

# 분산전원(DER)용 스마트 인버터 기술 동향 및 현안 문제

2024.04.26(금)

대한전기학회 전력기술부문회  
춘계학술대회

조창희 책임연구원/Ph.D

chcho@keri.re.kr

분산전력시스템연구센터

한국전기연구원



# 목차 및 내용 (Table of Contents)

- 배경
  - 재생 에너지 현황 및 주요 이슈
- 계통연계 표준 및 규정
  - 유럽 및 북미의 계통연계 표준 및 규정
  - 국내 계통연계 규정
- 분산전원용 스마트 인버터의 시험
  - KERI의 스마트 인버터 시험평가 플랫폼 소개
  - 스마트 인버터 계통지원 기능 시험 결과
- 재생에너지의 현안문제
  - 표준 및 시험 방법 보완
- 요약, 결론 및 제안

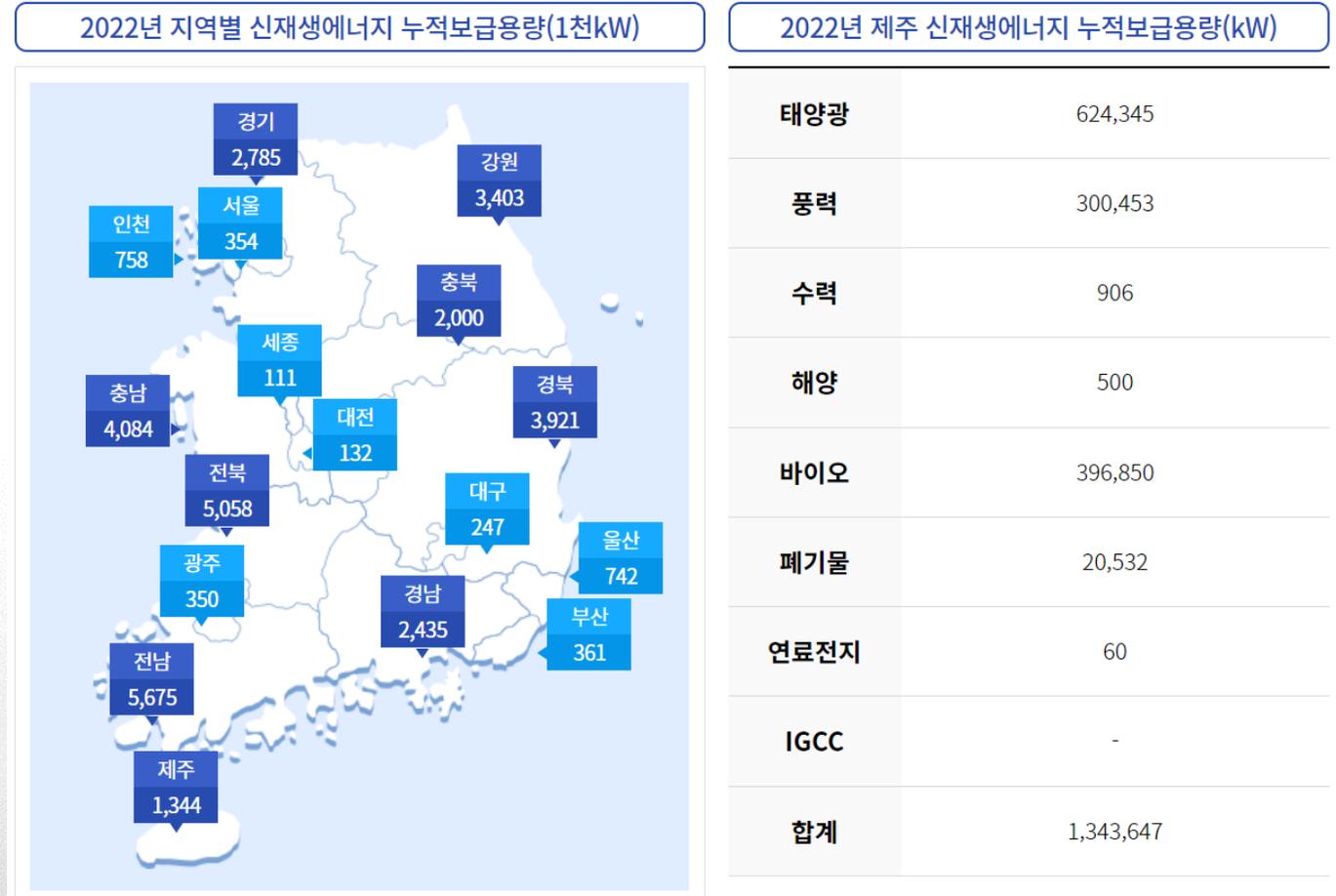


## ❖ 신재생E 누적보급현황



출처: 한국에너지공단 2024

## ❖ 지역별 누적보급 현황

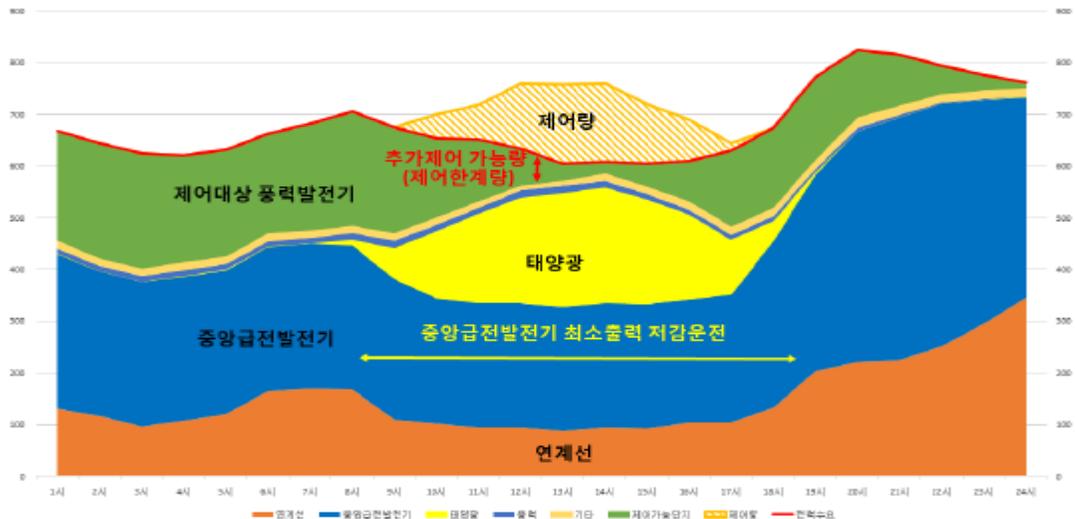


출처: 한국에너지공단 2024

## ❖ 신보령#1 발전기 고장 시 태양광 정지('20.3.28)

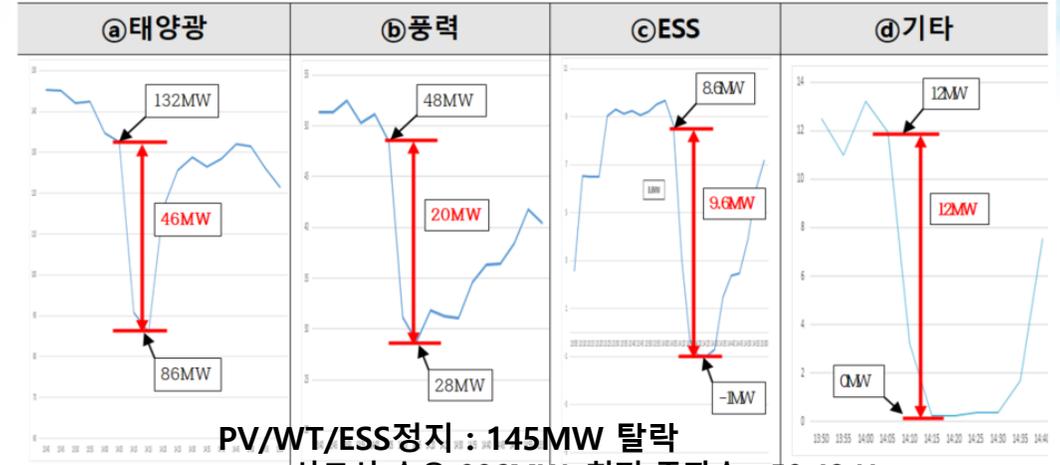


## ❖ 신재생 전력공급 과잉에 따른 출력 제어 시행



▷ '20. 3. 2일 출력제어 시 계통운영 현황

## ❖ 신서귀-안덕TL 1상지락 시 재생e 탈락('21.8.4)



PV/WT/ESS정지 : 145MW 탈락

- 사고시 수요 906MW, 최저 주파수 : 59.48 Hz
- 추정 정지PV : 85 (=46\*1.85, 전체설비/시장설비)

- 신재생 발전 급증-WT(300MW), PV(624MW) (2022년말 기준)
- 부하 : 최대 1161MW(23년 여름), 계절별 500~800 MW 수준
- 신재생 발전기의 공급 과잉으로 출력 제한 조치 증가 (HVDC 최저 출력 및 필수운전 발전기 조건)

출력 제어	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
풍력 [회]	3	6	14	15	46	77	64	104	117
태양광 [회]	-	-	-	-	-	-	4	28	64
합계 [회]	3	6	14	15	46	77	68	132	181

## ❖ 중앙급전발전기 비율 감소(신재생E 급증)

- 중앙급전발전기(79%) : 비중앙급전발전기(21%) (23년설비기준)

구분	2018	2019	2020	2021	2022	2023
태양광 설비용량GW	8.6	12.8	17.8	22.1	26.2	30.3
풍력 출력제어(제주)	15	46	77	64	98	+α
서인천C/C 하루 2회 기동/정지	36	62	151	273	243	+α
복합 열병합(열+전기) AGC운전						
원자력 감발(설, 추석)						
감발(봄, 가을 주말)						
일일정지						
석탄 평일정지 및 단지 전체정지						
양수 신회도 양수추가(양수+펌핑)						

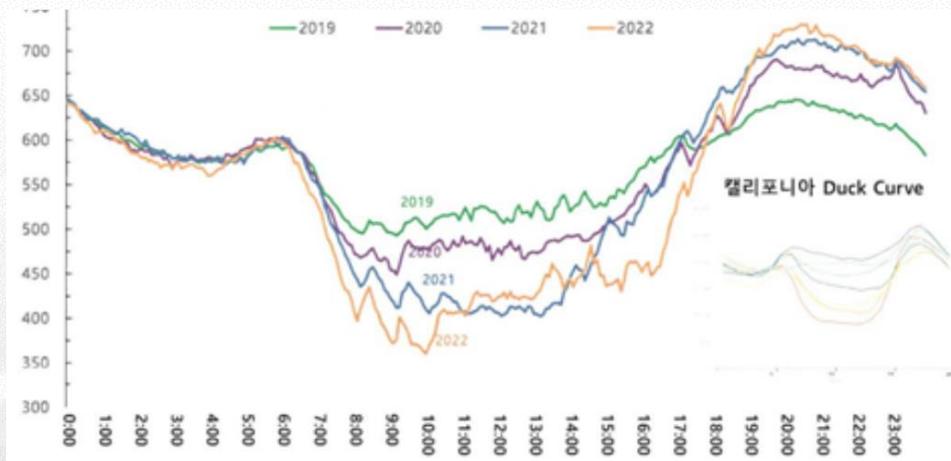
▷ 발전기 운영방식의 변화

## ❖ 지역 편중된 신재생E 설비



- 전라, 경상, 충청 지역에 집중 보급
- 송전 병목현상 가능성으로 계통제약 발생

## ❖ 경부하기(봄·가을) 전력 수급 불균형 심화



▷ 제주지역 4월말~5월초의 Duck Curve (2019~2022)

### ◆ 변동성 증가 :

- 신재생 출력 급변, 실시간 제어 곤란

### ◆ 관측성 저하 :

- 신재생 현황 파악 곤란, PPA+BTM 설비 증가

### ◆ 공급 과잉 :

- 경부하기 수급 불균형 심화

### ◆ 안정도 저하 :

- 지역수급 불균형, 계통제약 심화, 신재생 대규모 탈락 우려

## ❖ (원인) 소규모 태양광 중심으로 신재생 급증

- 대규모 풍력단지의 송전 연계기준은 라이드스루 기준 존재
- 소규모 태양광 등의 (한전)분산형전원 배전계통 연계 기술기준 연계유지 기능요구 추가 ('20.6.9개정)

## ❖ 신재생 계통 연계유지(라이드스루) 기능 요구

### ① 비정상 전압 기준 정정

\* 765kV 고장시 고장제거시간 및 전압회복시간 여유를 고려한 운전지속시간 신설

전압 범위 [%]	분리시간 [초]	전압 범위 [%]	운전지속시간 [초]	분리시간 [초]
$V \geq 120$	0.16	$V \geq 120$	-	0.16
$110 < V < 120$	1.00	$110 < V < 120$	0.2	1.00
$50 \leq V < 88$	2.00	$70 \leq V < 90$	1.5	2.00
$V < 50$	0.16	$50 \leq V < 70$	0.16	2.00
		$V < 50$	0.15	0.5

### ② 비정상 주파수 기준 정정

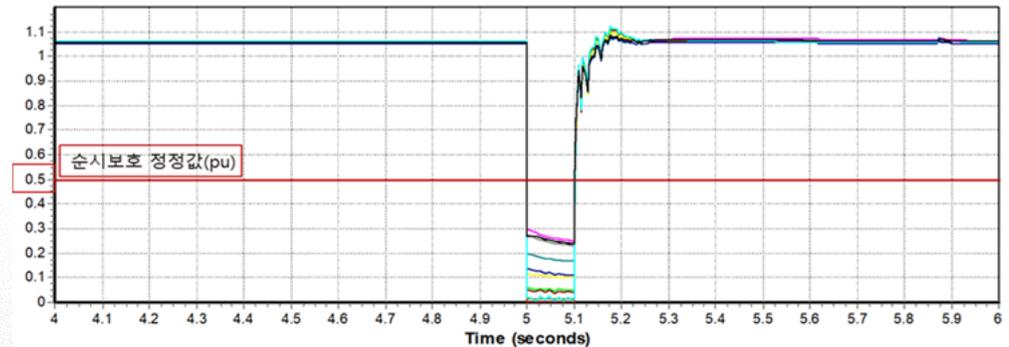
\* 전력계통 신뢰도 고시(주파수 범위) 및 IEEE 1547-2018 기준(운전지속시간) 준용

용량	주파수 범위 [Hz]	분리시간 [초]	주파수 범위 [Hz]	운전지속시간 [초]	분리시간 [초]
30kW이하	$> 60.5$	0.16	$> 61.5$	-	0.16
	$< 59.3$	0.16	$< 57.5$	299	300
30kW초과	$> 60.5$	0.16	$< 57.0$	-	0.16
	$< 57.0 \sim 59.8$ (조정가능)	0.16 ~ 300 (조정가능)			
	$< 57.0$	0.16			

## ❖ 제주계통의 현실 문제

### ◆ 비정상 전압 (순시전압 강하)

- 제주계통은 소규모, 환상망 구조로, 지락 사고시 전역 저전압
- 특히 3상 단락고장시 전 모선전압이 30%이하 발생
- 정지 가능성 큰 신재생 : FRT 미적용 WT, 배전망 연계 PV



[제주TP 모선 3상단락고장 시, 제주지역 154kV 모선 전압]

### ◆ 비정상 주파수

- 전력공급 과잉으로 인한 과주파수 ( $> 60.5$  Hz)
- 고장 사고시, 신재생 추가 탈락에 따른 저주파수 ( $< 59.3$ Hz)

## ■ 유럽의 연계 기준 발전기 요구사항 (Commission Regulation 631/2016, NC-RfG, Network Codes-Requirements for Generators)

- 2006년 송전망 분리 사고로 유럽연합의 DER을 위한 공통 규칙의 필요성이 인정
  - DER 폭증에 대응해서 시스템 안정성 보장 목적 (주요내용 : 주파수, 신뢰도, 전압)
  - 2016년 4월에 공표, EU 각국별로 구현을 진행, 2019년 4월 발효
- EU Network Code-The next generation (ACER 의 초안 발표, 2023.12)
  - 기존 버전(2016) 업데이트 필요성 제기(2019), EU 위원회 검토중, 최종본 공표후 3년후 실효
  - 4개 주제 추가 (ROCOF 기준, Power Park Module의 Type별 (A~D) 그리드포밍 요구사항 등)

ACER:EU Agency for the Cooperation of Energy Regulators  
<https://www.acer.europa.eu/>

## ■ EN 50549-1,-2 : 2019 – Requirements for generating plants to be connected in parallel with distribution networks (Part 1 : LV distribution grid, Part 2 : MV distribution grid)

- EU 국가들의 RfG 구현의 참조 표준 (유럽전기기술표준위원회(CENELEC) TC8X가 개발)
  - 전압 운전 범위, 무효전력 지원, 인터페이스 보호, 출력 제한, ESS 요구사항 등
- CLC/TS 50549-20 Working document 2023 (Part 20: Definitions and tests of the electrical characteristics of grid-forming generating and storage units)
  - 그리드포밍 발전기와 에너지저장 유닛의 기능정의 및 시험

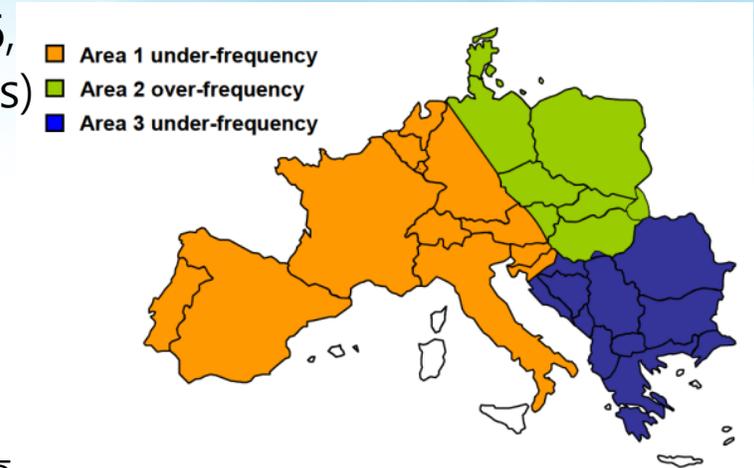
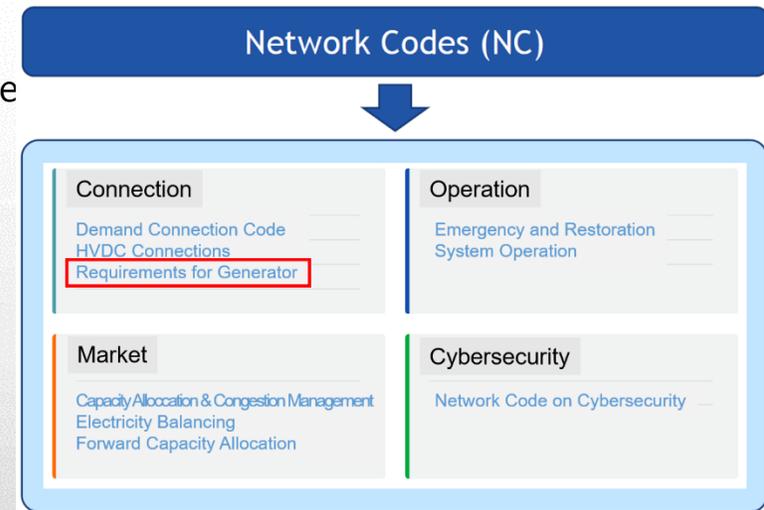
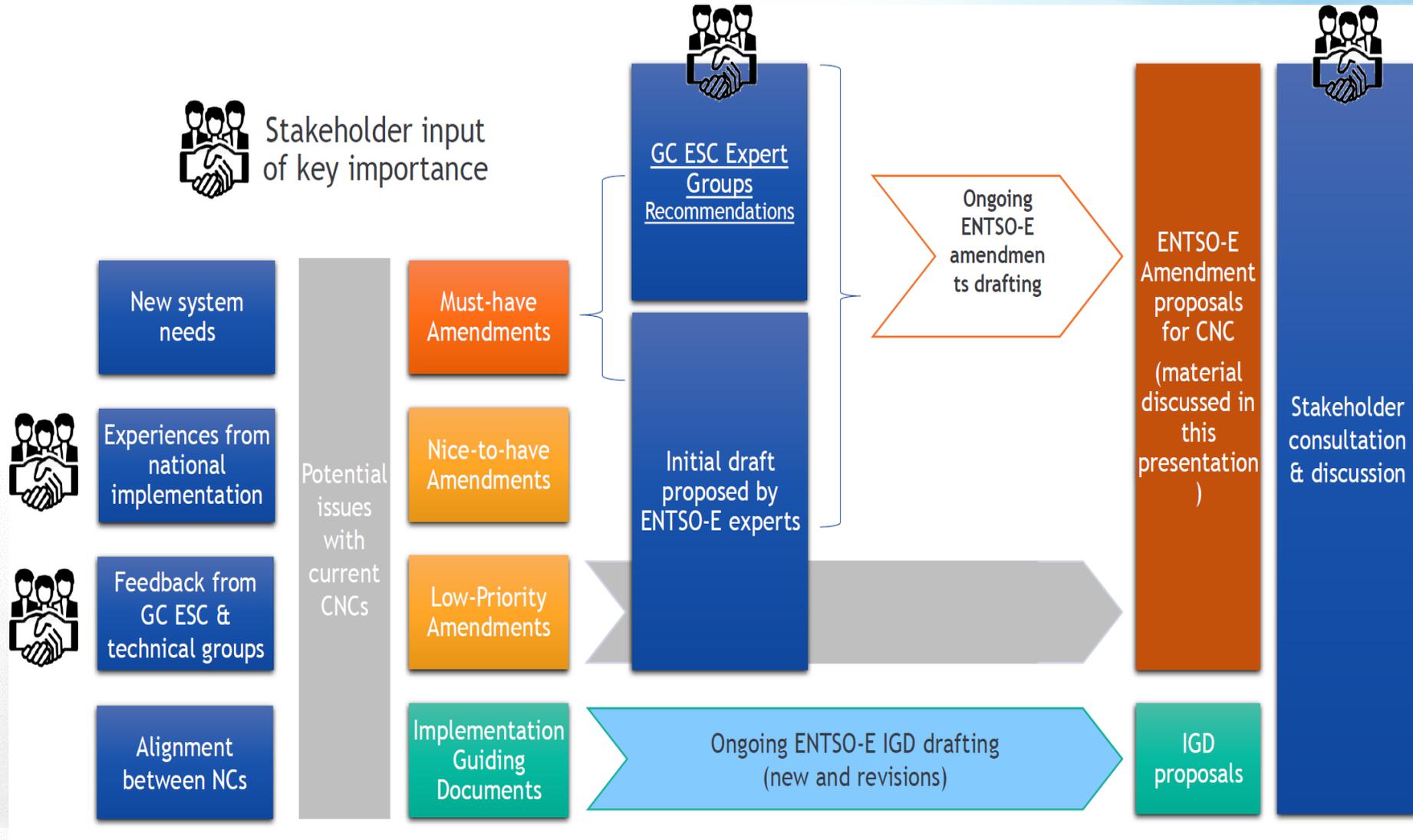


Figure 4: Schematic map of UCTE area split into three areas

### <유럽의 지역 송전망 분리 사고>



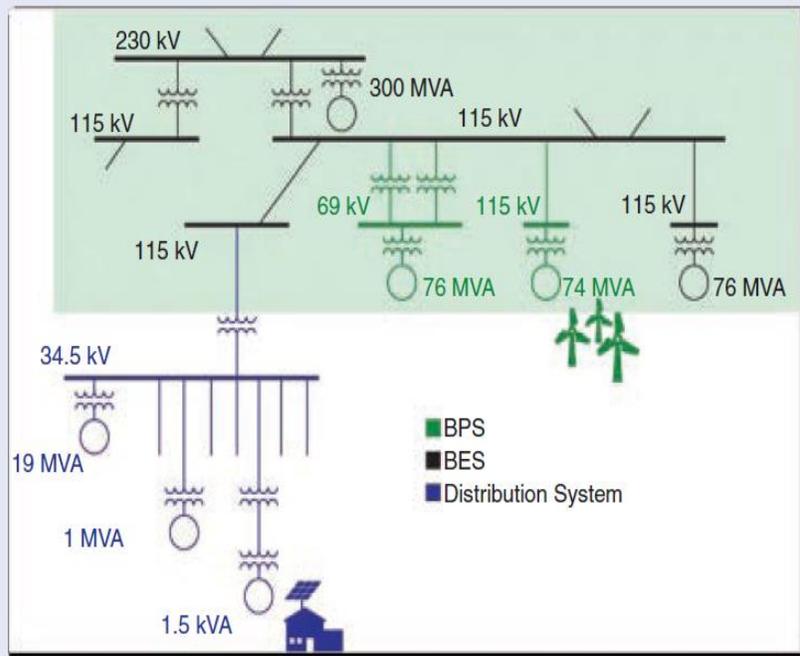
### <유럽 계통연계 기준-NC RfG>



유럽의 Connection Network Codes 업데이트 절차

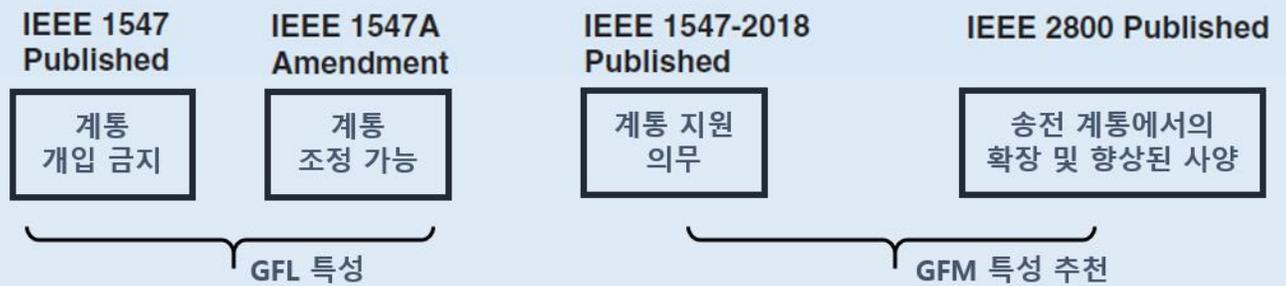
## IEEE 1547-2018과 IEEE 2800-2022의 적용 범위

출처 : NERC



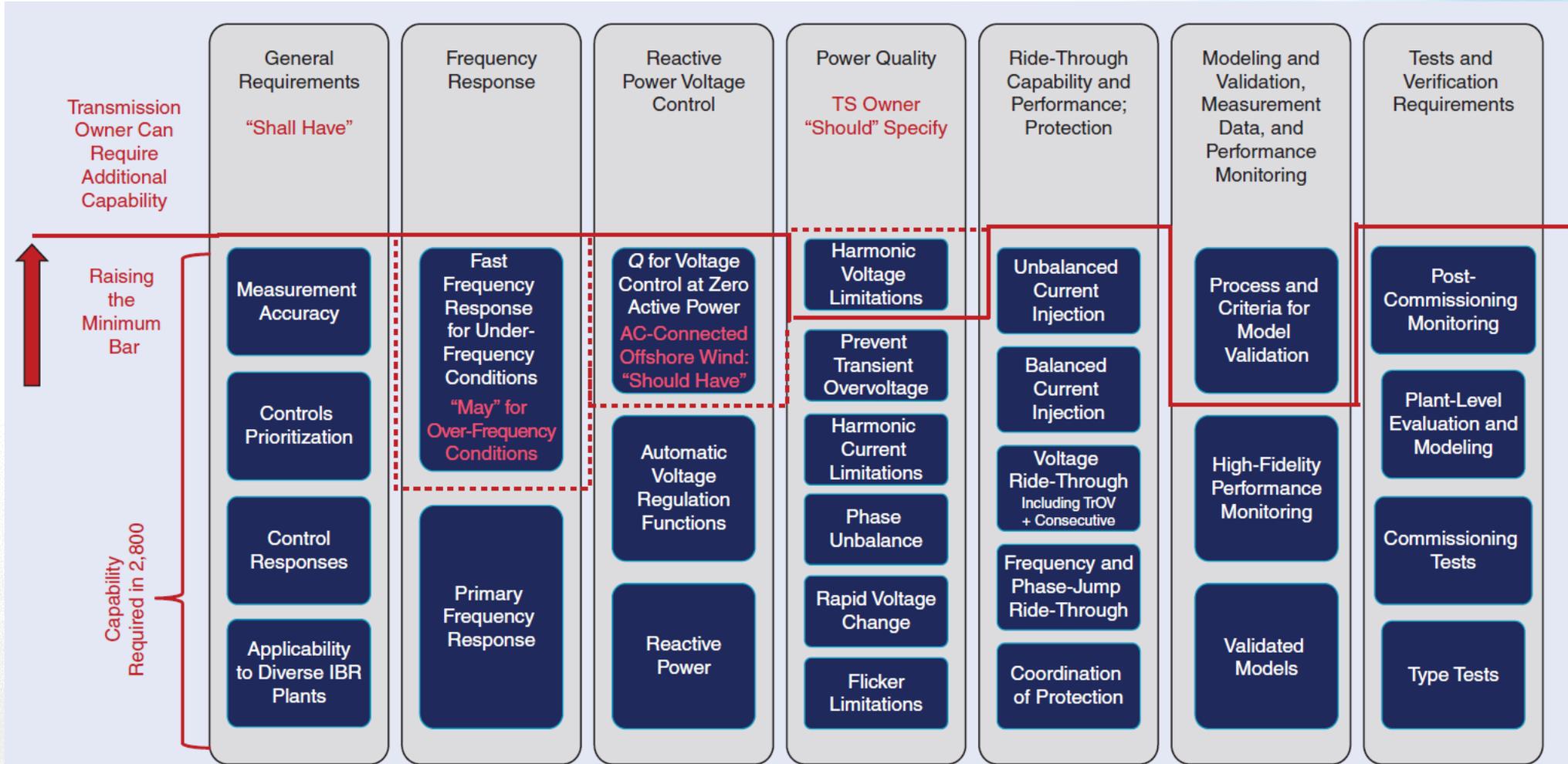
- IEEE 2800-2022**
- IBRs
  - Covers all BPS and BES
  - Transmission Level
  - Subtransmission Level

- IEEE 1547-2018**
- All Power-Producing Resources
  - Distribution Level



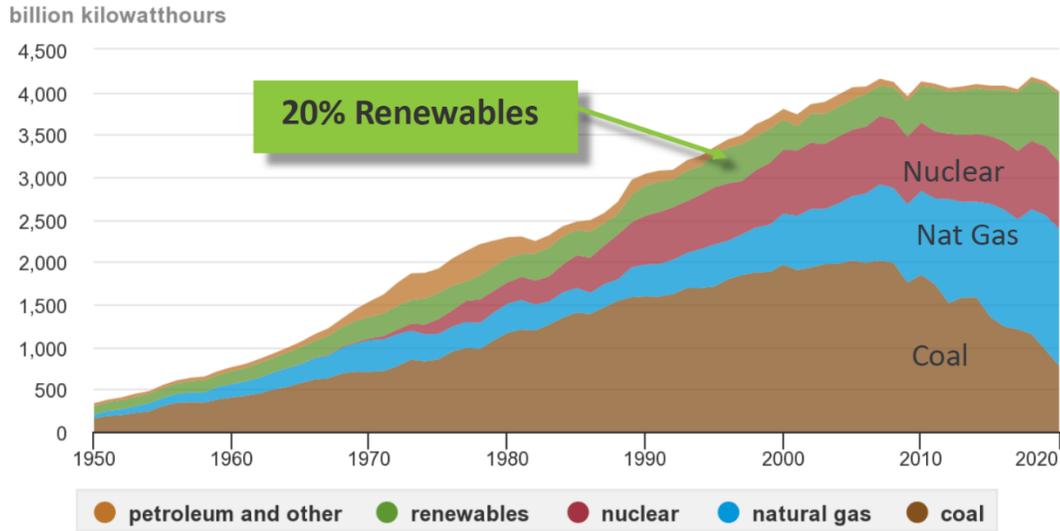
## 계통연계 표준 및 관련 문서의 전개 과정

출처 : IEEE P&E Mag.

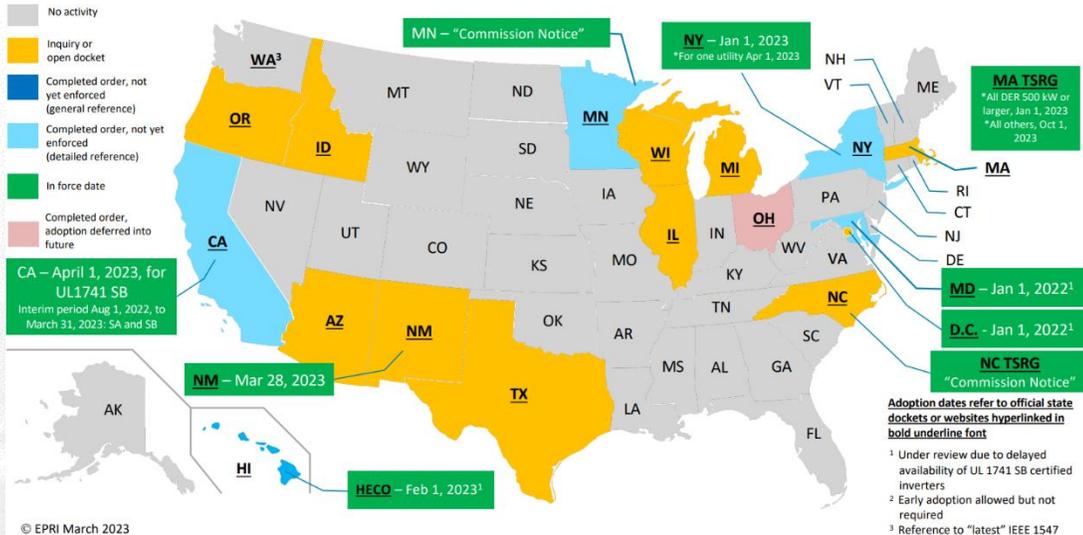


IEEE 2800-2022의 최소한의 기술 요구사항(적색실선)과 예외사항(적색점선)

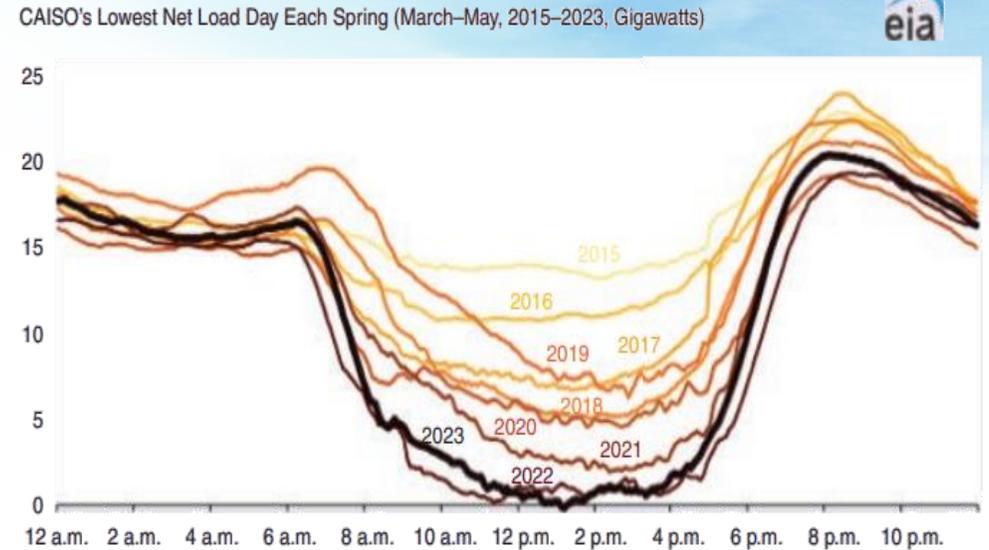
출처 : EPRI 2021



## 미국의 주 에너지원 생산 현황 (1950~2020)



## 미국의 각 주별 IEEE 1547-2018 채택 상태



## CAISO의 Duck Curve 상황(최소 순부하)

### ◆ 미국의 에너지 전환 현황

- 2020년부터 신재생 발전 > 석탄발전 또는 원자력 발전
- 수백M급 도서 시스템 : 신재생 = 순시80~90%, 연간 40%
- ERCOT (수십GW급 메인계통) : 순시의 66%, 연간 26% 부담

### ◆ CAISO의 Duck Curve

- 2023년 최소 순부하 일에 영점(Zero) 도달
- PV와 WT의 출력제한 (CA의 배터리 설비 용량 5GW 수준)

### ◆ IEEE 1547 채택 급증

- 신재생 비중이 높은 주부터 채택하기 시작

산업통상자원부  
**전기사업법**

제18조(전기품질의 유지)  
제27조의2(전력계통의 신뢰도 유지)  
제43조(전력시장운영규칙)

산업통상자원부  
**전력계통 신뢰도 및  
전기품질 유지기준**

제4조(계통주파수 조정 및 유지범위),  
제5조(전압조정목표), 제6조(전압유지범위)  
제17조(신재생 발전기에 관한 계통운영 및 관리)  
제52조(신재생발전기의 계통연계 등)

smart KPX 전력거래소  
**전력시장 운영규칙**

제5장 제11절 신재생발전기에 관한 계통운영,  
[별표3] 전력계통 운영기준의 신재생발전기(18~22)  
→ 제5.11.2조(신재생발전기의 계통연계 운전)

**한국전력공사**  
송·배전용 전기설비  
이용규정

별표6[신재생발전기 계통연계기준]  
4. 송전용전기설비 접속기준 → 세부 연계평가 및 절차 : "신재생발전기 송전계통 연계 기술기준"  
5. 배전용전기설비 접속기준 → 세부 연계평가 및 절차 : "분산형전원 배전계통 연계 기술기준"

**한국전력공사**  
신재생발전기 송전  
계통 연계 기술기준

송전계통 연계 기술 기준,  
기준의 평가,신재생발전기  
시험기준 절차서 등 제공

**한국전력공사**  
분산형전원 배전  
계통 연계 기술기준

분산형전원 계통지원  
기능 요구사항  
상호운용성



## 분산형전원 배전계통 연계 기술기준

기준서 No	H0-배전-기준-0015	
개정-페이지	15	41 / 43
개정 일자	2021.12.31	

### 제25조(기능 요구사항)

- ① 분산형전원은 안정적인 계통운영 및 전력수급을 위하여 전압변동 억제 및 주파수 제어 등의 기능을 수행할 수 있도록 협조하여야 한다.
- ② 계통지원 기능을 수행하는 분산형전원은 <표 3.3>의 기능을 보유하여야 한다.

<표 3.3> 분산형전원 계통지원기능

구분	기능	정의
무효전력 제어기능	전압-무효전력 제어 기능 (Volt/Var)	전압변동에 따라 무효전력을 제어
	무효전력 지령치 기능 (Q set point)	무효전력 값을 일정한 크기로 운전
	고정 역률 제어 기능 (Fixed PF)	역률을 일정하게 제어
	유효전력-무효전력 제어기능 (Watt/Var)	유효전력 변동에 따라 능동적으로 무효전력을 제어
유효전력 제어기능	전압-유효전력 제어 기능 (Volt/Watt)	전압변동에 따라 유효전력을 제어
	주파수-유효전력 제어 기능 (Frequency/Watt)	주파수 변동에 따라 유효전력을 제어
	유효전력 제한 기능 (P limit)	유효전력 값을 일정한 크기 이내로 유지하여 운전
	출력 램프업 기능 (N-RAMP)	정상운전 상황에서 출력변화율을 제어
	소프트 스타트 램프업 기능 (SS-RAMP)	초기 기동 시 출력 변화율을 제어
계통운전 유지기능	전압 라이드 스루 기능 (L/HVRT)	정상/비정상 전압 상황에서 전력계통 연계 유지/분리를 결정
	주파수 라이드 스루 기능 (L/HERT)	정상/비정상 주파수 상황에서 전력계통 연계 유지/분리를 결정
비상시 기능	출력 중단 기능 (Power Stop)	계통운영자 요구에 따라 계통연계상태를 유지하되 유효전력 발생을 중단
	계통과 전기적 분리 및 재연계 기능 (Disconnection and Reconnection)	계통운영자 요구에 따라 계통과 전기적으로 분리하거나 재연계
	단독운전방지 기능 (Anti-Islanding)	분산형전원에 의해서만 계통이 가압되는 상태를 방지

### 제26조(상호운용성)

- ① 송배전용전기설비이용규정에 제 29조에 따라 실시간 자료취득·전송과 감시 및 원격제어를 위한 신재생발전기 감시·제어시스템을 설치해야 하는 분산형전원 설치자는 한전계통과 상호운용성이 확보된 분산형전원을 설치해야 한다.
- ② 제 1항을 만족하기 위한 분산형전원은 표 3.4의 신재생발전기 연계 단말장치 기반 인버터 시험구분 및 항목을 만족해야 하며, 세부 시험절차는 'KSGA-025-9-3 계통 연계 요구사항 - 신재생 감시제어장치와 신재생에너지 발전용 계통연계형 인버터간 성능 및 통신 프로토콜 시험방법' 단체표준에 따른다.

<표 3.4> 신재생연계단말장치 기반 인버터 제어시험 항목

시험구분	시험항목				
	기능검토	기능시험			
출력제어	HMI 제공 여부	통신 인터페이스 시험	역률 제어	유효전력 출력제어	인버터 정지/기동 제어

## ❖ 주요 내용

- 계통 안정화를 위한 분산형전원의 계통지원 기능 요구사항(14개) 포함
- 감시 및 제어를 위한 정보/통신의 상호운용성 요구사항 포함
- KSGA 단체표준에서 기능요구사항의 상세내용 및 시험방법을 기술

SGSGSGSG KSGA-025-15-1  
SGSGSGS  
SGSGSG  
SGSGS  
SGSG  
SGS  
SG

**SG**

태양광발전용 스마트 인버터의 계통 지원 기능  
— 제1부: 배전계통 요구사항 및 시험방법  
KSGA-025-15-1: 2021

한국스마트그리드협회  
2021년 xx월 xx일 제정

SGSGSGSG KSGA-025-15-2  
SGSGSGS  
SGSGSG  
SGSGS  
SGSG  
SGS  
SG

**SG**

태양광발전용 스마트 인버터의 계통 지원 기능  
— 제2부: 송전계통 요구사항 및 시험방법  
KSGA-025-15-2: 2021

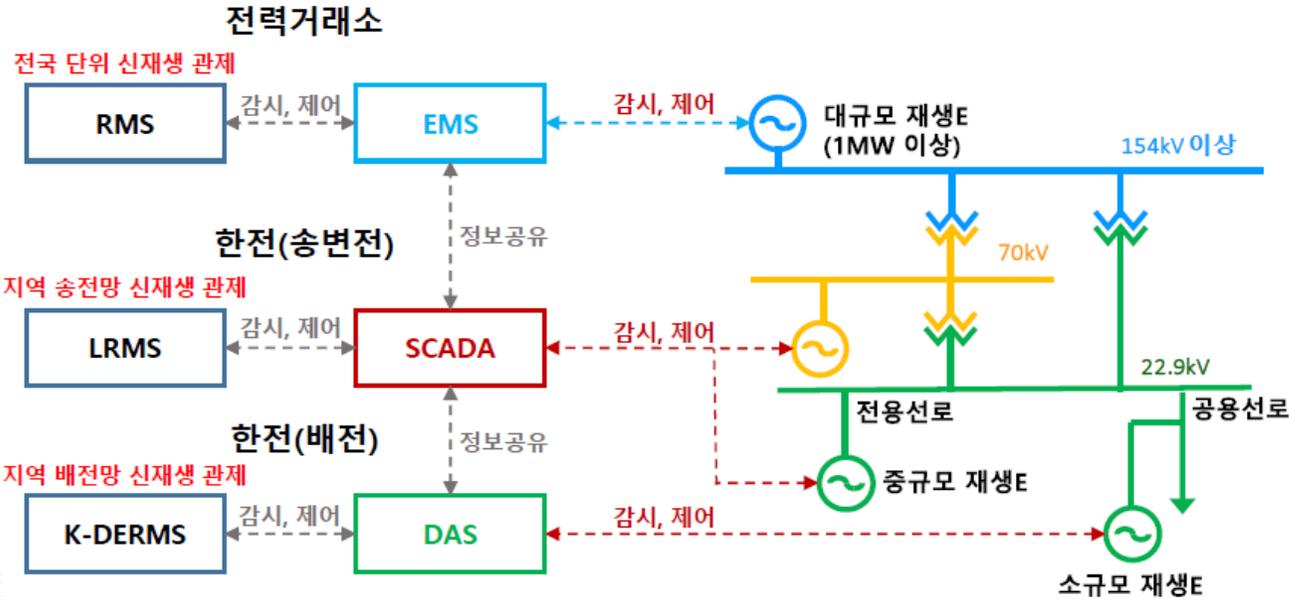
한국스마트그리드협회  
2021년 xx월 xx일 제정

SGSGSGSG KSGA-025-9-4  
SGSGSGS  
SGSGSG  
SGSGS  
SGSG  
SGS  
SG

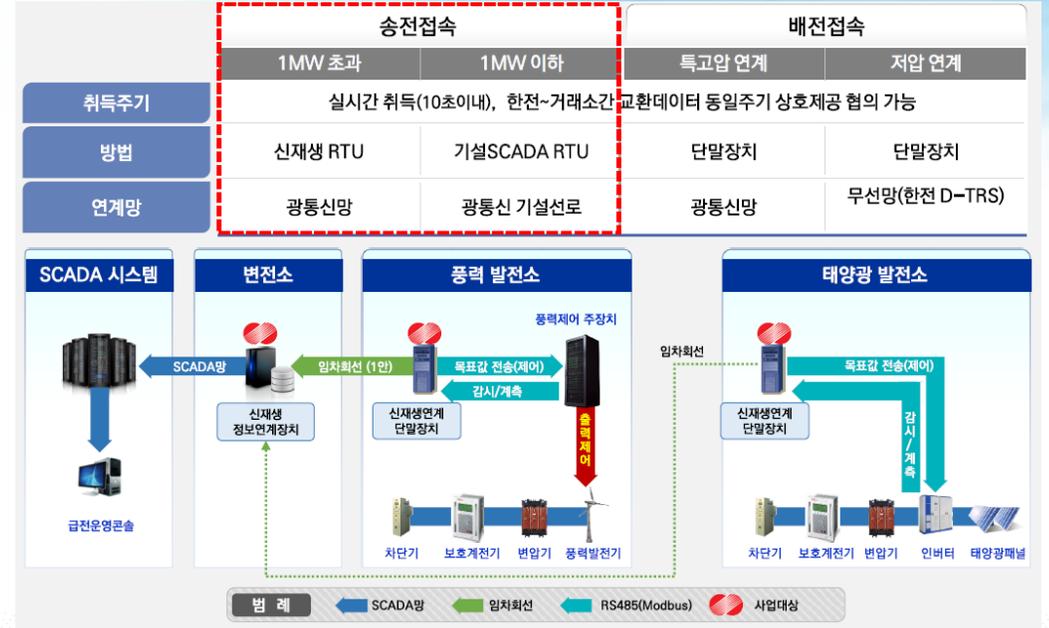
**SG**

계통 연계 요구사항 - 신재생 감시제어장치와 스마트 인버터간 통신 정보 모델 및 연동 성능 시험방법  
KSGA-025-9-4: 2022 (Ed1.0)

한국스마트그리드협회  
2022년 09월 26일 제정



기관별 신재생 지역관제 시스템 구성



한전의 신재생 감시제어 구축안

제주 계통  
신규사업자

정보제공장치 설치 의무	✓ 육지지역은 제공 의무 적용을 유예('22.7월 이전 규정 별도 마련) ✓ 송배전용 전기설비 이용규정 개정('20.7) 분산형전원 배전선로 연계기술기준 개정('21.2)
실시간 발전정보 제공 의무	

구분	제주지역 신규 사업자	육지지역 발전 사업자
정보제공장치	태양광, 풍력, 연료전지 사업자 설치 의무 有 (설비용량 100kW 이상, '20.10 이후 접수)	(現) 발전사업자 설치의무 無

제주지역의 신재생 정보제공장치 설치의무

- ❖ 재생에너지(분산전원) 실시간 감시 및 출력제어 시행 근거
  - 전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준 (산업부 고시, 2019년11월 개정)
    - 제17조 (신재생 발전기에 관한 계통운영 및 관리)
      - ① 전력거래소와 송·배전사업자는 신재생발전기에 대한 출력 감시, 예측, 평가 및 제어를 통해 전력계통을 안정적으로 운영
  - 송·배전용 전기설비 이용규정 (한전, 22년6월29일 개정)
    - 제 29 조【보호장치, 신재생발전기 감시·제어시스템 등의 설치 및 운영의 협조】
      - ④ 신재생발전사업자는 실시간 자료취득·전송과 감시 및 원격제어를 위해 신재생발전기 감시·제어시스템을 설치하고 운영

SunSpec\_Modbus\_Korean\_Profile\_KP220308-002.xlsx - Excel

필수/선택 의견(검토자)	필수 여부	모드버스 주소	기본값	추가설명	Address Offset	Group Offset	Name	Value	Count	Type	Size	Scale Factor	Units	RW Access (RW)	Mandatory (M)	Staic (S)
		40070	701	모델 ID	0		ID	701		uint16					M	S
		40071	153	모델 길이	1		L	153		uint16					M	S
		40072		결선 형식	2		Wiring Type			enum16					M	
		40073		운영 상태	3		St			enum16						1547-2018
		40074		인버터 상태	4		InvSt			enum16						

701모델 (DERMeasurementAC)

SunSpec\_Modbus\_Korean\_Profile\_KP220308-002.xlsx - Excel

필수/선택 의견(검토자)	필수 여부	모드버스 주소	기본값	추가설명	Address Offset	Group Offset	Name	Value	Count	Type	Size	Scale Factor	Units	RW Access (RW)	Mandatory (M)	Staic (S)
		40277	703	모델 ID	0		ID	703		uint16					M	S
		40278	17	모델 길이	1		L	17		uint16					M	S
		40279	1	서비스 개시 활성화	2		ES			enum16						
		40280		서비스 개시 최대 전압	3		ESVHi			uint16	V_SF	Pct	RW			1547-2018
		40281		서비스 개시 최저 전압	4		ESVLo			uint16	V_SF	Pct	RW			1547-2018
		40282		서비스 개시 최대 주파수	5		ESHHi			uint32	Hz_SF	Hz	RW			1547-2018
		40284		서비스 개시 최저 주파수	7		ESHLo			uint32	Hz_SF	Hz	RW			1547-2018
		40286	300	서비스 개시 지연 시간	9		ESDyTms			uint32	Secs	Secs	RW			1547-2018
		40288		서비스 개시 펄스 시간	11		ESRndTms			uint32	Secs	Secs	RW			1547-2018
		40290	50	서비스 개시 펄스 시간	13		ESRmpTms			uint32	Secs	Secs	RW			1547-2018
		40292		서비스 개시 지연 시간	15		ESDlyRemTms			uint32	Secs	Secs	RW			1547-2018
		40294		정압 배율계수	17		V_SF			sunssf						1547-2018
		40295		주파수 배율계수	18		Hz_SF			sunssf						1547-2018

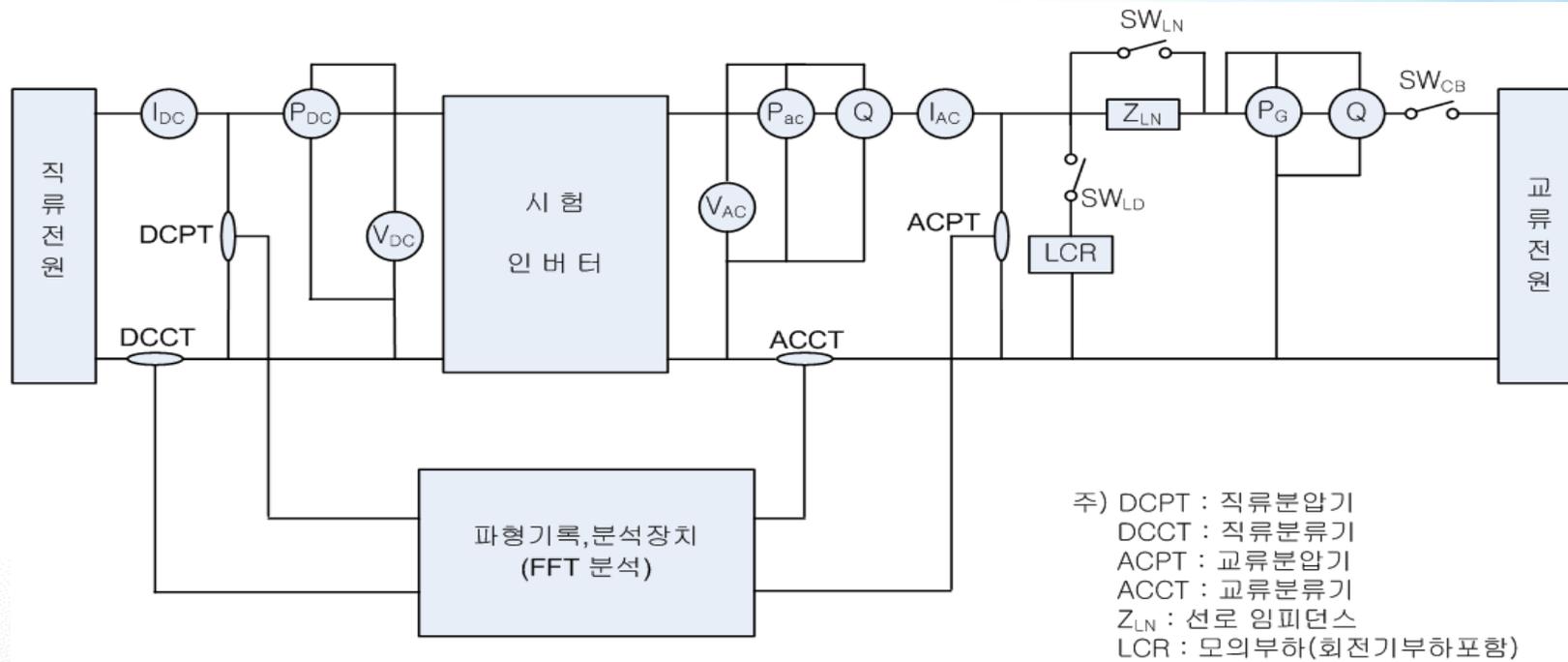
703모델 (DEREnterService)

SunSpec\_Modbus\_Korean\_Profile\_KP220308-002.xlsx - Excel

필수/선택 의견(검토자)	필수 여부	모드버스 주소	기본값	추가설명	Address Offset	Group Offset	Name	Value	Count	Type	Size	Scale Factor
		40882	715	모델 ID	0		ID	715		uint16		
		40883	7	모델 길이	1		L	7		uint16		
		40884	1	로컬/리모트 제어	2		LocRemCtl			enum16		
		40895	1	DER 하트비트	3		DERHb			uint32		
		40897	1	제어기 하트비트	5		ControllerHb			uint32		
		40899	1	알림 리셋	7		AlarmReset			uint16		
		40890	1	운영 설정	8		OperCntrl			enum16		
				송력 중단			STOP	0				
				송력 재개			START	1				
				계통과 전기적 분리			ENTER_STANDBY	2				
				계통과 재연계			EXIT_STANDBY	3				
							POWER_STOP	4				
							POWER_RESUME	5				
							DISCONNECTION	6				
							RECONNECTION	7				

715모델 (DERCtl)

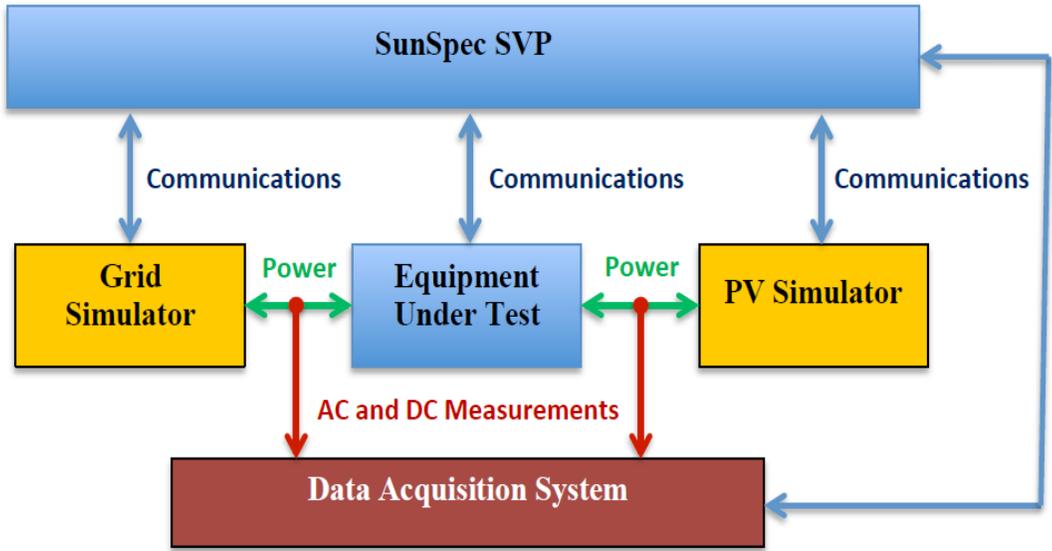
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
필수 여부	모드버스 주소	기본값	추가설명	Address Offset	Group Offset	Name	Value	Count	Type	Size	Scale Factor	Units	RW Access (RW)	Mandatory (M)	Staic (S)	
	40486	707	모델 ID	0		DERTripLV			uint16							
	40487	123	모델 길이	1		ID			uint16							
	40488	1	LVRT 제어 활성화	2		L			enum16							
	40489		곡선 채택 요청	3		Ena			uint16							
	40490		곡선 채택 결과	4		AdptCrvRslt			uint16							
	40491	0	곡선 집 개수	5		IN_PROGRESS	0		uint16							
	40492	0	곡선 개수	6		COMPLETED	1		uint16							
	40493	-1	전압 배율계수	7		FAILED	2		uint16							
	40494	-3	시간 배율계수	8		NPr			uint16							
	40495	1	첫번째 곡선(index=1)-역티브 곡선 읽기전용 제어	9	0	NCrvSet			uint16							
	40496	1	두번째 곡선(index=2)-역티브 곡선 읽기전용 제어	10	0	NCrvSet			uint16							
	40497	1	세번째 곡선(index=3)-역티브 곡선 읽기전용 제어	11	0	NCrvSet			uint16							
	40498	1	네번째 곡선(index=4)-역티브 곡선 읽기전용 제어	12	1	NCrvSet			uint16							
	40499	1	다섯번째 곡선(index=5)-역티브 곡선 읽기전용 제어	13	1	NCrvSet			uint16							
	40500	1	여섯번째 곡선(index=6)-역티브 곡선 읽기전용 제어	14	0	NCrvSet			uint16							
	40501	1	일곱번째 곡선(index=7)-역티브 곡선 읽기전용 제어	15	1	NCrvSet			uint16							
	40502	1	여덟번째 곡선(index=8)-역티브 곡선 읽기전용 제어	16	0	NCrvSet			uint16							
	40503	1	아홉번째 곡선(index=9)-역티브 곡선 읽기전용 제어	17	0	NCrvSet			uint16							
	40504	1	열번째 곡선(index=10)-역티브 곡선 읽기전용 제어	18	1	NCrvSet			uint16							
	40505	1	열한번째 곡선(index=11)-역티브 곡선 읽기전용 제어	19	0	NCrvSet			uint16							
	40506	1	열두번째 곡선(index=12)-역티브 곡선 읽기전용 제어	20	0	NCrvSet			uint16							
	40507	1	열셋번째 곡선(index=13)-역티브 곡선 읽기전용 제어	21	1	NCrvSet			uint16							
	40508	1	열넷번째 곡선(index=14)-역티브 곡선 읽기전용 제어	22	0	NCrvSet			uint16							
	40509	1	열다섯번째 곡선(index=15)-역티브 곡선 읽기전용 제어	23	0	NCrvSet			uint16							
	40510	1	열여섯번째 곡선(index=16)-역티브 곡선 읽기전용 제어	24	1	NCrvSet			uint16							
	40511	1	열일곱번째 곡선(index=17)-역티브 곡선 읽기전용 제어	25	0	NCrvSet			uint16							
	40512	1	열여덟번째 곡선(index=18)-역티브 곡선 읽기전용 제어	26	0	NCrvSet			uint16							
	40513	1	열아홉번째 곡선(index=19)-역티브 곡선 읽기전용 제어	27	1	NCrvSet			uint16							
	40514	1	스무번째 곡선(index=20)-역티브 곡선 읽기전용 제어	28	0	NCrvSet			uint16							
	40515	1	스물하나번째 곡선(index=21)-역티브 곡선 읽기전용 제어	29	0	NCrvSet			uint16							
	40516	1	스물둘번째 곡선(index=22)-역티브 곡선 읽기전용 제어	30	0	NCrvSet			uint16							
	40517	1	스물셋번째 곡선(index=23)-역티브 곡선 읽기전용 제어	31	1	NCrvSet			uint16							
	40518	1	스물넷번째 곡선(index=24)-역티브 곡선 읽기전용 제어	32	1	NCrvSet			uint16							
	40519	1	스물다섯번째 곡선(index=25)-역티브 곡선 읽기전용 제어	33	0	NCrvSet			uint16							
	40520	1	스물여섯번째 곡선(index=26)-역티브 곡선 읽기전용 제어	34	1	NCrvSet			uint16							
	40521	1	스물일곱번째 곡선(index=27)-역티브 곡선 읽기전용 제어	35	0	NCrvSet			uint16							
	40522	1	스물여덟번째 곡선(index=28)-역티브 곡선 읽기전용 제어	36	0	NCrvSet			uint16							
	40523	1	스물아홉번째 곡선(index=29)-역티브 곡선 읽기전용 제어	37	1	NCrvSet			uint16							
	40524	1	스물열번째 곡선(index=30)-역티브 곡선 읽기전용 제어	38	0	NCrvSet			uint16							
	40525	1	스물열하나번째 곡선(index=31)-역티브 곡선 읽기전용 제어	39	0	NCrvSet			uint16							
	40526	1	스물열둘번째 곡선(index=32)-역티브 곡선 읽기전용 제어	40	1	NCrvSet			uint16							
	40527	1	스물열셋번째 곡선(index=33)-역티브 곡선 읽기전용 제어	41	0	NCrvSet			uint16							
	40528	1	스물열넷번째 곡선(index=34)-역티브 곡선 읽기전용 제어	42	0	NCrvSet			uint16							
	40529	1	스물열다섯번째 곡선(index=35)-역티브 곡선 읽기전용 제어	43	1	NCrvSet			uint16							
	40530	1	스물열여섯번째 곡선(index=36)-역티브 곡선 읽기전용 제어	44	0	NCrvSet			uint16							
	40531	1	스물열일곱번째 곡선(index=37)-역티브 곡선 읽기전용 제어	45	0	NCrvSet			uint16							
	40532	1	스물열여덟번째 곡선(index=38)-역티브 곡선 읽기전용 제어	46	1	NCrvSet			uint16							
	40533	1	스물열아홉번째 곡선(index=39)-역티브 곡선 읽기전용 제어	47	0	NCrvSet			uint16							
	40534	1	스물열열번째 곡선(index=40)-역티브 곡선 읽기전용 제어	48	0	NCrvSet			uint16							
	40535	0	전압(절1)	49	0	NCrvSet			uint16							
	40536	150	시간(절1)	50	1	NCrvSet			uint16							
	40537	500	전압(절2)	51	0	NCrvSet			uint16							
	40538	150	시간(절2)	52	0	NCrvSet			uint16							
	40539	150	전압(절3)	53	1	NCrvSet			uint16							
	40540	0	전압(절4)	54	0	NCrvSet			uint16							
	40541	0	시간(절4)	55	0	NCrvSet			uint16							
	40542	0	전압(절5)	56	1	NCrvSet			uint16							
	40543	0	시간(절5)	57	0	NCrvSet			uint16							
	40544	0	전압(절6)	58	0	NCrvSet			uint16							
	40545	0	시간(절6)	59	1	NCrvSet			uint16							
	40546	0	전압(절7)	60	0	NCrvSet			uint16							
	40547	0	시간(절7)	61	0	NCrvSet			uint16							



## ■ 시험 설비의 구성

- 직류 모의 전원 : PV 패널을 모의
- 교류 모의 전원 : 계통 전원을 모의
- 모의 부하 : 단독운전 기능시험을 위한 부하를 모의
- 파형기록, 분석 장치 : 시험 내용(데이터)을 기록

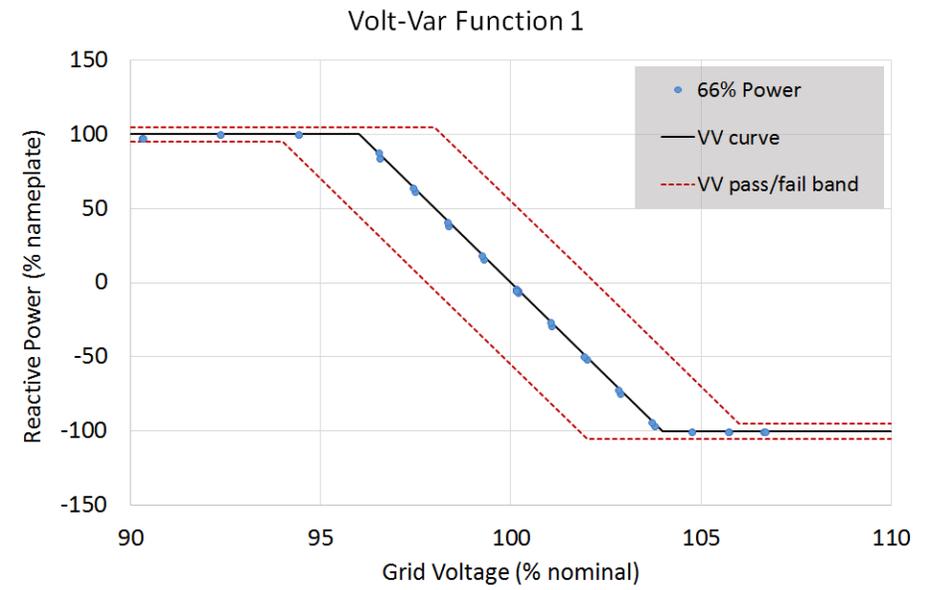
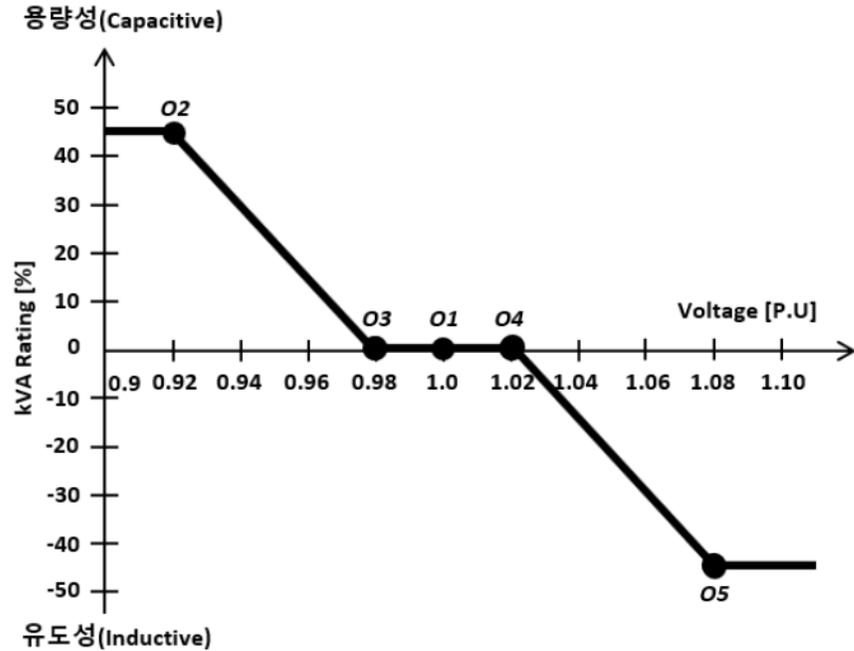
- 특징
  - SunSpec SVP를 이용한 시험 자동화
  - 시험 절차 자동화를 위한 시험 스크립트 공동 개발 및 공유
  - 해외 상용제품 및 국산 인버터 시제품 대상으로 시험 수행과 결과 비교
  - 다자간 국제공동 연구의 결과물로 SG시험 선도 그룹과 동등 수준



<스마트 인버터 상호운용성 시험 시스템>



스마트 인버터 상호운용성 테스트 베드

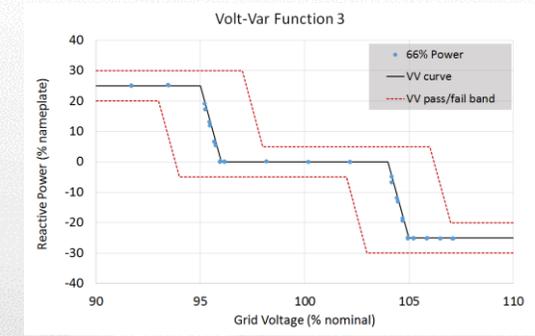
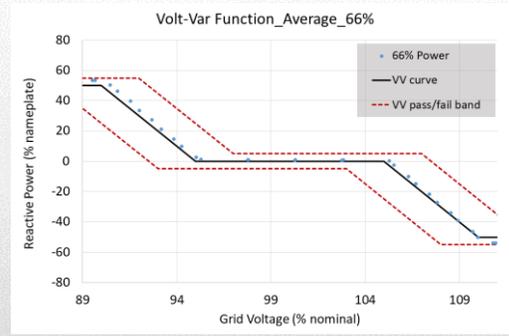


〈전압-무효전력 (SA13-V/V) : 극심〉

표 2 - 전압-무효전력 성능 곡선 기본값

무전점	전압 목표점	전압값(P.U)	무효전력 목표점	무효전력 동작값	동작
O1	Vref	1.0	Q1	0	단위 역률 (1.0 PF)
O2	V2	0.92	Q2	+44 %	무효전력 공급
O3	V3	0.98	Q3	0	단위 역률 (1.0 PF)
O4	V4	1.02	Q4	0	단위 역률 (1.0 PF)
O5	V5	1.08	Q5	-44 %	무효전력 흡수

〈전압-무효전력 제어 기능 곡선〉

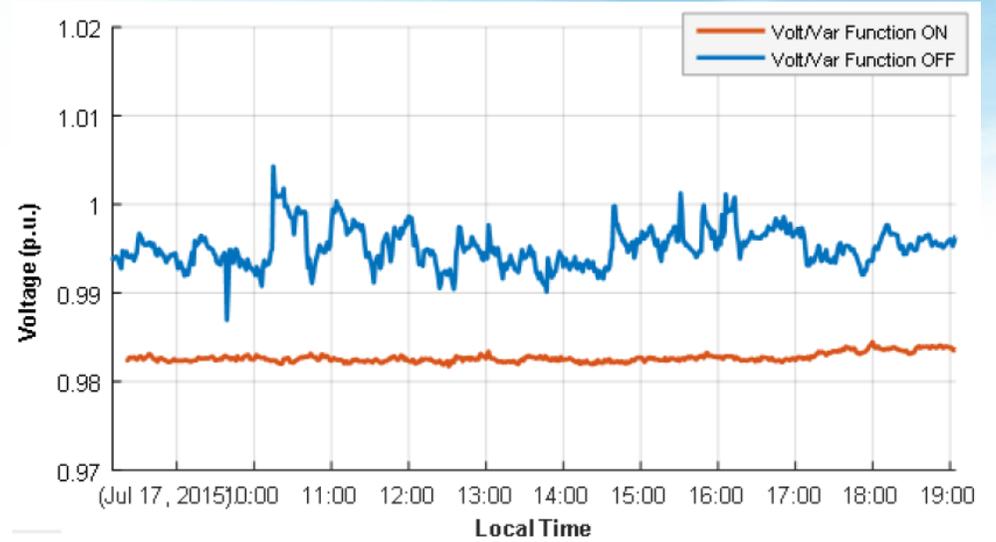


〈 전압-무효전력 (SA13-V/V) : 중간〉

〈 전압-무효전력 (SA13-V/V) : 최약〉



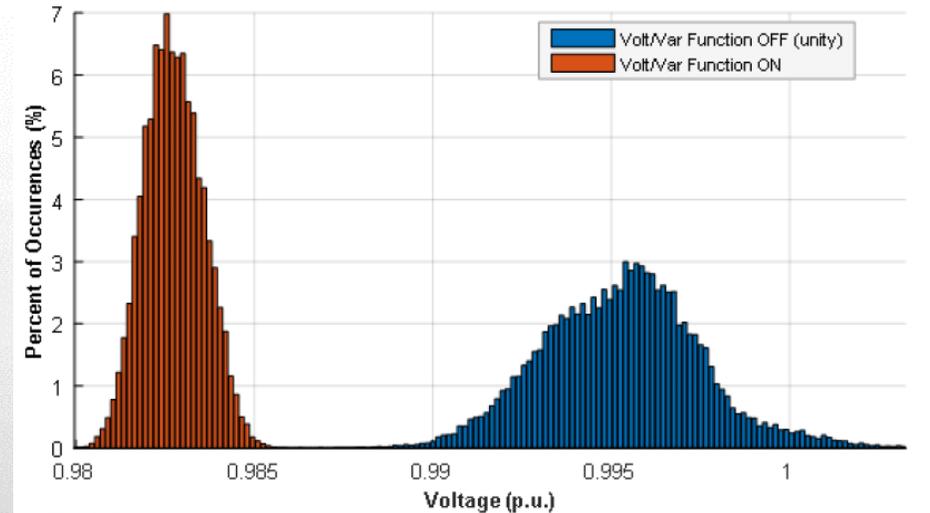
<1MW PV 연계 사이트>



<시간별 전압 트렌드>

## ❖ 시험 내용 및 결과

- 전압-무효전력 제어 효과를 확인하기 위한 1MW PV 발전소의 PCC 전압 측정
- PV 출력, 부하 변동, 주변 온도 등이 유사한 2일간의 특성 비교 (기능 ON/OFF)
- 기능 OFF에 비해서 전압 변동폭 감소



<전압 히스토그램>

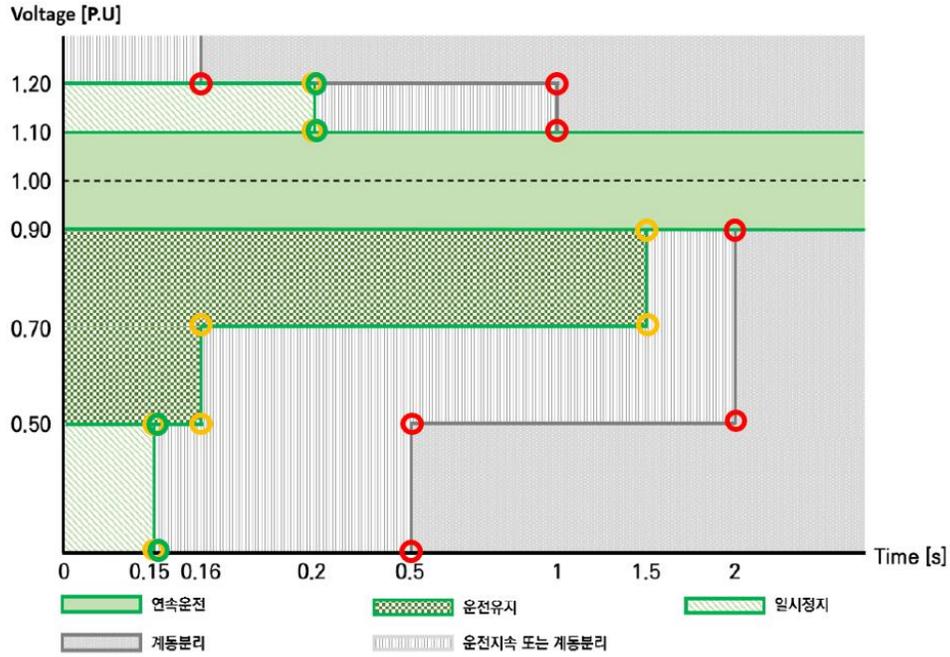
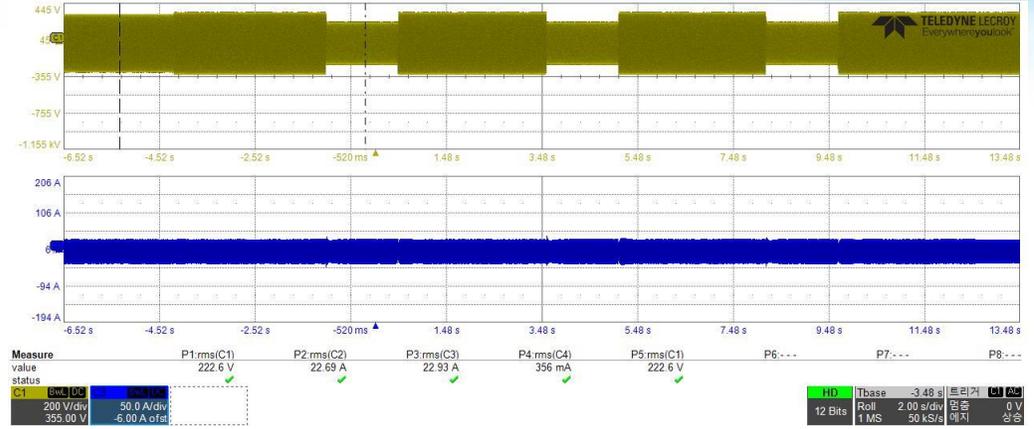


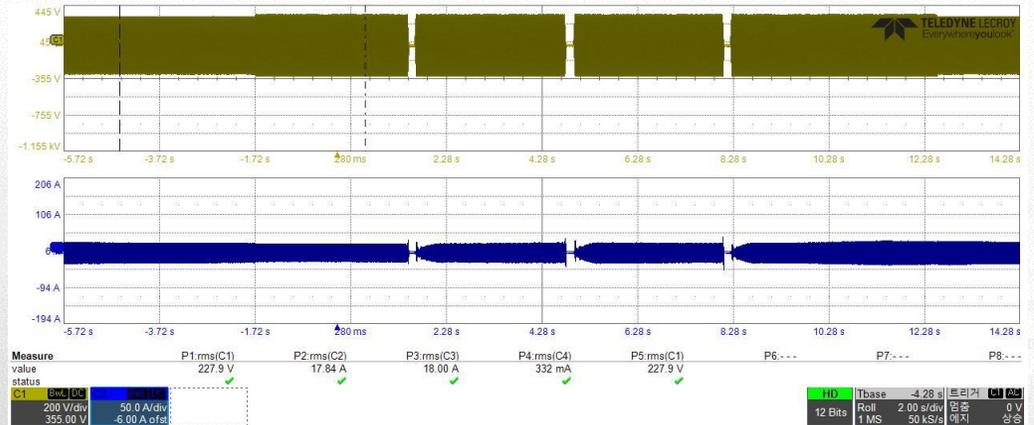
표 4 - 전압 라이드 스루 기능 설정 예

구분	전압 범위(P.U)	운전지속시간(초)	운전 상태	계동분리시간(초)
과전압 2단계	$V \geq 1.20$	-	-	0.16
과전압 1단계	$1.10 < V < 1.20$	0.20	일시정지	1.00
정상전압	$0.90 \leq V \leq 1.10$		연속운전 <sup>1)</sup>	
저전압 1단계	$0.70 \leq V < 0.90$	1.50	운전유지 <sup>2)</sup>	2.00
저전압 2단계	$0.50 \leq V < 0.70$	0.16	운전유지	2.00
저전압 3단계	$V < 0.50$	0.15	일시정지 <sup>3)</sup>	0.50

<저/고전압 라이드 스루 기능 곡선>



<전압 라이드스루 (저전압 1단계) 시험 결과>



<전압 라이드스루 (저전압 3단계) 시험 결과>

## ❖ 연계 규정의 실시 지연

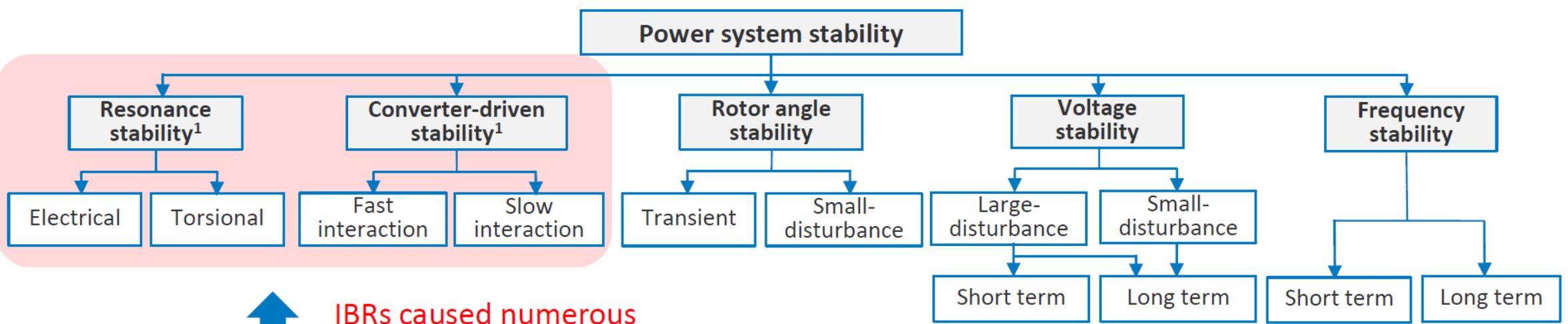
- 규정의 상세 정의와 준수여부를 판단하는 세부 지침/표준 필요
- 표준 공표 후 현장에 적용 되기까지 시간 소요
- 단체 표준 내용이 국가표준에 반영되어야 실질적인 규정로 발전

## ❖ 태양광 발전용 인버터 KSGA 단체 표준 현황

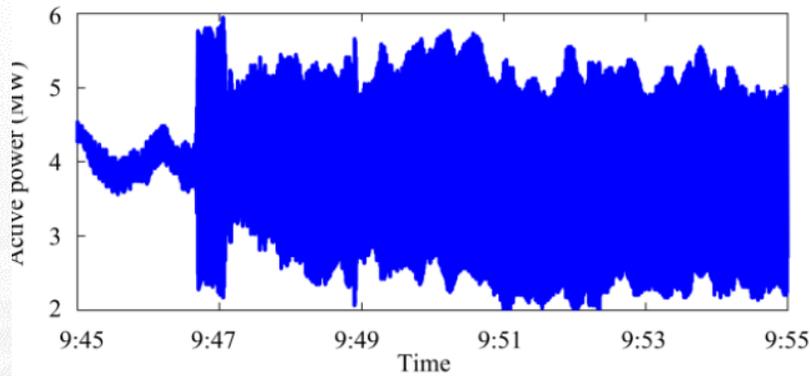
- 표준번호 : KSGA-025-15-1, -2(배전/송전 연계 표준), KSGA-025-9-3(통신), KSGA-025-9-4(정보)
- 제·개정 현황
  - 2021.5 제정 (KSGA-025-9-3) : 신재생 감시제어 단말장치 연계 및 감시제어 기능(일부)
  - 2021.11 제정 (KSGA-025-15-1, -2) : 한전의 송배전 설비 연계기준 반영
  - 2022.9 개정 (KSGA-025-15-1, -2 Ed2) : 해석 및 판단 모호성 보완
  - 2022.9 제정 (KSGA-025-9-4) : 스마트 인버터 통신 정보 모델 (전 모델)
  - 2023.9 제정 (SPS-KSGA-025-15-1) : SPS 단체표준 인증

## ❖ 태양광 발전용 인버터 국가 표준(KS C 8565) 제·개정 현황

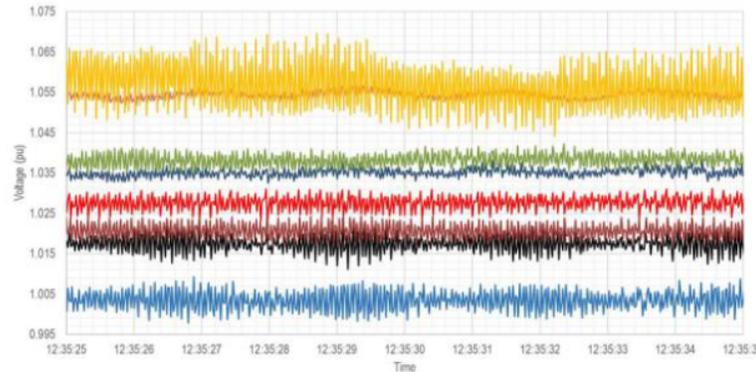
- 표준번호 : KS C 8565      표준명 : 태양광 발전용 인버터(계통연계형, 독립형)
- 주요 제·개정 이력 및 사유
  - 2016.7 제정 : 신재생에너지 설비심사세부기준의 KS화에 따른 제정
  - 2021.9 개정 : 분산형 전원 배전계통 연계 기술 기준 개정을 반영 (전압/주파수 운전지속시간, 분리시간)
  - 2023.8 개정 : 용량 범위 확대(기준:10~250kW → 변경:~1000kW), 시험 항목 및 방법 세분화
  - 2024.X 개정(예정) : 계통지원기능 추가 (전압/주파수 라이드스루, 출력제한, 전압-무효전력 제어 등 총 6기능)



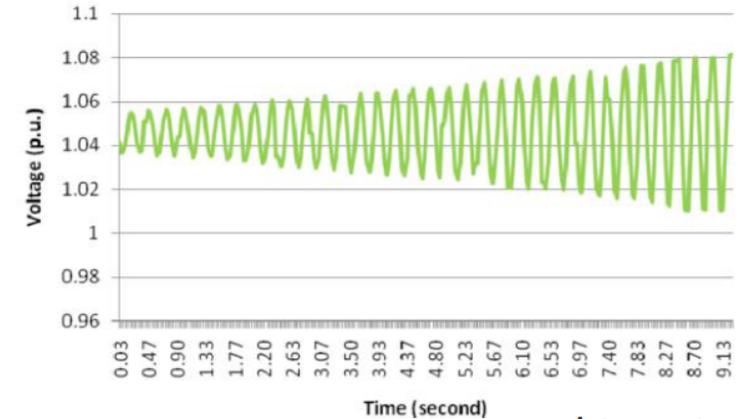
↕ IBRs caused numerous oscillation events in the field



Hami 27-33 Hz oscillations<sup>2</sup> (2015)



AEMO 19 Hz oscillations<sup>3</sup> (2020)



ERCOT 4 Hz oscillations<sup>4</sup> (2011)

## ❖ 내용 요약

- 재생 에너지 현황과 문제 사례 및 요약
- 국외(유럽, 미국) 및 국내 재생 에너지 계통연계 규정 및 표준
- 분산전원용 스마트 인버터의 계통지원의 시험
- 재생에너지 현안 문제 및 향후 예상 문제

## ❖ 결론 및 제안

- **재생e 분산전원의 안정성 제고**
  - 재생e IBR은 충분한 안정성 보유, 적절한 **설정과 관리**가 필요
    - **제대로된 규정/표준** 그리고 **시험**을 통한 성능확인이 전제 (보완 필요)
  - 시설 설비(인버터)의 **성능개선 확대** (불확실성 감소)
  - **재생e 통합관제의 조속한 실현** (관측성 제고)
- **유연성 자원 확충** (ESS, VPP, FastDR 등 - 안정성 제고, 수급 불균형 개선)
- **시장 제도 개선**
  - **잡음 없고 자율적인 출력제한**
  - **유연성 자원의 자발적 확충**
- **확고한 의지와 신속한 결단**

Distributed Power System Research Center

Thank you

The logo features the word "KERI" in a bold, cyan, sans-serif font. A yellow and blue swoosh underline is positioned beneath the letter "E". The text is centered within a large, glowing blue sphere that has a textured, crystalline appearance. The background is a dark blue gradient with scattered light blue particles and horizontal light streaks.

**KERI**