

국가지능화 특집

재생에너지의 효율적 활용을 위한 AI 적용과 시사점

고순주 • kohsj@etri.re.kr
기술정책연구본부

지구환경 변화에 따른 재앙이 잇따르면서 2015년 파리 기후변화 협약을 준수하거나 보다 적극적으로 정책을 추진해야 한다는 목소리가 높아지고 있다. 이에 대응해 정부도 2030년 까지 재생에너지 비율을 20%까지, 태양광과 풍력의 비중을 1/3 이상 확보한다는 정책을 추진중이며, 이를 위해 대규모 발전 프로젝트와 소규모 발전사업 지원 등 공급 확대를 도모하고 있다. 물리적인 설비의 확대와 함께 중요한 것은 생산된 재생에너지를 최대 활용하는 것이다. 그러나 태양광과 풍력은 기후에 따른 에너지 생산량 변화가 심하기 때문에 발전량을 정확하게 예측하기 어렵다. 이로 인한 에너지 생산과 시장거래 간의 차이로 활용되지 못하고 소멸되는 에너지의 비율은 높고, 예비전력 확보를 위해 많은 비용이 지출된다. 만약 변동성이 큰 재생에너지의 발전량을 좀더 정확하게 예측할 수 있다면, 생산된 에너지를 최대한으로 활용할 수 있으며, 관련해서 발생하는 비용을 절감함으로써 다양한 편익을 확보할 수 있다. 이에 본 연구에서는 재생에너지 발전량 예측시스템의 지능화 필요성과 편익 및 추진 과제를 살펴본다.

* 본 보고서의 내용은 연구자의 견해이며 ETRI의 공식 의견이 아님을 알려드립니다.



1 에너지 패러다임의 변화와 이슈

플라이트 셰임(flight shame)이라는 용어가 있다. 기후변화의 최대 주범으로 지목되는 비행기¹⁾ 탑승 반대 운동으로, 지난 9월 23일 스웨덴 출신의 10대 환경운동가 그레타 툰베리가 태양광 요트로 뉴욕에 도착한 후, 세계 각국의 지도자들을 향해 기후변화 대응에 소극적이라는 연설을 하면서 다시 한 번 주목받고 있다.

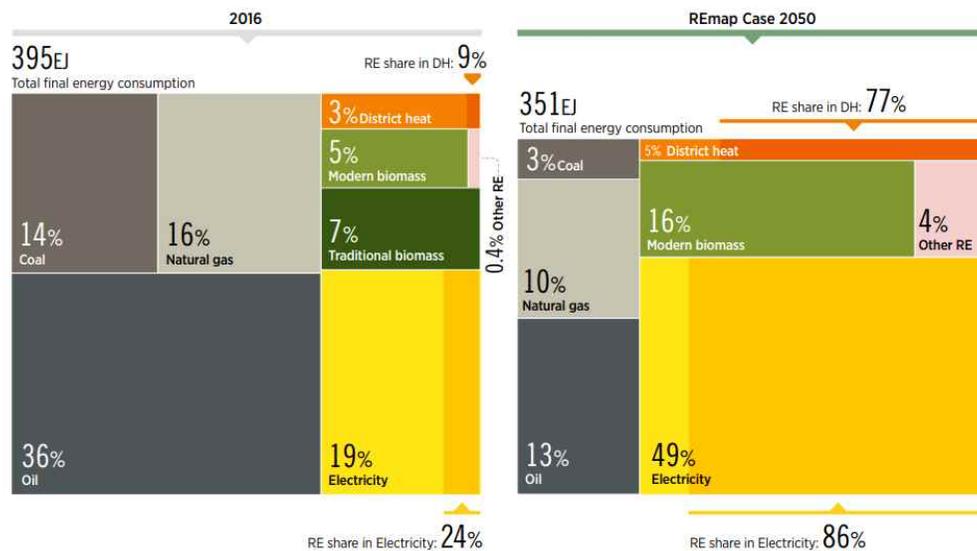
각국 정부가 기후변화에 대응해 계획한 것보다 좀더 혁신적으로 대응하지 않는다면 온실가스 배출은 지속적으로 증가할 것이다.²⁾ Resources for the Future의 예측에 따르면,³⁾ 2015년 파리협정에서 결정한 온실가스 감축 노력을 적극적으로 하지 않을 경우, 이산화탄소 배출량은 2015년 32bmt(billion metric tons)에서 2040년 43bmt까지 증가할 것이다. 또한 정보기술혁신재단(ITIF, Information Technology & Innovation Foundation)은 더 많은 그리고 더 빠른 청정에너지(clean energy) 혁신 없이는 세계 기후협약의 온실가스 배출목표를 달성하는 것이 사실상 불가능하다고 보았다.⁴⁾

이에 따라 여러 국제기구에서는 국가들이 좀더 적극적으로 기후변화에 대응할 것을 촉구하고 있고 대부분의 국가들은 화석연료나 원자력 에너지를 줄이는 대신 재생에너지를 확대하는 방향으로 대응하고 있다. 재생에너지에는 태양광, 풍력, 바이오와 폐기물 연료, 지열, 수소 연료 등이 있는데, 최근 태양광과 풍력이 크게 성장하고 있다. 국제에너지기구(IEA, International Energy Agency)에 따르면, 2017년 1차 에너지 공급에서 재생에너지의 비율은 13.6%이며, 재생에너지 중 바이오 및 폐기물 연료의 비중이 67.9%인데 비해, 태양광과 풍력의 비중은 9.0%로 미미하다. 그러나 1990년에서 2017년까지의 재생에너지 연료원별 성장률에 있어서는 태양광과 풍력이 60.4%에 이른다.⁵⁾

또한 국제재생에너지기구(IRENA, International Renewable Energy Agency)⁶⁾는 최종 에너지 소비에서 전기에너지의 비중은 2016년 19%에서 2050년 49%로 증가하며, 전기에너지를 생산하는 에너지원에서 재생에너지 비중은 2016년 24%에서 2050년 86%를 점유하는데, 재생에너지 중에서 태양광과 풍력의 비중이 크게 높아질 것으로 전망했다.

1) 비행기는 시간당 온실가스를 가장 많이 배출하는 운송수단으로 알려졌다. 이미령(2019.9.13.), “플라이트 셰임’ 비행기 그만 타자는 유럽”, 한국일보.
 2) 이는 인구증가, 도시화 가속화, 경제성장 등으로 에너지 수요가 지속적으로 증가하기 때문이다. 산업통상자원부(2016.9.), 제3차 에너지기본계획.
 3) Resources for Future는 미국 워싱턴 DC에 있는 비영리 연구기관으로 최근 Global Energy Outlook 2019: The Next Generation of Energy를 발표하였다. 이 보고서에서는 Reference 시나리오(새로운 정책이 없다는 가정), Evolving Policies 시나리오(최근 트렌드나 전문가들의 견해에 따라 새로운 정책이나 기술이 개발되는 것을 가정), Ambitious Climate 시나리오(2100년까지 지구 평균기온 상승을 2°C 이하로 제한하자는 2015년 파리협정을 넘어선 목표 달성을 가정) 별로 에너지 전망을 하고 있다.
 4) ITIF(2019.8.), Global Energy Innovation Index.
 5) IEA(2019), Renewables Information.
 6) IRENA는 국가가 지속 가능한 에너지 미래로 전환하는 것을 지원하고 국제 협력, 정책, 기술 등에 대해 플랫폼 역할을 하는 정부 간 조직이다(<https://www.irena.org/aboutirena>).

그림 1 최종 에너지 소비에서 에너지원별 비중 변화⁷⁾



* 출처: IRENA(2019a), Global Energy Transformation : A roadmap to 2050.

재생에너지 분야에서 태양광과 풍력의 발전은 기술의 발전에 따른 발전단가의 하락에 힘입은 바 크다. 이미 그리드 패리티(grid parity)⁸⁾에 이른 국가들은 정부 보조금 없이도 사업을 진행할 수 있게 되었다.⁹⁾

우리나라도 「2030 에너지 신산업 확산 전략(15.11.)」, 「제8차 전력수급기본계획(17.12.)」,¹⁰⁾ 「재생에너지 3020 이행계획(17.12.)」, 「2030 온실가스 감축 로드맵(18.7. 수정)」, 「재생에너지 산업 경쟁력 강화 방안(19.4.)」, 「제3차 에너지기본계획(19.6.)」 등 일련의 계획을 통해 원전과 석탄은 감축하고, 재생에너지 발전 비중을 2030년 20%, 2040년 30~35%로 확대한다고 한다. 2018년 우리나라 신재생에너지 발전량은 총 에너지 발전량 대비 8.77%(재생에너지 8.18%, 신에너지 0.58%)이며¹¹⁾, 재생에너지원별로는 폐기물의 비중이 가장 높은 46.8%를 차지하고

7) IRENA는 에너지 소비에 대해 2가지 시나리오로 전망했다. 하나는 Reference Case로 정부가 현재 추진하거나 계획하고 있는 정책에 기반한 것이며, REmap Case는 기후변화협약에서 정한 목표를 달성하기 위한 적극적인 정책의 추진(재생에너지 확대, 에너지 효율성 향상, 저탄소 기술의 개발 등)에 기반한 것이다(IRENA, 2019a: 3).

8) 그리드 패리티(grid parity)는 대체 에너지 전력단가가 기존 화석연료 에너지 전력 단가와 동일해지는 균형점을 말한다(토니세바(2014), 에너지혁명 2030). 블룸버그 신에너지 파이낸스는 최근 발표한 NEO 2019 보고서에서 현재 재생에너지 발전은 전세계 2/3 지역에서 가장 저렴하고, 2030년에는 대부분의 지역에서 석탄·가스 발전보다 저렴할 것으로 전망했다(www.hani.co.kr/arti/economy/marketing/1899901.html). 우리나라는 아직 그리드 패리티에 도달하지 못했다.

9) 이석호·조일연(2018), 국제 신재생에너지 정책 변화 및 시장 분석, 기본 연구보고서 18-27, 에너지경제연구원.

10) 현재 제9차 전력수급기본계획이 준비중에 있으며, 12월 중에 발표를 목표로 하고 있다.

11) 우리나라는 신재생에너지를 재생에너지와 신에너지로 구분한다. 재생에너지는 태양에너지, 풍력, 수력, 해양에너지, 지열에너지, 바이오 에너지, 폐기물 에너지 등으로 구성되며, 신에너지는 수소에너지, 연료전지 등으로 구성된다(신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 제2조).



있으며, 다음으로 태양광 17.7%, 바이오 16.7%, 풍력 4.7%의 순을 기록하고 있다.¹²⁾ 2017년 대비 2018년 성장률은 태양광이 30.5%로 가장 높다. 정부는 '18~'30년까지 재생에너지 신규 투자 총 48.7GW 중 태양광 30.8GW, 풍력 16.5GW, 기타 1.4GW를 추진한다는 계획을 발표했다.¹³⁾ 앞으로 우리나라도 태양광과 풍력을 중심으로 재생에너지원의 비중을 높ی겠다는 것이다.¹⁴⁾

표 1 2018년 신재생에너지 발전 실적(2019년 공표) (단위: MWh)

구 분	2017		2018p		전년대비 증감		기여도 (%)	
	발전량	비중(%)	발전량	비중(%)	발전량	증감률(%)		
총발전량	577,335,572	100.00	593,638,503	100.00	15,505,281	2.82	-	
신재생에너지	46,623,321	8.08	52,052,217	8.77	5,428,896	11.64	100.00	
재생에너지	43,868,299	7.60	48,585,263	8.18	4,716,964	10.75	86.89	
신에너지	2,755,022	0.48	3,466,954	0.58	711,932	25.84	13.11	
재 생	태양광	7,056,219	15.1	9,208,099	17.7	2,151,880	30.5	39.6
	풍력	2,169,014	4.7	2,464,879	4.7	295,865	13.6	5.4
	수력	2,819,882	6.0	3,374,375	6.5	554,492	19.7	10.2
	해양	489,466	1.0	485,353	0.9	△4,113	△0.8	△0.1
	바이오	7,466,664	16.0	8,697,600	16.7	1,230,936	16.5	22.7
	폐기물	23,867,053	51.2	24,354,957	46.8	487,904	2.0	9.0
신	연료전지	1,469,289	3.2	1,764,948	3.4	295,659	20.1	5.4
	IGCC	1,285,733	2.8	1,702,006	3.3	416,272	32.4	7.7

주) 국내 총발전량은 사업자+상용자가+신재생자가용 합계임.

* 출처: 한국에너지공단(2019), 2018년 신재생에너지 보급통계 잠정치(2019년 공표) 결과 요약.

재생에너지, 특히 태양광과 풍력의 전력시스템 통합 비중을 높이기 위해서는 공급측면과 수요측면에서 고려할 요소들이 많은데, 공급측면에서는 발전설비의 확대와 함께 변동성이 큰 태양광과 풍력¹⁵⁾의 발전량을 정확하게 예측하여 더 많은 에너지로 전환할 수 있도록 하는 것이 매우 중요하다.

정부는 원전 유희지, 석탄발전 부지, 수상 태양광, 대규모 간척지 등을 이용한 대규모 발전 프로젝트를 단계적으로 추진하고 있으나¹⁶⁾, 부지확보를 둘러싼 지역사회의 갈등, 발전설비와 송배전설비간의 연결지체 문제 등으로 확산이 지연되고 있다. 이런 가운데 독일이나 덴마크와 같이 이미 태양광과 풍력발전의 비중이 높은 국가에서는 변동성이 큰 태양광과 풍력의 발전량에 대한 정확한 예측을 통해 재생에너지를 최대 활용함으로써 화석연료

12) 한국에너지공단(2019.8.), 2018년 신재생에너지 보급통계 잠정치(2019년 공표) 결과 요약.

13) 관계부처 합동(2019.4.4.), 재생에너지산업 경쟁력 강화 방안.

14) 우리나라는 재생에너지에서 폐기물 연료의 비중이 높지만 성장률에 있어서는 태양광과 풍력이 가장 높기 때문에 향후 재생에너지는 태양광과 풍력 중심으로 재편될 것으로 예상되고 있다(조석호·조일현, 2018: 12-13).

15) 태양광이나 풍력은 날씨 영향으로 전기 생산이 간헐적이고 공급 변동성이 높다. 이러한 재생에너지를 가변 재생에너지(VRE, Variable Renewable Energy)라 부르기도 한다.

16) 산업통상자원부(2017.12.), 재생에너지 3020 이행계획(안).

의 비중을 줄이려는 노력이 진행되고 있다. 여기에는 빅데이터, IoT, 클라우드, AI를 비롯한 ICT 기술이 핵심적인 경쟁력으로 작용하고 있다.

현재 우리나라는 태양광과 풍력발전이 전력시스템 통합에서 차지하는 비중이 매우 낮아 발전량 예측시스템의 지능화에 대한 관심이 다소 낮다. 그러나 전력시장에서 미리 제출한 발전량과 실제 발전량이 다를 경우 불이익이 따르기 때문에 발전량의 정확한 예측은 필요하다.¹⁷⁾ 이에 본 연구에서는 태양광과 풍력 등 대규모 발전시스템의 설치에 대응하고, 현재 생산되는 변동성이 큰 재생에너지의 최적 활용을 위해 발전량 예측시스템의 지능화 관점에서 ICT 기술의 효용성과 지능화 방향 및 해결과제 등을 검토해 보고자 한다.

2 에너지 효율성 향상과 ICT

최근 빅데이터, IoT, 클라우드, 기계학습을 비롯한 AI 등의 ICT 기술이 고도화·융합화되면서 산업영역의 다양한 문제해결에 기여하고 있다. 그 중에서도 특히 에너지 분야에서 AI를 비롯한 ICT의 활용은 매우 활발하게 전개될 것으로 보인다.

조사기관 Technavio는 에너지 분야에서 AI는 자동화된 에너지 관리, 에너지 소비의 최적화에 기여한다고 보았다. 에너지 분야 AI 시장은 '18년 9억 4,424만 달러에서 연평균 49.31% 성장하여 '23년 70억 580만 달러가 되며, 이 기간에 혁신기를 지나 성장기에 진입할 것으로 전망했다.

그림 2 에너지 분야 AI 시장 전망 (단위: 백만 달러)



* 출처 : Technavio(2019), Global Artificial Intelligence(AI) in Energy Market: 2019-2023 참고하여 저자 재구성. 시장 자료의 저작권은 Technavio에 있으며, 자료의 재인용시 Technavio에 문의해야 한다.

Frust & Sullivan은¹⁸⁾ 에너지 분야에서 AI 활용이 상당하다고 보았는데, 특히 변동성이

17) 김현제(2019), 에너지 부문의 공유경제 활성화 방안 사례 연구, 수시연구보고서 18-10, 에너지경제연구원.

18) Frust & Sullivan(2018.9.), Impact of Artificial Intelligence(AI) on Energy and Utilities.



큰 재생에너지는 시스템에서 생산하는 전력량이 날씨나 다양한 기상 요건에 따라 궁극적으로는 예측할 수 없다. 그러나 AI는 정교한 기계학습 알고리즘을 사용하여 재생에너지 시스템에서 발생하는 단기 전력 예측을 개선하고, 장비 유지보수의 효율성을 높이며, 다운타임을 미리 예측하는 데 도움이 될 수 있다고 보았다(Frust & Sullivan, 2018: 35).

표 2 비즈니스에서 AI 활용 수준

활용 수준	높음	중간	낮음
분야	Financial Service ICT Automotive Healthcare	Retail Energy Media & Entertainment	Construction & Mining Education Travel & Tourism

※ 출처 : Frust & Sullivan(2018.9.) 참고하여 저자 재구성.

국제재생에너지기구는 최근 발표한 “Artificial Intelligence and Big Data : Innovation Landscape Brief”(2019b)에서 빅데이터와 컴퓨터 처리 능력의 향상이 인공지능의 잠재력을 열리게 하고 있으며, 특히 에너지 분야에서 AI는 ①태양광과 풍력 발전량 예측의 개선, ②그리드 안정성과 신뢰성 유지, ③수요예측 개선, ④효율적인 수요관리, ⑤에너지저장장치 운영의 최적화, ⑥시장설계 및 운영의 최적화에 새롭게 활용될 수 있다고 보았다.

표 3 변동성이 큰 재생에너지 통합을 위한 새로운 AI 적용

구분	생산	전송	분배	소비
AI적용 영역	태양광과 풍력 발전량 예측의 개선	그리드 안정성과 신뢰성 유지		수요예측 개선
				효율적인 수요관리
	에너지저장장치 운영의 최적화			
	시장설계 및 운영의 최적화			

※ 출처 : IRENA(2019b), Artificial Intelligence and Big Data: Innovation Landscape Brief 참고하여 저자 재구성.

이와 같이 재생에너지 분야에서 ICT, 특히 AI의 적용은 최근 매우 활발하게 전개되고 있으며, 향후 에너지 분야의 혁신에 중요한 기폭제 역할을 할 것으로 보인다.

3 재생에너지 발전량 예측시스템의 지능화 방향

재생에너지 분야에서 AI를 비롯한 디지털 기술의 적용은 발전-전송-분배-소비 전체 영역에서 가능하며, 현재에도 스마트 그리드 / 마이크로 그리드 구축을 중심으로 활발하게 진행되고 있다. 그러나 AI를 통한 자동화·최적화라는 관점에서 보면, 아직 가야할 길이 멀다.

표 4 전력시스템의 새로운 디지털 기술 응용영역과 본 연구의 관심 분야

구분	생산	전송	분배	소비
현재의 디지털화 단계				
	Early stage	Advanced	Early stage	Early Stage
다음 단계	- 발전소 현대화 - 그리드 자율 제어	- 최적 운영을 위한 알고리즘 고도화	- 그리드 안정성·최적화를 위한 완전 자동화	- 신속한 수요반응 - 가상발전소
디지털 애플리케이션	재생에너지 예측 및 거래, 자율제어를 통한 유연성 고도화	예방적 관리 그리드 안정성 및 신뢰성 관리	그리드 밸런싱 등을 위한 분산에너지 자원 관리	마이크로 그리드/ P2P 거래 실현, 자율적 에너지 수요관리, 에너지 효율성

* 출처 : IRENA(2019c), Innovation Landscape for A Renewable-Powered Future 참고하여 저자 재구성.

특히 재생에너지의 전력시스템 통합 비중을 높이기 위해서는 물리적인 발전설비의 확대뿐만 아니라 시스템의 효율성 제고를 위한 노력이 필요한데, 후자는 재생에너지 정책의 출발점이면서도 그동안 기술의 한계로 인해 발전 속도가 느린 부분이기도 하다. AI와 빅데이터 등 ICT는 의사결정과 기획, 상태 모니터링, 공급망 최적화 등을 좀더 고도화시킴으로써 재생에너지 시스템의 효율성 향상에 크게 기여할 것이다.

따라서 지금은 보다 더 고도화가 필요한 재생에너지 발전량 예측과 자율제어 부분에 대한 관심을 기울여야 할 때이다.

재생에너지 발전량 예측과 자율제어에 있어서 지능화의 핵심은 전력시스템에 가변 재생에너지(Variable Renewable Energy, VRE)의 비중을 높일 수 있도록 시스템의 유연성(flexibility)을 확보하는 것이다. 여기에서 유연성이란 태양광과 풍력 에너지의 가변성(Variability)과 불확실성(Uncertainty)에 대처하는 시스템의 능력으로¹⁹⁾ 가변성이란 태양과

19) IRENA(2018), Power system flexibility for the energy transition. Part 1: Overview for policy makers, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.



풍력 자원의 변동 특성 때문에 전기 생산이 급격히 변화하는 것을, 불확실성이란 태양광과 풍력발전의 미래 생산량을 완벽하게 예측할 수 없는 상황을 말한다(IRENA, 2019a: 8). 물론 에너지저장장치(ESS, Energy Storage System)와 연계된 재생에너지 발전시스템은 ESS의 효율적 이용을 통해 시스템의 유연성을 확보할 수 있다. 그러나 현재 마이크로 그리드와 같은 소규모 발전시스템에는 ESS가 연계되어 있지만, 대규모 발전시스템은 그렇지 않다.

현재 발전량의 예측 오차는 일반적으로 한시간 전 정격 용량의 3~6%까지, 지역 기준으로는 6%~8%까지 다양하다. 발전량 예측에 대한 약간의 개선도 시스템 운영 및 경제성에 크게 영향을 미친다(IRENA, 2019c: 67). IRENA(2019c)에 따르면, 인공지능을 통한 예측 고도화로 재생에너지 발전전망치 정확도가 88%에서 94%로 개선될 수 있다고 보았다.

변동성이 큰 재생에너지 발전량 예측시스템에서는 기상관측소, 센서네트워크, 위성 및 스카이 이미지 카메라 등으로부터 수많은 데이터를 받아 기계학습 기반 소프트웨어인 예측 모델과 통합함으로써 좀더 정확한 전력 생산량을 예측할 수 있다. 이를 위해서는 예측 모델의 고도화에 필요한 알고리즘 튜닝²⁰⁾뿐만 아니라 데이터 가용성과 품질을 높일 수 있는 노력이 필요하다.

변동성이 큰 재생에너지의 발전량에 대한 정확한 예측은 궁극적으로 재생에너지의 활용을 확대하고 시스템의 운영비용을 절감하는데 기여한다.

실제로 IBM이 중국의 국가전력회사(Jibe Electric Power Company Limited)의 670MW 태양광-풍력 에너지 시설에 대한 데이터 분석과 풍력 발전량 예측을 위해 개발한 HyRef(Hybrid Renewable Energy Forecasting) 솔루션²¹⁾을 통해 풍력에너지 출력제약(curtailment)²²⁾을 10% 감소시킴으로써 추가로 약 14,000 가구에 전력을 공급할 수 있는 재생에너지를 전력망에 통합할 수 있었다(IRENA, 2019c: 69).²³⁾ 또한 캘리포니아 대부분을 관할하는 계통운영자 및 도매전력시장의 운영자(CAISO, California Independent System Operator)를 대상으로 수행한 연구에 따르면, 캘리포니아에서 단기(short-term) 바람 예측의 고도화로 연간 총 비용 절감액(용량 예비량, 주파수 조절 예비량 및 생산 비용 절감액)이 약 500만 달러에서 1억 4,600만 달러에 이를 수 있다고 보았다(IRENA, 2019c: 69).²⁴⁾

20) 예를 들어, 기계학습 프로세스가 시작되기 전에 값이 설정되는 매개변수 선택 최적화 등을 말한다(IRENA, 2019b: 16-17).

21) HyRef는 풍력 터빈 센서, 일기 예보, 구름의 이미지와 함께 기상 모델링 기능, 첨단 클라우드 이미지, 하늘을 향한 카메라를 사용하여 구름의 움직임을 추적하고, 15분에서 한 달 전에 이르는 기간 동안 출력을 예측할 수 있다(IRENA, 2019a: 69).

22) 하지만 재생에너지도 문제가 없는 것은 아니다. 풍력과 태양광 에너지 발전소의 출력은 제어가 어렵다. 바람이 불 때와 태양이 떠 있을 때만 발전할 수 있기 때문이다. 태양은 떠 있지만 에너지 수요가 적은 경우에는 태양광 패널을 송전망에서 분리해야 한다. 이를 출력제약(curtailment)이라 부른다. 이러한 변동성 때문에 전력 생산자는 예기치 못한 전력 수요가 발생할 경우에 대비하여, 발전을 하지 않더라도 천연가스 터빈같은 기존의 발전시설을 가동해야 한다. <https://www.gereports.kr/a-container-revolutionizing-energy-storage/>

23) 본 자료의 원소스 : NREL(2013), Market evolution: Wholesale electricity market design for 21st century power systems, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado.

24) 본 자료의 원소스 : NREL(2015), The value of improved short-term wind power forecasting, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado.

그러나 무엇보다도 궁극적으로는 이산화탄소를 많이 배출하는 화석연료의 활용을 줄이는데까지 이어져야 한다. 이를 위해서는 발전량 예측정보를 화석연료 발전사업자들과 실시간으로 공유함으로써 재생에너지 발전량 예측치를 고려하여 화석연료의 발전량을 조정할 수 있도록 해야 한다.

4 주요 국가 사례 분석

재생에너지 발전량에 대한 정확한 예측을 통해 더 많은 재생에너지를 전력시스템에 통합하고자 하는 노력은 오래전부터 이어져 오고 있다. 특히, 태양광과 풍력과 같이 변동성이 큰 재생에너지 비중이 높은 나라는 전력계통을 고도화하여 유연성을 확보하는 정책을 추진해 왔다(이석호·조일현, 2018: 1).

□ 미국 : Xcel Energy, IBM

파리 기후협약 탈퇴 의사를 밝혔음에도 불구하고, 미국은 에너지 혁신에 많은 기여를 하고 있다. 절대적 기준으로 미국은 청정에너지(clean energy) R&D에 2018년 68억 달러를 투자함으로써 중국과 일본의 투자를 합한 것보다 더 많았으며, 특히 기초 에너지 과학에 많은 투자를 하고 있다(ITIF, 2019: Key Findings).

재생에너지에 대한 지능화 정책은 주로 주정부 등 지방정부를 중심으로 추진되고 있다. 미국 콜로라도 전력회사 Xcel Energy는 2009년부터 2016년까지 콜로라도에서 풍력 발전량 예측을 37.1% 향상시키기 위해 380만 달러를 투자하여 전력회사의 고객들이 6,000만 달러의 비용절감 효과를 얻었다고 발표하였다(IRENA, 2019c: 69). 2011년부터 본격 건설된 풍력발전단지는 국립기상연구센터(NCAR, National Center for Atmospheric Research)에서 100마일 떨어진 고성능 컴퓨터로 데이터를 발송하고, 인공지능 기반 소프트웨어가 기상 위성, 기상관측소 및 기타 풍력발전단지의 데이터를 기반으로 발전량을 예측한다. 그 결과 발전소에서 예측한 것보다 훨씬 저렴한 비용으로 훨씬 더 많은 재생에너지를 사용할 수 있게 되었다.²⁵⁾ Xcel Energy의 예측시스템 초기 버전은 2009년에 출시되었지만 계속해서 업그레이드 되고 있다. Xcel Energy는 NCAR의 새로운 AI기반 데이터 마이닝 방법을 통해 더 높은 수준의 정확성과 세밀성으로 예측력 향상을 도모하고 있다. 시스템을 구동하는 알고리즘은 이러한 데이터 세트 내의 패턴을 식별하고 해당 데이터 포인트를 기반으로 예측하도록 훈련된다. Xcel Energy는 2009년 이후 콜로라도에서 풍력발전이 두 배로 증가하였으며, 2021년까지 풍력발전단지를 50%까지 확장할 계획이라고 발표했다.²⁶⁾

25) Kevin Bullis(2014.4.23.), Smart wind and solar power, MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.com/s/526541/smart-wind-and-solar-power/>

26) 에너지 효율 및 재생가능 에너지를 위한 인공지능 - 6개의 현재 응용분야. EMERJ 소속 Kumba Sennaar가 미국 국립보건원(NIH, National Institutes of Health)를 통해 연구 수행한 내용을 2019년 7월 9일 마지막으로 업데이트한 글임.



IBM은 2013년 산하 연구소가 미국 에너지부(DOE)의 지원을 받아 인공지능 엔진(Watson)을 재생에너지 분야에 적용하는 연구를 시작했으며, 2015년에는 약 2조 원을 들여 기상정보업체 웨더컴퍼니의 기상자료를 확보했다. 현재 IBM의 예측 모델(Watt-sun)은 기상 데이터를 적용한 다양한 예측 모델을 결합해 15분에서 30일 후의 일사량과 풍속을 예측하고 있다.²⁷⁾

□ 독일 : EWeLiNE Project와 Gridcast

독일은 총 전력생산 중에 재생에너지 비율이 매우 높다. 2018년 기준 총 전력생산에서 재생에너지 비중은 34.9%이며, 2050년에는 80%에 이르도록 한다는 계획이다.

표 5 독일의 전력생산 중 에너지원의 비중 (2018년)

에너지원 비중	재생에너지	원자력	갈탄	무연탄	천연가스	기타
	34.9%	11.8%	22.5%	12.9%	12.9%	5.0%
	↓					
	풍력	수소	바이오매스	태양광	폐기물	
	17.3%	2.6%	7.0%	7.2%	1.0%	

* 출처 : <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts> 참고하여 저자 재구성

이러한 목표달성을 위해 독일은 에너지원의 전력시스템 통합을 위한 혁신적인 기상 및 전력 예측 모델을 개발하여 적용하고 있다. 2012년부터 독일 연방경제에너지부(BMWi) 후원 하에 기상청(Deutscher Wetterdienst)과 Fraunhofer 풍력에너지 및 에너지시스템 기술연구소(IWES, Institute of Wind Energy and Energy System Technology),²⁸⁾ TSO Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH 및 50 Hertz Transmission GmbH 등 3개 송전사업자는 풍력터빈과 태양광 시스템의 날씨 및 전력 발전량 예측을 개선하고 특히 그리드 안정성에 중점을 둔 기계학습 기반의 새로운 예측시스템을 개발하는 EWeLiNE Project를 시작했다. 이 프로젝트의 가장 중요한 목표는 개선된 전력 예측 모델과 최적화된 일기 예보를 결합하여 풍력 및 태양광 전력 생산량 예측을 개선하는 것이다. 프로젝트 결과, 전지역의 기상을 15분 단위로 예측하고, 이를 토대로 풍력·태양광의 발전량 확률분포를 예측하는 모델을 완성하였다.²⁹⁾ 2017년부터는 후속 프로젝트 GridCast를 통해 예측 모델을 고도화하고, 전력망을 통해 효과적으로 발전전력을 전송하는 연구를 진행 중이다.³⁰⁾

27) 한국에너지신문(<http://www.koenergy.co.kr>).

28) Fraunhofer Institute는 하루에 최대 460 만 개의 데이터 세트를 기록 및 압축하고, 그리드 운영자를 위한 정확한 예측을 개발하고, 네트워크 이상을 감지하여 20 - 50 밀리 초 내에 데이터를 처리할 수 있는 AI 알고리즘을 개발했다(IRENA, 2019b).

29) EWeLiNE Project에 대한 자세한 내용은 https://www.iee.fraunhofer.de/en/presse-infothek/press-media/overview/2017/successful_completion_of_EWeLiNE_project.html 참조

30) 한국에너지신문(<http://www.koenergy.co.kr>); 특허청 보도자료(2018.5.9.), “재생에너지에도 4차 산업혁명의 물결-인공지능을 융합한 재생에너지 관련 특허출원 대폭 증가”.

EWeLiNE와 후속 프로젝트 Gridcast는 성공적이라는 평가를 받는다. 이는 AI를 통해 두 프로젝트 모두 태양열 센서, 풍력 터빈 센서, 기상 예보 데이터를 이용해 발전량을 정확하게 예측함으로써 화석연료의 발전량을 최소화할 수 있었기 때문이다(IRENA, 2019b: 11).

□ 국제재생에너지기구

IRENA는 “Innovation landscape for a Renewable-powered Future: Solutions to Integrate Variable Renewables” 프로젝트를 수행하고 있다. 이 프로젝트는 전력분야의 디지털 전환을 위한 30개 혁신요소를 4개 차원(enabling technologies, business models, market design, system operation)으로 구분하고, 전력시스템의 유연성 제고를 위한 다양한 솔루션을 공급 측면, 그리드 측면, 수요 측면, 시스템 측면으로 나누어 소개하면서 각각에서 30개 혁신요소가 어떻게 작용하는지를 분석하였다(IRENA, 2019a). 여기에서 제시한 공급 측면의 Solution 1(변동성이 큰 재생에너지 불활성의 감소와 고도화된 기후 예측)은 고도화된 기후 예측을 통해 변동성이 큰 재생에너지 발전량의 불확실성을 감소시키는데 초점을 두고 있다. 이를 위해 IoT와 AI, 빅데이터의 필요성을 강조했다며, 특히 기술의 발전으로 발전설비 현장의 다양한 데이터와 첨단 기상센터를 통해 수집된 데이터를 고도의 수학적 모델을 통해 클라우드 기반 컴퓨팅 처리능력과 결합하여 실시간 분석함으로써 예측 능력이 향상되었으며, 기계학습 기술을 적용하여 모델을 지속적으로 고도화함으로써 더욱 향상될 수 있다고 보았다(IRENA, 2019c: 67). Solution 1에는 EWeLiNE 프로젝트 사례가 포함된다.

5 전략적 시사점

기후변화에 대응한 세계적인 에너지 믹스 전환에 따라 우리나라도 재생에너지, 특히 변동성이 큰 태양광과 풍력 에너지 확대 기조로 전환하고 있다. 본 연구에서는 그 첫 번째 출발점으로써 재생에너지의 발전량 예측시스템 지능화가 필요하며, 이를 통해 재생에너지 활용을 최대화하고 화석연료의 활용을 낮춤으로써 이산화탄소 배출이나 미세먼지로 인한 환경오염과 기후변화의 문제를 해결할 수 있다고 보았다.

그렇다면 재생에너지 발전량 예측시스템의 지능화를 위해 필요한 것은 무엇일까?

첫째로 변동성이 큰 재생에너지 발전량 예측을 위한 다양한 모델 개발 및 현장 적용을 위한 R&D와 시범연구가 강화되어야 한다. NTIS 연구생태계맵 서비스를 통해 “재생에너지+예측”을 키워드로 분석한 결과,³¹⁾ 2015년부터 2019년까지 재생에너지 발전량 예측관련 연구는 총 7개이고, 2019년 사업년도까지의 총 투입 예산은 5.84억 원에 불과하다. 연구사업을 살펴보면, 대부분 2018년 이후에 시작되었을 뿐만 아니라 대학에서 수행하는 기초연구가 많다. 연구자의 속성으로 보면, 기계공학, 기후융합, 에너지 그리드, 산업공학 등 다양

31) [https://www.ntis.go.kr/ecologymap/\(2019.10.7 접속 기준\)](https://www.ntis.go.kr/ecologymap/(2019.10.7%20접속%20기준))



하나 개별적이고 독립적인 연구여서 상호 시너지 창출이 어렵다.

표 6 NTIS 기반 재생에너지 발전량 예측 관련 연구 현황

연구과제*	사업수행기관	연구개발단계	연구개시일 (사업기간)	투입 예산** (단위: 억 원)
인공지능기반 ****신재생 설비 가용성, 발전량 예측 시스템	중소기업	개발연구	2018.6.12. (1년)	1.85
위성터***일사량 예측방법 연구	대학	기초연구	2018.07.10. (3년)	1.4
태양에너지 생산량 예측을 위한 기계학습 연계***모델연구	대학	기초연구	2019.3.1. (4년)	0.75
***풍력 및 태양광 에너지 예측시스템 개발	대학	응용연구	2018.10.1. (4년 2개월)	0.7
***머신러닝 기법 기반의 **발전량 예측 모델 개발	대학	기초연구	2019.6.1. (5년)	0.38
에너지시스템 유연성 확보를 위한 *** 예측모형 개발	대학	기초연구	2019.6.1. (2년 11개월)	0.38
***신재생에너지 발전량 예측 및 최적화 모형 개발	대학	기초연구	2019.6.1. (2년 11개월)	0.38

주 * 연구과제명은 일부만 제시

** '19년 이전에 시작하여 '19년말 종료 또는 '19년 중에 시작하여 '20년 중에 종료하는 사업의 예산 총액

ITIF는 에너지 분야 혁신에 있어 정부의 역할은 2015년 파리 기후변화 협약과 MI 이니셔티브(Mission Innovation Initiative)³²⁾를 통해 확인되었으며, 정부는 에너지 혁신을 위해 R&D 투자, 세금 지원, 규제 정책 등의 수단을 강구해야 한다고 주장하였다(ITIF, 2019.8: Introduction). 따라서 정부는 좀더 적극적으로 재생에너지 확대를 위한 R&D에 투자해야 하며, 재생에너지 발전량 예측시스템의 지능화를 위해서도 기초 연구뿐만 아니라 응용 및 개발 연구, 시험서비스 등 활발한 연구활동이 전개될 수 있도록 해야 한다.³³⁾

둘째, 발전량 예측시스템 지능화의 기반기술인 AI, 빅데이터, 센서 등에 대한 R&D가 필요하다. 기술이 상당히 고도화 되었음에도 산업에 적용하기 위해서는 해당 분야에 적합한 기술수준이 필요하다. 발전량 예측모델은 좀더 간결해져야 하고, 센서로부터 오는 엄청난 데이터를 더 잘 구조화해야 한다. 또한 적은 데이터로부터도 의미있는 정보를 추출할 수 있어야 한다. IRNEA도 AI의 잠재력을 최대화하기 위해서는 좀더 많은 투자와 연구가 필요하다고 보았다(IRENA, 2019b: 16).

셋째, 발전량 예측에 필요한 다양한 분야의 전문가들이 참여하는 연구 커뮤니티의 형성이 다. 전통적으로 오랜기간 발전해 온 에너지 발전 부문을 혁신하는데 있어서는 무엇보다 해당 당사자들의 참여가 중요하다. 여기에 에너지, 기상학·기후학, 산업공학, AI와 빅데이터 등

32) MI는 공공투자와 비즈니스 리더십을 통해 청정에너지 혁신을 가속화 시키기 위해 24개국과 유럽연합이 참여하는 글로벌 이니셔티브이다. 우리나라도 회원이다(<http://mission-innovation.net/>).

33) 김현제(2018), 4차 산업혁명과 전력산업의 변화 전망, 수시연구보고서 18-14, 에너지경제연구원.

ICT 분야 산·관·학·연 전문가들이 한자리에 모여 동일한 목적을 위해 토론하고 연구하는 장이 만들어져야 한다. 또한 연구 커뮤니티는 에너지 분야 지능화를 위한 계획수립 단계에서부터 실행단계까지 전 과정에 참여함으로써 정책집행의 효율성과 실행력을 높이는 것이 필요하다.

넷째, 지능화된 시스템의 관리와 운영을 위한 실무자들의 훈련과 재교육이다. 지능화로 의 변화는 인적 자본의 필요 역량이나 관리 방식에도 변화를 초래한다. 즉 재생에너지 발전시스템 운영 인력이 지능화된 시스템을 효과적이고 효율적으로 관리하고 운영할 수 있도록 필요한 교육과 훈련 기회를 제공해야 한다. 또한 이것은 해당 분야 일자리를 유지하고 피해를 감소시키는 데도 매우 중요하다.

현재 우리나라 전력시장은 하루 전에 시장가격이 결정되어 실시간 수급 변동이나 각종 제약 요소들이 반영되지 못하고 있다(산업통상자원부, 2019.6). 발전량 예측시스템 지능화를 통해 재생에너지의 실시간 변동성과 제약 요소(예비력,³⁴ 열공급, 송전 등) 등 실제 수급여건이 반영된다면, 생산된 재생에너지를 최대한으로 활용하는 등 시스템의 유연성을 확보할 뿐만 아니라 재생에너지 확대 정책에도 크게 기여할 것이다.

34) 전력예비율은 설비예비력, 공급예비력, 운영예비력으로 구성된다. 우리나라에서 신재생에너지는 전력예비율 확보에 주요 역할을 하고 있다.



www.etri.re.kr

본 보고서는 ETRI 기술정책연구본부 주요사업인 "ICT R&D 경쟁력 제고를 위한 기술경제 및 표준화 연구"를 통해 작성된 결과물입니다.

본 저작물은 공공누리 제4유형:

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.



ETRI Electronics and Telecommunications
Research Institute

34129 대전광역시 유성구 가정로 218
TEL. (042) 860-6114 FAX. (042) 860-6504

