

2020.12.28

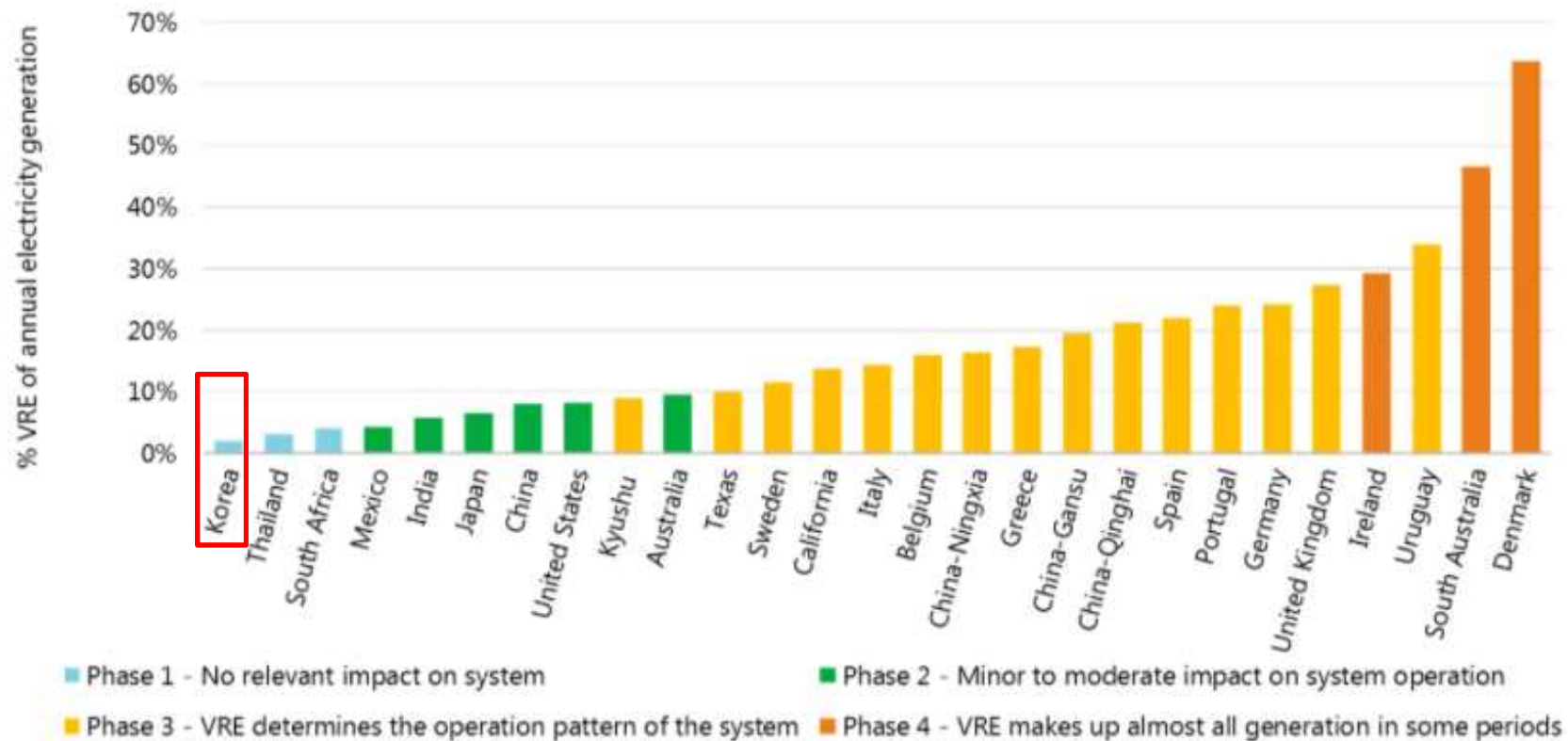
재생에너지 확대에 따른 전력분야(계통, 시장) 개선방향

충남대학교 전기공학과
김승완 교수

I. 들어가며

■ 재생e 확대를 위해 전력분야 개선이 선결되어야 하는 이유

- 우리나라 전체적으로는 재생e 보급 초기 단계



<그림. 국가별 변동성 재생e 발전비중 및 전력계통 단계 분류(출처: IEA, 2019)>

I. 들어가며

■ 재생e 확대를 위해 전력분야 개선이 선결되어야 하는 이유

- 일부 지역(제주, 전남, 전북 등)은 IEA 기준 2~3 단계에 도달
- IEA 기준 단계별 이슈에 대한 “선제적 대응”을 통해 에너지전환을 위한 전력부문 체력강화 필요

구분	VRE 비중	전력계통 특징
1단계	3% 이내	VRE가 전체 계통에 미치는 영향 없음
		•VRE의 계통영향이 거의 없는 상황 •접속점 근처 국지적 계통에 일부 영향
2단계	3~15%	VRE에 의한 영향 인지
		•계통운영자가 VRE용량으로 인한 영향을 인식 •VRE 수용을 위해 계통운영 패턴의 변화
3단계	15~25%	유연성에 대한 우선 고려
		•높은 불확실성과 변동성으로 유연성 자원 중요 •순부하 변동성 확대 및 빈번한 역조류 발생
4단계	25~50%	전력계통 안정도(Stability)의 중요성 증대
		•VRE가 계통 안정도에 영향을 미치는 상황 •넓은 범위의 계통 보강, 외란 회복능력 강화 요구
5단계	-	VRE 발전이 구조적으로 남아도는 상태
		•잉여전력 및 대규모 출력제어(Curtailment) 발생
6단계	-	VRE공급과 수요간 계절적 불균형
		•계절에 따라 수급부족 현상 발생 •저장장치&수요반응 가능량을 초과한 공급부족 발생

[표(좌). IEA 기준 재생e 비중에 따른 전력계통 특징]

[표(하). 광역지자체 별 태양광+풍력 발전비중]

지역	재생e 발전비중	지역	재생e 발전비중
서울	0.3%	강원	10.2%
부산	0.8%	충북	2.7%
대구	0.8%	충남	3.1%
인천	0.7%	전북	10.3%
광주	2.6%	전남	9.6%
대전	0.7%	경북	5.4%
울산	0.2%	경남	3.1%
세종	1.9%	제주	16.5%
경기	0.7%	전국	3.0%

* 출처) '19년 신재생에너지 보급통계(한국에너지공단, '20.11), 한국 전력통계 제89호(한국전력공사, '20.5)

** 19.10 이후 비재생폐기물 제외

I. 들어가며

- 재생e 확대에 따른 전력분야 해결과제 도출(중단기)

재생에너지 출력제어 문제에 대한 종합적 대응방안 수립

비용-효율적 망 투자계획 수립

- 탄소중립을 위한 재생e 중심 전력계통으로의 진화 방향(장기)

계통안정성, 복원력을 갖춘 전력계통으로의 진화

재생e 저장기술 고도화 및 Sector Coupling

II. 재생e 출력제어량 전망과 Storage Mix의 필요성

■ 재생e 출력제어 관련 기본원칙 제안

➤ 기본방향

- ① 재생e 보급목표 달성을 위해 출력제어는 일정 수준이내 최소화 노력
- ② 일정 수준을 초과하는 출력제어량은 Storage Mix로 대응 및 타 에너지 부분에서 활용
- ③ 소규모 재생e를 중앙급전 VPP 자원으로 유도, 출력제어 시 기회비용 보상검토
- ④ 출력제어 유형에 따른 보상방법 차별화로 경제적 신호 제공

➤ 출력제어 보상 관련 해외사례

- 독일, 이탈리아, 포르투갈, 벨기에 등은 연간 일정규모 이상 출력제어시 사업자의 기회비용 보상
- 덴마크, 아일랜드, 스페인 등은 출력제어 시 사업자에 총 기회비용의 일정 부분만 보상
- 대부분 국가에서 시스템 안정성 제고를 위한 출력제어는 無보상 (타 발전원과 동일한 원칙 적용)
- 재생e 보급 초기단계 : 보상수준 高 → 재생e 성숙 단계 : 보상수준 ↓

II. 재생e 출력제어량 전망과 Storage Mix의 필요성

▪ Storage Mix 수립의 필요성

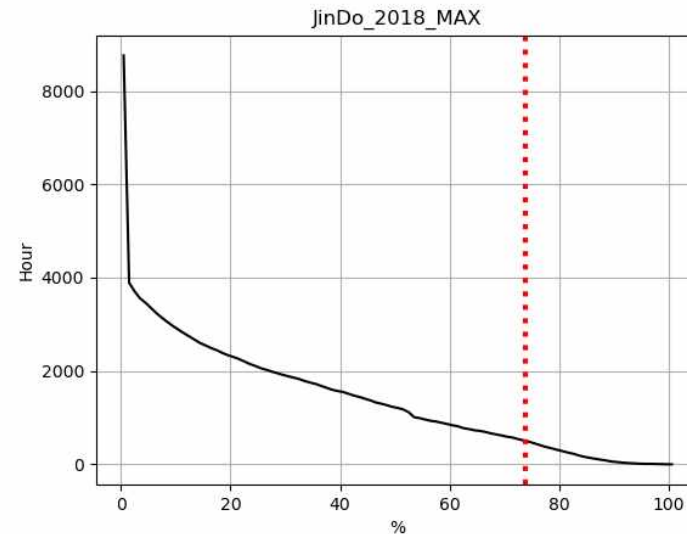
- 정의 : 과도한 출력제어로 인한 비효율이 발생하지 않도록 재생e 전력을 활용하기 위한 다양한 저장수단들의 포트폴리오
- Storage Mix 수립 시 고려사항
 - (출력제어량 전망) 연도별, 권역별 재생e 출력제어량 전망
 - (저장 필요량) 적정수준의 출력제어량을 초과하는 재생e의 활용을 위한 저장수단 총 필요량 산정
 - (저장수단별 Mix) 다양한 저장수단 별 적정 Mix 산정
 - (인센티브체계) 각 저장수단 별 단가 전망 등을 고려해 적정 Mix 유도를 위한 합리적 인센티브 체계 구축
- 제주지역부터 Storage Mix 수립 및 평가 정례화 필요

III. 비용-효율적 망 투자 유도를 위한 송배전망 접속제도 개선

■ 송배전망 접속제도 유연성 확보를 통한 접속 가능용량 확대

➤ [최대출력제한] 재생e 사업자 선택에 따라 일정수준 이하로 발전출력을 제한하는 조건으로 우선 접속하는 제도

- 연간 3% 발전량 제한 가정 시 최대출력의 70% 정도로 출력상한을 설정가능
- 신규투자나 건설기간 소요없이 선로용량을 약 10/7 정도 추가로 확보하는 사회적 편익 발생
- 재생e 비중이 높아 전력망이 포화되어가는 지역 부터 적용하는 것이 합리적
- 재생e 사업자 영향을 최소화하기 위해 초기에는 발전량 감소에 대한 적절한 보상방안 검토 필요
- 독일, 프랑스, 벨기에 등에서 재생e 증가에 따른 송배전망 투자비 절감과 빠른 재생e 확대 위해 해당 방식의 접속제도 활용 중



<그림. 연간 발전량 3% 제한 시 최대출력 제한 기준>

	기존	제안	증감
접속허용 용량 (kW)	A	$A \frac{100}{100-a}$	$\frac{a}{100-a} \%$
최대접속 시 연간발전량 (kWh)	B	$B \frac{100-X}{100-a}$	$\frac{a-X}{100-a} \%$

[표(우). 최대출력 제한 시 접속용량 증가효과 상세]

III. 비용-효율적 망 투자 유도를 위한 송배전망 접속제도 개선

■ 송배전망 접속제도 유연성 확보를 통한 접속 가능용량 확대

- [접속용량 차등화] 배전선로의 부하특성 등을 종합 검토하여 선로별 여건을 고려한 최대수용능력 (Hosting Capacity)을 적용
 - Hosting Capacity : 현재의 전력계통 운영방식에서 추가적인 설비보강 없이 전력계통의 전기품질과 신뢰도를 해치지 않고 연계할 수 있는 신재생에너지 발전설비 용량의 최대치를 의미
 - 기온에 따른 선로의 열적한계 변화, 제어설비 유무, 부하/발전패턴 등 요소가 종합적으로 영향을 미쳐 특정 선로에서는 규정 상 수용능력을 상회하는 수준으로 재생e 연계 가능
 - (미국사례) DOE의 SHINES 프로젝트의 지원을 통해 다양한 지역에서 파일럿 테스트 진행
- [先접속·後제어] 재생e 우선 접속 후 계통상황에 따라 출력제어를 통해 제약을 회피하는 방식으로 접속용량 극대화
 - 계통의 실시간 상황을 고려해 출력제어를 수행해야 하며 통합관제시스템 구축 선결 필요
 - 주로 중대규모 재생e에 적절한 방식이며 영국은 송전급 재생e를 대상으로 이와 유사한 Connect & Manage (C&M) 제도를 운용 중

IV. 안정성과 복원력을 갖춘 전력계통으로의 진화

[넷제로 시대에 예상되는 미래 전력계통의 변화와 특성]

전력계통내 설비 변화

- 전원비중 : 재생e의 주력 전원화
- 발전설비 : 인버터기반 증가 + 회전체기반 감소
- 소비측면 : DC기반 전자장치 증가, 산업용 전력전자화



전력계통 영향

변동성·불확실성 증가
+ 관성저하
→ 강건성·복원력 약화

IV. 안정성과 복원력을 갖춘 전력계통으로의 진화

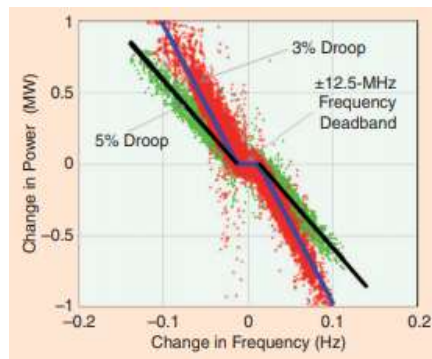
■ 안정적 전력공급을 위한 Grid Code의 고도화

- 재생e 확대 시 전력계통 신뢰도 유지에 필요한 필수적인 관성자원을 체계적으로 확보, 운영할 수 있도록 관련기준 강화
 - **[자원확보]** 전력수급계획 수립 시 전원 구성에 따른 적정 관성수준 확보여부를 검토하여, 관성 제공 자원의 포트폴리오 수립 의무화
 - **[운영감시]** 실시간 계통운영 시 적정 관성이 상시 확보될 수 있도록 非동기기 비중(SNSP)을 모니터링하고 상한기준 마련
 - ✓ SNSP(System Non Synchronous Penetration) : 계통내 총 발전량 중 비동기 발전량 비중으로서, 관성확보 수준을 평가하는 지표로 활용
 - ✓ 고립계통인 아일랜드는 '20년 65% 수준 유지 -> '30년 90% 수준 달성을 위한 기술투자 지속
 - ✓ 해당 규정은 재생e 비중을 제한하고자 하는 것이 아니라, 높은 재생e 비중에서도 전력계통을 안정화시킬 수 있는 다양한 수단들의 확보를 유도하는 방향으로 운용되어야 함

IV. 안정성과 복원력을 갖춘 전력계통으로의 진화

■ 안정적 전력공급을 위한 Grid Code의 고도화

- 재생e 확대 시 전력계통 신뢰도 유지에 필요한 필수적인 관성자원을 체계적으로 확보, 운영할 수 있도록 관련기준 강화 (계속)
 - **[주파수제어]** 일정 규모 이상 재생e 설비는 전통적인 발전원과 유사한 수준으로 주파수 추종제어가 가능하도록 의무화



- **[가상관성]** 일정규모 이상 재생e 사업자는 가상관성을 제공하는데 필요한 Grid-forming 설비확보 의무화
 - ✓ 재생e가 주력전원으로 성장하기 위해 보조 설비 등을 통해 가상으로 교류 주파수와 전압을 합성할 수 있는 역량확보 필요

IV. 안정성과 복원력을 갖춘 전력계통으로의 진화

■ 배전계통·수용가 차원의 계통유연성 제공 강화

- 배전망에 주로 접속되는 재생e 비중 확대에 따라 소규모 배전망과 수용가(대형 건물) 측면의 계통 유연성 확보 중요
- **[배전계통]** 계통 변동성 및 불확실성에 대해 DSO의 대응역량과 책무를 동시에 강화시키는 방향으로 단계적 진화 유도
 - ✓ DSO(Distribution System Operator) : 배전계통을 능동적이고 독립적으로 운영할 수 있는 법적지위와 기술역량을 갖춘 운영자

[표. DSO의 3단계 진화 방향 전망]

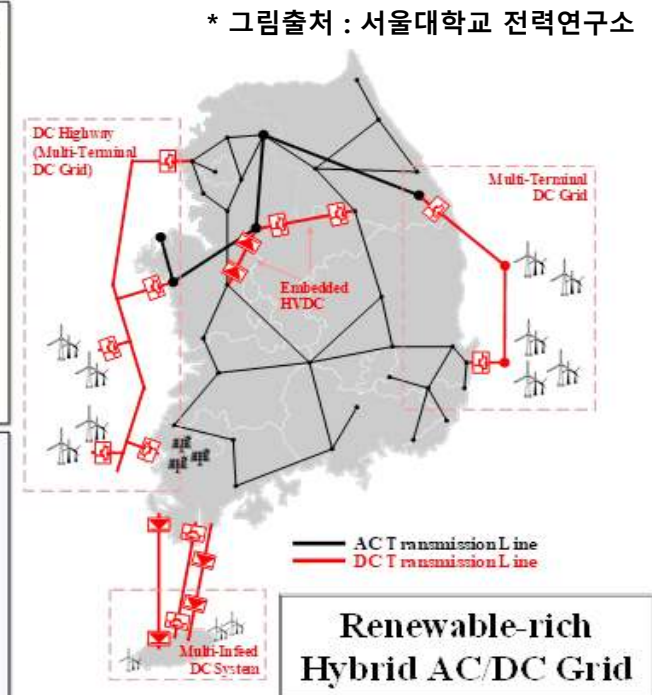
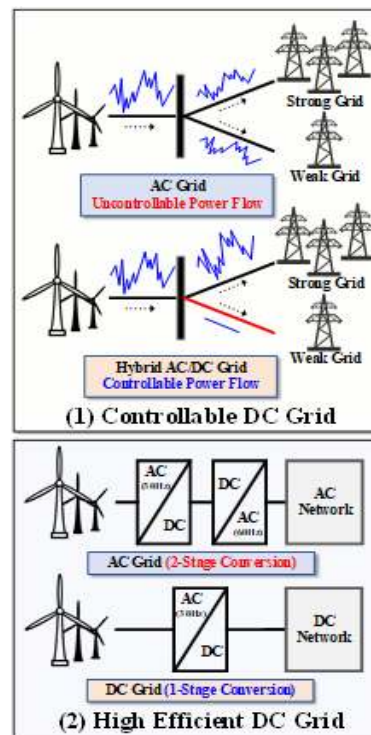
DSO 1.0	DSO 2.0	DSO 3.0
배전계통內 제어설비를 활용하여 제한적, 지역적 계통유연성 확보 및 운용	배전계통內 분산에너지를 통합관제 하여 광역적인 계통유연성 제공 지원	DSO가 관할지역內 시장을 통해 변동성·불확실성을 분권화 하여 관리

- **[수용가]** 대형 건물 등 일정규모 이상 수용가가 계통 여건에 따라 능동적으로 반응할 수 있는 자원을 확보, 지역 유연성 서비스 제공 유도
 - ✓ 자가 태양광, 스마트가전, 전기차, 냉난방, 축열조 등 자원을 통합적으로 활용

IV. 안정성과 복원력을 갖춘 전력계통으로의 진화

■ 배전망 중심의 AC-DC 하이브리드형 신재생에너지 계통 구축

- AC 기간망과 DC 배전망을 융합한 하이브리드 전력망 구축, 및 배전 중심 계통투자 촉진
 - **[DC 채용]** 인버터 기반 재생e 증대에 따라 변환효율, 제어 등이 유리한 DC 기술을 적재적소에 적용 검토
 - ✓ 제3차 에기본 : 재생e 계통 수용율 제고를 위한 DC 전력망 구축 포함
 - ✓ 재생E 증가 시 AC/DC 하이브리드 구성이 비용-효율적
 - **[배전투자]** 배전망 중심의 선제적 투자를 통해 건고한 분산에너지 인프라 구축



V. 재생e 저장기술 고도화 및 Sector Coupling

■ Storage Mix 고도화로 재생e 전력의 短, 長주기 저장능력 확보

- IEA 기준 5, 6단계 계통수준에 도달 시 변동성 및 계통혼잡 대응 등 단주기 저장수단과 계절수요 균형을 위한 장주기 저장수단의 적절한 조합이 필요
 - 충방전 효율, 장기저장 손실, 응답속도, 설치면적 등 종합적 고려 필요

	Subseconds	Seconds	Minutes	Hours	Days	Months	Years
Issues addressed	system stability	Short-term frequency control	Changes in the supply/demand; system regulation	Generation dispatch and operation scheduling	Scheduled maintenance; longer periods of surplus/deficit	Seasonal and interannual variable generation and demand	
Example issue	Withstanding large disturbances such as losing a large power plant	Random fluctuations in power demand	Increasing demand following sunrise or rising net load at sunset	Decide how many thermal plants should remain connected to the system	Hydropower availability during wet and dry season		
Relevant to integration phase	Phase 4	Phase 2 and 3		Phase 3 and 4	Phase 4 and 5	Phase 5 and 6	

<그림. 시간단위 별, 계통 진화 단계 별 예상 이슈 (출처 : IEA)>

V. 재생e 저장기술 고도화 및 Sector Coupling

■ 他부문 에너지로의 전환을 통한 재생e 활용성 극대화(Sector Coupling)

- 재생e 전력을 타부문 에너지원으로 변환하기 위한 Power to X 활성화
 - **[P2H : Power to Heat]** 재생e 전력 활용 열공급 히트펌프·전기보일러 설치의무화, 인센티브 지원 등으로 재생에너지 열사용 확대기반 마련
 - ✓ 열부하 밀집지역 대상으로 잉여전력 보일러 설치 의무화, 가중치 부여 등 검토
 - **[P2L : Power to Liquid]** 재생e 전력을 통해 장거리 수송·장기간 저장 등에 적합한 高 에너지밀도 탄소중립 연료생산 추진
 - ✓ P2L : 전력+H₂O+CO₂ → 액상탄화수소(메탄올·암모니아·가솔린·경유 등)로 전환
 - **[P2G : Power to Gas]** 산업·건물·수송 부문 등에 재생e로 생산한 그린수소 활용 의무화, 공급망 구축 등 추진
 - ✓ 그린수소 활용 의무화, 기존 가스공급망을 그린수소 공급망으로 활용 등 검토

경청해 주셔서 감사드립니다.
많은 조언 부탁드립니다.