

# ISSUE PAPER

미래를 보는 정책, 현재를 이끄는 기획  
가치를 그리고, 생각을 실현하다

2021.01

제2호

## 신재생에너지 초과발전 대책 및 잉여전력 활용 방안

정책기획단

## 요 약



계속적으로 문제 되었던 온실가스로 인한 기후변화 위기를 해결하기 위하여 세계 각국은 신재생에너지 분야 발전 및 에너지 절감 정책에 대해 많은 투자를 하였다. 제주특별자치도 또한 '13년도부터 Carbon Free Island 2030 정책을 추진하면서 신재생에너지 발전 설비 보급 및 발전량 증가에 많은 기여를 하였다.

온실가스로 인한 기후변화 대응에 대한 제주도 에너지 관련 계획으로는 1)제주 CFI 2030 계획(1차, 2012), 2)지역에너지 계획(5차, 2018), 3)전력수급기본계획(8차, 2017), 4)지역에너지 계획(6차, 2020), 5)제주형 뉴딜 종합계획(1차, 2020) 등과 같이 시행되었다. 적극적인 정책 시행을 통해 제주지역의 신재생에너지 설비용량은 전국 평균보다 빠른 증가세를 보였으며, 그 중 태양광과 풍력의 비중이 매우 크게 증가하였다. '12년~'19년까지 제주지역 신재생에너지 발전 설비에서 태양광 및 풍력이 차지하는 비중은 지속적으로 증가하였으며 현재까지도 계속 증가하는 중이다.

한국전력거래소와 한국전력공사는 오래전부터 제주도 신재생에너지의 계통접속 한계용량을 논의해왔고, 실제로 2015년부터는 한계용량 초과 문제에 대응하기 위해 제주도 내 풍력발전 사업자에 대한 출력제한을 하고 있다. 지난 '15년 3회를 시작으로 제주의 풍력발전 출력제어는 '18년 15회, '19년 46회를 기록하였으며, '20년은 8월까지 44건이 발생하였다. 친환경 에너지 자립 섬을 만들겠다는 목표 아래 제주도 곳곳에 구축한 신재생에너지 발전 설비가 과포화 상태에 이른 것이다. 재생에너지 발전 설비용량이 급증한 탓에 섬이 수용할 수 있는 양 이상의 전력을 생산하자 풍력 발전기를 강제로 멈춰 세우는 사례가 급증한 것으로 이에 따른 경제적 손실은 수백억 원에 이를 것으로 추정된다.

계획된 보급목표를 모두 설치하여도 실제 생산을 통한 전력 판매로 이어지게 하기 위해서는 전력계통망 보강과 함께 도내 전력소비량을 초과하는 잉여전력에 대한 육지로의 역송 또는 에너지저장장치(ESS)의 활용과 수전해 그린 수소(P2G: Power to Gas)로의 생산, 마이크로 그리드(Micro Grid) 등 다양한 기술적 대안을 마련해야 한다. 물론 개발과 공급을 우선시해왔던 정책도 수요관리에 중점을 두는 방향으로 변해야 하고, 전력시장 제도 개편도 필요하다.

따라서 전력계통 한계용량을 증대시키기 위한 사업들을 우선적으로 추진해야 하고, 앞으로 다른 지역에서도 재생에너지 보급이 증가할 경우 같은 문제가 나타날 수 있기 때문에 국가적 차원에서 계통한계 문제를 해결할 수 있도록 시범 실증 사업에 정부의 지원을 적극적으로 이끌어내야 한다.

## C O N T E N T S

I. 제주지역 에너지정책 및 신재생에너지 현황	1
II. 제주지역 풍력발전 출력제어(Curtailment) 현황	3
III. 출력제어 해소 방안(시장중심)	4
IV. 출력제어 해소 방안(기술중심)	7
V. 시사점	10

# I

## 제주지역 에너지정책 및 신재생에너지 현황

### 01 제주지역 주요 에너지정책

'12년 5월 제주특별자치도는 '30년까지 제주도를 전 부문 탄소 없는 섬 달성을 목표로 한 '탄소 없는 섬 2030(Carbon Free Island Jeju by 2030, 이하 CFI 2030)' 계획을 추진하여 풍력발전 확대, 전기자동차 보급, 스마트그리드 기술 실증 등 탄소 감축 정책을 선도적으로 실천하였다. 그 후 '19년 6월 CFI 2030 수정보완계획을 통해 신재생에너지 보급목표를 수정하였다. 제주도의 전력수요 100%에 대응하는 신재생에너지 설비 도입 계획은 변동이 없으나, 신재생에너지 보급목표를 기존 4,311MW에서 4,085MW로 목표 조정하여 현재까지도 진행 중이다.

제주도 CFI 신재생에너지 보급 목표 수정안

구 분(MW)		CFI 기존안	CFI 수정안	비 고
계		4,311	4,085	- 기존계획 대비 226MW 축소
풍력	소계	2,350	2,345	- 기존계획 대비 5MW 축소
	육상	450	450	- 자립형 보급사업 추진
	해상	1,900	1,895	- 터빈 대형화, 고정식 해상풍력 잠재량 적극 활용
태양광		1,411	1,411	- 부하대응 및 P2G기술 상용화 고려
연료전지		520	104	- 기존 계획 유지
해양에너지		10	10	- 기존 계획 유지
바이오/폐기물		10(바이오10)	40(바이오/폐기물40)	- 도내 바이오/폐기물 자원 최대 활용
지열		10	-	- 안전성 및 수용성 문제로 도입 보류
바이오중유		-	175	- 기존 중앙 발전기 연료 교체

자료: CFI 2030 계획 수정보완 용역보고서(에너지경제연구원, '19.6.)

'20년 5월 국가 에너지기본계획, 보급추세, 잠재량, 계통 및 제주의 정책 의지, 사회적 수용성 등을 반영하여 제주특별자치도는 제6차 지역에너지계획에서 '25년까지의 신재생에너지 보급목표를 설정하였다. 기후 위기 대응 신재생에너지, 전기차, 에너지 이용 효율화 기반 사업화로 에너지 자립 실현, CFI(Carbon Free Island) 친환경 미래도시 메카로의 자리매김을 위한 제주형 그린뉴딜의 추진 방향을 설정하였다.

제주형 뉴딜 종합계획(안)

현 상황			미래 모습
성과지표	2020년		2025년
전기차 보급 (도내 등록차량 점유율)	20,105대 (5%)	→	167,165대 (33.4%)
신재생에너지 발전량 비율	14.4%	→	33.1%
온실가스 배출 (한국환경공단 '17년발표)	4,251천tCO <sub>2</sub>	→	3,548천tCO <sub>2</sub> * 배출량 16.5% 감축
일자리 창출	-	→	30,784명

자료: 제주형 뉴딜 종합계획(안) (제주특별자치도, '20.10.)

## 02 신재생에너지 보급용량(설비용량) 및 발전량 추이

제주 지역의 신재생에너지 보급용량은 전국평균보다 약 2배 이상 빠른 증가세('12~'18년 동안 연평균 증가율 36.5%)를 보였으며, 그 중에서 태양광이 54.9%의 증가율로 크게 증가하였다.(전국 평균보다 13.7%p 높은 수준)

제주도 신재생에너지 누적 보급용량(설비용량) 추이

구분	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	CAGR ( '12~'18)
전국 신재생 설비용량비중 (신재생 설비용량)	10.0% (8,141)	11.4% (9,937)	12.7% (11,860)	14.1% (13,729)	13.1% (13,846)	13.4% (15,703)	16.0% (19,027)	8.1 (15.2)
제주도 신재생 설비용량비중 (신재생 설비용량)	13.2% (114)	17.2% (143)	46.8% (418)	50.4% (513)	53.0% (576)	54.1% (603)	54.6% (737)	26.7 (36.5)
태양광	전국	1,024	1,555	2,481	3,615	4,502	5,835	41.2
	제주도	15	24	77	106	122	148	54.9
풍력	전국	492	583	645	853	1,035	1,303	17.6
	제주도	96	99	160	222	273	270	18.8

\*설비용량 비중: 발전설비용량/신재생설비용량

자료: 에너지경제연구원 지역에너지 통계연보, 제주 제6차 지역에너지계획( '20.1)

## 03 제주 신재생에너지 전력설비 현황 및 발전량 점유율

'11년 4%대에 불과했던 제주도의 신재생에너지 발전량은 '19년 14.4%까지 올라섰다. 그 가운데 신재생 발전 세부 점유율로는 풍력발전이 9.4%, 태양광 발전이 4.4%, 기타 발전이 0.4%를 차지하고 있다.

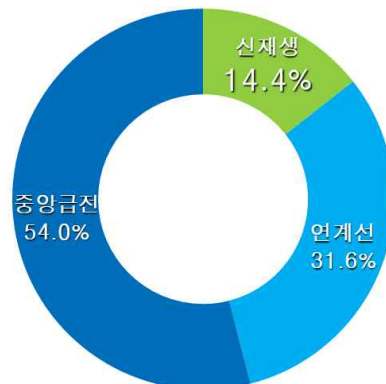
전력설비 현황(MW)

( '20.7월 말 기준)

구분	설비용량	소계
중앙급전 발전기	남제주기력#1,2	200.0
	제주기력#2,3	150.0
	제주내연#1,2	80.0
	한림복합	105.0
	제주LNG복합#1,2	228.7
신재생 발전기	풍력	291.7
	태양광	345.8
	소수력	0.53
	기타	26.8
연계선	#1HVDC	150.0
	#2HVDC	250.0
전력설비 합계		1,817.9

발전량 점유율(%)

( '19년 연간실적 기준)



자료: 신재생에너지 초과발전 대책 및 잉여전력 활용(전력거래소, '20.9)

## II

## 제주지역 풍력발전 출력제어(Curtailment) 현황

### 01 풍력발전 출력제어 현황

최근 제주도의 재생에너지 출력증가로 인한 전력공급 과잉을 해소하기 위해 중앙급전발전기 출력감소, 풍력제어 등을 시행하고 있다. 전력은 공급이 모자라도 문제지만 넘쳐나도 전력망에 과부하가 걸려 사고로 이어질 수 있다. 전력수요가 낮은 시간에 풍력·태양광 발전기에서 전력 공급이 급격하게 늘면 제주지역 다른 발전기의 출력을 최소로 낮춰도 제주 전력계통 과부하로 인해 대규모 정전사태(블랙아웃)가 발생할 우려가 있다. 한국전력거래소가 풍력발전기 운전을 중지시키고 있는 것이다.

'19년 9월, 전력거래소는 제주특별자치도와 제주에너지공사 등 각 사업자로 연도별 재생에너지 최대운전가능량 현황자료를 보냈다. 현재는 제3 연계선이 준공되지 않아 제1, 2 연계선만 운전이 되는 상황으로, 최대운전가능량은 590MW인데, 보급된 신재생에너지 설비는 실질적으로 600MW가 넘는다. 풍력발전 출력제어는 '15년 최초로 3회, '16년 6회 발생한 이후 '19년 46회로 3년 사이 8배 가까이 급증하였다. '20년에는 상반기에만 '19년 수준인 44회에 육박하는 수준이다. 출력제어 없이 정상 가동 되었다면 13.4GWh의 전력을 더 얻었을 것으로 추산된다. 이는 4인 가족 기준 3000가구가 1년 동안 사용할 수 있는 전력량이다.

제주 연도별 풍력발전 출력제어 현황

구분	출력제어횟수	제어량(MWh)	풍력전체발전량(MWh)	제어비중(%)
2015년	3회	152MWh	352,183MWh	0.04%
2016년	6회	252MWh	470,576MWh	0.05%
2017년	14회	1,300MWh	542,525MWh	0.24%
2018년	15회	1,366MWh	540,073MWh	0.25%
2019년	46회	9,223MWh	556,999MWh	1.66%
2020년 1~8월	45회	13,166MWh	391,309MWh	3.36%

자료: 연도별 제주 풍력발전 출력제어 발생 추이(그린에너지뉴딜 브리프, 한국에너지기술평가원)

수치로만 보면 재생에너지 발전 설비를 줄여야 하는 상황이지만, 한림읍과 구좌읍, 애월읍 등에 풍력 발전기를 더 세우는 프로젝트만 10개(652MW)에 이른다. 대신 정부는 제주에서 생산한 전력을 육지로 전송해 전력 과잉 공급을 해소하겠다는 방침이다. '23년까지 제주-완도 구간에 제3 연계선을 설치하겠다는 것이다. 전력거래소는 '20년 100회 이상의 출력제어가 전망된다고 예측하였으며, '22년에는 240회로 증가하여 227억 규모의 손실을 예상하였다. 하지만 '23년 제3 연계선이 연계되어 역송 가능 시 '22년 대비 30%로 감소할 것으로 전망한다.

출력제어 예측 현황(전력거래소)

구분	2020년	2021년	2022년	2023년
출력제어횟수	137회	201회	240회	32회
제어량(MWh)	36318MWh	65,496MWh	126,305MWh	12,624MWh

자료: 3HVDC 준공(전력거래소, '20.4)



## III

## 출력제어 해소 방안(시장중심)

국내 도매전력시장은 아래의 그림과 같이 전력을 판매하는 발전회사와 송배전회사 역할을 동시에 겸하는 판매회사인 한전과 소수의 구역 전기사업자가 전력을 거래하고 있다. 도매시장에 전력을 판매하는 공급자로는 공기업인 6개 발전회사와 다수의 민간 발전회사, 수많은 신재생 발전회사, 잉여전력을 판매하는 자가용설비 등으로 구성된다. 도매전력시장에서 전력을 구매하는 수요 측, 판매회사는 한전이 현실적으로 독점하고 있다. 일정 자격을 갖춘 대규모 소비자는 도매시장에서 직접 전력을 구매할 수 있지만, 가격이 상대적으로 낮고 불확실성이 적은 한전으로부터 전부 구매하고 있는 실정이다. 한전은 도매시장에서 구입한 전력을 소비자에게 종별로 판매하고 있으며 이를 소매시장이라 부르고 있다. 우리나라는 소매 경쟁은 없고 발전 경쟁만이 존재하므로 소비자의 전력시장 참여와 선택권은 사실상 없는 셈이다.

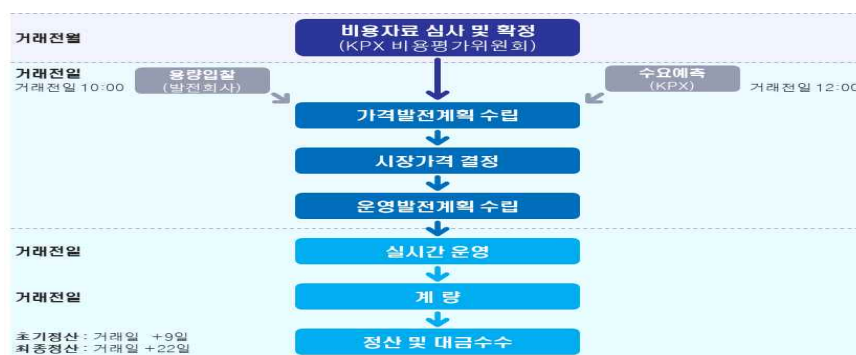
도매전력시장의 구성



출처: BNEF, New Energy Outlook 2019

도매전력시장의 시장가격 결정 및 발전사업자 보상은 기본적으로 비용을 바탕으로 결정되기 때문에 이를 비용기반 전력풀(CBP, Cost Based Pool)로 부르고 있다. CBP는 에너지 시장의 시간대별 계통한계가격(SMP, System Marginal Price) 용량에 대한 보상 체계인 용량요금(CP, Capacity Payment), 보조서비스 보상기준(ASP, Ancillary Service Payment) 등을 포함하고 있다. CBP 시장에서 결정되는 제반 비용의 경우 용량요금은 연 단위, 연료비는 월 단위, SMP는 하루 전 한 시간 단위로 결정된다.

도매전력시장의 운영 절차



출처: 변동비 반영시장의 현황 및 개선 방향, 전기저널('20.09)

## 01 실시간 시장(전력시장 제도개선)

현재 국내 전력시장에는 하루 전 시장(Day-ahead market)으로 이루어져 있고, 실시간 시장(Real time market)은 부재하여 수급불균형을 유발한 사업자에 부과하는 벌과금 또한 없는 상황이다. 실시간 시장 도입으로 이중정산시스템에 따라 변동적 신재생에너지 사업자는 일반 발전사와 동일 또는 완화된 밸런싱 의무를 부여받게 되면 발전량 예측 제고와 계획 발전량 준수 의무가 발생하므로 수급불균형이 따른 제약 비용 증가와 같은 경제적 비효율성을 방지할 수 있다. 이에 따라 보조 서비스 시장과 5분 단위의 실시간 시장가격이 형성될 경우에는 유연성 제공 자원인 가스터빈, 양수와 같은 피크 발전기와 DR, ESS와 같은 신기술이 적절한 보상을 받을 기회가 늘어나 수익성이 개선될 수 있다.

또한 유럽 전력시장과 같이 하루 전 시간과 실시간 시장 사이에 당일 시장(Intra-day market) 개설을 고려할 수 있다. 하루 전 시장과 실시간 시장 사이에 풍력발전의 예측 결과를 보다 빠르게 반영하고 가스터빈보다 저렴한 발전기의 참여를 유도할 수 있다면 예비력 확보 비용을 감소시킬 수 있다. 우리나라도 장기적으로 안전도 제약기반 기동정지계획과 경제급전 모델을 활용해 모션별 시장가격제도를 도입할 필요가 있다. 이와 유사하게 환경 급전에 따른 석탄의 출력저하 등은 가격 결정과 보상 방식에서의 변화가 필요하다. 실제 발전과 연계해 시장가격과 보상 방식을 결정할 필요가 있는 것이다.

에너지 및 보조서비스 시장 현황

구분	장기계약시장		현물시장		실시간 밸런싱시장	AS시장
	선도시장	선물시장	하루전시장	당일시장		
미 국	O		O		O	O
유 럽	O		O		O	O
한 국	X		X		O	X

자료: 변동비 반영시장의 현황 및 개선 방향(전기저널, '19.11)

## 02 전력계통 유연성 증대

전력망 관리체계를 고도화하기 위해서는 국가 전력망의 안정적, 효율적 운영을 위하여 전력망 ICT 인프라를 확충하는 등의 국가 전력시스템을 고도화하여야 한다. 발전, 송·변전 설비를 원격 감시·제어하는 기존의 SCADA 시스템(Supervisory Control And Data Acquisition System)을 실시간 계통 분석이 가능하도록 기능 향상에 힘써야 한다. 일정 지역에서 국지적으로 발생하는 전력 수급의 변동에 대응하여 통합 운영이 가능한 배전망 연계 전력 설비(차단기, 개폐기→신재생, ESS, 인버터 등으로 확대)로 범위를 확대하여야 한다.

또한 통합운영발전계획 시스템을 구축하여 실시간으로 전력수요와 재생에너지의 변화에 맞추어 발전기의 기동 및 정지 등의 발전계획을 자동 재수립하여야 할 것이다. 현재는 주간 및 하루 전에 발전계획을 수립하고 있으나, 당일 및 실시간에서도 발전계획을 수립함으로써 정밀도를 높일 수 있는 다중 통합 운영발전계획 시스템을 구축하여야 한다. 현재 한국전력거래소에서 전력수요의 변화, 발전기 고장 등 수시로 변화하는 계통 여건을 반영하여 전력계통 운영 관제사가 보다 쉽고 합리적으로 발전기 자원의 기동과 정지를 판단할 수 있도록 실시간에 기반한 시스템을 구축 중이라고 한다.

### 03 보조서비스 시장 도입

국내 전력시장에서 계통운영보조서비스(AS, Ancillary Service)는 전력계통의 신뢰성, 안정성 및 전기품질의 유지 그리고 전력거래를 원활하게 하기 위해 전기사업자가 제공하는 주파수 조정, 예비력, 무효전력 및 자체기동 등으로 구분되어 있는 서비스를 말한다.

계통운영보조서비스에 참여하고자 하는 발전사업자는 해당 발전기의 주파수추종운전<sup>1)</sup> 범위, 부동대<sup>2)</sup>, 속도조정률, 자동발전제어 운전범위 등에 대한 보조서비스 특성 자료를 제출해야 하며 전력거래소는 제출된 자료의 특성 자료를 기반으로 보조서비스 확보를 위한 요구 조건을 반영해 운영발전계획 및 실시간 급전 계획을 수립하게 된다. 현재 우리나라 전력시장은 예비력을 제공하는 자원에 대해 시장가치 기반으로 보상하는 보조서비스 시장이 없다. 현 보조서비스 시장은 기회비용을 정확하게 평가해 산정하는 해외 방식과는 달리 예산 배정액 기준으로 보조서비스 형태별로 일정액을 적절하게 배분하여 보상하는 구조를 가지고 있다. 이로 인해 재생에너지 변동성을 제공하는 유연성 자원은 불리한 반면, 석탄발전기와 같은 기저발전기는 예비력 제공에 따른 기회비용을 제약비발전 전력량 정산금(Constrained-OFF energy payment, COFF) 방식으로 보상받기 때문에 오히려 유리하다.

단기적으로는 보조서비스 유형별로 보상 수준을 점진적으로 정상화할 필요가 있으며 에너지 신기술, 가스터빈 등 실제로 서비스를 제공하는 자원에겐 그 혜택이 집중될 필요가 있다. 중장기적으로는 보조서비스의 서비스 형태별로 가격입찰을 받아 수요와 공급에 기반하는 시장 메커니즘을 통해 가격을 결정해야 한다. 물론 이는 에너지 시장과의 동시 최적화 과정을 통해 결정되어야 한다. 또한 제약비 발전의 형태로 보상받는 비용은 연계되어 줄일 필요가 있다.

### 04 재생에너지 예측 및 제어 시스템 운영

신재생 발전량이 날씨의 영향으로 급격하게 변화할 때는 전력 설비가 안정적으로 유지되도록 사전 대처가 중요하다. 따라서 전력계통에서 변동적 재생에너지를 안정적으로 운영하기 위해서는 신재생에너지 관제 센터 및 예측 시스템 고도화 필요하다. 아래 표와 같이 재생에너지 예측 및 제어 시스템의 도입 및 검토할 필요가 있다.

시스템	내용
CECRE (Control Centre of Renewable Energies)	- 계통에 안정성 문제가 발생 시 이를 해결하기 위한 목적으로 자동적인 풍력발전기의 출력제한 결정과 운전 지령을 내림.
RESCC (Renewable Energy Resources Control Centres)	- 담당 지역 내에 신재생을 포함한 모든 발전기를 대상으로 협조 제어와 감시 역할을 수행함.
ERCOT (Electric Reliability Council of Texas)	- 풍력발전 예측 시스템과 대규모 출력 변동 경보 시스템을 운영함.
ELRAS (ERCOT Large Ramp Alert System)	- 전체 시스템과 지역별로 6시간 뒤까지의 풍력발전 출력 변동 발생 가능성에 대한 정보를 제공함.

1) 주파수의 변동이 일어났을 때 즉시 대응하기 위한 방식

2) 부동대는 주파수추종예비력 참여 시 참여 자원이 반응하지 않는 주파수 영역으로, 부동대가 민감하게 설정될수록 작은 규모의 주파수변동도 감지할 수 있다.



# IV

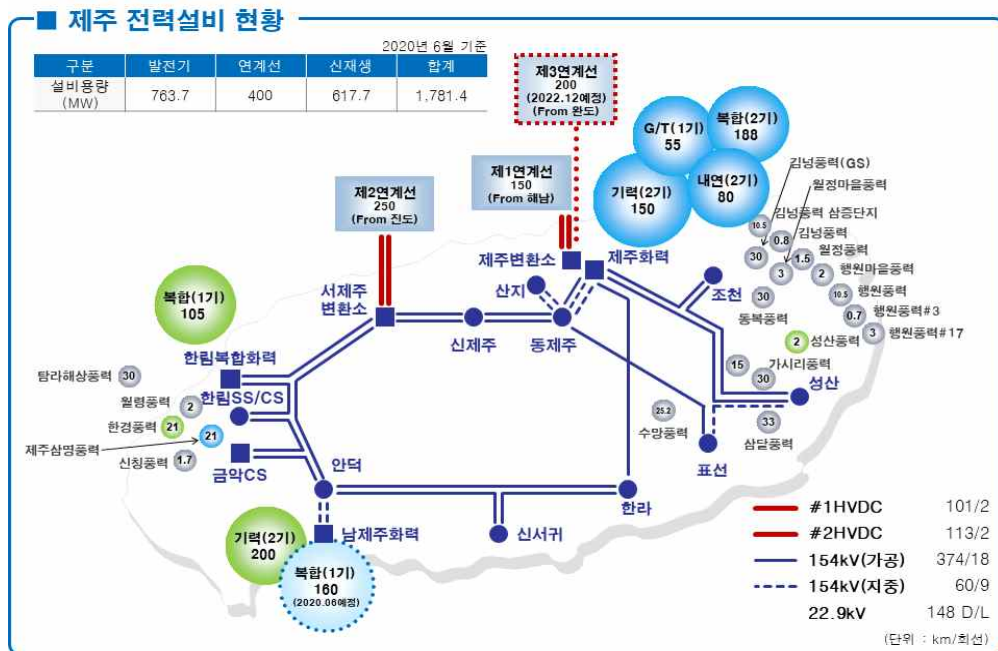
## 출력제어 해소 방안(기술 중심)

### 01 HVDC 확충 방안

HVDC 기술은 해저케이블 송전, 대용량 장거리 송전, 주파수가 상이한 교류 계통 간 연계, 도시 밀집 지역의 단락용량 경감을 위한 연계 등 활용 분야가 넓은 차세대 전력 전송기술이다. '98년 제주-해남 간 구축되어 운용되고 있는 제1 연계선은 300MW 용량 중 시스템의 안정성을 위하여 50%인 150MW 기준으로 주파수 운전 모드와 정출력 운전 모드로 현재까지 제주지역에 전력을 공급하고 있다. 제주 제1 연계선은 해남에서 제주 쪽으로만 전기를 송전하는 시스템으로 제주에서 해남 쪽으로 역송은 불가능하기 때문에 제주지역에 풍력 출력이 증가하여 역송이 필요한 경우 이 시스템은 역할을 할 수가 없다.

제2 연계선은 '14년 제주-진도 사이 해저에 설치된 양방향 송수전이 가능한 회선당 200MW씩 400MW 용량의 HVDC이다. 제주도는 제2 연계선을 이용하여 제주지역 재생에너지 잉여전력의 일부를 송전하는 방안을 추진하고 있다.

제주지역 HVDC 계통도



제2 연계선 변환설비는 1~2분 내 송전 방향을 바꾸는 것이 가능하지만, 케이블은 단시간 내 극성을 바꿀 경우 신뢰성을 담보할 수 없게 된다. 이에 따라 육지로의 역송은 최소 6시간 전부터 해당 연계선 송전을 최소부하(20MW)로 낮춰 미리 준비해야 하며, 송전 가능용량도 정격 400MW가 아닌  $\pm 140\text{MW}$  범위 안에서만 가능한 것으로 전해진다. 2개의 회선 중 1개 회선을 이용해 제

주전력 160MW를 육지로 송전하면, 다른 회선이 육지전력 20MW를 제주로 보내 140MW만큼의 유연성을 확보하는 방식이다. 그러므로 제2 연계선의 송전량은 150MW 정도이다. 만약 전력 수급 여건이 바뀌어 다시 육상 전력을 제주로 보내야 한다면, 6시간의 케이블 휴지(休止)가 필요하다.

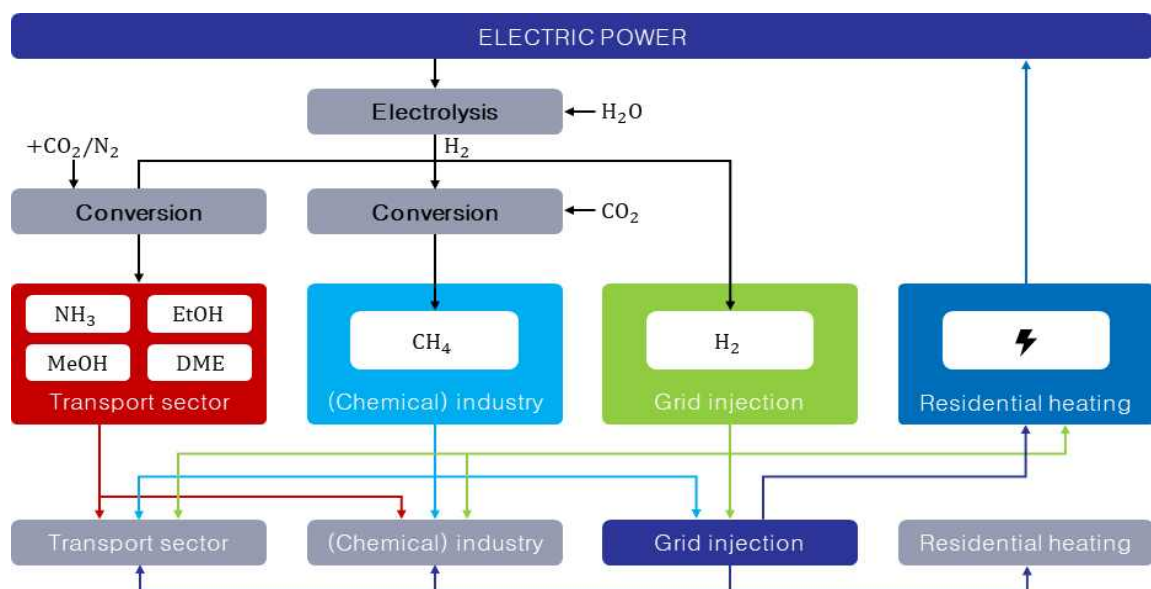
'20년 제주와 완도를 연결하는 총연장 96km의 제3 연계선 구축사업을 총 5000억원을 투자하여 진행할 예정이다. 한전은 당초 '21년 6월 준공을 목표로 하였지만, 케이블 공급 및 포설 공사의 유찰 관계로 준공 시점을 '22년 말로 변경했다. 제3 연계선 구축사업은 전압형 HVDC(초고압 직류송전)연계선로 구축사업으로, 제주지역의 전력 과잉 생산으로 남는 잉여전력을 육지로 송전할 계획이다. 제 3연계선이 완공되면 제1 해저 연계선(150MW)과 제2 해저연계선(250MW)이 더해져 총 600MW로 늘어나게 될 것이다.

## 02 그린수소 생산 P2G(Power to Gas)

출력제한을 감소시키는 방법 중 하나는 전력계통에 유연성 자원을 제공하는 것이다. 수요관리, 배터리 등이 유연성 자원으로 고려되고 있다. 그 중 가장 큰 관심을 받는 방안 중 하나는 전력 수요를 상회하는 공급 전력을 수소로 변환시켜 저장하는 것이다. 즉, 수전해를 이용하여 전기를 수소로 저장하고 다시 전력이 필요할 때 연료전지를 이용하여 수소를 전기로 전환하는 것이다.

P2G(Power to Gas)는 밸런스 기능(balance function), 에너지 저장(energy storage), 지속가능한 원료(sustainable feedstock), 지속가능한 연료(sustainable fuel)로서 역할을 수행할 뿐만 아니라, 에너지 네트워크 투자를 최적화하고 가스 부문의 탈탄소화를 유도한다. 또는, P2G는 재생에너지 변동성에 대응하여 소규모, 대규모의 출력 증감 서비스를 제공하며, 전력 시스템의 안정적인 운영을 위한 주파수 조절 서비스를 제공하고, 전력 부하 변화에 신속히 대응하여 간헐적 성격을 지닌 신재생에너지 비중이 높은 전력 시스템에 안정성을 높일 수 있다.

P2G 개념 구조도



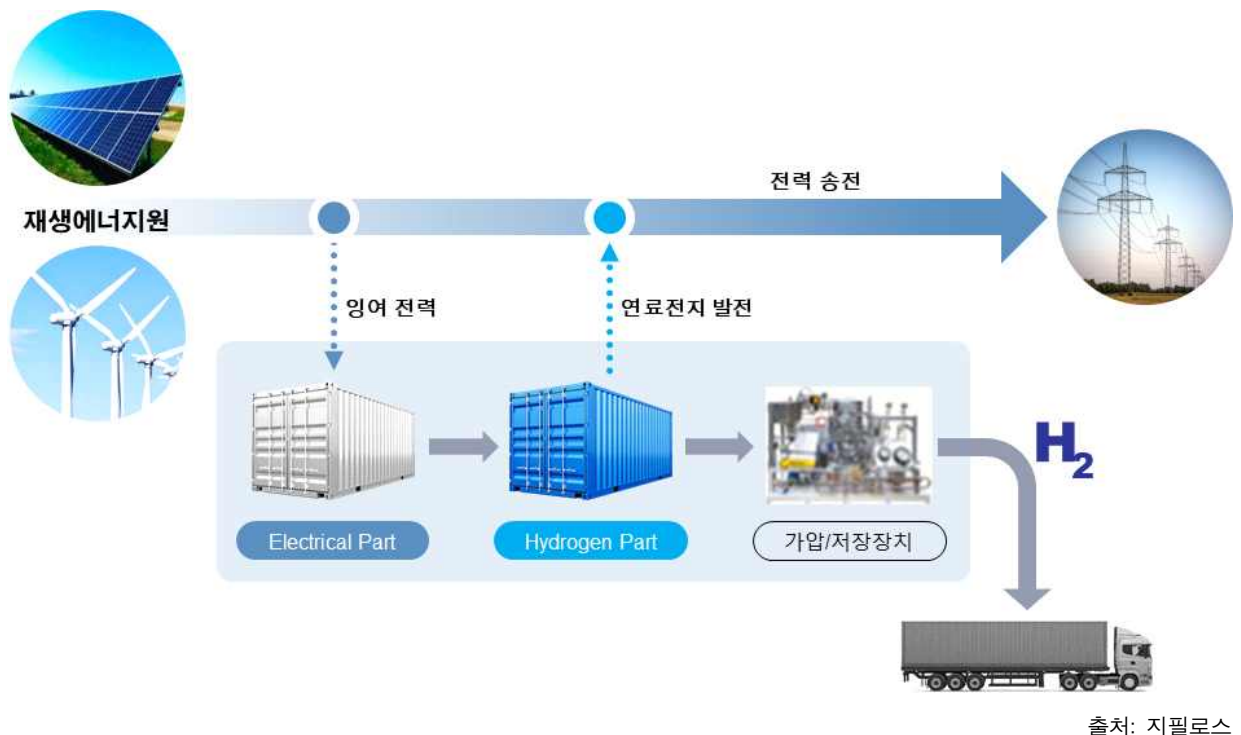
출처: European Powertogas(2017)

유럽, 미국, 일본 등에서는 재생에너지 보급에 따른 문제점을 해결하기 위해 수소 경제를 추진하고 있다. 수소 경제의 핵심은 얼마나 깨끗한 수소를 생산하는가이다. 기존의 석유화학 공정에서 발생하는 부생 수소와 천연가스의 개질로부터 생산되는 개질수소를 회색 수소, 수전해를 통한 수소를 그린 수소로 나눌 수 있다. 수전해는 물을 전기를 이용하여 수소와 산소로 분리하는 기술로, 전기 활용에 대한 비판이 제기된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 주요 선진국들은 재생에너지의 출력제한으로 버려지는 전력을 수전해에 활용하는 기술로 발달시키고 있다. 즉, 수소 경제는 재생에너지의 출력제한으로 남아도는 전력 활용과 깊은 연관을 갖는다. 그러므로 그린 수소를 생산하는 수전해 기술은 재생에너지 전력의 출력제한 문제를 해결하는 동시에 전력계통의 안정성을 유지하는 방안으로 부상하고, 수소 경제를 이끄는 주요 기술로 인식된다. 하지만, 이러한 수전해(그린수소 생산) 기술은 아직 상용화되지 않은 기술이다. 특히, 신재생에너지와 연계된 수전해 기술은 그리드 연계 수전해 기술 대비 더 발달하지 못한 상황이다.

산업통상자원부는 지난 10월 ‘재생에너지 연계 대규모 그린수소 생산·저장·실증 부문 국가공모’ 사업에 제주도를 최종 선정했다. 재생에너지연계 그린수소 생산 기술을 활용한 수소 및 배터리 저장 시스템 기술개발 및 실증하는 사업으로 '23년 10월까지 총 220억원(정부 출연금 140억원, 민간 80억원)이 투자하게 된다. 제주에너지공사가 사업을 주관하며, 한국중부발전, 한국가스공사, 두산중공업, 수소에너젠, 지티씨, 제주대 등이 참여한다.

재생에너지 전력 이용 수전해 기술을 개발함과 동시에 경제성 확보를 위한 노력에 힘써야 한다. 신재생발전 사업자-한전-수전해 수소제조업자 간에 전력의 판매, 계량, 수익구조에 관련된 일련의 제도개선이 필요하며 이를 통해 그린수소 생산이 최소한의 경제성을 갖도록 하여야 한다.

#### P2G 시스템 모식도



## V

## 시사점

제주에는 한전과 전력거래소 등 전력계통 전문가들과 계속적으로 제주지역 태양광 및 풍력발전 출력제한(Curtailment) 해소 대책을 위하여 여러 가지 방면으로 노력을 기울이고 있다. 제주도의 출력제어 급증 사례는 정부의 3020 정책 달성 가능성과 risk를 한번에 보여준 예로, 단순히 보급·확대 측면에서의 재생에너지에서 안정적 계통 운영을 담보로 하는 분산 자원의 확보 측면에서의 재생에너지로 정책을 집중해야 할 것이다.

국내 전력시장은 규제가 매우 심할 뿐 아니라 에너지 전환을 지원하는 기능 등이 매우 취약하다. 이 문제를 해결하기 위해서는 다양한 방식의 시장 제도개선이 필요하다. 보조 서비스를 제공하는 신기술이나 발전기에 대한 현실화도 시급한 실정이다. 중장기적으로는 가격입찰제도의 도입, 실시간 시장과 다중 정산시스템의 도입, 제약을 반영한 가격 결정 등의 단계적 도입이 필요하다. 현재의 시장제도로는 에너지 전환에 효율적으로 대응하기에는 상당히 제한적이므로 가능한 빨리 로드맵을 수립해야 한다. 이러한 전력산업에 4차 산업혁명 기술이 적용되고 새로운 비즈니스 모델이 확산되기 위해서는 법적·제도적으로 개선이 필요할 뿐만 아니라 특히 규제 완화, 가격기능 정상화, 전력시장 개편, 연구개발 확대, 보안 강화 및 표준화 추진 등이 시급하게 추진되어야 할 것이다.

계통한계용량 증대를 위한 방법으로는 제1 연계선을 역송이 가능토록 업그레이드를 하는 방안과 제3 연계선의 용량 증대 구축사업의 추진으로 제주 전력계통 초과 발전량에 대한 실시간 역송 및 신재생에너지 계통한계용량 증대에 기여할 것으로 예상된다.

P2G 기술에서 가장 중요한 것은 깨끗한 수소를 생산하는 것이다. 그린 수소를 얻는 방법 중 가장 주목받고 있는 방법은 수전해 기술이다. 하지만 재생에너지를 이용해서 수소를 생산하는 것은 경제성도 떨어지며 기술적으로 풀어야 할 문제들 또한 다수 갖는다. 현재 재생에너지를 이용한 그린 수소생산의 목표는 경제성이 아니라 기술적 완성을 높이는 데 있다. 재생에너지를 이용한 수전해 기술은 그리드 연계 수전해 대비 부하 변동에 대응하는 기술, 대면적 기술, 수소생산 단가 저감 기술이 필요하다. 전 세계적으로 현재 수전해를 이용한 사업은 수익성이 없는 사업이다. 하지만 태양광과 풍력 중심의 재생에너지 전력 공급 증가는 수전해 기술의 발전을 요구한다. 그러므로 재생에너지 관련 수전해 기술은 장기적인 계획을 토대로 한 기술개발과 실증사업 추진이 필요하다.

현재 제주도에서 벌어지고 있는 출력제한의 문제는 재생에너지 발전량이 가장 높기 때문에 발생하고 있으며, 앞으로 재생에너지 보급을 통한 에너지 전환과정에서 어느 지역에서든 발생할 수 있다. 이 문제는 제주도만의 문제가 아니며, 지역 차원에서 해결할 수 있는 문제도 아니다. 따라서 국가적 차원에서 제주도의 계통한계용량 확대 및 계통 유연성 제고를 위한 각종 시범·실증사업을 지원하고 기술적·제도적 대안을 마련해야 한다.

## 참고문헌

### <보도자료>

- [제주 신재생에너지의 덫]㉠ 남아도는 전력...풍력발전 특하면 멈췄다(강승남 기자, 뉴스1제주)
- 올해 제주서 버려진 풍력발전량 1만3,166MWh 달해(박윤석 기자, Electric Power Journal)
- 재생에너지 수전해 그린수소 바람 거세다(이종수 기자, 월간수소경제)
- 제2 HVDC로 제주 신재생 잉여전력 역송 추진(이상복 기자, 이투뉴스,)
- 변동비 반영시장의 현황 및 개선 방향(박종배, 전기저널)
- 제2 HVDC로 제주 신재생 잉여전력 역송 추진(이상복 기자, 이투뉴스)
- 제주, 바람으로 만든 '그린 수소' 생태계 구축한다(이승록 기자, 제주의 소리)
- 제주도에 태양광·풍력 너무 많이 지었나? 전기 남아돌아 멀쩡한 발전기 멈춘다(연선옥 기자, 조선일보)
- 제주-완도 제3연계선 건설 사업 지연(고대로 기자, 한라일보)
- 한전 '신재생 발전량 예측 시스템' 제주에 첫 구축(정상균 기자, 파이낸셜 뉴스)

### <보고서>

- 제주특별자치도 제6차 지역에너지계획(제주특별자치도, 2020.5.)
- 그린에너지뉴딜 브리프(한국에너지기술평가원, 2020.9.)
- 신재생에너지 초과발전 대책 및 잉여전력 활용(전력거래소, '20.9)
- 제주형 뉴딜 종합계획(안) (제주특별자치도, 2020.10.)
- 국제 신재생에너지 정책변화 및 시장분석(이승문, 조일현, 에너지경제연구원, 2019.12.)
- 제주특별자치도 풍력발전 종합관리계획(제주특별자치도, 2012.11.)
- 제3차 에너지기본계획(산업통상자원부, 2019.6.)
- CFI 2030 계획 수정보완 용역보고서(에너지경제연구원, 2019.6.)
- 제주 HVDC(Journal of the Electric World/Monthly Magazine), 2014.3.)
- 4차 산업혁명과 전력산업의 변화 전망(김현제, 에너지경제연구원, 2018.12.)
- 신재생에너지 보급 확산을 대비한 전력계통 유연성 강화방안 연구(안재균, 에너지경제연구원, 2017.12.)



## 저자 소개

2021 제2호

### 신재생에너지 초과발전 대책 및 잉여전력 활용 방안

작 성	제주테크노파크 정책기획단 산업기획팀		
	오민규 연구원	064-720-2317	ok3455@jejutp.or.kr
기획 · 자문	제주테크노파크 정책기획단		
	류성필 단장	064-720-2305	rsp0404@jejutp.or.kr
	박수영 팀장	064-720-2306	user111@jejutp.or.kr
	손성민 선임연구원	064-720-2309	sohnsn@jejutp.or.kr
	권철만 선임연구원	064-720-3062	mswater@jejutp.or.kr
	김신영 연구원	064-720-2319	cnyong@jejutp.or.kr

- 본 이슈페이퍼는 필자의 개인적인 견해이며, 제주테크노파크의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.

# ISSUE PAPER