들로 인해 급전계획 수립에 애로가 있다. 급전계획은 전력 공급 하루 전에 마련되는데, 전력당국이 소규모 태양광 발전소들의 발전량을 하루전에 예측하거나 알기 어렵기 때문이다. 이를 가시성 악화라고 표현하기도 한다.

이로 인해 경우에 따라서는 급전 당일에 계획 외의 발전소를 가동하거나, 예비력을 추가로 확보해야 한다. 또한, 태양광 발전은 날씨에 변화에 따라 출력이 변하는 변동성이 전압과 주파수에 영향을 주어 전력 품질을 저하시키기도 한다.

태양광 발전 등 소규모 발전의 증가에 따라, 전력시장의 효율성 제고와 안정적인 전력계통 운영을 위한 가상발전소가 대두되고 있다. 소규모 분산 에너지자원들을 ICT망으로 연결하여, 모니터링·제어하여 전력시장과 연계한다는 개념이다.⁴³⁾

< 공급형 가상발전소 사업 모델 >



43) Frost & Sullivan(2017)이 구분한 가상발전소 3가지 유형(공급형, 수요형, 융합형) 중 공급형 가상 발전소 개념에 해당된다.

보다 구체적으로⁴⁴⁾ 가상발전소는 소규모 태양광, 풍력 발전소, V2G 등의 분산에너지 자원을 모아 구성될 수 있으며, 최근에는 분산에너지 자원을 양수발전, ESS 등 에너지저장장치와 ICT와 IoT기술로 통합하여 하나의 발전소처럼 관리하는 시스템을 의미한다. 이 경우 가시성 악화 문제를 완화할 수 있으며, ESS 등의 에너지저장장치와 연계될 경우 전력품질 안정화도 도모할 수 있게 된다.

가상발전소에서 가상발전소 사업자는 전력중개 사업자가 되며, 분산 에너지 자원과 에너지저장장치 자원의 모집하고 이를 제어하여 전력도매시장에 전력 판매자로 참여한다. 가상발전소 사업자는 분산 에너지 자원 사업자로부터 분산에너지 자원 제어·판매 등을 위탁받으며, 전력 판매로 얻어지는 이익은 분산에너지 자원 사업자와 공유한다. 전력 시장 사업자는 발전 전력을 가상발전소 사업자로부터 구매하고 전력망 안정을 위해 가상발전소 제어를 지시하는 역할을 한다.

(2) 가상발전소 주요 사례

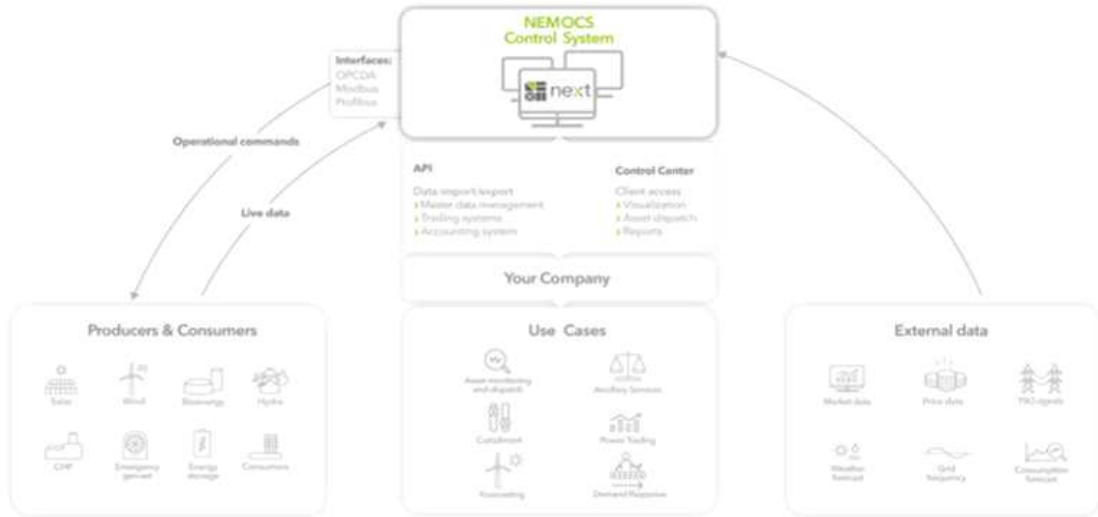
독일 Next Kraftwerke社は 가상발전소의 대표 사례로 언급되고 있다.

Next Kraftwerke社は 2009년에 설립되어 분산에너지 자원, IoT, 콘트롤 시스템을 연결하여 공급형 가상발전소를 구축하였다. 2021년 현재 분산에너지 자원은 바이오, 태양광, 풍력 등 총 12,000여개로 구성되어 있으며, 전력용량은 9,822MW, 거래량은 15.1TWh에 달하는 유럽 최대 규모의 가상발전소이다.

Next Kraftwerke社は 콘트롤 시스템인 NEMOCS 등을 통해 분산에너지 자원의 상황을 실시간으로 모니터링 가능하게 하고 날씨, 전력거래가 정보 등에 따라 각 분산발전 자원을 원격 자동 제어 기능을 통해 최적화하여 관리한다. 또한, 전력거래포탈을 운영하여 소비자, 공급자에게 거래 모니터링, 정보분석, 예측자료 등을 제공하고, 소비자와 공급자간 전력 직거래도 가능하게 하고 있다.

44) 에너지경제연구원(2019). 공급형 가상발전소 활성화 방안 연구

< Next Kraftwerke사 가상발전소 사업 모델⁴⁵⁾ >



세계 유수의 기업들도 가상발전소에 투자를 아끼지 않고 있다. 글로벌 석유기업인 로열 더치셸은 최근에 Next Kraftwerke사를 인수하였고, 테슬라도 2018년부터 호주에서 5만 가구를 대상으로 하는 가상 발전소 실증 시험에 참여하고 있다. 독일의 지멘스, 미국의 Autogrid, 일본의 히타치 등도 가상발전소 사업에 투자하고 있다.

국내 기업으로는 2018년 한화 큐셀이 일본 정부에서 주도하는 가상발전소 사업에 참여하고 있으며, 중부발전과 SK E&S는 미국에 시장 진출을 추진 중이다. 미국 유력 경제지인 포천 비즈니스 인사이트는 전 세계 가상발전소 시장이 연평균 27%씩 성장하여 2027년에는 28억불 규모가 될 것으로 전망하고 있다.

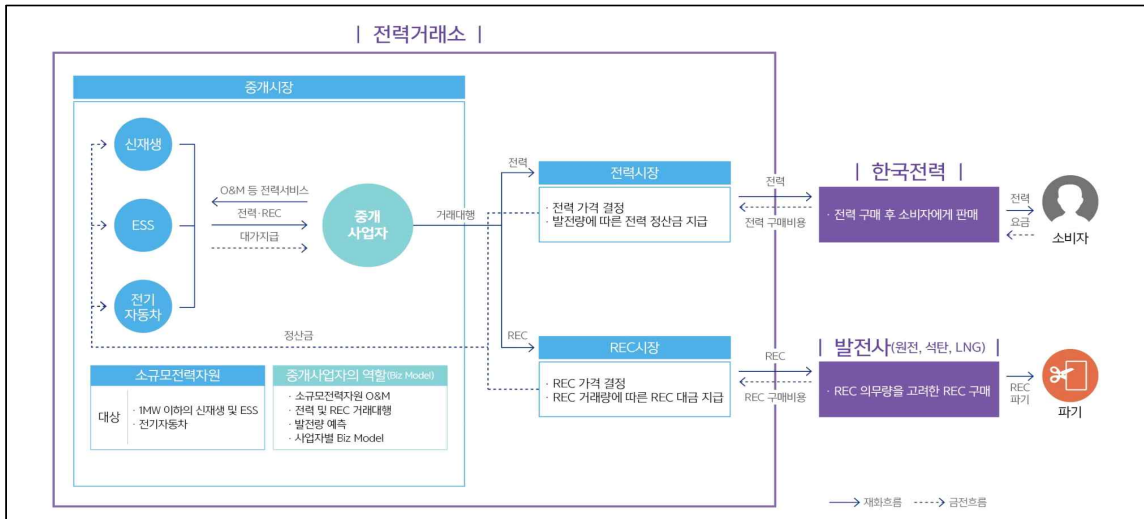
(3) 현황과 문제점

우리 정부는 2018년 관련 법을 개정하여, 소규모 전력중개사업 제도를 도입하였으며, 2019년부터 2월부터 제도를 운영 중에 있다.

45) Next Kraftwerke사 홈페이지에서 발췌

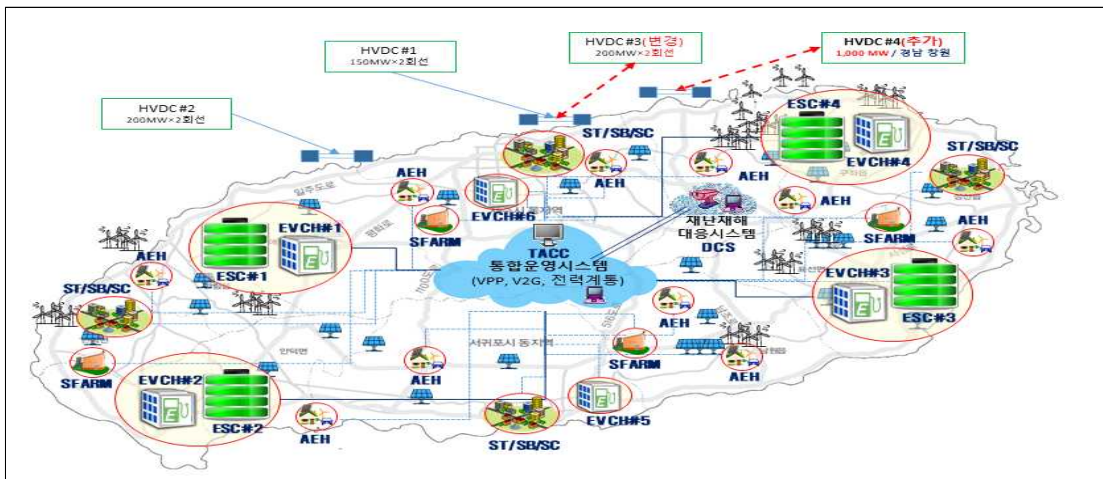
법상 소규모 전력중개 사업은 1MW 이하의 소규모 분산 자원에서 생산·저장한 전기를 중개사업자가 모아 전력시장에서 거래하는 사업을 말한다. 이를 통해 전력중개사업자가 소규모 분산 자원을 모아 종합 관리하여 전력계통의 안정성을 향상시키자는 것이다. 가상 발전소를 위한 제도적 기반 마련에 진전을 이룬 것이다.

< 소규모 전력중개사업 개요 >



또한, 가상발전소 실증 등을 위한 '분산에너지 특구' 지정을 추진 중이며, 특구내에 실증사업 활성화를 위해 전력거래 특례, 권한이양 등의 추진을 검토 중에 있다.⁴⁶⁾

< 분산에너지 특구 예시 : 제주도 >

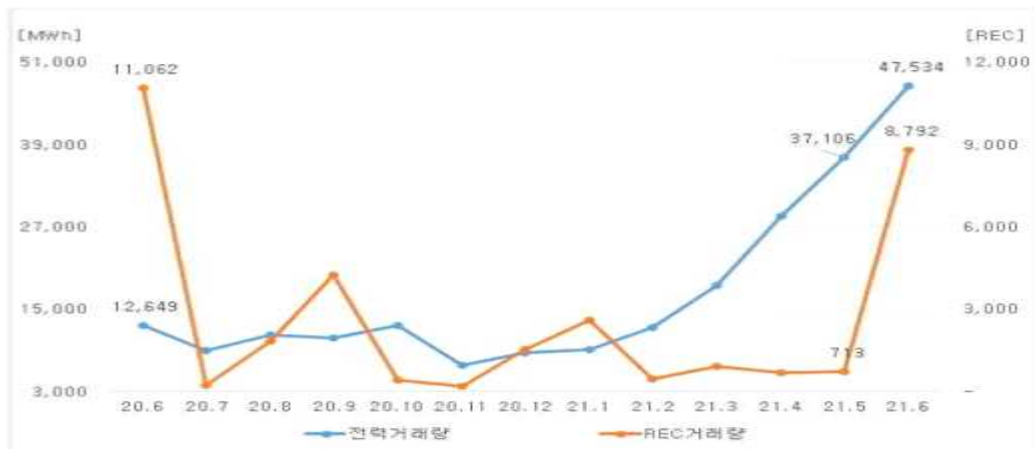


46)산업부(2021.3월). 지역주도의 분산에너지 활성화 대책

우리나라의 소규모 전력중개 사업 규모는 최근 들어 급격히 성장하고 있으나, 아직은 미미한 수준이다.

국내의 소규모 전력중개사업 등록자 수는 2021년 6월 현재 115개사로 증가하였고, 등록 용량도 2019년 24.4MW에서 2021년 6월 601.8MW로 급증하였다. 특히, 이러한 성장세는 2021년 2월 이후에 두드러지게 나타난다. 2021년 2월 소규모 전력중개사업을 통한 월별 전력 거래 규모는 0.12억kWh 수준이었으나, 2021년 6월에는 0.47억kWh로 5개월 동안 4배 가량 전력 거래 규모가 늘어난 것이다.

< 소규모 중개사업자 통한 전력 및 REC 거래량(전력거래소) >



하지만, 2021년 6월 소규모 전력중개시장을 통한 전력거래량은 같은 기간 우리나라 전체 전력 거래량 424억kWh의 0.1% 수준에 불과한 수준으로 독일 등 해외 선진국에 비하면 아직은 미미한 수준이다.

에너지경제연구원⁴⁷⁾에 따르면 소규모 발전사업자들은 소규모 전력중개사업자를 거쳐 거래하기 보다는 한전 PPA를 통해 거래하는 것을 선호한다고 한다. 중개사업자를 거쳐 전력을 판매하는 것이 큰 메리트가 없기 때문이다.

47) 에너지경제연구원(2019). 공급형 가상발전소 활성화 방안 연구

전력중개시장 판매를 위해서는 350만원에 달하는 특수 계량기를 구입해야 하는데, 한전에 판매할 경우 계량기 가격은 15만원 수준이다. 또한, 한전 PPA는 월 1회 결재로 끝나는 반면, 전력 중개시장에 전력을 판매 할 시 월 6회의 청구 및 결재가 이루어지고 전력 데이터 통신 비용도 매달 부담해야 한다. 그럼에도 불구하고 PPA대비 전력 중개시장 판매의 이득은 연간 20~30만원에 불과하다. 계량기 비용과 통신비용 등을 감안하면 소규모 전력중개 시장에 참여가 큰 이득이 없는 것이다.

(4) 정책 제언

소규모 전력중개 사업 제도는 소규모 분산형 전원을 모아 전력도매시장 진출을 장려하는 제도로써 가상발전소를 육성하기 위한 토대가 되는 제도로 볼 수 있다. 이러한 소규모 전력중개 사업을 활성화하기 위해서 기본적인 정책의 방향은 소규모 전력중개 사업자와 소규모 신재생발전 사업자의 안정적인 수익을 얻을 수 있게끔 하는 것이다.

우선, 비용을 줄이고 인센티브를 부여하는 방안을 생각해 볼 수 있다.

소규모 신재생 발전사업자에게 부담이되는 계량기 비용을 리스제 도입, 구매 보조금 지급 등으로 낮추거나, 계량기 생산업체의 생산혁신 지원, 대량구매, 기능 간소화 등을 통해 계량기 단가를 낮추는 방법도 있다. 데이터 통신비용도 전력 데이터를 담당하는 통신사들과 장기 계약 등의 방식으로 비용을 절감할 수 있을 것이다.

소규모 중개사업자에게 ‘발전량 예측 인센티브’ 제도를 도입하는 것도 필요하다. 인공지능 빅데이터 등 4차 산업혁명 기술 등을 활용하여 소규모 중개사업자가 관리하는 자원의 발전량을 정확히 예측하고, 전력 계통 안정성 향상에 대한 기여도에 따라 인센티브를 제공받는 방안

이다. 다시 말해, 소규모 중개사업자가 가시성을 개선하는데 인센티브를 주자는 것이다. 다만, 소규모 중개사업자가 적정 수준의 발전량 예측 기술 확보가 필요하고, 전력 계통의 안정성 향상에 대한 기여도를 인센티브로 환산하는 데 정밀한 기준이 필요한 만큼 제도 도입을 위한 충분한 연구와 준비가 필요하다..

다음으로 소규모 중개사업자의 사업기회를 확대하여 추가적인 수익모델을 확보하는 것이다.

현행 제도하에서 소규모 중개사업자의 수익모델은 소규모 발전사업자에게 O&M서비스를 제공하거나, 전력 및 REC 거래대행을 통해 수수료를 받는 것에 국한되어 있다. 현재 소규모 전력중개사업은 소규모 태양광 발전소 위주(1MW 이하)로 운영되고 있으나, 풍력, ESS 등과 설비 조합을 통한 신재생 발전 출력의 평활화하는 것이 전력거래에 유리하다. 이를 위해 풍력 등 여타 신재생 설비가 소규모 전력중개 사업 참여를 촉진할 수 있는 제도개선 및 정책지원이 필요한 것으로 보인다.

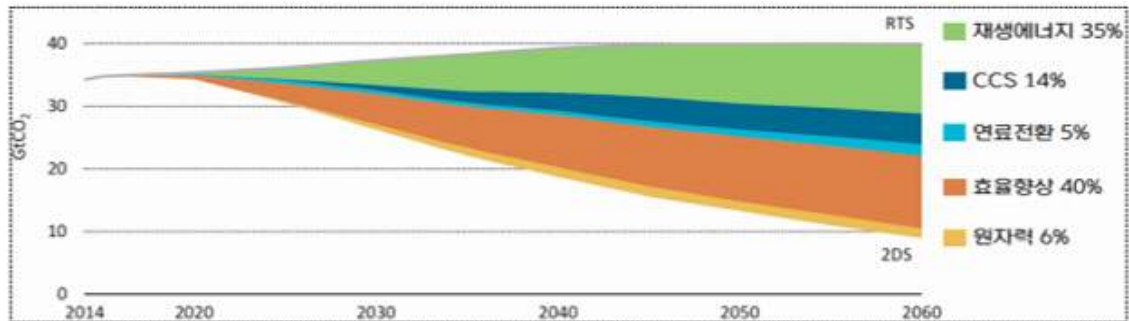
또한, 중장기적으로 전력 중개사업자가 예비력 확보, 주파수 조정 등 전력 계통 보조서비스에 참여하거나, IT 기술을 접목한 소규모 자원 조합·활용으로 다양한 전력서비스를 제공하는 등 추가적인 수익모델을 창출하고 비즈니스 영역을 확대하는 방안도 있다. 이를 위해서는 4차 산업혁명 기술 등을 활용하여 고도화된 가상발전소를 구축하는 것이 선행되어야 할 것이다.

4. xEMS, ZEx : 에너지 효율 혁신

(1) xEMS(x Energy Management System), ZEx(Zero Energy x) 개요

파리기후변화협약에 대응하여 세계 각국은 강도 높은 에너지 소비 감축 목표를 세웠다. 각국에서 제출한 이행계획에 기반한 IEA(국제에너지기구)의 온실가스 감축 시나리오 따르면 에너지 효율 향상이 가장 강력한 파리기후변화협약 이행수단이다. IEA는 온실가스 감축 기여도를 에너지 효율 향상 40%, 신재생 35%, CCS 14% 순으로 전망하고 있다.

< 2° C 시나리오 달성을 위한 감축기여도 전망(IEA) >



세계 각국이 에너지 효율에 큰 관심을 갖는 데에는 이유가 있다.

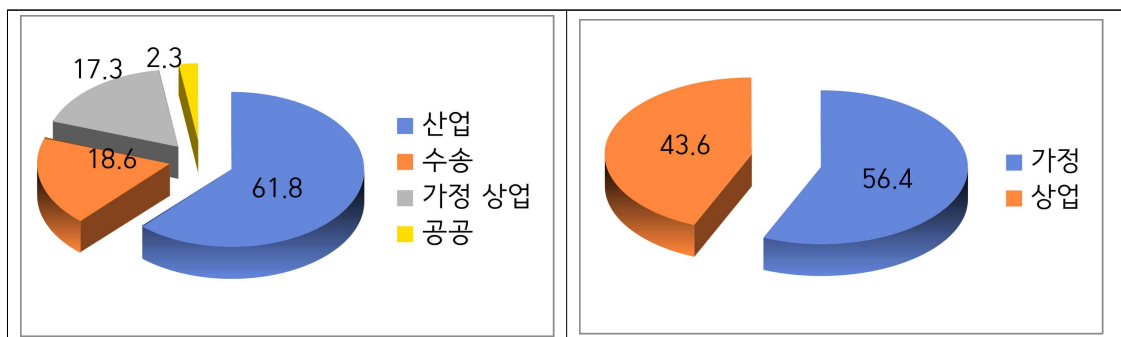
우선, 에너지 효율 혁신은 에너지 생산비용이 가장 낮다. 미국 에너지 효율 위원회에 따르면 kWh당 균등화발전비용이 태양광 5.5센트, 석탄 10.1센트, 원자력 11.7센트인 반면, 에너지 1kWh를 절약하는데 소요되는 비용은 3.5센트 수준이라고 한다.

에너지 효율 혁신은 대규모 발전시설 건설시 발생하는 지역주민, 환경단체 등과의 갈등도 회피할 수 있어서 사회적 비용을 줄일 수 있는 장점도 있다. 또한 기업은 에너지 비용 절감을 통해 경쟁력을 제고할 수 있고, 고효율 제품과 에너지 절감 서비스 등 연관 산업도 발전할 수 있게 된다.

우리 나라도 에너지 효율 혁신에 힘을 기울여야 하는 상황이다. 우리나라는 GDP는 세계 12위 인데 반해 에너지 소비는 세계 8위로 대표적인 에너지 다소비국가이기 때문이다.

2019년 우리나라 에너지 소비 비중을 부문별로는 살펴보면, 산업 부문에서 61.8%, 가정·상업 부문에서 17.3%, 수송 부문에서 18.6%의 에너지를 소비하고 있다. 가정·상업 부문에 소비되는 에너지는 가정 부문이 56.4%, 상업부문이 43.6%를 사용하고 있다.

< 각 부문별 에너지 소비 비중(단위 %) >



수송분야는 주로 수송기계의 연비향상, 고효율화 등을 통해 에너지 효율 혁신이 이루어져 왔다. 반면에 공장, 주택, 빌딩으로 대표될 수 있는 산업·가정·상업 부문의 에너지 효율 혁신은 합리적인 에너지 사용을 위한 체계적인 에너지관리를 통해 이루어져 왔다.

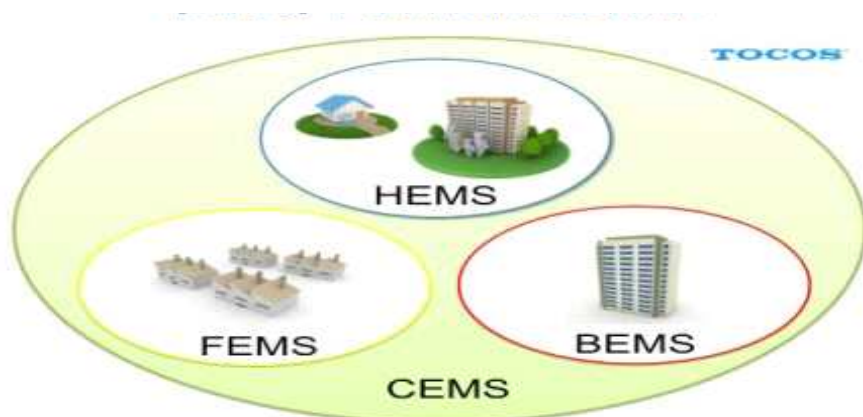
체계적인 에너지 관리는 지속적으로 에너지 사용 행태에 대한 데이터를 수집하고 분석하여 에너지를 절약할 수 있는 기회를 찾아서 실행하는 전반적인 관리활동이다. 이러한 활동을 ICT를 활용하여 지원하는 것을 에너지 관리 시스템(이하 EMS : Energy Management System)이라 한다. 에너지관리에는 에너지 사용에 대한 계측을 통한 체계적 모니터링, 분석 및 계획수립을 포함하고 있기에 여기서는 에너지관리 활동, 실행 및 절차도 포함된다.

다시 말해 EMS란 ICT기술을 활용하여 빌딩, 공장, 주택 등을 대상으

로 에너지 흐름과 사용을 최적화하기 위한 통합 에너지관리 솔루션이라 할 수 있다.⁴⁸⁾

EMS는 적용 대상에 따라 xEMS로 구분된다. 주택은 HEMS(Home EMS), 빌딩은 BEMS(Building EMS), 공장은 FEMS(Factory EMS)로 구분되며, 주택, 빌딩, 공장을 포함한 도시나 사회공동체에 적용되는 경우에는 CEMS(City/Community EMS)로 구분되기도 한다. 각각의 적용 대상은 상이하나, 모든 시스템이 에너지의 흐름과 사용에 대해 모니터링, 분석, 제어 기능을 공통적으로 가지고 있다.

< xEMS 시스템 관계도 >



자료: TOCOS(http://tocos-wireless.com/jp/products/wsn_evalkit.html)

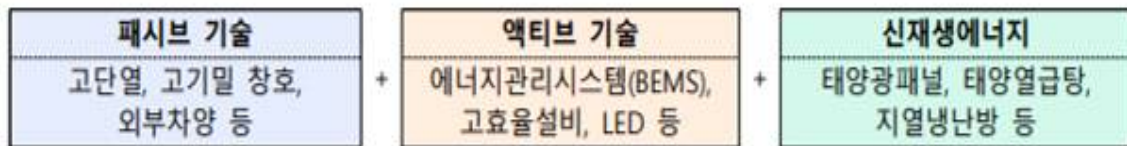
최근에는 xEMS(HEMS, BEMS, FEMS)에서 진화한 제로에너지건축물 (ZEx : Zero Energy x) 개념이 등장하고 있다. ZEB(제로에너지빌딩 : Zero Energy Building), ZEH(제로에너지홈 : Zero Energy Home), ZEF(제로에너지팩토리 : Zero Energy Factory)가 그것이다.

제로에너지건축물은 녹색건축물 조성 지원법상, ‘건축물에 필요한 에너지 부하를 최소화하고 신에너지 및 재생에너지를 활용하여 에너지 소요량을 최소화하는 녹색 건축물’로 정의된다. 구체적으로는 고성능 단열재, 창호 등 패시브 기술을 활용하여 건축물에 필요한 에너지 부

48) 에너지경제연구원(2015). 에너지관리시스템(EMS) 산업 육성 방안

하를 최소화하고, 고효율 설비, BEMS 등을 액티브 기술을 적용하여 에너지 소비량을 줄이면서 신재생에너지 생산으로 건축물에 소요되는 에너지량을 제로화하는 건축물을 의미한다.⁴⁹⁾

〈 제로 에너지 건축물 개념도 및 적용기술 〉



49) 국토부 보도자료(2021.6월). 2050년 탄소중립 달성을 위한 녹색건축 활성화 방안 발표

< 제로 에너지 빌딩 사례 >

<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">판교 제2테크노밸리 기업지원 허브</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;">  <div style="font-size: small;"> <p>위치 경기도 성남시</p> <p>대지면적 22,754 m²</p> <p>사업주체 및 내용 한국토지주택공사 / 지하 2층, 지상 8층 에너지자립률 : 20.20%</p> <p>추진일정 준공 (17.10)</p> </div> </div> <p>주요 내용 준공건물 최초로 제로에너지빌딩 인증을 획득, 연면적 8만m²의 대형 건축물로서, 대규모 건물의 제로에너지빌딩 실현가능성을 보일 창면적비 최적화, 차양일체형 외피 적용을 통한 태양일사의 최적이용으로 조명사용 감소, 고단열 창호와 외벽을 통한 건물의 단열성 증가, UES*, 태양광에너지, 지열을 이용한 냉난방으로 건물에 필요한 에너지 중 약 20%를 신재생에너지 이용.</p> <p>적용 기술</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: x-small;"> <div style="text-align: center;">  태양광 에너지  지열히트펌프  UES </div> <div style="text-align: center;">  고단열 창호 및 외벽  차양 일체형 외피  창면적비 최적화 </div> </div> <p style="font-size: x-small;">* UES : UPS(Uninterruptible power supply)와 ESS(Energy storage system)의 합성어로 정전 시 비상발전기 역할을 대용할 수 있으며, 아간의 전기를 저장하여 주간 전력피크와 사용전력 절감.</p>	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">송도 힐스테이트 레이크</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;">  <div style="font-size: small;"> <p>위치 인천시 연수구</p> <p>대지면적 53,022 m²</p> <p>사업주체 및 내용 현대건설 / 886세대, 지상 36층 지하 2층 주거 공동주택, 에너지자립률 20% 이상</p> <p>추진일정 준공예정 (18.07)</p> </div> </div> <p>주요 내용 제로에너지빌딩 시범사업으로 선정된 초고층 공공주택으로서 고품형 제로에너지빌딩의 대표적 사례가 될. 법적기준보다 14% 향상된 고단열, 고기밀 건물외피를 비롯, 고효율조명(LED), 고효율냉난방기기 뿐 아니라 태양광(PV), 건물일체형태양광(BIPV), 연료전지 등 신재생시스템을 적용하였고, 공동주택용 BEMS를 개발 및 적용.</p> <p>적용 기술</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: x-small;"> <div style="text-align: center;">  태양광 에너지  수소연료전지  BEMS  폐열회수 환기장치  고효율 조명장치 </div> <div style="text-align: center;">  고단열 창호 및 외벽  고기밀  고성능 창호 </div> </div>
<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">정산 기숙형 중학교</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;">  <div style="font-size: small;"> <p>위치 충남 청양군</p> <p>대지면적 36,500 m²</p> <p>사업주체 및 내용 충남교육청 / 지하 1층, 지상 2층 학급 수: 7학급(129명 규모) 에너지자립률: 100% 목표</p> <p>추진일정 준공예정 (19.3)</p> </div> </div> <p>주요 내용 제로에너지빌딩 시범사업 중 하나로, 학교로서 최초의 제로에너지빌딩 인증을 획득한 건물일체형 태양광(BIPV), 지열을 이용한 냉난방 등을 이용하여 100% 에너지 자립 추진. 농촌의 자연환경에 부응할 수 있는 에너지 자립학교로 설립.</p> <p>적용 기술</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: x-small;"> <div style="text-align: center;">  태양광 에너지  지열히트펌프  BEMS </div> <div style="text-align: center;">  고단열 창호 및 외벽  고기밀  고성능 창호  외부전동차양 </div> </div>	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">요코하마 스마트 타운</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;">  <div style="font-size: small;"> <p>위치 일본 카나가와현 요코하마시</p> <p>대지면적 60,000 m²</p> <p>사업주체 및 내용 도시바 / 가칭 4,200세대, 대형빌딩 6개동 등</p> <p>추진일정 시범지역 선정(10.4) → 실증 종료(15.3)</p> </div> </div> <p>주요 내용 요코하마 스마트시티는 전기에너지의 효율적 이용과 다양한 에너지를 지역단위로 관리하기위해 구축한 스마트시티 실증 단지. 지역에너지관리시스템(CEMS)를 축으로 빌딩, 가정, 전기차를 유기적으로 연계하는 관리방안 고찰</p> <p>적용 기술</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: x-small;"> <div style="text-align: center;">  태양광 에너지  연료전지  BEMS  고효율 조명장치 </div> </div>

제로에너지 건축물에는 에너지 효율을 높이는 기존의 건축기술 뿐만 아니라 스마트 홈, 스마트 빌딩, 스마트 팩토리 등의 혁신 기술도 에너지 효율을 높이는데 활용이 된다.

스마트 홈을 예를 들자면, 집안의 가전제품은 에너지 고효율 기기로 구성이 되고, 각각의 기기들이 AI로 연결된다. AI는 전자 기기를 관리하여 사용하지 않는 전자기기의 전력은 자동으로 차단이 되고, 거주자의 생활 패턴을 학습하여 조명의 밝기, 냉난방 온도 제어 등 에너지 사용을 최적화한다.

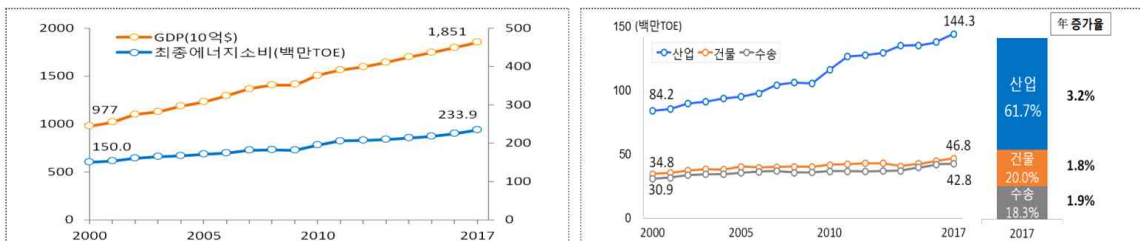
스마트 빌딩은 자동 블라인드, 조명기기 디밍 제어 등을 통해 불필요한 에너지 사용을 줄이는 기능을 하고, 스마트 팩토리도 생산성 극대화가 에너지 효율 향상으로 직결된다. 에너지 효율 혁신이 4차 산업혁명 기술과 맞물리면서 보다 강력해진 것이다.

(2) 현황 및 문제점

우리나라는 에너지 다소비 국가로서 경제성장과 에너지소비 감소를 함께 달성하고 있는 선진국과는 달리 에너지 다소비·저효율 소비구조가 고착화되고 있다.

‘에너지 효율 혁신 전략(2019, 관계부처 합동)’에 따르면 우리나라의 최종 에너지 소비는 2000년 이후 연 2.7% 가량 지속 증가하여, 2017년 234백만 TOE에 이르렀다. 에너지 소비 비중이 가장 높은 산업 부문이 에너지 소비를 증가를 주도하는 가운데, 건물·수송 부분도 꾸준히 증가하고 있다.

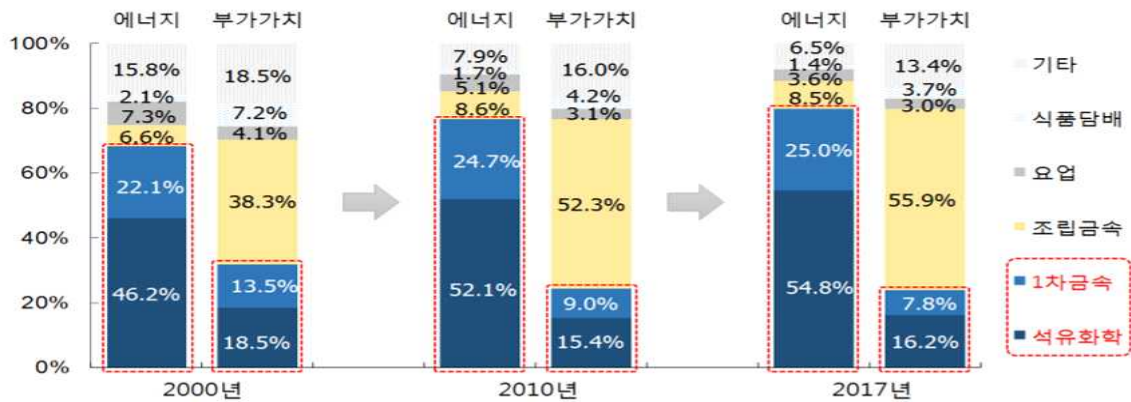
〈 우리나라의 최종 에너지 소비추세 〉



산업부문을 살펴보면 2017년 산업부문 에너지 소비량 144.3백만TOE의 87.5%를 제조업이 차지하고 있으며, 에너지 소비 증가율(2000년~2017년)은 3.2%로 우리나라 전체 에너지 소비 증가율 2.7%를 상회하고 있다.

제조업종 중 에너지 다소비 업종인 석유·화학, 철강은 에너지 소비 비중이 지속 증가추세에 있으며, 부가가치 비중도 낮아지는 추세로 에너지 원단위도 악화되고 있는 상황이다.

〈 업종별 에너지소비 및 부가가치 비중 추이 〉



철강의 경우 2010년 이후 대규모 고로설비 등을 신·증설⁵⁰⁾하였으나, 글로벌 공급 과잉으로 인한 단가하락⁵¹⁾으로 부가가치 기준 에너지 원단위가 악화되었다. 석유·화학은 에너지 다소비 품목인 파라자일렌과 폴리에틸렌, 폴리 프로필렌의 생산은 증가하였으나, 주요 수요국인 중국의 자급률 향상, 글로벌 공급과잉에 따른 스프레드⁵²⁾ 축소로 에너지 원단위가 개선이 정체가 된 상황이다.

정부는 지금까지 산업부문에 대해 배출권 거래제 등 온실가스 배출총량 규제를 통해 에너지 다소비 사업장의 에너지 효율을 간접적으로 관리해 왔다. 기업들은 주로 배출권을 구입하거나 생산량을 조정하여 온실가스 규제에 대응해 왔다.

50) 2010년~2013년간 21.8백만톤 신 증설('17년 전체 조강생산능력 80.7백만톤의 27%)

51) 국제 철강재 가격지수(CRU) : ('10.12) 179.7 → ('12.12) 175.0 → ('14.12) 154.5

52) 석유화학 제품가격에서 원재료(나프타) 값을 차감한 것으로 시황을 알려주는 대표 지표

하지만, 기업들은 에너지 효율 향상에 대한 직접적인 투자에는 미온적인 상황이다. 공장의 에너지 효율 향상에 있어서 중요한 역할을 수행하는 FEMS(공장 에너지관리시스템)의 보급에 정부가 설치 보조금, 설치시 세액공제 등을 지원하고 있으나, 초기 투자비 부담, 투자회수의 불확실성, 사후 관리역량 부족 등으로 민간의 자발적 확산에는 한계가 있는 상황이다. 2011년부터 2018년간 FEMS 보급실적은 정부지원으로 459건이 설치된 반면, 민간에서 자발적으로 설치를 한 것은 13건에 불과하였다.

선진국에서는 기업의 에너지 효율 혁신에 대해 인센티브를 지원하는 방식으로 기업들의 적극적인 참여를 유도하고 있고, 성과를 거두고 있다.

독일의 경우 기업들은 정부와 에너지 원단위 개선목표(약 1.3%/年)를 설정하는 협약을 자발적으로 맺고, 정부는 기업들이 목표를 달성한 경우에는 에너지세를 90% 감면해주는 제도를 2012년부터 운영하고 있다.

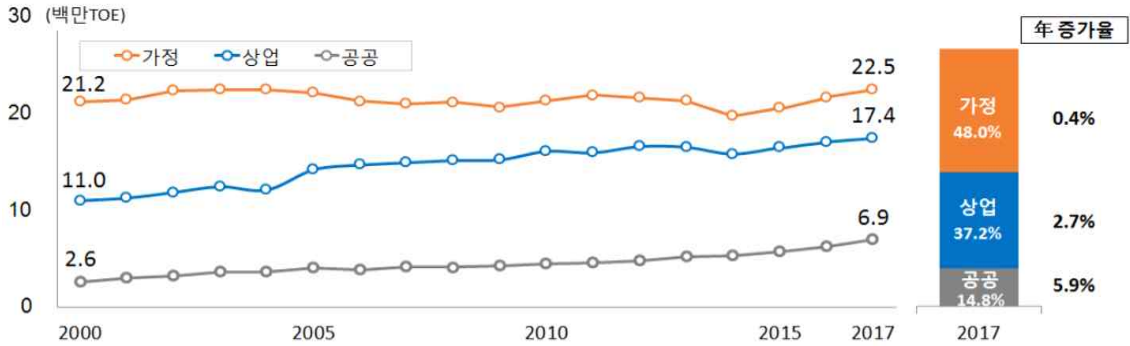
미국은 정부와 기업간에 에너지원단위 개선 파트너쉽을 체결하고 우수기업을 홍보하고 있다. 2012년~ 2017년간 202개의 파트너쉽을 맺었으며, 약 26백만 TOE(53억\$ 상당)의 에너지를 절감하였다.

일본은 연간 1% 원단위 개선 의무를 기업들에게 부과하고, 우수 기업에게 세제혜택을 부여하고 있다. 또한 연간 2,000억원의 대규모 EMS설치보조사업을 하고 있으며, EMS 전문 사업자 제도⁵³⁾도 운영하고 있다.

한편, 건물부문(상업·가정 및 공공 분야)은 전체 에너지 소비량의 약 20%를 차지하고 있으며, 2000년에서 2017년간 가정용 소비는 증가율은 연 증가율이 0.4%수준으로 둔화되고 있는 반면, 상업·공공용 소비는 서비스 업종의 성장으로 연 증가율 각각 2.7%, 5.9%의 빠른 증가세를 보이고 있다.

53) EMS 전문사업자와 사후관리 서비스 계약시 정부 지원비율을 상향(33% → 50%)

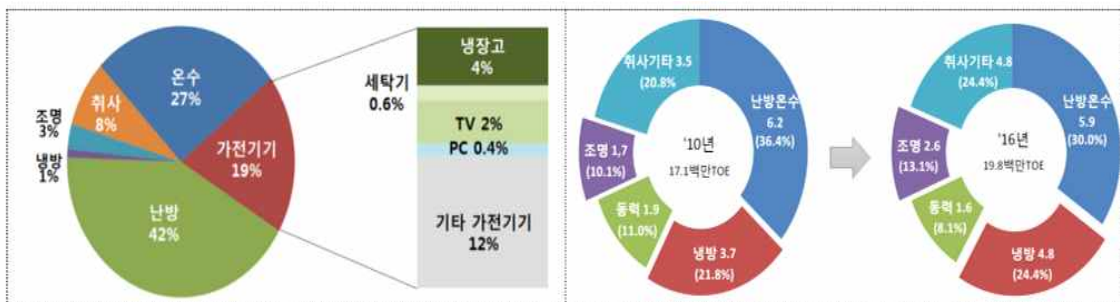
〈 건물부문 에너지 소비량 추이 〉



상업·공공 분야의 에너지원단위(에너지소비량(TOE)/서비스업부가가치(천\$))는 2000년 0.032에서 2014년 0.022로 개선추세를 보이다가, 2016년 0.022로 정체되고 있으며, 2016년 기준 미국 0.016, 독일 0.014, 일본 0.012 등 선진국에 비해서는 미흡한 수준이다.

에너지 소비 용도는 가정용 소비의 경우 난방, 온수, 가전기기 비중이 88%를 차지하고 있으며, 상업·공공용 소비는 냉·난방의 비중이 60%에 달하였으며, 전력소모가 큰 냉방과 조명 용도의 소비 비중이 2010년에서 2016년간 크게 증가하였다.

〈 건물부문(左 가정, 右 상업·공공) 에너지 소비 용도〉



정부는 건물부문에 대해서는 에너지절약 설계기준(2008년), 제로에너지건물 의무화(2017년) 및 제로에너지 인증취득 등급에 따른 인센티브를 부여하는 등 신축건물을 대상으로 한 효율관리체계는 비교적 양호한 편이다. 다만, 기존 건물을 대상으로한 소유주의 에너지 효율 향상 투자에 대한 동기부여가 미흡하고 지원규모도 부족한 상황이다.

< 제로에너지건축물 인증 인센티브 >

- 건축기준 완화 : 건축물의 용적률 및 높이 등급별 기준완화(15%~11%)
- 세제혜택 : 취득세 감면(1~3등급 20%, 4등급 18%, 5등급 15%)
- 자금 및 금융 지원 : 주택도시기금 대출한도 20% 상향, 기반시설 기부채납 부담수준 최대 15% 경감률 적용, BEMS 보조금 지급
- 기타 : 신재생에너지 설치 보조금 우선지원, 설비 투자비 저리 지원

1990년대 도입한 에너지 소비효율등급제, 대기전력저감제도 등은 전기제품 효율향상에 많은 기여를 하였으나, 그간의 기술과 환경의 변화를 반영하여 재정비할 필요가 있다. 선진국과 비교하였을 때 에너지 고효율 제품에 대한 소비자의 민감도가 아직 부족하고 선택지가 부족한 경직적인 전기요금체계는 소비자에게 전기절약을 유인하는 미흡하다.

(3) 정책 제언

산업분야의 경우, 우선 FEMS의 활용을 적극 확대하여야 한다.

최근 4차 산업혁명기술의 등장으로 공장의 스마트화, 이른바 스마트 팩토리의 보급이 가속화되고 있다. 스마트 팩토리는 IoT를 기반으로 생산설비들이 연결이 되고, 인공지능와 빅데이터 기술 등을 활용해 최소 시간과 비용으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 시스템이다. 이러한 스마트 팩토리의 설비간 IoT를 통한 연결성과 인공지능을 이용한 제어는 고도화된 FEMS시스템의 구성과 유사하다. 고도화된 FEMS도 각각의 배전, 공조, 조명, 생산설비 등과 통신을 하면서 AI를 활용하여 최적의 에너지 효율 제어를 하는 시스템이기 때문이다. 다시 말해서 FEMS와 스마트 팩토리간 시너지가 크고, AI, 빅데이터 등 4차 산업혁명 기술은 FEMS를 더욱 강력하게 만든 것이다.

정부의 FEMS보급 정책은 스마트 공장 보급정책과 연계하여 추진되어야 한다.⁵⁴⁾ 투자여력이 부족한 중소·중견 기업을 대상으로 FEMS 설

치 보조금 지원을 일본 수준으로 대폭 확대하여야 한다. 일본의 EMS 보급지원 예산이 연간 2,000억원 수준인데 반해, 우리는 연간 60억원에 불과한 것이 현실이다. 스마트 팩토리 보급확산을 위한 각종 지원 사업과 보다 강하게 연계하는 방안을 강구하는 것이 필요해 보인다.

< 스마트 팩토리 금융지원 사업⁵⁵⁾ >

사업명	지원내용	예산/운용 규모	지원한도
제조현장스마트화 자금	시설자금, 운전자금 대출	5,000억원	총 100억원 연 10억원
IBK 스마트공장 지원 대출		추가금리 인하 1.0% 보증료 감면 0.4%	
스마트공장 지원 특별자금	공장 신설, 설비도입, 증축 등	1조원	1,000억원
스마트 공장 특화 지원프로그램	(협약) 보증 비율 : 95%, 보증료 차감 0.4%, 보증료 지원 0.2% (우대) 보증 비율 : 90%, 보증료 차감 0.2%,		
스마트공장 구축·공급 기업 전용펀드	벤처 투자펀드 조성·지원	'21년까지 3,000억원 조성	-

FEMS 설치 기업이 실질적인 에너지 절감 성과를 얻을 수 있도록 설치 후 상당기간 동안 사후관리와 컨설팅 지원도 필요하다. FEMS는 설치 즉시 가시적인 성과를 보이는 시스템이라기 보다는, 에너지 사용 데이터를 분석하고 개선점을 찾아나가면서 점차 성과가 드러나는 시스템이기 때문이다.

FEMS 전문기업 육성도 필요하다. 기 시행된 FEMS 사업자 등록제와 FEMS 보급지원 사업을 연계하여 FEMS 도입을 원하는 사업자가 등록된 전문기업을 통해 FEMS 설치·운영을 추진하는 경우 FEMS 보급지원 사업에서 인센티브를 부여하는 방안도 FEMS 전문기업 육성에 효과적인 방법이라 생각된다. 일본의 경우 FEMS도입을 원하는 사업자가 EMS 전문사업자와 사후관리 서비스 계약시 FEMS 보급지원 사업에 정부 지원비율을 상향(33% → 50%)하여 지원하고 있다.

54) 한국산업기술대학교(2018). 스마트팩토리와 에너지관리시스템 적용을 위한 평가모형의 개발 연구

55) 스마트 제조혁신 추진단

기업들의 자발적인 에너지 효율 목표제도 본격적으로 시행하여야 한다. 2020년 시범 실시된 사업에서 44개 참여기업들이 평균 1.8%의 에너지 원단위 개선실적을 보였고, 우수 사업장 19개는 9.5% 이상의 에너지 원단위 개선에 성공하는 성과를 보였다.⁵⁶⁾ 기업들의 적극 참여를 유도하기 위해 기업들이 목표를 달성시 제공받는 인센티브를 획기적으로 강화⁵⁷⁾하는 방안도 검토가 필요하다.

건물부분은 제로에너지건축물 인증제를 차질없이 추진하는 것이 중요하다. 제로에너지건축물 인증사업이 2017년 시행된 이후 2021년 11월 현재까지 1,500여개의 건축물이 예비인증 또는 본인증을 획득하였다.

특히, 2021년 들어 인증 획득 건물이 가파른 증가세를 보이고 있는 점은 고무적이다. 제로에너지 건축 의무화 로드맵에 따라 민간 건축물에 대해 2025년부터 의무제가 시행되는 만큼, 선진국 대비 78%의 기술 수준⁵⁸⁾에 머물고 있는 국내 건설사들이 충분한 역량을 갖출 수 있도록 관련 시장규모 확대, R&D 지원이 필요하다.

< 제로에너지건축물 의무화 로드맵 (국토부) >



56) 전기신문(2021.8.26.). 코로나 19 영향에도 자발적 에너지효율 목표제 원단위 개선 성공

57) 2019년 에너지 효율 혁신전략 마련시 검토된 인센티브 : 우수사업장 인증 및 에너지 진단의무 면제, 전력산업기반기금 부담금 환급 등

58) 국토부 보도자료(2019.6월). 제로에너지건축, 건축을 넘어 도시로! 이제 시작합니다.

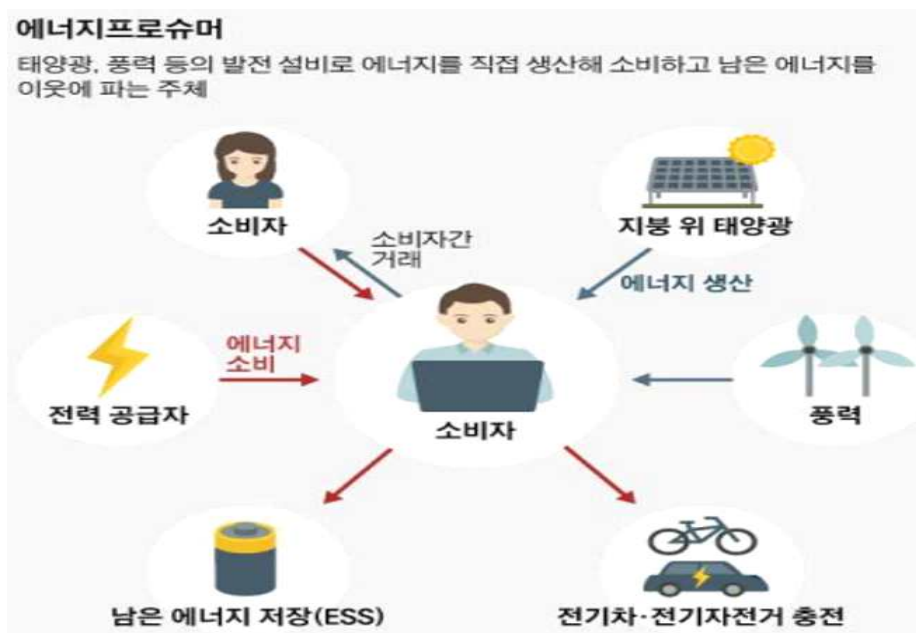
제로에너지 건축물 또한 스마트홈, 스마트빌딩과 연계하여 추진하는 것이 바람직하다. FEMS와 마찬가지로 고도화된 HEMS, BEMS를 구축하기 위해서는 스마트홈, 스마트빌딩에 기반하는 것이 유리하기 때문이다.

5. 에너지 프로슈머

(1) 에너지 프로슈머 개요

에너지 프로슈머(Prosumer)란 에너지 생산자(Producer)와 에너지 소비자(Consumer)의 합성어로 에너지 생산자와 소비자를 동시에 의미한다. 에너지 프로슈머는 에너지 생산량이 소비량 보다 많으면 생산자로, 소비량이 생산량보다 많은 경우에는 소비자가 되는 특징이 있다.

< 에너지 프로슈머 개념(조선일보) >



에너지 프로슈머는 분산형 에너지 자원, 에너지 자원을 거래하기 위한 거래시장, 프로슈머의 송전·거래를 지원 시스템으로 구성된다.

프로슈머의 분산형 자원은 태양광·풍력 발전, ESS에만 국한되지 않는다. 전기자동차 배터리도 V2G로 활용되어 양방향 송전을 할 경우 분산형 자원이라 할 수 있다. 또한, 발전보일러(Micro-CHP)도 중요한 분산형 전원이다. 이는 우리의 아파트 단지가 열과 전기를 공급받고 있는 대형 열병합 발전소의 축소형태라 할 수 있다.

< Micro-CHP 종류 >



또한, ‘국민 DR’ 과 같은 가상의 수요 반응 자원도 프로슈머의 분산형 자원중의 하나로 분류된다.⁵⁹⁾

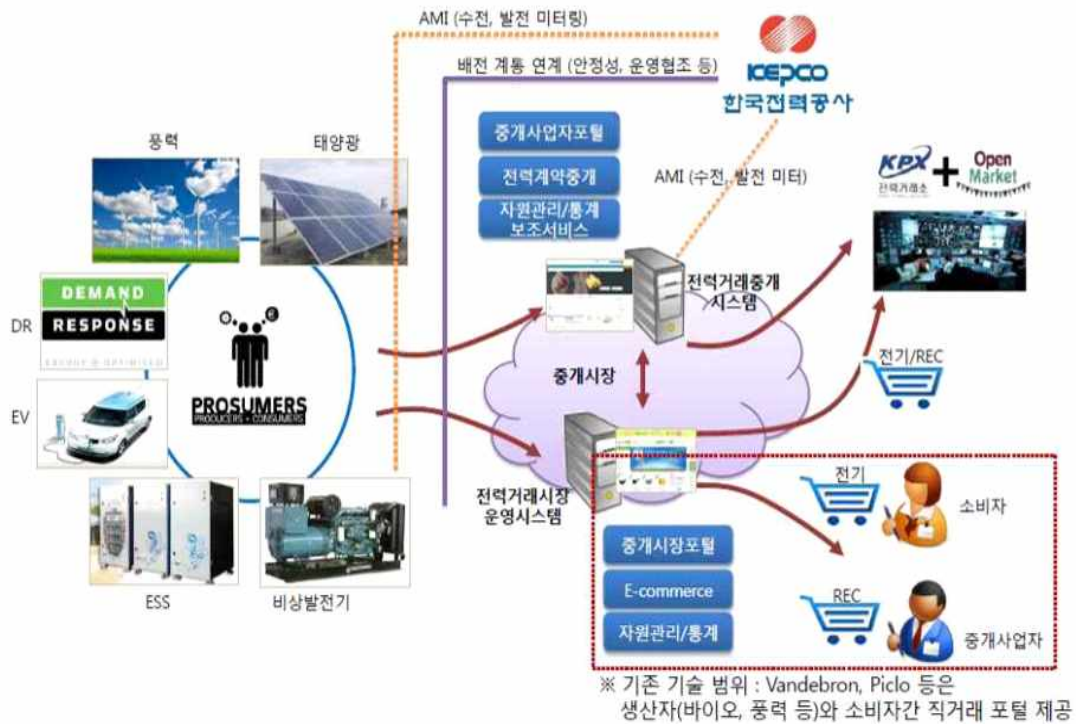
프로슈머의 분산자원을 거래할 수 있는 전력 거래시장은 상계거래, 이웃간 거래, 도매시장 참여의 3가지로 분류가 가능하다. 상계거래(NEM : Net Energy Metering)는 프로슈머가 전력 공급자로부터의 수전량에서 프로슈머의 발전량을 차감한 양에 대해서만 전기요금을 지불하는 것이다. 이웃간 거래(P2P Electricity Trading)는 프로슈머 자신이 생산한 전력을 전력요금 부담이 큰 이웃에게 판매를 하는 것이다. 도매시장 참여(Electricity Market)는 프로슈머는 전력 중개 사업자를 통해서 거래시장에 참여하여 생산전력을 판매하는 것을 말한다.

프로슈머의 송전·거래 지원시스템은 프로슈머가 전력을 생산하고 송전·거래하는 데 있어서 필요한 시스템과 인프라를 의미한다. HEMS, BEMS, FEMS 등 xEMS시스템은 분산 전원에서 생산된 전력을 관리하고 더 나아가 전력의 판매 여부와 시점까지 판단한다.

송전된 전력은 스마트 그리드 또는 마이크로 그리드를 통해 소비자에게 전달이 되고, 각종 전력거래 시스템은 프로슈머의 전력 거래시장 참여를 지원하게 된다.

59) 산업부(2015). 2030 에너지 신산업 확산전략

< 에너지 프로슈머 구성요소 및 기능⁶⁰⁾ >





프로슈머의 등장으로 기존의 수동적인 에너지 소비자가 적극적인 에너지 생산자로의 변화가 가능해지면서 소비자 공급자 간의 일방향적인 관계가 양방향적인 관계로 바뀌게 되었다. 이를 통해 소비자의 역할과 공급자의 역할이 달라지면서 전력중개사업, xEMS(에너지관리시스템) 등 변화에 맞는 새로운 비즈니스 모델과 시스템이 요구되고 있다.

(2) 해외 주요 사례

해외에서 에너지 프로슈머가 가장 활성화된 곳은 독일이다. 독일은 프로슈머의 상계거래, 이웃간 거래, 도매시장 거래 모두를 지원하고 있다. 이는 독일이 높은 신재생 에너지 비중, 그리드 패러티 달성, 신재생 에너지에 대한 독일 정부의 강한 정책의지가 뒷받침되고 있기에 가능한 것이다.

60) 환경산업기술원. 에너지 프로슈머 활성화를 위한 시사점 분석

거래 방식별로 살펴보면, 유럽에서는 상계거래 방식 뿐만 아니라 역송전력에 대해 금전적으로 보상하는 방식의 넷빌링 방식도 지원하여 자가발전 신재생 에너지에 대해 보상을 하고 있다. 한편, 미국에서는 상계거래시 역송전된 전력이 소매가로 보상되고, 역송전시 송배전망 이용 비용부담이 적거나 없는 관계로 에너지 프로슈머 미참여 소비자와의 전기요금 형평성 문제가 대두되어 상계거래 제도에 변화가 일어나고 있다.⁶¹⁾

상계거래 (NEM)	전력회사 수전량에서 발전량을 차감한 양에 대해서만 요금 지불	 미국	상계거래의 문제점 대두로 인해, 일부지역에서는 상계거래 단계적 축소 진행
		 유럽	상계거래제도 뿐만 아니라 넷빌링(Net Billing), 자가소비(Self-Consumption) 등 시행

이웃간 거래에서는 독일의 소넨 커뮤니티를 주목할 만 하다. 소넨 커뮤니티는 소넨 배터리사가 제조한 ESS를 사용하는 태양광 발전설비 소유자를 연결하여 잉여전력을 온라인으로 공유하는 플랫폼이다. 가장 큰 특징은 ESS 저장장치를 활용하여 맑은 날에는 발전 전기를 ESS에 저장하고, 흐리거나 비오는 날에 저장한 전력을 판매하여 높은 수익을 얻고 있으며, 커뮤니티내에서 전력 판매자의 판매가격은 FIT가격 보다는 높고 전력소비자의 전력 구매가격은 전기요금 보다 낮게 설정한다.

이웃 간 거래 (P2P trading)	프로슈머는 자신이 생산한 전력을 전기요금 부담이 큰 이웃에게 판매	 영국	별도의 신재생사업자가 전력거래 균형유지 역할 수행, 30분(48회/일) 간격으로 프로슈머와 소비자를 연결 매칭
		 네덜란드	세계 최초의 P2P 전력거래 플랫폼, 프로슈머와 소비자가 단기(1년) 또는 중기(3년)로 계약약정 체결
		 독일	자사 ESS설치고객 대상 거래 플랫폼 소넨 커뮤니티 운영, FIT보다 높게, 전기요금보다 낮게 P2P 거래가격 설정
		 미국	옐로하(Yeloha)사는 PV무료 설치, 수익 공유 플랫폼 운영
		 뉴질랜드	전력생산자가 일정기간동안 대량의 전기를 판매할 경우, 최대 16ct/kWh를 보상받을 수 있는 바이백(Buyback) 제도 운영

61) 캘리포니아주 : '15년 유틸리티는 소매요금 수준의 보상기준에 문제 제기 → '16년 규제기관은 유틸리티의 주장을 일부 수용, '18년부터 상계요금 조정
 하와이주 : 소규모 태양광전원 과다 보급으로 인해, 하와이 최대 유틸리티인 Hawaiian Electric社는 상계거래 중단을 요청 → 대체제도 마

도매시장 참여 방식에는 호주가 우리의 소규모 전력중개사업제도와 유사한 SGA(Small Generation Aggregator)제도를 운영하고 있다. SGA는 30MW 이하의 소형발전기를 모집하여 전력시장에 참여시키고 있으며, 30MW 이하의 자원에 대해서는 등록의무를 면제하여 부담을 완화하고 있다. 이를 통해 소규모 발전사업자의 전력참여를 촉진하고, SGA는 소규모 발전사업자를 모아 거래 효율성을 증대하고, 전력시장은 소규모 분산전원의 능동적 시장 참여로 피크시간대 시장 가격 인하가 가능해졌다.

도매시장 참여	프로슈머는 중개사업자를 통해 거래시장에 참여, 생산전력을 판매	 미 국	스케줄관리자 : 전력시장 입찰시행, 전력시장 및 계통 운영데이터 제공, 분산자원공급자 : 소규모 분산전원의 모집, 계량 및 정산 운영
		 독 일	직접거래제도 참여 발전기는 FIT가 아닌 "도매가격+ 시장프리미엄"으로 정산
		 호 주	30MW 이하의 소형발전기는 별도의 시장 등록절차 없이 소규모 중개사업자(SGA)를 통해 전력시장에 참여

(3) 우리나라 현황

우리나라의 경우, 요금상계제도는 2005년에 도입되어 상계거래의 허용대상과 범위를 규정하였다. 제도 초기에는 3kW 이하인 전기공급자가 생산한 전력만 해당되었으나, 이후 참여대상이 지속적으로 확대되다가, 2016년 적용대상이 1,000kW까지 확대되었다.

< 초대형건물 전기요금 상계62 >

- 상계제도의 적용대상을 설비용량 50kW 이하에서 1000kW 이하로 20배 확대
 - * 상계제도: 건물에서 태양광발전으로 생산한 전력을 자가소비하고 남을 경우, 별도로 계량해 두었다가 전기요금을 차감해주는 제도
- ⇒ 그간 상계제도 적용이 불가능하던 초대형건물(50kW~1000kW)의 신재생투자 확대
- ⇒ 울산 W학교('15.8월 기준) 예시: (발전설비) 128kW, (남는전력량) 6,872kWh (상계 전 전기요금): 187만원, (상계 후 전기요금) 121만원

우리나라는 이웃간 전력거래는 아직 실증단계에 있다. 아직은 제도미비 등 필요한 준비가 되지 않은 상황이다.

실증사업은 2016년 수원 솔대마을과 홍천 친환경 타운 2개 지역에서 실시되었다. 이웃의 프로슈머로부터 남는 전력을 구매한 소비자는 누진제 부담을 완화하여 전기요금을 절약할 수 있으며, 프로슈머는 전력시장에 판매하는 것보다 높은 수익을 올릴 수 있었다 한다.

< 이웃간 거래 실증사업 기대효과 예시(산업부)⁶³⁾ >



지난 2018년 전기사업법 개정을 통해 에너지 프로슈머는 소규모 전력중개사업자를 통해 전력도매시장에서 거래할 수 있게 되었다. 대부분의 소규모 신재생발전 사업자는 거래절차가 복잡한 전력시장보다는 한전과의 거래만을 선호하고 있다. 그러나, 소규모 전력중개사업 제도가 마련되면서 소규모 발전 사업자도 중개사업자를 통해 손쉽게 전력시장에 참여할 수 있게 되었다. 소규모 전력중개사업자 제도가 시행 초기 사업으로 아직은 활용은 미미한 수준이다. 소규모 전력중개사업자 제도의 활성화 방안에 대해서는 전술한 바 있다.

62) 산업부(2016), 에너지신산업 성과확산 및 규제개혁 종합대책
 63) 산업통상자원부 보도자료(2016.3월). 프로슈머 이웃간 전력거래 실증사업 실시,

(4) 정책 제언

우선, 에너지 프로슈머 등장으로 변화해가는 전력시장을 고려하여 법·제도, 관련 인프라, 유틸리티(한전, 전력거래소 등) 역할 등을 재정립하는 것이 필요하다.

그간 우리나라는 상계제도 조기 시행(2005년), 소규모 전력중개제도(2018년) 등 프로슈머의 상계거래, 도매시장 참여 허용 등 적극적인 제도 개선 노력을 전개하여 왔다.

하지만, 우리나라 전력산업은 여전히 도매시장의 경쟁체제와 소매시장의 독점 운영이라는 경직된 구조가 유지되고 있다. 특히, 전기 판매사업자 자격은 전기사업법에 한전, 집단에너지사업자, 도서지역 사업자를 제외하고는 부여되지 않기 때문에, 프로슈머의 이웃간 거래가 허용되기 위해서는 전기사업법 개정이 필요하다.

< 제로에너지건축물 인증 인센티브 >

제7조(전기사업의 허가) ① 전기사업을 하려는 자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 전기사업의 종류별 또는 규모별로 산업통상자원부장관 또는 시·도지사(이하 “허가권자”라 한다)의 허가를 받아야 한다. 허가받은 사항 중 산업통상자원부령으로 정하는 중요 사항을 변경하려는 경우에도 또한 같다.
<개정 2013. 3. 23., 2020. 2. 18.>

② 산업통상자원부장관은 전기사업을 허가 또는 변경허가를 하려는 경우에는 미리 제53조에 따른 전기위원회(이하 “전기위원회”라 한다)의 심의를 거쳐야 한다.
<개정 2013. 3. 23.>

③ 동일인에게는 두 종류 이상의 전기사업을 허가할 수 없다. 다만, 대통령령으로 정하는 경우에는 그러하지 아니하다.

또한, 전기요금 결정이 시장 기능에 의해 결정되는 것이 아니라 인위적으로 결정되는 시장구조에서는 신산업을 통해 안정적인 비즈니스 모델을 만드는데 한계가 있다. 전기요금 결정 방식에 대해서 종합적으로 점검해 볼 필요가 있다.

에너지 프로슈머는 관련 인프라와 함께 진화해 나가야 최대의 효과를 거둘 수 있다. 예를 들어 xEMS, AMI, 스마트 그리드, VPP 등 에너지 프로슈머를 둘러싼 주변 인프라가 충분히 뒷받침되어야 에너지 프로슈머가 제 기능을 발휘할 수 있기 때문이다. 에너지 프로슈머 관련 시스템에 대한 기술개발, 보급확산 사업에도 차질이 없도록 관심을 기울여야 한다.

향후 에너지 프로슈머가 확산될 경우, 상계거래 및 이웃간 거래의 증가는 한전 등 기존 공급자의 실적 악화로 이어지게 된다. 피크 부하 대응을 위한 설비 투자 필요성은 줄어들으나, 양방향 전력 흐름에 대응하기 위한 인프라 확충을 불가피해 질 것으로 예상된다. 또한, 그리드 패러티 달성도와 ESS 보급율이 높아질수록 에너지 프로슈머가 전력시장과 한전 등에 미치는 영향은 증가하므로, 다양한 비즈니스 모델이 등장할 수 있도록 전력산업 구조를 혁신해 나갈 필요가 있다⁶⁴⁾.

< 에너지 프로슈머 등장에 따른 전력구조 변화 예시 >



다음으로, 에너지 프로슈머 시장 활성화를 위한 다양한 비즈니스 모델 개발이 필요하다.

64) 한전경제경영연구원(2017). 해외 에너지 프로슈머 사업모델 분석

에너지 프로슈머의 거래 유형은 다양한 P2P 거래,⁶⁵⁾ 중개거래⁶⁶⁾ 등이 있을 수 있다. 정부는 이러한 다양한 거래 유형에서 다양한 비즈니스 모델이 나올 수 있도록 서비스 R&D 지원, 인센티브 부여, 규제 개선 등의 노력을 아끼지 말아야 한다.

또한, 전력 공급자와 소비자의 역할 변화에 따라 계통신뢰도, 전력거래, 부가서비스 측면에서 새로운 비즈니스 기회가 창출될 수 있다. 예를 들어 프로슈머는 계통신뢰도 제고를 위해 자원 스케줄링 역할을 수행할 수 있으며, 전력거래에 필요한 거래 플랫폼 운영의 기회도 잡을 수 있다.

65) 개인↔개인, 기관↔기관, 집단↔집단, 마이크로 그리드↔마이크로 그리드

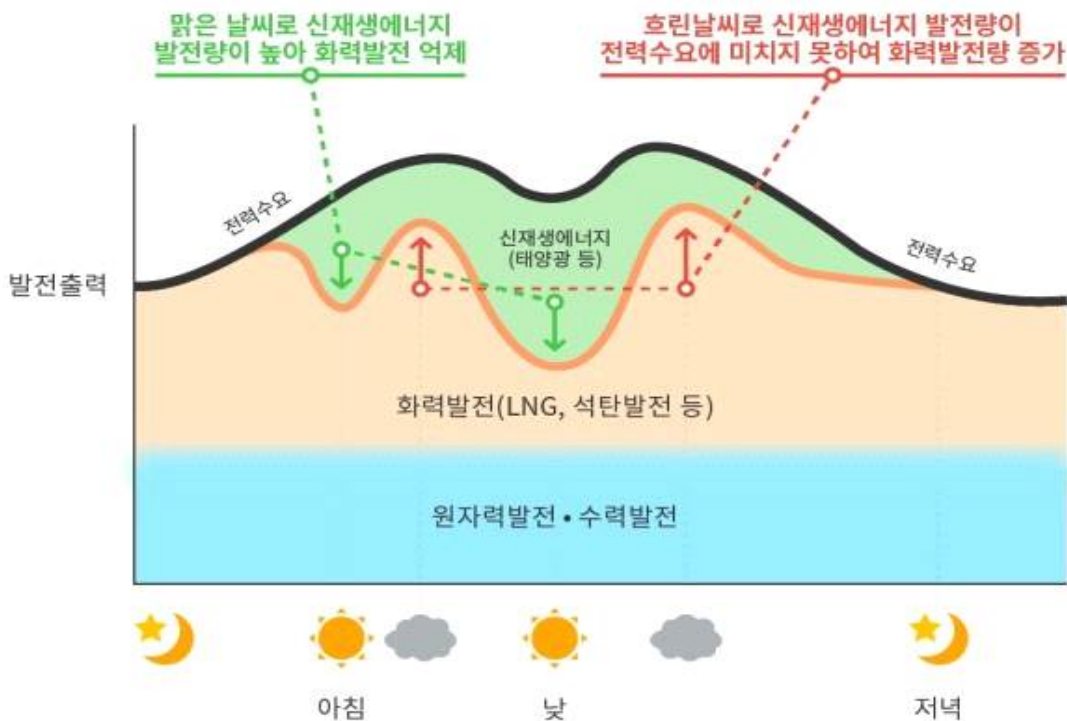
66) 전력 도매시장 판매 중개, 소규모 발전사업자와 일반고객간 중개

6. 실시간 · 보조서비스 전력시장 개설

(1) 추진 배경

태양광, 풍력 발전은 기상조건에 따라 전력생산량이 변화하는 변동성과 불확실성을 지닌다. 이러한 특성을 가진 에너지를 변동성 재생에너지(Variable renewable energy, VRE)라 하며, 아래의 그림은 신재생 에너지의 변동성에 따른 여타 발전원과의 관계를 개략적으로 보여준다.

〈 신재생 에너지 변동성과 他발전원과의 관계 〉

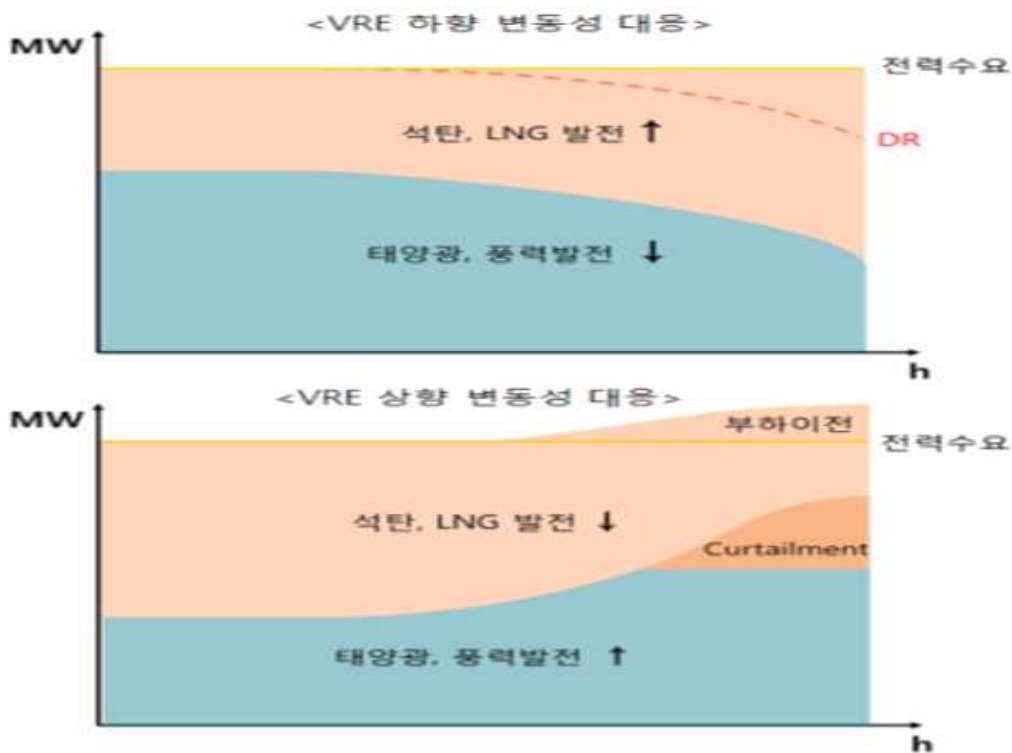


신재생 에너지의 출력 변동성은 상향과 하향으로 구분이 가능하다. 신재생 에너지의 상향 변동성에 대응하기 위해서는 일반 발전기의 감발, 재생에너지의 출력제한(Curtailment), 부하이전 등의 수요증가 조치가 필요하다. 반대로 하향 변동성에 대응하기 위해서는 일반 발전기의 증발, DR 등을 통한 수요감축, ESS · 양수발전 등 유연성 자원 활용 등의 조치가 필요하다.

이러한 신재생 에너지의 변동성과 불확실성은 전력시스템의 운영예비력(Operation reserve)에도 영향을 미친다. 기존의 전력시스템의 운영예비력은 수요의 변동이나 발전기 고장에 대비하는 것에 국한되었으나, 신재생에너지의 변동성과 불확실성이 기존 요소에 추가됨에 따라 이에 대응해 운영예비력을 확대하거나 효율적인 예비력 운영이 요구되고 있다.

전력계통의 수요와 공급의 불확실성과 변동성을 신뢰가능하고 효율적으로 관리하는 모든 수단을 전력계통의 유연성 제공자원(Power System Flexibility)이라 한다. 변동적 재생에너지 비중이 높은 전력계통을 안정적으로 운영하기 위해서는 이러한 유연성 자원의 확보가 필수적인 만큼 유연성 자원이 전력시장에서 그 가치 만큼 평가를 받고 적절한 수익을 보장받을 수 있게 하는 제도 마련이 중요하다.

< VRE 변동성 대응수단⁶⁷⁾ >



67) 에너지경제연구원(2017). 저탄소 전력시스템으로의 전환을 위한 전력시장 제도개선 방안 연구

(2) 실시간 전력시장 현황 및 문제점

우리나라는 전력시장은 신재생에너지의 등장에 따라 새롭게 부각되고 있는 유연성 제공자원에 적합한 시장 구조라 보기 어렵다. 전력거래 제도가 경직적으로 운영되어 왔기 때문이다.

우리나라 전력시장은 1999년에 마련된 ‘전력산업 구조개편 기본계획’에 따라 2001년 한전의 발전부문을 6개 자회사로 분할하고, 전력거래소를 신설하는 등 발전부문에 경쟁체제가 도입되었다.

당시 한시적으로 도입한 전력거래 제도는 초기 영국 전력시장의 모델을 토대로 한 CBP(Cost based pool, CBP) 시장이다. 전력산업 구조개편 기본계획에 따라 전력 도매 및 소매 시장에 경쟁체제 도입이 예정되었으나, 2004년 계획이 중단되어, CBP 제도가 현재까지 운영되고 있다.

CBP 하에서는, 우리나라 전력시장은 하루 전 시장 제도를 채택하고 있다. 하루전 시장은 급전 하루전에 개설이 되어 발전사가 시간대 별로 발전가능 용량에 대해 입찰하면, 거래소에서는 시간별로 전력수요를 예측하여 예측 전력수요선까지 배분된 발전기 중 연료비가 가장 비싼 발전기로 시장가격 SMP(System Marginal Price)가 결정되는 시장이다.

〈 하루 전 전력시장 가격결정 모형〉



이 때 한전은 발전계획량과 실제발전량의 차이가 발생하는 경우에 정산금을 지불하게 된다. 발전계획을 초과하여 발전한 경우에 대해 제약발전 전력량 정산금(Constrained-on energy payment, CON)을 지불하고, 발전계획에는 포함되었으나, 수요감소 등으로 발전하지 못한 전력량에 대해 제약비발전 전력량 정산금(Constrained-off energy payment, COFF)을 지불한다.

〈 제약발전 및 제약비발전 정산금 개요 〉

구분		내용
제약발전 전력량 정산금	정의	가격결정발전계획을 초과하여 발전한 전력량에 대한 정산금
	산정수식	Max[시장가격×초과발전량]
제약비발전 전력량 정산금	정의	가격결정발전계획에 포함되었으나 발전하지 못한 전력량에 대한 정산금
	산정수식	미발전량×(시장가격-자기변동비)

하지만, 이러한 정산방식은 유연성 제공 자원에 대한 인센티브 측면에서 볼 때 문제가 있다.

먼저, 변동성 재생에너지의 출력 감소 발생 기존 발전소는 하루 전에 수립한 발전계획상 발전량을 초과하여 발전하게 되므로 제약발전 정산금(CON)을 지불받게 된다. 그러나 변동성 재생에너지의 출력 감소를 빠르게 보완하여 전력공급을 안정적으로 유지하는 유연성 제공 자원은 통상적으로 부하추종능력이 우수하나 변동비가 높아 제약 발전 정산금이 적용되면 비용을 충분히 회수할 수 없게 된다. 이는 현행 제약발전 전력량 정산금 제도로는 유연성 제공 자원에 적정한 인센티브가 제공되지 않음을 의미한다.

현재 우리나라 CBP 시장은 예비력 제공에 대한 정확한 가치산정이 이루어지지 않고 있다. 이는 외국과는 달리 보조서비스 시장이 없기 때문인 것으로 진단되고 있다.⁶⁸⁾ 발전기의 예비력 제공은 보조서비스에 해당하나 현행 CBP 하에서는 제약비발전정산금을 지급한다. 그러나

계약비발전정산금은 변동비가 낮은 기저 발전기의 수익은 크게 산정되는 반면, 응답속도가 빠르나 변동비가 높은 유연성 제공 자원은 수익이 적어지는 현상이 발생한다는 점이 문제로 제기되고 있다.

미국의 경우에는 하루 전 시장 뿐만 아니라 실시간 시장도 운영하고 있다. 미국의 실시간 시장은 부하와 계통 상황을 고려하여 하루전 시장에서 할당된 자원의 출력을 조정하고, 필요시 새로운 자원을 투입하는 역할을 수행한다. 실시간 시장은 통상 급전시점 1시간 전에 입찰이 마감되고, 실시간 계획과 가격은 5분 단위로 결정된다. 실시간 시장에서는 실시간 소요에 대응하여 전력을 공급하는 것이 핵심이므로, 급전 계획에 따라 발전하는 못한 사업자에게는 페널티를 부여하고 피크타임에 추가적인 수요발생시 추가적이 전력을 공급한 자는 높은 실시간 시장가를 적용받게 된다.

또한 재생에너지의 확대에 따라 실시간 계통변화에 대응하는 자원의 성능을 시장가격에 반영하는 차원에서 1시간 주기의 정산을 5분 주기로 바꾸고 있다, 이러한 정산주기의 단축은 유연성 제공 자원에 인센티브로 작용하여 기존 자원의 유연성 확대를 유도한다.

< 미국 전력거래 정산 제도 개요⁶⁹⁾ >



68) 에너지경제연구원(2017). 저탄소 전력시스템으로의 전환을 위한 전력시장 제도개선 방안 연구

69) 전기저널(2017) 미국 전력 도매시장 운영 현황 및 거래유형 분석

(3) 보조 서비스 시장 현황 및 문제점

신재생 에너지 증가에 따라 변동성과 불확실성이 커지면서 전력수급 균형을 유지하는 역할을 하는 보조서비스가 더욱 중요해 졌다. 미연방 에너지규제위원회는 보조서비스는 전력수급 균형에 필요한 서비스이자, 전력사가 안정적인 송전망을 유지하는 의무라고 규정하였다. 일반적으로 보조서비스는 주파수 조정, 예비전력 유지, 무효 전력공급을 의미한다. 보조서비스에 대한 가격은 비용기반과 시장기반으로 구분할 수 있으며, 이러한 가격에는 통상 서비스를 제공하기 위한 한계비용을 반영하는데, 이는 보조서비스 제공을 위해 판매하지 못한 전력에 대한 기회비용도 포함한다.

우리나라 전력시장에서는 기회비용을 산정해 보상하는 외국과는 달리, 정해진 정산금 범위 내에서 실적에 따라 지급하는 방식을 취하고 있다. 특히, 총정산금 436억원은 2005년 정산기준으로 책정된 후 현재까지 증액되지 않았으며, 기준단가는 분야별로 정산금을 전년도 서비스량으로 나눈 값으로 산정하고 있는 상황이다. 이로 인해 계통의 안정적 운영에 기여하는 유연성 제공 자원은 불리해지는 반면, 기저발전비는 제약비발전 정산금으로 정산받게 되어 유리해진다.

반면, 미국의 경우에는 송전사업자는 계통운영 보조서비스 확보의 의무가 있다. 보조서비스 거래 시장이 없는 지역은 정해진 요금을 지불하여 보조서비스를 확보하고, 시장이 있는 곳은 보조서비스를 시장을 통해 확보한다.

독립계통운영자(Independent System Operator)는 안정적 계통 유지를 위해 주파수 조정, 예비력 등을 사용하는데, 자세한 내용은 아래의 표와 같다. 이 중 주파수조정, 운전, 대체예비력 부분은 에너지시장과 유사하게 시장을 통해 확보된다. 이를 예비력 시장이라 한다. 하루전시장과 실시간시장 청산시 에너지와 예비력은 동시 최적화된다.⁷⁰⁾

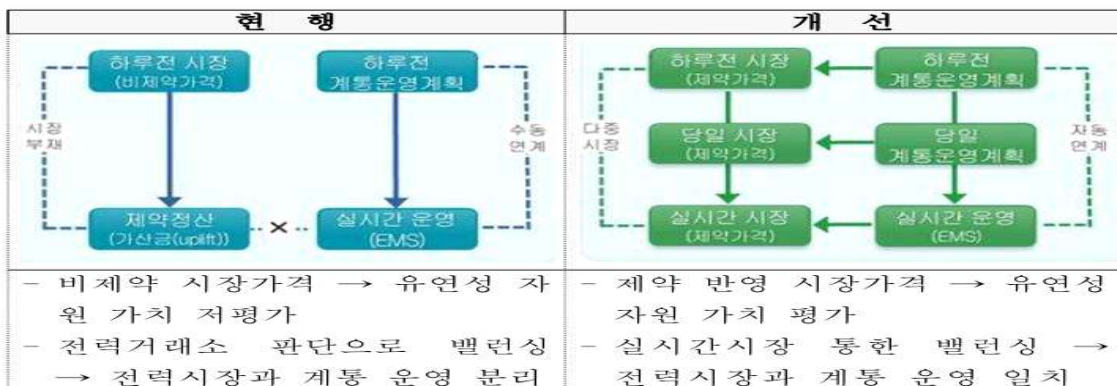
70) 전력거래소(2017). 해외전력시장 동향 : 미국종합

〈 계통운영보조 서비스 분류 〉

서비스 구분	확보방식	비고
무효전력 및 전압제어	· 발전기의 무효전력 공급 및 제어 서비스 · 고정비용기반요금제(static cost-based service)로 처리	요금제기반
블랙스타트	· 정전 발생시 계통을 복구하는데 필요한 자원 · 고정비용기반요금제(static cost-based service)로 처리	요금제기반
주파수조정	· 평상시 주파수를 60Hz 로 유지하기 위한 서비스 · 역내의 제어편차(area control error)를 줄이는데 사용 · '주파수조정시장'을 통해 상품 공급, 시장가격으로 지불	시장기반 (에비력시장)
주파수응답	· 주파수에 자체적으로 반응하는 조속기를 통한 주파수의 급격한 저하 또는 상승 저지에 기여하는 서비스 · 의무사항(서비스 제공에 대한 별도의 비용 지불 없음) (단, EPOOT 은 주파수응답 및 관성을 보조서비스 상품으로 정의)	의무사항 무상제공 (ERCOT 제외)
에너지 임밸런스	· 하루전 에너지시장과 실시간 사이에 발생하는 에너지의 임밸런스를 수정하기 위한 서비스 · '실시간 시장'을 통해 에너지를 추가 또는 감소 확보 · 보조서비스시장에 해당되지 않음(에너지시장에 해당)	시장기반 (실시간 에너지시장)
운전예비력 (synchronized reserve)	· 상정고장 발생시 실시간 수급균형을 맞추기 위해 운전 중인 발전기가 사용하지 않고 남겨둔 발전력 · '운전예비력시장'을 통해 상품 공급, 시장가격 지불	시장기반 (에비력시장)
대체예비력 (supplemental reserve)	· 예비력 소진 시 소진된 예비력을 대체하기 위한. · '대체예비력시장'을 통해 상품 공급, 시장가격 지불	시장기반 (에비력시장)

(4) 정책 제언

신재생에너지 확대됨에 따라 유연성 제공 자원의 확보가 더욱 중요해지게 되었다. 현재의 우리의 제약발전정산금과 제약비발전정산금 제도로는 유연성 자원에 대한 가치를 저평가 할 수 밖에 없는 구조이다. 실시간 시장 도입시 제약을 반영한 시장가격으로 유연성 자원의 가치를 제대로 평가할 수 있으며, 실시간 시장을 통한 밸런싱이 이루어져 전력시장과 계통 운영을 일치시킬 수 있을 것으로 보인다. 실시간 시장 도입에 대한 검토가 필요한 시점이다.



보조서비스 시장 도입에 대해서도 검토가 필요하다. 입찰가격을 기반으로 시장가격을 결정해 보상하는 것이 필요하며, 궁극적으로는 에너지와 예비력을 동시에 최적화하는 시스템으로 전환하는 것이 바람직하다. 이를 통해 유연성 제공 자원의 수익구조를 개선하여 신규투자를 유인하고, 예비력 제공에 대한 인센티브를 강화하여 재생에너지 확대에 따른 변동성을 완화할 수 있다⁷¹⁾.

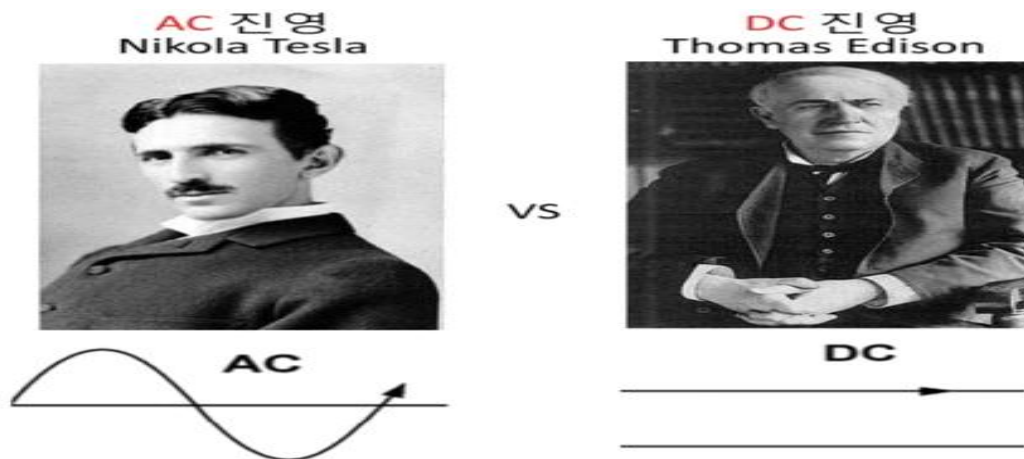
아울러, 보조서비스 시장 도입 전에는 보조서비스에 대한 정산금 총액을 현실화하고, 보조서비스 유형별로 보상 수준을 정상화하는 것이 필요한 것으로 보인다.⁷²⁾

71) 조상민(2018). 변동성 재생에너지 확대에 대비한 계통안정화 방안 연구.

72) 전기저널(2019.). 변동비 반영시장의 현황 및 개선 방향

7) DC 그리드

1880~1890년 대에 토마스 에디슨으로 대표되는 DC(직류 전류)진영과 니콜라 테슬라로 대표되는 AC(교류 전류)진영이 일명 ‘커런트 워 (Current War)’ 라는 전류전쟁을 벌였다. DC와 AC 중 어느 것을 전기 시스템의 표준으로 할 것인지에 대한 것이었다.



당시 DC는 전압을 높이기 어려워 원거리 송전이 힘들었고, 주류를 이루었던 발전소를 소비지역과 가깝게 설치해야 하는 문제가 있었다. 반면, AC는 변압기로 전압만 바꾸어 주면 원거리 송전이 가능하였다. 결국 테슬라의 AC가 당시 주류를 이루었던 DC를 제압하여 커런트 워에서 승리하였고, 그 결과는 현재까지 이어지고 있다.

하지만, 최근 DC 그리드로 DC가 다시금 부상하고 있다. 특히, DC 마이크로 그리드와 대륙간 혹은 국가간 슈퍼그리드에 사용가능한 HVDC(High Voltage Direct Current : 고압직류)가 주목을 받고 있다.

(1) DC 마이크로 그리드 개요

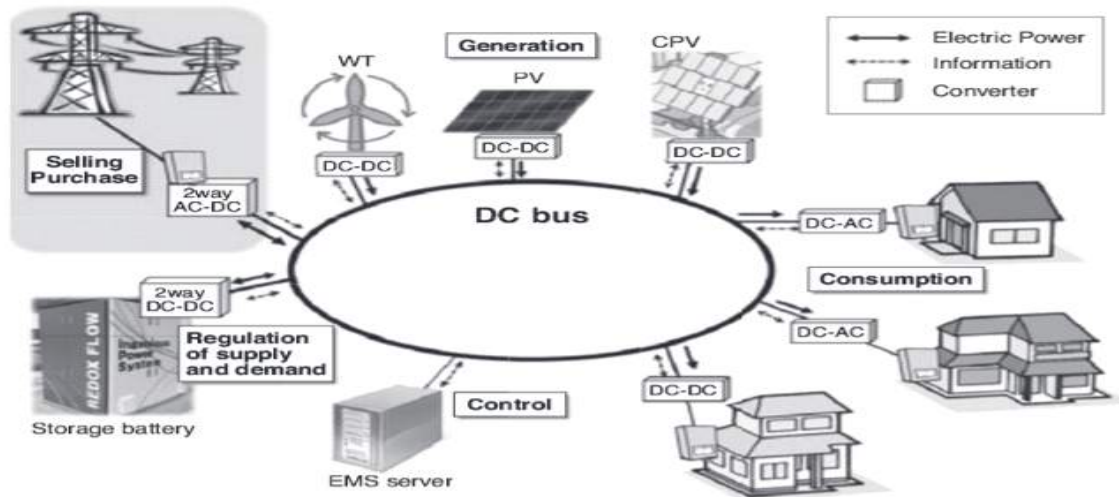
마이크로 그리드는 분산전원을 이용하여 전력수요가 있는 곳에 전력을 공급하는 소규모 전력시스템으로 정의된다. 마이크로 그리드는 신재생에너지, ESS, 가스터빈 등을 소규모 분산전원을 이용하여 전력공급

의 효율을 높일 수 있으며, 중앙 전력시스템의 사고가 발생하여 정상적인 외부 전력 공급이 어려울 때에는 단독 운전이 가능하여 전력공급의 안정성이 높은 시스템이다.⁷³⁾

마이크로 그리드는 공급전력에 따라 AC 마이크로 그리드와 DC 마이크로 그리드로 나눌수 있다. AC 마이크로 그리드는 기존의 배전망과 부대설비 등을 차용할 수 있는 장점이 있는 반면, 교류의 특성상 위상, 주파수 동기화를 위한 제어가 복잡해지고, 돌입전류 등으로 인한 전기품질 문제 등이 발생하게 된다.

최근에는 AC 마이크로 그리드의 대안으로 DC 마이크로 그리드가 제시되었다.

< DC 마이크로 그리드 개념도 >

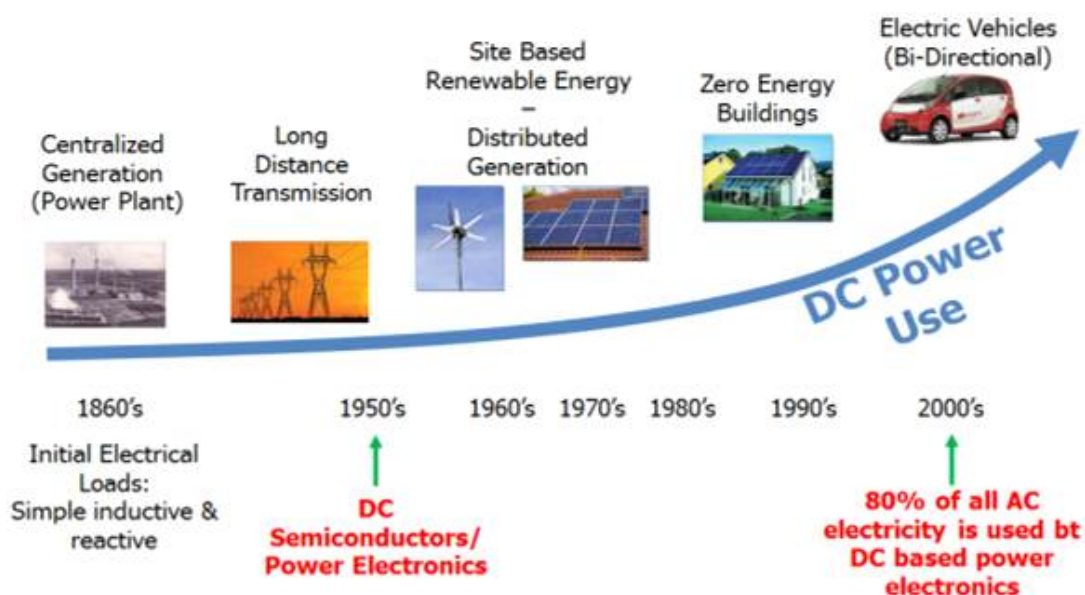


DC 마이크로 그리드는 회로를 단순화 할 수 있어서 앞서 언급한 AC의 단점을 극복할 수 있을 뿐만 아니라, 태양광, 배터리(ESS 포함), 연료전지 등 DC로 에너지를 생산하거나 저장하는 신재생 에너지와 계통연계시에 AC/DC 변환과정을 거치지 않을 수 있어서 에너지 효율 측면에서 장점을 갖는다.

73) 유철희 외 4명(2011), 에너지 효율분석을 통한 DC 마이크로 그리드의 타당성 검토

DC 마이크로 그리드의 가장 큰 장점 중의 하나는 DC로 구동되는 부하에 직접 DC를 공급하여, 에너지 효율을 높일 수 있다는 점이다. 우리가 주변에서 흔히 볼 수 있는 부하는 전자기기, 전기기기가 있는데, 이들은 현재 교류전원에 연결이 된다. 하지만, 현재 이들 전자기기, 전기기기의 80% 이상이 컨버터를 통해 AC에서 DC로 변환되어 사용이 된다고 한다.⁷⁴⁾

< DC 전력 사용량 변화 >



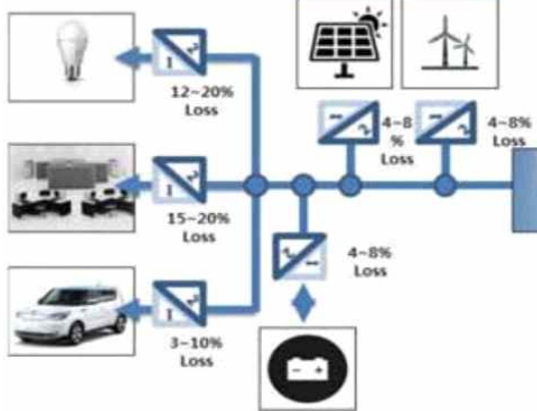
대표적으로 반도체가 들어간 모든 전자기기 제품이 그러하다. 반도체는 DC에서만 동작을 하기 때문이다. TV, 냉장고, 세탁기, 컴퓨터 등은 제어를 위한 반도체가 탑재되어 있고, 이들에게 공급되는 AC는 DC로 바뀌게 된다. 배터리가 들어간 제품도 그러하다. 최근 급격하게 시장이 성장하고 있는 전기 자동차의 경우에도 충전은 DC로 하게된다.

하지만 문제는 AC에서 DC로 변환하는 과정에서 에너지 손실이 DC로 직접 연결하는 것에 비해 2~4배 가량 발생한다는 것이다.⁷⁵⁾

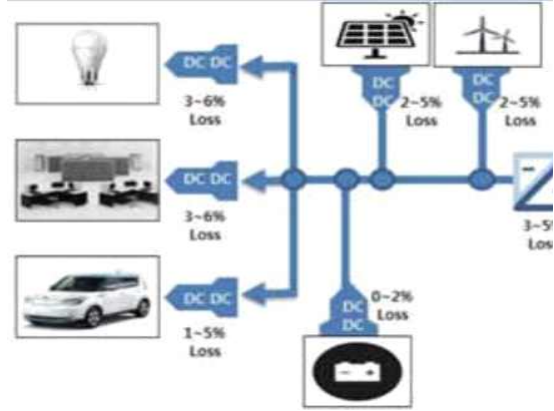
74) 한전연구원 저널(2016), DC 마이크로그리드 기술의 적용과 연구 동향

75) 전자부품연구원, DC그리드 기술현황 및 산업동향

<AC 시스템 에너지 손실>



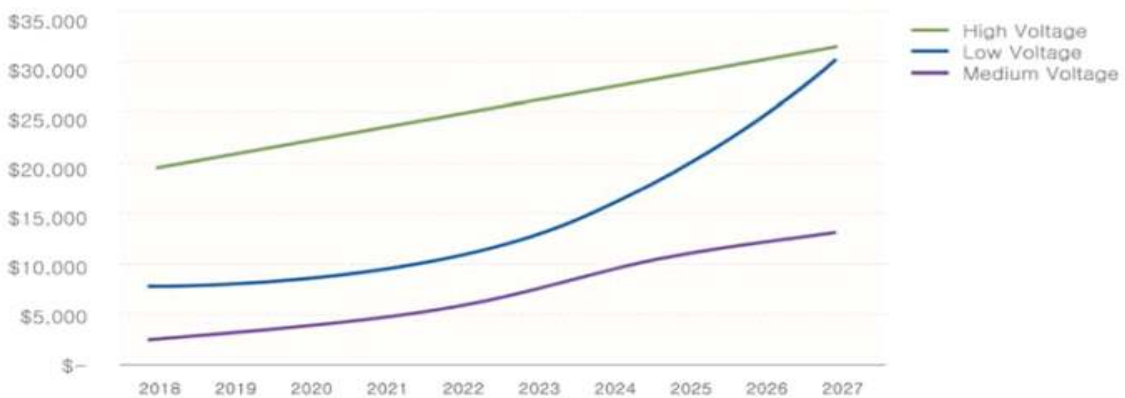
<DC 시스템 에너지 손실>



DC 마이크로 그리드를 사용할 경우, 디지털 기기 및 전력변환 기기의 경우에는 5%의 전력손실을 저감하는 효과가 있고, 태양광, 풍력 발전 시스템 이용시 2~3%, 전기자동차와 연계시 2~5% AC/DC 변환 손실 저감이 효과가 있다고 한다.⁷⁶⁾

한편, DC 마이크로그리드는 LVDC(Low Voltage Direct Current) 배전 기술을 사용하는데 LVDC 시장은 DC 마이크로 그리드 시장의 성장으로 2027년 297억불 규모로 성장이 예상된다.⁵²⁾

< HVDC 및 LVDC 시장 전망 >



현재 전세계적으로 DC 마이크로그리드에 대한 연구 및 실증 사업이 이루어지고 있다.

76) 전자부품연구원, DC그리드 기술현황 및 산업동향

DC 마이크로그리드 실증사업은 인터넷 데이터 센터(IDC)에서 시작되었다 해도 과언이 아니다. 미국 듀크 에너지사의 데이터 센터에서는 IDC 전력효율 향상을 위해 DC 배전시스템으로 바꾸어서 15%의 에너지 효율을 개선하는 연구를 진행하였다. 일본의 NTT는 DC 배전을 통해 소비전력을 14~17%절감하고, 신뢰성도 10배 가량 높인 것으로 알려졌다. 우리나라는 KT가 IDC건물을 신축하면서 DC 배전을 적용하였고, 그 결과 20%의 전력 비용을 절감한 것으로 나타났다.⁷⁷⁾

주택, 커뮤니티 범위내에서 DC 마이크로 그리드를 적용하려는 노력도 진행 중이다. 미국 로렌스 버클리 국립연구소는 14개 도시의 주택을 대상으로 태양광 발전과 주택용 부하를 모델링하여 연구를 진행했다. 그 결과 태양광 발전기 사용 고객은 5%의 손실을 줄일 수 있고, ESS를 추가시 약 14%의 에너지 손실을 줄이는 것으로 나타났다. 우리나라의 경우, 전자부품 연구원이 2012년 DC Home실증 테스트베드 구축 사업을 수행했고, 삼성물산도 DC 배전 시스템의 구조 및 효율 향상에 대한 연구를 수행했다.

커뮤니티 범위에서의 실증 사업의 대표적인 사례 중의 하나는 태국 치앙마이 라자벳 대학의 ‘월드 그린시티 프로젝트’이다. 태양광, 바이오 디젤, ESS 등을 통해 DC 발전원을 구성하고 저전압 DC 배전을 통해 DC 마이크로 그리드를 운영 중이다.

(2) HVDC 개요

유럽, 북미 등 세계 각국은 전력, 가스, 등의 에너지를 역내 국가간 에너지 연결망을 통하여 상호 이익을 도모하고 있다. 이러한 역내 국가간 에너지 연결망은 초기 투자비는 크게 들지만 장기적인 공급비용을 낮추면서 공급이 안정성을 높일 수 있는 장점이 있다.

77) 월간 전기설비(2018). DC 배전, 에너지 효율을 높이는 핵심

특히, 최근 많은 국가들이 신재생 에너지의 비중이 증가하고 이에 따른 전력공급의 변동성과 불확실성이 커짐에 따라 전력망을 자국 너머로 확장하여 전력공급의 안정성과 효율성을 제고하려는 동향이 관측되고 있다. 다시말해 역내 혹은 역간에 슈퍼그리드를 구축하려는 것이다.

< 세계 각국의 슈퍼그리드 추진 동향 >



슈퍼 그리드 구축에는 장거리 송전망이 필요하나, 기존의 AC송전 시스템으로는 한계가 있다. AC 송전 시스템이 변압기를 활용한 승압 또는 강압에 유리하여 송전망으로 활용되어 왔으나, 장거리 송전을 할 경우 송전손실이 커지고 표피효과 등으로 송전 전력의 크기가 상대적으로 작은 단점이 있다.

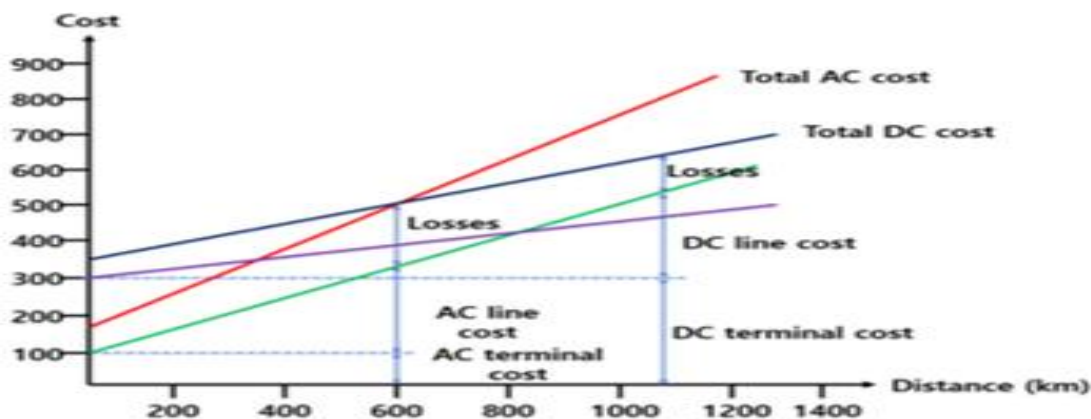
DC 송전 시스템의 경우 기존의 전력 인프라를 활용할 수 없고, 발전소에서 생산된 AC를 DC로 변환하여 HVDC 망을 통해 송전이 되고, 다시 AC로 변환된 후 변전소를 통해 소비자에게 전달되기에 초기 투자가 AC 송전망에 비해 늘어나는 단점이 있다.

< HVDC 전력변환 과정 >



그러나, HVDC는 거리가 늘어날수록 전력손실이 HVAC 송전에 비해 적고, 선로 가설 비용도 HVAC에 비해 적기 때문에 장거리 송전을 하는 경우 HVDC가 유리해 진다. 연구결과에 따르면 송전선로의 거리가 600km를 넘을시 HVDC가 HVAC에 비해 경제성이 높다고 한다.⁷⁸⁾

< HVDC 손익 분기점 >



* 보라색은 HVDC 가설 변동 비용, 녹색은 교류선로 가설 변동 비용 적색은 거리에 따른 HVDC 총 건설비용, 청색은 교류 송전설비 총 건설비용

HVDC는 미국 유럽 선진국 뿐만 아니라 중국, 브라질 등 전세계 여러 국가에서 사용되고 있는 송전 방식으로 경제성과 기술적 안정성은 검증된 기술이다.

중국은 HVDC는 역내 전력 교류 측면보다는 자국의 에너지 공급에 초점을 맞추어 진행되어 왔다. 중국은 세계에서 HVDC를 세계에서 가장 많이 사용하고 있는 국가로서 2010년 이전부터 HVDC에 본격적으로 뛰어 들어서 1,100kV급 UHVDC 기술까지 상용화 하였다. 2021년 현재 총 연장은 16,000km로 800kV이상의 전압으로 운영되고 있다.

유럽은 대표적인 슈퍼그리드 지역으로 국가간 망 형성으로 대부분이 해저케이블을 통해서 전력수송이 이루어지고 있다. 유럽의 HVDC선로 길이는 약 4,000km이며, 운영전압은 150kV~600kV수준이다.

78) 에너지경제연구원(2021). HVDC 활용현황과 비용분담 이슈에 대한 제언

우리나라의 경우 HVDC 경쟁에서 뒤처져 있는 상황이다. 전력과 관련된 기반 기술이 우수함에도 불구하고, HVDC에 대한 투자가 부족했던 것이다. 국내 HVDC 송전선 총연장은 350km에, 최대 운용 전압도 250kV에 불과하다.

< 국내 HVDC 설치 현황 >

연계 지역	준공연도	용량	전압	선로 길이
해남 - 제주	1998	300MW	180kV	101km
진도 - 제주	2013	400MW	250kV	113km
완도 - 제주	2024	200MW	150kV	100km
북당진 - 고덕	2021	400MW	150kV	34.2km
신가평 - 신한울	2021	-	-	-
수도권 - 신한울	2022	-	-	-

(3) 정책 제언

DC 마이크로 그리드는 아직은 연구·실증 단계에 있는 기술이다. 전력 당국은 우선 다양한 상황에서의 DC 마이크로 그리드의 효율성을 면밀히 검증하고, 안정성을 확보한 후 관련 기자재 개발, 운영기술 획득, 표준 선점을 위한 노력을 해야 한다.

전자기기·전기기기 기업에서는 DC 가전 개발에도 관심을 기울여야 한다. DC 가전이나 기기없이 DC 마이크로 그리드의 효율성이 대폭 떨어지기 때문이다. 이런 의미에서 전자기기·전기기기 기업과 전력 공급시스템을 담당하고 있는 전력 유틸리티 간에 기술 표준화와 상용화를 위한 협력 기반을 마련이 필요할 것으로 보인다.

정부는 AC 그리드 위주로 규정되어 있는 현재의 법제도로 인해 DC 배전사업을 진행할 때 모호하거나 불합리한 부분이 없도록 전기설비 기술기준 등 관련 규정을 정비해 나가야 한다.

최근 HDVC 기술을 역내 연결 또는 역외 연결에 사용하여 전력시스템의 안전성과 효율성을 추구하는 슈퍼 그리드가 각광을 받고 있다. 일각에서는 2050년까지 아시아를 제외한 슈퍼그리드 투자는 약 1,000조 가량으로, 특히, 유럽을 중심으로 한 해저 HVDC 송전망에 투자가 집중될 것으로 전망하고 있다.⁷⁹⁾

우리나라는 2016년 ‘직류 송배전’을 전략과제로 선정하여 연구개발을 진행 중에 있으며, 실용화에도 노력을 기울이고 있다. 동북아 슈퍼그리드를 비롯한 거대한 시장이 다가오고 있는 만큼, HVDC에 대한 그간의 성과를 재점검하고, 고성능 HVDC(1000kV급)에 대한 체계적인 기술개발, 실증사업, 상용화를 지속 추진할 필요가 있다.

79) 전력연구원(20116). HVDC 송전기술과 Suoer Grid

< 참고문헌 >

- 산업통상자원부(2020). 제9차 전력수급기본계획
- 산업통상자원부(2019). 제3차 국가에너지수급 기본계획
- 한국환경정책평가연구원(2020). 바이든 대통령 당선자의 기후 에너지 공약과 시사점
- Klaus Schwab(2016). The Fourth Industrial Revolution(World Economic Forum)
- 관계부처 합동(2016.12). 제4차 산업혁명에 대응한 지능정보사회 중장기 종합대책
- 과학기술부(2019.12). ‘인공지능 국가전략’
- Milton Lim(2018). ‘History of AI Winter.’
- Peter Jeffercock (2018). ‘Whats the Difference Between AI, Machine Learning, and Deep Learning?’
- LG 경제연구원(2017). ‘최근 인공지능 개발 트렌드와 미래의 진화방향’
- 최계영 정보통신정책연구원(2016). ‘알파고의 충격 : 인공지능의 가능성과 한계’
- Brown(2020). ‘Language Models are Few-Shot Learners’
- Zhavoronkov, A. et al. (2019). Deep learning enables rapid identification of potent DDR1 kinase inhibitors, Nature Biotechnology
- Hilbert, Martin; López, Priscila (2011). “The World’s Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information “
- PwC(2019), The IoT Big Data Revenue Opportunity for Mobile Operators, GSMA
- 에너지경제연구원(2019). ‘전기자동차 충전시스템에서의 신재생에너지 활용 방안 연구’
- 가천대학교(2014), 전기자동차 V2G용량 산정에 관한 연구
- 관계부처 합동(2020). 미래자동차 확산 및 시장선점 전략
- 에너지경제연구원(2017), 전기차 구매 보조금 제도 개선방안 연구

- 경기연구원(2021). 미래차 상용화 발목잡는 충전 인프라
- 관계부처 합동(2019). 미래자동차 산업 발전전략 2030년 국가 로드맵, 2019
- 에너지경제연구원(2017). 태양광 원가분석을 통한 균등화 비용 국제 비교 분석
- 에너지경제연구원(2019). 공급형 가상발전소 활성화 방안 연구
- 산업통상자원부(2021). 지역주도의 분산에너지 활성화 대책
- 관계부처 합동(2019.8월). 에너지효율 혁신 전략
- 에너지경제연구원(2015). 에너지관리시스템(EMS) 산업 육성 방안
- 국토교통부 보도자료(2021.6월). 2050년 탄소중립 달성을 위한 녹색건축 활성화 방안 발표
- 한국산업기술대학교(2018). 스마트팩토리와 에너지관리시스템 적용을 위한 평가모형의 개발 연구
- 전기신문(2021.8.26.). 코로나 19 영향에도 자발적 에너지효율 목표제 원단위 개선 성공
- 국토교통부 보도자료(2019.6월). 제로에너지건축, 건축을 넘어 도시로! 이제 시작합니다.
- 산업통상자원부(2015). 2030 에너지 신산업 확산전략
- 한전경제경영연구원(2017). 해외 에너지 프로슈머 사업모델 분석
- 산업통상자원부(2016). 에너지신산업 성과확산 및 규제개혁 종합대책
- 산업통상자원부 보도자료(2016.3월). 프로슈머 이웃간 전력거래 실증사업 실시
- 에너지경제연구원(2017). 저탄소 전력시스템으로의 전환을 위한 전력시장 제도개선 방안 연구
- 전기저널(2017) 미국 전력 도매시장 운영 현황 및 거래유형 분석
- 조상민(2018). 변동성 재생에너지 확대에 대비한 계통안정화 방안 연구
- 유철희 외 4명(2011), 에너지 효율분석을 통한 DC 마이크로 그리드의 타당성 검토
- 한전연구원 저널(2016), DC 마이크로그리드 기술의 적용과 연구 동향
- 월간 전기설비(2018). DC 배전, 에너지 효율을 높이는 핵심
- 에너지경제연구원(2021). HVDC 활용현황과 비용분담 이슈에 대한 제언
- 전력연구원(20116). HVDC 송전기술과 Suoer Grid