

250kW급 그리드포밍 인버터 시험 설비의 구축 및 성능 평가

신은석*, 이윤석*, 장한솔**, 김종은**, 이은수***
 제타일렉*, 한국화학융합시험연구원**, 한양대학교 ERICA***

Development and Performance Evaluation of a 250kW Grid-Forming Inverter Test Bed

Eun-suk Shin*, Yoon-seok Lee*, Han-sol Jang**, Jong-Eun Kim**, Eun-soo Lee***
 Zeta Elec.*, Korea Testing & Research Institute**, Hanyang Univ. ERICA***

ABSTRACT

본 논문은 250kW급 그리드포밍 인버터 시험 설비의 구축 및 성능 평가에 대해 다룬다. 그리드포밍 인버터는 특히 재생 가능 에너지의 통합이 증가함에 따라 전력망의 안정성을 유지하는 데 필수적인 요소이다. 시험설비는 다양한 운전 조건에서 신뢰성과 효율성을 보장하도록 설계되었다.

성능 평가는 전압 및 주파수 안정성, 전력 품질, 효율성 등의 포괄적인 기준을 바탕으로 이루어졌다. 인버터의 전압 형성, 관성 응답, 고장 전류 공급, 전력 진동 감쇠 등의 주요 기능을 한국화학융합연구원과 자체시험 설비를 구축하여 시험하였다.

본 연구는 KSGA-025-18-1:2023 표준에 명시된 일반 요구사항을 준수하는 인버터의 성능을 강조하며, 대규모 전력 시스템에서 그리드포밍 인버터의 폭넓은 채택에 기여한다.

한 모의가 가능도록 AC전압제어를 수행하여 관성 계통을 모의한다.

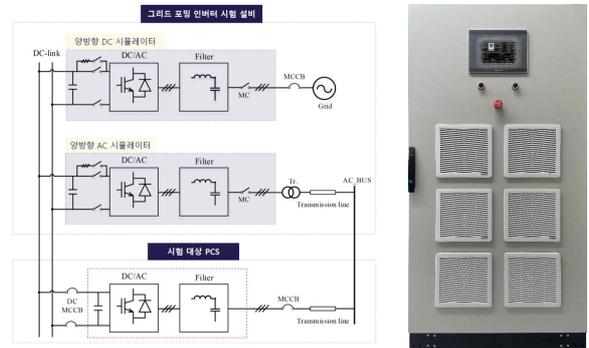


그림 1 그리드포밍 인버터 시험 설비 구성
 Fig. 1 Grid Forming Inverter Test Setup Configuration

1. 서론

그리드포밍 인버터는 자체적인 전압과 주파수 제어 기능을 통해 전력망의 안정성을 보장하며, 고장 전류 공급, 관성 응답, 전력 진동 감쇠 등의 다양한 기능을 수행할 수 있다. 따라서 그리드포밍 인버터의 성능 평가와 실증 연구는 전력망의 신뢰성 확보와 재생 에너지의 효율적인 통합을 위해 매우 중요하다. 본 논문에서는 250kW급 그리드포밍 인버터 시험 설비의 구축 과정과 그 성능을 평가하는 연구를 수행하였다. 이를 통해 대규모 인버터 시스템의 실제 응용 가능성을 탐구하고, 그리드포밍 인버터가 전력망 안정성에 미치는 영향을 분석하고자 한다.^[1] 시험 설비는 다양한 운전 조건에서 신뢰성과 효율성을 보장하도록 설계되었다. 논문의 주요 목표는 250kW급 그리드포밍 인버터 시험 설비를 이용하여 인버터의 주요 성능 지표를 평가한다. 본 연구는 KSGA-025-18-1:2023 표준^[2]에 명시된 일반 요구사항을 준수하는 GFM인버터 및 시험설비의 성능을 입증하고, 그리드포밍 인버터의 폭넓은 채택을 통해 더 견고하고 지속 가능한 에너지 인프라 구축에 기여하고자 한다.

2. 그리드포밍 인버터 기능 시험

2.1. 시험 구성

그리드포밍 인버터 시험 설비는 DC/AC 인버터 총 2대를 사용하여 그림 1과 같이 구성하였다. 양방향 DC 시뮬레이터는 계통으로부터 전력을 공급받아 DC Link를 제어한다. DC입력을 통해 양방향 AC 시뮬레이터는 VSG모드로 동작하여 다양

2.2. 전압 형성 시험

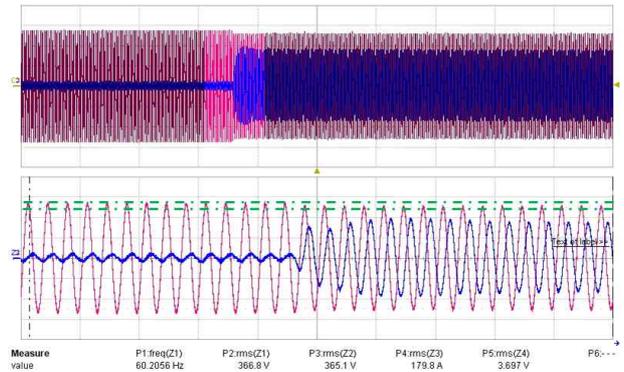


그림 2 전압 형성 시험 파형
 Fig. 2 Voltage Forming Test Waveform

전압 형성 시험에서는 그리드포밍 인버터가 다양한 부하 조건에서도 계통 전압을 허용 범위 내로 유지하는 능력을 평가한다. 인버터는 순간적인 전압 강하가 발생하더라도 전압 형성 기능을 지속하며, 유효 및 무효 전력 제어를 안정적으로 수행해야 한다. 그림 2는 전압 형성 시험 결과를 나타내며, 인버터가 전압 강하 시에도 1/4 사이클 내에 무효 전력을 공급하는 능력을 보여준다.

2.3. 관성 응답 기능 시험

관성 응답 기능 시험에서는 계통 외란 발생 후 그리드포밍 인버터가 얼마나 빠르게 전력을 공급할 수 있는지를 평가한다.

GC0137과 GPST 등의 규격은 대부분 5ms 이내의 유효 관성을 요구하며, 이는 전력망의 주파수 안정성에 매우 중요한 역할을 한다. 그림 3은 관성 응답 기능 시험의 결과 파형을 나타내며, 인버터가 설비의 관성이 관여했을 때와 그렇지 않을 때의 차이를 보여준다

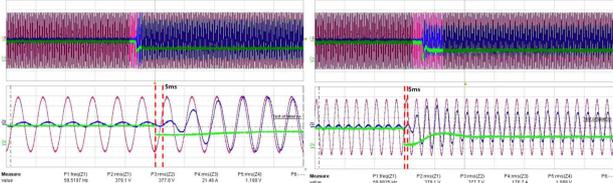


그림 3 관성 응답 기능 시험
Fig. 3 Inertia Response Function Test

2.4. 고장 전류 공급 기능 시험

고장 전류 공급 기능 시험에서는 그리드포밍 인버터가 계통 사고 발생 시 정격 출력 이상의 고장 전류를 공급할 수 있는 능력을 평가한다. 고장 발생 후 5ms 이내에 반응을 시작하여 30ms 이내에 고장 전류를 공급하고, 최대 140ms 동안 이를 유지해야 한다. 이는 계통의 신뢰성 유지에 필수적인 기능으로, 인버터의 고장 대응 능력을 검증한다

2.5. 전력 진동 감쇠 기능 시험

전력 진동 감쇠 기능 시험은 그리드포밍 인버터가 전력망에서 발생하는 전력 진동을 얼마나 효과적으로 감쇠시킬 수 있는지를 평가한다.

2.6. 강건도가 낮은 계통에서의 운전

강건도가 낮은 계통에서 그리드포밍 인버터가 전력 계통의 변동성이 크고 불안정한 환경에서도 안정적으로 운영될 수 있는 능력을 평가한다. 인버터는 SCR이 낮은 조건에서도 전압과 주파수를 제어하여 계통 안정화를 도모해야 한다

2.7. 블랙 스타트 기능 시험

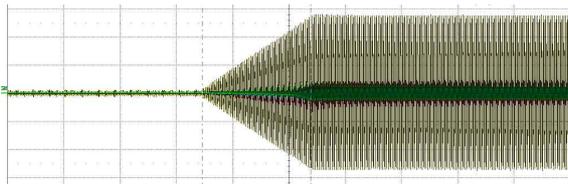


그림4 블랙스타트 기능 시험
Fig. 4 Black Start Function Test

블랙 스타트 기능 시험은 전력 계통이 완전히 중단된 후에 그리드포밍 인버터가 독립적으로 계통을 재가동할 수 있는 능력을 평가하는 시험이다. 그림 4는 블랙 스타트 기능 시험의 결과 파형을 나타내며, 인버터가 전력 공급이 완전히 중단된 상태에서도 자체적으로 전력을 생성하고 안정화시키는 과정을 보여준다. 이는 재난 상황에서 전력 복구 능력을 검증하는 중요한 시험이다.

2.8. 의도적 단독운전 기능 시험

의도적 단독운전 기능 시험은 그리드포밍 인버터가 계통에서 독립적으로 운영될 수 있는 능력을 평가한다. 이 시험은 인버터가 계통과 분리된 후에도 안정적으로 전력을 공급할 수 있는지 확인하기 위해 수행된다. 그림 5는 의도적 단독운전 시험의 결과 파형을 보여준다. 이 그림은 인버터가 계통으로부터 독립적으로 운영되는 동안 전압과 주파수를 안정적으로 유지하는 모습을 보여준다

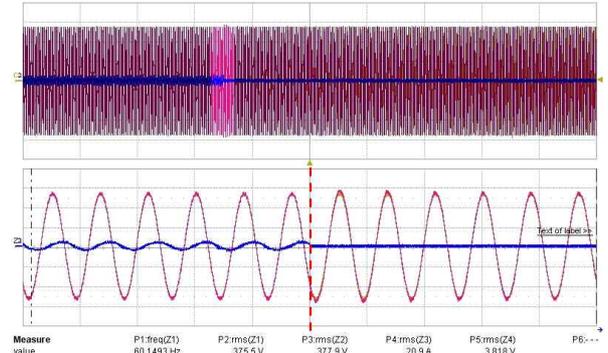


그림5 의도적 단독 운전 시험
Fig. 5 Intentional Islanding Operation Test

2.9. 병렬 운전 기능 시험

병렬 운전 기능 시험은 여러 그리드포밍 인버터가 함께 연동하여 운영될 때의 성능과 안정성을 확인한다. 이 시험은 인버터들이 동일한 계통에 연결되어 동기화되며, 공통 부하에 전력을 안정적으로 공급할 수 있는지를 평가한다. 그림 6은 병렬 운전 기능 시험 파형을 나타내며, 두 대의 그리드포밍 인버터가 병렬로 공통 부하에 동일한 전력을 공급하는 모습을 보여준다

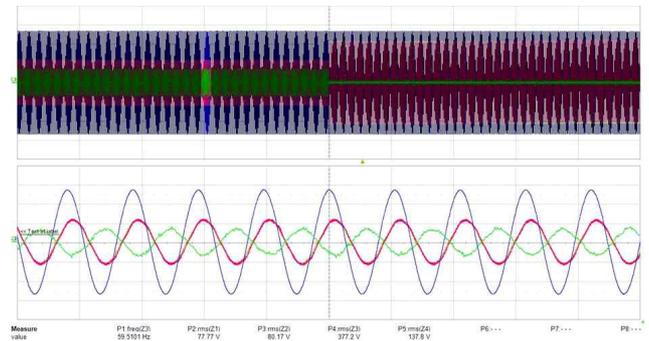


그림6 병렬 운전 기능 시험
Fig.6 Parallel Operation Function Test

3. 결론

본 연구에서는 250kW급 그리드포밍 인버터 시험 설비를 구축하고 그 성능을 평가하였다. 다양한 운전 조건에서의 시험 결과, 그리드포밍 인버터는 여러 주요 기능을 성공적으로 수행함을 검증하였다. 특히, 시험 설비는 KSGA-025-18-1:2023 표준의 요구 사항을 충족하며, 다양한 평가 기준에서 우수한 성능을 보였다. 본 연구는 그리드포밍 인버터의 성능을 입증하여 더욱 견고하고 안정적인 전력망 구축에 기여할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] nationalgrid ESO, "GC0137:Minimum Specification Required for Provision of GB Grid Forming (GBGF) Capability", 2021
- [2] 그리드 포밍 인버터 - 제1부 : 일반 요구사항, KSGA-025-18-1: 2023.