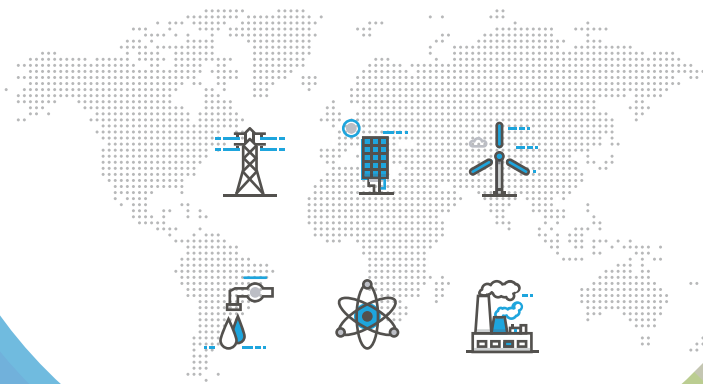


KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE

# 4차 산업혁명과 전력산업의 변화 전망



| 김현제 |



## 참여연구진

---

연구책임자 : 선임연구위원 김현제

연구참여자 : 연구위원 박명덕

전문연구원 김재엽



## 〈요 약〉

### 1. 연구의 배경 및 목적

국내 전력산업 분야에서 4차 산업혁명 이슈가 본격적으로 나타난 것은 제 8차 전력수급 기본계획 수립 과정에서 4차 산업혁명에 따른 전력수요 변화와 전기자동차로 인한 과급효과를 반영하면서부터이다. 이는 최근 4차 산업혁명에 대한 사회적 관심이 급격하게 증가함에 따라 현재 시점에서 가용한 정보를 활용하여 제한된 범위에서 4차 산업혁명의 전력산업 전반에 미치는 영향을 국가 기본계획에 반영한 것이다. 아직까지는 4차 산업혁명에 대한 전망이 불확실하므로 4차 산업혁명의 진행상황을 지속적으로 점검하고 추가적인 검토를 기획하여 향후 전력수급 기본계획이 수립될 때 마다 지속적으로 4차 산업혁명이 전력산업에 미치는 영향에 대해서 반영하게 될 것으로 보인다.

본 연구는 4차 산업혁명이 전력산업에 미치는 영향과 그로 인한 미래 변화에 대한 것이다. 그러나 4차 산업혁명은 그 자체로 독자적인 연구주제이며, 또한 이제 막 연구가 시작되었기 때문에 4차 산업혁명 자체에 대한 논의조차도 이제 걸음마 수준인 것을 감안하면, 전력산업에 미치는 영향을 분석하는 것은 매우 어려운 일임은 자명하다. 그러나 앞으로 전력수급 기본계획이 격년마다 지속적으로 수립될 것을 감안한다면 지금까지 일부 정의되고 분석된 4차 산업혁명을 조명해보고, 전력산업에 이제까지 논의되었던 4차 산업혁명의 주요기술이 적용된다면 어떠한 변화가 발생할지를 선제적으로 짚어볼 시점이 된 것은 분명하다고 할 것이다.

## 2. 주요 연구내용

4차 산업혁명에는 현재 시점에서는 4개 정도의 대표적인 기술로 요약될 수 있다. 첫 번째는 사물인터넷(IoT)이다. 사물인터넷은 인터넷을 기반으로 기술, 제품, 서비스, 장소 등이 서로 연결되어 사람-사물, 사물-사물 간 상호소통을 가능하게 만드는 기술이다. 사물들이 인터넷을 매개로 단순히 연결되는 개념을 뛰어넘어 그 연결에서 빅데이터가 축적되고, 기업들은 축적된 데이터 분석을 통해 새로운 사업모델을 개발하는 것까지 포함한다. 두 번째는 빅데이터 분석이다. 4차 산업혁명 시대에는 모든 사물들이 서로 연결되어 네트워크를 형성하고 에너지의 생산, 소비, 전달과 관련된 방대한 정보가 축적될 것으로 예상된다.

4차 산업혁명 시대 초연결 사회에서의 전력산업을 살펴보면, 실제로 GIS, 스마트미터, 자동화된 배전망 등의 요소들을 통해 대용량 데이터가 형성되고 있고 이렇게 축적된 빅데이터를 분석함으로써 고객의 행동양식을 보다 정확히 파악할 수 있게 될 것으로 전망된다.

세 번째는 이렇게 집적화된 정보를 분석할 수 있는 인공지능이다. 인공지능과 빅데이터, 사물인터넷 등의 영역이 서로 결합되면서 과거에는 상상할 수 없었던 유용한 정보들이 전력산업의 참여자와 고객에게 제공될 수 있을 것이다. 마지막으로 블록체인으로 대표되는 새로운 형태의 거래시스템이다. 블록체인 등 신개념 거래방식과 함께 분산형 거래가 전력시장 등에 도입될 경우 전력거래 중개자의 역할이 축소됨과 동시에 에너지 프로슈머의 역할은 보다 확대될 것이며, P2P 전력거래시장 형성도 보다 촉진될 것으로 예상된다.

4차 산업혁명의 핵심기술은 전력산업 전반에 걸쳐 영향을 미칠 것으로 전망된다. 본 보고서에서는 4차 산업혁명이 가져올 미래 전력산업의 변화를 전력수요, 전력생산, 전력거래, 규제 및 전력정책 측면에서 살펴보았다. 4차 산업혁명의 주요기술이 확산됨에 따라 전력수요의 변화가 예상되나 미래 전력수요가 증가할지 혹은 감소할지에 대해서는 주요 연구결과들이 일치하지 않아 단정적으로 말하기는 어렵다. 하지만 전력수요의 변화가 두드러지게 나타날 것은 자명하다.

전력생산의 측면에서 본다면 전력공급자 중심의 중앙집중형 전력공급시스템이 수요자 중심의 지능형·분권형 전력공급시스템으로 재편되어 갈 것이다. 친환경, 재생에너지 기반의 분산전원이 점차 확산됨에 따라 기존 전력공급시스템의 개편은 더욱 가속화 될 것이며 전력프로슈머 간의 거래 역시 더욱 활발하게 될 것이다. 따라서 블록체인 기술을 활용한 전력거래방식의 변화가 전력시장에 미치는 영향도 지대할 것이다. 전력거래방식은 과거와는 다르게 개인과 개인의 직접적인 거래시스템이 보다 안전하고 활발하도록 발전될 것이며 지금 현재로는 블록체인으로 대표되는 거래기술이 활용될 것으로 전망할 수 있으나 향후에는 보다 진일보한 방식으로 구현될 수도 있을 것이다. 제도적인 측면에서는 이러한 전력시스템의 변화에 따라 전력시장 및 전력산업에 대한 규제와 정책도 새로운 전력시장의 흐름에 맞게 개편되어야 할 것이다. 무엇보다 4차 산업혁명의 혁신적 기술로 인해 전력산업에서의 안전성, 효율, 보안, 표준화 등에도 지속적으로 영향을 미치게 될 것이다.

### 3. 시사점 및 정책 제언

전력산업에 4차 산업혁명의 영향을 반영하기 위해서 가장 빠른 시간 내에 진행해야 할 일은 신재생에너지 관제센터를 설립, 운영하고 4차 산업혁명의 주요기술인 인공지능, 빅데이터 분석, 사물인터넷 기술을 적용하는 것이다. 신재생에너지 관제센터에 대한 해외사례로 많이 지목되는 곳은 스페인의 신재생에너지 관제센터인 CECRE이다.

CECRE는 신재생에너지의 발전출력을 감시(시각화)하고 제어할 목적으로 2007년에 구축된 세계최초의 신재생에너지 관제센터다. CECRE는 스페인 내에 설치된 풍력발전설비 98.6%의 출력 데이터를 원격으로 수신하고 그 중 96%를 15분 이내 제어할 수 있는 체계를 가진 것으로 알려져 있다.

신재생에너지 관제센터 설립 후 적용할 수 있는 4차 산업혁명의 주요기술은 사물인터넷이다. 사물인터넷 기술을 풍력발전 및 태양광 발전설비에 적용하여 실시간으로 간헐적 발전설비의 출력과 상황을 파악할 수 있다면 재생에너지 발전량 증대 및 효율 극대화에 매우 유용할 것이다. 사물인터넷 기술로 감지할 수 있는 것은 실시간 출력상황도 있겠지만 아주 가까운 미래의 출력전망치도 가능할 것이다. 이러한 정보는 재생에너지의 간헐성으로 인한 계통 불안정성을 해소하는 데 큰 기여를 할 수 있다. 두 번째로 적용될 수 있는 것은 빅데이터 분석이다. 사물인터넷이 적용된 재생에너지 발전설비에서는 실시간으로 상당량의 정보가 저장되고 분석될 수 있다. 인공지능과 결합하여 분석을 진행한다면 재생에너지로 인해 야기되는 우려스러운 부분들을 상당부분 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 신재생에너지 관제센터는 4차 산업혁명을 첫 번째로 국내 전력산업에 적용해 볼 수 있는 좋은 기



회가 될 것이다.

4차 산업혁명의 영향으로 재생에너지 발전량이 급속도로 증가하고 단가가 저렴해지면 당연히 자신이 생산한 잉여전력에 대해서는 타사업자(한전) 또는 개인에게 판매하려고 할 것이다. 이는 발전사업자의 판매사업 겸업에 해당되나 국내 전기사업법은 발전과 판매를 동시에 하는 것을 금지하고 있다. 또한 스마트그리드와 마이크로그리드가 점진적으로 활성화될 경우에는 발전, 판매, 송·배전 사업 등을 동시에 진행할 수도 있을 것이나 국내 전기사업법에서는 금지되는 일이다. 다양한 규제의 개혁이 필수적이나 전력산업에 대한 혁신의 출발점은 신규 사업자들이 자유롭게 전력시장 및 산업에 진출할 수 있는 사업 여건을 조성하는 것이다.

전력산업에 4차 산업혁명 기술이 적용되고 새로운 비즈니스 모델이 확산되기 위해서는 법적·제도적 개선이 필요하다. 특히 규제완화, 가격기능 정상화, 전력시장 개편, 연구개발 확대, 보안 강화 및 표준화 추진 등이 시급하게 필요하다.



## 〈ABSTRACT〉

### 1. Background and Objectives

The Fourth Industrial Revolution, or 4IR, in the Korean electric power industry emerged as an issue in the 8th Basic Plan for Electric Power Supply and Demand, where examined the impact of the revolution on the electricity demand and reflected the contribution of electric cars to the national electricity demand. This was the first attempt in making a national master plan to take into account the effects of 4IR on the industry using all the available data amid an increasing concern regarding the Fourth Industrial Revolution. Since there is still significant uncertainty in the revolution, its progress is constantly monitored and subject to further review. As a result, the impacts of 4IR will be under discussion every time future basic plans for electric power supply and demand are established.

This study analyzes the influence of the Fourth Industrial Revolution on the electric power industry and consequent changes in the future. 4IR is still very much in the nascent stage of research and discussion, and there is no question it will be hard to examine its influence. Considering, however,

that basic plans for electric power supply and demand are formulated every two years and the topic will be brought up constantly, the time has surely come to look into the Fourth Industrial Revolution that is defined and studied up until now and to predict the changes when the 4IR technologies are used.

## 2. Main Outcome Measures

The Fourth Industrial Revolution can be marked by four technology breakthroughs: the Internet of things, big data analytics, artificial intelligence, and a blockchain.

The Internet of things, or IoT, connects technologies, devices, service, and places over the Internet, enabling human-to-things and things-to-things interaction. Beyond just a connection through the Internet, it encompasses big data gathered from the connection and new business models developed using collected data.

In this industrial era, all things are connected to create a network, allowing to store a massive scale of data—big data—on production, consumption and transmission of energy. The electric power industry in the hyper-connected society has collected big data using GIS, smart meters, automated distribution networks, and other technologies. Analysis of these data sets is expected to present a

better opportunity to understand patterns of customer behavior.

And artificial intelligence, or AI, can analyze such concentrated data. The convergence of AI, big data, and IoT will provide useful information that could have never imagined to clients and participants of the power industry.

A blockchain represents an advanced concept trading system. When these kinds of decentralized systems are adopted in the electricity market, electricity aggregators will play a less prominent part while prosumers expand its role, accelerating the development of P2P electricity trading market.

The key technologies in the Fourth Industrial Revolution is expected to have an impact across the power industry. This study examines the changes that the revolution will bring to the power industry in terms of electricity demand, supply, trading, and regulations and policies. As the technologies expand, electricity demand will experience changes. Whether it will increase or decrease is hard to tell as there are conflicting expectations about it. What is clear, however, is it will go through dramatic changes.

Electricity supply is also subject to changes. The centralized electricity supply system focusing on suppliers is expected to become

an intelligent decentralized one focusing on consumers. With the extensive use of distributed power system based on clean renewable energy, reorganization of conventional electricity supply system will gather momentum and trading of electricity among prosumers will grow stronger. As a result, the changes in electricity trading triggered by blockchain technology will also have a tremendous effect on the electricity market. Electricity trading will be developed to ensure a safer and more flourishing P2P trading system. As an electricity trading technology, blockchain is currently expected to be utilized, but more advanced technology can be used in the future.

As the electricity system changes, regulations and policies regarding the electricity market and industry need to be reformed to keep up with the new trend in the market. Most of all, safety, efficiency, security, and standardization of the power industry will be under constant effect of innovative technologies in the Fourth Industrial Revolution.

### 3. Implications and Policy Recommendations

In order to reflect the impact of the Fourth Industrial Revolution in the power industry, the issue at stake is to establish and operate a renewable energy control center and to employ AI, big data analytics, and IoT, which are the key 4IR technologies.

Control Centre of Renewable Energies (CECRE) in Spain is referred the most among renewable energy control centers. CECRE is the first renewable energy control center in the world and was established in 2007 to monitor—or visualize—and control the output of renewable energy power generation. CECRE receives 98.6% of live output data from all wind farms in Spain, and has a system that can control 96% of received data within 15 minutes.

Following the establishment of a renewable energy control center, IoT technology can be leveraged. Using it in wind and solar PV power plants for checking the power generation output and conditions can greatly enhance electricity generation and efficiency. IoT technology can help evaluate output prospects in a very near future in addition to live output data. All these data will serve to reduce the instability of the system caused by the intermittency of renewable energy. And then big data analytics can be utilized. In the renewable energy sourced power plants with IoT systems, an enormous amount of data is collected for analyses. When converged with AI, the analyses are expected to dismiss a large portion of concerns caused regarding renewable energy. A renewable energy control center can present a great opportunity to adopt the Fourth Industrial Revolution to the Korean power industry for the first time.

When renewable energy power generation leaps and its cost is

reduced by virtue of the industrial revolution, it sounds natural for power producers to sell surplus electricity to other power utilities (Korea Electric Power Corporation) or individuals. However, Korean Electric Utility Act prohibits power producers from selling power. When smart grids and microgrids get more dynamic, generation, sale, and transmission and distribution businesses may be operated by the same participant, but it is currently banned in the Act. Among many regulatory reforms needed, the first step in innovative electricity industry is creation of the business conditions that allow new entrants to participate the market and industry without any restrictions.

Legal and institutional improvements are needed in order to apply 4IR technologies to electric power industry and to spread new business models. In particular, deregulation, normalizing price mechanism, reforming the power market, expanding R&D, strengthening security and promoting standardization are urgently needed.



## 제 목 차 례

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 제1장 서론 .....                         | 1  |
| 제2장 4차 산업혁명의 개념 및 전개방향 .....         | 3  |
| 1. 4차 산업혁명의 의미와 에너지부문 사업여건의 변화 ..... | 3  |
| 2. 4차 산업혁명 시대 주요 기술 요약 .....         | 9  |
| 3. 전력 분야의 4차 산업혁명기술 적용 사례 .....      | 13 |
| 4. 4차 산업혁명에 따른 전력산업 전개방향 .....       | 19 |
| 제3장 해외 주요국의 전력산업 동향 .....            | 23 |
| 1. 해외 주요국의 4차 산업 관련 정책 및 제도 .....    | 23 |
| 2. 해외 주요국의 전력산업 동향 .....             | 31 |
| 제4장 미래 전력산업의 변화 전망 .....             | 45 |
| 1. 전력수요의 변화 .....                    | 46 |
| 2. 전력의 생산과 수요관리 .....                | 53 |
| 3. 전력거래방식 .....                      | 57 |
| 4. 규제제도 .....                        | 63 |
| 5. 신기술의 영향 .....                     | 68 |
| 제5장 전력 전문가 설문조사 및 시사점 .....          | 75 |
| 1. 설문조사 개요 및 기초정보 .....              | 75 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 2. 설문조사 결과 분석 .....            | 76         |
| 3. 국내 전력산업에 대한 시사점 .....       | 82         |
| <b>제6장 국내 전력부문의 대응방향 .....</b> | <b>87</b>  |
| 1. 전력사업자의 전략 모색 .....          | 87         |
| 2. 국내 법·제도의 개선사항 도출 .....      | 93         |
| <b>제7장 결 론 및 시사점 .....</b>     | <b>107</b> |
| 1. 주요 결과 .....                 | 107        |
| 2. 정책 제안 .....                 | 111        |
| <b>참고문헌 .....</b>              | <b>117</b> |
| <b>부 록 .....</b>               | <b>125</b> |

## 표 차례

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| <표 2-1> 산업생태계 비교 .....                           | 4  |
| <표 2-2> 1차~4차 산업혁명의 특징 요약 .....                  | 5  |
| <표 2-3> 전력 분야의 IoT 적용 범위 및 가치 .....              | 10 |
| <표 2-4> 에너지 빅데이터 특성(4V, 3E) .....                | 10 |
| <표 2-5> 에너지 빅데이터의 활용 분야 .....                    | 11 |
| <표 3-1> AMP, AMP 2.0 정책 요약 .....                 | 24 |
| <표 3-2> 하이테크 2020 전략의 ‘5대 핵심기술, 10대 미래 프로젝트’ ... | 28 |
| <표 3-3> 4차 산업혁명시대 에너지 관련 신산업구조 내용 .....          | 30 |
| <표 3-4> 스마트 제조 부문에 대한 일본정부의 지원 내역 .....          | 31 |
| <표 3-5> 주요국 전력산업 구조 특징 요약 .....                  | 32 |
| <표 3-6> 해외 주요국 전력 사업자들의 4차 산업혁명 대응전략 ...         | 34 |
| <표 3-7> RWE(Innogy) Innovation Hub 운영 요약 .....   | 38 |
| <표 4-1> 해외 주요국의 전력소비량 추이 .....                   | 48 |
| <표 4-2> 에너지 분야의 블록체인 유형 및 사례 .....               | 60 |
| <표 4-3> 전력시스템 유연성 관련 비즈니스 모델 .....               | 73 |
| <표 5-1> 4차 산업혁명 요인별 전력수요 영향 요약 .....             | 83 |
| <표 5-2> ICT 기술 확대가 에너지수요에 미치는 영향 .....           | 83 |
| <표 5-3> Behind the Meter 시장의 주요 사업모델 .....       | 84 |
| <표 6-1> 디지털변환의 성공 요인 .....                       | 92 |

## 그림 차례

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| [그림 2-1] 1~4차 산업혁명 진행 도표 .....                | 5  |
| [그림 2-2] GE의 Predix 플랫폼 .....                 | 8  |
| [그림 2-3] Industry 4.0 시대의 산업 생태계 .....        | 8  |
| [그림 2-4] 브루클린 마이크로그리드 애플리케이션 .....            | 14 |
| [그림 2-5] SolarCoin 단위당 가치와 운영방식 .....         | 15 |
| [그림 2-6] 이더리움 기반 EV 충전/지불 시스템 .....           | 16 |
| [그림 2-7] Grid Singularity 기반 주요사업 .....       | 17 |
| [그림 2-8] 스마트미터를 활용한 Bankymoon 에너지 기부 과정 ..... | 18 |
| [그림 3-1] 미국 전력산업에서의 4차 산업혁명 신기술 도입 평가 .....   | 36 |
| [그림 3-2] TEPCO의 4차 산업혁명 대응 전략 .....           | 40 |
| [그림 3-3] KEPCO 스마트그리드 네트워크 및 빅데이터 분석망 .....   | 42 |
| [그림 4-1] 최근 전력수급기본계획의 목표수요 비교 .....           | 50 |
| [그림 4-2] 에너지 분야에서의 블록체인 구성 사례 .....           | 60 |
| [그림 4-3] 한국동서발전의 발전 Industry 4.0의 구조 .....    | 71 |
| [그림 6-1] OECD 주요국 가정용 전기요금 추이 .....           | 97 |
| [그림 6-2] OECD 주요국 산업용 전기요금 추이 .....           | 98 |

## 제1장 서론

2016년 다보스 포럼에서 처음 등장한 4차 산업혁명이란 용어는 간간히 언론을 통해 접하면서 친숙해진 단어이긴 하지만 실제로 우리가 4차 산업혁명이 아주 가까이 우리 삶에 다가왔음을 실감한 것은 알파고와 이세돌 9단의 바둑대국인 ‘구글 딥마인드 챌린지 매치’ 때문이었을 것이다. 인간의 승리를 예상하며 편안한 마음으로 지켜보던 대국은 급기야 1승 4패로 인공지능의 승리로 끝났는데 이전에도 종종 있었던 체스대국의 패배와 달리 우리에게 깊은 충격을 주었다. 딥러닝을 통해 스스로 학습하고 지능을 발전시켜 나가는 인공지능의 실체를 목격한 후로 우리사회의 4차 산업혁명에 대한 관심은 급속도로 증가했다. 국내 전력산업에 4차 산업혁명이 등장한 것은 제 8차 전력수급 기본계획으로 4차 산업혁명에 따른 전력수요 영향에 대해 검토하고 전기자동차로 인해 발생하는 수요영향을 반영한 것이 처음일 것이다. 4차 산업혁명에 대한 일부 불확실한 전망에 대해서는 향후 진행상황에 따라 추가 검토를 계획하고 있어 향후 전력수급 기본계획이 수립될 때마다 지속적으로 4차 산업혁명이 전력산업에 미치는 영향에 대해서 반영하게 될 것으로 보인다.

본 연구는 4차 산업혁명이 전력산업에 미치는 영향과 그로 인한 미래 변화에 대한 것이다. 그러나 4차 산업혁명은 그 자체로 독자적인 연구주제이며, 또한 이제 막 연구가 시작되었기 때문에 4차 산업혁명 자체에 대한 논의조차도 이제 걸음마 수준인 것을 감안하면, 전력산업에 미치는 영향을 분석하는 것은 매우 어려운 일임은 자명하다. 그러

나 앞으로 전력수급 기본계획이 격년마다 지속적으로 수립될 것을 감안한다면 지금까지 일부 정의되고 분석된 4차 산업혁명을 조명해보고, 전력산업에 이제까지 논의되었던 4차 산업혁명의 주요기술이 적용된다면 어떠한 변화가 발생할지를 선제적으로 짚어볼 시점이 된 것은 분명하다고 할 것이다.

본 연구는 다음과 같이 진행된다. 먼저 제2장에서 4차 산업혁명의 의미와 그동안의 에너지부문 사업여건의 변화를 정리한 후 현재 각광받고 있는 주요 기술 및 구체적인 해외 적용사례를 제시하였다. 이러한 내용을 바탕으로 4차 산업혁명시대 전력산업의 전개 방향에 대한 이해를 환기시키고자 한다. 이어서 제3장에서는 해외 주요국(미국, 독일, 일본)에서의 4차 산업혁명 지원 정책 및 제도를 살펴보고, 이들 국가의 전력산업 동향을 정리하면서 4차 산업혁명시대 전력산업의 ‘글로벌 트렌드’를 파악하고자 하였다. 2장과 3장에서의 내용을 바탕으로 제4장에서는 4차 산업혁명이 가져올 미래 전력산업의 변화를 전력수요, 전력거래, 규제 및 전력정책 측면으로 나누어 구체적으로 전망해보았다. 한편 4차 산업혁명 시대 국내 전력산업의 변화흐름을 적실성 있게 전망하기 위해 제5장에서는 국내 에너지, 전력부문 전문가들을 대상으로 한 설문조사 결과를 정리하여 제시하였다. 마지막으로 제6장에서는 2장에서 5장까지의 내용으로부터 국내 전력부문의 대응 방향을 전력사업자와 법·제도의 관점에서 구체적으로 제언해보았다.

## 제2장 4차 산업혁명의 개념 및 전개방향

### 1. 4차 산업혁명의 의미와 에너지부문 사업여건의 변화

지난 2008년 글로벌 금융위기 이후, 오랫동안 산업을 지배해 왔던 ‘20세기형 산업생태계’는 구조적 회의론에 직면하게 되었다. Rifkin(2011)에서는<sup>1)</sup> 2008년 당시의 경제위기가 석유 및 화석 연료와 관련된 에너지 위기에서 비롯되었다고 보고 있으며, 이러한 에너지 위기를 기점으로 탈집중화된 에너지 체제<sup>2)</sup>로의 변모를 특징으로 하는 ‘제3차 산업혁명’이 도래할 것이라 주장했다.

글로벌 금융위기 이후 불과 8년이 지난 2016년부터 ‘4차 산업혁명’이라는 개념이 학계와 산업계를 중심으로 등장하였다. 平野(2016)에<sup>3)</sup> 따르면 ‘파이프라인’을 특징으로 하는 산업생태계가 쇠퇴하고 대규모 자본투자 및 노동력이 불필요한 사회로 전환되고 있는데, 이는 20세기 산업을 지배해 온 핵심기술들이 성숙단계로 접어들면서 보다 기술 집약적인 사회로 변모하고 있음을 의미한다(<표 2-1> 참조). 즉, 공급 측면에서 규모의 경제를 달성함으로써 가격경쟁력을 확보하고 판매량을 극대화하는 것이 20세기 파이프라인형 산업생태계의 기업 덕목이었다면, 4차 산업혁명 시대의 산업생태계는 네트워크 효과를 통한 수요측면에서의 규모의 경제 달성 여부가 기업 운영의 핵심 덕목으로

1) Rifkin(2011)에서 주장된 전체 내용을 필자가 정리하고 김규관 외(2018, p.30) 내용을 참조

2) ‘탈집중화(분권화) 된 에너지 체제’는 재생에너지, 소프트웨어, 통신기술의 결합을 특징으로 하고 있다.

3) 平野(2016), pp. 87~96 참조

주목받고 있다는 측면에서 차이가 있다.<sup>4)</sup>

〈표 2-1〉 산업생태계 비교

|     | 20세기형 산업생태계 | 21세기형 산업생태계              |
|-----|-------------|--------------------------|
| 특징  | 거대기업의 출현    | 중소기업/대기업 상생<br>(업종경계 소멸) |
|     | 수직적 관료조직    | 수평화된 조직                  |
|     | 대량생산/대량소비   | 맞춤형 대량생산                 |
|     | 자본주의 전성기    | 자본주의의 성숙                 |
| 에너지 | 전력          | 재생가능에너지                  |
| 통신  | 전화          | 인터넷, SNS                 |
| 교통  | 내연기관 자동차    | 전기자동차, 자율주행차             |

자료: 平野(2016), p.89, 김규관 외(2017), p.31 재인용

한편 Schwab(2016a)은<sup>5)</sup> 4차 산업혁명을 물리적 공간과 디지털 공간의 경계가 붕괴되고 혁신이 이루어지는 시대로 정의하고 있다. 다시 말해 4차 산업혁명 시대에는 제조업과 CPS(Cyber-physical Systems)의<sup>6)</sup> 결합을 통해 물리적 공간과 디지털 공간의 경계가 모호해지는

4) 네트워크 효과를 통해 거대기업으로 성장한 대표적인 기업으로 중국 전자상거래의 75% 이상을 취급하고 있는 ‘Alibaba,’ 모바일 OS 분야와 모바일 검색 분야에서 각각 82%, 94%의 시장점유율을 기록하고 있는 ‘Google’ 등의 기업이 있다 (Alstyne, Parker, and Choudary(2016, pp. 28~29); 김규관 외(2017, p.34) 재인용

5) Schwab(2016a), p.1 참조

6) CPS는 물리적인 제조 프로세스의 관리 및 효율성을 제고하기 위해 소프트웨어와 제조 하드웨어를 결합하는 네트워크 시스템을 의미한다(<https://ptolemy.berkeley.edu/projects/cps>, 접속일자 2018.7.5.)

7) Qin et al(2016, p.175)과 Hofmann and Rusch(2017, pp.24~25)에서는 CPS의 네트워크가 ① 인프라 연결 네트워크(Interconnected Infrastructure Components Network), ② 프로세스의 효율적 컨트롤을 위한 사이버 네트워크(Cyber Network



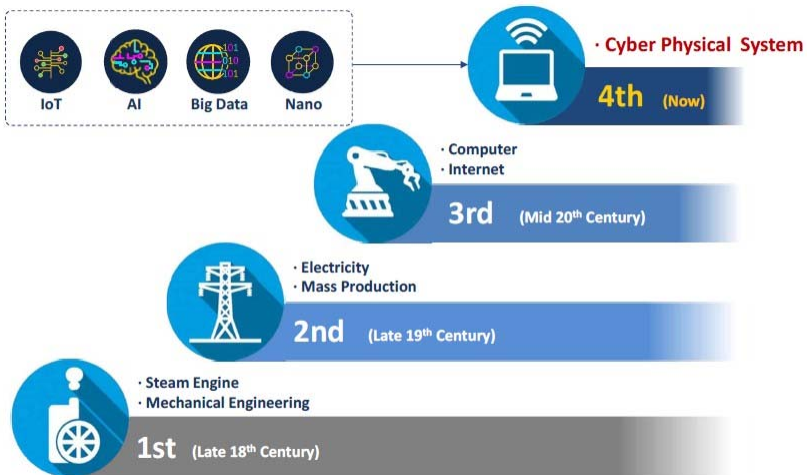
혁신기술이 등장함을 의미한다.<sup>8)</sup> 지금까지 등장한 1차~4차 산업혁명 패러다임의 특징을 요약하면 아래 <표 2-2>와 같다.

<표 2-2> 1차~4차 산업혁명의 특징 요약

|    |                            |
|----|----------------------------|
| 1차 | 증기기관 등에 의한 공장의 기계화(18C 후반) |
| 2차 | 전력사용에 따른 대량생산(19C 후반)      |
| 3차 | 전기+IT의 결합에 의한 자동화(20C 중반)  |
| 4차 | 물리적 공간과 디지털 공간의 경계 붕괴, 혁신  |

자료: Schwab(2016a), p.1

[그림 2-1] 1~4차 산업혁명 진행 도표



자료: 서울 기후 에너지전환 회의 한국전력 발표자료(2018a), p.16

for making use of the intelligent controllers)로 구성되어 있다고 설명하고 있다.  
 8) Schwab(2016b, p.8)에 따르면 4차 산업혁명에서의 기술혁신은 광범위한 범위에서 동시다발적으로 발생하고, 이렇게 발생한 이질적인 분야의 기술혁신들이 서로 융합된다는 특징이 있다.

‘1차 산업혁명’ 시기에는 공장을 기계화하는 과정에서 석탄, 수력, 증기 등 비교적 원시적 자원이 활용되었다. 이후 ‘2차 산업혁명’ 시기에는 석유와 전력이 주요 에너지원으로 활용되면서 대량생산체계를 갖출 수 있었다. 이후 ‘3차 산업혁명’은 전력과 IT 기술의 결합을 통해 ‘대량생산+자동화’를 달성하였으나 전통적인 발전자원(석탄, 석유 등)에서 유발되는 환경문제, 화석에너지자원의 고갈문제 등의 이슈가 대두되면서 태양광, 풍력 등 신재생에너지 자원에 대한 관심이 높아지는 시기였다. 이러한 흐름 속에서 물리적 공간과 디지털 공간의 경계가 허물어지고 신재생에너지 활용의 효율성을 높일 수 있는 다양한 혁신기술(사물인터넷, 인공지능, 빅데이터, 인공지능 등)이 등장하였으며 그러한 혁신기술들을 기반으로 하는 신사업모델도 개발되면서, ‘4차 산업혁명’ 또는 ‘Industry 4.0’ 시대를 맞이하게 되었다.<sup>9)</sup>

4차 산업혁명 또는 Industry 4.0이라는 개념 자체는 2011년 독일에 서 최초로 사용되었으며, 2016년 Klaus Schwab의 다보스 포럼 연설 이후 널리 전파되었다. AI, IoT, 빅데이터, 적층기술(additive technology)과 같은 분야에서의 기술혁신에서부터 시작되어 현재 다양한 신기술들이 응용/활용되고 있다. 한편 Max Blanchet은 4차 산업혁명 환경에서 모든 사물들이 정보 네트워크로 통합되면서 크게 다섯 가지의 대표적인 산업 변화상이 나타날 것이라 전망하였다<sup>10)</sup>: ① 미래공장(Plant of the Future)에서는 수요자(고객)와 생산자가 네트워크로 연결되고 CPS 중심의 IT 기술이 생산설비 주변에 구축되면서, 수

9) Can & Kıymaz(2016, pp.109~111); Ersoy(2016, p.48); Ali Görener(2018, pp.8 5~86)에서 분석한 각 산업혁명의 특징을 저자가 요약하여 정리

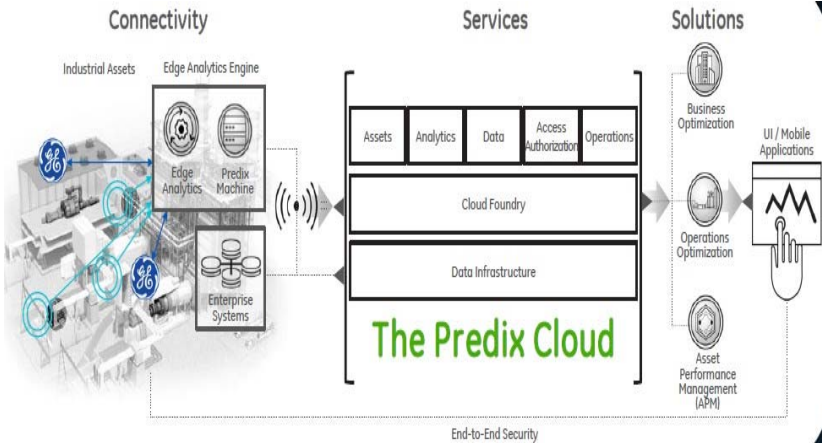
10) Max Blanchet의 발표자료가 비공개로 전환된 관계로 김규판 외(2017), p.42의 그림과 부연설명을 바탕으로 필자가 발췌 및 재구성

요에 실시간으로 반응하고 통제되는 제조설비환경이 만들어진다(제조업의 서비스화). 이는 제조공정의 효율성을 제고하는 역할을 하게 될 것이다([그림 2-2]<sup>11)</sup>참조). ② 4차 산업혁명 시대에서는 인간과 로봇이 상호 의사소통(Human-machine Interface)을 통해 공존하게 된다. 20세기 로봇이 인간의 역할을 대체하는 존재라면 4차 산업혁명 시대의 로봇은 인간과 공존하는 존재로 바뀌게 될 것이다. ③ 4차 산업혁명 시대에는 방대한 데이터(Big Data)의 축적 및 분석/활용이 크게 확대될 것이며, 이 과정에서 사이버보안 이슈가 대두될 것으로 예상된다. ④ 가상공장(Virtual Plants)과 가상제품(Virtual Products)의 활용을 통해 시제품의 사전 시뮬레이션 및 검증이 용이해질 것이다. ⑤ 각 분야의 혁신기술 간 융합으로 생산시스템의 유연화가 이루어짐에 따라 기업들은 한계비용이 낮은 대량생산 체제를 유지하면서 고객 맞춤형 제조가 가능하게 될 것이다.<sup>12)</sup> Industry 4.0 시대의 산업생태계를 그림으로 나타내면 [그림 2-3]과 같다.

11) 대표적인 사례로 GE의 Predix라는 산업플랫폼이 있다. Predix는 산업기기에 센서를 장착하여 설비 데이터를 수집 후 이를 클라우드에 공유하여 고객 맞춤형 솔루션을 제공하는 원리로 운영되는 플랫폼이다. Predix 상에 고객 필요에 따른 다양한 어플리케이션 탑재가 가능하다(Open Innovation System).

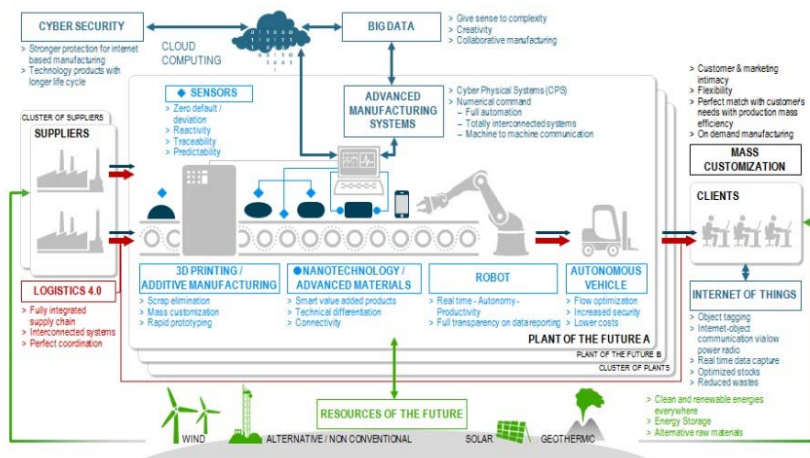
12) Max Blanchet의 5가지 산업변화상에 대한 보다 자세한 설명은 김규판 외 (2017), pp. 42~43의 재인용 내용을 참조

[그림 2-2] GE의 Predix 플랫폼



자료: GE Digital(<https://www.ge.com/digital/iiot-platform>, 접속일자 2018.5.1.)

[그림 2-3] Industry 4.0 시대의 산업 생태계



자료: Max Blanchet(2016), 김규관 외(2017, p.42) 재인용

## 2. 4차 산업혁명 시대 주요 기술 요약

### 가. 사물인터넷(IoT)

IoT(Internet of Things)는 인터넷을 기반으로 기술, 제품, 서비스, 장소 등이 서로 연결되어 사람-사물, 사물-사물 간 상호소통을 가능하게 만드는 기술이다. 사물들이 인터넷을 매개로 단순히 연결되는 개념을 뛰어넘어 그 연결에서 빅데이터가 축적되고, 기업들은 축적된 데이터 분석을 통해 새로운 사업모델을 개발하는 것까지 포함한다. 平野(2016)에서는 IoT를 모든 사물이 지능을 가지고 유기적인 자기관리 기능을 발휘하는 시스템으로 정의하고 있으며, IoT 기술이 보다 효율적이고 혁신적인 서비스를 창출하는 원동력이 된다고 보았다.<sup>13)</sup> IoT 기술이 적용된 사회는 디지털 비트(Digital Bit) 교류에 의해 가상세계와 현실세계의 장벽이 무너져 두 세계가 일원화되는 사회가 될 것이다. 또한 Schwab(2016b)에<sup>14)</sup> 따르면 IoT 기술이란 다양한 플랫폼을 기반으로 사물과 인간이 서로 연결되는 기술을 의미한다. 스마트 그리드는 에너지 분야 사물인터넷(IoT) 활용의 대표적인 사례로 볼 수 있다. IBM 연차보고서(2014)에서는<sup>15)</sup> 사물인터넷(IoT)을 통해 기업운영 및 자산 활용의 효율성을 제고하고 고용인력 생산성 향상, 산업 활동의 안정성 향상 등을 기대할 수 있다고 밝힌 바 있다.

한편 Mckinsey(2013)는 전력분야를 IoT 적용이 용이한 9개 산업에 포함시키고, IoT 기술이 적용된 전력산업이 연간 0.2~0.5조 가량(2025년 기준)의 경제적 가치를 창출할 것으로 기대하였다(<표2-3> 참조). GE(2012) 보고서와 박찬국(2016)<sup>16)</sup>에서도 가스화력 발전 부문에 IoT

13) 平野(2016), pp. 90~91, 김규판 외(2017), p.37 참조

14) Schwab(2016b), p.8 참조

15) IBM(2014), pp.4~6 참조

기술이 적용되면 현재 대비 약 1%의 연료절감이 가능하며, 전력산업 전체적으로 연평균 약 5조 수준의 경제적 가치를<sup>17)</sup> 창출할 수 있을 것으로 전망하고 있다.

〈표 2-3〉 전력 분야의 IoT 적용 범위 및 가치

| 미래 양상                                                                                                                                  | 잠재력 적용 범위                                                                                                                                     | 생산성 및 가치 제고                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 세계 전력소비: 27,000~31,000TWh</li> <li>■ 송전망 지출: 2,000억 달러</li> <li>■ 정전시간 합계: 3,000억분</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 소비자의 20~50%가 지능형 에너지관리</li> <li>■ 전력망의 20~50%가 센서를 통해 모니터링</li> <li>■ 계량기의 50~100%가 스마트미터</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 최대수요 2~4% 절감</li> <li>■ 전력소비 1~2% 절감</li> <li>■ 스마트미터를 통한 운용·유지비용 절감, 정전시간 축소 (총 0.2~0.5조 달러 가치)</li> </ul> |

자료: 자료: Mckinsey(2013, p.55), 박찬국(2016, p.7) 재인용

#### 나. 빅데이터 분석(Big Data Analysis)

〈표 2-4〉 에너지 빅데이터 특성(4V, 3E)

| 4V       |                              | 3E       |                            |
|----------|------------------------------|----------|----------------------------|
| 항목       | 설명                           | 항목       | 설명                         |
| Volume   | 엄청나게 증가한 데이터 총량              | Energy   | 빅데이터 분석을 통해 에너지 절약         |
| Velocity | 실시간으로 데이터의 생성, 수집, 처리 및 이용   | Exchange | 서로 다른 시스템과의 데이터 교환·통합 필요   |
| Variety  | 정형, 반정형, 비정형 등의 특성           | Empathy  | 빅데이터를 활용하여 더 나은 에너지 서비스 제공 |
| Value    | 에너지 효율 증진, 비즈니스 모델 개발을 통한 수익 |          |                            |

자료: Zhou et al(2016), p.217; 이성인·김지효(2016), pp.37~38 재인용

16) GE(2012, p.4); 박찬국(2016, p.6) 참조

17) 2011년~2025년 기간 동안 총 660억 달러(약 71조 수준)의 경제적 가치 창출

4차 산업혁명 시대에는 모든 사물들이 서로 연결되어 네트워크를 형성하고 에너지의 생산, 소비, 전달과 관련된 방대한 정보가 축적될 것으로 예상된다. 이성인, 김지효(2016)에 따르면<sup>18)</sup> 4차 산업혁명 시대의 에너지 빅데이터는 수집 총량(Volume), 데이터 유통 속도(Velocity), 수집된 데이터의 다양성(Variety), 가치를 창출하는 데이터(Value)의 ‘4V’와 에너지 절감(Energy), 데이터 간 교환 및 통합(Exchange), 소비자와 소통하는 데이터(Empathy)의 ‘3E’를 특징으로 하고 있다(<표 2-4> 참조).

한편 4차 산업혁명 시대 초연결 사회에서의 전력산업을 살펴보면, 실제로 GIS, 스마트미터, 자동화된 배전망 등의 요소들을 통해 대용량 데이터가 형성되고 있고 이렇게 축적된 빅데이터를 분석함으로써 고객의 행동양식을 보다 정확히 파악할 수 있게 되었다. 이는 보다 신속하고 정교한 부하패턴의 분류 및 부하예측으로 이어져 전력수요관리의 정확성과 효율성을 크게 제고할 수 있을 것으로 보인다. 에너지수요관리 측면에서 빅데이터 활용 분야를 정리하면 <표 2-5>와 같다.

**<표 2-5> 에너지 빅데이터의 활용 분야**

| 활용분야                        | 활용방식                                                                                           |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 에너지망 최적 관리                  | 발전 효율성 제고 및 비용 감축, 자원분배 최적화 및 자원 활용률 증대, 전력망 건전 및 안전성 개선, 예측 정확도 향상                            |
| 마이크로그리드, 신재생에너지 발전원의 효율적 관리 | 망 운영과정 단순화, 발전설비의 효과적 관리, 정확한 발전량 예측                                                           |
| 효율적 에너지수요관리                 | 실시간 가격(가격 차별화) 전략 및 제도 설계, 새로운 비즈니스 모델 개발, 전력 수요관리 강화, 효율적 에너지시스템 설계 및 목표 설정에 활용하여 에너지효율 개선 기여 |

자료: 소진영 외(2017), p.13; 이성인 • 김지효(2016), p.41의 표 내용 재인용

18) 이성인, 김지효(2016), pp.37~38

## 다. 인공지능(AI)

장필성(2016)에 따르면<sup>19)</sup> 4차 산업혁명 시대에는 인공지능의 활용을 통해 저급부터 고급까지의 전 노동 영역에 걸친 자동화가 이루어짐과 동시에 즉각적인 연결이 발생하면서 새로운 비즈니스 영역이 창출될 것이다. 한편 박창기(2016)에서는 인공지능과 빅데이터, 사물인터넷 등의 영역이 서로 결합되면서 디지털 플랫폼 구축에 역량이 있는 기업들의 성장을 더욱 촉진시킬 것이라 주장하고 있다.<sup>20)</sup> 이러한 인공지능이 에너지 분야에 적용될 경우 공급단과 수요단의 정보가 실시간으로 공유되면서 각 지역에 맞는 최적 에너지시스템 구축 및 운영이 가능해진다. 특히 전력수요의 실시간 파악을 용이하게 함으로써, P2P 전력거래 시 잉여전력 관리의 효율성을 제고하는 데 일익(一翼)을 담당할 것으로 보인다.

## 라. 블록체인(Block Chain) 기술

블록체인은 클라우드 컴퓨팅 기술의 응용에 해당하며, 네트워크상에 연결된 시장 참여자들이 발생하는 거래를 공동으로 검증하는 시스템이다.<sup>21)</sup> 이러한 특성으로 인해 블록체인을 ‘분산원장’이라고도 하며, 중앙 공증기관의 모니터링 비용 및 공증비용이 크게 감소하면서 거래비용의 획기적인 절감을 기대할 수 있다. 또한 네트워크상에 연결된 참여자들에 의해 거래기록이 남고, 거래내역은 암호화된 보안 방식

---

19) 장필성(2016), p.13 참조

20) 박창기(2016), p.1 참조

21) 이러한 블록체인 시스템을 구성하는 주요 기술요소에는 ① P2P 네트워크, ② 전자서명(해시), ③ 합의 알고리즘, ④ 스마트계약이 있으며, 이와 관련된 자세한 내용은 우청원(2018)의 p.8 이하에 상세히 기술되어 있다.



으로 참여자들 간에 공유되므로 특정 사용자가 시스템을 통제할 수는 없다.

블록체인 기반의 분산형 거래방식이 전력시장 등에 도입될 경우 전력거래 중개자의 역할이 축소되면서 에너지 프로슈머의 역할이 보다 확대될 것이며, 제도적 개선이 병행되는 정도에 따라 P2P 전력거래시장 형성이 보다 촉진될 것으로 예상된다. 블록체인 기술이 에너지 분야에 적용된 대표적인 유형으로는 P2P 전력거래, 전기차 충전 및 공유, 에너지 데이터 활용, 에너지 공유, 그리고 탄소자산 거래 등을 꼽을 수 있다.<sup>22)</sup>

### 3. 전력 분야의 4차 산업혁명기술 적용 사례

#### 가. 미국

미국에서는 블록체인 기술과 인공지능, 빅데이터 분석 등을 활용하여 P2P 전력거래와 신재생에너지 발전 확대를 점진적으로 추진하고 있다. 미국 내에서 4차 산업혁명의 신기술을 에너지 분야에 접목한 대표적인 사례로 ‘Brooklyn Microgrid Project’와 ‘SolarCoin’을 꼽을 수 있다.<sup>23)</sup>

먼저 ‘Brooklyn Microgrid Project’는 미국 브루클린 지역 내 약 50 가구에 태양광 패널을 설치하고 잉여전력 판매가 가능한 시스템을 구축한 사례다.<sup>24)</sup> 즉, 한 지역에서 생산된 태양광 발전에너지를 이웃 간

---

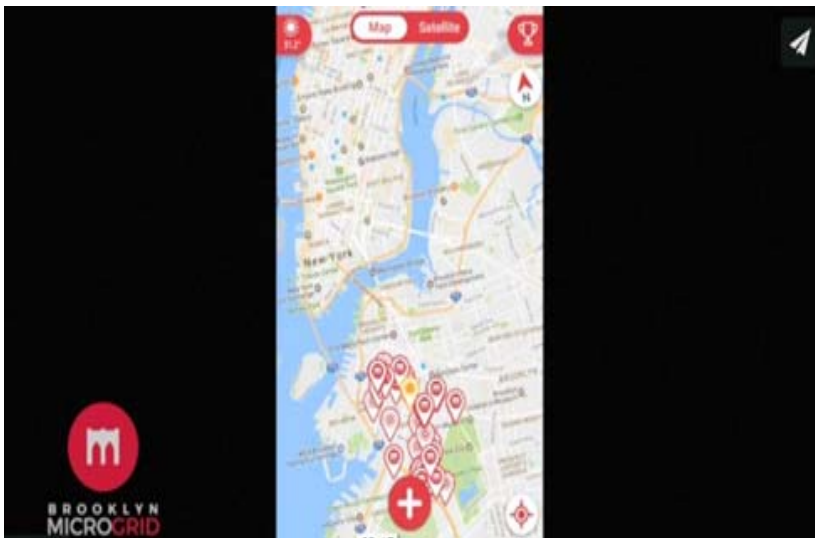
22) 우청원(2018), p.10 참조

23) 우청원(2018), pp.11~15 참조

24) Power Technology, “The Brooklyn microgrid: blockchain-enabled community power,” 2017.4.11.,(<https://goo.gl/65ZFXT>, 접속일자 2018.7.2.)

P2P 전력거래에 활용하는 구조라는 측면에서 ‘블록체인 기술을 결합한 스마트시티 사업’으로 요약할 수 있을 것이다. 각 가구에서는 스마트미터기를 설치하여 전력생산 및 전력거래와 관련된 데이터를 축적하고, 브루클린 마이크로그리드를 위해 자체 개발된 애플리케이션을 통해 전력수요를 실시간으로 파악한다([그림 2-4] 참조). 또 실제 전력거래가 발생할 시에는 스마트계약을 활용하여 중개수수료의 절감이 가능하다. 이러한 구조하에서 ‘LO3 Energy 社’는 블록체인 서비스 제공, 에너지 거래 수수료, 스마트미터기 판매 영역에서 수익을 창출하고 있으며, 지역 전력회사는 지역 에너지 운영, 마이크로그리드 설계/구매/시공/운영을 통해 수익을 획득하고 있다.<sup>25)</sup>

[그림 2-4] 브루클린 마이크로그리드 애플리케이션

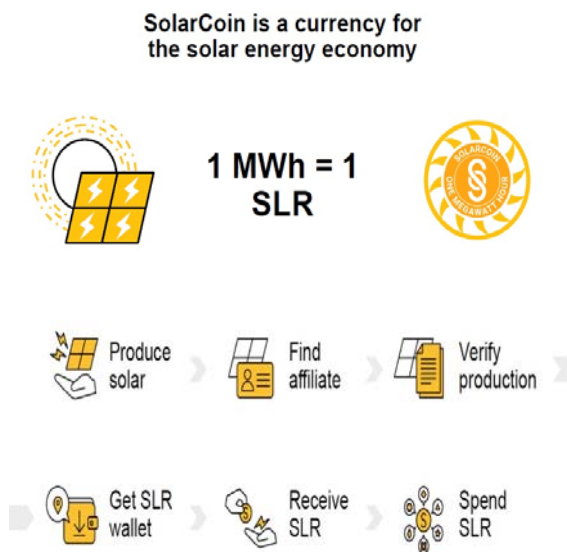


자료: Brooklyn Microgrid 홈페이지([https:// www. brooklyn.energy/support](https://www.brooklyn.energy/support), 접속 일자 2018.7.4)

25) 권성철(2017), p.10 참조

한편 ‘SolarCoin’은 태양광 발전을 장려하기 위해 고안된 일종의 암호화폐로, 솔라코인 재단(SolarCoin Foundation)에서는 SolarCoin 거래가 가능한 설비를 갖추었는지 여부를 검증하는 시스템을 운영 중에 있다. 설비인증을 받은 가구는 SolarCoin을 지급받게 되고, 전력거래로 획득한 SolarCoin은 타 암호화폐 또는 신용화폐로 교환이 가능하다.<sup>26)</sup> 일반적으로 암호화폐를 활용한 P2P 전력거래에서는 블록체인 및 스마트계약과 같은 4차 산업혁명 신기술을 활용하여 보안성 문제를 해결해야하므로, SolarCoin을 이용한 신재생에너지 발전 인센티브 확대 노력 역시 4차 산업혁명 시대의 신기술이 에너지부문에 활용된 대표적인 사례로 볼 수 있을 것이다.

[그림 2-5] SolarCoin 단위당 가치와 운영방식



자료: 서울 기후 에너지전환 회의 솔라코인재단 발표자료(2017b), pp.2~4

26) SolarCoin 홈페이지(<https://solarcoin.org/faqs/>, 접속일자 2018.7.6.)

## 나. 유럽

### 1) 독일

우청원(2018)에서도 분석된 바 있듯, 지난 2017년 독일 전력회사 ‘RWE’와 블록체인 스타트업 기업인 ‘Slock.it’은 EV(전기자동차) 충전 블록체인을 공동으로 개발하였다. 이더리움을 기반으로 전기자동차 인증, 충전, 결제가 자동화되는 블록체인 시스템을 구축하였다는 측면에서 스마트계약과 사물인터넷(IoT)의 결합으로 볼 수 있을 것이다. 전기자동차 충전내역은 블록체인에 기록/공유되므로 부당거래를 사전에 방지할 수 있다는 장점이 있으나, 인프라 구축 및 확대가 지지부진하여 시스템 확대에 어려움을 겪고 있다.<sup>27)</sup>

[그림 2-6] 이더리움 기반 EV 충전/지불 시스템



자료: 박민혁·김태형(2017), p.12 재인용

27) 우청원(2018), p.16의 내용을 정리

## 2) 오스트리아

우청원(2018)에 따르면 오스트리아에서도 블록체인, 사물인터넷(IoT), 빅데이터 분석기법을 결합한 스마트 그리드 사업을 추진하고 있다. ‘Grid Singularity 社’는 개인/가정/기업의 에너지 이용 데이터를 분산원장에 기록하여 에너지 소비패턴을 분석하고 수요를 예측하는 한편 분석 결과를 바탕으로 한 투자솔루션을 제공해주는 등 스마트 그리드를 활용한 다양한 사업영역을 개척하고 있다.<sup>28)</sup> 독일의 사례와 마찬가지로 이러한 Grid Singularity 社의 에너지부문 사업영역에서도(에너지 수요관리 서비스, 에너지 데이터 거래 등, [그림 2-7] 참조) 이더리움과 IoT 기술을 적용하여 에너지 정보를 수집하고 활용 중이다.<sup>29)</sup> 향후 Grid Singularity 사업모델의 본격적인 확대를 위해서는 개인이나 가정으로부터 수집된 에너지 사용정보 활용에 필요한 법적, 제도적 정비(규제완화 등)가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 보인다.

[그림 2-7] Grid Singularity 기반 주요사업



자료: Grid Singularity 홈페이지(<http://gridsingularity.com/#/0/1>, 접속일자 2018.7.4); 우청원(2018), p.17 재인용

28) Grid Singularity 홈페이지(<http://gridsingularity.com/#/1>, 접속일자 2018. 7. 3.)

29) 우청원(2018), p.17 참조

#### 다. 남아공

남아공에서는 4차 산업혁명 신기술(블록체인 기술)을 이용하여 ‘Bankymoon’이라는 에너지 기부 플랫폼이 등장하였다. Bankymoon은 클라우드펀딩 플랫폼인 ‘Usizo’와 연동하여 전력부족 상태의 학교에 비트코인을 기부하고 기부된 비트코인만큼 에너지(전력, 가스)를 공급하는 구조를 갖추고 있다.<sup>30)</sup> 기부자가 지정한 비트코인 주소로 전력 크레딧(Credit)이 전송되어 각 급 학교 스마트미터에 전력이 추가되는 것이다([그림 2-8] 참조). 이러한 에너지 기부 플랫폼은 향후 병원이나 공공기관 공과금 결제 시스템으로까지 확장 가능할 것으로 예상되나, 거래보안문제 등을 고려했을 때 Usizo와의 연동을 넘어 자체적인 블록체인시스템을 먼저 갖추어야 할 것으로 보인다.<sup>31)</sup>

[그림 2-8] 스마트미터를 활용한 Bankymoon 에너지 기부 과정



자료: 박민혁·김태형(2017), p.12 재인용

30) Bankymoon 홈페이지(<http://bankymoon.co.za/category/usizo>, 접속일자 2018. 7. 1.)

31) 우청원(2018), p.18의 내용을 바탕으로 도출

#### 4. 4차 산업혁명에 따른 전력산업 전개방향

앞서 설명한 4차 산업혁명의 주요기술과 적용사례들은 이제 시작에 불과하며 아직 주요 기술에 대해서는 발전·혁신의 성공여부와 각 기술의 발전 속도에 대해서는 정확하게 예측하기 어려운 것이 현실이다. 또한 현재 에너지 분야에 4차 산업혁명 기술이 적용된 해외 사례들을 살펴보면 소규모의 실험적 시도 수준으로 전력산업 전체의 패러다임을 변화시킬만한 움직임을 보이고 있지는 않다.

그러나 4차 산업혁명 기술이 지속적으로 발전한다는 희망적인 가정을 한다면 전술한 4차 산업혁명의 주요 기술들을 자연스럽게 연결하여 미래의 전력산업 전개방향을 상상해 볼 수 있다. 현대사회는 점점 많은 양의 데이터를 축적하고 있으며 사물인터넷 등 신기술이 우리의 일상생활에 많이 보급될수록 정보는 기하급수적으로 증가할 것이다. 엄청난 양의 빅데이터 분석은 사람이 아닌 인공지능에 의해 수행될 것이고 인공지능에 의해 분석되어 제공되는 정보는 인간의 분석수준을 뛰어넘어 정확한 전망과 실생활의 많은 부분에서 자동적으로 최적화를 실현해 줄 수도 있을 것이다. 실생활의 많은 부분에서 자동적으로 달성되는 최적화는 불필요한 중개 및 공증과정을 제외하고 이루어지는 개인 간의 거래(P2P)의 활성화를 통해 달성될 가능성이 높다. 4차 산업혁명 시대의 신기술은 엄청난 양의 데이터를 처리하며 인공지능에 의해 자동적으로 분석되는 것을 실현시킨다고 가정하면 거래, 모니터링, 공증 모두가 매우 간단한 프로세스를 통해서도 가능해질 수 있을 것이다.

이런 희망적인 전망을 전력산업에 적용해 본다면 전력산업의 전개방향은 다음과 같을 수 있다. 전력산업은 크게 전력의 생산과 운송

(송·배전) 그리고 소비 부분으로 나누어지는데, 4차 산업혁명의 주요 기술은 전력산업의 전 분야에 큰 영향을 줄 것으로 예상된다. 인공지능은 사물인터넷, 빅데이터와 함께 전통전원의 생산부문에서 최적화를 이끌어 낼 것이다. 이는 설비운영의 최적화에 따른 연료비용 및 운전유지비 등 변동비용의 절감으로 설명될 수 있을 것이다. 그러나 4차 산업혁명 기술이 가장 크게 영향을 미칠 부분은 재생에너지의 발전부분이다. 간헐적 발전을 하는 재생에너지(태양광·풍력)의 역할을 극대화 시킬 것으로 생각되는데 재생에너지 발전에서 가장 중요한 요소인 날씨를 인공지능과 빅데이터 분석으로 인해 예보의 정확도가 높아질 것이기 때문이다. 이는 자연환경 변화에 큰 영향을 받는 재생에너지 발전의 특성상 발생하는 낮은 설비이용률과 간헐적 발전으로 인한 계통 불안정성 증대라는 재생에너지 발전의 약점을 비약적으로 해결해 줄 가능성이 높다. 이러한 관점에서 본다면 전통전원 중심의 전력산업에서 재생에너지 중심으로의 전력산업으로 전환되는 과정에서 4차 산업혁명 기술은 핵심적인 역할을 수행하게 될 것으로 보인다.

송·배전망 운영의 최적화 수준도 인공지능과 빅데이터 분석으로 보다 높아질 것이며 이는 재생에너지 발전량 전망의 정확도 향상과도 일정부분 연관이 있을 것이다. 정확한 수요예측 및 수요관리에도 4차 산업혁명 기술이 적용될 것으로 보인다. 빅데이터 분석과 인공지능으로 인해 기상조건에 대한 분석의 정확도가 높아질 경우 익일 전력수요 및 최대부하에 대한 전망치도 한층 정확도가 높아질 것으로 보인다. 이럴 경우 사물인터넷과 결합한 수요관리, 수요자원시장의 탄력적 운영에 따른 최대부하 관리 등이 보다 용이해 질 것으로 보인다. 소비자들의 수요관리 노력은 인공지능과 빅데이터 분석이 대신하게 될 것



이며 소비자가 불편함 없이 충분히 전력을 사용하면서도 높은 수준으로 전력수요관리가 이루어질 수 있을 것이다.

특히 재생에너지 발전의 보급 속도가 급격히 늘고 발전단가가 지속적으로 떨어져서 전통전원인 원자력과 석탄발전보다 발전단가가 낮아질 경우, 즉 그리드패리티를 달성할 경우에는 전력소비자 간의 거래요인이 급증할 것이다. 대형 전력회사에서 구매하는 전력에 비해 재생에너지 발전원으로 발전한 전력이 보다 저렴하다면 전력소비자는 각자 생산한 전기를 서로 거래하고 싶어 할 것이며 블록체인과 같은 개인 간의 거래기술이 이러한 소비자의 욕구를 충족시키는 데 중요한 기술로 자리매김 할 수밖에 없다.

비저장성과 실시간 수급일치라는 전력의 물리적 특성상 전력산업은 기본적으로 비효율적인 산업이다<sup>32)</sup>. 수급의 실시간 일치와 비저장성이라는 항목은 전력산업에서 항상 전체 발전설비를 최대수요에 맞게 준비해야 한다는 의미이며 미래의 최대수요를 정확하게 알 수 없기 때문에 예상 최대수요 대비 일정량의 예비발전설비를 추가로 가지고 있어야 한다. 그러나 4차 산업혁명 기술이 발전과 수요 부분에서 미래 예측력의 정확도를 급격히 높여준다면 비저장성의 문제가 해결되지 않는다고 가정할지라도 설비이용률을 크게 향상시켜줄 수 있게 된다. 이와 같은 비효율성의 개선은 장기적으로 고정비의 감소를 의미하며 전기요금의 안정화에도 크게 기여할 수 있을 것으로 보인다.

---

32) 2017년 전체 발전기의 평균 이용률은 54%로 집계됨(제 87호 한국전력통계)



## 제3장 해외 주요국의 전력산업 동향

### 1. 해외 주요국의 4차 산업 관련 정책 및 제도

#### 가. 미국

미국 제조업계는 중국과 독일의 거센 도전에 직면하면서 경쟁력이 약화되고 점유율이 감소하는 현상을 겪었다. 이에 오바마 행정부에서는 첨단제조기술 관련 R&D와 투자 촉진을 위해 지난 2011년 ‘AMP(Advanced Manufacturing Partnership)’정책을 추진하였다. AMP 정책은 미국 제조업 기술부문의 연구개발 투자 확대, 관련 인프라 확충, 제조업체 간 협업 강화를 통해 제조업의 성장 동력을 확보하고 혁신을 이끌어내는 것을 목표로 하고 있다. 이후 2013년에는 AMP 정책을 보강한 ‘AMP 2.0’정책을 발표하면서 중소기업의 참여를 확대하고 고용창출 기능을 강화하였다. AMP 및 AMP 2.0 정책 내용을 요약하면 아래 <표 3-1>과 같다.<sup>33)</sup>

이러한 미국 제조업 혁신정책을 바탕으로 미국의 4차 산업혁명 정책의 주안점을 살펴보면 ① 기존 제도 보완을 통한 대응, ② 정책 실행가능성 제고, ③ 시장지향성 강화로 요약해볼 수 있다.

#### 1) 기존 제도 보완

개인정보 보호, 데이터 보안 강화, 자율주행차 제도 및 인프라 구축

33) President's Council of Advisors on Science and Technology(2011 & 2014) 정리, 강성진 외(2017, pp.126~127) 표 재인용 및 정리

부문에서 제도보완이 집중적으로 이루어진다. 기술개발부터 상업화까지 소요되는 시간을 최소화하기 위해 기초연구에 집중하는 한편 연구 단계에 민간 참여를 유도하고 있는데, 실제로 기반기술 및 응용기술의 개발과 개발된 기술의 상업화를 동시에 달성하기 위해 정부 프로젝트 단계에서부터 민간 참여를 장려하고 있다.<sup>34)</sup>

〈표 3-1〉 AMP, AMP 2.0 정책 요약

|            | AMP(2011)                                                                                                                                                                                              | AMP 2.0(2013)                                                                                                                                                                                                               |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 혁신 기반 강화   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 국가 차원 첨단 제조업 전략 수립</li> <li>▪ 핵심 기술 관련 연구개발 투자 확대</li> <li>▪ 제조업 혁신 연구소들 간 네트워크 확립</li> <li>▪ 선진 제조업 기술 상용화 환경 조성</li> <li>▪ 선진 제조업 기술 관련 산학 연계 강화</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 국가 차원 첨단 제조업 전략 수립</li> <li>▪ 선진 기술 확보를 위한 민/관 투자 조성</li> <li>▪ 제조혁신 네트워크 설립/지원</li> <li>▪ 연구개발 산학 연계 강화</li> <li>▪ 제조 기술의 공유를 위한 보안 기준/절차 수립</li> <li>▪ AMP DB 구축</li> </ul>      |
| 인재양성       | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 제조업에 대한 인식 개선</li> <li>▪ 선진 제조업 핵심기술 교육</li> <li>▪ 선진 제조 기술 관련 대학교육 확대</li> <li>▪ 국가 인증 제조업 인턴십 제도 창설</li> </ul>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 제조업에 대한 인식 개선</li> <li>▪ 재향 군인 취업기회 제공</li> <li>▪ 커뮤니티 칼리지 단위 교육 투자</li> <li>▪ 기술공인 제도를 위한 기업 간 파트너십 설립</li> <li>▪ 첨단 제조업 기술에 대한 교육기회 제공</li> <li>▪ 국가 인증 제조업 인턴십 제도 창설</li> </ul> |
| 비즈니스 환경 개선 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 세제 개혁 및 제도 효율화</li> <li>▪ 규제 완화</li> <li>▪ 통상 정책 개선</li> <li>▪ 에너지 정책 개선</li> </ul>                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 세제 개혁</li> <li>▪ 규제 완화</li> <li>▪ 무역 정책 개선</li> <li>▪ 에너지 정책 갱신</li> </ul>                                                                                                         |

자료: President's Council of Advisors on Science and Technology(2011 & 2014) 정리, 강성진 외(2017, pp.126~127) 표 재인용 및 정리

34) 강성진 외(2017), p.124

## 2) 정책 실행가능성 제고

각종 프로젝트 추진 시 정부와 민간의 역할을 구분하여 정책의 실행가능성을 제고하고 있다. 즉, 정부(공공)는 기업가 정신을 고취하는 역할을 맡고 민간은 창업생태계 조성, 차세대 기업가 양성, 혁신의 가속화 등 장기성장 토대 구축에 집중하는 것이다.<sup>35)</sup> 이런 측면에서 미국정부는 2017년 ‘IMI(Institution for Manufacturing Innovation)’를 설립하여 제조업 혁신을 위한 산·관·학 협력을 강화하는 한편, ‘NNMI(National Network for Manufacturing Innovation)’를 통해 전국 IMI 연구소 간 연결 네트워크를 구축하여 혁신 시너지효과 증대를 도모하고 있다.<sup>36)</sup>

## 3) 시장지향성 강화

미국에서는 개발된 신기술들의 상업화에 필요한 사업모델 창출에도 노력을 기울이고 있다. 혁신기술이 개발된다 하더라도 이를 상용화할 수 있는 구체적 사업모델이 정착되지 않으면 기술 확산이 이루어지기 힘들다는 점을 고려하여, 미국에서는 제조업 및 산업 전반에 걸쳐 민간 기업들이 자발적으로 ‘IIC(Industrial Internet Consortium)’<sup>37)</sup>를 구성하고 기술개발 기업들에 대한 사업모델 창출 관련 자금을 지원하고 있다.

IIC의 혁신 및 5대 목표는 ① 테스트베드와 새로운 산업 응용 사례

---

35) 김규관 외(2017), pp.158~159을 바탕으로 정리

36) 김규관 외(2017), pp.158~159을 바탕으로 정리

37) IIC는 GE, SAP, Schneider Electric, IBM, Intel이 주축이 되어 설립되었으며, 에너지, 헬스케어, 제조업, 공공부문, 교통부문 등 다양한 업종의 기업들이 참여하고 있다. 혁신은 기업이 담당하고 정부가 적극 지원하는 형태의 컨소시엄이다.

개발을 통한 혁신 주도, ② 상호 운용에 필요한 프레임워크와 기준 아키텍처의 개발, ③ 글로벌 개발표준 프로세스 확립에 기여, ④ 아이디어 공유가 가능한 개방형 포럼의 촉진, ⑤ 보안 관련 신뢰성 구축이며,<sup>38)</sup> 최근에는 IIC에서 개발한 IoT 플랫폼이 국제적 명성을 확보하는 등 가시적 성과를 보이고 있다.<sup>39)</sup>

## 나. 독일

독일에서는 2006년 ‘하이테크 전략’을 필두로 2012년 ‘하이테크 2020 전략’, 2014년 ‘新 하이테크 전략’에 이르기까지 4차 산업혁명 관련 정책을 지속적으로 보완하고 발전시켜왔다. 에너지, 통신, 안전, 교통 등 다양한 분야에 일관된 정책지원이 이루어진 결과 독일은 4차 산업혁명 시대 패러다임을 선도하게 되었다.

### 1) 하이테크 전략(High-tech Strategy, 2006)

독일 정부의 ‘하이테크 전략’ 수립은 혁신기술 개발 부문에서 독일이 미국이나 일본에 뒤처졌다는 인식에서 출발하였다. 이에 따라 산업 분야를 초월한 R&D 및 혁신이 추진되었으며, 2006년~2009년 기간 동안 4대 추진전략/17개 중점 기술개발 분야를 중심으로 약 63억 달러가 투입되었다. 하이테크 전략은 초기 4차 산업혁명 혁신 정책 추진을 위한 포괄적 전략인 만큼 구체성은 다소 부족했으나, 독일 4차 산업혁명 정책의 전반적인 틀을 마련하는 데 기여하였다.

---

38) 강성진 외(2017), pp.126~127 참조

39) 4차 산업혁명 선도국가(독일, 일본 등)에서는 IIC에서 개발한 IoT 플랫폼과의 호환성을 확보하기 위해 노력하고 있다.

## 2) 하이테크 2020 전략(High-tech Strategy 2020 for Germany, 2012)

독일 정부는 2006년 전략을 보다 구체화하여 ‘하이테크 2020 전략’을 수립하였다. 17개의 기술개발 분야를 5개로 압축하는 한편 10대 미래 프로젝트 선정을 통해 2006년 하이테크 전략을 보다 구체화시켰다. 2011년에 구체화된 ‘Industry 4.0’ 개념이 하이테크 2020 전략에도 포함되었다(<표 3-2> 참조).<sup>40)</sup>

Industry 4.0은 ‘제조업의 디지털화를 통한 가치사슬(Value Chain)의 네트워크화’를 특징으로 한다. 가상물리시스템(CPS)을 기반으로 한 새로운 가치사슬 창출을 기대할 수 있으며, 정보통신기술(클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 분석 등)을 통해 소비패턴을 보다 정확하게 예측할 수 있게 된다. 2013년에는 ‘Platform Industry 4.0’ 개념으로 확장되면서 혁신의 실용성과 실행력 강화를 위한 정부의 적극적인 참여와 지원환경 조성을 강조하고 있다.<sup>41)42)</sup>

---

40) 강성진 외(2017), p.124 내용을 바탕으로 정리

41) Federal Ministry of Education and Research(2012), pp.22~32 내용을 바탕으로 필자가 정리 및 시사점 도출

42) Platform Industry 4.0 정책에는 정부, 연구기관, 기업 등 다양한 분야에서 참여하고 있으며, Industry 4.0 체제에서의 지식과 R&D 사례를 널리 공유하고 중소기업의 Industry 4.0 도입을 촉진하려는 노력이 반영되었다.

〈표 3-2〉 하이테크 2020 전략의 ‘5대 핵심기술, 10대 미래 프로젝트’

| 5대 핵심<br>기술분야 | 10대 미래 프로젝트                                                                                                                   |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 기후/에너지        | <ul style="list-style-type: none"> <li>탄소중립, 고효율 에너지 사용, 기후변화 적응 도시개발</li> <li>바이오 에너지 자원 개발</li> <li>에너지 공급 다변화</li> </ul>   |
| 정보통신          | <ul style="list-style-type: none"> <li>인터넷 기반 경제서비스</li> <li>Industry 4.0</li> </ul>                                          |
| 안전            | <ul style="list-style-type: none"> <li>개인정보 보호</li> </ul>                                                                     |
| 이동성           | <ul style="list-style-type: none"> <li>지속가능 이동수단</li> </ul>                                                                   |
| 보건/식량         | <ul style="list-style-type: none"> <li>차별화된 처방을 통한 질병의 효과적 치료</li> <li>질병 예방과 건강식단을 통한 국민건강증진</li> <li>노년기 생활자립 지원</li> </ul> |

자료: Federal Ministry of Education and Research(2012, pp.23~32); 강성진 외(2017, p.124) 표 재인용 및 정리

### 3) 新 하이테크 전략(The New High-tech Strategy Innovation for Germany, 2014)

독일에서는 앞서 추진된 하이테크 전략들의 성공에 힘입어 2014년에 ‘新 하이테크 전략’을 수립하였다. 新 하이테크 전략은 아이디어의 신속한 시장화를 통해 ‘세계 혁신을 선도하는 독일’을 목표로 한다.<sup>43)</sup> 세부적으로는 인재육성 촉진, 혁신에 걸림돌이 되는 규제 완화, 정부 부처 간 소통/협업 강화, 산학협력 촉진, 국제 네트워크 구축, 중소기업 지원 확대를 통한 창업 촉진을 추진하고 있다.<sup>44)</sup>

43) Federal Ministry of Education and Research(2014), pp.3~7 참조

44) 강성진 외(2017), p.123 참조



## 다. 일본

### 1) 일본 재흥전략 2015(Japan Revitalization 2015, 2015)

일본정부는 ‘일본 재흥전략 2015(Japan Revitalization Strategy 2015)’를 통해 4차 산업혁명 대응을 본격적으로 추진하였다.<sup>45)</sup> 정부 주도로 4차 산업혁명 관련 의제를 설명하고 대응 방향을 제시했으며, 4차 산업혁명의 혁신기술을 통해 다양한 사회적 과제를<sup>46)</sup> 해결할 수 있을 것으로 기대하였다. 민간 기업이 IoT, 빅데이터, AI 등과 관련된 기술개발 및 혁신에 신속하게 대응할 수 있는 제반 제도 개선의 필요성과 민/관이 공유 가능한 비전 수립의 필요성을 언급하였다.<sup>47)</sup>

### 2) 신산업구조비전(New Industrial Structure Vision, 2016)

일본 재흥전략 2015가 4차 산업혁명에 대한 대응방향의 제시라면, ‘신산업구조비전(New Industrial Structure Vision)’은 그 세부 지침에 해당한다. 일본 정부는 신산업구조비전을 통해 4차 산업혁명과 관련된 ‘7대 기본전략’을 제시했고, 지난 2016년 일본 경제산업성은 신산업구조비전의 중간 평가결과를<sup>48)</sup> 발표하였다: ① 데이터 활용 환경 구축, ② 인재 육성 및 고용 시스템의 유연성 향상, ③ 혁신 및 기술개발 가속화(Society 5.0), ④ 금융기능 강화, ⑤ 산업 및 취업구조의 원활한 전환, ⑥ 4차 산업혁명의 성과 공유, ⑦ 4차 산업혁명에 대비한 사회, 경제 시스템의 고도화

---

45) 김규관 외(2017), pp.116~118

46) 예를 들면 고령화에 따른 노동력 감소 등

47) 강성진 외(2017), pp.127~128

48) 일본 경제산업성(Ministry of Economy, Trade and Industry, METI)

홈페이지([http://www.meti.go.jp/english/press/2016/0427\\_05.html](http://www.meti.go.jp/english/press/2016/0427_05.html), 검색일자 2018.07.11.) 참조

〈표 3-3〉 4차 산업혁명시대 에너지 관련 신산업구조 내용

|                                             |                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>데이터 활용 환경 구축</b></p>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 데이터 플랫폼 및 유통망 구축</li> <li>▪ 개인 데이터 활용 촉진</li> <li>▪ 보안기술개발 및 인재 육성 생태계 구축</li> <li>▪ 4차 산업혁명 지적재산 보호</li> <li>▪ 4차 산업혁명 산업경쟁력 강화 정책 수립</li> </ul> |
| <p><b>혁신/기술개발 가속화<br/>(Society 5.0)</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 오픈 이노베이션시스템 구축</li> <li>▪ 지적 재산관리 및 국제표준화 전략</li> </ul>                                                                                           |
| <p><b>4차 산업혁명 대응<br/>사회/경제 시스템 고도화</b></p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 규제완화</li> <li>▪ 데이터 활용을 통한 행정서비스 향상</li> <li>▪ 4차 산업혁명 성과 확산</li> </ul>                                                                           |

자료: METI 홈페이지([http://www.meti.go.jp/english/press/2016/0427\\_05.html](http://www.meti.go.jp/english/press/2016/0427_05.html), 검색일자 2018.07.11.); 강성진 외(2017, p.131) 표 재인용 및 발췌정리

이러한 4차 산업혁명 관련 정책 중 일본 에너지 분야의 혁신과 밀접한 IoT 관련 4차 산업혁명 추진전략은 스마트 모빌리티와 스마트 제조 부문에 집중되어 있다. 특히 스마트 제조는 스마트 공장 및 테스트베드 확충과 관련되어 있어서 IoT 기술의 에너지부문 확산에 실질적 촉매 역할을 할 것으로 판단된다.<sup>49)</sup> 스마트 제조 부문의 구체적인 지원내역은 아래 <표 3-4>에 요약되어 있다.

49) 김규관 외(2017), pp.145~155, pp.161~165 참조

〈표 3-4〉 스마트 제조 부문에 대한 일본정부의 지원 내역

| 세부분야        | 지원내역                                                                                 |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 스마트 공장 시범사업 | <ul style="list-style-type: none"> <li>2016년부터 3억엔~5억엔 지원(경제산업성)</li> </ul>          |
| 테스트 베드 구축   | <ul style="list-style-type: none"> <li>구체적 시범사업은 없으나 타당성 조사단계</li> </ul>             |
| 중견/중소기업 지원  | <ul style="list-style-type: none"> <li>IoT 전문가 현장 파견</li> <li>IoT Tool 지원</li> </ul> |
| 국제 표준화 대응   | <ul style="list-style-type: none"> <li>RRI를 통해 독일과 표준화 확립에 협력(2017.2)</li> </ul>     |

주: RRI는 ‘로봇혁명 이니셔티브 협의회(Robot Revolution Initiative)’로 일본을 대표하는 Industry 4.0 민관 협력기구임(경제산업성이 주도).

자료: 김규관 외(2017), pp.145~155, pp.161~165 내용을 바탕으로 필자가 발췌, 정리

앞서 언급된 4차 산업혁명 선도국가(미국, 독일)에 비해 일본은 4차 산업혁명 혁신 정책이 자동차와 제조업 분야에 국한되어 있고, 폐쇄적인 기술혁신 시스템으로 인해 산학 협력관계 형성이 상대적으로 취약하다. 뿐만 아니라 노동시장이 미국과 독일에 비해 경직적인 탓에 기술집약적 산업 성장에 필요한 기술(AI 등) 도입이 상대적으로 더디다.<sup>50)</sup>

## 2. 해외 주요국의 전력산업 동향

미국은 7개 지역송전사업자들이 지역을 분할하여 전력을 공급하고 있다. 발전시설은 주(州) 또는 지역별로 운영하고 있으며, 주(州) 간 전력거래는 제한적으로 발생하고 있다. 독일의 경우 4대 전력회사가<sup>51)</sup> 발전부터 소매까지 수직 통합된 사업을 운영하고 있으며(전국

50) 김규관 외(2017), pp.161~164의 내용을 참조하여 정리

51) Eon, RWE, Vattenfall, EnBW(이상 4개)

발전량의 90% 점유), 900여개의 소규모 기업들이 배전 및 소매를 담당한다. 일본은 10개의 일반전기사업자가<sup>52)</sup> 시장 지배적 위치를 차지하고 있고 지역별로 분할하여 전력을 공급하고 있다. 일본 전력소매시장은 2016년에 전면 자유화되었다.<sup>53)</sup>

〈표 3-5〉 주요국 전력산업 구조 특징 요약

|    |                                                                                   |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 미국 | <ul style="list-style-type: none"> <li>7개 지역송전사업자에 의한 지역분할</li> </ul>             |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>발전은 주/지역별 운영, 주(州) 간 거래는 제한적</li> </ul>    |
| 독일 | <ul style="list-style-type: none"> <li>4대 전력회사가 발전~소매 수직통합(전국 발전량 90%)</li> </ul> |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>900여개 소규모 기업이 배전, 소매 담당</li> </ul>         |
| 일본 | <ul style="list-style-type: none"> <li>10개 일반전기사업자가 지역별 분할, 지배적 위치</li> </ul>     |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>전력소매시장 전면 자유화(2016년)</li> </ul>            |

자료: 장윤종(2017a), p.13 각주 표 재인용

전력산업의 개방 및 민간참여 확대는 주요 선진국의 전력산업에서 쉽게 볼 수 있다. 본 절에서 간략하게나마 주요국의 전력산업 자유화에 대해서 살펴본 이유는 다음과 같다.

4차 산업혁명만 앞서 보았듯이 인공지능, 빅데이터, 사물인터넷 등의 기술로써 기술개발 및 활용의 주체는 대부분 민간영역에서 시작되고 발전되는 형국을 띄고 있다. 산업의 형태에 따라서 민간과 정부의

52) Hokuriku Electric, Chugoku Electric, Kyushu Electric, Shikoku Electric, Kansai Electric, Chubu Electric, Tokyo Electric, Tohoku Electric, Hokkaido Electric, Okinawa Electric(이상 10개)

53) 장윤종(2017a), p.13 각주 표를 중심으로 필자가 관련 현황을 업데이트하여 정리

역할이 구분되기도 하고 필수재화를 생산, 유통하는 산업에 대해서는 여전히 공공의 역할이 강조되기도 한다. 그러나 일반적으로는 민간의 자유로운 사업 참여와 사업자 간의 경쟁은 산업 전체의 창의성과 생산성을 증가시키는 중요한 요소이다. 4차 산업혁명의 기술과 활용주체가 민간영역에서 시작되고 발전되고 있다면 전력산업에 4차 산업혁명의 효과 극대화를 위해서는 민간의 활발한 참여가 필수적일 수밖에 없다.<sup>54)</sup> 주요국의 전력산업은 이미 민간에 대부분 개방되었기 때문에 4차 산업혁명 기술이 발전됨에 따라 그 적용이 매우 수월하며 실제 전력사업에서 파생시킬 수 있는 사업모델도 규제화되고 공공부문의 주도하에 운영되는 전력시스템안의 사업자에 비해서 보다 다양하고 창의적으로 개발될 가능성이 크다. 아직 정부의 규제 내에서 국내 전력산업이 운영되고 있지만 장기적으로는 전력시장의 민간참여수준을 높이는 방향으로 시장을 개선하는 것이 4차 산업혁명 시대를 준비하는 데 필수적인 부분이라고 할 수 있을 것이다.

주요국(미국, 독일, 일본) 전력회사의 4차 산업혁명 대응 전략은 크게 2가지 방향으로 추진되고 있다. 하나는 빅데이터와 인공지능, 무선 통신 등을 활용한 ‘설비의 디지털화’이며, 다른 하나는 데이터 분석을 통한 ‘전력설비 운영의 효율화 및 최적화’다.<sup>55)</sup> 해외 주요국 전력 사업자들의 구체적인 사업방향은 아래 <표 3-6>에 요약되어 있다. 이하에서는 미국, 독일, 일본의 대표적 전력 사업자들의 4차 산업혁명 대응 전략을 구체적으로 살펴보고자 한다.

54) 서론에서 언급한 인공지능과 인간의 바둑대결도 구글이라는 민간기업에서 개발한 인공지능을 사용한 것이다.

55) 허준혁(2017), 4차 산업혁명 선도국(미국, 독일, 일본)의 주요 전력회사들의 연간 보고서를 바탕으로 필자가 공통점을 도출하여 작성

〈표 3-6〉 해외 주요국 전력 사업자들의 4차 산업혁명 대응전략

| 개념      | 사업방향                                                                                    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 연결과 통합  | <ul style="list-style-type: none"> <li>전력설비에 양방향 커뮤니케이션 시스템 도입(무선통신, 빅데이터기술)</li> </ul> |
|         | <ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 생산 및 소비 관련 데이터 축적/분석</li> </ul>              |
| 효율과 지능화 | <ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 효율 극대화 및 화석연료 의존도 축소(AI, 자동화)</li> </ul>     |
| 설비 최적화  | <ul style="list-style-type: none"> <li>분산자원 확산에 적합한 송배전망 설계 및 재정비</li> </ul>            |
|         | <ul style="list-style-type: none"> <li>송배전망과 IT 기술의 결합을 통한 설비 자동화</li> </ul>            |

자료: 허준혁(2017), p.11 표 재인용

## 가. 미국

### 1) Exelon

미국 중부의 전력회사인 ‘Exelon 社’는 앞서 언급한 GE의 ‘Predix 플랫폼’을 활용하여 원자력, 가스, 신재생 전원의 통합 및 설비운영 효율성 제고를 도모하고 있다.<sup>56)</sup> Predix는 산업 기기에 부착된 센서를 통해 수집된 데이터를 자체 클라우드 서버에서 공유하고 분석하여 고객 최적화 솔루션을 도출한다. Exelon은 Predix와 플랫폼 내 자체 애플리케이션을 활용하여 기존 발전시스템과 신재생 발전을 효과적으로 결합하고 발전설비 운영의 효율성을 높이하고자 한다.<sup>57)</sup>

<sup>56)</sup> 허준혁(2017), p.11 참조

<sup>57)</sup> 허준혁(2017), p.11 참조

## 2) Con Edison

미국 뉴욕주(州)의 전력회사인 ‘Con Edison 社’는 ‘변전소의 자동화 및 IT화’를 추진하는 한편, ‘소비자와의 소통 확대’를 통해 보다 효율적이고 첨단화 된 사업구조를 만들어가고 있다.<sup>58)</sup>

지난 2012년, 폭풍피해를 입은 동부지역 변전소 시설을 복구하는 과정에서 복합 변전설비(차단기, 변압기, 한류기, 개폐기) 구축을 통해 공간 활용의 효율성을 도모하고, 광섬유 기반의 데이터 통신 및 자동화 소프트웨어의 도입을 통해 수집 데이터의 안정성과 신뢰성 및 사이버 보안을 강화한 것이 Con Edison 식 사업구조 첨단화의 대표적인 사례다.<sup>59)</sup>

## 3) 평가

지난 2016년 SAS에서 진행한 ‘미국 전력산업 부문의 4차 산업혁명 진행현황에 대한 설문조사’에 따르면, 미국 전력사업자(유틸리티) 중 약 50%~70%가 IoT와 머신러닝 기술을 적용 중이거나 향후 3년 이내에 도입할 것이라 전망되었다.<sup>60)</sup> Exelon과 Con Edison의 사례는 산업 플랫폼과 IoT의 결합, 빅데이터의 수집 및 분석 효율성 제고라는 측면에서 설문조사의 전망에 부합하고 있으며, 향후 4차 산업혁명 신기술들은 미국 전력산업 전반에 걸쳐 빠르게 확산될 것으로 예상된다([그림 3-1] 참조).

---

58) 허준혁(2017), p.12 참조

59) 허준혁(2017), p.12의 내용을 중심으로 시사점 도출

60) SAS(2016, p.4); 허준혁(2017, p.11) 참조

[그림 3-1] 미국 전력산업에서의 4차 산업혁명 신기술 도입 평가  
(좌: 머신러닝 부문, 우: IoT 부문)



자료: SAS(2016, p.4); 허준혁(2017, p.11) 그림 참조

## 나. 독일

### 1) E.ON

독일의 대표적 에너지기업인 ‘E.ON 社’는 세계적인 에너지 전환 추세에 따라 신재생 발전, 에너지 네트워크 구축, 전력 판매 부문의 사업역량을 강화하고, 수익성이 악화되고 있는 전통적인 발전부문 사업은 축소하고 있다.<sup>61)62)</sup>

대표적 핵심 사업영역인 ‘에너지 네트워크 구축’ 부문에서는 E.ON 이 운영하고 있는 신재생에너지 발전자원의 약 1/3을 자사 에너지 네트워크인 ‘E.ON Grid’에<sup>63)</sup> 연결하여 에너지 네트워크의 활용성을 제

61) 화력발전부문은 자회사인 ‘Uniper 社’로 이전시켜 모회사(E.ON)의 재무구조를 개선하는 한편, 지분매각을 동시에 추진하여 장기적으로 화력발전사업의 완전 철수를 추진 중이다.

62) 허준혁(2017), pp.8~12 참조

63) E.ON Grid는 전력 분야의 신사업 영역으로 각광받고 있는 ‘분산발전 체계’의 확대를 위한 핵심 요소로 평가받고 있다.



고하였다. 이렇게 활용성이 높아진 E.ON Grid는 향후 독일 전력시장-난방시장-수송섹터의 연결에 중추적인 역할을 할 수 있을 것으로 평가받고 있으며, 최근에는 그리드 시스템에 스마트 플랫폼을 적용함으로써 전력발전에서 판매에 이르기까지 각 단계별로 수집된 데이터와 관련 설비 운용 간 효과적인 연동을 추진하고 있다.<sup>64)</sup>

또 다른 핵심사업 영역인 ‘고객 맞춤형 솔루션 제공’ 부문에서는 에너지 소비의 효율을 높이기 위한 디지털 서비스 제공 사업을 확대 중이다. 구체적으로는 고객들의 수요패턴에 맞추어 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 컨설팅 서비스, 분산 전원 및 에너지 저장장치(ESS) 설치 서비스, 그리고 전기자동차와 같은 지속가능 이동수단 활용을 제고할 수 있는 서비스 등을 제공하고 있다.<sup>65)</sup>

마지막으로 기업 구조 측면에서의 변화를 살펴보면, 자회사(SPC) 설립을 통해 모기업인 E.ON과의 재무연결을 회피함으로써 투자리스크를 통제하고 신산업 영역으로의 빠른 진출을 촉진하고 있다.<sup>66)</sup>

## 2) RWE

독일의 ‘RWE 社’는 신재생, 송전망, 전력판매 부문 사업의 본격적인 확대를 위해 자회사인 ‘Innogy’로 해당 사업부문을 분사시킨 후, 기업공개(IPO)를 실시하였다. 이후 자회사인 Innogy는 2017년 12월 기준으로 약 182억 유로의 시가총액을 기록하면서, 모회사인 RWE의 2017년 시가총액인 103억 유로를 크게 상회한 바 있다.<sup>67)</sup> 화력발전부

---

64) E.ON(2017), pp.22~24 내용 참조

65) E.ON(2017), pp.22~24 내용을 필자가 발췌하여 정리

66) 허준혁(2017, pp.8~12); E.ON(2017, pp.22~24) 바탕으로 정리

67) RWE(2017, p.14); Innogy(2017, p.2) 참조

문은 모회사인 RWE가 소유하고 점진적인 지분매각을 통해 전통 화력발전사업 부문에서의 완전 철수를 계획하고 있는데, 이는 E.ON의 화력부문 사업구조 개편 방향과 유사하다.

RWE는 자사 분산 발전자원들을 그리드 망에 연결시키기 위한 프로젝트를 추진하고 있으며, 2017년에 시작된 ‘Designetz 프로젝트(독-프 합작)’는 지능형 에너지 네트워크(그리드) 구축 노력의 대표적 사례다.<sup>68)</sup>

한편 RWE는 4차 산업혁명 패러다임에 발맞추어 R&D를 효과적으로 추진하기 위해 세계 각지에 ‘Innovation Hub’를 조성하여 운영하고 있다. 현재 베를린, 런던, 텔아비브, 실리콘벨리에서 ‘데이터 중심의 디지털 사업 모델’을 개발하고 있으며, 각 지역별로 차별화된 연구를 진행 중이다(<표 3-7> 참조).<sup>69)</sup>

〈표 3-7〉 RWE(Innogy) Innovation Hub 운영 요약

| 허브    | 중점 혁신분야            | 연구내용                           |
|-------|--------------------|--------------------------------|
| 베를린   | Machine Economy    | 블록체인 및 암호화 관련 기술 연구            |
| 런던    | Smart & Connected  | AI, 건물 건축/유지관리 디지털화 기술 연구      |
| 텔아비브  | Cyber Venture      | 사이버 보안 관련 기술 연구                |
| 실리콘벨리 | Disruptive Digital | 에너지 시장 민주화, 에너지 가치사슬의 개방 관련 연구 |

자료: Innogy(2017), pp.26~28 내용을 바탕으로 필자가 정리

68) RWE(2017, pp.22~23)에 따르면, Designetz 프로젝트는 독일과 프랑스를 넘어 동유럽까지의 그리드 망 확장을 목표로 하고 있다.

69) Innogy(2017), pp.26~28 내용을 바탕으로 필자가 발췌하여 정리

### 3) 평가

이상의 사례들로부터 독일 대형 전력회사들의 4차 산업혁명 패러다임 대응 전략을 도출하면, 크게 두 가지 방향으로 요약해볼 수 있다. 하나는 ‘신재생, 네트워크(그리드), 전력판매 부문에 대한 사업역량의 집중’이며, 다른 하나는 ‘수익성이 악화되고 있는 전통발전부문 사업 규모의 축소’다. 이러한 전략을 통해 장기적으로 ‘글로벌 분산전원 시장 선점’ 및 ‘P2P 전력거래 활성화’를 현실화시켜 독일이 4차 산업혁명 시대 전력시장 트렌드를 선도하는 데 일조할 것으로 보인다.

### 다. 일본

#### 1) TEPCO(도쿄전력)

일본 최대 전력회사인 ‘TEPCO 社’는 ‘송배전망 정교화’를 통한 소비자 편의 확대, ‘신사업 영역 확장’ 전략으로 4차 산업혁명에 따른 사업 환경 변화에 대응하고 있다.<sup>70)</sup>

2017년 7월 기준으로 TEPCO 관할지역에서 설치 및 관리 중인 스마트미터기는 총 1,200만개로 추산되었다. TEPCO는 이러한 스마트미터 시스템을 지속적으로 확대해 나갈 예정이며, 송배전망 관련 투자 확대와 더불어 신재생에너지 발전설비와의 효과적인 연결 방안 마련을 고민 중에 있다.<sup>71)</sup>

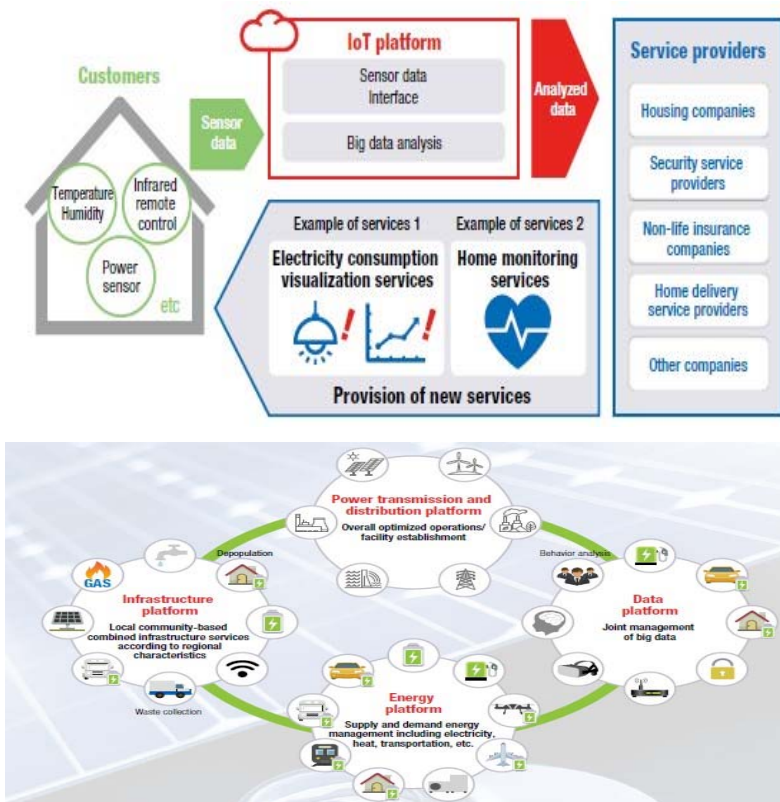
아울러 ‘IoT와 빅데이터의 결합’, ‘통합 산업플랫폼 구축’ 등 4차 산업혁명시대 신사업영역을 발굴 중이다. 예를 들어 ‘TEPCO Green

70) TEPCO Integrated Report(2017), pp.54~63 내용을 바탕으로 필자가 시사점 도출

71) TEPCO Integrated Report(2017), pp.54~63 내용을 바탕으로 필자가 정리

Power Grid’는 IoT 기술과 빅데이터 분석 기술의 결합을 통해 개별 소비자에게 대한 전력소비량 관리 서비스를 제공하는 사업 영역이며, ‘Green & Innovation’ 프로젝트는 TEPCO의 송배전 플랫폼, 데이터 플랫폼, 에너지 플랫폼, 지역사회 전력 인프라 플랫폼을 연동하는 신 사업 영역으로 볼 수 있겠다.<sup>72)</sup> TEPCO의 4차 산업혁명 대응 전략을 그림으로 나타내면 아래와 같다([그림 3-2] 참조).

[그림 3-2] TEPCO의 4차 산업혁명 대응 전략



자료: TEPCO Integrated Report(2017), pp.54-63 참조

72) TEPCO(2017), pp.54-63 내용을 바탕으로 필자가 시사점 도출

## 2) KEPCO(간사이전력)

일본 2위 전력회사인 ‘KEPCO 社’의 4차 산업혁명 대응 전략은 TEPCO의 전략과 큰 틀은 비슷하나, 데이터 분석 및 블록체인 전력거래 도입 부문에 특화하고 있는 것으로 보인다.<sup>73)</sup>

발전망과 송전망을 통합하는 그리드 네트워크를 구축하고 자체적인 전력 컨트롤 시스템 개발 및 ESS 설비 보급 확대를 통해 신재생에너지 활용도를 제고하는 한편, 스마트미터 시스템 확대를 통해 에너지 소비의 시각화를 도모함으로써 4차 산업혁명 시대의 변화하는 전력산업 내에서 소비자 효용을 증진시키는 점은 TEPCO의 전략방향과 유사하다.<sup>74)</sup>

반면 간사이 지방 8개 지역(교토, 고베, 오사카 등)의 전력을 통합적으로 관리할 수 있는 ‘고도화된 빅데이터 분석시스템’을 구축한 점, 호주 블록체인 거래 시스템 개발회사인 ‘Power Ledger 社’와 파트너십을 체결하고 P2P 신재생에너지 전력 거래 플랫폼을 시범운영하기로 한 점은<sup>75)</sup> KEPCO의 차별화된 전략으로 볼 수 있을 것이다. 이에 따라 관할지역 전체 전력소비 데이터를 하나의 데이터센터에서 수집하고 분석하는 시스템을 확립함으로써 지역 내 수요패턴을 실시간으로 분석 가능하다.<sup>76)</sup> KEPCO의 스마트 그리드 네트워크 구조 및 빅데이터 분석망은 아래 [그림 3-3]에 잘 나타나 있다.

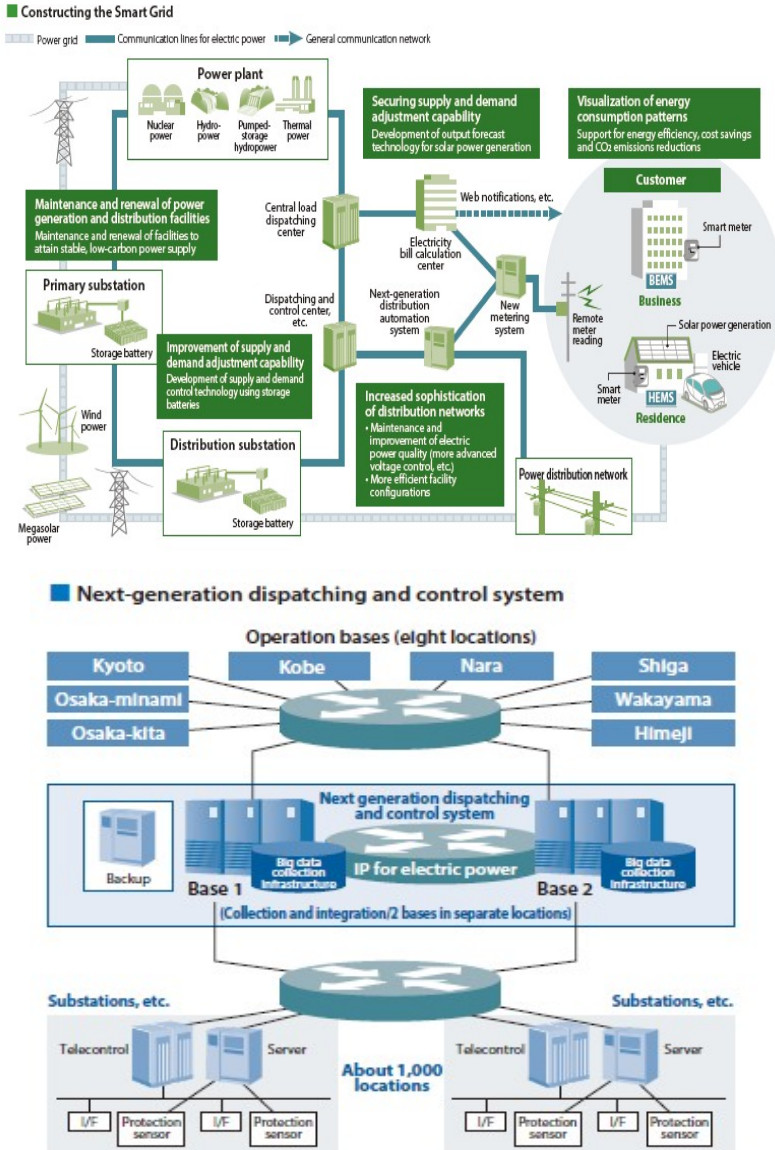
73) KEPCO Group Report(2017), pp.41~53의 내용을 바탕으로 필자가 시사점 도출

74) KEPCO Group Report(2017), pp.41~53의 내용을 바탕으로 필자가 특징 도출

75) Blockinpress, ‘블록체인 전력 거래 플랫폼 ‘파워렛저’, 일본 2위 전력회사와 파트너십 체결’(https://www.blockinpress.com/archives/4867, 접속일자 2018.4.24.)

76) KEPCO Group Report(2017), pp.41~53의 내용을 바탕으로 필자가 정리

[그림 3-3] KEPCO 스마트그리드 네트워크 및 빅데이터 분석망



자료: KEPCO Group Report(2017), pp.41~53 참조

### 3) 평가

일본 대형 전력회사들의 4차 산업혁명 대응전략은 ‘전력발전설비와 전력관리 시스템의 효과적인 연동체계 구축’에 초점을 맞추고 있다. 즉, 신재생발전설비와의 그리드 네트워크 연결 고도화 및 재난 발생 시 전력공급의 장애에 대한 신속한 대응은 2011년 동일본대지진 이후 일본 대형 전력회사 전반에 걸쳐 형성된 공통된 전략방침이며,<sup>77)</sup> 전력관리 시스템의 디지털화 및 첨단화는 그러한 방침에 부합하여 나타난 현상으로 볼 수 있을 것이다.

---

77) 일례로 TEPCO 및 KEPCO의 2017년 연차보고서에서 동일본대지진에 대한 대응 섹션이 공통적으로 포함된 것은 일본 대형 전력회사들이 대규모 재난에 대비하여 자국 전력관리 시스템을 정비하고 발전시킬 필요성을 깊이 인지하고 있음을 방증한다.





## 제4장 미래 전력산업의 변화 전망

4차 산업혁명은 에너지산업 특히 전력산업의 미래 모습에도 많은 변화를 가져올 것으로 예견된다. 앞서 4차 산업혁명의 주요기술들이 지속적으로 발전할 경우 전력산업의 변화에 대해서 언급하였지만 이는 상당부분 희망적인 가정을 기반으로 한 미래의 전력산업 모습이며 현재 4차 산업혁명의 주요 기술이 현실에 반영되는 수준을 감안할 때는 보다 신중한 접근이 필요할 것이다.

본 장에서는 보다 현실적으로 4차 산업혁명이 국내 전력산업에 미치는 영향에 대해 살펴보기로 한다. 우선 4차 산업혁명의 주요기술이 확산됨에 따라 전력수요의 변화가 나타날 것이다. 4차 산업혁명으로 인해 미래 전력수요가 증가할지 혹은 감소할지 단정적으로 말하기는 어렵다. 하지만 전력수요의 변화가 두드러지게 나타날 것은 자명하다.

전력생산의 측면에서 본다면 전력공급자 중심의 중앙집중형 전력공급시스템이 수요자 중심의 지능형·분권형 전력공급시스템으로 재편되어 갈 것이다. 친환경, 재생에너지 기반의 분산전원이 점차 확산됨에 따라 기존 전력공급시스템의 개편은 더욱 가속화될 것이며 전력프로슈머 간의 거래 역시 더욱 활발하게 될 것이다. 따라서 블록체인 기술을 활용한 전력거래방식의 변화가 전력시장에 미치는 영향도 지대할 것이다. 이러한 전력시스템의 변화에 따라 전력시장 및 전력산업에 대한 규제와 정책도 새로운 전력시장의 흐름에 맞게 개편되어야 할 것이다. 무엇보다 4차 산업혁명의 혁신적 기술로 인해 전력산업에서의 안전성, 효율, 보안, 표준화 등에도 지속적으로 영향을 미치게 될 것이

다. 따라서 본 장에서는 4차 산업혁명이 가져올 미래 전력산업의 변화를 전력수요, 전력생산, 전력거래, 규제 및 전력정책 측면에서 살펴보고자 한다. 아울러 신기술의 파급효과 등에 대해서도 간략하게 서술한다.

## 1. 전력수요의 변화

4차 산업혁명이 전력수요에 미치는 영향에 대한 최근 연구결과에서 일치된 방향성을 발견하기 힘들다. 미래 전망에 대한 정량적 분석이 쉽지 않다는 점을 감안하더라도 상이한 결과를 접하는 것은 드문 경우에 해당한다. 강성진 외(2017)에 따르면 4차 산업혁명으로 미래 전력수요는 증가한다고 전망하고 있음에 반해 딜로이트(2018)는 미래 전력수요가 감소한다는 서로 다른 결론을 내놓았다.<sup>78)</sup> 강성진 외(2017)는 4차 산업혁명을 통해 기술혁신이 이루어지고 신산업이 창출되면서 산업 전반에 걸친 효율성 향상이 기대되지만, 향상된 효율로 인해 에너지 사용이 오히려 증가할 가능성도 있음을 언급하였다.<sup>79)</sup> 동 보고서에서 전력수요가 증가한다고 주장하는 근거는 4차 산업혁명으로 인한 ‘제조업의 서비스화’와 블록체인, 빅데이터, 인공지능과 같은 ‘데이터 집약 산업의 약진’으로 전력 소비가 증가한다는 것이다. 또한 핸드폰, 사물인터넷, 데이터 센터 등 디지털 경제에서 발생하는 에너지 소비량이 예상보다 클 것으로 보았다.<sup>80)</sup> 그리고 에너지 산업

---

78) 강성진 외(2017); 딜로이트(2018) 참조

79) 강성진 외, 전계서, p.109

80) 4차 산업혁명의 주변 기기는 항상 전원에 연결되어 있어 전력을 소비하고 있으며, 일부 기기의 전력소비는 생각보다 높다. 예를 들면 미국 환경청(EPA)에서 분류한 에너지절약형 중규모 냉장고의 연간 전력소비량은 322kWh인데 반해 아

과 신기술의 결합으로 에너지 소비의 효율성이 개선되지만 이로 인해 에너지 소비가 더 증가하게 되는 리바운드 효과(rebound effect)로 전력소비가 증가한다는 것이다.<sup>81)</sup>

딜로이트는 절대수요 관점과 상대수요 관점에서 4차 산업혁명이 중장기적 전력수요에 미치는 영향을 도출하였다.<sup>82)</sup> 가정용, 상업용, 산업용, 운송용으로 구분한 절대수요는 감소한다고 전망하였다. 스마트홈의 증가와 사물인터넷 및 휴머노이드 로봇의 증가로 가정용 전력수요는 증가하고, 전기자동차와 드론의 증가로 운송용 전력수요도 늘어나게 된다. 하지만 스마트 빌딩과 스마트 공장의 확대로 상업용과 산업용 전력수요는 감소하게 되어 이를 합한 절대수요는 감소한다는 것이다. 에너지저장장치(ESS)와 스마트 그리드의 보급 확대에 의해 상대수요 관점에서 전력수요는 감소하게 되어 종합적으로 전력수요는 감소한다는 전망을 내놓았다.<sup>83)</sup>

---

이폰의 연간 전력소비량은 361kWh에 달한다(강성진 외(2017), p.47).

81) 강성진 외(2017), p.47 및 p.109의 내용을 근거로 참조 필자가 특징 도출

82) 딜로이트는 4차 산업혁명의 주요 기술이 전력수요에 직접적으로 영향을 주는 절대적 관점과 상대적 요인에 작용하여 전력수요에 영향을 미치는 상대적 관점으로 구분하여 결과를 제시하였다. ESS의 도입 및 상용화로 신재생에너지의 활용도가 높아지는 것과 스마트 그리드의 도입으로 지능형 송배전, AMI가 보급되어 전력수요에 간접적으로 영향을 준다는 것이다.

83) 딜로이트(2017), pp.3~5의 내용을 바탕으로 작성

〈표 4-1〉 해외 주요국의 전력소비량 추이

(단위: TWh)

| 국가명  | 1990년   | 2000년   | 2010년   | 2015년   |
|------|---------|---------|---------|---------|
| 미 국  | 2,633.6 | 3,499.5 | 3,788.3 | 3,780.8 |
| 일 본  | 771.1   | 968.8   | 1,021.6 | 949.2   |
| 독 일  | 455.1   | 483.5   | 532.4   | 514.7   |
| 캐나다  | 418.0   | 481.5   | 493.0   | 503.1   |
| 대한민국 | 94.4    | 239.5   | 434.2   | 483.7   |
| 프랑스  | 302.2   | 384.9   | 444.1   | 424.9   |
| 영 국  | 274.4   | 329.4   | 329.0   | 302.9   |
| 이탈리아 | 214.6   | 273.0   | 299.3   | 287.5   |
| 멕시코  | 100.2   | 145.4   | 215.7   | 257.5   |
| 스페인  | 125.8   | 188.5   | 244.8   | 232.0   |
| 터 키  | 45.0    | 95.9    | 170.0   | 214.8   |
| 호 주  | 129.2   | 172.8   | 210.0   | 211.3   |

자료: IEA(2017b), 산업통상자원부(2017) 재인용

세계에너지기구(IEA)의 통계에 따르면<sup>84)</sup> 전력소비량이 2010년 이후 줄어드는 국가들이 나타나고 있다. <표 4-1>에서 알 수 있듯이 미국, 일본, 독일, 프랑스, 영국, 이탈리아, 스페인 등 OECD 주요국에서 이러한 추세를 발견할 수 있다. 4차 산업혁명의 기술이 해당국의 전력 수요에 어느 정도 영향을 미쳤는지를 판단하기는 어렵다. 하지만 4차 산업혁명에 대한 국가 차원의 지원과 투자가 활발한 미국, 일본, 독일 뿐만 아니라 4차 산업혁명에 대한 관심이 높지 않은 일부 유럽 국가들에서도 전력소비의 성장세가 한풀 꺾였음을 알 수 있다. 이러한 전력소비의 감소 추세는 전반적인 경기의 위축과 기후변화 대응을 위한 에너지절약 확대 등이 가장 크게 작용한 결과라고 짐작할 수 있다.<sup>85)</sup>

84) IEA(2017b)에서 제시된 국가별 전력소비량 데이터를 필자가 종합하여 분석

우리나라는 한국전력이 발표하는 한국전력통계를 기준으로 살펴볼 때 전력소비가 지속적으로 성장하고 있음을 알 수 있다. 그러나 지난 5년간(2012년 ~ 2016년) 연평균 전력소비 증가율은 1.8%로 2007년 ~ 2011년 사이의 증가율 5.5%에 비하면 1/3 수준으로 하락하였다.<sup>86)</sup> 해외 주요국의 전력소비 추이처럼 최고점을 찍고 하락하는 추세는 아니지만 전력소비의 성장세가 많이 둔화되었다. 4차 산업혁명 기술에 대한 연구개발과 투자가 해외 주요국에 비해 아직 초기 단계임을 감안할 때 이러한 국내 전력소비 추세는 4차 산업혁명의 영향과는 독립적이라고 판단할 수 있다.

한편 이러한 전력소비의 증가세 둔화와 경기의 위축을 반영하여 최근 정부가 수립한 전력수급기본계획에서도 15년 후의 전력수요가 직전 계획에 비해 줄어들 것으로 전망하고 있다. 2017년에 수립·공포된 제8차 전력수급기본계획에 따르면 계획기간의 종료시점인 2031년에 목표수요가 101.1 GW, 전력소비량은 580.4 TWh가 될 것으로 전망했다. 전력소비량의 연평균 증가율은 1.0% 수준으로 예상했다. 7차 전력수급계획과 비교를 위해 2030년 전망치를 살펴보면 113.2 GW(7차 계획) 대비 100.5 GW(8차 계획)로 약 11% 가량 줄어든다는 것이다.<sup>87)</sup>

---

85) 전력소비의 감소 추세에 대한 인과관계를 제대로 파악하기 위해서는 정량적인 추가분석이 필요하다.

86) 산업통상자원부(2017b), p.2 참조

87) 산업통상자원부(2017a), p.74 참조

[그림 4-1] 최근 전력수급기본계획의 목표수요 비교



자료 : 산업통상자원부(2017b), p.6 그림 재인용

이제까지 수립된 전력수급기본계획들은 목표수요의 증가에 대비해 어떤 전원의 발전소를 언제 설치할 것인가에 주안을 두고 세워졌다. 건설공기가 가장 긴 원자력발전소가 언제 완공되어 전력계통에 들어 오는지가 가장 중요한 관심사였다. 하지만 신규 원전 건설의 포기를 전제로 세워진 이번 8차 계획은 기존 계획과는 달리 오히려 줄어든 전력수요에 맞춰 향후 전원믹스의 변화와 발전소 건설, 전력계통 보강 등을 조정하는 작업이 중요하게 되었다.

또한 4차 산업혁명의 혁신적인 신기술이 전력산업 특히 전력수요에 미치는 영향을 계획 내에서 어느 정도 수용할지가 주요한 이슈였다. 하지만 전기자동차의 보급량 확대에 기인한 전력수요의 증가를 일부 감안한 점을 제외하면 8차 계획 수립 시 4차 산업혁명의 미래 전력수요에 대한 영향을 제대로 반영하지 못한 것으로 보인다.<sup>88)</sup> 그러나 매

88) 4차 산업혁명이 전력수요에 미치는 영향에 관한 딜로이트(2018) 보고서의 결과를 8차 수급계획에 반영하기에는 미래 전망의 불확실성이 워낙 커서 계획 입안

2년 마다 새롭게 조정되는 전력수급계획의 특성상 차기 계획에서는 4차 산업혁명의 전력수요에 미치는 영향에 대한 좀 더 정량화된 수치를 반영한 계획이 수립되어야 할 것이다. 이를 위해 4차 산업혁명의 다양한 기술이 전력수요에 미치는 영향에 관한 종합적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

2018년 말에 수립 예정인 제3차 에너지기본계획(이하 에기본)은 2040년까지의 장기 에너지수급 전망을 담고 있다. 3차 에기본은 현재 정책당국과 국내 전문가 그룹을 중심으로 마련 중이다.<sup>89)90)</sup> 동 계획은 5년마다 수립되는 에너지 분야의 최상위 국가 계획으로서 계획수립 주기와 계획기간을 고려할 때 4차 산업혁명의 파급효과와 전력수요의 장기전망이 앞서 설명한 8차 전력수급계획 보다는 구체적으로 반영되는 것이 필요하다.

3차 에기본의 전력수요는 전망기간인 2017년~2040년 사이 연평균 1.5%씩 증가하여 2040년에 715 TWh가 된다는 것이다.<sup>91)</sup> 즉 3차 에기본에서의 장기 전력수요는 완만한 증가 추세를 지속한다고 전망하고 있다. 이는 2000년~2017년 사이의 연평균 증가율 4.5%에 비하면 1/3 수준으로 하락한 것이다.<sup>92)</sup> 부문별 전력수요의 전망을 살펴보면,

---

자가 수용하기 곤란하였을 것으로 짐작된다.

89) 민간전문가 그룹이 작성한 “3차 에기본 워킹그룹 권고안(2018.11.)”을 바탕으로 정부의 최종안이 마련 중이며 2019년 초에 발표될 예정이다.

90) 제3차 에너지기본계획 워킹그룹(2018.11), pp.53~58 참조

91) 3차 에기본 수요분과 내부 회의자료를 참조하였으며, 동 자료는 에너지경제연구원에서 작성하였다. 아래에서 분석한 내용은 이 내부 자료를 활용한 것이며, 최종반영 수치는 기본계획이 확정된 이후에 확인 가능하다. 이에 따라 전력수요의 장기전망 추세를 개략적으로 가늠하는 수준에서 동 자료를 활용하였다.

92) 3차 에기본 수요분과의 내부 회의자료에 의하면 전력수요의 연도별 전망치는 47.2 백만toe(2020년), 55.8 백만toe(2030년), 61.5 백만toe(2040년)이다. 그리고 2000년 전력소비는 20.6 백만toe, 2017년 전력소비는 43.7 백만toe이었다.

전기자동차의 보급이 확대되면서 수송 부문의 전력수요가 연평균 7.1%로 빠르게 증가한다. 상업용은 연평균 1.5%로 증가하는 반면 가정용은 연평균 증가율이 1.0%에 그칠 전망이다. 여전히 산업용이 전체 전력수요 증가의 55%를 차지하며 전력수요의 증가를 주도하는 것으로 전망하고 있다.<sup>93)</sup>

3차 에기본의 전력수요 전망치는 2031년 기준 656 TWh로 8차 전력수급기본계획의 기준수요인 675 TWh 대비 2.9% 감소한 수준이다. 한편 3차 에기본의 2035년 전력수요 전망치는 684 TWh로 이는 2차 에기본의 2035년 기준 전력수요 전망치 816 TWh와 비교하면 16% 가량 감소한 것이다.<sup>94)</sup> 결국 2차 에기본에 비해서는 전력수요가 장기적으로 많이 줄어들지만 독일이나 일본 등 해외 주요국처럼 성장의 최고점을 찍고 이후 전력수요가 감소하는 형태를 보이지는 않을 전망이다. 앞으로 전력수요는 2040년까지 완만한 성장추세를 보일 것이라고 전망하고 있다.

2017년 말에 수립한 8차 전력수급기본계획과 현재 수립 중인 3차 에기본에서 국내 전력수요에 대한 장기전망 결과를 찾아 볼 수 있다. 두 계획 모두 직전 계획 보다는 전력수요의 증가 추세가 많이 낮아지는 것으로 전망하고 있다. 하지만 앞으로도 완만한 성장 추세가 지속될 것으로 전망하고 있다. 또한 두 계획이 거의 비슷한 시기에 차례로

---

93) 이상의 부문별 전망 결과를 살펴보면 3차 에기본에서도 4차 산업혁명의 전력수요에 대한 영향이 구체적으로 반영되지는 못한 것으로 보인다.

94) 2차 에기본과 3차 에기본에서 전망치의 차이는 다음과 같은 주요 전제의 차이에서 기인한다. 첫째, 2차 에기본 대비 인구는 증가하지만 가구수는 감소한다. 둘째, 2017년~2035년 사이의 경제성장률은 연평균 2.2%로 2차 에기본의 연평균 2.7% 보다 하락하였다. 셋째, 2017년~2035년 사이의 업종별 부가가치 증가율이 전반적으로 하락하지만 석유화학 및 비금속 부문은 증가한다. 넷째, 2035년 국제 유가는 2차 에기본의 배럴당 140 달러에서 3차 에기본은 112 달러로 하락한다(3차 에기본 수요분과 내부 회의자료 참조).



수립되어 4차 산업혁명의 전력수요에 미치는 영향에 대해 구체적인 분석을 할 여지가 없었다는 이유로 이 부분이 제대로 반영되지 못하였다. 향후 4차 산업혁명과 장기 전력수요 전망에 대한 정량적인 후속 연구를 통해 차후에 수립될 계획에서는 보완될 필요가 있다.

## 2. 전력의 생산과 수요관리

기후변화 대응을 위한 국제적 협약에 따라 화석연료의 사용에 대한 제약이 점차 강화되고 있으며, 특히 발전부문에서 석탄발전의 입지가 점점 좁아지고 있는 실정이다. 더욱이 최근 에너지전환 정책이 국정과제로 추진됨에 따라 탈석탄, 탈원전, 재생에너지 확대 보급이라는 발전원의 변화가 국내 전력산업에서도 급격한 변화를 초래하고 있다. 2030년까지 재생에너지 발전량이 전체 발전량의 20%를 차지하도록 보급을 확대한다는 도전적인 정책목표가 제시됨에 따라<sup>95)</sup> 한전과 발전회사 뿐만 아니라 민간에서도 태양광, 풍력 등 재생에너지 발전사업에 총력을 기울이고 있다. 그러나 태양광으로 대표되는 재생에너지 발전이 전국적으로 확대되면서 기존 전통전원과 유사하게 발전설비 주변지역의 주민들과 갈등이 발생하는 곳이 나타나고 있다. 저수지에 수상 태양광 사업을 시행하기 위한 인허가 관련 주민과의 갈등으로 논란이 확대되는 지역도 있으며 풍력사업도 지역주민과의 갈등으로 곳곳에서 불협화음이 터져 나오고 있다. 주민 수용성 이외에도 재생에너지 사업이 제대로 추진되기 위해서는 전력망과의 계통연계가 적기에 이루어져야 하는데 이 부분이 또 다른 장애요인으로 나타나고 있

---

95) 산업통상자원부(2017d), pp.2~3 참조

다. 따라서 재생에너지 보급목표 달성이 현실적으로 어려울 것이라는 지적이 제기되기도 한다.

하지만 친환경 전원으로 전환한다는 국가의 정책목표는 2018년 말에 수립될 제3차 국가에너지기본계획에서 더욱 공고하게 제시될 전망이다. “민관 WG”는 재생에너지 발전량 비중을 2040년 25%~40%로 권고했다.<sup>96)</sup> 이제까지 제시된 재생에너지 관련 보급목표 가운데 가장 높은 수치임에 틀림없다. 또 다시 보급목표의 실현가능성과 구체적인 이행전략의 적절성이 논란거리로 제기될 것이다.<sup>97)</sup>

그러나 에너지전환을 위한 정책목표는 분명한 방향성을 보이며 제시되어 있다. 이러한 에너지전환으로 미래 전력산업은 지금과는 다른 모습을 띌 수밖에 없다. 가장 먼저 예상할 수 있는 미래 전력산업의 모습은 재생에너지의 보급이 급격하게 확대됨에 따라 기존의 기저 발전원인 석탄과 원자력이 이제 더 이상 발전설비 구성에서 가장 중요한 발전원이 되지 못한다는 것이다.<sup>98)</sup> 운전수명이 다하여 폐지되는 발전소가 지속적으로 증가하게 되는데 재생에너지 발전의 급격한 증가로 도매전력시장의 수요가 늘어나지 않으면 신규 발전소를 건설하지 못하게 된다. 이는 기존의 전통전원 중심의 전력산업에서 재생에너지 발전 중심의 전력산업으로 발전산업이 재편되는 것을 의미하며 기존 발전설비에서 발생되던 수익과 고용창출에도 영향을 미치게 된다.

---

96) 에너지기본계획 수립을 위해 구성된 분과위원회에서 수립된 의견이 민간권고안의 형태로 제시될 것이며, 이 권고안은 2018년 9월말에 마련되었으나 당초 예정보다 다소 지연된 11월 초 국민에게 공개되었다.

97) 이러한 재생에너지 보급목표의 이행가능성과 적절성은 본 연구의 범위가 아니므로 더 이상의 언급은 적절하지 않다.

98) 전력시장에서 수익을 내지 못하는 발전소가 좌초자산으로 변하게 되면 발전회사는 경영압박을 받을 수 있을 것이며, 향후 전력판매량이 지속적으로 감소하게 되면 한전의 재무상태도 악화될 수 있다.

당장 폐지되는 기존 유연탄 화력발전소에 종사하는 유희 인력의 고용 문제가 발생하게 되며<sup>99)</sup> 원자력 설계를 담당하고 있는 한전전력기술(주)의 경우 국내 원자력 발전소 건설이 중단되고 해외수출 물량마저 사라지게 되면 전체 종업원의 고용 전환이 중요한 과제가 될 것이다. 둘째로 미래 전력산업의 모습은 중앙집중형 전력공급시스템이 분산형 전력공급시스템으로 변하게 될 것이다. 당분간은 대규모 발전소와 고전압 송전망을 기반으로 한 중앙집중형 전력시스템이 유지될 것으로 보이며 특히 ICT 기술을 적용한 스마트 그리드로의 변신으로 규모의 경제를 바탕으로 한 효율성이 지속될 여지가 있다. 하지만 재생에너지 발전원과 전력저장장치를 결합한 마이크로 그리드가 증가하게 되면 분산형 전력시스템의 강점이 더욱 늘어나게 될 것이다. 또한 재생에너지의 전력망 연계가 증가하면서 전력망의 신뢰도를 확보하기 위한 유연성 자원에 대한 투자가 확대되어야 할 것이다. 이는 앞에서 지적한 대로 양수발전, 가스발전, 수요반응(Demand Response) 등에 대한 자원 확보 방안과 연결되어 있다. 셋째로 소규모 태양광 발전이 가능한 프로슈머가 늘어남에 따라 소비자의 역할이 점차 변하게 된다. 전력사업자가 제공하는 전기를 소비하고 요금을 내는 수동적인 소비자에서 전기를 생산하고 이웃과 거래하거나 수요관리사업자를 통해 전력시장에 참여하는 적극적인 소비자가 늘어나고 있다. 넷째로 사물인터넷과 혁신적인 플랫폼을 바탕으로 전력산업에서 다양한 비즈니스 모델이 나타나고 있다. 예를 들면 AMI(Advanced Metering Infrastructure)를

99) 동서발전은 2021년에 울산기력(1,200MW, 중유)과 호남화력(500MW, 유연탄)을 합쳐 1,700MW 규모가 폐지될 예정이며, 현재 울산기력과 호남화력에 각각 186명과 198명이 종사하고 있어 현장 인력의 활용이 시급한 현안으로 제기되고 있다. 다른 발전회사의 경우에도 발전소 폐지에 따른 인력고용 문제가 나타날 것으로 예상된다(동서발전 연구공정회의 회의자료, 2018.3.21.)

활용하여 소비자의 전력소비 데이터를 수집하고 이를 바탕으로 소비자에게 소비패턴을 분석해 주거나 소비절약이 가능한 방안 혹은 적합한 요금제를 제안하는 사업자가 앞으로 나타날 것이다. 미국의 경우 가정에 있는 온도조절장치(thermostats)를 이용한 수요관리사업자가 시장에 진입하였다. 이들 기업은 종래의 단순한 에너지공급자의 전통적인 비즈니스 모형에서 탈피하여 소비자에게 다양한 서비스를 제공하고 새로운 경험을 제공하여 만족도를 제고할 수 있는 비즈니스 기회를 모색하고 있다.

4차 산업혁명은 앞서 제시한 전력산업의 미래 모습을 현실화하는데 있어 중요한 역할을 할 것이다. 재생에너지 발전의 급격한 증가가 미래 전력산업의 첫 번째 모습인데 이는 앞서 언급한 것처럼 인공지능과 빅데이터, 사물인터넷 등이 결합되어 함께 작용할 때 가까운 현실로 다가올 수 있을 것이다. 간헐성 전원의 확대는 필연적으로 전력계통의 불안정성을 가져오지만 양수발전, 가스발전, 수요반응 등을 통한 해결도 4차 산업혁명에 따른 인공지능과 빅데이터에 연결될 때 보다 높은 수준의 최적화를 이룰 수 있을 것이며 늘어난 재생에너지 발전과 가격하락에 따른 개인 간 전력거래, 수요관리 사업 등 에너지 신사업 역시 4차 산업혁명의 기술과 결합될 때 우리가 예상하는 것 이상의 효과를 얻을 수 있을 것이다.

이러한 우리의 예상과는 달리 기존의 중앙공급형 전력시스템이 경쟁력을 지속할 수도 있으며, 반대로 혁신적 기술을 바탕으로 더 큰 변화가 미래에 나타날 수도 있을 것이다. 다만 현 단계에서는 에너지 전환이라는 정책목표에 따라 미래 전력산업의 모습을 조심스럽게 전망할 수 있을 뿐이다. 독일, 미국 등 선진국의 사례에서 급격한 재생에

너지 확대에 따른 문제점과 대응방안을 간접적으로 경험할 수 있으며, 이를 반면교사로 삼을 수 있을 것이다.

### 3. 전력거래방식

최근 4차 산업혁명의 혁신적 기술 가운데 하나인 블록체인이 비트코인을 포함한 금융 분야를 비롯하여 경제사회 전반으로 확산되고 있으며 에너지 분야에서도 다양한 응용 사례가 나타나고 있다. 에너지 분야의 블록체인 기술에 대해서는 이찬혁 외(2017), 김미연 외(2017), 우청원(2018), 김두천(2018), EY Consulting(2018) 등 기존 문헌을 통해서 구체적인 정보를 얻을 수 있다.

블록체인은 P2P(Peer-to-Peer) 방식으로 형성된 체인 연결고리 구조의 ‘분산 데이터 저장 환경’에 ‘블록(block)’이라는 소규모 데이터 묶음을 저장하는 ‘분산 컴퓨팅 기술’이며, 제3자에 의한 임의 수정이 불가능하고 데이터가 변경될 경우 변경내역을 누구나 확인할 수 있어 데이터의 위변조를 미연에 방지할 수 있다.<sup>100)</sup> 즉, 블록체인은 디지털 데이터와 자산에 대하여 소규모 데이터 블록을 특정기관의 중앙 서버가 아닌 P2P 네트워크 기반 위에서 생성하고, 이를 체인 형태로 연결, 저장하여 관리하는 분산 데이터 저장 기술이다.

블록체인은 거래정보가 기록된 원장을 특정기관(중앙 서버)이 아닌 네트워크상의 모든 참여자가 공동으로 검증, 기록 및 관리하는 분산원장 기술이다. 따라서 중앙 집중의 거래 원장이 지니는 문제점을 해결하는 데 유리하다.<sup>101)</sup> 중앙 집중 거래원장이 지니는 문제점으로 내부

---

100) 위키피디아의 블록체인 개념 정의 참조

101) 우청원(2018), pp.8~9 참조

자 조작, 정보 유출, 최신 사이버 공격 취약, 막대한 서버 운영 비용, 제3자에 대한 수수료 지불, 비공개, 폐쇄적 시스템으로 확장성 및 수용성 부족, 365일 24시간 서비스 제공의 한계 등을 지적할 수 있다. 이에 비해 블록체인을 활용한 분산화된 거래원장의 경우 다수의 참여자 간 정보의 공동 소유로 해킹이 거의 불가능하다.<sup>102)</sup> 공인된 제3자의 공증이 불필요하여 수수료 절감이 가능하다. 또한 모든 참여자의 장부를 공개함으로써 투명성을 제고하여 거래 양성화에 기여하게 된다. 그리고 다수 참여자에 의한 거래 승인, 기록의 자동 실행으로 신속성을 확보할 수 있으며, 공개소스 기반 연결/확장이 용이하여 구축비를 절감할 수 있다.<sup>103)</sup>

블록체인은 단순 정보가 아닌 가치 전달 수단으로서 거래 보안성, 분산형 합의, 스마트 계약의 특성을 지니고 있다. 우선 보안성 차원에서 살펴보면 참여 노드 모두 거래기록의 사본을 보유하는 분산 DB 형태로 거래기록의 변조가 가능하지 않다는 점이 중요한 특징이다. 또한 블록에 저장된 데이터를 최신 버전으로 유지하여 이중 지불을 방지할 수 있다. 그리고 참여자의 논리와 행동을 코드화하여 자동으로 계약하는 스마트 계약방식이다. 이러한 블록체인 기술은 초기 암호화폐(비트코인)에서 출발하여 스마트 계약이 적용된 이더리움으로 발전하다가 사회전반에 새로운 비즈니스 모델 혁신을 가져오는 단계로 점차 진화하고 있다.

4차 산업혁명의 혁신기술 가운데 가장 주목받고 있는 블록체인 기술은 에너지 분야에서도 점차 도입되고 있다. 에너지 분야에서 블록체인 기술은 전력거래, 전기자동차 충전 및 결제, 에너지 공유, 탄소배출

---

102) 에경연 전문가자문회의 발표자료(2018.6.)

103) 블록체인의 기술특성에 대해서는 EY Consulting(2018)을 참조함.

권 거래, 신재생에너지 인센티브 등 다양하게 활용가능하다.<sup>104)</sup> 에너지 사용정보가 분산원장에 기록되면 누구든지 거래내역을 확인 가능하므로, 에너지 거래에 있어 투명성을 제고할 수 있을 것이다. 또한 소규모 전력거래 시스템에서는 블록체인을 활용한 탈중앙형 분산방식을 채택하는 것이 지금까지의 중앙집중형 방식에 의존하는 것보다 효율적일 것이다.<sup>105)</sup> 아울러 블록체인을 도입할 경우 스마트 계약을 통해 복잡한 거래 인증절차를 간소화할 수 있고, 에너지 중간거래자의 역할이 크게 축소되거나 대체되어 거래비용을 줄일 수 있다.<sup>106)</sup>

[그림 4-2]는 에너지 분야에서의 블록체인 기술 활용에 대한 예시이다. 아래 그림은 기본적으로 한전, 신재생에너지사업자, 가정 및 건물 등 전기소비자, 에너지코인거래자 등이 블록체인 기술을 이용하여 전력을 거래하고 에너지코인 형태로 결제하는 시스템을 개략적으로 보여주고 있다. 현재의 전력거래시스템과 확연하게 다른 점은 전력거래소가 전력거래의 중개자 역할을 담당하고 있지 않다는 것이다. 앞에서 지적한 대로 블록체인 기술의 특성상 거래를 관리하는 특정기관이 필요하지 않다는 것이다.

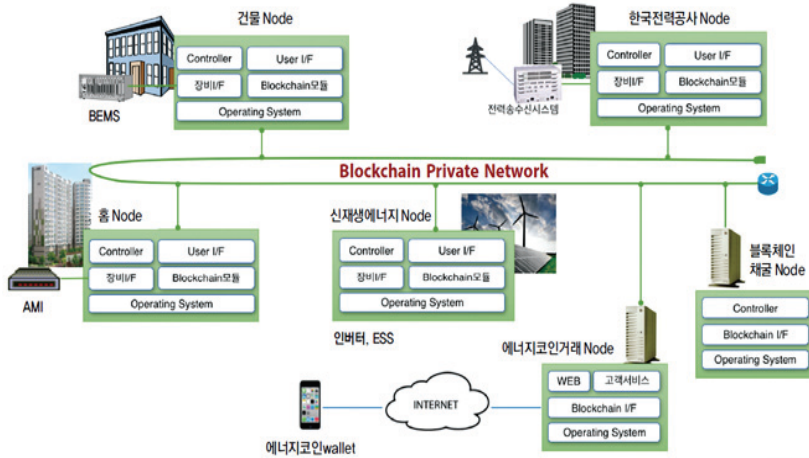
---

104) 서울 기후 에너지전환 회의 네비건트 컨설팅 발표자료(2018c), pp.3~10의 내용을 바탕으로 필자가 정리

105) 우청원(2018), pp.9~10의 내용 참조

106) 공영일 외(2017) p.20 인용, 우청원(2018) p.6에서 재인용

[그림 4-2] 에너지 분야에서의 블록체인 구성 사례



자료: 동아비즈니스리뷰(2017), 우청원(2018) 재인용

〈표 4-2〉 에너지 분야의 블록체인 유형 및 사례

| 유형            | 주요내용                                 | 사례                                                                          |
|---------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| P2P 전력거래      | 개인 간 전력거래의 비용을 줄이고, 투명한 전력거래 도모      | Brooklyn Microgrid Project(미국), Energo(중국), Power Ledger(호주), SolarCoin(미국) |
| 전기자동차 충전 및 결제 | 전기차 충전 및 결제 시 신뢰성 및 비용 절감 효과 기대      | Slock.it&RWE(독일), Energo(중국)                                                |
| 에너지 데이터 활용    | 블록체인에 에너지 데이터를 공유함으로써 새로운 비즈니스 모델 구축 | Grid Singularity (오스트리아)                                                    |
| 에너지 공유        | 에너지가 필요한 개도국에 신재생에너지 설비 공유           | Bankymoon(남아공), M-PAYG(덴마크)                                                 |
| 탄소자산 거래       | 탄소배출권거래제와 같은 탄소자산 거래 활성화             | IBM & Smart Blockchain Lab(중국)                                              |

자료: 우청원(2018), p.10



<표 4-2>에서 나타나있듯이 에너지 분야에 적용되고 있는 블록체인 유형으로 P2P 전력거래, 전기자동차 충전 및 결제, 에너지 데이터 활용, 에너지 공유, 탄소자산 거래 등을 들 수 있다.<sup>107)</sup> 하지만 이러한 블록체인 기술 활용사례들은 대부분 소규모 시범사업 차원에서 이루어지고 있다. 특히 개도국에 대한 에너지 지원사업의 형태인 에너지 공유는 상업화하기 어려운 단점이 있다. 전기자동차의 충전 및 결제 그리고 에너지 데이터 기반 비즈니스에 블록체인 기술을 적용하는 사업유형의 경우에도 시범사업으로 추진되고 있을 뿐 본격적인 사업화는 이루어지지 않고 있다. 개인 간 전력거래의 비용을 줄이고 투명한 전력거래를 도모하기 위해 P2P 전력거래에 블록체인 기술을 적용하려는 시도도 미국 브루클린 마이크로 그리드 프로젝트에서 알 수 있듯이 50여 가구를 대상으로 시범사업이 진행되고 있는 초기 단계이다.

그러나 휴대전화기의 보급 사례처럼 기술의 확산 속도는 전문가조차 쉽게 예측하기 어렵다. 소규모 태양광 사업이 확산되어 거의 모든 주택의 옥상에 태양광 패널이 설치되고, 전기소비자가 자가 수요의 일정 부분을 자체적으로 공급하는 프로슈머로 변하고 있다. 이러한 프로슈머를 마을 단위 혹은 공동주택 단위로 묶어 필요한 전기소비량을 자체적으로 조달하도록 시스템을 구축하는 것이다. 여기에 블록체인 기술을 적용하여 전력거래가 이루어지도록 하면 중앙 집중형 전력계통으로부터 독립한 분산형 마이크로 그리드 시스템이 되는 것이다. 태양광, 풍력 등의 재생에너지 발전원과 에너지저장장치(ESS)를 결합하고 에너지관리시스템(EMS)으로 에너지 수급을 효율적으로 조절하는 에너지자립섬 사업이 대표적인 사례이다.<sup>108)</sup> 물론 에너지자립섬 사업

107) 우청원(2018) p.10 참조

108) 대표적인 사례로 현재 디젤발전과 소수력에서 태양광, 풍력, 지열발전과 ESS

에서 블록체인 기술을 활용한 전력거래가 이루어지지 않는다고 있다.

블록체인 기술의 적용 여부와 관계없이 이러한 분산형 전력시스템의 확산은 기존의 전력산업과 전력거래시스템에 큰 변화를 가져올 것이다. 가장 중요한 변화는 기존 고객의 이탈로 판매사업자의 수익이 점차 줄어드는 것이다. 이는 전력회사의 장기적인 경영실적을 비관적으로 전망하여 투자 등급을 낮게 평가하는 데서 이미 나타나고 있다.<sup>109)</sup> 전술한대로 P2P 전력거래가 본격적으로 진행되고 있지 않아 대규모 고객 이탈 현상이 실제로 나타나지는 않고 있다. 하지만 이러한 고객 이탈은 전력회사가 가장 두려워하는 것으로 판매부문의 경쟁체제 도입을 반대하는 또 다른 이유이기도 하다.

또한 분산형 전력시스템의 확산은 대규모 발전소와 대용량의 송전선을 기반으로 하는 중앙집중형 전력공급시스템에 대한 의존도를 점점 낮출 것이다. 이는 대규모 발전소의 건설과 송전선 건설에 필요한 막대한 투자비와 지역주민과의 갈등으로부터 자유로워지는 것을 의미한다. 하지만 기존 중앙집중형 전력공급시스템의 효율성을 부인하는 것은 아니며 더 이상 기존 시스템을 확대하기 보다는 분산형 전원의 개발과 수요관리를 통해 기존 시스템의 운영과 유지에 드는 비용을 줄이려는 노력이 필요하다는 것이다.

한편 에너지전환 정책의 추진으로 재생에너지 보급이 급격하게 확대될 경우 재생에너지원의 간헐성으로 인해 전력계통의 안정적 운용이 더욱 어려워질 것으로 예상된다. 이를 대비하여 양수발전, LNG 발

---

를 설치하여 신재생에너지 발전 비중을 100%까지 확대함으로써 울릉도를 친환경 에너지자립섬으로 바꾸려는 사업을 들 수 있다. 이를 위해 에너지자립섬 사업자인 울릉에너지피아와 한국전력 사이에 전력수급계약(PPA)이 체결되었다.

109) 2014년 전력회사의 3%만 S&P 등급이 A 이상이었지만 2007년에는 13%가 A 이상에 속하였다(Sioshansi 외(2018), p.383).

전 등 유연성 자원에 대한 추가적인 투자가 필요하게 되는 것이다. 마이크로 그리드 형태의 전력시스템 개발 및 확장을 통해 기존 중앙집중형 전력계통의 운용 및 유지에 드는 경제적, 기술적 부담을 간접적으로 줄여줄 수 있다.

#### 4. 규제제도

전술한 바와 같이 4차 산업혁명에 따른 전력산업의 미래 모습이 구현되기 위해서는 현재 국내 전력거래제도, 요금산정, 도매시장 규칙 등 다양한 방면에서 규제의 개혁이 필요하다. 특히 단일 판매자에 의한 독점적 판매구조에서 경쟁시스템의 도입과 같은 전체적인 맥락에서의 구조개편이 지속적으로 제기되어 왔다. 본 절에서는 해외사례에서 찾을 수 있는 다양한 시사점 가운데 전력산업 구조개편과 전력시장 개편 방향에 대해서 간략하게 살펴보고자 한다.<sup>110)</sup> 국내 전력산업의 구조개편을 시작할 초기에는 소매경쟁까지를 염두에 두고 로드맵이 작성되었지만, 2004년 노무현 정부에서 노조의 극심한 반대로 배전분할과 소매경쟁으로 이어지지 못했다. 이후 수차례 국내 전력부문의 경쟁력을 높이기 위한 발전판매의 겸업을 허용하는 전력산업 구조개편 2.0을 포함한 다양한 논의가 있었지만 현행의 CBP(Cost-based Pool) 시장을 기반으로 한 발전경쟁 단계에서 더 이상의 진전이 없는 상태로 이어져 오고 있다. 물론 그동안 수차례 발전사업의 여건변화에 따라 정산조정계수를 조정하거나 발전기에 대한 분류를 달리하는 등

---

110) 해외사례에서 발견할 수 있는 시사점은 다양하지만 본 연구에서는 전력산업계에서 여전히 논란이 지속되고 있는 이 두 가지 주제에 대해서만 서술하고자 한다.

의 시장운영규칙에 대한 개정으로 변화를 모색해왔다.<sup>111)</sup>

현행 시장체제는 유일한 판매사업자인 한전의 수요독점 상태를 지속적으로 유지하고 있다. 전력산업 구조개편이 시작되고 거의 이십 년이라는 세월이 지났다. 아직도 변하지 않고 있는 이 체제가 앞으로도 지속될 것인가에 대한 질문은 미래 전력산업 모습을 전망하는 본 과제의 연구주제와도 맞닿아 있다. 하지만 이 질문은 정책적으로 매우 민감하므로 전술한대로 해외사례를 통해 시사점을 찾아보는 것이 적절하다고 판단된다. 판매부문의 경쟁으로 소비자의 선택권을 확대하는 소매경쟁이 반드시 필요하다거나 혹은 필요하지 않다고 단언할 수 있는 근거는 어디에서도 발견하기 어렵기 때문이다.

우선 미국의 각 주별 소매경쟁 추진현황을 살펴보면, 1990년대 초반 미국에서 전력산업 구조개편이 진행되면서 18개 주가 소매경쟁을 도입하고 있다.<sup>112)</sup> 이 중 13개 주는 제한이 없는 소매경쟁을 도입하였고, 캘리포니아, 미시간, 몬테나, 오리건 주는 제한적 소매경쟁을 도입하였다. 한편 2001년 캘리포니아 사태 이후 구조조정을 추가적으로 진행한 주는 없다. 미국의 경우 각 주별 사정에서 차이가 나지만 절반이 넘는 주가 소매경쟁을 채택하지 않고 있다는 점은 소매경쟁이 반드시 이뤄내야 할 정책목표일 수는 없다는 반증으로 지적할 수 있다.

이 논의를 좀 더 확장하면 “에너지전환을 위해서 독점적 전력회사보다는 소매경쟁을 통한 경쟁체제가 유리한가?”라는 질문을 던질 수 있다. 독점 전력회사가 친환경적이고 분산된 에너지 확산의 장애요소

---

111) 이는 발전경쟁시장에 대한 근본적인 개편은 아니었고 이해당사자 간의 이해를 조정하는 수준에서 시장규칙을 변경한 것이었다.

112) 2015년 기준, 17개 주와 Washington DC가 일정 수준 이상의 소매경쟁을 도입하고 있다(Sioshansi 외(2018), p.249).

이며, 소매경쟁이 보다 더 저렴하고 깨끗한 에너지를 생산하며 전환의 속도를 가속화하는 데 유리할 것으로 믿는다. 하지만 Sioshansi 외(2018)에 따르면 미국의 주별 사례를 통해 볼 때 소매경쟁이 청정에너지 미래로의 유망한 경로라고 단정할 수 없다는 주장이 설득력이 있어 보인다.<sup>113)</sup>

반면 일본의 경우는 2011년 후쿠시마 사태 이후 전력산업의 구조에 대한 개편 필요성을 인지하고 점차 소비자 선택권을 확대하는 시장자유화 조치를 단행하였다. 2016년 4월 모든 소비자의 선택권을 보장하는 전력소매시장의 자유화를 이루었다.<sup>114)</sup> 일본의 경험은 후쿠시마 사태와 같은 국가적 위기를 극복하면서도 전력산업의 운영을 국가주도의 지역독점체제에서 경쟁시장체제로 전환해버린 특별한 경우이다. 국가적 위기상황에 직면하게 되면 시장보다는 오히려 국가 주도의 관리체제가 우위를 점할 것으로 생각되지만 시장을 통해 문제를 해결하고자 하는 정치철학이 반영된 사례이다. 이러한 전력시장 개방을 통해 새로운 사업자가 전력산업에 진입하게 되고 다양한 신규 서비스와 새로운 사업 창출이 일어나고 있다. 특히 과거 단순한 전력판매에서 벗어나 전력판매와 다른 서비스를 결합하거나 혹은 신규사업자의 자사 서비스와 전력판매를 결합하는 형태가 나타나고 있다.

한편 최근 남호주의 정전사태로 촉발된 재생에너지 논란에 대해 살

---

113) 모든 주의 규제당국은 전력공급 신뢰도를 확보하고 청정에너지를 확대하기 위해 전력시장에 직접 개입하고 있으며, 에너지 절약, 혁신적인 요금제 도입은 시장이 아니라 규제적 결정에서 시작되었다는 점에서 이러한 결론을 도출하고 있다(Sioshansi 외(2018), p.263).

114) 전력소매시장 자유화 시행 직전에 약 150개 신규사업자가 등록하였고, 시행 이후 360개가 넘는 신규사업자가 등록하여 기존의 지역독점형태의 전력소매시장이 경쟁시장체제를 갖추게 되었다. (한국가스공사 공식 블로그(2017.4.9.), <http://blog.kogas.or.kr/220978744175>, 접속일자 2018.7.3.)의 송형상(2017) 참조)

펴보자.<sup>115)</sup> 42도가 넘는 폭염이 가장 주된 이유이긴 하지만 경쟁시장에 의존하는 남호주 정부의 에너지정책이 연방정부로부터 비난을 받고 있다. 남호주는 에너지 소비량의 40%를 풍력과 태양광 등 재생에너지에 의존하고 있으며, 이러한 재생에너지 보급 확대로 수익을 내지 못하는 석탄발전소와 가스발전소가 가동을 중단하고 있다. 그래서 예비력을 충분히 갖추지 못한 탓에 폭염으로 인한 전력수요 급증에 대응을 제대로 하지 못하고 정전이 계속 이어지고 있는 것이다. 이러한 사태에 대해서 맬컴 턴불 호주 총리는 2030년까지 재생에너지 비율을 50%까지 확대하겠다는 야당을 비난하는 기회로 삼고 있다.

호주 사례는 경쟁시장과 재생에너지 보급 확대 정책이 부조화를 나타낸 경우이며, 폭염이라는 기상조건 악화가 주된 요인이다. 그러나 에너지 문제가 정치적인 논란으로 이어진 대표적인 사례로 들 수 있다. 국내의 에너지전환 정책도 충분한 준비와 대응방안이 마련되지 않을 경우 논쟁의 소용돌이에 빠질 수 있다.<sup>116)</sup> 결국 소매경쟁으로 대변되는 경쟁적 산업구조가 미래 전력산업의 진정한 모습인가에 대한 진지한 고민이 필요하다.<sup>117)</sup> 다양한 사업자가 자유롭게 시장에 진입할 수 있고 새로운 비즈니스 모델을 펼칠 수 있는 환경을 조성해 주는 것이 필요하다. 하지만 에너지 전환을 위해서 국내 전력산업의 구조가 어떠한지 하지는는 후속 연구를 통해 적절한 해답을 모색할 필요가

115) 연합뉴스, “호주는 ‘폭염’ 때문에 잇단 정전, ‘재생에너지 논쟁’ 비화”, 2017.2.12. (<http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2017/02/10/0200000000AKR20170210143800093.HTML>) 참조

116) 국내에서도 이번 여름 폭염으로 인한 누진제 논란에서 탈원전 정책으로 원자력 발전의 가동이 줄어서 전기요금을 더 저렴하게 하지 못했다는 주장이 사실인 것처럼 설득력을 얻게 되었다.

117) 환경문제 관련 NGO의 경우 이제까지 소매경쟁에 대해서 거부감을 나타내었지만, 최근 에너지전환의 효율적 추진을 위해 한전의 판매부분을 시장경쟁체제로 전환하는데 동의한다는 의견을 표명하고 있다.

있다.

다음으로 전력시장 개편 방향에 대해서 살펴보자. 에너지전환을 제대로 추진하기 위해서는 재생에너지 보급 확대에 따른 전력시스템의 문제를 해소하기 위한 방안이 선제적으로 마련되어야 한다. 중국의 재생에너지 발전감축(curtailment), 캘리포니아의 오리 모양 부하곡선(duck curve), 독일의 마이너스 도매전력시장 가격 등이 재생에너지 보급 확대에 의해 각국에서 발생하고 있는 문제들이다. 재생에너지 보급 확대에도 불구하고 전력시스템의 신뢰도를 유지하기 위해서는 전력시장에서 유연성 자원의 가치를 제대로 평가하고 이들 자원을 충분히 확보하는 방안을 마련하는 것이 중요하다. 이를 위한 대안이 전력시장 개편으로 마련되는 것이 급선무이다.

에너지 중심의 현행 전력시장제도를 예비력과 에너지를 통합하여 운영하고, 아울러 현행의 하루 전(day ahead) 시장을 당일 15분, 5분 단위의 실시간 시장으로 개편하는 것이 필요하다.<sup>118)</sup> 또한 유연성 제공 자원의 적정 보상을 위해 현행 비제약 가격제도에서 제약기반 가격제도로 이행하고 정산주기를 단축하는 것이 요구된다.<sup>119)</sup> 그리고 유연성 자원의 확보 차원에서 효율이 낮은 GT에 대해서 적정한 인센티브를 제공하는 것이 요구된다. 증감발 성능은 우수하지만 효율이 낮은 GT는 급전계획에 반영되지 못하나 10분 단위 증감발 필요의무량 확보 차원에서 이러한 GT가 급전계획에 포함되도록 조정할 필요가 있다.

이와 같은 전력시장 개편은 재생에너지의 보급 확산에 따른 여러

---

118) 전력거래소는 이를 통합다중 전력시장이라고 지칭하고 있다.

119) 유연성 제공 자원에 대해 인센티브를 부여하는 하나의 방안으로 미국의 FERC Order 825처럼 “정산주기를 단축한 5분 단위 결제”를 통해 급전유연성에 대한 적정 수준의 보상 제공을 고려해 볼 수 있다.

가지 문제점을 사전에 방지하여 에너지전환이 제대로 추진되도록 하기 위함이다. 전력시장 개편과 더불어 요금제도 개선, 에너지세제 개편, 보조금 지원 등을 통해 에너지전환의 효과를 극대화하는 방안이 마련되어야 한다.

## 5. 신기술의 영향

기후변화 대응을 위한 국제적인 환경 규제 강화로 석탄, 원자력 등 기존 전원의 수익성이 악화되고 친환경 전원의 보급이 확대되고 있다. 또한 일부 선진국에서는 전력수요가 감소세를 나타내고 있으며, 국내의 전력수요도 성장세의 둔화가 뚜렷해지고 있다. 더욱이 사물인터넷, 빅데이터 등 4차 산업혁명의 주요 신기술의 영향으로 전력산업의 사업형태가 수요관리 중심, 마이크로 그리드 확대 및 능동적 소비자 등 장 등 크게 변하고 있다. 이러한 사업여건 변화에 대한 전력회사의 대응은 크게 두 가지로 나뉜다. 하나는 신기술을 과감하게 적용하여 회사의 모습을 변화시키는 전력회사 2.0(Utility 2.0) 전략을 채택하거나 아니면 경쟁력이 있는 기존 사업역량을 해외로 확장시키는 것이다. 이러한 기존 전력회사의 대응과 새로운 비즈니스 모델을 장착한 신규 사업자의 등장으로 전력산업의 미래 모습이 이전과는 판이하게 달라질 것이다.

지난 20년 동안 유럽의 주요 전력회사들의 수익원을 분석해 보면 Dong, Vattenfall, GDF-Suez(Engie), E.ON, Enel 등은 해외매출이 60% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 특히 Dong과 Vattenfall은 해외매출 비중이 70%를 차지한다. 이러한 해외진출 확대 전략은 지역 수준의 정책 조화와 시장 통합을 추구함과 동시에 불완전한 국내 시



장의 국제화를 추구하는 것으로 보인다.<sup>120)</sup>

국제화 전략을 추진함에 있어 Engie는 석탄화력 발전자산 중심으로 그리고 스페인의 전력회사인 Iberdrola는 재생에너지 발전자산 중심으로 진행하고 있어 차이를 나타내고 있다. Engie는 남미, 중동, 동남아시아, 호주 등 성장세가 뚜렷한 지역에서 발전용량을 확대하고 있다. Iberdrola는 2015년 초 재생에너지 발전용량이 14.5 GW에 달하며 그 중 96%는 육상풍력이 차지하고 있다. 이 회사의 풍력발전은 스페인(5.8 GW), 미국(5.6 GW), 영국, 남미에 걸쳐있다.<sup>121)</sup>

한편 전력회사 2.0 전략은 분산형 발전의 운영, 소유권과 연관이 있는 자산 관리와 스마트 미터, 스마트 그리드 등과 밀접한 관계가 있는 정보 관리로 구분하여 추진하고 있다. E.ON은 자산 관리 중심의 전략을 구사하는 데 비해 Enel과 RWE는 정보 관리 기반의 전략을 펼치고 있다.<sup>122)</sup> Enel은 스마트 미터를 모든 가정에 보급하여 사업의 효율화를 달성하면서 향후 스마트 배전망 분야의 세계 선두가 되려는 비전을 제시하였다. RWE는 전기자동차용 충전기술을 바탕으로 공공 충전스테이션 설치 및 운영에 있어 선두 주자이다. 그리고 스마트 홈을 위한 통합 솔루션을 개발하여 판매하고 있다.<sup>123)</sup>

4차 산업혁명 시대에 진입함에 따라 저렴하고 다양해진 센서들이 유무선 통신망을 활용하여 언제, 어디서나 연결되고, 센서들에서 수집되는 무한대에 가까운 빅데이터의 활용 증대와 빅데이터의 효율적인

---

120) Sioshansi 외(2018), p.400 참조

121) Sioshansi 외(2018), pp.401~403 내용을 바탕으로 필자가 요약 및 정리

122) 독일의 대표적인 전력사업자인 RWE와 E.ON은 전력회사 2.0 전략을 구사하면서 수익이 악화되고 있는 전통적인 석탄발전사업을 자사의 핵심사업과 분리하고 지분 매각 등을 통해 최종적으로 이들 사업에서 철수한다는 전략을 추진하고 있다.

123) Sioshansi 외(2018), pp.410~411 참조

분석을 위한 머신러닝 기법의 인공지능 기술이 대두되고 있다. 클라우드, 로봇, IoT, AI(인공지능) 등의 기술이 접목되는 플랫폼 기반에서 4차 산업혁명이 탄력을 받고 있다. 최근 전력산업의 주요 과제로 에너지 신산업 확대, 전력산업 해외수출, 전력 설비 및 시스템의 디지털화 및 선진화 추진을 들 수 있다.<sup>124)</sup>

4차 산업혁명으로 인한 전력산업의 주요 변화를 살펴보면 다음과 같다. 발전에서는 많은 센서 부착, 빅데이터 및 분석 툴을 활용하여 운영 효율을 높이고, 설비에비정비를 효과적으로 수행하게 된다. 전력 시장운영에서는 재생에너지 발전의 예측 및 운영을 전체 시스템에 효과적으로 결합할 수 있게 되었다. 송전과 배전에서는 센서, 빅데이터, 인공지능의 활용으로 안정적인 설비운영과 시설보수의 자동화가 증가하고 있다. 전력소비자에게는 빅데이터, 인공지능의 활용으로 합리적인 전력 소비를 유도하고, 풍부한 정보를 제공하게 될 것이다. 그리고 재생에너지 발전사업자는 발전환경 및 전력요금 변화에 맞춰 합리적인 발전을 할 수 있다.<sup>125)</sup>

국내의 발전회사도 발전소의 디지털화와 스마트화를 위한 노력을 경주하고 있다. 동서발전의 경우 발전 Industry 4.0 구현을 위해 연구 개발 및 실증사업에 집중하고 있는데 신규 당진화력 발전소를 스마트 플랜트로 건설한다는 계획이다. 동서발전은 기계 학습 등 최첨단 ICT 기술을 활용하여 세계 최고 수준의 지능화된 발전운영시스템을 구현하고 이를 세계시장에 수출하는 것이 목표이다. 즉, 기존 발전사업에서의 경험과 역량을 기반으로 향후 Solution Provider로서 비즈니스 영역을 새롭게 개척한다는 것이다.<sup>126)</sup> 또한 남부발전의 경우 제주에

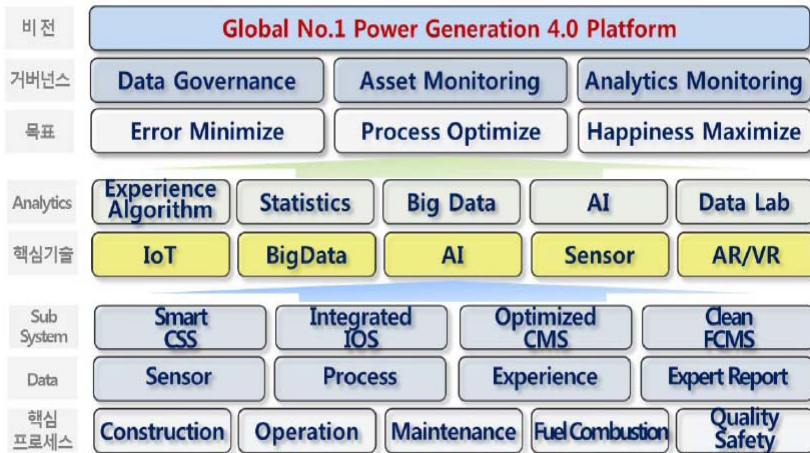
---

124) 김현제 외(2017), p.117 참조

125) 김현제 외(2017), p.117 참조

건설하는 LNG 복합발전소를 스마트 공장으로 건설한다는 계획이다.

[그림 4-3] 한국동서발전의 발전 Industry 4.0의 구조



자료: 한국동서발전 발전기술개발원 내부자료(2017)

4차 산업혁명의 혁신적 기술 도입으로 에너지산업은 디지털화, 스마트화 되고 있으며, 화석에너지 중심의 ‘중앙 집중형’에서 재생에너지 중심의 ‘분산형’으로 에너지시스템이 전환되고 있다. 이러한 변화는 에너지산업 전반에 걸쳐 나타나고 있는데 특히 전력산업을 중심으로 다양한 비즈니스 모델과 신규 사업자가 등장하여 미래 전력산업의 모습을 전망하는 일이 한층 어려워지고 있다.<sup>127)</sup>

126) 동서발전의 발전 Industry 4.0은 수 만개 센서에서 실시간으로 수집되는 운전 정보(빅데이터)와 발전회사 본연의 현장지식과 경험, 문제해결 능력을 최첨단 정보통신기술과 융복합을 시도하는 것이다. 이를 통해 발전소 설계·건설에서 연료조달·연소, 발전설비 감시·진단·예측·정비의 발전운영 전 과정을 자동화하여 최적화 하는 발전소의 스마트공장화이다(김현제 외(2017), p.57 참조).

127) 에너지산업에서 신기술이 적용되는 사례는 다양하지만 예를 들면 해상 석유시추 플랫폼을 관리하는 데 기존 헬리콥터를 드론으로 대체하여 비용을 절감하

스마트그리드, 가상발전소(VPP) 등 4차 산업혁명 기술과 ICT의 융합을 통해 간헐적 재생에너지의 전력시스템 연계에 따른 계통안정성 유지를 가능하게 하여 재생에너지 중심의 분산형 전력공급시스템이 발전하는 데 기여하고 있다. 또한 최근 세계 총 신규 발전설비의 50% 이상을 재생에너지가 차지하여 석탄, 천연가스, 원자력 중심에서 재생에너지 중심으로 전원믹스의 변화도 급격하게 나타나고 있다. 그리고 4차 산업혁명 기술이 도입되면서 수급 주체 간 정보교환이 양방향으로 이루어지고 수요관리 방식도 다변화됨에 따라, ‘능동적 소비자’의 역할이 강화되고 있다. 재생에너지, 전기자동차, 에너지저장장치 등 소비자단의 분산자원이 다양하게 개발되어 소비자의 프로슈머로의 변신과 효과적인 수요관리가 가능하게 되었다. 더욱이 빅데이터 분석을 통한 ‘에너지 소비량 및 수요반응 자원량 예측’과 ‘실시간 모니터링 및 자율적 제어’에 힘입어 수요관리 관련 산업이 활성화될 전망이다. 프로슈머가 증가함에 따라 다양한 형태의 자원이<sup>128)</sup> 전력시장에 나타날 전망이다.<sup>129)</sup>

전력산업은 디지털 전환 및 4차 산업혁명 기술의 도입을 통한 경영최적화 및 사업 다각화를 달성함으로써 대내외 환경변화에 대응하고 새로운 가치를 창출해 나갈 것이다. 전력산업 내 관련 자산의 수명을 연장하고 운영효율을 높이면서 보건, 안전, 환경 측면에서의 경영성과도 제고하게 될 것이다. 이러한 해당 산업의 경쟁력을 바탕으로 안정적인 전력 공급을 넘어서 새로운 부가 서비스 개발과 여타 에너지 산

---

고 있다. 수송부문에는 전기자동차, 수소연료전지자동차 등의 보급 확대로 전기화 및 탈 석유화가 진행 중이다.

128) 분산자원과 잉여전력의 결합, 소규모 전력거래 등

129) 소진영 외(2017), p.11 참조

업으로 부가가치 창출 기회를 확대해 나갈 것으로 기대된다. 그리고 통신업체 인터넷 플랫폼 기업, 소프트웨어 개발자 등 비에너지 산업계의 전력 관련 서비스 진출도 가속화될 것으로 전망된다.<sup>130)</sup>

〈표 4-3〉 전력시스템 유연성 관련 비즈니스 모델

| 비즈니스 모델                    | 주요내용                                                                                                                                                                                |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 수요관리자원 모집<br>(Aggregation) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고객은 용량/에너지 사용 지불을 보유</li> <li>- 시장, 쌍무계약 등으로 네가와트 판매</li> </ul>                                                                            |
| 온도조절장치(수요관리 도구)            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전력회사는 설치 보조금을 고객에게 제공</li> <li>- 고객은 직접부하제어 계약을 맺고 그 수준을 사전에 설정</li> <li>- 고객은 사용하지 않은 에너지에 대해 보상금, 할인 혜택</li> <li>- 하드웨어 판매 증가</li> </ul> |
| 저장장치(상업, 산업용)              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고객은 시스템/소프트웨어 비용을 선불로 지불하지 않고, 대신 공급자는 첫 번째 매출흐름이 창출될 때까지 개발/설치비용을 이월</li> <li>- 수요요금 감소에 따른 매출은 고객과 공급자가 공유</li> </ul>                    |
| 저장장치(주거용)                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 선불 설치비용을 고객이 부담</li> <li>- 오프-그리드 차익 거래, 전력망 서비스 비용 등에서 이득을 취함</li> </ul>                                                                  |
| 시장설계 혁신                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전력회사는 공급자와 다양한 유연성 계약 체결</li> <li>- 새로운 보조서비스</li> <li>- 단기 수급균형, 새로운 단기 서비스 제공</li> </ul>                                                 |
| 소프트웨어                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 서비스로서의 소프트웨어</li> <li>- 벤더는 구독료를 수취</li> <li>- 최종 사용자는 하드웨어, 유지보수 비용 절감</li> </ul>                                                         |

자료: Sioshansi 외(2018), p.497

앞으로 전력산업에서 중요한 기능을 담당하게 될 다양한 비즈니스 모델을 살펴보면 다음과 같다. 특히 재생에너지의 확산에 따른 전력시

130) 소진영 외(2017), pp.11~12 참조

스텝의 유연성을 확보하는 데 중요한 비즈니스 모델 중심으로 <표 4-3>에 제시되어 있다.

위의 표에서 제시한 비즈니스 모델은 이미 미국 등 선진국 시장에서 실제 운용되고 있다. 재생에너지 보급이 확대되어 전력계통의 안정성과 전력공급의 신뢰도를 확보하기 위한 유연성 자원의 중요도가 증가할수록 관련 비즈니스는 활성화될 것이다. 재생에너지 기반 분산형 공급시스템 중심으로 향후 전력산업의 모습을 전망할 때 유연성 관련 비즈니스가 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 국내 전력부문에서도 이러한 비즈니스가 활발하게 영업할 수 있도록 사업여건을 마련해 주는 것이 필요하다.

## 제5장 전력 전문가 설문조사 및 시사점

### 1. 설문조사 개요 및 기초정보

#### 가. 설문조사 목적

4차 산업혁명시대 우리나라 전력산업의 변화 전망 및 분석을 위해 전력산업 세부 이슈별로 전문가 의견을 수렴함으로써, 4차 산업혁명 시대의 사업 환경 변화에 따른 우리나라 전력산업의 현재와 미래를 적실성 있게 진단하고자 한다.

#### 나. 설문조사 세부 주제

본 전문가 설문조사는 다음과 같이 총 5개의 세부주제로 구성되어 있다(Ⅰ. 일반(4차 산업혁명의 이해), Ⅱ. 규제제도, Ⅲ. 신기술의 영향, Ⅳ. 전력수요의 변화, Ⅴ. 전력 거래방식의 변화). 이를 통해 4차 산업혁명이라는 세계적 혁신이 우리나라 전력산업에 미치는 영향과 4차 산업혁명 시대 우리나라 전력산업의 주요 이슈를 살펴보고자 한다.

#### 다. 설문대상

에너지 및 전력 분야에 종사하고 있거나 해당 분야 학술연구를 수행한 경력이 있는 전문가 40명을 대상으로 설문을 진행하였으며,<sup>131)</sup>

---

131) 정부부처, 전력거래소, 한국전력, 발전사, 민간, 학계에서 고르게 선정하였다.

이 중 최종적으로 설문에 응답한 전문가는 30명이다(학계: 8명, 연구기관: 8명, 정부 및 공공부문: 3명, 산업계: 6명, 민간부문: 5명).

#### 라. 총 문항

본 설문조사는 세부문항을 포함하여 총 30문항으로 구성되어 있다(설문지는 <부록> 참조).

## 2. 설문조사 결과 분석

### 가. 국내의 4차 산업혁명 진행현황에 대한 인식

“우리나라 전력시장에서 4차 산업혁명의 주요 기술들이 효과적으로 활용되고 있는지”에 대해 응답자의 약 79.2%가 부정적으로 응답(전혀 그렇지 않다, 별로 그렇지 않다)하였다. 4차 산업혁명은 IT 기술과 기존 산업기술의 융복합 및 소비자와의 소통을 특징으로 하고 있고, 그 과정에서 사물인터넷(IoT), 빅데이터 분석기법, 인공지능, 블록체인 등의 신기술들이 활용된다. 즉, 4차 산업혁명의 신기술들이 효과적으로 활용될수록 4차 산업혁명 패러다임의 현실화도 촉진된다고 볼 수 있는데, 대부분의 에너지 전문가들은 우리나라에서 4차 산업혁명 신기술 활용 자체가 미진한 수준이라 평가하고 있다. 이는 우리나라가 주요 선도국(미국, 독일, 일본) 대비 4차 산업혁명 환경변화에 대한 대응이 충분하지 못하다는 것을 의미한다. 결국 우리나라 민간 부문의 R&D 역량강화에서부터 세제지원, 탈규제, 기술 표준 확립, 선진국과의 기술교류 강화, 4차 산업혁명 신기술에 대한 국민 수용성 제고까지 향후 4차 산업혁명에 부합되는 최적의 전력산업 구조를 마련하기 위



한 하나의 주안점 있는 지원요소를 도출하기 어려운 실정이다.

#### 나. 정책·제도적 측면에서의 평가

4차 산업혁명 신기술의 보급 확대 및 혁신적인 환경변화에 대한 신속한 대응을 위해, 우리나라 정부의 정책지원 구조와 현재 형성되어 있는 전력산업 제도에 대한 평가가 필요하다. 특히 정부의 정책적 지원은 초기 시장을 형성하고 산업구조 변화를 촉진시킬 수 있는 주요 전략이 될 수 있다는 측면에서 전문가들의 의견을 수렴해 볼 가치가 있다.

먼저 우리나라의 4차 산업혁명과 관련된 산업·재정 정책 측면의 지원 수준은 미국이나 독일, 일본에 비해 뒤쳐지고 있다는 의견이 우세했다. 특히 민간이나 학계에서는 정부의 4차 산업혁명 관련 정책 지원수준이 ‘상당히 미흡’한 것으로 평가하고, 이러한 측면에서 향후 정부의 재정정책의 변화방향은 ‘에너지 세제 개편 등을 통한 시장 참여 활성화’로 가닥이 잡혔다. 즉, 전문가들은 세제개편을 통해 4차 산업혁명 기술진보에 참여할 인센티브를 강화하는 등 일종의 시장 메커니즘을 활용해야 할 필요성을 강조하고 있다.

한편 현재의 우리나라 전력산업 구조가 4차 산업혁명 혁신을 받아들이기에 적합한지 여부에 대해서는 일부 소수의견을<sup>132)</sup> 제외하고 부적합하다는 평가가 지배적이었다. 특히 대다수의 학계, 발전, 민간 부

---

132) 일부 학계 또는 전력업계 전문가들은 다양한 이해관계가 얽혀있는 상황에서 현재의 한전 중심 독점구조가 4차 산업혁명시대 R&D 투자 및 비즈니스 모델 개발에 오히려 적합하다고 평가하는 한편, 기술의 효율성과 산업구조는 별개이므로 경제적으로 효율성을 확보한 기술이라면 산업구조와는 상관없이 확산 가능하다고 보았다.

문의 전문가들은 정부 통제에 의해 결정되는 경직적 전기요금체제와 독과점 시장구조로 인한 높은 시장진입장벽이 블록체인, 사물인터넷(IoT) 기술, 인공지능과 같은 신기술의 도입 유인을 차단하고, 나아가 신기술을 활용한 전력 P2P 거래 확산도 크게 저해할 것으로 전망했다. 이는 경쟁이 저해되고 정부의 개입으로 시장구조가 왜곡될 경우 기술진보를 통한 사회 경제적 효용이 악화된다는 후생경제학적 관점에서의 평가와 일치한다.

#### 다. 4차 산업혁명 신기술의 영향

4차 산업혁명 신기술 중 4차 산업혁명 선도국(미국, 독일, 일본)에서 활용성이 높은 기술부문인 블록체인, AI 및 빅데이터 활용 부문의 영향에 대한 의견을 수렴하였다.

먼저 블록체인, AI 및 빅데이터 관련 기술이 전력산업에 적용되고 기술 표준화(Standardization)가 이루어질 경우 우리나라 전력소비패턴에 변화를 유발하고, 이렇게 변화된 소비패턴이 새로운 가치사슬을 창출하면서 에너지산업(전기자동차 충전, 에너지 프로슈머 시장 등)에 적합한 비즈니스 모델 확립을 촉진시킬 것으로 에너지 전문가들은 예측하였다. 다만 4차 산업혁명 시대 전력산업에서 각 기술들의 역할 및 중요성에 대해서는 전문가별로 온도차가 있었다.

##### 1) 에너지 블록체인

블록체인 기술의 적용 가능성에 대해서는 가상화폐의 등장과 함께 전 세계적으로 높은 기대가 형성되어 있다. 그러나 국내 전력산업에서

의 블록체인 기술 활용성에 대해서는 전문가별로 의견이 매우 다양했다. 상당수의 국내 에너지 전문가들은 국내 전력산업에서 블록체인의 기술적 가치에 대해서는 대체적으로 높게 평가하고 있으나 사회경제적 효용 증진 측면의 가치에 대해서는 그렇게 높게 평가하지 않는 경향이 있었다. 특히 기술적 가치에 가중치를 크게 둔 전문가들의 경우 블록체인 기술이 거래 관리비용 절감이나 자유화된 전력거래에 큰 역할을 할 것으로 예측하였다. 우리나라에서 블록체인 기술은 법제도적 제한으로<sup>133)</sup> 에너지 부문에서의 실질적 적용이 활발히 이루어지지 못함에 따라 기술의 체감효용이 그리 크지 않은 측면이 있어 보인다.

## 2) AI 및 빅데이터

4차 산업혁명 선도국들의 전력회사들은 AI나 빅데이터를 활용하여 수요를 예측하고 전력수급의 효율성을 제고하는 한편, 향후 전력 P2P 거래의 플랫폼 시장에서 선도적 위치를 선점하고자 한다. 이러한 상황을 고려했을 때, AI와 빅데이터의 활용은 4차 산업혁명 시대 전력산업에서 중요한 역할을 담당할 것으로 보인다. 그러나 대다수 국내 전력 전문가들은 AI 및 빅데이터 활용이 4차 산업혁명 시대 전력수요관리의 효율을 제고할 수는 있으나, 우리나라 전체 전력수요 관리에서의 핵심 기술로 평가하지는 않았다는 점이 특징적이었다. 이는 전력수요 관리만으로는 4차 산업혁명이라는 메가트렌드에 부합하는 전력산업

---

133) 우리나라 현행 개인정보보호법은 정보주체의 정보를 제3자에게 제공할 경우 ‘정보주체의 동의’를 반드시 구해야 한다. 한편 블록체인 기술 구현을 위해서는 타인과의 정보공유가 반드시 전제되어야 하므로, 정보주체의 동의 없이 제3자의 정보를 보유하게 된다. 결국 블록체인 기술 구현과 현행 개인정보보호법의 준수 사이에 충돌이 발생할 수밖에 없다.

구조로의 개편이 어렵다는 인식을 반영하고 있는 것으로 판단된다.

### 3) 기술 표준화

독일, 일본 등 4차 산업혁명 선도국가에서는 4차 산업혁명 주도권 확보를 위한 ‘기술 표준화 수립’을 핵심 정책 중 하나로 추진 중이다. 그러나 우리나라 전력산업의 4차 산업혁명 관련 기술 개발 및 보급은 선도국 대비 지지부진한 수준이라는 점을 감안했을 때, 기술 표준 수립 자체의 필요성은 인정하지만 ‘도입 단계에서는 완화시켜 적용’하거나 ‘적정 수준의 재정지원과 병행’해야 한다는 의견이 다수를 차지했다.<sup>134)</sup>

### 라. 4차 산업혁명에 따른 국내 전력수요의 변화 전망

4차 산업혁명의 신기술로 전력수요관리 기법이 고도화 될 것이라는 점에 대해서는 전력 전문가들 모두의 공통된 의견이었다. 다만 전력수요의 증감 방향에 대해서는 일정한 답을 얻기 어려웠다. 다시 말해 4차 산업혁명의 신기술은 전력소비의 효율을 높이겠으나, 향상된 전력 소비효율이 전력 사용량을 오히려 증가시킬 수 있다.<sup>135)</sup> 나아가 일부 전문가들은 향후 전기자동차나 스마트기기의 확산이 효율향상에 따른 전력소비 감소량을 상쇄할 것으로 평가하기도 하였다.

한편 신재생에너지 자가발전 설비 보급에 따라 나타나는 전력부하 패턴의 변화로<sup>136)</sup> 유발되는 전력수급의 불안정성은 4차 산업혁명 신

---

134) 오히려 일부 민간부문 전문가의 경우는 표준화 자체를 규제로 판단하고 신기술 보급에 큰 장애로 작용할 것이라 우려하였다.

135) 이를 ‘전력효율향상의 반작용(Rebound Effect/Rebound Effect)’이라고도 한다.

기술 및 전력 저장설비(ESS)의 보급으로 일부 해소할 수 있다고 평가하고 있으나, 일부 전문가들은 이에 더해 가스열병합발전과 같은 ‘분산전원’을 활용하여 수요지의 전력수요를 백업할 필요성에 대해 언급하였다.

결과적으로 전력수요 관련 설문에서는 4차 산업혁명 시대 전력수요의 변화방향 예측은 어려우나, 전력수요관리의 효율을 높이기 위해 현재의 전통적인 기술과 4차 산업혁명 신기술의 융합이 필요함을 시사하고 있다.

#### 마. 4차 산업혁명시대 국내 전력거래방식의 변화 전망

4차 산업혁명 시대에는 “상품의 기능과 접근성이 확대(Functionality and Accessibility)되고 가치사슬 간 연계(Cross-linking of Value Creation)가 강화될 것”으로 전망된다. 이러한 새로운 형태의 사업모델이 우리나라 전력산업에 적합한지 여부에 대해서는 대체적으로 적합하다는 데 의견이 모아졌다. 특히 민간부문의 전문가들은 4차 산업혁명이 가치창출 구조 자체의 변화를 수반하므로, 새로운 사업모델이 전력산업에도 적용되는 현상은 자연스러운 것으로 평가했다. 그러나 현재처럼 경쟁이 제한된 전력산업구조 내에서는 새로운 사업모델의 확산이 쉽지 않을 것이라는 전문가들의 의견이 다수 있었다.

분산전원은 정도의 차이는 있으나 확산되는 추세에 있을 것으로 전망되었고 그에 따라 P2P 전력거래는 향후 자연스럽게 확대될 것이라는 의견이 지배적이었다. 이는 4차 산업혁명시대 우리나라 전력시장

---

136) 대표적인 사례로 미국 캘리포니아에서 발생한 ‘Renewable Duck Curve’ 현상이 있다.

구조가 보다 자유화될 것임을 암시하며, 현재의 정부 규제하의 요금체계에 변화가 촉발되면서 전력가격은 상승할 것으로 예상된다. 전력 전문가들의 의견도 대체로 이와 유사하며, 4차 산업혁명의 전력산업구조 변화에 따른 전력가격 상승분에는 신기술 도입 및 산업구조 변화 대응에 소요되는 비용이 반영되어 있다는 의견도 제시되었다.

이와 같은 전문가들의 의견을 종합해 볼 때, 4차 산업혁명시대 국내 전력거래방식은 4차 산업혁명 선도국(미국, 독일, 일본)의 변화양상을 따라갈 것으로 보인다. 다만 국가별 제도에 차이가 있으므로 산업구조의 변화형태 및 거래방식의 변화를 확정적으로 전망하기에는 어려움이 있다.

### 3. 국내 전력산업에 대한 시사점

설문에 응한 전력 전문가들의 의견을 종합하면 ‘국내 전력수요의 증감’에 대해서는 판단이 불가하다. 국내 전력수요 증감과 관련된 선행 연구들의 의견이 엇갈리는 현상과도 맥락을 같이한다.

‘8차 전력수급 기본계획(2017)’에서는 4차 산업혁명 요인별로 전력수요에 미치는 영향을 분석하고 각 요인별 효과의 상쇄정도를 감안하여 전체 전력소비는 감소할 것으로 전망하였다(<표 5-1> 참조). 신규 스마트 장비의 전력소비 증가효과보다 수요관리 최적화 및 전력 자급 생태계 확대를 통한 소비 감소효과가 더 크다고 판단한 것이다.<sup>137)</sup>

---

137) 이러한 전망은 딜로이트(2018)의 분석결과를 반영한 것이다.

〈표 5-1〉 4차 산업혁명 요인별 전력수요 영향 요약

| 구 분      |            | 단일 디바이스 영향                    | 디바이스 시스템 영향      | 전체 효과 |
|----------|------------|-------------------------------|------------------|-------|
| 절대<br>수요 | 가정용        | 가전, 로봇 증가 등 (증가)              | 스마트홈(HEMS) (감소)  | (증가)  |
|          | 상업용        | 데이터센터 증가 등 (증가)               | 스마트빌딩(BEMS) (감소) | (감소)  |
|          | 산업용        | 스마트공장(FEMS) (감소)              |                  | (감소)  |
|          | 운송용        | 전기차, 드론 증가 등 (증가)             |                  | (증가)  |
| 상대<br>수요 | ESS        | 신재생에너지 출력 안정화, 피크수요 대응 등 (감소) |                  | (감소)  |
|          | Smart Grid | 지능형 송배전, AMI 보급 등 (감소)        |                  | (감소)  |

자료: 8차 전력수급 기본계획(2017.12, p.30) 재구성

반면 소진영 외(2017)<sup>138)</sup>에서는 8차 전력수급기본계획상의 전망과 달리 최종 전력소비 증감을 판단하기 어렵다는 결론을 제시하였다. 즉, 4차 산업혁명의 핵심기술 중 하나인 ICT 기술의 확대 과정에서 ‘1차 효과’로 발생한 에너지(전력) 소비 증가는 ‘2차 효과’에서 상쇄되고, 최종적으로 비기술적 요인에 따른 에너지수요 영향인 ‘3차 효과’에 의한 소비증감 판단이 불가함에 따라 전체적인 전력소비 증감 평가가 어렵다는 것이다(<표 5-2>참조).

〈표 5-2〉 ICT 기술 확대가 에너지수요에 미치는 영향

| 효과    | 정의                                                       | 에너지 수요 영향 |
|-------|----------------------------------------------------------|-----------|
| 1차 효과 | ICT 생산·소비에 소요되는 에너지 수요 영향                                | 증가        |
| 2차 효과 | 에너지 수요를 감소시키는 ICT 활용                                     | 감소        |
| 3차 효과 | ICT 확대에 의한 행동 변화 및 반등효과(rebound) 등 비기술적 요인으로 인한 에너지수요 영향 | 알 수 없음    |

자료: OECD(2010, pp. 8~11)의 관점을 에너지 분야에 적용해서 작성, 소진영 외(2017, p.7) 표 재인용

138) 소진영 외(2017), p.7 참조

한편 4차 산업혁명시대 ‘국내 전력거래방식의 변화’에 대한 전문가 설문 의견을 종합하면 양방향 또는 순환형 전력산업 구조인 ‘Behind the Meter’ 시장이 등장함을 알 수 있다. Behind the Meter 시장에서는 소비자가 분산전원으로 자가생산한 전력을 전력망을 통해 공급 가능하며, 수요를 초과한 전력은 ESS에 저장 후 전력시장에 재판매할 수도 있다. 또 ‘Aggregator’들은 소규모 발전 / 수요 자원을 모아 대규모화함으로써 대형 전력발전사에 대한 경쟁력을 확보할 것으로 예상된다. 이러한 Behind the Meter 시장의 주요 사업모델은 아래 <표 5-3>에 요약되어 있다.

〈표 5-3〉 Behind the Meter 시장의 주요 사업모델

| 사업   | 사업구조                                                                                   |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 분산자원 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 고객의 자가발전(신재생에너지, CHP 등 이용)</li> </ul>         |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 태양광 등 신재생발전 비용 하락 → 분산자원 확산</li> </ul>        |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생산된 전력의 자가소비 후 잉여전력은 전력시장, 회사에 재판매</li> </ul> |
| 수요반응 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 전력사용량감축 후 수요자원으로 전력시장에 참여</li> </ul>          |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전력계통 운영에서 "발전자원 = 수요자원"으로 취급 가능</li> </ul>    |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소비자는 전력수요 감축을 통한 비용절감 + 추가수익 확보</li> </ul>    |
| 전력중개 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 다수의소규모 발전/수요자원 모집 → 전력시장 거래 대행</li> </ul>     |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수수료 기반 수익창출</li> </ul>                        |
| 가상발전 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 다수의 발전/수요자원을 묶어 하나의 발전소처럼 운영</li> </ul>       |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개별 발전 / 수요자원 운영 최적화</li> </ul>                |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전력 외 예비력 시장 참여</li> </ul>                     |

자료: 허준혁(2017), p.7 표 재인용



본 연구의 설문에 응한 전력 전문가들은 현재 개인정보보호법 등과 관련된 법적 제한과 경직적 시장구조로 우리나라의 전력시장이 4차 산업혁명의 신기술을 신속히 도입하기에 어려운 환경이라는 인식에 대체적으로 공감하고 있다. 또한 4차 산업혁명의 신기술들이 널리 활용되기에는 아직까지 기술개발 및 실증단계에 있는 경우가 많아 추가적인 R&D 비용 투입이 요구되며, 독과점 구조의 대형 발전사라 하더라도 경영의 공공성 문제를 감안했을 때 투자 리스크를 무시하고 대규모 기술 및 인프라 투자를 추진하는 것이 쉽지 않은 상황이다.

이러한 측면에서 현재의 전력시장을 보다 자유화하는 이슈에 대해서도 전문가들 간 이견이 존재하고 있다. 즉, 규모의 경제를 활용하여 독과점 구조에서 R&D를 더욱 강화해야 한다고 평가하는 전문가들이 있는 반면, 경쟁을 보다 활성화시켜 민간의 참여를 유도해야 전력산업의 패러다임 전환이 촉진된다고 주장하는 전문가들도 있다. 이견이 크게 나누어지는 이슈인 만큼, 이제는 우리나라 전력산업이 4차 산업혁명에 직면하여 지나치게 신중한 관망세를 유지하기보다 과감한 변혁을 결정하고 추진해야하는 변곡점에 처했음을 인지해야 할 것이다.

그러나 4차 산업혁명 패러다임 전환에 발맞추어 보다 자유화된 전력시장으로 나아가는 데 있어서의 사회경제적 비용 크기를 산정하는 것은 매우 어려운 문제다. 결국 일부 전문가들은 산업구조의 변화에 소요되는 비용 크기를 감안할 수 없거나, 신기술의 미래 활용가치에 비해 산업구조 변화 비용이 너무 크므로 현 전력산업구조를 점진적으로 개편해가는 방식을 추천하기도 한다.

다만 우리나라의 IT 기술 역량에 대해서는 거의 모든 전문가가 그 우수성을 인정하고 있으므로 4차 산업혁명 신기술 도입을 위한 제도

적 지원만 이루어진다면 신기술의 응용 및 적용을 통한 전력산업 구조개편이 촉진될 것이며, 결과적으로 우리나라 전력산업의 미래는 밝을 것으로 전망된다. 따라서 ‘정책제도 개선’과 ‘기술 관련 R&D 투자 확대’ 중 무엇이 먼저 4차 산업혁명 시대 전력산업 개편의 방아쇠 역할을 할 것인지는 무의미한 논쟁이며, 정책 개편과 기술 투자가 동시에 이루어져 상호 개선을 이끌어내는 선순환 구조를 만들 필요가 있을 것이라고 전문가들은 지적하고 있다.

## 제6장 국내 전력부문의 대응방향

### 1. 전력사업자의 전략 모색

사물인터넷, 인공지능, 빅데이터 등 4차 산업혁명 시대 혁신적 기술의 확산과 에너지전환정책의 추진으로 인해 미래 전력산업의 모습은 현재와는 큰 차이를 보일 것이 분명하다. 하지만 혁신적 기술의 확산 속도에 대한 정밀한 예측에는 한계가 있으며, 우리가 현 단계에서 그럴 수 있는 미래 전력산업의 모습도 명확하지는 않다. 이제까지 유지해온 대규모 발전소 중심의 현행 중앙집중형 전력공급시스템이 한 순간에 새로운 모습으로 바뀔 것으로 전망하기는 힘들다. 비트코인 투자 광풍을 불러왔던 블록체인 기술의 경우 에너지 분야 특히 전력산업에서의 이용에는 한계가 있어 보인다. 아직까지 블록체인 기술의 상용화가 전력산업에서 획기적으로 이루어지지 않고 있으며, 투자 대비 수익을 고려할 때 비즈니스 모델로 채택하는 데 어려움이 있는 것도 사실이다. 따라서 4차 산업혁명이 전력산업에 가져올 위협요소와 기회에 대한 엄밀한 분석을 바탕으로 전력사업자의 대응전략을 모색하는 것이 필요하다. 기존 시장에서 사업을 영위하고 있는 기업들과 함께 전력산업에서 새로운 수익원을 찾고 있는 신규 사업자를 포함하여 고려하는 것이 중요하다. 그리고 대응전략을 모색함에 있어 해외 전력사업자의 전략과 변화 과정을 살펴보는 것도 의미가 있다.

우선 4차 산업혁명 시대에 전력산업이 직면하게 될 위협요소를 살펴보자. 첫째, 재생에너지를 중심으로 한 분산전원 운영에 따른 불확

실성의 증대이다. 기존의 안정적이고 일정한 형태의 전력망 운영 관점에서 보면 분산전원을 통한 전력공급으로 불확실성이 높아지게 된다는 것이다. 특히 간헐성이 있는 재생에너지 기반의 분산전원이 전력계통에 들어오게 되면 전력계통의 신뢰도가 떨어지게 되고, 전력공급의 불확실성을 대비하기 위해 양수나 가스터빈 등 유연성 자원이 필요하게 되는 것이다. 둘째, 분산전원이 확대되면서 전력망으로부터의 이탈(off-grid)이 늘어나게 된다. 태양광과 에너지저장장치가 결합된 마이크로그리드 형태의 분산형 전력시스템이 확대되면 기존 전력망으로부터 독립하려는 소비자가 증가하게 된다. 소비자 입장에서는 분산전원의 유지 및 관리 비용이 중앙전력망에서 전력을 공급받는 것 보다 저렴하게 되면 전력망을 이탈할 것이다. 이러한 기존 전력망에서 이탈하는 소비자가 늘어나게 되면 중앙집중형 전력망으로부터 공급받는 소비자들에게 더 많은 요금이 부과되는 악순환이 이어지게 된다. 셋째, 정보의 비대칭성을 들 수 있다. 전력시장에서 발생 가능한 정보의 비대칭성은 에너지 스케줄과 에너지가격 및 전력조류 측면에서 발견할 수 있다. 특히 배전전압에 연결된 분산전원과 부하에 의한 전력의 투입과 소비에 대한 실시간 예측과 스케줄에 관한 정보가 필요하게 된다. 마지막으로 전력서비스에 요구되는 반응 속도는 최소한 1초 단위이다. 앞으로 정확한 시간과 위치 정보 데이터가 중요하게 되며 이를 가격 및 요금에 반영할 필요가 있는 것이다.<sup>139)</sup>

다음은 4차 산업혁명이 진행됨에 따라 나타나는 전력산업에서의 기회요인을 살펴보자. 우선 전력망에서의 기회요소는 변동비가 거의 영에 가까운 더 많은 분산전원의 유입으로 가격경쟁력을 확보할 수 있

139) 대표적으로 전기자동차의 충전 시 이러한 시간과 위치 정보 데이터가 큰 역할을 하게 될 것이다.

다. 에너지원의 집합화(aggregation)와 에너지 믹스 재편이 가능하게 된다. 또한 보다 정확한 수요와 공급 예측의 필요성이 증대하며, 중요한 순간에 에너지를 절감할 수 있는 소비자를 확보하는 것이 필요하게 된다. 그리고 양방향 거래가 가능한 전력조류 설계 및 혼잡 회피가 가능하며 능동적 네트워크 관리를 위한 송배전망 관련 투자가 확대될 것이다. 이러한 전력망에서의 기회요소는 전력망이 4차 산업혁명 혁신기술의 도움으로 디지털화, 스마트화 해서 생기는 일들이다.<sup>140)</sup> 둘째로 전력시장에서의 기회요소다. 이웃 간 전력거래(P2P 전력거래)가 확대되면서 보다 응용된 형태의 전력거래 유형이 시장에 나타날 가능성이 높아지고, 이와 관련된 새로운 비즈니스 모델의 개발 및 운영도 가능하게 된다. 기존 에너지 중심의 시장에서 에너지와 용량, 예비율, 부가서비스가 통합된 시장으로 전환될 것이다. 유연성 자원에 대한 적절한 인센티브 제공으로 유연성 자원 확보가 가능한 시스템을 구축해야 한다. 이러한 전력시장 재편에 따른 규제와 시장규칙의 재구성이 요구된다. 4차 산업혁명의 신기술을 수용하고 투자가 확대될 수 있도록 하는 환경을 조성해야 한다. 셋째로 기술 측면에서 기회요소를 살펴보면 다음과 같다. 정보통신기술의 발전과 도입 촉진으로 전력부문의 효율향상을 기대할 수 있다. 따라서 전력사업에서 비용과 리스크가 감소될 것이다. 또한 사물인터넷을 활용한 플랫폼의 구축을 통해 타 산업과의 상호운용성이 확대될 것이다. 4차 산업혁명 신기술로 인해 전력산업의 친환경 설비 및 인프라 구축에 결정적인 기여를 할 수 있다. 끝으로 소비자 측의 기회요소이다. 신기술의 도움으로 가격에 반응하는 능동적 수요가 더 많이 나타나게 된다. 합리적인 에너지 소비

140) 전력망에서의 기회요소는 스마트 그리드 관련 투자 확대와 스마트 그리드 구축의 효과와 별반 차이가 없다.

를 통해 삶의 질이 향상되고 에너지비용을 절약할 수 있을 것이다. 계량이 되지 않는 소비단계의 수요 패턴 변화에 대한 비즈니스 모델이 나타나게 되고, 프로슈머의 등장으로 고객과 전력망 간의 동적 관계를 제어하는 비즈니스가 활성화될 수 있을 것이다.

지금까지 사물인터넷, 인공지능, 빅데이터, 클라우드 등 4차 산업혁명 신기술이 전력산업에 결합되면서 생기는 위협요소와 비즈니스 기회에 대해서 간략하게 서술하였는데, 이러한 사업여건 변화에 대한 전력사업자의 대응방안을 살펴보자. 4장에서 전술한 해외 전력회사의 대응전략은 크게 두 가지로 구별된다. 4차 산업혁명 신기술을 적극 수용하여 전력회사 2.0(Utility 2.0) 전략을 펼치거나 기존 사업역량을 바탕으로 국제화 전략을 전개하는 것이다. 전력회사 2.0 전략은 4차 산업혁명의 혁신기술을 수용하여 디지털화, 스마트화되고 자산관리와 정보관리에 주안을 둔 형태로 진행되고 있다. 그리고 국제화 전략의 경우에도 재생에너지 혹은 화석연료 중심으로 해외시장에 진출하고 있다.

국내 전력회사도 4차 산업혁명 기술을 적극 도입하고 있다. 동서발전은 발전 Industry 4.0을 추진하여 발전소 설계·건설에서 연료조달·연소, 발전설비 감시·진단·예측·정비의 발전운영 전 과정을 자동화하여 최적화 하는 솔루션을 구축한다는 계획을 추진 중이다. 특히 신규 당진발전소를 스마트공장으로 만들겠다는 비전을 제시하였다. 남부발전에서도 제주도에 건설하게 될 LNG발전소를 스마트 공장으로 추진하고자 한다. 한전은 전력 빅데이터 센터를 설립하여 소비자의 소비 데이터를 활용한 새로운 비즈니스를 모색하고 있다. 최근 본격화되고 있는 스마트시티의 해외 추진 경험에 의하면 초기에는 스마트 그리드

중심으로 시작하였다가 이후 스마트시티로 확장하여 통합플랫폼을 구현하고 있다. 이는 스마트 그리드 구축 경험을 지닌 한전과 같은 전력회사가 스마트시티 프로젝트 추진에 강점을 지니고 있음을 의미한다. 전력회사는 에너지, 전기자동차 충전, 포함한 교통관리, 사물인터넷 네트워크, 보안, 보건 등의 서비스를 결합하면서 공간적으로 확대해나 가면 스마트시티 건설에 기여할 수 있을 것이다. 국가 스마트시티 추진전략에 따라 국가 시범도시로 추진되는 세종시의 경우 에너지와 교통이 가장 핵심적인 사업이므로 국내 전력회사의 역할이 기대되는 곳이다.<sup>141)</sup>

그리고 전력산업에 관심이 있는 다양한 민간사업자들이 새로운 기술을 기반으로 비즈니스 모델을 적용하고 있다. 대표적인 사례로 통신회사인 KT는 에너지관제센터(KT-MEG Center, KT-Micro Energy Grid Center)를 개설하고 정보통신기술에 에너지 통합 운영관리 시스템을 접목하여 재생에너지 생산, 에너지 효율화, 전기자동차 충전, 수요자원 운영 등 다양한 맞춤형 서비스를 제공하고 있다.<sup>142)</sup> 에너지관리센터는 장애, 과열, 먼지 등 재생에너지 발전효율을 떨어뜨리는 원인을 실시간으로 분석해서 발전량을 극대화하고 실시간 원격 장애 대응을 통해 긴급 장애 복구서비스를 제공한다. 또한 에너지 시설의 최적 운영을 통한 에너지 비용 절감 및 안정적 운영이 가능하도록 하며, 이를 위해 지능형 빅데이터 분석 기술을 활용한다. 그리고 전기자동차

141) 국내 스마트시티 사업은 국가 시범도시, 혁신도시 선도모델, 국가전략 프로젝트, 도시재생 뉴딜, 테마형 특화단지의 5가지 형태로 추진된다(관계부처 합동(2018), pp.7~13 참조).

142) 2015년 1월 경기도 과천에 설립한 에너지 관제센터는 세계 최초로 에너지의 생산-소비-거래를 통합해 관제할 수 있는 곳으로 현재 약 1,700여 개 사이트를 실시간 통합 관제하고 있다(KT그룹 블로그(2015.12.1.), “ICT 기술로 에너지 관리하는 kt 에너지 관제센터”, <http://blog.kt.com/295>, 접속일자 2018.7.1.).

이동형 충전, 수요자원 운영 중 급전지시 발령 예보 서비스도 제공한다. 앞으로 에너지저장시스템, 스마트 미터기 등 에너지 솔루션을 추가해서 시스템을 확대하고 개방형 플랫폼으로 키워나갈 계획이다.

Mckinsey(2018)는 전력회사가 디지털변환을 성공적으로 수행하기 위해서는 전사적 추진, 고객 지향적 문화, 민첩한 업무 프로세스, 유연한 IT 인터페이스 환경, 빅데이터 분석 및 자동화 구현이 필수적이라고 제시하였다. 디지털변환의 핵심은 빅데이터 분석과 인공지능의 활용이며, 가치 있는 데이터를 확보하고 가공하여 서비스 개선에 적용함으로써 더 많은 사용자와 데이터를 유인하는 순환구조를 구축하는 것이 중요하다.

〈표 6-1〉 디지털변환의 성공 요인

| 전사적 디지털화 추진                                                                                                                                           | 고객 지향적 문화 수용                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- 특정 사업영역이 아닌 조직 전체의 관여 필요(IT 부서의 단독추진은 실패가능성 높음)</li> <li>- 고위경영진의 의지와 명확한 지시가 필수적</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다양한 고객니즈에 대응하여 고객별로 최적화된 서비스 제공</li> <li>- 고객과의 접점에서 고객 목소리와 행동 파악</li> </ul>                   |
| 민첩한 업무 프로세스로의 변화                                                                                                                                      | 유연한 IT 인터페이스 환경                                                                                                                          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- 솔루션 도출을 위해 단기간 내 몰입 가능한 다기능 프로젝트 팀(cross-functional team) 활성화</li> <li>- 전문성을 갖춘 외부 사업자와의 파트너십 강화</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 모듈화된 시스템 구성 및 운영으로 빠르게 변화하는 IT 환경에 대처</li> <li>- 사용자 활용도가 높은 소프트웨어 우선 업데이트</li> </ul>           |
| 빅데이터 분석 인프라와 활용능력                                                                                                                                     | 확장 가능한 자동화 구현                                                                                                                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- 비즈니스 관점에서의 빅데이터 분석 역량 확보</li> <li>- 고급 분석역량과 상업적 통찰력을 지닌 인재 유치</li> <li>- 체계적인 데이터 관리를 위한 업무체계 확립</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 단순 반복적 업무를 자동화로 대체, 고차원적 업무에 인력 투입하여 인력운영 효율성 제고</li> <li>- 한계비용을 최소화하면서, 자동화 단계적 확장</li> </ul> |

출처 : Mckinsey(2018); 이슬아 외(2018, p.8) 표 재인용



## 2. 국내 법·제도의 개선사항 도출

이상에서 논의한 4차 산업혁명 시대에 부합하는 전력사업자의 대응 전략이 제대로 실현되기 위해서는 법적·제도적 개선이 필요하다. 즉 전력산업에 4차 산업혁명 기술이 적용되고 새로운 비즈니스 모델이 확산되기 위해서는 사업여건의 조성이 우선되어야 하는 것이다. 특히 규제완화, 가격기능 정상화, 전력시장 개편, 연구개발 확대, 보안 강화 및 표준화 추진 등이 시급하게 필요하다.

### 가. 규제완화

4차 산업혁명은 기술 간, 업종 간, 기업 간, 국가 간, 특히 가상공간과 현실공간의 경계가 무너지고 융복합이 일상적으로 일어나는 것이 특징이다. 융복합으로 가상-현실 경계가 모호해진 가상현실(VR)과 증강현실(AR)이 산업현장과 사회생활 전반에 확산되고 있다. 제조업과 서비스업의 경계를 넘어선 자율주행차가 시험운행 중이며 가까운 장래에 널리 보급될 전망이다. 인공지능과 빅데이터로 무장한 자율주행차의 보급이 확대되면 엄청난 격변이 나타날 것이다. 석유에서 전기로의 수송용 에너지의 변화, 전통적 에너지기업의 위기, 인간과 기계간의 노동 대체, 일과 생활 패턴의 변화, 도시 인프라의 변화 등 일일이 지적하기도 어려운 환경의 변화를 겪게 될 것이다.

4차 산업혁명에 따른 환경변화에 적극 대응하고 새로운 비즈니스 모델의 확산을 위해서는 규제완화가 필요하며, 규제의 불확실성을 해소하기 위해 ‘규제개혁을 위한 기본원칙(가이드라인)’을 제정하는 것이 중요하다.<sup>143)</sup> 첫째, 진입규제 완화, 독과점 해소를 시장경합성을 제

고한다. 둘째, 갈등 이슈와 관련된 담론의 형성과 타협, 시범사업이나 보험제도의 적극적 활용을 통해 사회적 합의 기능을 제고한다. 셋째, 불필요한 비용은 줄이되 전체 시스템의 지속가능성을 제고하기 위해 개인편익과 공공가치의 조화를 이룬다. 넷째, 창의적 아이디어는 중시하고 무임승차는 방지하는 등 무형가치에 대한 인식을 제고한다. 다섯째, 복잡한 규제 적용보다는 규제체계를 단순화하여 적용한다. 여섯째, 갈라파고스적 규제체계를 탈피하도록 글로벌 규제체계와의 정합성을 제고한다.

이러한 규제개혁의 기본원칙에 따라 규제특성에 맞는 유형별 전략을 수립하고 규제개선 프로세스의 선진화를 도모한다. 또한 사전 타당성 평가와 사후 영향평가를 강화하고, 다양한 정책 수단을 동원하여 실효성을 제고한다. 예를 들면 규제유예제, 규제일몰제 등 기존 규제개선 수단을 적극적으로 활용한다. 규제개선 로드맵을 작성하거나 규제영향평가의 실효성 제고를 위한 수단을 강구하는 것도 필요하다.

한편 기존의 규제체계와 법제도가 오프라인 중심으로 설계되어 있으므로 이에 대한 변화가 필요하다. 제조업과 서비스업의 경계가 사라지게 되어 전통 산업의 혁신과 성장 동력을 찾기 위해 연계성을 강화하는 제도적 개선 노력도 필요하다. ICT 융복합에 따른 새로운 패러다임의 효과적 활용을 위해서는 지속적 혁신이 가능한 법제도로의 개선과 규제의 유연성 확보에 힘써야 한다.<sup>143)</sup> 포괄적 네거티브 규제방식으로 대전환하는 것이 필요하다. 신산업 및 신기술 분야는 ‘사전 허

---

143) 해당 내용은 “이광호, 「4차 산업혁명과 규제개혁」, 『제4회 과총 과학기술혁신정책포럼 발표자료』, 2017. 11. 21.”에서 인용

144) “백수현, 「과학기술과 사회발전」, 『과학기술과 사회발전 연구회 추계토론회 발표자료』, 2017.9.29.” 내용을 바탕으로 정리

용’ 그리고 ‘사후 규제’를 시행한다. 자율주행차, 드론, 맞춤형 헬스케어의 경우 시범사업에는 규제 샌드박스 제도를 적용해 볼 필요가 있다.<sup>145)</sup>

최근 논의되고 있는 4차 산업혁명 촉진을 위한 규제혁신 관련 법률로 행정규제기본법, 정보통신융합법, 산업융합촉진법, 금융혁신지원특별법, 지역특구법이 있는데 이 가운데 전력산업과 연관성이 가장 높은 산업융합촉진법에 대해 간략하게 살펴보자.<sup>146)</sup> 인공지능, 빅데이터, 사물인터넷 등 혁신기술 기반의 융복합 가속화로 기존 법제도의 테두리를 벗어난 융합 서비스와 제품이 등장하고 있으므로 혁신적 융합 서비스와 제품의 시장 진입을 가능하게 하여 산업경쟁력을 제고할 필요가 있다. 이러한 배경에 따라 발의된 동 법률안에는 신속확인 제도 신설, 규제특례 제도 도입, 임시허가 제도 신설 등의 주요내용이 포함되어 있다.<sup>147)</sup> 동 법에 따르면 새로운 기술을 활용하여 사업을 하려는 경우 해당 서비스 또는 제품과 관련된 허가 등의 필요 여부 등을 신속하게 확인할 수 있으며, 새로운 서비스나 제품에 대해 허가 근거가 되는 기준·규격·요건이 없는 경우 임시허가 신청을 하거나 제한된 지역·규모·기간 안에서 규제의 전부 또는 일부를 미적용 받는 규제특례 신

---

145) 규제 샌드박스 제도는 신산업, 신기술 분야에서 새로운 제품, 서비스를 내놓을 때 일정 기간 동안 기존의 규제를 면제 또는 유예시켜주는 것이다. 사업자가 새로운 제품, 서비스에 대해 규제 샌드박스 적용을 신청하면 법령을 개정하지 않고도 심사를 거쳐 시범 사업, 임시 허가 등으로 규제를 면제, 유예해 그동안 규제로 인해 출시할 수 없었던 상품을 빠르게 시장에 내놓을 수 있도록 한 후 문제가 있으면 사후 규제하는 방식이다(네이버 지식백과, “규제 샌드박스”, <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=4294278&cid=43667&categoryId=43667>, 접속일자 2018.7.1.).

146) 김정욱(2018, pp.2~8) 내용을 바탕으로 정리하였으며, 규제혁신 5법 가운데 정보통신융합법, 산업융합촉진법, 지역특구법은 2018년 9월 국회를 통과하여 국무회의 의결을 거침으로써 시행이 예고되었다.

147) 산업융합촉진법 일부개정법률안(홍익표 의원 대표발의), 2018.3.6. 참조

청이 가능하게 된다.<sup>148)</sup>

규제완화 관련 전력산업에서 가장 큰 이슈는 한전의 독점적 지위를 어떻게 처리하느냐의 문제이다. 4장에서 이미 지적한대로 소매경쟁의 도입으로 소비자의 선택권을 확대하고 판매사업의 독점권을 없애자는 것이다. 4차 산업혁명의 기술 확산과 청정에너지 미래로의 전환을 위해 가장 적합한 전력산업 구조가 무엇인지에 대한 일치된 견해는 없다. 그러나 신규 사업자가 전력사업 관련 새로운 비즈니스를 개시하고자 하는 경우 진입장벽을 제거하고 적극적으로 사업을 펼칠 수 있도록 장려해 주는 것이 필요하다.<sup>149)</sup>

앞서 언급한 도매시장의 개편방향과 함께 소매시장의 개편 역시 중요한 부분이다. 통신시장이 공공부문 독점 시장에서 민간 개방을 통한 경쟁시장으로 변모한 사례가 전력소매시장 개방의 모습을 살펴보는 데 도움이 될 수 있을 것이다. 복수 사업자의 등장은 다양한 요금제를 통한 소비자선택권 증가, 인터넷, 전화, TV 등을 결합한 결합상품 출시, 경쟁을 통한 소비자 편익 증대 등을 기대할 수 있다. 4차 산업혁명의 주제가 민간이라는 점에서 민간의 전력시장 참여를 위한 소매시장 개방은 필수적인 전력시장의 개편 대상일 것이다.

---

148) 산업융합촉진법 일부개정법률안(홍익표 의원 대표발의), 2018.3.6. 참조

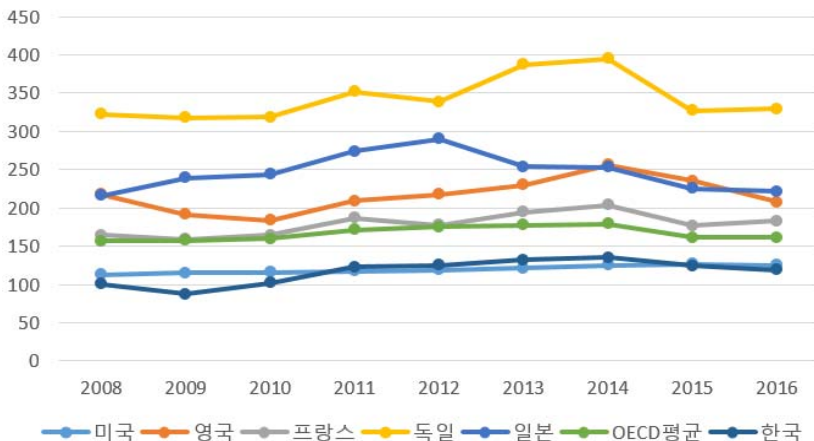
149) 가장 최악의 시나리오는 시장자유화를 위한 독점권 폐지에 집중하다가 또 다른 정치적 소용돌이 속으로 빠져들게 되는 것이다. 따라서 신규 사업자의 전력 판매시장 진입을 일부라도 허용하여 스타트업이 혁신할 수 있는 사업 환경을 조성해 주는 것이 중요하다.

## 나. 요금제도 개편

정부가 시장 개입을 통해 도매시장 가격을 시장 균형가격 보다 낮게 형성하거나, 도매시장 가격이 소매시장 가격에 제대로 반영되지 못하게 경직적으로 전기요금을 책정하는 환경에서는 ‘혁신을 통한 기업 서비스 비용 감축’과 ‘이윤이 창출되는 자생적 비즈니스 모델 개발’이 어렵다. 특히 4차 산업혁명 주요 기술의 도입을 바탕으로 에너지전환에 박차를 가하기 위해서는 수급여건이 적절히 반영되는 ‘유연한 가격체계’를 구축함과 동시에, 효율적 자원배분을 달성할 수 있는 ‘시장기능의 정상화’가 무엇보다 필요하다.

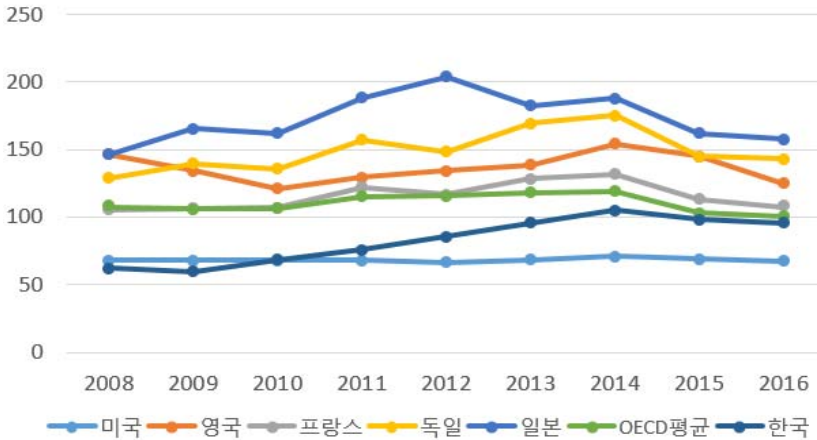
IEA 자료에 근거하여 2008년부터 2016년까지 주요국의 전기요금 추이를 비교해 보면 우리나라 전기요금은 OECD 주요국(미국 제외) 대비 낮은 수준이며, 특히 가정용 전기요금은 OECD 평균보다도 낮게 유지되고 있다.

[그림 6-1] OECD 주요국 가정용 전기요금 추이(USD/MWh)



자료: IEA(2017a, p. 340)의 자료 활용, 소진영 외(2017, p.35) 재인용

[그림 6-2] OECD 주요국 산업용 전기요금 추이(USD/MWh)



자료: IEA(2017a, p. 340)의 자료 활용, 소진영 외(2017, p.35) 재인용

각국의 전기요금은 부존자원, 자연환경, 전원믹스, 발전연료, 송배전망의 투자 정도, 조세, 사업자에게 허용되는 수익률 수준 등 다양한 요인이 공급비용에 반영되어 결정된다. 또한 전력시장의 경쟁 정도와 친환경 전원에 대한 정부의 보조금 수준도 크게 작용한다. 전기요금을 결정하는 이러한 다양한 요인 가운데 우리나라가 OECD 주요국에 비해서 절대적으로 유리한 점은 발견하기 어렵다. 그럼에도 불구하고 우리나라의 전기요금은 산업경쟁력 유지 차원에서 정책적으로 낮게 유지되고 있는 것이다. 최근 폭염에 의한 전기요금 누진제 관련 여론 악화에 따라 2년 전에 대폭 완화된 누진제 요금을 한시적으로 할인해 주는 기이한 사태가 발생하였다.

전력시스템의 효율을 높이고 자발적인 비즈니스 모델 개발을 장려하기 위해서는 가격기능을 정상화하고 다양한 소매 요금제를 허용하는 것이 필요하다. 기존의 인위적인 도매시장의 가격결정 방식을 탈피

하여 수요와 공급에 의한 가격 결정 및 효율적인 자원배분이 가능하도록 하는 가격시스템을 구축해야 한다. 그리고 소매요금제의 다양화를 통해 수요반응 자원을 확보하고 다양한 비즈니스 모델 개발을 유도하여 신규사업자가 전력시장에 진출할 수 있는 여건을 조성해주는 것이 요구된다.

현재 가정용 전기소비가 차지하는 비중은 13% 수준에 그치고 있지만 전기요금의 경직성을 탈피하기 위해서는 가정용 사용시간대별 차등(TOU, time-of-use) 요금제 도입을 검토하는 것도 하나의 방안이다. 그리고 전기요금 결정의 투명성, 공정성을 확보하기 위한 방안으로 전기요금 결정을 심의하는 전기위원회를 독립기구로 만드는 것이다. 이는 전기위원회 설립 당시부터 논의가 있었지만, 아직도 규제기능과 정책기능이 독립하지 못하고 있는 현실을 타개하는 적극적인 거버넌스 개편 방향이 될 것이다.<sup>150)</sup>

#### 다. 전력시장 개편

재생에너지 보급 확대에 따른 전력계통 신뢰도 제고와 다양한 유연성 자원을 확보하기 위해서 현행의 전력시장을 개편하는 것이 필요하다. 우선 현재의 전력시장은 에너지 중심의 시장으로 운영되고 있는데, 예비력과 에너지를 통합하여 운영하는 것이 중요하다. 이는 간헐성 재생에너지 발전원이 계통에 많이 연결됨에 따라 예비력에 대한 가치가 점점 중요해지고 있는 시장 현실을 감안한 것이다. 또한 태양광과 풍력 등 재생에너지 발전이 증가함에 따라 미국 캘리포니아의

---

150) 전기위원회의 독립성 확보는 전기요금이 정책적으로 결정된다는 소비자의 우려를 불식시키는 대안이 될 것이다.

오리 모양 부하곡선(duck curve) 문제나 독일 도매전력시장에서 종종 나타나는 음(-)의 시장가격 문제 등에 대응하기 위해서 현행 하루 전(day-ahead) 시장에서 15분 혹은 5분 단위의 실시간 시장으로 개편하는 것이 필요하다.<sup>151)</sup>

또한 유연성 제공 자원에 대한 적절한 보상을 제공하기 위해 현행 비제약 가격제도에서 제약기반 가격제도로 이행하고 정산주기를 단축하는 것도 중요하다. 전력시장가격은 실제 운전제약을 전부 반영한다는 원칙이 있지만 여전히 시장가격결정에 반영되지 않는 급전요소가 많아 비효율성이 지적되고 있다. 미국의 캘리포니아 전력계통운영자(CAISO)나 뉴욕 전력계통운영자(NYISO)는 5분 단위 실시간 시장 거래와 5분 단위 결제로 급전유연성에 대해 적정 보상을 시행하고 있다.<sup>152)</sup> 국내 전력시장에서도 정산주기 단축을 위한 시장제도 개편이 요구된다.

마지막으로 재생에너지 3020 이행계획에 따라 대규모 재생에너지 발전단지가 조성되기도 하지만 소규모 태양광 발전의 확산도 동시에 진행되고 있다. 소규모 재생에너지원의 공급량, 소비량에 대한 분석을 바탕으로 중앙전력시스템에서 공급 감축량이 어느 정도인지에 대한 영향을 파악하는 것이 중요하다. 즉 재생에너지 기반 분산형 전력시스템이 확산되는 경우 탈중앙전력시스템(off-grid)에 대한 영향을 시장운영자(전력거래소)는 인지하고 있어야 한다.

---

151) 실시간 시장은 대개 5분 단위로 실제 전력계통 여건을 반영하여 전력 가치를 결정하는 시장을 의미한다. 발전사의 계획발전을 초과하는 발전량은 실시간 시장에서 결정되는 가격을 적용하여 정산하고, 미달하는 발전량은 실시간 시장 가격으로 구매한다. 한편 계획발전을 준수하는 물량은 1일전 시장에서 형성되는 가격으로 정산한다.

152) PJM과 MISO의 경우 급전주기는 5분 단위이고 정산주기는 한 시간 단위인데, 정산주기를 5분 단위로 단축할 예정이다.



## 라. 융복합 연구개발 확대와 실증·시범사업 추진

지능형 에너지시스템으로의 전환을 위해서는 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 클라우드 등 4차 산업혁명과 관련된 기술의 개발과 더불어 에너지시스템과의 융복합 기술개발 및 보급이 필요하다. 전기 에너지 공유 및 거래 관리에 활용 가능한 정보통신기술로는 지능형 수요반응, 빌딩에너지관리시스템(BEMS), 에너지 서비스 제공을 위한 개방형 건물에너지관리 프레임워크 기술 등이 있으며, 지속적으로 기술개발이 이루어지고 있다.

친환경 에너지시스템으로의 전환을 위한 종합적인 4차 산업혁명 기술개발계획을 수립, 이행하고 이를 주기적으로 업데이트하는 것이 필요하다.<sup>153)</sup> 또한 산재해 있는 에너지 부문 4차 산업혁명 관련 기술개발계획 및 에너지시스템 융복합 기술개발계획에 대한 종합적인 평가 및 검증이 시급하다.<sup>154)</sup> 이미 이행 중인 기술개발 추진 프로그램들의 기술 항목, 추진 현황 및 성과 평가를 통해 기술 중복 또는 누락 항목을 확인하는 한편, 기술개발의 우선순위와 개선방향도 도출해야 할 것이다.<sup>155)</sup> 그리고 사물인터넷, 빅데이터, 클라우드 등 4차 산업혁명 관련 기술개발과 에너지시스템 융복합 기술개발을 연계한 종합적 기술개발계획 및 로드맵 수립과 이행이 요구된다.<sup>156)</sup>

다음으로 에너지 생산부터 소비까지 전 과정의 효율성 제고를 위해

---

153) 소진영 외(2017), pp.26~27 참조

154) 장운중(2017b, p.865); 정부의 “에너지 신산업 활성화 및 핵심기술 개발전략 이행계획(2015)”, “제1차 지능형 전력망 기본계획(2012)”, “2013년도 지능형전력망 시행계획(2013)” 등에서 4차 산업혁명 기술개발계획에 대한 전반적인 내용을 다루었다.

155) 장운중(2017b), p.865 참조

156) 장운중(2017b), p.865 참조

사물인터넷 공통플랫폼을 구축하고 스마트그리드, 스마트미터와 연동하는 것이 필요하다.<sup>157)</sup> 기존 전력망에 스마트미터기의 보급, 에너지 소비데이터 분석모형 구축을 통한 수요 분석 및 예측, 최적 믹스 도출 등 소비와 공급을 효율적으로 연계하는 수급체계를 구축하는 것이다. 그리고 에너지 사물인터넷 공통플랫폼에 교통, 스마트홈, 기상, 환경 등 다른 사물인터넷 서비스와 데이터 정보를 공유하는 시스템을 구축하는 것이 필요하다. 이종의 사물인터넷 서비스 간 데이터 및 정보 교류를 원활하게 하고 상호운용성(interoperability)의 제고를 통해 민간에 의한 다양한 서비스 및 애플리케이션 개발이 용이한 환경을 구축하는 것이 중요하다. 그리고 에너지시스템 관련 국가 시범사업, 보급사업, 실증단지 등을 확대하여 사업자의 생태계를 구축하고 참여기업 간 정보 및 사업 경험을 공유할 수 있도록 장려할 필요가 있다.<sup>158)</sup>

#### 마. 보안 강화 및 표준화 추진

전력산업에 4차 산업혁명 주요 기술이 도입되면서 전력설비의 운영 및 유지 보수의 자동화가 가능해진 반면 외부로부터의 침해에 대한 보안 이슈가 한층 중요하게 대두되고 있다. 발전소 내 제어시스템 등 주요시스템은 국가적으로 중요한 시스템이므로 정보통신기반보호법에 의하여 “주요정보통신기반시설”로 지정되어 있으며 보안 관리를 철저히 수행하고 있다. 하지만, 4차 산업혁명 시대를 맞이하여 발전소의 운전 및 정비 등에 빅데이터를 활용하게 되고, 재생에너지를 이용한 발전 요구에 따라 마이크로그리드 형태로 외부 정보연계가 불가피하

---

157) 장윤종(2017b), p.869 참조

158) 장윤종(2017b), p.867 참조

게 되었다. 따라서 발전소 주요시스템의 사이버 안전성 강화를 위한 정책 수립, 기술 적용 및 안전한 운영 등이 중요하다.

한편 소비자 데이터의 이용 증대는 새로운 비즈니스를 개발하려는 사업자에게는 기회가 되지만 개인 정보의 노출이라는 위협요소가 있다. 개인 정보의 보호와 이용 확대 사이에는 상충되는 이해관계가 존재한다. 따라서 개인정보를 비즈니스에 활용할 수 있는 여건을 마련해 주되 개인정보 보호를 철저하게 이행하지 못해 발생하는 사고에 대해서는 엄중한 처벌을 하는 규제를 두는 것이 바람직하다고 판단된다. 정보주체의 기본권과 이익을 보호하면서 개인정보 교류 활성화를 기반으로 사업을 영위하는 기업들이 올바른 방향으로 나갈 수 있도록 EU는 개인정보보호지침(Data Protection Directive)을 대체하는 일반 개인정보보호규정(General Data Protection Regulation, GDPR)을 마련하였다.<sup>159)</sup>

4차 산업혁명으로 사람, 사물, 공간 등이 인터넷을 매개로 빈틈없이 연결되어 정보의 생성, 수집, 공유 및 활용이 이뤄지는 ‘초연결사회’로 진화하고 있다. 컴퓨터나 인터넷 영역뿐만 아니라 인터넷 등을 매개로 하는 모든 것(사람, 사물, 공간)을 대상으로 사이버보안의 범위가 넓어지면서 4차 산업혁명 시대 사이버 보안 관련 발전소 제어시스템, 태양광/풍력 발전 시설과 같은 재생에너지 발전 시스템, 스마트 TV, 스마트 자동차, 의료 기기, 그리고 IoT 기기 등 다양한 분야에서 해킹이 이슈가 되고 있다. 정보보호 패러다임의 변화로 인공지능, 빅데이터,

---

159) EU 지침(Directive)은 회원국 자체 법률에 의해 보다 구체화되어야 효력이 발생하는 반면, 규정(Regulation)은 발효되는 즉시 효력을 갖기 때문에 개인정보 보호지침 보다는 일반개인정보보호규정이 산업계에 미치는 영향이 크다. 관련 규정 위반 시 2천만 유로 또는 기업 글로벌 매출액의 4% 중 높은 쪽의 과징금을 부과하는 벌칙 조항이 포함되어 있다.

융합보안/CPS보안 영역의 정보보호 인력 양성 등이 필요하다.

다음은 4차 산업혁명 관련 신기술의 보급 확산에 유용한 표준화 이슈이다. 표준은 제품, 서비스의 품질 및 안전 기준을 제시하고 시스템 간, 산업 간, 이해관계자 간의 융합 및 연결을 가능케 하는 수단이라는 측면에서 4차 산업혁명의 성공에 중요한 요소다. 정부는 사물인터넷, 5세대 이동통신, 의료정보, 자율주행차 등 4차 산업혁명 관련 분야의 표준화를 적극 발굴한다는 계획이다.<sup>160)</sup>

정부는 2017년부터 범부처 합동으로 4차 산업혁명의 핵심요소인 고품질 빅데이터를 확보하고 산업계에 공유하기 위해 국가참조표준의 활성화 방안을 마련하고자 한다.<sup>161)</sup> ‘참조표준’은 일종의 ‘공인된 빅데이터’로, 측정된 데이터 및 정보에 대한 엄격한 신뢰도 검증을 거친 후 ‘국가참조표준’에 등록된 데이터다. 이러한 참조표준은 연구, 산업, 사회 전 분야에서 기준으로 활용 가능하다.<sup>162)</sup> 이러한 측면에서 각 부처에서 생산된 공공·기술데이터는 일정한 신뢰도를 확보한 후 국가참조표준으로 확대할 계획이다.<sup>163)</sup> 즉, 국가참조표준을 활용한 ICT 연계형 산업 지원을 위해 산업계·학계·정부기관 간 협업을 강화하려는 것이다.<sup>164)</sup>

정부의 이러한 표준화 작업이 계획대로 시행되면 국내 제조업체와 서비스업체는 4차 산업혁명 관련 활동을 시행함에 있어서 상호운용성을 보장받고 영업활동에도 많은 혜택을 받을 수 있을 것으로 기대된다. 물론 정부 차원의 표준화 선도와 더불어 민간기업의 표준화 도입과 국

---

160) 산업통상자원부(2017c), p.2 참조

161) 산업통상자원부(2017c), p.4 참조

162) 국가기술표준원(2017), p.13 참조

163) 국가기술표준원(2017), p.13 참조

164) 국가기술표준원(2017), p.13 참조

제표준 개발을 위하여 지속적으로 노력해야 한다. 유관기업 중심으로 기업 간 협력체제를 구축해 나가면서 표준화 활동도 병행해서 추진하는 것이 바람직하다. 국내의 표준화 작업 추진도 중요하지만 국제 표준화기구와의 협업을 통해 국제적인 표준화 활동에 적극 참여하는 것도 필요하다. 그리고 IIC와 같은 민간기업 주도의 협업체에 가입하여 국제 표준화를 위한 공동협력 사업에 지속적으로 참여하는 것도 중요하다.<sup>165)</sup>

---

165) 김현제 외(2017), p.119 참조



## 제7장 결 론 및 시사점

### 1. 주요 결과

본 연구는 최근 사회적, 정책적 관심이 높은 4차 산업혁명에 대해 살펴보고 특히 전력산업에 4차 산업혁명이 적용될 경우 미래의 전력산업의 변화에 대해서 전망 및 정성적 분석을 실시하였다. 현재 국내 전력산업의 현황을 볼 때 본 연구에서 도출한 4차 산업혁명이 전력산업에 미치는 영향은 다음과 같다.

첫 번째는 에너지전환과 재생에너지 발전의 보급·확대가 4차 산업혁명의 영향으로 보다 효율적으로 진행될 수 있다는 점이다. 4차 산업혁명 환경에서 모든 사물들이 정보 네트워크로 통합되면서 ① 수요자(고객)와 생산자가 네트워크로 연결되고 CPS 중심의 IT 기술이 생산설비 주변에 구축되면서, 수요에 실시간으로 반응하고 통제되는 제조설비환경이 만들어지게 되며 ②인간과 로봇이 상호 의사소통(Human-machine Interface)을 통해 공존하게 되며 ③ 4차 산업혁명 시대에는 방대한 데이터(Big Data)의 축적 및 분석/활용이 크게 확대될 것이며 ④ 각 분야의 혁신기술 간 융합으로 생산시스템의 유연화가 이루어짐에 따라 기업들은 한계비용이 낮은 대량생산 체제를 유지하면서 고객 맞춤형 제조가 가능하게 될 것이라고 전망하였다. 전력산업의 관점에서 앞서 설명된 4차 산업혁명의 특징이 가장 잘 적용될 수 있는 분야는 재생에너지 발전분야이다. 수요자와 생산자가 연결되어 수요에 실시간으로 반응하면서 인공지능(로봇)과 빅데이터 분석을

통해 전력의 생산과 운송 그리고 소비가 융합될 것이다. 태양광 발전의 효율 향상과 급격한 비용 저감은 한계비용이 낮은 대량생산 체제를 유지하면서 고객 맞춤형 제도가 가능할 것으로 전망한 4차 산업혁명의 정의와 정확하게 일치한다고 볼 수 있다.

두 번째는 재생에너지 발전의 보급·확대와 잉여전력 발생에 따른 개인 간 전력거래가 활성화될 것이라는 점이다. 첫 번째 4차 산업혁명이 전력산업에 미치는 영향이 재생에너지 발전의 보급·확대라고 할 때 개인 간의 전력거래 활성화는 재생에너지 보급 확대에 따라 자연스럽게 예상할 수 있는 또 하나의 변화이다. 그러나 전기의 물리적 특성 상 개인 간의 거래에 필수적으로 필요한 대금지급, 모니터링, 공중 등이 매우 불편한데 블록체인과 같은 4차 산업혁명의 주요 기술은 이와 같은 개인 간의 전력거래를 가능하게 해준다. 개인 간의 전력거래 활성화는 단순히 P2P 거래기술의 발전만을 의미하는 것은 아니다. 스마트그리드로 통칭되는 전력운송의 새로운 방식이 필수적인데 이는 재생에너지 발전의 간헐성으로 인한 계통 불안정성의 해소 뿐 아니라 개인 간 전력거래를 실시간으로 파악하기 위해서도 송·배전망의 기술적 발전은 개인 간 전력거래에 중요하다. 4차 산업혁명은 인공지능, 빅데이터 분석 등을 통해 보다 높은 수준의 송·배전망 운영기법을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 4차 산업혁명이 전력산업에 미치는 영향이 모두 긍정적인 것만은 아니다. 전통전원(원자력 및 유연탄발전)의 중요성 감소에 따라 기존에 전통전원을 통해 제공되던 편익 또한 점차 감소하게 될 것이기 때문이다. 대규모 발전사업은 많은 인원을 고용하여 고용창출에 기여했으며 전력생산의 관점에서는 규모의 경제를 달성함에 따라 저



럼한 전력을 공급하는 데 크게 기여했던 것이 사실이다. 또한 연료기반의 전력생산은 계통의 안정성을 높여 전체적인 전력산업의 안정성을 확보할 수 있게 해 주는 편익도 제공하고 있다. 4차 산업혁명이 온전히 달성되면(장기적 관점에서는) 에너지전환정책의 영향으로 지적되고 있는 재생에너지 발전의 고비용과 간헐성으로 인한 계통 불안정성 증가라는 부분도 해결이 되겠지만 중·단기적으로는 비용 증가와 불안정한 전력계통에 대한 위험이 큰 문제로 작용할 것이다. 물론 이런 문제는 전적으로 4차 산업혁명 때문에 발생하는 것은 아니지만 4차 산업혁명에서 언급되는 주요 기술들의 발전 및 혁신이 더디게 진행될 경우 크게 부각될 수도 있는 문제점이기 때문이다.

재생에너지의 고비용과 간헐성 문제가 해결되어 전력생산 및 소비의 중심에 재생에너지 발전이 있게 된다면 기존 전통전원 및 송·배전 설비 등에 대한 매몰자산화도 고민해야 될 부분일 것이다. 전력산업은 결국 새로운 기술과 새로운 흐름에 따라 변해야 하겠지만 그 변화 속에서 발생하는 충격을 최소화하는 방안도 미리 강구해야 할 것이다.

4차 산업혁명의 혁신적 기술 도입으로 에너지산업은 디지털화, 스마트화 되고 있으며, 화석에너지 중심의 ‘중앙 집중형’에서 재생에너지 중심의 ‘분산형’으로 에너지시스템이 전환되고 있다. 이러한 변화는 에너지산업 전반에 걸쳐 나타나고 있는데 특히 전력산업을 중심으로 다양한 비즈니스 모델과 신규 사업자가 등장하여 미래 전력산업의 모습을 전망하는 일이 한층 어려워지고 있다. 본 연구에서는 전력 전문가 설문조사를 통해 4차 산업혁명과 전력산업의 미래에 대한 진단을 실시하였다.

본 연구의 설문에 응한 전력 전문가들은 현재 개인정보보호법 등과

관련된 법적 제한과 경직적 시장구조로 우리나라의 전력시장이 4차 산업혁명의 신기술을 신속히 도입하기에 어려운 환경이라는 인식에 대체적으로 공감하고 있다. 또한 4차 산업혁명의 신기술들이 널리 활용되기에는 아직까지 기술개발 및 실증단계에 있는 경우가 많아 추가적인 R&D 비용 투입이 요구되며, 독과점 구조의 대형 발전사라 하더라도 경영의 공공성 문제를 감안했을 때 투자 리스크를 무시하고 대규모 기술 및 인프라 투자를 추진하는 것이 쉽지 않은 상황이다.

이러한 측면에서 현재의 전력시장을 보다 자유화하는 이슈에 대해서도 전문가들 간 이견이 존재하고 있다. 즉, 규모의 경제를 활용하여 독과점 구조에서 R&D를 더욱 강화해야 한다고 평가하는 전문가들이 있는 반면, 경쟁을 보다 활성화시켜 민간의 참여를 유도해야 전력산업의 패러다임 전환이 촉진된다고 주장하는 전문가들도 있다.

그러나 4차 산업혁명 패러다임 전환에 발맞추어 보다 자유화된 전력시장으로 나아가는 데 있어서의 사회경제적 비용 크기를 산정하는 것은 매우 어려운 문제다. 결국 일부 전문가들은 산업구조의 변화에 소요되는 비용 크기를 감안할 수 없거나, 신기술의 미래 활용가치에 비해 산업구조 변화 비용이 너무 크므로 현 전력산업구조를 점진적으로 개편해가는 방식을 추천하기도 한다.

다만 우리나라의 IT 기술 역량에 대해서는 거의 모든 전문가가 그 우수성을 인정하고 있으므로 4차 산업혁명 신기술 도입을 위한 제도적 지원만 이루어진다면 신기술의 응용 및 적용을 통한 전력산업 구조개편이 촉진될 것이며, 결과적으로 우리나라 전력산업의 미래는 밝을 것으로 전망된다.

## 2. 정책 제안

전력산업에 4차 산업혁명의 영향을 반영하기 위해서 가장 빠른 시간 내에 진행해야 할 일은 신재생에너지 관제센터를 설립, 운영하고 4차 산업혁명의 주요기술인 인공지능, 빅데이터 분석, 사물인터넷 기술을 적용하는 것이다. 신재생에너지 관제센터에 대한 해외사례로 많이 지목되는 곳은 스페인의 신재생에너지 관제센터인 CECRE<sup>166)</sup>이다.

CECRE는 신재생에너지의 발전출력을 감시(시각화) 및 제어할 목적으로 '07년에 구축된 세계최초의 신재생관제센터이며, 스페인 내 설치된 풍력발전설비 98.6%의 출력 데이터를 원격으로 수신하고 그 중 96%를 15분 이내 제어할 수 있는 체계를 가지고 있다고 한다.<sup>167)</sup>

신재생에너지 관제센터 설립 후 적용할 수 있는 4차 산업혁명의 주요기술은 사물인터넷이다. 사물인터넷 기술을 풍력발전 및 태양광 발전설비에 적용하여 실시간으로 간헐적 발전설비의 출력과 상황을 파악할 수 있다면 재생에너지 발전량 증대 및 효율 극대화에 매우 유용한 정보일 것이다. 사물인터넷 기술로 감지할 수 있는 것은 실시간 출력상황도 있겠지만 아주 가까운 미래의 출력전망치도 가능할 것이다. 이런 정보는 재생에너지의 간헐성으로 인한 계통 불안정성을 해소하는 데 큰 기여를 할 수 있을 것이다. 두 번째로 적용될 수 있는 것은 빅데이터 분석이다. 사물인터넷이 적용된 재생에너지 발전설비에서는 실시간으로 상당량의 정보가 저장되고 분석될 수 있을 것이다. 인공지능과 결합하여 분석을 진행한다면 재생에너지로 인해 야기되는 우려

---

166) CECRE : Control Centre of Renewable Energies

167) 전력거래소 공무 국외출장 결과 보고서(차기 제주 EMS 구축전략 수립 해외출장) 참조

스러운 부분들을 상당부분 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 신재생에너지 관제센터는 4차 산업혁명을 첫 번째로 국내 전력산업에 적용해 볼 수 있는 좋은 기회가 될 것이다.

4차 산업혁명의 영향으로 재생에너지 발전량이 급속도로 증가하고 단가가 저렴해지면 당연히 자신이 생산한 잉여전력에 대해서는 타사업자(한전) 또는 개인에게 판매하려고 할 것이다. 이는 발전사업자의 판매사업 겸업에 해당되나 국내 전기사업법은 발전과 판매를 동시에 하는 것을 금지하고 있다. 또한 스마트그리드와 마이크로그리드가 점점 활성화될 경우에는 발전, 판매, 송·배전 사업 등을 동시에 진행할 수도 있을 것이나 국내 전기사업법에서는 금지되어 있다. 다양한 규제의 개혁이 필수적이거나 전력산업에 대한 혁신의 출발점은 신규 사업자들이 자유롭게 전력시장 및 산업에 진출할 수 있는 사업 여건을 조성하는 것이다.

전력산업에 4차 산업혁명 기술이 적용되고 새로운 비즈니스 모델이 확산되기 위해서는 법적·제도적 개선이 필요하다. 특히 규제완화, 가격기능 정상화, 전력시장 개편, 연구개발 확대, 보안 강화 및 표준화 추진 등이 시급하게 필요하다.

첫째, 4차 산업혁명에 따른 환경변화에 적극 대응하고 새로운 비즈니스 모델의 확산을 위해서는 규제완화가 필요하다. 기존의 규제체계와 법제도가 오프라인 중심으로 설계되어 있으므로 이에 대한 변화가 필요하다. 제조업과 서비스업의 경계가 사라지게 되어 전통 산업의 혁신과 성장 동력을 찾기 위해 연계성을 강화하는 제도적 개선 노력도 중요하다. ICT 융복합에 따른 새로운 패러다임의 효과적 활용을 위해서는 지속적 혁신이 가능한 법제도로의 개선과 규제의 유연성 확보에

힘써야 한다. 포괄적 네거티브 규제방식으로 대전환하는 것이 필요하다.

규제완화 관련 전력산업에서 가장 큰 이슈는 한전의 독점적 지위를 어떻게 처리하느냐의 문제이다. 4장에서 이미 지적한대로 소매경쟁의 도입으로 소비자의 선택권을 확대하고 판매사업의 독점권을 없애자는 것이다. 4차 산업혁명의 기술 확산과 청정에너지 미래로의 전환을 위해 가장 적합한 전력산업 구조가 무엇인지에 대한 일치된 견해는 없다. 그러나 신규 사업자가 전력사업 관련 새로운 비즈니스를 개시하고자 하는 경우 진입장벽을 제거하고 적극적으로 사업을 펼칠 수 있도록 장려해 주는 것이 필요하다.

둘째, 4차 산업혁명 주요 기술의 도입을 바탕으로 에너지전환에 박차를 가하기 위해서는 수급여건이 적절히 반영되는 ‘유연한 가격체계’를 구축함과 동시에, 효율적 자원배분을 달성할 수 있는 ‘시장기능의 정상화’가 무엇보다 필요하다. 전력시스템의 효율을 높이고 자발적인 비즈니스 모델 개발을 장려하기 위해서는 가격기능을 정상화하고 다양한 소매 요금제를 허용하는 것이 필요하다. 기존의 인위적인 도매시장의 가격결정 방식을 탈피하여 수요와 공급에 의한 가격 결정 및 효율적인 자원배분이 가능하도록 하는 가격시스템을 구축해야 한다. 그리고 소매요금제의 다양화를 통해 수요반응 자원을 확보하고 다양한 비즈니스 모델 개발을 유도하여 신규사업자가 전력시장에 진출할 수 있는 여건을 조성해주는 것이 요구된다.

셋째, 재생에너지 보급 확대에 따른 전력계통 신뢰도 제고와 다양한 유연성 자원을 확보하기 위해서 현행의 전력시장을 개편하는 것이 필요하다. 우선 현재의 전력시장은 에너지 중심의 시장으로 운영되고 있

는데, 예비력과 에너지를 통합하여 운영하는 것이 중요하다. 이는 간헐성 재생에너지 발전원이 계통에 많이 연결됨에 따라 예비력에 대한 가치가 점점 중요해지고 있는 시장 현실을 감안한 것이다. 에너지 중심의 현행 전력시장제도를 예비력과 에너지를 통합하여 운영하고, 아울러 현행의 하루 전(day ahead) 시장을 당일 15분, 5분 단위의 실시간 시장으로 개편하는 것이 필요하다. 또한 유연성 제공 자원의 적정 보상을 위해 현행 비제약 가격제도에서 제약기반 가격제도로 이행하고 정산주기를 단축하는 것이 요구된다. 그리고 유연성 자원의 확보 차원에서 효율이 낮은 GT에 대해서 적절한 인센티브를 제공하는 것이 요구된다. 증감발 성능은 우수하지만 효율이 낮은 GT는 급전계획에 반영되지 못하나 10분 단위 증감발 필요의무량 확보 차원에서 이러한 GT가 급전계획에 포함되도록 조정할 필요가 있다.

넷째, 지능형 에너지시스템으로의 전환을 위해서는 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 클라우드 등 4차 산업혁명과 관련된 기술의 개발과 더불어 에너지시스템과의 융복합 기술개발 및 보급이 필요하다. 전기 에너지 공유 및 거래 관리에 활용 가능한 정보통신기술로는 지능형 수요반응, 빌딩에너지관리시스템(BEMS), 에너지 서비스 제공을 위한 개방형 건물에너지관리 프레임워크 기술 등이 있으며, 지속적으로 기술개발이 이루어지고 있다.

친환경 에너지시스템으로의 전환을 위한 종합적인 4차 산업혁명 기술개발계획을 수립, 이행하고 이를 주기적으로 업데이트하는 것이 필요하다. 에너지 생산부터 소비까지 전 과정의 효율성 제고를 위해 사물인터넷 공통플랫폼을 구축하고 스마트그리드, 스마트미터와 연동하는 것이 필요하다. 기존 전력망에 스마트미터기의 보급, 에너지 소비

데이터 분석모형 구축을 통한 수요 분석 및 예측, 최적 믹스 도출 등 소비와 공급을 효율적으로 연계하는 수급체계를 구축하는 것이다. 그리고 에너지시스템 관련 국가 시범사업, 보급사업, 실증단지 등을 확대하여 사업자의 생태계를 구축하고 참여기업 간 정보 및 사업 경험을 공유할 수 있도록 장려할 필요가 있다.

마지막으로, 전력산업에 4차 산업혁명 주요 기술이 도입되면서 전력설비의 운영 및 유지 보수의 자동화가 가능해진 반면 외부로부터의 침해에 대한 보안 강화가 필요하다. 또한 소비자 데이터의 이용 증대는 새로운 비즈니스를 개발하려는 사업자에게는 기회가 되지만 개인 정보의 노출이라는 위협요소가 있다. 따라서 개인정보를 비즈니스에 활용할 수 있는 여건을 마련해 주되 개인정보 보호를 철저하게 이행하지 못해 발생하는 사고에 대해서는 엄중한 처벌을 하는 규제를 두는 것이 바람직하다.

다음은 4차 산업혁명 관련 신기술의 보급 확산에 유용한 표준화 이슈이다. 표준은 제품, 서비스의 품질 및 안전 기준을 제시하고 시스템 간, 산업 간, 이해관계자 간의 융합 및 연결을 가능케 하는 수단이라는 측면에서 4차 산업혁명의 성공에 중요한 요소다. 정부 차원의 표준화 선도와 더불어 민간기업의 표준화 도입과 국제표준 개발을 위하여 지속적으로 노력해야 한다. 유관기업 중심으로 기업 간 협력체계를 구축해 나가면서 표준화 활동도 병행해서 추진하는 것이 바람직하다. 국내의 표준화 작업 추진도 중요하지만 국제 표준화기구와의 협업을 통해 국제적인 표준화 활동에 적극 참여하는 것도 필요하다.





## 참 고 문 헌

### 〈국내 참고문헌〉

- 강성진 외, 「4차 산업혁명과 신기후체제 대응」, 국민경제자문회의  
지원단/고려대학교 산학협력단, 2017.5.
- 관계부처 합동, 「혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명  
대응계획」, 4차 산업혁명위원회 보도자료, 2017.11.
- \_\_\_\_\_, 「도시혁신 및 미래성장동력 창출을 위한 스마트시티  
추진전략」, 4차 산업혁명위원회 보고서, 2018.1.
- 국가기술표준원, 「4차 산업혁명 표준화에 2,000억원 투자한다」,  
『S-life』, Vol.165, 12-13, 2017.4.
- 권성철, 「에너지 블록체인 현황 및 향후 전망」, 『블록체인 산업혁  
신 컨퍼런스』, BIIC 조직위원회, 2017.10.
- 김규판 외, 「주요국의 4차 산업혁명과 한국의 성장전략: 미국, 독일,  
일본을 중심으로」, 대외경제정책연구원, 2017.11.
- 김두천, 「Block Chain in Energy」, 전력거래소 정책협의회 발표자  
료, 2018.7.
- 김미연 외, 「블록체인 활용사례에 관한 연구」, 한국통신학회 학술  
대회 논문집, 734-735, 2017.6.
- 김정욱, 「혁신성장을 위한 규제개혁 방향」, 『Research Brief』, 제  
8호, 경제인문사회연구회, 2018.9.
- 김현제 외, 「발전 Industry4.0 구현을 위한 환경여건 분석과 추진전  
략 도출 연구」, 동서발전, 2017.12.

- 덜로이트, 「4차 산업혁명의 전력수요 영향 선행조사 - 대토론회 발표자료」, 한국전력공사, 2017.9.
- \_\_\_\_\_, 「4차 산업혁명 전력수요 영향분석에 관한 연구」, 한국전력공사, 2018.2.
- 박민혁·김태형, 「KEMRI 전력경제 REVIEW」, 한전경제경영연구원, 제7호, 2017.4.
- 박찬국, 「사물인터넷을 통한 미래 에너지산업 발전방향」, 에너지포커스, 13(4), 4-21, 2016.
- 박창기, 「제4차 산업혁명의 도전과 응전수단, 블록체인」, 한반도선진화재단 한선 프리미엄 리포트 225회 정책세미나, 2016.
- 백수현, 「과학기술과 사회발전」, 『과학기술과 사회발전 연구회 추계토론회 발표자료』, 2017.9.
- 산업통상자원부, 「8차 전력수급 기본계획」, 2017a.
- \_\_\_\_\_, 「8차 전력수급 기본계획 통상에너지소위원회 보고자료」, 2017b.
- \_\_\_\_\_, 「4차 산업혁명 지원을 위해 범부처 표준화 역량을 결집한다」, 산업통상자원부 보도자료, 2017c.
- \_\_\_\_\_, 「재생에너지 3020 이행계획(안)」, 산업통상자원부 보도자료, 2017d.
- 산업통상자원특허소위원회, 「산업융합촉진법 일부개정법률안」, 홍익표 의원 대표발의, 2018.8.28.
- 서울 기후 에너지전환 회의 발표자료, 「KEPCO's Digital Transformation」, 한국전력, 2018a.
- \_\_\_\_\_, 「One Megawatt Hour One

- SolarCoin」, 솔라코인재단, 2018b.
- 
- 네비건트 컨설팅, 2018c.
- 소진영 외, 「4차 산업혁명이 에너지시스템에 미치는 영향과 대응 방안」, 에너지경제연구원 용역보고서, 과학기술정책연구원, 2017.11.
- 송형상, 「일본 전력소매시장 자유화와 시장변화」, KOGAS 계간 가스산업, 제16권, 제1호, 2017
- 에너지경제연구원 전문가자문회의 발표자료, 「에너지 산업에서의 블록체인기술 활용방안」, 장현국, 2018.6.
- 우청원, 「에너지 블록체인 도입방안 연구」, STEPI Insight, 222, 2018.4.
- 이광호, 「4차 산업혁명과 규제개혁」, 『제4회 과총 과학기술혁신정책포럼 발표자료』, 2017.11.
- 이성인·김지효, 「ICT 융복합 기술과 연계한 에너지 수요관리 추진 전략 연구(2차년도)」, 에너지경제연구원, 2016.11.
- 이슬아 외, 「KEMRI 전력경제 REVIEW」, 한전경제경영연구원, 제 19호, 2018.9.
- 이찬혁 외, 「프로슈머 전력거래에서 Consortium 블록체인 활용방안 연구」, 한국통신학회 학술대회 논문집, 1441-1442, 2017.6.
- 장윤종, 「에너지산업의 4차 산업혁명 선도역할과 발전방향」, KIET 산업경제, 2017a
- \_\_\_\_\_, 「제4차 산업혁명의 경제사회적 충격과 대응 방안」, 경제인문사회연구회, 2017b

장필성, 「다가오는 4차 산업혁명에 대한 우리의 전략은?」, 과학기술정책연구원 해외혁신동향, 2016.

전력거래소 출장 결과 보고서, 「차기 제주 EMS 구축전략 수립을 위한 공무 국외출장 결과 보고서」, 전력거래소, 2017.

제3차 에너지기본계획 워킹그룹, 「지속가능한 번영을 위한 대한민국 에너지비전 2040 - 제3차 에너지기본계획 수립방향에 대한 권고」, 2017.11.

한국동서발전 발전기술개발원 내부자료, 「한국 동서발전의 Industry 4.0 구조」, 한국동서발전, 2017.

허준혁, 「KEMRI 전력경제 REVIEW」, 한전경제경영연구원, 제4호, 2017.2.

EY Consulting, 「블록체인 사례 및 EY 역량 소개」, 스타벅스 코리아, 2018.

Fereidoon Sioshansi 외, 「에너지전환 전력산업의 미래」, 이모션미디어, 2018.7.

## 〈외국 참고문헌〉

Ali Görener, “How Industry 4.0 Changes Business: A Commercial Perspective,” International Journal of Commerce and Finance, 4, 84-95, 2018.

Asare, P., Broman, D., Lee, E., Torngren, M., & Sunder, S., “Cyber-Physical Systems - a Concept Map,” <http://cyberphysicalsystems.org>(접속일자 2018.7.5.).

Can, A. V., & Kıymaz, M., “Bilişim Teknolojilerinin Perakende

- Mağazacılık Sektörüne Yansımaları: Muhasebe Departmanlarında Endüstri 4.0 Etkisi,” Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi (CIEP Özel Sayısı), 107-117.
- E.ON, “Annual Report 2017,” 2017.
- Ersoy, A. R., “Siemens’in Endüstri 4.0’a Bakışı ve Çalışmaları. Elektrik Mühendisliği,” 459, December, 2016.
- Federal Ministry of Education and Research, “Federal Report on Research and Innovation 2012,” 2012.
- Federal Ministry of Education and Research, “The New High-Tech Strategy Innovations for Germany,” 2014.
- GE, “Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines,” General Electric, 2012.
- Hofmann, E., & Rüsch, M., “Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics,” Computers in Industry, 89, 23-34, 2017.
- IBM, “The Future of Energy and Utilities,” Annual Report, 2014.
- IEA, “Energy prices and taxes: second quarter 2017,” International Energy Agency, 2017a.
- \_\_\_\_\_, “Electricity Information 2017,” International Energy Agency, 2017b.
- Innogy, “Annual Report 2017,” 2017.
- KEPCO, “Kansai Electric Power Group Report 2017,” Annual Report, 2017.
- Max Blanchet, “Industry 4.0: The Future of manufacturing & services,” <http://www.globalsuccess-club.net/max-blanchet>(검색일자 2018. 7. 1.).

- McKinsey, "Disruptive Technologies: Advances that will Transform Life, Business, and the Global Economy," McKinsey Global Institute, 2013.
- McKinsey, "Winning the cost battle: Success factors in digital transformation for energy retailers," McKinsey & Company, 2018.6.
- OECD, "Greener and Smarter: ICTs, the Environment and Climate Change," OECD Information Technology Outlook 2010, 2010.
- President's Council of Advisors on Science and Technology, "Report to the President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing," 2014.
- President's Council of Advisors on Science and Technology, "Report to the President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing," 2011.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R., "A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and beyond," *Procedia CIRP*, 52, 173-178, 2016.
- Rifkin, Jeremy, "The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, the Economy, and the World, Palgrave macmillan, 2011.
- RWE, "Powering. Reliable. Future. Yesterday, today and tomorrow," Annual Report, 2017.
- SAS, "The Autonomous Grid: Machine Learning and IoT for Utilities," ZP, 2016.4.
- Schwab, Klaus, "The Fourth Industrial Revolution, Crown Business," New York, 2016b.

Schwab, Klaus, “The Fourth Industrial Revolution: What It Means, How to Respond,” World Economic Forum, 2016a.

TEPCO, “TEPCO Integrated Report 2017,” Annual Report, 2017.

Van Alstyne, Marshall W., Geoffrey G. Parker, and Sangeet Paul Choudary, “Pipelines, Platforms, and the New Rules of Strategy,” Harvard Business Review, Vol. 94. Issue 4., April, 2016.

Zhou, K., C. Fu, S. Yang, “Big Data Driven Smart Energy Management: From Big Data to Big Insights”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 56, 215-225, 2016.

平野正雄(2016), “21世紀のプラットフォームは誰がつくるのか”, 「DIAMOND ハーバード・ビジネス・レビュー」, 2016年10月号

## <홈페이지>

Bankymoon 홈페이지(<http://bankymoon.co.za/category/usizo>, 접속일자 2018.07.01.)

Brooklyn Microgrid 홈페이지(<https://www.brooklyn.energy/support>, 접속일자 2018.7.4.)

GE Digital 홈페이지(<https://www.ge.com/digital/iiot-platform>, 검색일자 2018.05.01.)

Grid Singularity 홈페이지(<http://gridsingularity.com/#/1>, 접속일자 2018.07.03.)

KT그룹 블로그(<http://blog.kt.com/295>, 접속일자 2018.07.01.)

UC Berkeley EECS Department 홈페이지(<https://ptolemy.berkeley.edu/projects/cps>, 검색일자 2018.07.05.)

솔라코인재단 홈페이지(<https://solarcoin.org/faqs/>, 접속일자 2018.7.6.)

일본 경제산업성(Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) 홈페이지([http://www.meti.go.jp/english/press/2016/0427\\_05.html](http://www.meti.go.jp/english/press/2016/0427_05.html), 검색일자 2018.07.11.)

한국가스공사 공식 블로그(<http://blog.kogas.or.kr/220978744175>, 접속일자 2018.07.03.)



## 부 록

### ‘4차 산업혁명과 전력산업의 변화 전망’ 설문조사

에너지경제연구원에서는 4차 산업혁명이 우리나라 전력산업에 미칠 변화양상에 대해 각계 전문가들의 의견을 수렴하고 있습니다.

미국, 독일, 일본과 같은 선진국에서는 전력시장 자유화에 발맞추어 제도적 틀을 이미 갖추었으며, 최근에는 4차 산업혁명 시대 전력 거래에 요구되는 기술적 플랫폼도 단계적으로 확립해나가고 있습니다.

그러나 우리나라 전력시장의 경우 아직까지 선진국 대비 경쟁적인 거래 구조를 유지하지 못하고 있으며, 4차 산업혁명 시대 주요 신기술들(예, 클라우드 컴퓨팅, IoT, AI 등)의 전력시장 적용방식 및 그 영향력에 대해서도 회의론에서부터 긍정론까지 일치된 의견의 합의를 이루지 못한 상황입니다.

이에 에너지경제연구원에서는 ‘4차 산업혁명과 전력산업의 변화 전망’이라는 과제를 통해 에너지 각 부문에 종사하고 계신 전문가 여러분의 고견을 수렴하고, 향후 4차 산업혁명시대의 전력시장 개편 및 정부 지원정책의 방향성을 제시해보고자 합니다. 4차 산업혁명 시대의 새로운 가치창출 과정에서 전력산업의 주역이신 여러분의 다양한 의견을 많이 들려주시기를 부탁드립니다.

## ※ 본 문항

### 4차 산업혁명이란?

4차 산업혁명이란 2016년 1월 다보스 세계경제포럼(WEF)에서 제시된 개념으로, 물리적, 생물학적, 디지털 기술의 융합에 의해 초연결·초지능 시대가 열리고 있음을 예고하는 기술혁명이다. 사물 인터넷, 무인 자동화, 인공지능 시스템 등의 기술적 동인이 일찍이 유례없는 속도와 범위에서 산업혁신과 사회변동을 유발한다는 의미에서 또 다른 산업혁명이라 정의하는 것이다.

○ 문 의 : 에너지경제연구원 전문연구원 김재엽  
(052-714-2078, iamchamp@keei.re.kr)

※ 본 조사표에 기재된 내용은 「통계법」 제33조(비밀의 보호) 제①, ②항에 의거하여 철저히 비밀이 보장되며 통계분석 이외의 타 목적으로는 사용되지 않습니다.

## I. 일반

Q1. 귀하는 현재까지 우리나라 전력시장에 4차 산업혁명 (Industry4.0)의 주요 기술들이(e.g. 블록체인, IoT 기술, 빅데이터 활용 등) 효과적으로 적용되고 있다고 생각하십니까?

- ① 전혀 그렇지 않다                      ② 별로 그렇지 않다
- ③ 약간 그렇다                              ④ 매우 그렇다

Q2. 4차 산업혁명 시대에 접어들면서 우리나라 전력산업에 다양한 변화가 기대되고 있습니다. 4차 산업혁명시대의 전력산업 변화 과정에서 다음 중 어떤 요소의 역할이 중요하다고 생각하십니까?(복수선택 가능)

- ① 민간기업의 R&D 역량 강화 지원
- ② 세제지원                                      ③ 탈규제정책
- ④ 기술 표준(플랫폼) 확립
- ⑤ 선진국(미국, 독일, 일본 등)과의 기술교류 강화
- ⑥ 4차 산업혁명 신기술에 대한 소비자들의 수용성 제고
- ⑦ 기타: (                                      )

## II. 규제제도

Q3. 4차 산업혁명과 관련하여 우리나라의 산업 및 재정 정책적 지원 수준은 선진국(미국, 독일, 일본 등) 대비 어느 정도 수준이라고 판단하십니까?

- |          |              |
|----------|--------------|
| ① 상당히 미흡 | ② 다소 뒤쳐지는 수준 |
| ③ 비슷한 수준 | ④ 시장 선도 수준   |

Q3-1. (Q3의 ①~③에 답한 경우) 4차 산업혁명시대에 발맞추어 우리나라 전력산업 개편 시 에너지 세제 측면에서 정부의 정책 변화 방향을 구체적으로 제시해주십시오.

Q4. 귀하는 현재 정부규제 및 독과점 상태에 있는 우리나라 전력산업 구조가 4차 산업혁명 기술 적용 및 확대에 적합한 구조라 보십니까?

- |        |          |
|--------|----------|
| ① 매우적합 | ② 적합     |
| ③ 부적합  | ④ 매우 부적합 |

Q4-1. (Q4의 ①~②에 답한 경우) 현재 전력산업 체계가 적합하다고 생각한다면 그 이유를 구체적으로 서술해주십시오.

Q4-2. (Q4의 ③~④에 답한 경우) 현재 전력산업 체계가 부적합하다고 생각한다면 변화방향 제시 및 그 이유를 구체적으로 서술해주십시오.

### III. 신기술의 영향

Q5. 4차 산업혁명 관련 신기술들을 도입할 경우 우리나라 전력산업에 어떤 변화가 기대되십니까? 구체적으로 서술해주시시오.

Q6. 산업계에서는 표준화(Standardization) 자체를 규제로 여기는 시각도 있습니다. 4차 산업혁명 시대 전력산업에 신기술의 적용 및 보급을 확대하기 위해 표준화가 필수적이라고 생각하십니까?

- ① 필수적
- ② 필요성은 인정하나 도입단계에서는 완화적용
- ③ 국내 논의 시기상조
- ④ 불필요

Q6-1. (Q6의 ①~②에 답한 경우) 전력산업에 4차 산업혁명 기술을 적용하는 데 있어 현재 우리나라의 표준화(Standardization) 확립 수준 및 개편방향에 대해 구체적으로 서술해주시시오.

Q6-2. (Q6의 ③~④에 답한 경우) 4차 산업혁명 시대의 전력산업에서 필요한 표준화 영역을 구체적으로 나열해주시시오.

Q7. 최근 에너지 프로슈머 개념이 도입되면서 P2P 방식의 전력거래가 활성화 될 가능성이 높습니다. 다변화된 전력관리주체 상황이 도래할 경우 거래 보안성 제고를 위해 블록체인 기술의 이용가치 수준을 평가해주시시오.

- ① 자유화된 전력거래시장에 필수요소
- ② 거래 관리비용 절감 차원에서 필요
- ③ 가상화폐시장에서의 적용에 그칠 것
- ④ 기술개발에 요구되는 투자비용이 높아 확대 가능성 없음

Q7-1. (Q7에서 ①~②에 답한 경우) 블록체인 기술 적용 확대에 가장 걸림돌이 될 것이라 판단되는 요소를 구체적으로 서술해 주십시오.

Q8. AI 및 빅데이터의 활용이 전력수요관리의 효율을 제고할 것으로 기대되고 있습니다. 귀하는 우리나라 전력수요 관리에 있어 AI기술 확대 적용 및 빅데이터 분석의 중요성을 어느 정도로 보고 계십니까?

- ① ESS를 통한 전력수요관리체계의 핵심요소
- ② 전력수요관리의 효율을 어느 정도 제고할 수 있으나 핵심요소는 아님
- ③ 효율적 전력수요관리의 대안이 될 수 있으나 평가는 시기상조
- ④ 전력수요 관리비용만 높일 것(불요)

Q9. 4차 산업혁명시대, 우리나라 전력산업 구조의 변화과정에서 특별히 도입을 고려해야 하는 추가적인 신기술이 있습니까? (IoT, 빅데이터, AI, 블록체인 제외)

#### IV. 전력수요의 변화

Q10. 4차 산업혁명이 전력소비량을 어떤 방향으로 변화시킬 것으로 판단하십니까?

- ① 크게 감소시킬 것                      ② 약간 감소시킬 것
- ③ 비슷한 수준일 것                    ④ 오히려 증가할 것

Q10-1. (Q10의 ①,②에 답한 경우) 4차 산업혁명으로 인해 전력소비량이 감소할 것으로 판단한다면 다음 중 어떤 요소에 가장 크게 기인한다고 보십니까?

- ① Big Data                                      ② IoE(IoT)
- ③ AI 활용                                        ④ 기타: (                      )

Q10-2. (Q10의 ③, ④에 답한 경우) 4차 산업혁명에도 불구하고 전력소비량의 변화가 없거나 증가할 것으로 생각한다면 다음 중 어떤 요소에 가장 크게 기인한다고 보십니까?

- ① 전기차의 보급
- ② 스마트기기의 대중화
- ③ 전력효율 향상의 반작용(Rebound Effect)
- ④ 기타:(                                              )

Q11. 향후 우리나라 전력부하 패턴에서 나타날 가능성이 있는 ‘Duck Curve’를 해소할 수 있는 방안을 4차 산업혁명 시대 패러다임과 관련지어 간략하게 제시해주십시오.

Q11-1. AI를 결합한 ESS의 활용 확대와 제도적 인센티브 측면의 접근(e.g. 전력 피크요금 절감, 기본요금 절감 등) 중 현재 우리나라 전력시장의 수요관리에 무엇이 우선적으로 고려되어야 할 것으로 보십니까? 둘 다 필요하다고 생각한다면 두 대안의 적용방향을 구체적으로 제시해주십시오.



## V. 전력 거래방식

Q12. “상품의 기능과 접근성(Functionality and Accessibility) 확대와 가치사슬의 연계(Cross-linking of Value Creation)”로 대표되는 4차 산업혁명 시대의 비즈니스 모델 적용이 우리나라 전력 산업에 적합할 것으로 보십니까?

① 적합

② 부적합

Q12-1. (Q12의 ①에 답한 경우) 적합하다고 판단한다면, 그 이유는 무엇입니까?

Q12-2. (Q12의 ②에 답한 경우) 부적합하다고 판단한다면, 그 이유는 무엇입니까?

Q13. 4차 산업혁명 시대 전력거래방식의 변화전망을 구체적으로 제시해주십시오.

Q14. 4차 산업혁명 시대에는 P2P 전력거래가 크게 확대될 것으로 예상되고 있으나 현재 P2P 전력거래의 도입수준은 미약한 수준입니다. 향후 4차 산업혁명 시대 P2P 전력방식의 확산여부 및 그 규모에 대해 구체적인 전망을 제시해주십시오.



**DQ1) 귀하의 최종 학력은?**

- (1) 학사      (2) 석사      (3) 박사      (4) 기타

**DQ2) 귀하의 직업은?**

- (1) 교수  
(2) 언론인  
(3) 에너지 공공기관  
(4) 에너지기업  
(5) 에너지 외 기업  
(6) 시민단체  
(7) 기타

조사에 참여해 주셔서 대단히 감사합니다.



## 김 현 제

現 에너지경제연구원 선임연구위원

### <주요저서 및 논문>

『분산형 전원 활성화 방안 연구: 연료전지를 중심으로』 (박명덕 공저), 기본연구보고서 16-23, 에너지경제연구원, 2016

“A Critical Review of the Renewable Portfolio Standard in Korea”(with T. Y. Jung), International Journal of Energy Research, 40(5): 572-578, 2016

기본연구보고서 2018-14

### 4차 산업혁명과 전력산업의 변화 전망 분석

2018년 12월 30일 인쇄

2018년 12월 31일 발행

저 자 김 현 제

발행인 조 용 성

발행처 에너지경제연구원

44543, 울산광역시 중구 종가로 405-11

전화: (052)714-2114(代) 팩시밀리: (052)714-2028

등 록 1992년 12월 7일 제7호

인 쇄 (사)한국척수장애인협회 인쇄사업소 (031)424-9347

©에너지경제연구원 2017 ISBN 978-89-5504-697-7 93320

\* 파본은 교환해 드립니다.

값 7,000원

본 연구에 포함된 정책 대안 등 주요 내용은 에너지경제연구원의 공식적인 의견이 아닌 연구진의 개인 견해를 밝히 둡니다.

