



병렬 연결된 계통연계형 연료전지 전력변환장치의 단독운전방지 평가 연구

최영주 · [†]오건우 · 김민우 · 이승국 · 박가우*

한국가스안전공사 가스안전연구원, *(주)지필로스

(2018년 09월 18일 접수, 2018년 10월 25일 수정, 2018년 10월 26일 채택)

A Study on Anti-Islanding Evaluation of Grid-Connected Power Conditioning System for Fuel Cell System in Parallel Operation

Young-Joo Choi · [†]Gun-Woo Oh · Min-Woo Kim · Seung-Kuk Lee · Ga-Woo Park*

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

*G-Philos Co. Ltd.**

(Received September 18, 2018; Revised October 25, 2018; Accepted October 26, 2018)

요약

파리협정의 체결로 신·재생에너지 보급이 활발해지고 있다. 국내의 경우 공공건물 중심으로 신·재생에너지 보급 정책이 진행되고 있으며, 건물 내에 설치가 비교적 수월한 연료전지 시스템의 보급이 확대될 전망이다. 따라서 계통연계형 연료전지 전력변환장치의 단독운전방지 평가 연구가 중요하다.

본 연구에서는 연료전지 전력변환장치의 국내 인증기준 KGS AB934 PC53이 해외 규격과 부합하는지 검토해보고 계통연계 시 중요한 안전성인 단독운전방지 평가에 대해 분석하였다. 또한, 병렬로 연결된 두 대의 전력변환장치의 단독운전방지 평가를 위한 시제품을 제작하고 실증 평가를 통해 여러 대의 연료전지 시스템이 설치되고 있는 상황에 맞는 안전성 확보 방안을 연구하였다.

Abstract - The supply of renewable energy has become more vigorous due to Paris Agreement. In Korea, supply policies of renewable energy is being promoted with priority given to public buildings, so, the supply of fuel cell system that are relatively easy to install in buildings is expected to expand, so it is important that study on anti-islanding evaluation of grid-connected power conditioning system(PCS) for fuel cell.

In this study, we consider that KGS AB934 PC53 in domestic certification standard of PCS for fuel cell correspond with abroad standard and analyze anti-islanding evaluation that important safety performance when connected grid. Additionally, we constructed a prototype for anti-islanding evaluation of PCS for fuel cell connected in parallel and carried out the demonstration evaluation, so, we have conducted ways that ensure safety performance in accordance with the circumstances where several fuel cell systems are installed.

Key words : Power Conditioning System, Fuel Cell, Anti-Islanding, Grid-Connected, Renewable Energy

1. 서 론

지구온난화 문제를 야기시킨 무분별한 화석연료 사용을 제한하자는 내용을 담은 교토의정서가 2020년

에 만료됨에 따라 이를 대체하는 파리협정이 채택되었다. 파리협정은 지구 기온의 평균 상승온도를 2 °C 보다 낮은 수준으로의 유지 및 국가별로 온실가스 감축량을 정하여 달성 결과를 보고하여야 한다. 이에 따라 세계적으로 파리기후협약의 이행을 위하여 화석연료의 사용을 줄이고 친환경에너지 개발에 투자를 실시하고 있다.

[†]Corresponding author:ohkw@kgs.or.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

Table 1. Compare between power generation portion of renewable energy by each countries

	Power generation of renewable energy (GWh)	Portion of total generation
Korea	8,783	1.6 %
Canada	409,097	62.8 %
Denmark	15,989	46.0 %
France	96,529	17.0 %
Germany	152,366	24.3 %
Japan	135,332	13.0 %
USA	541,591	12.6 %

우리나라의 경우도 신·재생에너지 3020 이행계획을 세워 2030년까지 신·재생에너지 발전 비중을 20%까지 높이겠다는 정책을 실시 중이며 친환경적인 수소에너지의 활성화와 수소 산업육성을 위하여 입법적 개선 방향 및 규제에 관한 공청회를 개최하는 등 수소 시대에 대비하고 있다.[1]

국내 신·재생에너지 산업은 2016년 기준으로 400여 개의 기업체, 14,000여명의 종사자 수, 내수 약 4조 1천억원, 수출 약 3조 5천억원 등의 시장과 매출액 6,990억원을 형성하고 있다. 점차 확대되는 신·재생에너지 시장현황이지만 세계적 추세 관점에서 보면 **Table 1**과 같이 국내 신·재생에너지 발전 비중은 2015년 기준 1.6%로 북미, 유럽 등 해외 국가의 발전 비중에 비해 턱없이 부족하다.[2-3]

이에 따라 정부에서는 재생에너지 3020 이행계획 뿐만 아니라 건물 발전의 일부분을 신·재생에너지로 발전해야 하는 규정 등을 제정하여 현저히 낮은 신·재생에너지 발전 비중을 높이기 위해 노력 중이다. 하지만 최근 국내 신·재생에너지 산업 중 대부분은 태양광 및 풍력이 가장 높은 비중을 차지하고 있어 수소에너지와 연료전지 시스템 보급이 활성화가 필요해지고 있다. 이와 관련된 정책으로는 공공건물 신·재생에너지 설치 의무화제도, 서울시의 친환경 에너지 의무화 설치 등의 정책들을 시행 중이다. 건물용 신·재생에너지 발전의 경우 태양광과 풍력을 건물 내 설치하기에는 한계가 있으므로 연료전지 시스템의 보급이 점차 확대될 전망이다.

Fig. 1과 같이 도시가스 및 LPG를 이용하는 주백

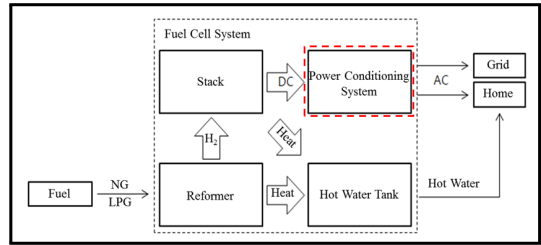


Fig. 1. The status of PCS performance evaluation standards of the world.

및 건물용 연료전지 시스템은 연료를 수소로 개질하는 연료처리장치인 개질기(Reformer), 개질된 수소 혹은 직접수소와 산소가 반응하여 직류전류를 생산하는 연료전지 스택(Stack), 직류를 교류 전력으로 변환시키는 전력변환장치(Power Conditioning System, PCS), 연료전지에서 발생하는 열을 이용하기 위한 온수저장탱크 등으로 구성되어 전기 및 열 에너지를 생산한다.

연료전지 시스템을 포함한 분산전원은 계통연계유무에 따라 계통연계형 시스템과 독립운전 시스템으로 분류할 수 있다. 계통연계형 시스템은 상용 계통과 연계되어 전력을 공급하는 시스템이며, 독립운전 시스템은 도서지역과 같이 상용 전원의 전력이 공급되지 않는 경우 사용하게 된다. 국내에서는 대부분 한국전력(이하 한전)에서 상용 전원의 전력을 공급하기에 독립운전 보다는 계통연계형 시스템에 대한 보급이 활발하다. 국내에서 계통연계형 분산전원 시스템을 사용하기 위해서는 한전의 상용 계통에 연계를 해야 사용할 수 있다.

계통연계형 연료전지 시스템은 태양광과 풍력의 계통연계형 시스템들과 달리 안정적인 전력을 생산하며, 연료전지 스택에서 생산되는 직류 전기를 교류로 변환시켜 계통에 연계되는 전력변환장치의 안전성능 평가가 중요하다.

본 연구에서는 계통연계형 연료전지 시스템 구성요소인 전력변환장치의 안전성능 관련 국내의 규격을 분석하고 연료전지용 전력변환장치 성능인증의 국내 규격 중 한국가스안전공사의 "KGS AB934 PC53 - 연료전지 전력변환장치 성능인증기준"과 해외규격과의 부합화를 판단하였다. 또한 안전성능 평가 항목 중 단독운전방지의 기법과 필요성에 대해 분석하고 병렬로 연결된 연료전지 전력변환장치의 단독운전방지 평가 방법을 설계하여 건물용으로 확대되어가는 연료전지 시스템의 안전성능 확보를 위한 실증평가를 실시하였다.

II. 안전성능평가 항목 해외 부합화 검토

국·내의 전력변환장치 안전성능 관련 인증 현황은 Fig. 2와 같다. 국가 별로 각각 운영 중인 인증을 받아야 해당 국가에 판매 혹은 진열을 할 수 있다. 유럽의 경우 CE 인증을 실시하고 있으며 각 지침별로 해당 성능평가 규격들이 존재하며 대부분 IEC 국제 규격을 부합화한 안전성 평가를 진행하고 있다.

국가별 세부적인 내용을 살펴보면 북미에서 전력 변환장치 제품을 판매하기 위해서는 UL1741 평가기준을 만족하는 UL인증 획득하여야 하며 캐나다의 경우에는 UL인증 뿐 아니라 자체 기준인 CSA C22.2 No.107.1의 기준까지 통과해야 판매 및 진열이 가능하다. 오세아니아에서는 호주와 뉴질랜드에서 제정된 AS/NZS 5033을 통해 모든 인버터 제품에 대한 표준 안전을 규정하고 있다. 중국은 아직 전력변환장치 관련 규정이 없으며 수소연료전지 자동차와 더불어 이에 대한 표준을 제정할 예정이며 대부분의 규격들은 IEC 규격을 따라가는 경향을 보이고 있다. 연료전지 보급이 가장 활발한 일본에서는 일본공업규격에서 전력변환장치 성능평가 기준을 연료전지 형태별로 제정한 안전성 평가를 진행 중이다. 한국은 한국가스안전공사의 “KGS AB934 PC53-연료전지용 전력변환장치 성능인증기준”을 통해 인증을 실시하고 있다.[4-7]

KGS AB934(가스용 연료전지 제조의 시설 기술·검사 기준)와 KGS AB934 PC53(연료전지 전력변환장치 성능인증기준)의 전력변환장치 분야 성능평가는 동일항목을 적용하여 검사와 성능인증을 진행하고 있으며 KGS AB934PC53의 성능인증을 받은 전력변환장치의 경우 KGS AB934의 전력변환장치 성능평가 항목은 제외된다.[7-8]

Fig. 3과 같이 전력변환장치 성능평가항목은 크게 제품, 작동, 절연 성능과 같은 일반성능과, 보호기능

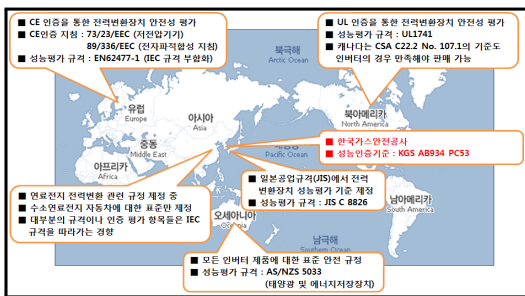


Fig. 2. The status of PCS performance evaluation standards of the world.

성능, 정상특성성능, 과도응답특성 성능, 외부사고 성능, 적자과적합성 등이 있으며 이 평가항목들을 바탕으로 해외 기준의 전력변환장치 안전성능 평가 항목과 부합화되어 있는지 비교분석을 실시하였다. 북미, 일본, 국제규격의 평가 항목 분석 결과 대부분 한국 가스안전공사의 성능인증기준 평가항목에 포함되어 있으며 부합화되어 있으나 차이점으로는 전자과적합성의 경우 공사 인증기준에 포함되어 있는 반면, 기타 해외규격들은 별도로 관리를 하고 인증을 받고 있다.

일본의 소형 PEMFC(Polymer Electrolyte Fuel Cell) 시스템과 관련된 JIS C 8825 및 JIS C 8826이 국내 성능인증기준인 KGS AB934 PC53과 시험항목이 가장 유사한 것으로 확인되었다. 차이점으로 국내는 단독운전방지 평가항목과 관련하여 단독운전을 허용하지 않는 반면에 일본은 자립운전 평가시험 항목을 통하여 계통이 끊어졌을 때도 연료전지가 자립운전을 할 수 있도록 평가항목이 마련되어 있었다.[9-10]

해외 부합화 분석 후 국내인증기준인 KGS AB934 PC53의 평가 항목 중 추가 검토가능한 항목으로는 일본 규격 JIS C 8826의 독립운전기능시험, 환경 적합성, 외부 환경 내력 시험 등이 검토 가능하며, 미국 규격 UL 1741의 경우 대부분 기계적 성능인 정하중, 압축 시험, 살수시험 등의 성능 추가 검토가 필요할 것으로 보인다. 또한 다른 규격들과 마찬가지로 국제 규격인 IEC 62477-1과 비교 시 충격시험, 지지력 시험 등과 같은 기계적 성능평가, 진동 및 건/습열 시험 등과 같은 환경 적합성 관련 시험 평가가 추가 검토 가능한 평가 항목이라 판단된다.[9-11]

	KGS AB934 PC53	JIS 8825 / JIS 8826	UL 1741	IEC 62477-1
형성특성성능	표면연료 주입수 수증기시험	항상수 주입수 수증기시험	최대전압 측정	비연료시험
	충격전류저속결속 시험	저속결속 동부동기시험	-	공시험
	효율시험	효율시험	-	회전역전시험
	무부하손실시험	정지시험	-	정지
	대기손실 측정 시험	대기손실시험(무연료시험/순수시험)	-	지저시험 30N
	교류출력 역률 시험	교류출력 역률 시험	-	지저시험 250N
	교류출력 역률 변동 시험	교류출력 역률 변동 시험	충격 전역 특성	중류 시험
	저속 임력전류 리플 시험	저속 임력전류 리플 시험	-	낙류 시험
	-	독립운전기능 시험	-	음력 배후 시험
	-	-	-	연성시험
제동운전성능	개동시험 급만 시험	개동시험 급만 시험	-	연성시험
	개동시험 완속 급만 시험	개동시험 완속 급만 시험	전력해제시	별도 소형 충격시험
	개동시험 정속 내공 시험	과부하 내공 시험	전력해제시	편도 주동 제어(중류) 시험
	제동시험 정속 내공 시험	제동시험 정속 내공 시험	전력해제시	고전압 역주행 시험
	무부하 정속 시험	제동 정속 시험	-	공로 정속 시험
	충격 속도 내공 시험	임, 충격 속도 내공 시험	-	회전역전시험
	개동시험 순간정전 시험	개동시험 순간정전 순간정전시험	미상 시험	기전력 시험
	제동시험 순간정전 시험	제동시험 순간정전 순간정전시험	-	회전역전시험
	무부하 정지 시험	무부하 정지 시험(완전 시험)	-	회전 역전 시험
	회전 정지 시험	회전 정지 시험	-	회전 역전 시험
전자과적합성	전자과적합성 시험	전자과적합성 시험	-	정전 시험
	전자과적합성 시험	전자과적합성 시험	-	정전 시험
	전자과적합성 시험	전자과적합성 시험	-	정전 시험
	전자과적합성 시험	전자과적합성 시험	-	정전 시험
	전자과적합성 시험	전자과적합성 시험	-	정전 시험
	전자과적합성 시험	전자과적합성 시험	-	정전 시험
	전자과적합성 시험	전자과적합성 시험	-	정전 시험
	전자과적합성 시험	전자과적합성 시험	-	정전 시험
	전자과적합성 시험	전자과적합성 시험	-	정전 시험
	전자과적합성 시험	전자과적합성 시험	-	정전 시험
환경 적합성	-	고주파 소음 시험(한계)	정하중 시험	-
	-	고주파 소음 시험(한계)	정하중 시험	-
	-	고주파 소음 시험(한계)	정하중 시험	-
	-	고주파 소음 시험(한계)	정하중 시험	-
	-	고주파 소음 시험(한계)	정하중 시험	-
	-	고주파 소음 시험(한계)	정하중 시험	-
	-	고주파 소음 시험(한계)	정하중 시험	-
	-	고주파 소음 시험(한계)	정하중 시험	-
	-	고주파 소음 시험(한계)	정하중 시험	-
	-	고주파 소음 시험(한계)	정하중 시험	-

Fig. 3. Comparison of PCS safety performance evaluation items of internal and external standards.

III. 단독운전방지 평가 방법

단독운전이란 한전의 “분산형전원 배전계통 연계 기술기준”에 따르면 ‘한전계통의 일부가 한전계통의 전원과 전기적으로 분리된 상태에서 분산형 전원에 의해서만 가압되는 상태를 말한다’라고 정의되어 있다. 즉, 계통의 이상으로 계통 전압이 상실되어 계통 측과 병렬 연결된 부하에 전력공급을 지속하고 있는 현상을 말한다. Fig. 4에 나타난 것과 같이 일반적인 계통연계형 연료전지 시스템 구성에서 전력변환장치는 계통과 연결되며 부하는 병렬로 전력변환장치와 계통 사이에 연결된다.[12]

단독운전방지 기능이 없는 전력변환장치를 운영한다면 Breaker 스위치가 차단될 때 계통 차단을 인식하지 못하고 상용 계통과 분리된 상태에서 배전 계통과 병렬로 연결된 부하에 전류가 가해지게 된다. 이 때, 부하 손상을 일으키거나 계통 보수점검자에게 위해를 끼칠 수 있기 때문에 전력변환장치의 단독운전방지 기능은 필수적이다.[12]

이러한 단독운전 현상은 다음과 같은 문제점을 야기시킨다. ① 단독운전이 발생될 경우 계통 자체가 제어할 수 없는 상황에서 전력변환장치의 전압과 주파수를 제어할 수 없고, 이는 불규칙한 전압 및 주파수 변동으로 이어져 장비에 영향을 미쳐 손상이 일어날 수 있으며, ② 단독운전은 계통과 연계가 끊어진 상태에서 라인에 에너지가 남아있게 됨으로 보수점검자 및 작업자들 또는 일반 사용자들에게 위험을 초래한다. 또한 ③ 단독운전 후, 재투입 시 전력변환장치 출력 측 전압과 실제 계통 전압 위상이 일치하지 않는다. 위상이 맞지 않기 때문에 상용 계통과 연계된다면 분산 전원 장비 또는 다른 연계된 장비의 손상을 야기시킨다.[13]

계통연계형 분산전원시스템에서 단독운전을 감지하기 위해 많은 방법들이 사용되어왔다. 단독운전을

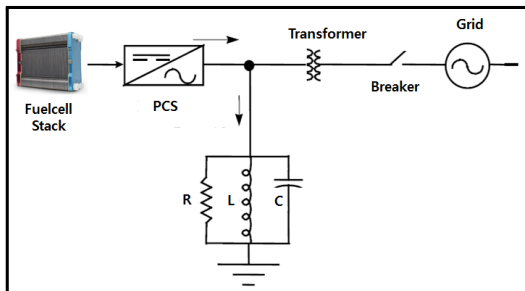


Fig. 4. Configuration of power flows between Fuel cell system and grid.

감지하는 방법들은 능동적 방법들(Active methods)과 수동적 방법들(Passive methods)로 구분된다. 단독 상태를 감지하기 위한 수동적 방법들은 기본적으로 전압과 주파수와 같은 수치들을 이용하여 정상적인 상태에서 범위를 벗어나는 변화가 있을 때 전력변환장치 자체가 전력변환을 중지한다. 단독을 감지하기 위한 능동적 방법들은 연결된 회로에 의도적인 변화 또는 외란을 도입하고 안정한 주파수, 전압과 임피던스를 가진 급전망이 여전히 연계되어 있는지 모니터링한다. 만약 작은 변화가 미리 정해진 요구사항들을 가진 부하 연결의 수치에 영향을 미칠 수 있다면, 능동적인 회로는 전력변환장치가 전력 변환과 부하를 위한 전력의 전송을 중단한다.

단독운전 감지 방법 중 수동적 방법으로 운영되는 방법들은 과전압 및 저전압 모니터링, 과주파수 및 저주파수 모니터링, 전압 고조파 감지, 전류 고조파 감지 등이 있으며, 시스템에 추가적인 장비 구성이 필요하지 않으며, 외란을 주지 않기 때문에 일정한 품질의 전력을 얻을 수 있다.

능동적 방법으로는 위상가변기법, 무효 전력 변동 방식, 슬립모드 주파수 쉬프트(shift), AFD(Active Frequency Drift) 기법이라 불리는 주파수 바이어스 기법, AFD 기법의 단점을 개선한 AFDPF(AFD with Positive Feedback) 기법, FJP(Frequency Jump with Pulsation) 기법 등이 존재한다. 인가하는 외란의 크기가 크면 전력 품질이 저해되는 단점이 있지만 수동적 방법에서 측정하지 못하는 불검출영역을 감지할 수 있는 장점이 있다. [14-16]

국내 단독운전방지 관련 기준을 살펴보면 Fig. 5와 같이 한전의 “분산형전원 배전계통 연계 기술기준”에 따르면 ‘단독운전 발생 후 최대 0.5초 이내에 한전

기준서 No.	110-패전-기준-0012
개정-페이지	10 / 28 / 30
개정 일자	2017. 4. 19.

제17조(단독운전)

연계된 계통의 고장이나 작업 등으로 인해 분산형전원이 공동 연결점을 통해 한전계통의 일부를 가압하는 단독운전 상태가 발생할 경우 해당 분산형전원 연계 시스템은 이를 감지하여 단독운전 발생 후 최대 0.5초 이내에 한전계통에 대한 가압을 중지해야 한다.

4.9.6 단독운전방지기술 시험

단독운전을 검출하여 0.5초 이내

Fig. 5. Domestic standards of anti-islanding evaluation (up-KEPCO, bottom-KGS).

계통에 대한 가압을 중지하여야 한다.'고 명시되어 있으며 이에 따라 한국가스안전공사의 "KGS AB934 PC53 - 연료전지 전력변환장치 성능인증기준"에도 한전 규정과 같이 '단독운전방지시험을 단독운전을 검출하여 0.5초 이내에 개폐기 개방 또는 게이트 블록기능이 동작되어야 한다.' 라고 규정하였다.[7, 17]

자립운전과 단독운전은 계통에 이상이 생길 시 분산전원이 스스로 발전하는지 혹은 발전을 중단하는지에 대한 차이를 갖고 있다. 일본은 후쿠시마 원전사고 이후 정전사태에 대비하기 위하여 지진이나 해일 등의 자연재해로 인한 계통 고장이 발생할 우려가 다분하기 때문에 계통에 끊기더라도 분리된 상태로 분산전원이 발전을 계속 할 수 있도록 자립운전 관련 평가항목을 운영 중이다. 이는 국내 한전 지침에는 규정되어 있지 않으며, 계통 연계된 분산전원시스템은 단독운전만을 포함하고 있다.[9-10]

IV. 단독운전방지 평가 장치 설계 및 제작

대부분의 국·내외 단독운전방지 평가는 복수의 전력변환장치 시험을 요구하기보다는 단일 전력변환장치를 시험하고 있다. 일본의 경우에는 JET(Japan Electrical Safety & Environment Technology Laboratories, 일본전기안전환경연구소)에서 여러대가 연계된 계통연계형 태양광발전시스템의 계통연계보호장치 시험방법을 제시하여 인증라벨을 발행 중이다.[18-19]

최근 신축 대형 건물에 신재생에너지설비 설치의 무화 정책에 의해 건물용 연료전지가 설치되며 관련 시장도 커지고 있다. 주택용의 경우 연료전지 시스템 하나만 설치하면 전력 공급이 가능하지만 대부분의 건물용 연료전지 설치 시 1kW~10kW급 연료전지 시스템을 5~6 대를 병렬로 연결하여 발전하여야 건물 내 전력 공급이 가능하다. 건물용의 경우 연료전지 시스템 내 전력변환장치들이 계통에 이상이 생겨 단독운전 현상이 생길 경우 연계된 모든 전력변환장치가 작동을 중단해야 한다.

이와 같은 목적으로 Fig. 6에 나타난 것과 같이 병렬 연결된 전력변환장치가 모두 단독운전을 감지하고 작동을 중지하는지를 확인할 수 있는 단독운전방지 평가 시작품을 설계하였다.

설계 방향은 DC Power Supply와 AC Load를 추가 설치하여 기존 분산전원 계통연계 평가장비와 연계시켜 Control Program을 통해 계통 차단을 자동으로 적용시켜 단독운전방지 평가 시작품을 설계하였다.

설계를 토대로 Fig. 7과 같이 기존 한국가스안전공사에서 보유 중인 모의계통전원시스템에 DC Supply

와 Load를 추가 설치하여 전력변환장치 2 대가 연결될 수 있게 설치하였다.

설계와 동시에 기 보유중인 장치는 오실로스코프를 이용하여 수동으로 단독 운전 방지 시간을 계산했

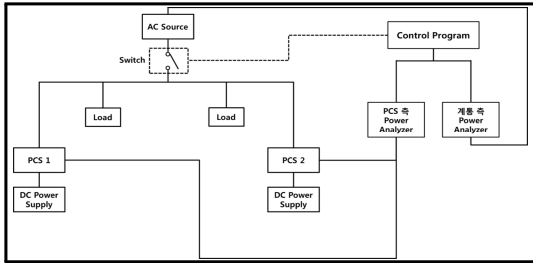


Fig. 6. The schematic diagram of prototype design of anti-islanding evaluation for power conditioning system connected in parallel.



Fig. 7. The equipment of anti-islanding evaluation for power conditioning system connected in parallel.

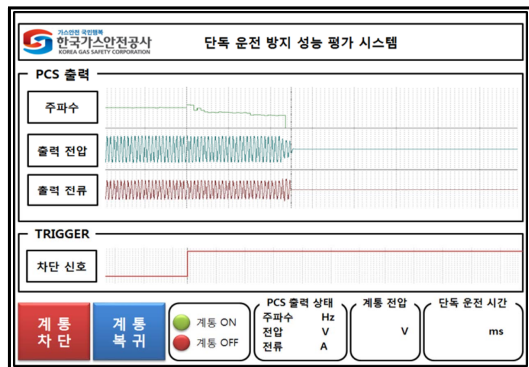


Fig. 8. The design of anti-islanding evaluation for power conditioning system software (S/W).

던 사항을 Fig. 8 나타낸 것과 같이 소프트웨어 프로그램 제작을 통하여 단독운전시간을 자동으로 계산하도록 설계하였다.

본 연구에서는 2 대의 병렬 연계된 전력변환장치의 단독운전방지 평가를 진행하여 계통에 이상 발생 시 여러 대의 전력변환장치가 연계되어 있을 때 모두 기준 시간 내에 단독운전을 검출하고 계통에 대한 가압을 중지하는지를 확인하려고 하였다.

공인시험검사기관인 한국가스안전공사의 단독운전방지 평가 설비는 전력변환장치 1 대만 측정이 가능하고 단독운전이 발생할 때 전력변환장치의 가동이 멈추는 시간을 수동으로 오실로스코프 그래프를 이용하여 계산하였지만 2개의 전력변환장치를 복수연계 시켜서 단독운전방지 평가를 진행하기 위해 추가로 S/W를 구축하였다. 또한 기존 오실로스코프와 연계하여 계통 끊음과 동시에 데이터가 저장될 수 있도록 하였다.

V. 병렬 연계 단독운전방지 실증 평가

단독운전방지 평가 시스템 시작품 제작은 완료한 후에 실증평가를 통해 본 연구목적인 모의계통에 연계된 2 대의 전력변환장치가 동 시간에 단독운전을 검출하여 동작을 중지하는 지를 살펴보고 2 대 모두 한국전력 및 한국가스안전공사의 단독운전 기준인 0.5 초 이내에 단독운전을 중지하는지 확인하였다.

단독운전방지 실증 평가에 사용된 연료전지용 전력변환장치는 ㈜지필로스 제품을 사용하였으며 600W 급으로 설계되었다. Table 2.에 600W급 연료전지용 전력변환장치의 세부사양을 나타내었다.

Fig. 9에 나타낸 것과 같이 전력변환장치 2 대를 연결하여 실증평가를 실시하였으며 Fig. 10과 같이 정상적으로 작동이 중지되는 것을 확인하였다.

앞서 언급하였듯이 단독운전방지 기준은 한전 기준 및 한국가스안전공사의 KGS AB934 PC53 성능인증기준에 의해 단독운전 발생 시 0.5초 이내로 전력변환장치 작동이 정지되어야 한다. 이에 Fig. 11에 나타낸 것과 같이 설계를 통해 고안한 소프트웨어를 통하여 단독운전시간을 계산하였다.

Fig. 9과 Fig. 10에 나타낸 것과 같이 전력변환장치 2 대를 모의 계통 전원에 연결시켜 모의 계통을 임의로 차단시켜 전력변환장치의 단독운전 상황을 설정하여 단독운전을 검출하였다. 그 결과, Fig. 10과 같이 소프트웨어에 계산된 시간은 339.76 μ s로 전력변환장치가 중단되어 모의 계통에 가압을 중지한 것으로 확인되었다. 또한 설치된 소프트웨어와 Fig. 12의 기존 단독운전방지 평가시스템의 오실로스코프를 연계하여 동

Table 2. Product specification of power conditioning system for fuel cell system by G-Philos

	Specification	Remark
Power	750[W]	
Input Voltage	13.5[V]	
Input Current	55.6[A]	
Output Voltage	220[V]	Single-phase two-line system
Output Current	3.18[A]	
Input Current Ripple	Under 5[%]	Rated Operation
P.F	Over 0.98	
Efficiency	93[%]	
THD	Total	
Switch Frequency	75[khz]	



Fig. 9. The power conditioning system connected grid(before anti-islanding).



Fig. 10. The power conditioning system connected grid(after anti-islanding).

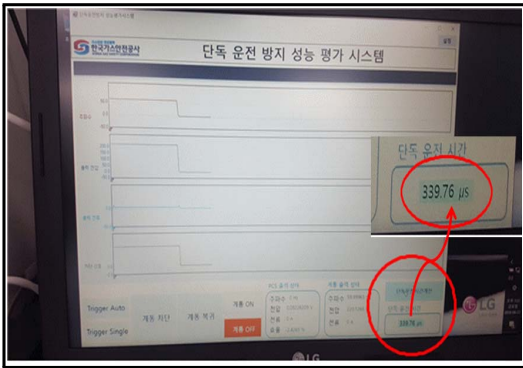


Fig. 11. The picture of software that evaluated power conditioning system when grid-off.



Fig. 12. The picture of oscilloscope that evaluated power conditioning system when grid-off.

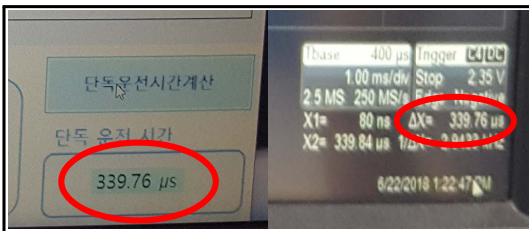


Fig. 13. The comparison of anti-islanding time between software and oscilloscope when grid-off.

시에 데이터가 생성될 수 있도록 제작되었기 때문에 기존 오실로스코프와 설치된 소프트웨어의 데이터가 일치한지 여부를 확인하여 검증을 실시하였다.

그 결과, Fig. 13과 같이 단독운전시간을 살펴보면 339.76 μ s로 일치하며, 0.5 초 이내에 단독운전이 검출되고 전력변환장치의 작동이 정지되어 기준을 만족하고 복수 연계된 전력변환장치의 단독운전방지 평가를 통하여 계통에 병렬로 연계되는 복수의 전력변환장치들이 단독운전 현상 발생 시 정상적으로 작동이 중단되는 것을 확인하였다.

단독운전방지 실증 평가 결과에 따라 평가 대상 전력변환장치는 적합으로 판단하였으며 복수 연계를 위한 단독운전방지 평가 시스템 시작품의 경우 2대의 전력변환장치의 단독운전방지 평가가 가능하였으며 2대 이상의 전력변환장치 평가도 가능할 것으로 판단된다.

VI. 결론

파리협정 체결로 신 기후체제가 들어서면서 세계 각국은 신재생에너지 발전에 힘쓰고 있다. 국내에서도 많은 정책을 통해 신재생에너지 보급에 힘쓰고 있으나 해외 국가 발전 비중에 비해 부족한 실정이며 국내 신재생에너지 발전의 대부분은 풍력과 태양광이 주도하고 있으나 건물이나 주택용으로 사용하기 힘들다. 이 문제점들을 해결하기 위해 건물 내에 설치할 수 있고 공해를 발생시키지 않는 친환경적인 연료전지 시스템 보급이 점차 확대되고 있다.

국내 특성 상 연료전지 시스템과 같은 분산 발전원들은 한전의 전력 계통에 연계하여야 하며, 이는 곧 연료전지 시스템 내 전력변환장치의 안전성능의 중요성을 부각시키고 있다.

국내 연료전지용 전력변환장치의 안전성능을 평가하는 한국가스안전공사의 성능인증기준인 KGS AB934 PC53과 해외 규격들과의 비교분석을 하여 그 결과 국내 기준과 해외 규격이 상당히 부합화되어 있는 것을 검토하였다. 특히, 일본의 PEMFC 시스템과 관련된 JISC 8825 및 8826과 시험 항목이 가장 유사하다. 일본 규격과의 부합화 검토 후 국내 평가 항목 중 포함되어 있지 않아 추가로 검토 가능한 항목은 독립운전기능 시험, 소음과 온습도 사이클 시험 등의 환경 적합성 및 환경 내력시험이 있을 수 있다. 또한, 북미 인증규격인 UL 1741과 부합화 했을 때, 기계적인 성능평가 항목이 대부분 포함되어 있지 않아 정하중이나 압축시험, 살수시험 등이 추가되어야 할 것이다. 국제규격인 IEC 62477-1과 부합화 검토 시에도 마찬가지로 기계적 성능 평가 항목이 포함되어 있지 않았다. 충격시험, 지지력 시험 등의 기계적 안전성 항목과 진동시험, 건열 및 습열 시험과 같은 환경 시험평가도 추가 검토해야 될 것으로 판단된다.

마지막으로 안전성능 평가 항목 중 계통연계 시 생길 수 있는 문제인 단독운전의 필요성과 단독운전 감지방법에 대해 분석하여 국내 연료전지 설치 현황과 실정에 맞는 단독운전 방지 장치를 설계 및 실증평가를 실시하였다.

주택용의 경우 연료전지 시스템 1 기를 설치하면 전력 공급이 될 수 있으나 주택보다 많은 전력을 공급해야 하는 건물용의 경우 대용량의 연료전지 혹은 주택용 용량의 연료전지 5~6 기를 연결한다. 국내 대부분의 전력변환장치 인증은 전력변환장치 한 대만 측정하고 있으나 연료전지 시스템이 여러 개가 연결되었을 때의 단독운전이 제대로 시행되는지 평가가 되지 않는다. 이에 따라 병렬로 연계된 전력변환장치의 단독운전방지 기능을 평가하는 시작품을 설계하고 제작하였다. 제작한 시작품을 통해 2 대의 전력변환장치를 병렬로 모의 계통에 연계하였고 평가 결과 계통 차단 시 2 대 모두 339.76 μ s 에 전력변환장치가 중단되어 국내 기준인 0.5 초 이내에 차단되는 것을 확인하였다.

병렬 연결된 연료전지용 전력변환장치의 단독운전방지 평가가 가능함을 확인하며 국내에서 병렬로 연결되는 건물용 연료전지 시스템의 보급 확산에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(No.20163030031830)

REFERENCES

[1] 유재국, "이슈와 논점 제1426호 수소에너지 관련 현황 및 입법적 개선 방향", 국회입법조사처, Korea, (2018)

[2] Kang N., "Industry Statistics of New & Renewable Energy 2016(2017 Edition)", KOREA ENERGY AGENCY, Korea, (2017)

[3] Ministry of Trade, Industry and Energy, Korea New and Renewable Energy Center, "2016 NEW & RENEWABLE ENERGY WHITE PAPER", Ministry of Trade, Industry and Energy, Korea Energy Agency, Korea, (2016)

[4] Lee, Y. J., Ryu, K. Y., Lee, J. H., Kim, W. K., Kim, H. J., "Development of 1MWESS PCS for UL1741/1998 certification", *Power Electronics Annual Conference*, 2015.07, 433-434, (2015)

[5] CSA group, "CSA C22.2 No.107.1-16 - Power

conversion equipment", CSA, Canada, (2016)

[6] Standards Australia, Standards New Zealand, "AS/NZS 5033:2014 - Installation and safety requirements for photovoltaic(PV) arrays", SAI Global Pty Limited, Australia, New Zealand, (2014)

[7] Korea Gas Safety Corporation(KGS), "KGS AB934 PC53 - 연료전지 전력변환장치 성능인증기준", KGS, Korea, (2017)

[8] Korea Gas Safety Corporation(KGS), "KGS AB934 - Code for Facilities, Technology and Inspection for Manufacturing of Gas Fuel Cells", KGS, Korea, (2018)

[9] Japanese Industrial Standard(JIS), "JIS C 8826 - Testing methods of power conditioner for grid interconnected small fuel cell power systems", JIS, Japan, (2011)

[10] Japanese Industrial Standard(JIS), "JIS C 8825 - Testing and measurement techniques of small polymer electrolyte fuel cell power systems", JIS, Japan, (2008)

[11] IEC technical committee 22, "IEC 62477-1 - Safety requirements for power electronic converter systems and equipment - Part 1: General", IEC, Geneva, (2012)

[12] Choi J., Ko J., Chung D., "Development of Novel Algorithm for Anti-Islanding of Grid-Connected PV Inverter", *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 25, 76-86, (2011)

[13] W. Bower, M. Ropp, "Evaluation of Islanding Detection Methods for Utility-Interactive Inverters in Photovoltaic Systems", Sandia National Laboratories, USA, (2002)

[14] Jo Y., Choi J., Song S., "Detection Performance and THD Analysis of Active Frequency Drift for Anti-Islanding", *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 35, 11-19, (2015)

[15] B. Verhoeven, "Utility aspects of grid connected photovoltaic power system", IEA PVPS T5-01, Netherlands, (1998)

[16] Hwang I., "A New Anti-Islanding Method for Utility Interconnection of Distributed Power Generation System", *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, 9, 568-576, (2004)

[17] Korea Electric Power Corporation(KEPCO), "Standard for the connection of the distributed energy resource in the distribution power system",

KEPCO, Korea, (2018)

- [18] Jung Y., Ko S., Hwang H., So J., Ju Y., "Islanding detection function of grid-connected power conditioning system of parallel operation", Journal of Electrical Engineering & Technology, 7, 10-12, (2013)
- [19] Kim D., Park K., Cho S., Lee Y., Yu G., Song S., Choy I., Choi Ju., "Anti-Islanding Scheme for a Number of Grid-connected Inverters under Parallel Operation", Journal of Power Electronics, 7, 351-352, (2016)