

분산 전원 계통연계규정 UL1741 SB에 대한 요구사항 분석

정채영, 홍진욱, 박기우, 강호현, 김희중
LS일렉트릭

Analysis of Requirements for Distributed Energy Resources Interconnection Standard UL1741 SB

Chae-Young Jeong, Jin-Wook Hong, Ki-Woo Park, Ho-Hyeon Kang, Hee-Jung Kim
LS ELECTRIC Co., Ltd

ABSTRACT

분산 전원의 발전 비중이 증가함에 따라 계통 안정도 유지 및 인적 피해 방지에 대한 보증이 분산 전원에게 필수적으로 요구되고 있다. 이러한 요구에 대응하여, 기업들은 자사의 제품에 대한 인증을 취득함으로써 계통과의 상호 접속 및 상호운용성 보장 여부를 제시하고 있다. 본 논문에서는 IEEE 1547.1-2020의 검증을 위한 인증 규격인 UL 1741 Supplement B(이하 SB)를 소개하고, 인증의 상세한 목적 및 요구사항을 분석한다. 분석된 내용을 기반으로 Hardware-in-the-Loop(HIL) 시뮬레이션을 통하여 자사의 제품이 인증 요구 사항에 부합하는지 확인하는 것을 목적으로 한다.

1. 서론

인증(Certification)이란 기업에서 판매하는 제품이 안전 및 소비자가 요구하는 성능에 관한 규격(Standard)를 만족시킬 수 있는지 판단하는 절차를 의미하며, 계통연계형 인버터를 대상으로 하는 대표적인 규격으로는 IEC 62109-1,2, IEC 62477-1, IEEE Std 1547, IEEE Std 2800, UL1741 등이 존재한다. 각 규격은 전기제품의 안전성과 계통연계 규정(Grid Code)을 만족시키는 방향으로 개발이 되었기에 규격마다 서로 유사한 요구사항도 있으나, 안전 요구 범위, 필요로 하는 계통지원 기능, 시험 조건 등의 차이점 또한 존재한다. 본 논문에서는 북미 지역 필수 규격인 UL 1741의 Supplement 중 하나인 UL1741 Supplement B(이하 SB)에 대한 분석과 HIL 시뮬레이션을 통하여 자사의 제품이 해당 인증의 요구사항을 만족시킬 수 있음을 검증한다.

2. 본론

2.1 UL1741 SB

UL 1741 SB는 분산 전원 시스템에 적용되는 인버터에 대한 규격이며, IEEE 1547-2018 및 IEEE 1547.1-2020을 기반으로 하는 Supplement으로써 2021년에 업데이트되었다^[1]. 해당 규격을 통하여 적합성을 체크 할 수 있는 기능들은 다음 표 1과 같다.

2.2 UL1741 SA와의 차이점

UL 1741 Supplement A(이하 SA)는 IEEE 1547-2003가 미처 포함하지 못한 계통 지원 기능에 대한 평가 방법을 제시하

표 1 UL1741 SB 인증 시험 항목

Section	Test	Section	Test
4.3.5.3	Temperature Stability	4.3.5.14.3	Constant PF Test
4.3.5.4.2	Overvoltage Trip	4.3.5.14.4	Volt-VAR Test
4.3.5.4.3	Undervoltage Trip	4.3.5.14.5	Volt-VAR with Autonomously Adjusting Test
4.3.5.4.4	LVRT Test	4.3.5.14.6	Volt-VAR with an Imbalanced Grid Test
4.3.5.4.7	HVRT Test	4.3.5.14.7	Watt-VAR Test
4.3.5.5.1	Overfrequency Trip Test	4.3.5.14.8	Constant Reactive Power Test
4.3.5.5.2	Underfrequency Trip Test	4.3.5.14.9	Volt-Watt Test
4.3.5.5.3	LFRT Test	4.3.5.15.2	Frequ-Watt -Above Nominal Frequency Test
4.3.5.5.4	HFRT Test	4.3.5.15.3	Freq-Watt -Below Nominal Frequency Test
4.3.5.5.6	Voltage Phase-Angle Change RT Test	4.3.16	Prioritization Test
4.3.5.8	Interconnection Integrity Tests	4.3.17	Limitation of Overvoltage Contribution Test
4.3.5.10	Unintentional Islanding Test	4.3.6	Interoperability Tests

기 위하여 2016년에 업데이트되었다. UL 1741 SA와 SB의 기반 규격이 다르기 때문에 표 1의 항목 중 4.3.5.3 및 4.3.5.4.2 등과 같이 SA에서는 다루지 않는 시험들이 존재할 수 있다. 또한 4.3.5.4.4, 4.3.5.4.7과 같이 SA와 SB에 공통으로 존재하는 기능 시험이라 할 지도 시험 방식 및 조건이 다를 수 있음을 인지해야 한다.

2.3 HIL 시뮬레이션

2.3.1 LVRT 시험 절차

LVRT(Low-Voltage Ride-Through)란 계통 전압이 순간적으로 하락되었을 때 인버터가 정지되지 않고 일정한 출력을 유지하여 계통 고장 과급을 방지함으로써 계통 안정도 확보에 기여할 수 있는 기능 중 하나이다. 해당 기능에 대한 시험 절차는 IEEE 1547.1-2020 Section 5.4.4 (UL 1741 SB 4.3.5.4.4)에 명시되어 있다.

시험은 인버터의 출력 전력에 따라, 90% 이상의 높은 출력과 25%~50% 사이의 낮은 전력을 출력할 때를 구분하여 시험

을 진행한다. 또한 3상 인버터의 경우, 각 1상, 2상, 3상 전압에 변동이 있을 때를 모두 모의하여 시험을 진행해야 하며, 적용 가능한 전압 (IEEE1547-2018, Section 4.3)에 대하여도 개별적으로 시험이 진행되어야 한다. 본 논문에서는 고출력, 3상 전압 변동, 상전압이 입력되는 상황만을 고려하여 진행한다.

LVRT 기능 시험은 아래와 같은 절차 순으로 진행되었으며, 그에 해당하는 시험 전압 파형은 그림 1과 같다.

1. Under voltage trip 파라미터 조정, Volt-Var 모드 설정: IEEE1547-2018 / Enable, Volt-Watt 모드 설정: Enable, Freq-Watt 모드 설정: Default

2-①. 계통 전압 95%로 1[s]간 유지, 인버터 출력: Continuous Operation (기존 제어모드로 연속하여 동작)

2-②. 계통 전압 2.5%로 1[s]간 유지, 인버터 출력: Momentary Cessation (일시적인 전력 공급 중단, Trip x)

2-③. 계통 전압 50%로 9[s]간 유지, 인버터 출력: Mandatory Operation (외란 이전 전류 80% 이상 출력)

2-④. 계통 전압 70%로 10[s]간 유지, 인버터 출력: Mandatory Operation (외란 이전 전류 80% 이상 출력)

2-⑤. 계통 전압 100%로 복귀

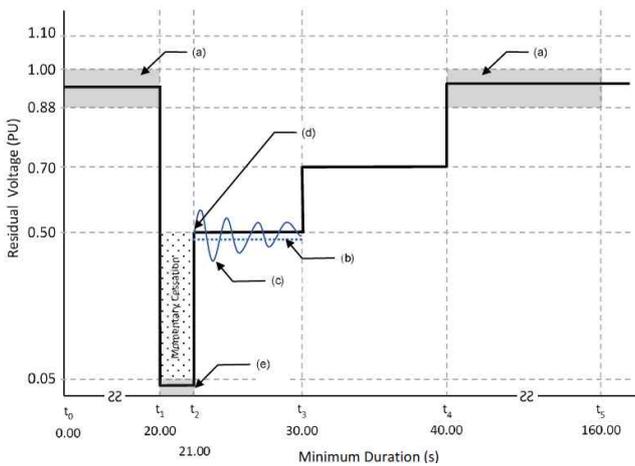


그림 1 LVRT 시험 전압 파형^[2]

2.3.2 LVRT 시험 결과

본 절에서는 2.3.1 LVRT 시험 절차에서 분석된 UL 1741 SB의 시험절차에 따른 HIL 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션 모델의 주요 파라미터는 아래 표 2와 같다.

표 2 시뮬레이션 모델 주요 파라미터

정격 전력[kW]	220	카테고리	3
출력 전력[%]	100.0	정격 주파수[Hz]	60
AC 정격 전압[V] (선간, RMS)	690	DC 정격 전압[V]	1500

LVRT 기능시험에 요구되는 모든 파라미터 및 지령은 그림 2와 같이 IEEE1547.1-2020 Section 6. Interoperability tests에서 요구하는 Sunspec Modbus Protocol을 사용하여 통신을 통해 인버터로 입력되었다.

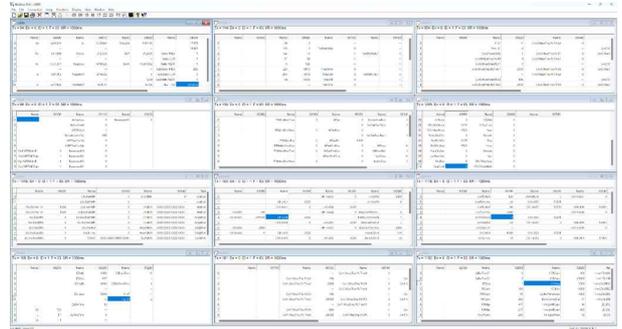


그림 2 Sunspec Modbus Protocol을 통한 제어 설정

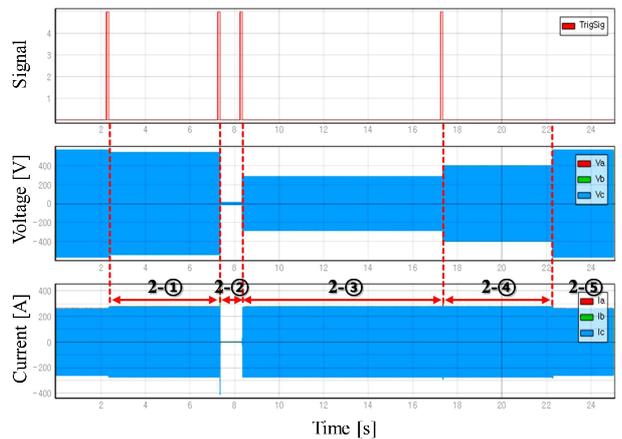


그림 3 계통 저전압 발생 시 인버터 출력 파형

그림 3은 HIL 시뮬레이션을 통한 LVRT 기능 시험 결과이다. 상단서부터 시험 전압 변동 신호, 3상 계통 전압(AC 시뮬레이터 전압), 인버터 출력 전류 파형이다. 3상 계통 전압은 그림 1의 시험 전압 파형과 동일하게 변동하였으며, 그때의 인버터 출력은 인증에서 요구한 바와 같이 2-① 동안에는 기존 제어모드로 연속 동작, 2-② 동안에는 일시적인 전력 공급 중단 및 2-③, 2-④ 동안에는 외란 발생 이전인 2-①의 전류와 동일한 크기의 전류가 출력됨을 확인할 수 있다. HIL 시뮬레이션 결과를 통하여 자사의 제품이 인증 요구사항에 부합함을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 북미 전력 계통 필수 규격인 UL 1741 SB에 대하여 소개하였으며, HIL 시뮬레이션을 통하여 자사 제품의 LVRT 기능이 UL 1741 SB 기준에 부합됨을 확인하였다.

참고 문헌

[1] UL 1741, Standard for Safety, "Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use With Distributed Energy Resources."
 [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE 1547.1-2020 Standard Conformance Test Interconnecting Distributed Energy," 2020.