

The top left portion of the slide features a photograph of a large-scale solar farm. Rows of blue photovoltaic panels are installed on a hillside, with a line of trees and a clear sky in the background.

신재생에너지 계통연계 적합성 평가

Three square icons with rounded corners are arranged in a cluster on the right side of the title banner. The top-left icon shows a white wind turbine on a blue background. The top-right icon shows a white electrical plug on a blue background. The bottom icon shows a white solar panel on a blue background.

2024. 4. 25(목)
한전 전력연구원

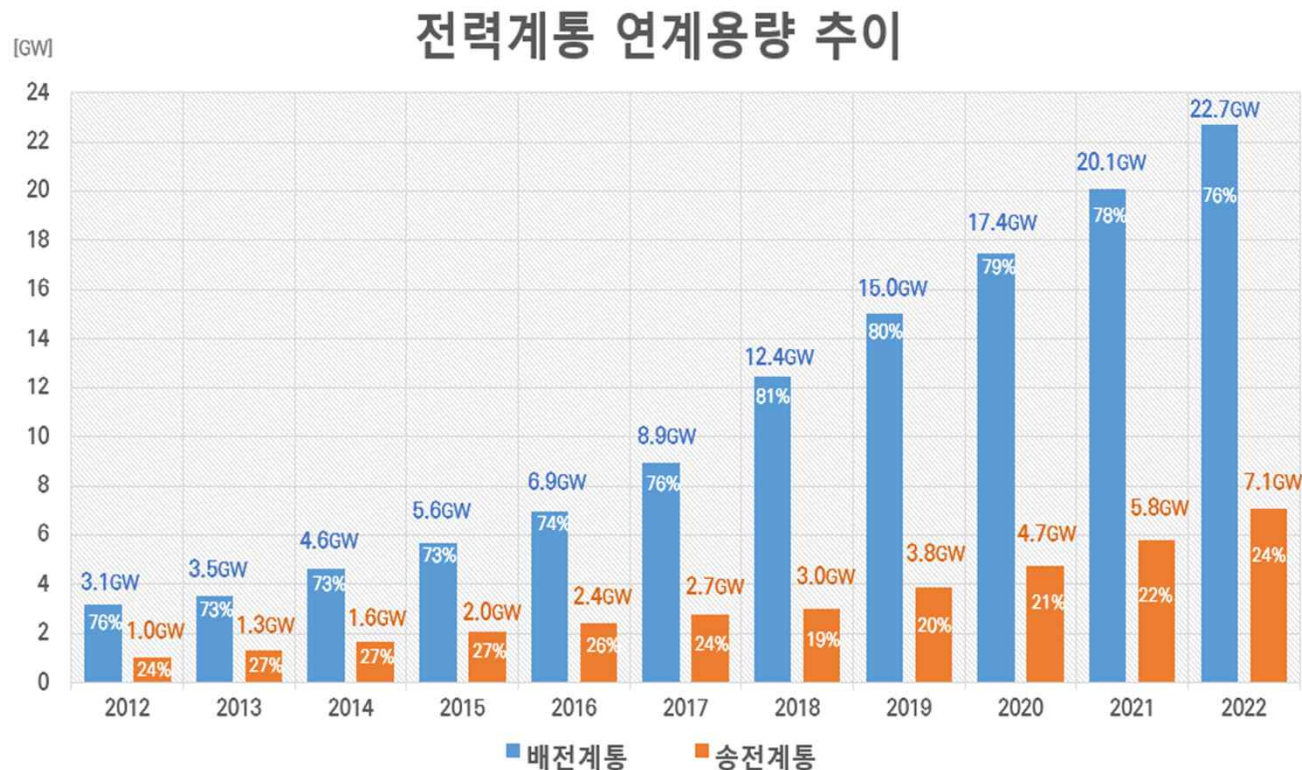


I 추진배경

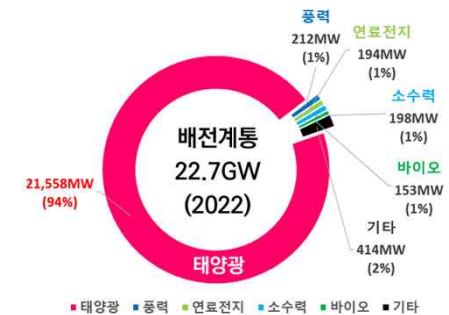


- 2016년부터 신재생발전원의 배전계통 연계 급증 (1MW 이하 신재생 계통접속 보장제도 시행)
 - 배전계통 : 주로 태양광 연계, 송전계통 : 주로 풍력과 바이오 연계

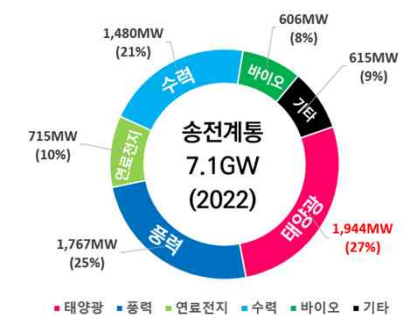
신재생에너지의 계통연계 현황 및 연도별 추이



배전계통



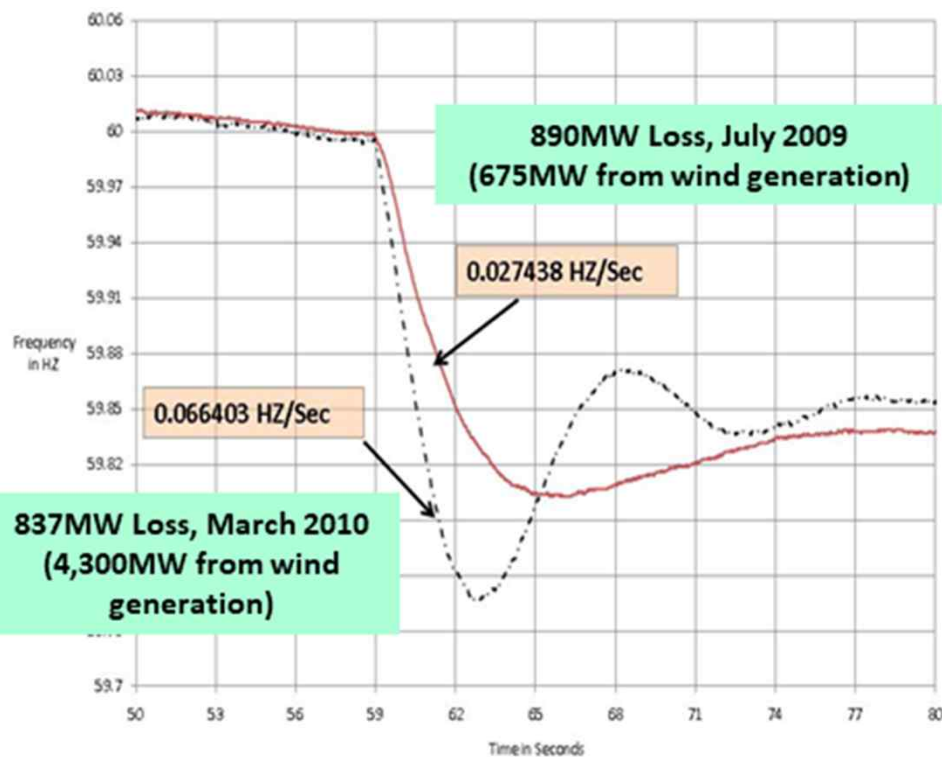
송전계통



I 추진배경

- ▶ 전력변환장치(인버터)로 계통연계하는 재생에너지 증가 : 계통의 관성 감소
 - 계통연계 기준 보완 : Freq. Ride-Through 기능 요구 → 계통주파수 하락 시 발전출력 유지

신재생발전원 증가로 전력계통의 관성에너지 감소 → 주파수 변화율 증가



▶ Texas 전력계통 유사 계통사고 발생

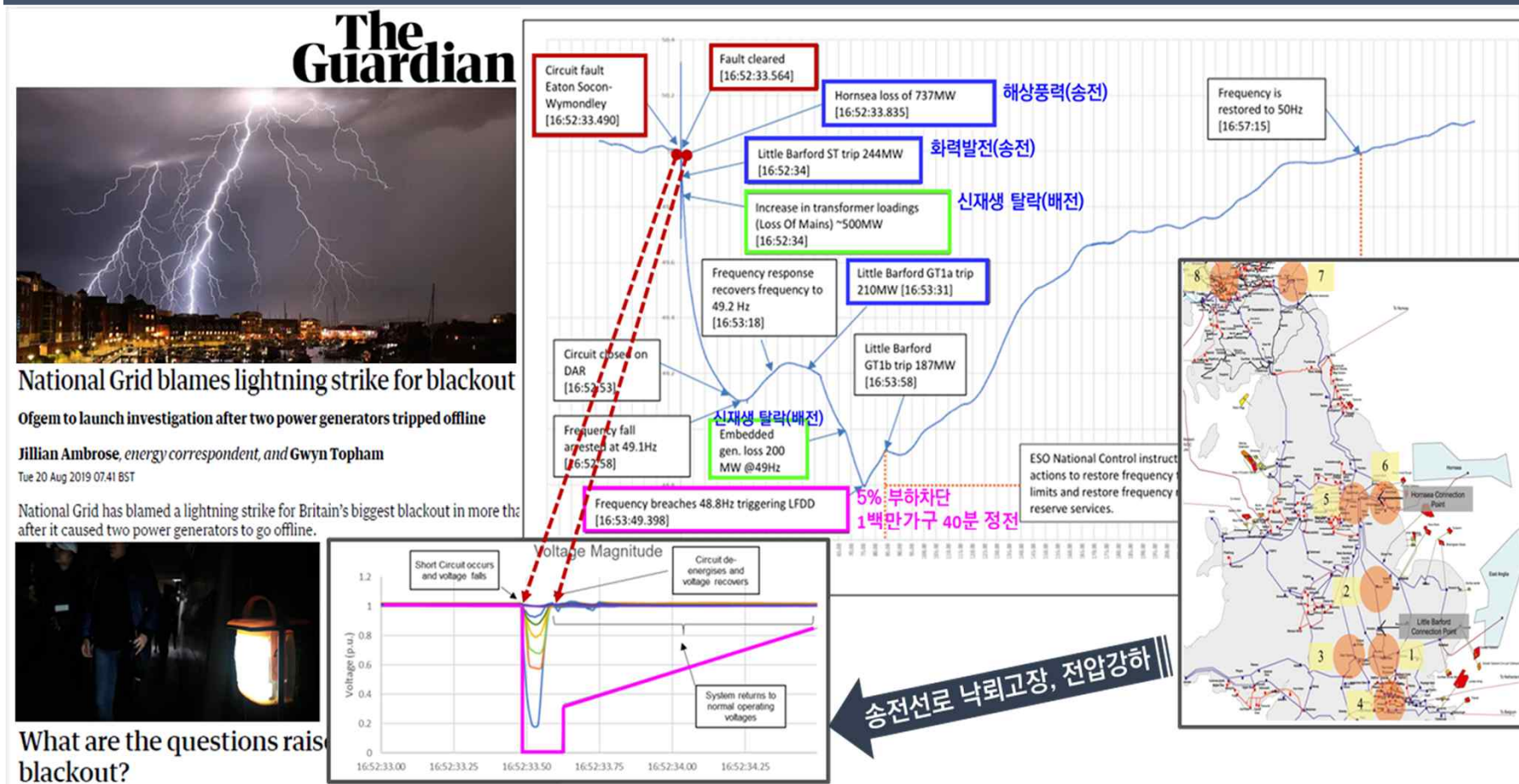
- 유사점 : 동일규모 발전력 탈락
- 890MW('09) → 837MW('10)
- 차이점 : 풍력발전 비중 증가
675MW('09) → 4,300MW('10)
- 재생에너지 발전량 증가로 계통관성 감소
- 주파수 하락폭 증가
- 주파수 하락 증가 시 추가 재생에너지 계통탈락 가능성 있음

I 추진배경



- ▶ 전력계통 고장으로 주파수 저하 ⇒ 화력발전소 및 재생에너지 발전소 연속 계통탈락 ⇒ 대규모 정전
 - 낙뢰로 400kV 송전선로 지락고장 ⇒ 순간(80ms) 전압강하 ⇒ 발전소 탈락 ⇒ 주파수 저하

영국 대규모 정전 발생 : 2019년 8월 9일 16:52



I 추진배경



- 화력발전기(800MW) 탈락으로 주파수 저하 ⇒ 태양광 연속 탈락으로 주파수 59,67Hz 하락

신보령 #1 발전기 고장 : 2020년 3월 28일 13:54



* 출처: '전력계통 주파수 하락 시 태양광 동시 탈락 위험', 이투뉴스, 2020.07.16

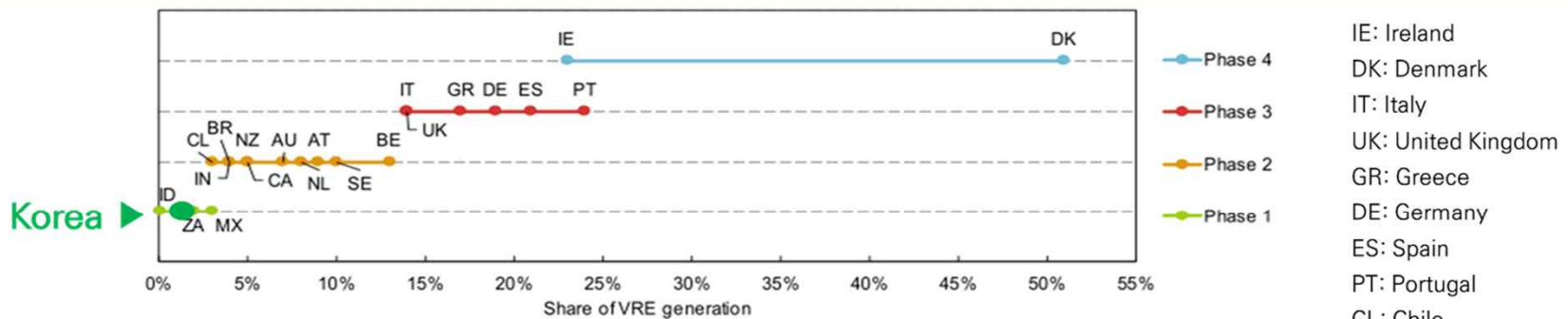
I 추진배경



▶ 출력변동성 신재생에너지 : 풍력, 태양광 등 자연에너지 의존

- 현재 2단계 → 모니터링, 출력예측 시스템 필요, 2025년 3단계 예상 → 출력제어기술 적용 필요

출력변동성 재생에너지원의 발전비중과 계통영향



	단계	VRE 비중	계통 영향	대응방안	국내 상황
전국 : 7.4%	Phase 1	0~3%	- 모든 계통에 큰 영향이 없음 - 배전계통의 일부 연계점에서 영향 발생	- Grid Code 개정 고려 - 국지적 계통영향 검토	-
	Phase 2	3~15%	- 신재생발전원이 계통운영에서 주목받기 시작 - 송전계통에서 전력조류 흐름에 제약 발생 관측성(Visibility)이 주요 이슈	- Grid Code 개정 - 발전제약 완화 노력 - 출력예측시스템 개발	현재 ~2024년
제주 : 16%	Phase 3	15~25%	- 계통운영의 불확실성/변동성 증가 심화 - 최소 관성 수준 운영 유연성(Flexibility)이 주요 이슈	- 신재생 감시/예측/제어시스템 - 유연성 자원 확대 - 관성 확보 방안 필요	2025년 ~2033년
	Phase 4	25~50%	- 신재생 100%로 운영되는 Net-Zero 발생 - ESS등 대규모 전력계통 설비보강 요구 증가 안정도(Stability)가 주요 이슈	- 관성 확보가 최우선 과제 - 신재생이 계통에 유/무효전력, 관성제공	2034년 ~2050년
	Phase 5	50%~	- 잉여전력 및 대규모 출력조정 발생 - 계절에 따라 수급 부족현상 발생	- 부하 전기화(Sector Coupling) - P2G	2050년~

① Reference: International Energy Agency : Insight series 2017, Getting wind and sun onto the grid, p.14~15

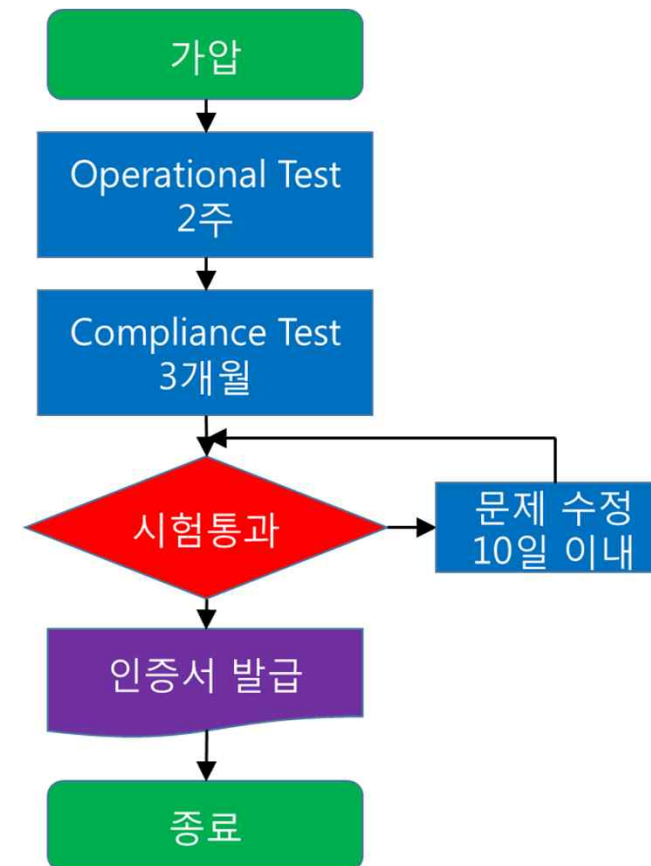
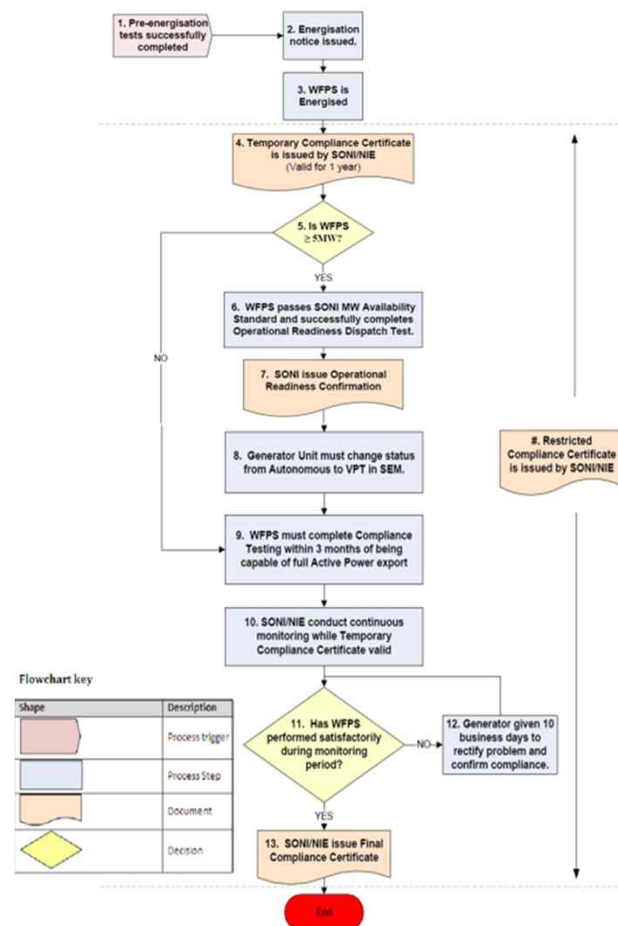
▶ 신재생에너지 계통연계시 스마트인버터 계통지원기능 정의(Smart Inverter Grid Support Func.)

- 연계기술기준 개정 (송전-'21.3, 배전-'21.12), SG협회 단체표준 제정 ('21.11)

번호	기능	송 전	배 전
1	전압-무효전력 제어기능(Volt/VAR)	O	O
2	무효전력 지령치 제어기능(Q set point)	O	O
3	고정 역률 제어 기능(PF)	O	O
4	유효전력-무효전력 제어기능(Watt/Var)	-	O
5	전압-유효전력 제어기능(Volt/Watt)	-	O
6	주파수-유효전력 제어기능(Frequency/WATT)	O	O
7	유효전력 제한 기능(P Limit)	O	O
8	출력 램프업 기능(N-RAMP)	O	O
9	소프트 스타트 램프업 기능(SS-RAMP)	-	O
10	전압 라이드 스루(Ride-Through) 기능(L/HVRT)	O	O
11	주파수 라이드 스루(Ride-Through) 기능(L/HFRT)	O	O
12	출력 중단 기능 (Power Stop)	O	O
13	계통과 전기적 분리 및 재연계 기능 (Disconnection and Reconnection)	-	O
14	단독운전방지 기능(Anti-Islanding)	-	O

Ⅲ 신재생에너지 계통연계기준 적합성 검증

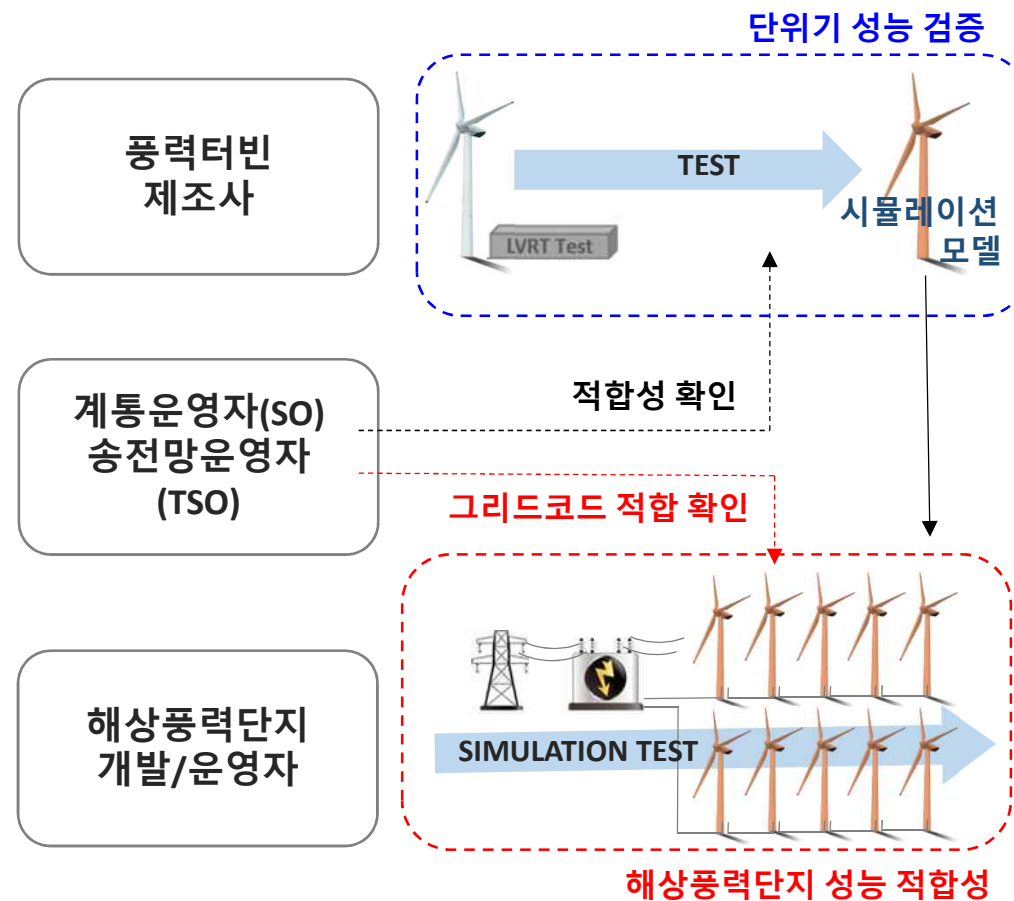
- 신재생에너지 계통연계기준 만족여부에 대한 적합성 검증
 - 계통운영자가 신재생에너지 성능 적합성 확인



그리드코드 적합성 인증 절차 (URegNI/아일랜드)

Ⅲ 신재생에너지 계통연계기준 적합성 검증

- ▶ 신재생에너지 계통연계기준 만족여부에 대한 적합성 검증
 - 계통운영자가 신재생에너지 성능 적합성 확인



Ⅲ 신재생에너지 계통연계기준 적합성 검증



▶ 신재생에너지 계통연계기준 적합성 검증 동향

❖ IEC 61400-21 : Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines

- WT의 전력품질 특성 측정 및 평가에 대한 방법론 제시
- 전력품질 시험 요건 내에 LVRT 시험 요건이 포함되어 있음

➤ IEC 61400-21 6.5절(전압강하에 대한 응답)

- 전압강하에 대한 WT 성능확인 및 WT 수치 시뮬레이션 모델 검증을 위한 시험절차 제공
- 유효전력 출력 범위를 지정하여 전압 강하에 대한 응답을 명시해야함
- 해당 유효전력 출력 범위 내에서 전압강하 발생 이전부터 전압강하 영향이 무시될 수 있을 때까지 유효 전력 및 유효 전류에 대한 결과를 포함
- 전압 프로파일 :

Case	Magnitude of voltage phase to phase (fraction of voltage immediately before the drop occurs)	Magnitude of positive sequence voltage (fraction of voltage immediately before the drop occurs)	Duration (s)	Shape
VD1 – symmetrical three-phase voltage drop	0,90 ± 0,05	0,90 ± 0,05	0,5 ± 0,02	
VD2 – symmetrical three-phase voltage drop	0,50 ± 0,05	0,50 ± 0,05	0,5 ± 0,02	
VD3 – symmetrical three-phase voltage drop	0,20 ± 0,05	0,20 ± 0,05	0,2 ± 0,02	
VD4 – two-phase voltage drop	0,90 ± 0,05	0,95 ± 0,05	0,5 ± 0,02	
VD5 – two-phase voltage drop	0,50 ± 0,05	0,75 ± 0,05	0,5 ± 0,02	
VD6 – two-phase voltage drop	0,20 ± 0,05	0,60 ± 0,05	0,2 ± 0,02	

III 신재생에너지 계통연계기준 적합성 검증



▶ 신재생에너지 계통연계기준 적합성 검증 동향

❖ FGH

- ▶ FGH는 독일이 풍력설비에 대한 인증이 의무화 됨에 따라 필요한 시험절차 및 인증절차 수립
- ▶ LVRT 인증체계를 구축한 최초의 기관이며 현재 풍력설비에 대한 인증 및 시험업무 수행
- ▶ 풍력설비의 LVRT 시험 및 인증에 대한 가장 상세한 지침서를 다음과 같이 제공
 - FGH Part 3: Determination of the Electrical Characteristics of Power Generating Units and Systems in Medium-, High-, and Extra-High Voltage Grids
 - FGH Part 4: Demands on Modelling and Validating Simulation Models of the Electrical Characteristics of Power Generating Units and Systems
 - FGH Part 8: Certification of the Electrical Characteristics of Power Generating Units and Systems in the Medium-, High- and Extra-High Voltage Grids

❖ DNVGL

- ▶ 풍력터빈 제조사가 모든 국가에 대한 계통연계 기준을 정확히 이해하고 검증하기 어려움
- ▶ 제조사는 DNVGL을 통해 해당 국가의 계통연계기준에 적합한지를 인증으로 검증
- ▶ DNVGL-ST-0125 Grid code compliance 에 따라 인증 수행

❖ DEWI-OCC(UL)

- ▶ 신재생에너지의 Grid code compliance에 대해 인정받은 인증기관으로 독일, 스페인 및 여러 국가에 대해 인증업무를 수행

▶ 신재생에너지 계통연계기준 적합성 검증 절차(국내)

▶ 신재생발전사업자

- 발전기(단위) 시험성적서 제출 (시운전 개시 12개월전)
 - 공인시험기관 시험수행 및 시험성적서 발급
- 발전기(단지) 시뮬레이션 모델 제출 (시운전 개시 12개월전)
 - PSS/E 형식(동특성자료 포함), PSCAD/EMTDC 모델 포함
- 발전기 특성시험 (시운전 개시 후 6개월 이내)
- 계통해석(시뮬레이션)모델 갱신 (시운전 개시 후 6개월 이내)
 - 발전기 특성시험 결과 반영

▶ 계통운영자(한전, 전력거래소)

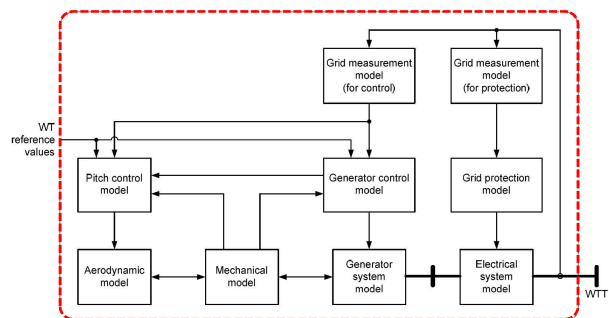
- 발전기(단지) 시뮬레이션 모델 검토 (시운전 개시 12개월전)
- 발전기 특성시험 결과 및 계통해석(시뮬레이션) 갱신 모델 검토

Ⅲ 신재생에너지 계통연계기준 적합성 검증

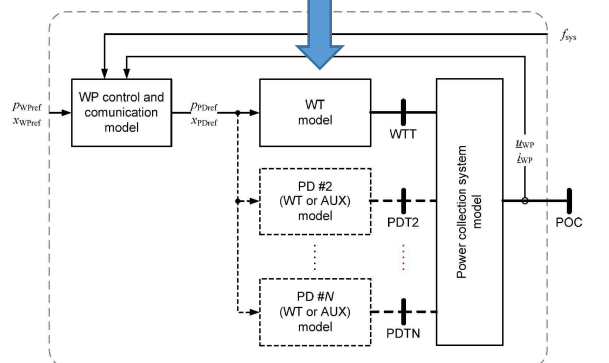
신재생발전기 계통영향 평가

- 신재생발전기 송전계통 연계기술기준에서 계통해석모델(PSS/E) 제출을 요구
- 과도상태 분석을 위한 PSCAD/EMTDC 해석모델 제출 의무화

계통해석모델

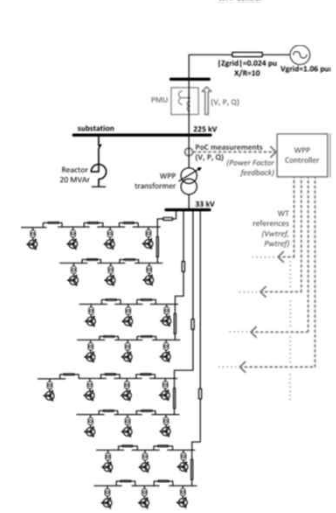
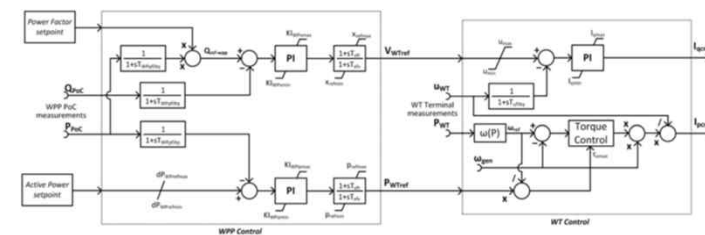


풍력발전기(WT) 해석모델

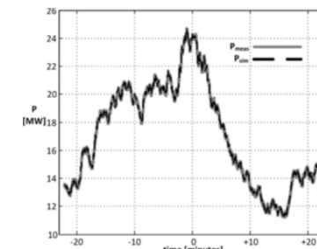


풍력발전단지(WPP) 해석모델

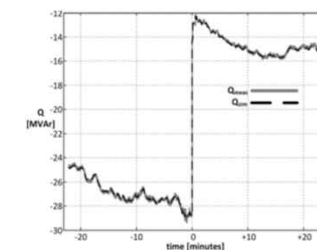
계통해석모델 검증



52MW 풍력발전단지 구성도



P제어(시뮬레이션+실측)



Q제어(시뮬레이션+실측)

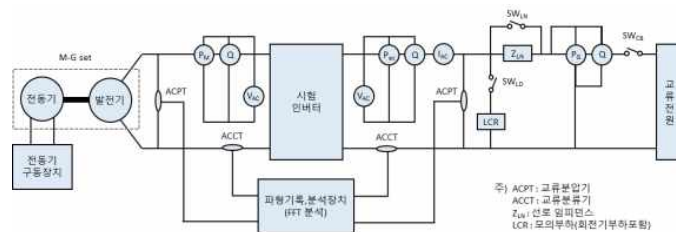
Ⅲ 신재생에너지 계통연계기준 적합성 검증

신재생발전기 성능시험

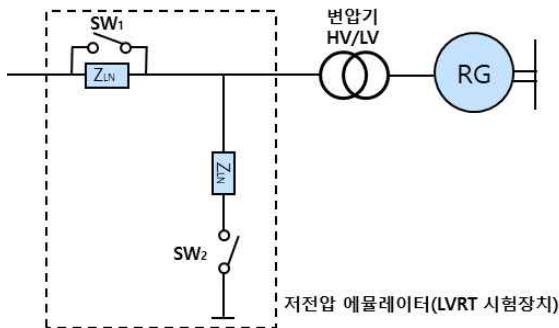
■ 시험회로

풍력 발전

[인버터 출력제어]

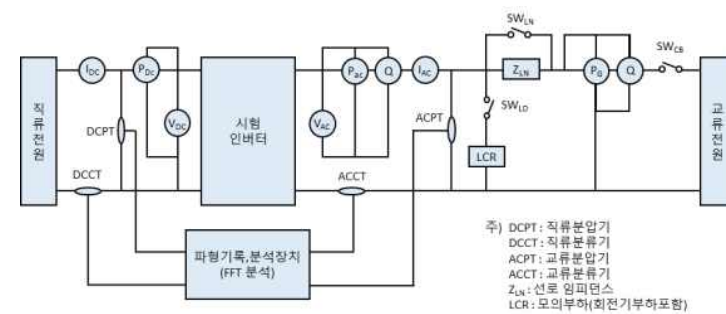


[전압강하 및 무효전력공급]



태양광 발전

[인버터 출력제어 / 전압강하 / 무효전력공급]



※ 에너지원이 직류출력인 신재생발전기(연료전지 등)의 경우 태양광발전용 인버터 시험회로와 동일

■ 계측 및 기록장치

출력제어 : 유효전력, 무효전력, 역률계산이 가능한 0.1급 측정기 사용

전압강하 : 전압, 전류를 정상분, 역상분으로 분리 및 정상분에 대한 유효, 무효분 구분이 가능한 측정기 사용

Ⅲ 신재생에너지 계통연계기준 적합성 검증



▶ 신재생발전기 성능시험 항목

시험항목		관련시험
대분류	소분류	
일반	통신 인터페이스 시험	통신 인터페이스 시험
계통연계 유지	전압강하/상승(L/HVRT) 시험	전압강하(LVRT), 전압상승(HVRT) 시험
	저전압시 무효전류 공급시험	저전압시 무효전류 공급시험
	고/저주파수시 연계유지 시험	고/저주파수시 연계유지 시험
유효전력 제어	유효전력제어 기능시험	유효전력제어 기능시험
	인버터 정지/기동 제어시험	인버터 정지/기동 제어시험
	주파수-유효전력제어 기능시험	주파수-유효전력제어 기능시험
무효전력 제어	무효전력제어 기능시험	무효전력제어 기능시험
	역률제어시험	역률제어시험
	전압-무효전력 제어시험	전압-무효전력 제어시험

Ⅲ 신재생에너지 계통연계기준 적합성 검증



▶ 신재생발전기 성능시험 절차(유효전력 제어시험)

■ 시험절차

순서	내용	비고
1	•최대 유효전력 출력을 증가시킨다.(정격출력의 85% 이상)	
2	•유효전력을 정격용량의 80%로 감소시킨다. (출력이 안정화 될 때까지 대기)	80%
3	•유효전력을 최대 유효전력 출력으로 변경한다.	
4	•유효전력을 정격용량의 50%로 감소시킨다. (출력이 안정화 될 때까지 대기)	50%
5	•유효전력을 최대 유효전력 출력으로 변경한다.	
6	•유효전력을 정격용량의 20%로 감소시킨다. (출력이 안정화 될 때까지 대기)	20%

■ 판정기준

시험결과 유효전력 출력 오차 $\pm 2.5\%$ 이내, 추종시간 5s 이내일 것

- 80% 유효전력 지령시 인버터 정격출력의 77.5% ~ 82.5% 이내,
- 50% 유효전력 지령시 인버터 정격출력의 47.5% ~ 52.5% 이내,
- 20% 유효전력 지령시 인버터 정격출력의 17.5% ~ 22.5% 이내)

감사합니다

