

붙임

2018년 독일 베를린 워크숍
‘독일의 에너지전환사례 연구’

목 차

1. 베를린 에너지기관별 회의 결과 보고서	1
1) 독일의 에너지 전환 정책	1
2) 에너지 전환에 있어 효율성이 갖는 중요성, 신재생에너지 정책 및 모니터링 ...	3
3) 에너지 전환을 위한 시장 설계	6
4) 독일 산업분야의 관점에서 본 에너지 전환과 경제적인 영향	8
5) 신재생에너지의 비중이 높아진 시장에서의 전력 거래	11
6) 배전 그리드 사업자 E.DIS Netz(DSO)	13
7) 송전 그리드 사업자 50Hertz(TSO)	19
8) 에너지 부문 투자와 자본 출처	21
9) 독일 규제기관의 역할	23
10) 공공사업 모델에서의 트렌드	25
11) 지역과 사회 경제적 측면, 지방 분권화의 이점 및 과제 그리고 공공 수용성 ..	28
2. 베를린 현장방문 결과보고서	30
1) Windnode 이동전시회	30
2) 에너지 자급자족 마을 Feldheim	33
3) Solarpark Neuardenberg	36

1. 베를린 에너지기관별 회의 결과 보고서

1 독일의 에너지 전환 정책

1. 회의 개요

- 독일의 에너지전환 정책 도입 배경, 전략, 방향 등을 설명

2. 주요 내용

- 독일은 ‘에너지 구상(Energy Concept) 2010’을 바탕으로, ‘50년까지 △온실가스 배출량 80~95%('90년 대비) 감축, △1차에너지 수요 50%('08년대비) 감축 등을 주요 장기정책목표로 설정
- 에너지 정책은 에너지 이용의 경제성, 에너지공급의 안정성, 에너지의 환경친화적 이용이라는 3대 목표를 기조로 추진
- 독일의 에너지전환 계기는 ①에너지 자립도 향상 ②신기술 개발·비즈니스모델 도입, 디지털화를 통한 성장 도모 및 일자리 창출
③단계적 원자력 폐쇄에 대한 대비 ④기후변화 대비 온실가스 배출량 축소 ⑤지속적·경제적인 성장 추진 임



- 에너지전환 추진 방안으로 에너지효율 향상, 신재생에너지사용, 섹터커플링 활용
- 에너지효율향상으로 부족한 산업분야는 재생에너지 사용유도, 재생에너지의 생산 전력을 수송·난방부분에 활용(전기화)추진

3. 국내 현황 및 시사점

- 신정부는 국민의 요구와 에너지전환이라는 세계흐름에 부응하고자, 출범과 동시에 ‘재생에너지 3020(‘17.12)’이행계획 발표
 - * ‘2030년까지 재생에너지 발전량을 20%까지 확대
- 에너지전환 추진을 위해 에너지안보, 국가경제활성화 방안, 기후변화 대비 등 장기적인 관점에서 세부 정책 수립 필요
- 전력 부분외에 수송, 난방 분야를 포함한 통합적인 에너지전환 필요
 - 에너지전환이 전 분야에서 추진 될수 있는 인프라 구축(전력망, IT 등) 및 사회공감대 형성 필요

4. 향후 계획(한-독 협력방안, 정책 수립 등)

- 독일의 에너지전환 정책 추진 현황·효과·방안 등을 공유하여, 필요사항을 ‘3차 에너지기본계획 수립’시 반영으로 시행착오 축소
 - 독일과의 지속적인 교류를 위한 네트워크 확대 필요

1. 세션 개요

- 재생에너지 비중을 확대하는 한편, 1차 에너지 소비감축과 건물, 수송, 전력부문에서의 성공적인 효율향상을 통해 에너지전환 정책이 성공할 수 있음
- 통계자료에 기초하여 에너지전환 목표, 실적 등을 모니터링하며, 과학적이고 투명한 모니터링으로 정책의 공정한 평가와 향후 제도 개선이 가능할 것임

2. 주요 내용

□ 에너지전환에 대한 에너지효율의 중요성

- 에너지효율향상을 위한 재정지원, 기존 건물 현대화 및 재생에너지 이용 난방공급, 고효율 난방 및 산업부문 폐열활용 확대 추진 中
 - 전력효율 향상 및 2020년까지 산업부문 에너지효율 500개 네트워크 구축 계획이며, 열 및 수송 분야의 에너지 전환도 중요

□ 독일의 신재생에너지 정책

- 독일 전력, 냉난방, 수송부문 모두 재생에너지 비중이 매년 지속적으로 증가하고 있으며 전력부문 재생에너지 성장이 가장 빠름

- 전력부문은 2020년 목표(35%)를 2017년 초과 달성(36.2%)
- 지속적인 정책개발을 통해서 독일 재생에너지 보급이 활성화 됨
 - 2000년 EEG 제정, 2014년과 2017년 각각 EEG 개정
 - 재생에너지보급의 패러다임 전환으로 에너지전환의 새로운 전기 마련

□ 에너지전환 모니터링

- 통계자료에 기초하여 에너지전환 목표, 실적 등을 모니터링하며, 과학적이고 투명한 모니터링으로 정책의 공정한 평가와 향후 제도 개선이 가능할 것임
 - 2025년까지 40~45%, 2035년까지 55~60%의 전력을 재생에너지로 생산 계획이며, 에너지전환 통해 에너지수입 의존성 축소, 온실가스 배출 감축, 원자력 퇴출 예정

3. 국내 현황 및 시사점

- 우리의 신재생에너지 정책은 2030년 재생에너지를 통해 20% 전력 공급을 목표로 하고 있음
 - 우리나라의 신재생에너지정책은 온실가스 감축목표와의 연계성, 건물 및 수송분야의 에너지효율 향상 정책과의 연계성이 부족함
 - 특히, 건물과 수송분야의 신재생에너지 보급목표는 정책적 관심이 부족하여 구체적인 재생에너지 보급목표가 없음
 - 신재생에너지 정책과 성과에 대한 모니터링은 독일에 비해 상

당히 부족하며, 모니터링 결과의 공유와 홍보를 통한 주민수용성 확대, 정책개선 추진은 독일의 사례를 벤치마킹 할 필요가 있음

4. 향후 계획(한-독 협력방안, 정책 수립 등)

□ 통합적 에너지전환 정책의 수립 및 시행이 필요함

- 전력분야 뿐만아니라 건물, 수송분야 신재생에너지 보급정책과 에너지효율향상 정책, 온실가스감축 정책이 **통합적으로 이루어질 수 있는 에너지전환 정책**이 수립·추진되어야 할 것임
- 독일의 에너지전환정책, 재생에너지 전력 경매제도의 벤치마킹 등을 통해 우리나라 상황에 적합한 재생에너지 보급정책의 마련이 필요함

1. 세션 개요

- 전통전원(원자력, 석탄)에서 태양광 및 풍력 중심으로의 전환하는 에너지전환 성공의 필수적인 요소인 전력시스템 유연성 확보에 대한 논의

2. 주요 내용

- 독일 전력시스템의 새로운 패러다임은 유연성 확보에 있음
 - 태양광과 풍력발전량의 급증에 따라 새로운 전력시스템 구축의 필요성이 급격하게 증가하였으며 전력시스템 및 전력시장 설계를 통해 유연성을 확보하였음
 - 송전망 확충, 수요관리, ESS, 재생에너지 잉여전력을 활용한 수소생산(Power-to-Gas) 등이 전력시스템 운영상에서 유연성을 확보할 수 있는 수단으로 활용되고 있음
 - 전력시장은 하루전시장, 실시간 시장, 발렌싱 시장(보조서비스 제공) 등 단기시장에서 실시간 전력가치를 반영하게 설계하였음.
- 태양광·풍력 등 간헐적 발전원의 증가에 따라 발렌싱마켓(보조서비스시장)의 역할이 매우 중요함
 - 전력시장에서는 하루전 시장, 전력선물 시장, 실시간 시장 등을 통해 수요예측치에 맞는 전력을 공급할 수 있음

- 거래소는 보조서비스시장을 운영하여 전력시스템에 유연성을 공급할 수 있으며 에너지전환을 위한 전력시장설계에서는 필수적인 요소임
- 전력만 거래되는 시장구성(Energy-only market)은 용량시장(예비력시장), 보조서비스 시장 등을 통해 보완되어야만 함

3. 국내 현황 및 시사점

- 국내 전력시장에 실시간 시장과 보조서비스시장을 개설·운영하여 전력시장 측면에서 유연성 확보를 해야함
 - 현재 국내시장은 하루전 전력거래시장만 개설해서 운영되고 있으며 예비력은 시장을 운영하지 않고 수급계획을 통해 조절함
 - 보조서비스시장과 실시간 시장 운영을 통해 전력시스템 안정화 경험 및 운용능력을 축적해야함
- 재생에너지 보급확대가 에너지전환의 첫 번째 단계라면 전력시스템의 유연성 확보는 에너지 전환의 두 번째 단계로 송전망 확충 및 다양한 유연성 자원확보에 노력해야함
 - ESS, 재생에너지 잉여전력의 수소화를 통한 저장능력 배양 등 전력시스템의 안정적 운영을 위한 수단을 개발하고 운영해야함

1. 세션 개요

- 에너지전환으로 인해 재생에너지 보조금이 증가 등 급격한 산업환경 변화에 따른 독일 산업계의 적응 노력 및 신산업 발굴 상황 등을 논의

2. 주요 내용

- 재생에너지 발전비중 확대에 따라 평균 산업용 전기요금은 지속적으로 상승해왔음
 - 2018년 기준 산업용 평균 전기요금은 17.17ct/kWh로 이중 약 52%가 세금과 재생에너지 보조금임
 - 재생에너지 보조금은 18년 기준 6.8ct/kWh로 전체 전기요금의 약 40%를 차지하고 있음
 - 최종소비자 전력요금은 상승하고 있지만 도매시장의 전력가격은 재생에너지 발전 증가로 인해 감소하는 역설적인 상황이 발생함
 - 에너지전환은 전기요금 인상에 영향을 미치며 독일 주요산업의 국제경쟁력을 약화시키는 요인을 보임
 - 그러나 독일산업계는 에너지전환을 반대하기 보다는 에너지 전환시대에 새로운 돌파구를 찾으려고 노력하고 있음

- 에너지전환시대에 독일산업계는 섹터커플링(sector coupling)을 통해 신산업 기회를 창출하고 위기를 기회로 전환시키는 노력을 하고 있음
 - 섹터커플링은 여러분야 에너지산업의 융복합으로 표현할 수 있음
 - 재생에너지발전에서 발생하는 잉여전력을 활용하여 재생연료(대표적인 예는 수소)를 생산하고 이를 가스화 하는 Power-to Gas가 대표적인 섹터커플링의 사례임
 - 잉여전력을 활용하여 생산된 수소는 기존 가스공급 인프라를 통해 사용될 수 있어 재생에너지 잉여전력 + 재생연료(수소) + 기존가스인프라의 3가지 분야 융복합 사업임
 - 고속도로에 직접 태양광발전을 설치하는 e-highway 같은 사업은 기존 공급 인프라를 완전히 바꾸는 혁신적인 산업으로 전력과 수송부분의 융복합 사업으로 간주할 수 있음
 - 섹터커플링은 현재 다양한 융복합 사업이 개발 및 진행중에 있으며 매우 실험적인 부분인 것이 사실이나 에너지 전환시대에 신규 사업 분야를 개척하는 것이 독일 산업계의 주된 역할임
 - 4차산업혁명, 전자제품의 다양화 등 향후 전력수요는 증가할 것으로 예상되며 보다 많은 재생에너지 발전이 필요할 것임
 - 재생에너지와 기존산업의 융복합은 보조금 증가 등으로 전력비용 상승이 전망되는 에너지전환시대에 더욱 기업의 전력요금 부담을 감소하기위해 그 수요가 증가할 것으로 판단됨
 - 재생에너지 관련 융복합사업 활성화를 위해서는 기술발전이 필요함(보다 효율적이고 경제적인 ess, 수소생산 기술 등)

3. 국내 현황 및 시사점

- 국내 전력산업도 재생에너지 발전량 증가에 따른 보조금 증가로 전기요금 상승압력이 우려되고 있어 태양광, 풍력발전의 빠른 기술발전이 필수적임
 - 태양광, 풍력발전의 증가에 따라 단기적으로는 요금인상 압력이 상승될 것으로 전망되며 이를 해소하기 위해서는 보급확대, 기술발전 등을 통해 재생에너지 발전단가를 낮춰야 함
- 에너지 융·복합 사업 활성화를 위해 전력산업 내 규제(발판금지, 판매사업 독점 등)을 완화할 필요가 있음
 - 에너지 융·복합 사업의 활성화는 활발한 민간의 참여를 통해 이루어 질 수 있으며 융·복합사업은 발전, 판매, 수송 등 전력산업의 전분야에 대한 융·복합적인 사업이 될 것임

1. 세션 개요

- 신재생에너지의 비중이 높아진 전력시장에서의 전력거래
 - 독일은 신재생에너지 비중이 높아짐에 따라 당일시장을 도입하는 등 시장제도 개선을 통하여 재생에너지의 변동성에 대응
 - 15분단위로 거래하는 당일시장은 전력가격의 시그널에 따라 시장참여자가 움직여서 전력계통의 유연성을 제고하는 역할 수행

2. 주요 내용

- 유럽전체에서 에너지시장 자유화에 따라 전력거래소 설립 및 거래 시작
 - 각 사업자가 전력시장에서 비즈니스를 할 수 있도록 전력거래소는 플랫폼을 제공하고 있으며, 모든 업무는 자동화 되어있음
- 전력시장은 장기 파생시장, 하루전 및 거래당일 현물시장 운영중
 - 파생시장은 미래의 전력가격과 전력량에 대한 위험을 헤징하고 장기적인 투자의 시그널로 작동
 - 하루전시장(Spot market Day-Ahead)은 한시간단위로 매일 12시까지 입찰하며 12시40분에 가격이 공표됨
 - Intra-Day 시장(Spot market Intraday)은 15분 단위로 거래하며, 15시 이전에는 Delivery 30분전까지 전력거래가 가능

□ 신재생발전량의 전력거래 및 영향

- 신재생전원이 증가하면서 하루전시장에서의 전력 평균가격은 지속 하락하고 있으며, 이에 따라 장기 파생시장에서의 가격도 하락추세
 - * 재생에너지는 정부 보조금이 있기 때문에 시장에서의 가격위험이 없으나 보조금을 점차 축소해야 되는 방향으로 논의가 진행되고 있음
- 기저부하와 피크부하의 가격차이가 좁혀지고 (양수)저장장치의 이윤이 낮아지거나 없어짐
- 재생에너지의 계통연계 증가로 신재생 예측의 불확실성과 단기 가격의 변동 확대 등 새로운 위험이 나타나고 있음

3. 국내 현황 및 시사점

- 변동성이 큰 신재생에너지 확대를 위해서는 독일과 같이 Intra Day Market, Balancing Market 도입 등 전력시장 제도의 선진화가 필요
 - 또한, 계통운영상 신재생차단이 불가피할 경우 보상체계 마련 등 시장제도 개선이 필요

4. 향후 계획(한-독 협력방안, 정책 수립 등)

- 국내 신재생3020 정책의 성공을 위한 전력시장 개선과 관련하여 독일 전력거래소 벤치마킹, 정보교류 및 협력

1. 세션 개요

- E.DIS Netz는 독일 북동부에 약 8만km²의 전력선과 약 36,000km² 면적에 총 정격출력 약 9,000MW의 신재생 에너지 발전소를 그리드에 연결, 운영하고 있음.
- DSO : 110kV 이하의 선로와 변전소를 지역 독점적으로 관리, 4개의 광역사업자와 약 900여개의 소규모 사업자로 구성

전력 공급지역	E.DIS 그룹(에너지 서비스 제공 업체)

- 재생에너지 97%가 DSO에 연계되어 있으며, '17년에는 발전량과 전력수요량의 비율이 4:1로 신재생 발전량 전체를 전력망에서 수용하지 못 하고 있음(큰 문제로 인식)
- 독일 동북부 지역의 주요 신재생에너지는 풍력(6GW), PV(3GW)이며, 열병합 발전은 법적 규제에 미미한 상황이며, 풍력에 지원이 가장 많음

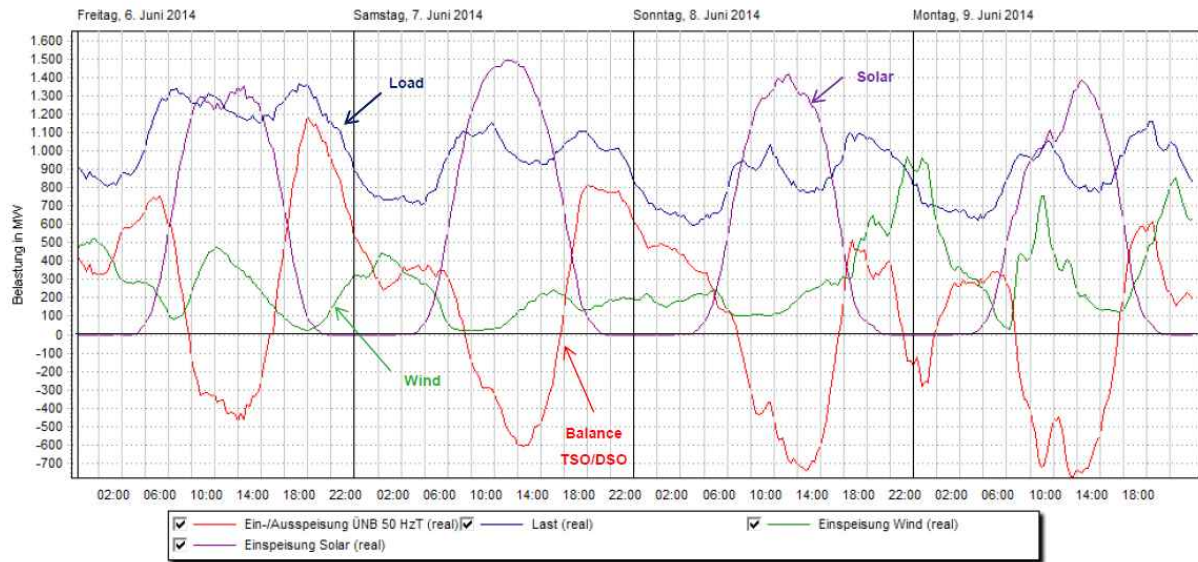
* 이 지역은 기후적으로 대형 PV 조건 충족으로 독일에서 가장 큰 태양광 발전소는 128.4MW(축구장)

400개 크기)로 이는 소련 군부대로 사용되던 토지가 오염으로 타 용도 사용이 곤란함에 따라 태양광 발전소를 설치하게 되었음. 다른 곳은 통상 30MW 정도 규모임

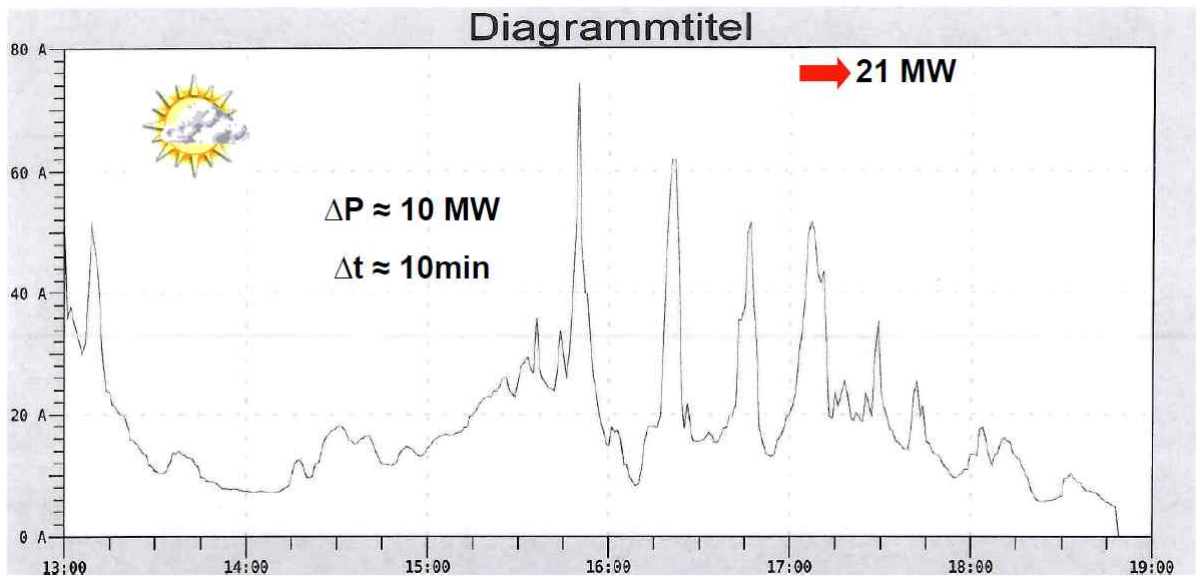


2. 주요 내용

- 신재생에너지법에 따라 신재생에너지가 배전망 연결시 우선권을 가지고 있으나, 배전선로 과부하 등으로 신재생 에너지의 망 연결이 지연 되고 있음 → 배전망 추가 확보가 중요한 이슈가 되고 있음, 비용도 증가 추세
 - 신재생 에너지의 급격한 증가로 배전망 전기품질을 유지하기 위해
 - 신재생 사업자는 망 접속점에서의 전기품질 유지기준을 자체 부담으로 준수 해야 함.
 - 배전망 사업자는 망 내에서의 전기품질 유지 의무를 가짐
- * 비용은 망사업자가 우선 부담 후 전기요금(신재생 부담금)으로 회수 .
- 기후에 따라 신재생 에너지 등락 변동이 심하여 이것을 해결하기 위한 솔루션 필요



- 망에서의 자동전압조정기 설치, 양방향 제어 등 신기술을 적용하여 전기품질과 망 수용성을 지속적으로 높이고 있음.

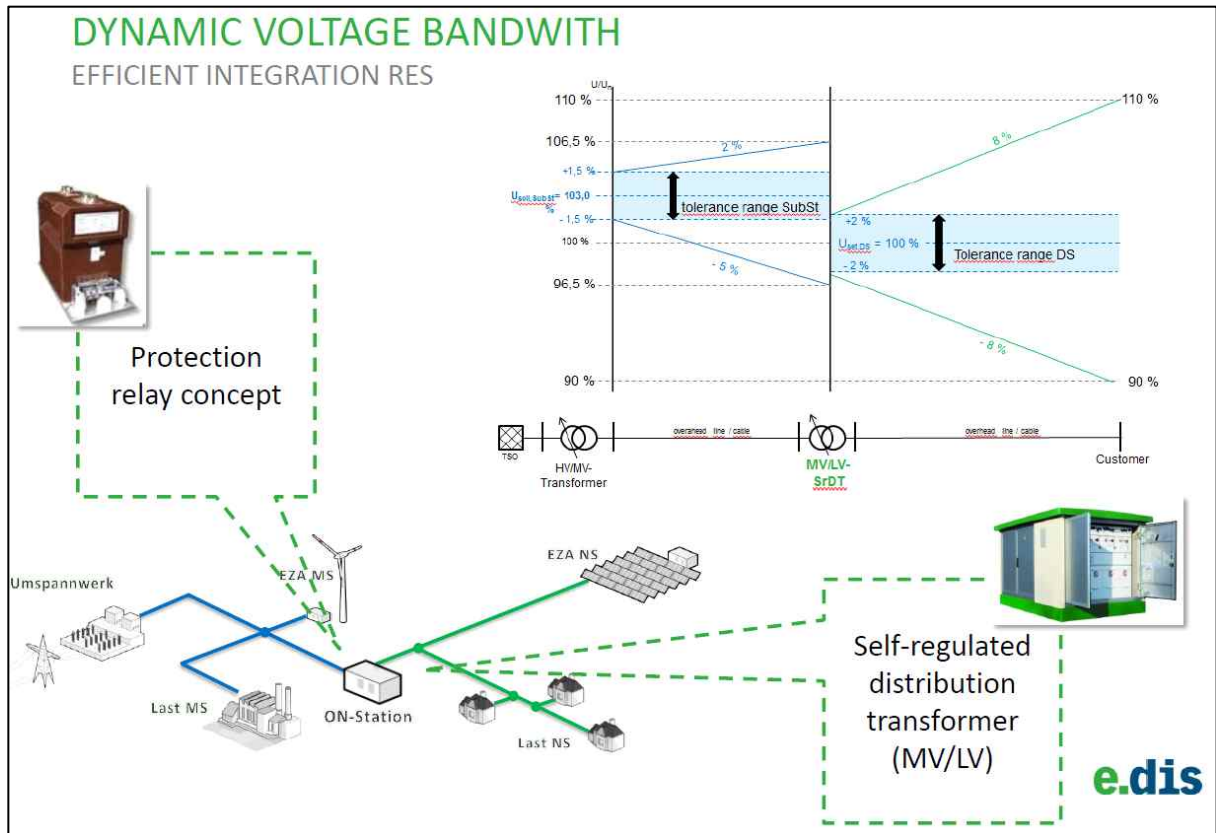


- * 간헐성 전력 제어 : 비용이 상당히 저렴하고 소형 발전소에서 활용 가능. 그러나 실시간으로 피드백이 안되나, 가격이 저렴하여 채택 사용.
- * Telecontrol(원격 실시간 제어) : 실시간 확인, 양방향 제어 가능, 피드백이 가능하나 고비용이고, 무효 전력 제어 가능.
- * 클러스터 그리드 : 효과적인 통합 방식임. 3개의 지역을 선정하여 115km 선로 연장 중

- 배전망 잉여 전력에 대해서 TSO와 직접 거래로 수요와 공급을 맞추고 있음.
 - 에너지 구매는 기본적으로 EEX에서 이루어지나, PPA 거래 증가 등으로 시장외 거래(PPA - DSO ↔ TSO)가 상당량 존재함.

- 배전망 사업자로서의 어려움
 - 다수의 DSO 사업자로 분할 운영으로 망 효율성이 떨어짐.
 - * 전력시장 개방시 4개의 TSO와 다수의 DSO 통합 기회가 있었으나, 미시행으로 중국 등 해외 기업에서 M&A 시도 우려 등 실패 사례로 인식.
 - 모든 신재생사업자가 망에 연결될 수 있도록 의무적으로 허용해야 됨.
 - 배전망 추가 확충에 점점 더 비용이 증가되고 있음.(동, 알루미늄 가격 상승)
 - 고압배전선로 건설을 전반적으로 국민들이 싫어함.
 - * 국민 대다수는 에너지 전환을 원하지만 우리집 근처에 선로가 지나가는 것을 싫어하고 이것이 망사업자에게 큰 도전이 되며, 큰 비용 발생 원인중 하나임.

- 망 효율성을 향상시키기 위한 신기술.
 - 광섬유로 실시간 케이블 온도를 모니터링해서 부하를 적절하게 운영 수 있음(시범사용 중)
 - 전압 안정도를 위하여, 현재 자동전압조정장치를 배전용 변전소와 일부 선로용 변압기에 적용하고 있음. 또한 양방향 보호장치를 배전선로에 적용 하고 있음.



○ 전력망 최적화

- EBASE : 전력망제어센터 통합, 조합(재생에너지 분야)
- 예방 정비에 인공지능을 활용으로 향후 문제점을 사전 예측
- 수급문제가 발생하는 개소에 모바일 배터리 저장장치 설치.
- DIGIPLAN : 분산형 전원들의 합리적인 망 접속 위치를 제안하는 시스템.
- 다른 혁신활동으로는 WindNode에도 참여 중

3. 국내 현황 및 시사점

- 우리나라는 ‘재생에너지 3020 이행계획’을 수립하여 2030년까지 재생에너지 발전비중을 20%로 높일 예정이다.
- 신재생에너지 1MW 이하 소규모는 계통접속 보장으로 전력 설비 확충 절실



- 독일의 재생에너지 지원정책 및 운영기술 벤치마킹하여 국내 재생 에너지의 성공적인 도입 추진 필요.
- 우리나라는 송배전설비 통합 관리로 급증하는 신재생에너지 연계를 위한 전력설비 확충에 적기 대응 가능
- 재생에너지 급증에 따른 전압유지 및 계통보호 설비 보강 구축 필요
- 송변전, 배전설비 확충에 막대한 투자비 소요에도 자가발전, 프로슈머 등장에 따라 수익감소 우려(적자 예상)

1. 세션 개요

- 에너지전환 측면에서 송전망운영자(50Hertz사)의 역할과 도전 과제
 - 독일 송전망(380kV/220kV)은 4개 지역으로 분할되어 운영되고 있으며, 50Hertz사는 북동부지역(1,800백만)을 담당
 - 신재생 발전비율은 53.4%로 독일(36.2%)내 가장 비중이 높음

2. 주요 내용

- 에너지전환 및 재생에너지법(EEG) 발표('10년)이후 신재생전원 급증

년도	2000	2006	2010	2017	2020	2025	2030
신재생 합계	2,100	9,658	15,491	31,177	34,230	39,630	44,950

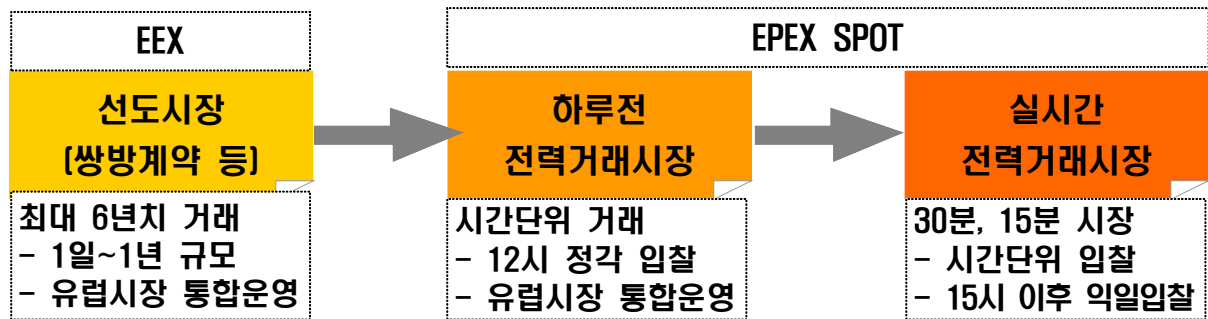
* 1년에 51일(1,224시간) 정도 신재생전원으로만 100% 전력공급 가능

- 신재생전원 확대에 따른 변동성 예측, 전력시장을 통한 변동성 자원 확보, 실시간 전력수급균형을 통한 전력계통 신뢰도 유지
 - 재생에너지 출력예측 및 정확도 개선을 통해 변동성 대응력 강화
 - * 하루-전에 예측하고, 실시간 업데이트, 태양광 3~6%, 풍력 2~6% 오차율
 - 유럽전체 개기일식('15.3)에 따른 태양광발전 급변상황 대처 경험
 - 일식동안 6GW 저하(-540MW/분), 13.7GW 상승(+822MW/분)
 - * 독일의 태양광발전설비는 40GW로 유럽전체(91GW)의 44% 보유
 - 신재생예측 및 전력시장메커니즘 검증 및 개선대책 발굴 기회

□ 신재생수용성 확대를 위해 송전망 보강 및 연계확대, 시장통합 등 유연성 확보 노력 지속적으로 추진

신재생 확대보급이 독일 에너지전환정책의 1단계라면, 신재생통합이 2단계 중점 정책으로서 1단계의 문제점을 해소하고자 유연성(Flexibility) 대책 강구

- 재생에너지법에 의거 신재생전원은 증가하는 반면 송배전망 신설은 어렵고, 시일이 오래 소요
- 송·배전망의 과밀 해소를 위해 신재생발전 감축, 차단 시행
- * 대부분(97%) 배전망(110kV 이하)에 연계, 송전망에는 대규모 해상풍력 연계
- 송전망 보강 및 전력연계(시장)확대를 통한 유연성 증대 필요



* 우리나라 경우 단독시장으로 하루-전 현물시장(시간단위 거래)만 운영

예비력 구분	목적	응답특성	용량(MW)		비고
			50Hertz	한국	
1차	주파수 유지	30초 이내 정상출력 도달 5분 운전 유지	1,404*	1,500 (응답특성 다소상이)	ESS 참여
2차	주파수 회복	5분 이내 정상출력 도달 15분 운전 유지	1,913(+) 1,846(-)		2,500
3차		15분 이내 정상출력 도달 60분 운전 유지	1,506(+) 1,072(-)		

* 독일전체로 보면 1차 예비력으로 3,000MW 운영(기존 발전기 2대 고장 고려)

3. 국내 현황 및 시사점

- 신재생전원 확대에 따른 전력계통의 안정운동을 위해서는 정확한 출력예측, 변동성 대응 자원 확보를 위한 시장메커니즘 개발 필요
 - 국내의 경우 출력예측 개발 초기 단계이며, 예측정확도 개선 필요
 - 하루-전 시장(국내)만으로 신재생 변동성 대응 곤란하므로, 변동성 대응자원 확보 및 이를 위한 전력시장메커니즘 개발 필요

- 송전망의 적시 보강 및 유연성 강화를 통해 신재생 수용성 증대
 - 국내도 배전망(22.9kV이하)에 접속되는 신재생이 다수, 송배전망에 접속되는 신재생 출력제어와 발전제약회피 대책 마련 필요

4. 향후 계획(한-독 협력방안, 정책 수립 등)

- 전력계통 및 전력시장운영자로서 신재생출력예측, 변동성대응(전력 시장측면, 발전자원 및 수요자원), 유연성확대 및 신재생제어 협력

- 신재생통합을 위한 유연성강화 시범사업에 대한 정보교류 및 협력

1. 세션 개요

- 독일과 유럽 시장에서의 에너지 부문 투자 트렌드는 어떠한가
 - PV의 경우 발전차액지원제도(Feed-in Tarriff)로 시작되어 보조금이 필요없는 입찰시스템으로 전환 진행중
- 정책 결정자들이 어떻게 충분한 투자를 가능하게 하며 자본비용을 감소케 하는가
 - '15년부터 경매입찰제도 도입, 신규 프로젝트 수익성이 떨어졌으나 사업리스크 감소에 따른 은행 마진 하락으로 재원조달 가능

2. 주요 내용

- 재생에너지 투자를 위해서는 민간자본 확보(PF, Bond발행)를 위한 사업성 확보가 핵심요소
- 중장기적으로 신재생발전 요금이 시장에서 결정된다며, 재원조달을 위해 일정기간 안정적 현금흐름이 가능한 PPA계약이 선호될 것

3. 국내 현황 및 시사점

- 현재 국내는 발전차액제도와 인센티브 성격인 RPS를 도입하여 병행 운영중
 - 이에 더해 입찰시스템 도입 등 경쟁성을 높여 시장성 향상 방안 필요

- 독일의 상황과 달리 국내는 대부분이 산지이며 비좁은 국토, 황사 등 대기오염물질 영향 등을 고려하여 전략 추진
 - 임야를 벌목하여 태양광 패널을 설치하는 방법은 오히려 온실가스를 증가시키는 원인이 될 수 있으므로 재식재 혹은 타 에너지원 비중 확대 등 방안 필요

- 중장기적으로 보조금이 감소하고 경쟁시스템이 강화되면 자원조달을 위해 일정 기간 안정적 현금흐름이 가능한 PPA계약 선호 전망

4. 향후 계획

- 입찰시스템 도입을 위한 한·독 간 긴밀한 협력체계 구축 필요
 - 시장의 효율성 확보를 위해 벤치마킹 및 국내에의 도입 적극 검토

- 향후 투자계획 등 정책 수립 시 독일 에너지부 의견 청취 및 수렴
 - 주요 정책사항에 대한 크로스체크 시행으로 미비점 조기 확인 및 개선

1. 세션 개요

□ 독일 전력분야의 독립규제기관의 역할

- 독일은 '96년 자연독점성이 강한 통신, 철도, 전력 등 Network부문 규제를 위한 독립규제기관인 The Federal Network Agency 설립
 - 경쟁분야는 일반경쟁규제기관(Competition Authority, 우리나라의 공정거래위원회)에서 규제 담당
- 사업자의 Network사용에 대한 비차별적 이용보장, 망요금 규제, 송전망계획 수립, 계통안정성 및 신재생설비 등록 등 관리감독 수행

2. 주요 내용

□ 조직별 업무

- Traditional Regulation : 전력망에 접속 및 전력망 요금 규제
- General Sector Specific Tasks : 전력계통망 안전성, 전력시장 감시
- RES : 신재생설비 등록 및 계통접속 보장, 보조금 등 관리 및 감독
- Network Development : 전력망 계획 및 건설 진행여부 확인 등

□ 독일에서의 전력계통 운영

- 전력시장에서는 거래전일부터 전력에너지 수급을 맞추며, 거래 당일 시장에서 15분단위로 전력에너지 수급을 맞춤

- 실시간적으로 수급불균형이 발생할 경우 계통운영자인 TSO의 Balancing Market을 통해 수급불균형 해소
 - * TSO의 중요 역할은 주파수 및 전압안정도 유지, 정전시 복구 등이 있으며, 전력계통에 문제 발생 시 TSO가 책임을 지는 것임

□ 계통운영보조서비스(Ancillary Service) 비용

- AS비용은 Primary Control Reserve 등 예비력 비용, 발전력 재배분 (Redispatch), 신재생 차단(Curtailment), 수요반응 비용 등으로 구성
- 신재생 발전단지과 수요지역의 연계 송전망이 부족함에 따라 발전력 재분배와 신재생 차단 비용이 증가하고 있음

□ Grid Expansion Acceleration Act에 의한 전력망 확충계획 수립

- 전력망계획은 시나리오 설정, 송전망계획 수립, 의회승인, 정확한 송전루트 결정, 최종계획 확정 등 5단계의 절차를 거쳐 완성

3. 국내 현황 및 시사점

- 변동성이 큰 신재생전원의 확대에도 계통안정성 및 전기품질 유지, 송전망계획 및 망요금 등을 관리하고 규제할 전력분야에 기술적인 규제를 총괄하는 독립규제기관을 설립 필요

4. 향후 계획(한-독 협력방안, 정책 수립 등)

- 전력분야에 대한 기술적인 규제의 내용과 방법, 재생에너지 확대를 위한 방안 등에 대해 독일 연방독립규제 기관과 정보교류 및 협력

1. 세션 개요

- 에너지전환 정책에 따라 EnBW 등 주요 발전사업자는 발전설비 포트폴리오를 전통전원에서 재생에너지로 전환하고 있음
 - EnBW의 전통전원 수익은 최근 급격히(약 80%) 감소하였음
 - 수력, 풍력, 태양광 등의 재생에너지 설비를 '50년까지 80%까지 확보에 집중하고 있으며, 유연성 확보를 위해 전력네트워크를 확장 및 통합에 투자를 확대하고 있음
 - 또한, 소비자를 위한 혁신적인 에너지 기업으로 자리매김하기 위해 풍력 발전과 배전 및 유통 시스템 개선에 집중

2. 주요 내용

- EnBW는 독일 에너지 전환시스템의 미래 트렌드를 예측하고, 지속 가능한 에너지솔루션 제공 및 분산화로 국가의 에너지 정책을 추진하고 유연한 시장변화를 유도함
 - 2050년까지 전기의 80%를 신재생에너지원으로 발전할 것으로 목표로 하고 있으며, 설치할 설비용량 등을 계산하고 추진 중
 - 미래 에너지 전환 정책 관련 트렌드는 탈석탄·탈원전, 재생에너지 확대, 디지털화, 스마트 그리드 구축, 소비자 중심 리테일 시장 형성 등으로 전환될 것

- 정치적·규제적 탈탄소화를 위한 다양한 감축 시나리오별 목표가 있으며, 이것은 독일 경제에 미치는 영향이 다를 것
- 에너지 전환은 인프라 집약적인 것이므로 재생에너지가 경제성장의 핵심이 될 것
- 에너지전환 관련 IT 기업이 성장할 것이며, 시장의 가치사슬이 완전히 새로워 질 것
- 전력과 가스를 초월함으로써 전력의 수송/교통/차세대의 차량은 어떤 연료를 사용할 것인가를 고민할 필요
- 독일의 그리드와 인프라구조는 과잉공급이었고 오랜기간 동안 확장할 필요가 없었으나 송전망은 이미 한계에 도달했으며, 이를 위한 전력망 확충 및 소비자 맞춤형 등의 새로운 리테일 사업이 필요할 것
- 고객들을 위한 스마트 그리드 및 안전이 확보된 솔루션 제공에 대한 수요가 늘어가고 있으며, 복잡한 수요를 가지고 있는 많은 고객들을 그리드에 연계해야할 필요

3. 시사점

- EnBW는 발전사업 모델을 전통에너지에서 재생에너지로의 획기적인 구조변화를 이루었고, 새로운 사업모델을 구축하여 수익의 다변화 및 극대화를 창출
 - 발전사업자의 주력발전원은 전통전원에서 재생에너지 발전원으로의 근본적인 전환이 필요
 - 단기적으로는 전통전원의 수익감소가 예상되나 재생에너지

발전사업의 확대로 새로운 수익 창출원 확보 필요

- 장기적으로는 스마트 그리드와 연계한 소비자 중심의 리테일 비즈니스 모델 구축 필요

4. 향후 계획(한-독 협력방안, 정책 수립 등)

- 독일 4대 전력회사(EnBW, E.ON, Vattenfall, RWE)와 우리나라의 전력 송배전 및 판매를 담당하는 한국전력공사와의 에너지 전환시스템 구축을 위한 포럼 개최 및 협력 강화 필요

1. 세션 개요

- 재생에너지 발전사업의 주민수용성을 높이는 사업형태인 협동조합. 시민기업을 통한 에너지전환 목표 달성 전략 모색

2. 주요 내용

- 독일의 지자체인 Lower Saxony(니더작센 주)의 에너지전환 사례 발표
 - 니더작센 주는 2050년까지 100%의 전력을 재생에너지로 공급하는 계획을 수립하였음
 - 에너지전환을 위한 주의 계획은 주민 참여(Round Table)를 통해 수립되었음
 - 2030년까지 20GW의 해상풍력과 2050년지 20GW의 육상풍력을 추가로 설치할 것을 주민참여로 계획하였음
- Lower Saxony(니더작센 주)의 주민수용성 제고 정책
 - 재생에너지 발전설비는 독일에서도 지역주민의 수용성이 가장 큰 문제로 대두됨
 - 주민수용성 증대를 위해서는 절차적 측면과 소득분배 측면에서 공정성을 확보하고 주민참여를 적극적으로 독려하는 것이 필요

- 신규발전설비 설치 계획 초기부터 지역주민의 참여가 있을 때 주민수용성은 증대하는 것으로 확인되었음
- 특히 지역주민의 조기참여는 단순한 신규발전설비 설치 계획의 홍보에 비해 주민수용성 확보에 큰 역할을 함
- 발전사업으로 인해 생산된 부가가치를 지역주민에게 적절히 분배할 수 있는 협동조합 형태의 사업이 주민수용성을 높임
- 사업초기의 지분투자자와 같은 지역주민의 사업참여는 경제적 보상을 통해 주민수용성 제고를 가져옴

3. 국내 현황 및 시사점

- 재생에너지 보급확대는 지자체와 중앙정부의 협업을 통해 보다 효율적으로 달성할 수 있음
 - 지자체와 중앙정부 공동의 지원으로 지역주민과 발전공기업이 협업을 통해 협동조합/시민기업 형태로 재정적 이익을 공유
 - 지자체 주도의 협동조합 설립은 주민참여가 보다 활발하게 일어날 수 있으며 지방분권시대를 맞아 에너지 부분의 지방분권이라는 측면에서도 긍정적인 부분이 될 것임
 - 중앙정부의 계획수립과 지방정부의 구체적 실행 및 이행이라는 역할 분담이 에너지전환의 효과적인 방법으로 보임
 - 중앙정부 차원의 전력수급계획 수립 및 재생에너지 보급계획을 지방정부 간의 협업을 통해 달성하는 방안이 재생에너지 보급 목표 달성에 가장 적합한 형태라고 판단됨

2. 베를린 현장방문 결과보고서

1

Windnode 이동전시회

1. 세션 개요

□ Windnode 이동전시회 개요

- 연중 전 지역을 순회하며 에너지 전환 관련 홍보 및 전시 시행
- 국민들의 에너지전환 관련 이해저변 확대 및 수용성 제고 목적

※ **Windnode 개념** : "스마트 에너지 쇼케이스(SINTEG)"프로그램*의 일환으로 4년(2017-2020) 동안 연방경제에너지부(BMWi)로부터 자금을 지원받아 독일 북동부 지역에서 시행하는 스마트 에너지 관리 시스템 실증 사업

* 연방경제에너지부(BMWi)가 2.3억유로를 지원하여 시행하는 5개의 에너지 전환 실증 프로젝트

2. 주요 내용

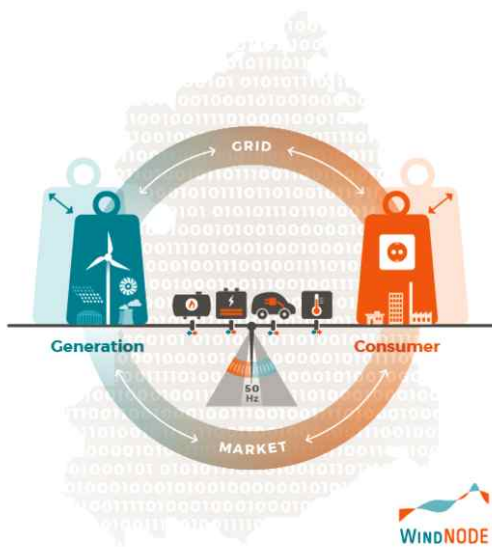
□ Windnode 소개 동영상 주요 내용

- 에너지전환에서 가장 중요한 것은 어떻게 수급균형을 이룰 것인가 하는 문제임
- 각 기기들이 디지털로 전기가 싸고 많을 때 저절로 더 가동률이 높아지도록 하고, 이를 통해 수급균형을 이루는 것임

□ Windnode 지역의 '17년 에너지 소비량 중 53.4%는 신재생에너지로 발전한 것으로서 매우 큰 장점임

- 반면에 다음과 같은 큰 도전들에 직면함
 - '17년에 신재생 발전 송전 제약(re-dispatch) 시행일이 171일에 달하며, 이에 따라 많은 비용이 발생
 - 신재생발전이 늘어나면 폴란드와 체코 국경지역에 갈탄 생산지역에 실업문제가 발생하는 등 사회적 구조조정
 - 시민들이 자신이 사는 곳에 풍력단지가 들어서는 것을 싫어하기 때문에 시민운동 형태의 반대에 직면
- 이러한 도전들을 해결하기 위해 신재생에너지 관련 시스템 통합, 전력계통 유연성 확보 및 전력시장 규칙 개정 등의 실증사업을 수행하는 것이 Windnode 프로젝트의 주요 내용임

□ WindNODE 프로젝트 경우 9개의 분야의 중점과제 추진



1. 전력시장의 디지털화를 위한 ICT 플랫폼 구축
2. 송배전망의 효율적 운영을 위한 구성 최적화
3. 신재생변동성 대응을 위한 실시간 수요관리
4. 발전기, 에너지저장장치, EV와의 전기적 결합을 통한 지역발전소의 출력 유연성 증대
5. 에너지저장장치, 냉난방부하, EV 등을 통한 전력시장의 유연성 증대(New Flexibility)
5. 미래에너지시장제도 및 비즈니스 모델 개발
6. 산업체 부하의 유연성 확보를 통한 부하이전 잠재용량 확보(Load Shifting)
8. 지역적인 스마트시티 Prototype 개발
9. 이해당사자와의 소통 및 전시 홍보 강화

3. 국내 현황 및 시사점

- 원활한 에너지전환을 위한 중장기 관점의 Risk 해소방안 마련 필요
 - 독일의 경우 에너지전환 과정에서 송전제약 증가, 화력 중심의 발전산업 종사자들의 실업 증가, 발전 설비 주변지역 주민들의 반대 등의 도전에 직면함
 - 한국의 경우도 독일이 겪은 Risk들에 대한 대비책 마련 필요
 - 신재생전원 확대에 따른 변동성 예측, 전력시장을 통한 변동성 대응 자원 확보, 실시간 전력수급균형을 통한 안정적 계통 운영능력 개발 등
 - 지역주민 수용성 제고를 위한 사전협의 및 인센티브 강화 방안 마련 등

4. 향후 계획

- 국민의 에너지 전환 수용성 제고를 위한 홍보시설 또는 전시행사 시행 검토 필요
 - 독일 에너지 전환 중요 성공요인 중 하나는 국민들과 이해관계자들의 이해와 동의라고 할 수 있으며, 이는 끊임없는 에너지 전환에 대한 홍보, 설득, 자문으로 인해 가능하였음
 - 국내에서도 국민들과 이해관계자들의 에너지전환 관련 이해 및 수용성이 정책 추진의 큰 동력이 되는 만큼, 에너지 전환을 직접 체험하고 필요성을 인식할 수 있는 전국단위의 홍보시설 또는 전시행사 등 시행 검토 필요

1. 방문지 개요

- (명칭) 펠트하임(Feldheim) 에너지 자립마을
- (위치) 브란덴부르크(Brandenburg) 주, 트로이엔브리첸 (Treuenbrietzen)시
 - * 베를린 남서쪽 80km 거리
- (인구) 130여 명(농업 소도시)
- (방문객) 연간 3,000여 명
- (특징) 독일 최초 에너지자립마을로 외부와 분리되어 100% 자체 난방 및 전력생산
 - * 독일의 다른 에너지 자립 마을은 40~60%의 전력을 자체 충당

2. 주요 내용

□ 개발과정

- ‘에너지크벨레(Energiequelle GmbH)’는 펠트하임을 풍력발전의 최적지로 판단, 주민들에게 부지를 임대하여, 1995년 4개의 풍력 터빈을 설치
 - 체르노빌 원전 사고 이후 독일 내 원전폐기가 정치·사회 이슈로 부각되면서 풍력 설비에 대한 주민수용성을 높이는 배경이 됨

- '08년에는 마을 밖 약 7km 떨어진 옛 군사기지를(Seltherhof, 45만㎡) '솔라파크'로 조성, 9,844개 모듈의 284기의 태양광 전지를 설치
- 마을의 난방 시스템 교체 필요성이 대두되자 농업 협동조합 부지에 바이오가스 플랜트 설치
- '09년 백업용 바이오매스 시스템으로 지역 산림 사업의 폐목재를 사용한 우드칩 난방 장치 설치
- 투자비와 시설비의 일부는 정부 보조금(풍력발전기 설치비 50%)을 지원받으며, 나머지는 지역민이 용자로 조달
 - 전기요금은 타 지역보다 약 40% 정도 저렴한 수준

□ 전력현황

- (풍력) 55기, 123MW 설비용량으로 연간 2억5천 kWh 생산
- (바이오가스) 526KW용량으로 연간 415만kWh의 전력 생산, 227만 열 생산(가축 및 옥수수 짚풀 활용)
- (바이오매스) 우드칩을 활용하여 난방 열 생산
- (난방) 55기, 123MW 용량으로 연간 2억5천 kWh 생산
- (ESS) 10MW 용량의 리튬 이온 저장 시스템, '14년 LG 화학이 배터리 공급업체로 선정
- (태양광) 9,844개 모듈, 284기의 패널로 연간 2,748MWh의 전력을 생산하여 600가구에 공급

3. 국내 현황 및 시사점

- 국내도 융복합 신재생에너지 100%로* 자립마을을 추진 중이나, 보다 에너지 자립도를 보다 높이기 위한 노력 필요
 - * 경상남도 김해의 신봉 및 봉하지구
- 국내 에너지 자립마을도 태양광·풍력 외에 축산 폐기물 등 다양한 에너지원을 활용하려는 시도가 필요해 보이며 전력 외에 난방열 생산을 위한 시도도 가능할 것으로 보임

4. 향후 계획(한-독 협력방안, 정책 수립 등)

- 독일은 에너지자립마을 형성으로 전기판매, 일자리 창출(유지관리보수, 관광상품)으로 지역역경제 활성화에 기여
 - 국내에서 에너지 자립마을개발시 독일사례의 벤치마킹을 통한 장기로드맵 수립으로 지속적인 사업 추진 필요

1. 세션 개요

□ 방문지 개요

- 과거 군용 공항부지를 이용한 독일 동북부의 유럽 최대 민간 태양광발전소
 - 250ha면적의 155MW 태양광발전으로 55,000가구에 전기공급


2. 주요 내용

□ 연혁

- (1934-1945) 군용공항으로 이용
- (2011-2012) 에너지 프로젝트 개발 및 논의
- (2012.09) 태양광발전소 준공
 - 투자비 : 2억유로(민간)
- (2016.07) 에너지 저장장치 ESS 신설
 - 투자비 625만 유로(정부지원 285만유로)

□ 설비현황

- 발전설비 : 155MW(연간 20GWh의 전력생산, 55,000 가구 전기공급 가능)
- 송전설비 : 발전소-변전소 간 지중선로 8km
- 에너지 저장장치 : ESS(5MW)

구 분	내 용	
연 혁	<ul style="list-style-type: none"> - '45년 : 군용 공항으로 이용 - '90년 : 독일 통일에 따른 군용공항불필요, 개발필요 - '12년 : 태양광발전소 건설 (민간주도, 5주 소요) - 현재 : 공항기능 + 태양광발전소 기능을 동시 유지 	
위 치	독일베를린 동북부	
부지면적	250ha (축구장 200개 규모), 약 600,000개의 태양광모듈	
시설용량	<ul style="list-style-type: none"> - 155MW (55,000가구 전기공급, 220kV 전압으로 연결) * 에너지저장장치 : 5MW 	
투 자 비	2억 유로 (변전소 : 2백만유로)	
태양광효율	약 12%	
운영수익	8년간 운영수익금(운영계약 20년, 사용 후 12년내 원금회수)	
기 타	부지 제공(덴마크 업체)와 발전운영 업체 별도 운영	

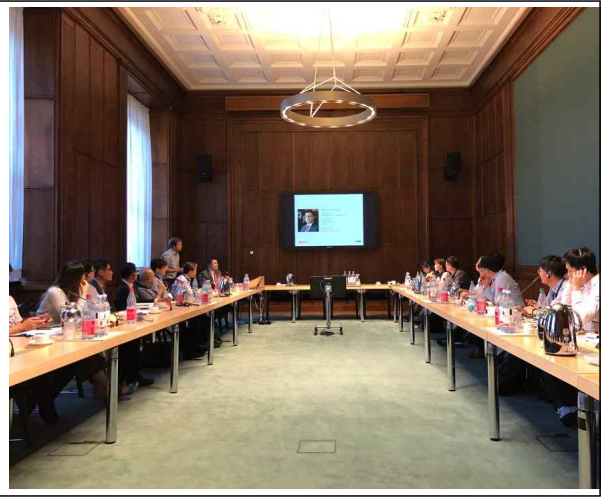
3. 국내 현황 및 시사점

- 국내는 2030년 재생에너지 발전량 비중 20% 달성 목표를 위해 대규모 태양광 발전소 건설 등 지속 노력 필요
 - 신재생발전 정책 개선 및 전력 인프라 구축 계획 노력
 - 한국형FIT 제도 신설 및 REC 발급 등
 - 재생에너지 발전 지역 편중으로 인한 송전선로 건설 편익 배분 및 선제적 망 보강 필요
- 재생에너지 증가에 따른 계통의 출력변동성 증가 대책 필요

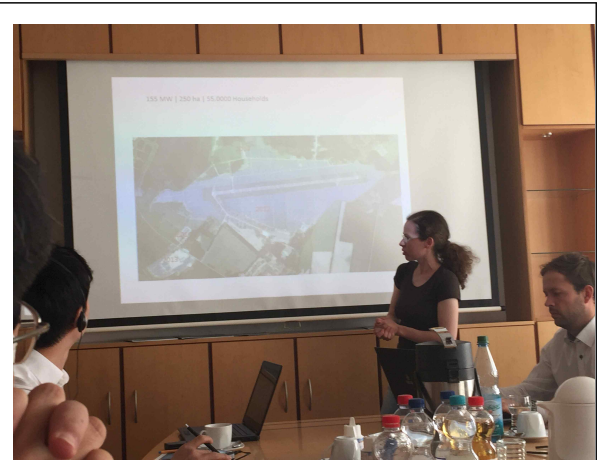
- 신재생전원 수용을 위한 계통안정화 설비 필요
 - ESS 등 계통안정화 설비로 변동성전원에 대한 계통의 Flexibility 확보
- 대규모 ESS 설치 등에 정부 지원으로 사업 참여 유도
- 재생에너지 신뢰도 및 발전특성 기준 재정립으로 계통안정성 확보

4. 향후 계획(한-독 협력방안, 정책 수립 등)

- 민간 투자 확대 유도 및 계통의 신재생 수용성 확대
 - 민간 투자 유입을 위한 정책적 지원 및 투자 위험 감소 정책 필요
 - 신재생 에너지 공급의 출력변동성에 대응할 수 있는 기술 개발 및 정책 수립



〈 독일 연방경제에너지부와의 미팅 〉



에너지자립마을(Feldheim)

공항을 활용한 태양광단지, 쉘라피크

〈 에너지전환 현장 방문 〉